

Área del Conocimiento de Agricultura

Obtención de carbón activado a escala de laboratorio a partir del endocarpio de coco, subproducto de desecho de la empresa Lala Nicaragua, planta Eskimo ubicada en Altagracia, Managua.

Proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Químico

Elaborado por:

Tutor:

Br. Vicente Daniel Martínez
Baquedano
Carnet: 2019-0765U

Br. Ramji Ramaharys
Fletes Rojas
Carnet: 2019-0787U

Br. Silvana Nayareth
Ramos Díaz
Carnet 2018-1227U

Mpa. Onell Domingo
Morales Cortez

27 de febrero 2026
Managua, Nicaragua

Managua, Nicaragua, 26 de febrero del 2026

Estimados excelentes miembros del jurado calificador; el proyecto de graduación investigativo para optar al título de Ingeniero Químico que tienen en sus manos titulado: **"OBTENCION DE CARBON ACTIVADO A ESCALA DE LABORATORIO A PARTIR DEL ENDOCARPIO DE COCO, SUBPRODUCTO DE DESECHO DE LA EMPRESA LALA NICARAGUA PLANTA ESKIMO UBICADA EN ALTAGRACIA, MANAGUA"**, tuvo lugar en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), en el área de conocimiento de agricultura (DACA), por lo que, en este trabajo de investigación se dispuso de la búsqueda de información en el laboratorio de operaciones unitaria (DACA) y en la biblioteca RUPAP, donde por un periodo de tres meses se desarrolló

este proyecto de graduación investigativo. La dedicación que **Br. VICENTE DANIEL MARTINEZ BAQUEDANO; SILVANA NAYARETH RAMOS DIAZ Y RAMJI RAMAHARYS FLETES ROJAS** realizaron en todo el desarrollo de su proyecto de graduación fue bien continuo e incansable, que las llevo a tener resultados muy positivos.

Por lo anterior expuesto y certificando la calidad y categoría del trabajo que han realizados los bachilleres en el proyecto de graduación investigativo solicito a ustedes la máxima calificación para este proyecto.

Aprovecho para reiterar mis más cordiales saludos y deseos de buena voluntad.

Se despide de ustedes.

Atentamente

Mpa. Ing. Onel Domingo Morales Cortez
Profesor Guía



Bachilleres

VICENTE DANIEL MARTÍNEZ BAQUEDANO / 2019-0765U
RAMJI RAMAHARYS FLETES ROJAS / 2019-0787U
SILVANA NAYARETH RAMOS DIAZ / 2018-1227U

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarle que el Tema y Objetivos de su Proyecto de Graduación, ha sido aprobado por la Dirección del Área de Conocimiento de Agricultura, según se describe a continuación:

TEMA:

“OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A ESCALA DE LABORATORIO A PARTIR DEL ENDOCARPIO DE COCO, SUBPRODUCTO DE DESECHO DE LA EMPRESA LALA NICARAGUA PLANTA ESKIMO UBICADA EN ALTAGRACIA, MANAGUA”.

OBJETIVOS:

General:

Obtener carbón activado mediante la carbonización y activación química utilizando como materia prima el endocarpio de coco, para darle un valor agregado al subproducto de desecho de la empresa Lala Nicaragua planta Eskimo ubicada en Altagracia.

Específicos:

1. Caracterizar los parámetros físico- químico del endocarpio de coco (coco nucífera) para su aplicación en la producción de carbón activado.
2. Obtener carbón activado a partir del endocarpio mediante activación química utilizando como medio activante el ácido fosfórico (H_3PO_4).
3. Determinar un tamaño de partícula de microporos de carbón activado eficiente, asegurando la alta porosidad y capacidad de adsorción del carbón resultante.



Universidad Nacional de Ingeniería
Área de Conocimiento de Agricultura
Formas de Culminación de Estudios

Asimismo, le comunico estar totalmente de acuerdo, que el **MPA. Onel Domingo Morales Cortez** sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presente concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **28 de febrero del 2026**.

Esperando puntualidad en la entrega del Proyecto de Graduación, me despido.

Atentamente,

MSc. José Mamerto Méndez Úbeda
Director de Área de Conocimiento de Agricultura
DACA

MPA. Onel Domingo Morales Cortez / Tutor
MSc. Helia Vanessa Taleno Oporta / Secretaria Académica DACA
C/c: Archivo

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza necesaria para superar cada desafío presentado en el camino.

A mi papá, que ya no está conmigo en esta vida terrenal, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser mi mayor inspiración. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por sus sacrificios inmensos y por motivarme a alcanzar mis metas.

A mi mamá, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, amor y dedicación. Gracias por tu apoyo incondicional, por cada palabra de aliento, por tus sacrificios silenciosos y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

Finalmente agradezco a todos mis amigos formados durante mi carrera que fueron un apoyo emocional y parte de mi motivación de igual manera a la UNI por abrirme sus puertas y permitirme ser parte de la familia de jóvenes soñadores en el mundo de la ingeniería y la arquitectura y poder crecer profesionalmente.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por la vida, la sabiduría y la perseverancia necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, por su apoyo constante, confianza y motivación incondicional en cada paso de este proceso. Gracias por creer en mí, por impulsarme a seguir adelante en los momentos de dificultad y por ser el pilar fundamental en mi crecimiento personal y académico. Este logro también es suyo.

A la empresa LALA Nicaragua Planta Eskimo, por proveer los recursos y el respaldo necesario para la realización de esta investigación. Su colaboración fue clave para el desarrollo y culminación de este trabajo.

De igual manera mis agradecimientos a la UNI, por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y a mis maestros, por compartirme sus conocimientos y experiencias. Agradezco también a todas aquellas personas que, de una u otra forma, me brindaron su apoyo y colaboración durante este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a mi familia por su respaldo incondicional y por ser el pilar fundamental que ha sostenido mi esfuerzo a lo largo de mi trayectoria profesional. Al Ing. Kevin Valverde, por haberme acompañado en este camino casi desde el día cero y nunca dejar de creer en mí. A Ianna y Mariangel por ser pedacitos de luz en mi camino.

A mi tutor, Mpa. Onell Morales, por su paciencia infinita, sus correcciones precisas y por compartir su conocimiento conmigo durante este proceso.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Ingeniería por brindarme la formación académica y los recursos necesarios para la culminación de este proyecto.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, aportaron un grano de arena para que esta investigación llegara a término.

ESKIMO S.A

Área de Producción

Managua, 14 de febrero de 2026

A quien corresponda:

Por medio de la presente, hago constar que el pasante **Ramji Ramaharys Fletes Rojas**, quien actualmente realiza sus prácticas profesionales en el área de Producción de nuestra empresa, ha estado desarrollando actividades relacionadas con el aprovechamiento de subproductos del coco.

En particular, el pasante ha trabajado con el **endocarpio del coco**, utilizando estos desechos como materia prima en procesos experimentales para la **obtención de carbón activado**. Dichas labores se han llevado a cabo bajo la supervisión del personal responsable del área, cumpliendo con los lineamientos establecidos y aportando al desarrollo de alternativas sostenibles de valorización de residuos agroindustriales.

Reconocemos el esfuerzo, compromiso y dedicación del pasante en la ejecución de estas tareas, las cuales contribuyen al fortalecimiento de nuestras prácticas de innovación y sostenibilidad.

Sin más que agregar, se expide la presente constancia para los fines que el interesado estime convenientes.

Atentamente,

Ing. Alex Escoto Brenes

Jefe de Producción

ESKIMO S.A.



Índice

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes.....	3
2.1	Marco Legal	4
3.	Objetivos.....	5
3.1	Objetivo General	5
3.2	Objetivos Específicos.....	5
4.	Descripción del Proyecto	6
5.	Fundamentos Técnicos.....	7
5.1	Endocarpio de Coco.....	7
5.1.1	Composición Química	8
5.2	Carbón Activado.....	9
5.2.1	Conversión en carbón	10
5.2.2	Adsorción	11
5.2.3	Activación química	12
5.2.4	Tamaño de partícula.....	12
5.2.5	Contenido de ceniza.....	14
6.	Metodología Para El Desarrollo Del Proyecto	14
6.1	Descripción del endocarpio de coco.....	14
6.1.1	Propiedades fisicoquímicas.....	15
6.2	Recursos, materiales y reactivos.....	15
6.2.1	Recursos.....	15

6.2.2	Materiales	15
6.2.3	Reactivos	16
6.4	Procedimiento	17
6.4.1	Descripción del proceso	17
6.4.2	Flujograma del proceso	22
6.4.3	Determinación del tamaño de partículas	23
7.	Resultados por capítulos	23
7.2	Análisis comparativo de granulometría.....	23
7.2.1	Balance de materiales en el horno convectivo durante el primer proceso de secado.	24
7.2.2	Balance de materiales en la mufla durante el proceso de carbonización....	24
7.2.3	Balance de materiales en el horno convectivo durante el segundo proceso de secado.	25
7.2.4	Balance de materiales en el horno convectivo durante el tercer proceso de secado.	25
7.2.5	Cálculo de cenizas durante la carbonización en mufla.	25
7.3	Cálculo de consumo energético del proceso	26
7.3.1	Cálculos de energía en materiales en el horno convectivo durante el primer proceso de secado.....	26
7.3.2	Cálculos de energía en la mufla durante el proceso de carbonización	27
7.3.3	Cálculos de energía en el horno convectivo durante el segundo proceso de secado.	27

7.3.4	Cálculos de energía en el horno convectivo durante el tercer proceso de secado.	28
8.	Conclusiones	30
9.	Recomendaciones	32
10.	REFERENCIAS	33
11.	Anexos.....	35
11.1.5	<i>Cálculo de cenizas durante la carbonización en mufla.</i>	36
11.2	<i>Cálculo de consumo energético del proceso</i>	37
11.2.1	<i>Cálculos de energía en materiales en el horno convectivo durante el primer proceso de secado.....</i>	37
11.2.2	<i>Cálculos de energía en la mufla durante el proceso de carbonización</i>	38
11.2.3	<i>Cálculos de energía en el horno convectivo durante el segundo proceso de secado.</i>	39
11.2.4	<i>Cálculos de energía en el horno convectivo durante el tercer proceso de secado.</i>	40
11.4	Anexo 2 Tablas utilizadas.....	63
11.5	Análisis comparativo de absorción de color.....	67

1. Introducción

En la actualidad, la adsorción es considerada una de las mejores técnicas de remoción de contaminantes. Para este proceso resultan de interés materiales con gran superficie interna, (y por lo tanto poco volumen) como es el carbón activado; el adsorbente más versátil y usado.

El carbón activado es un material de elevada área superficial, estructura microporosa, sencilla regeneración y una química de superficie que permite la formación de una capa de partículas debido a la presencia de grupos carboxílicos, fenólicos, cetonas, quinonas, hidroquinonas y aldehídos que le dan la característica de material adsorbente. Las materias primas más utilizadas para fabricar carbón activado son: maderas poco duras (como la de pino), carbones minerales (ligníticos, bituminosos y de antracita) y cáscaras o huesos de vegetales (concha de coco, hueso de aceituna o de durazno, cáscara de nuez).

Los que se fabrican a partir de carbones minerales, tienden a formar una amplia gama de poros; suelen ser más adecuados para aplicaciones en las que los compuestos que buscan retenerse son de distintos tamaños moleculares. Los que parten de cáscaras o huesos duros, forman poros pequeños, y se aplican en el tratamiento de gases o en la potabilización de aguas que provienen de pozos.

Los contaminantes típicamente presentes en aguas de pozo suelen ser de bajo peso molecular y, para estos casos, el carbón más adecuado es uno de alta microporosidad. Los carbones que mejor cumplen con esta condición son, en primer lugar, los de concha de coco y, posteriormente, los minerales bituminosos. El carbón activado obtenido de la cáscara de coco resulta con mayor dureza y resistencia, comparado con el obtenido de la madera, sin mencionar que posee un menor porcentaje de ceniza respecto a los carbones obtenidos de medios inorgánicos. Actualmente se prefiere emplear H_3PO_4 como agente activante frente al $ZnCl_2$ debido a que este último genera significativos problemas de contaminación medioambiental.

Las aplicaciones industriales entre las que destaca son, principalmente, el tratamiento de efluentes, que en combinación con otras técnicas como la rizofiltración y la precipitación química permiten alcanzar los valores permisibles para los diferentes materiales contaminantes en aguas residuales.

2. Antecedentes

Durante las últimas décadas en Nicaragua, se han buscado alternativas para darle un valor agregado a productos de desechos para la producción de carbón activado. Entre las opciones más estudiadas sobre la elaboración de carbón activado son de cáscara de cacao criollo (Gonzáles, 2020), jícaro sabanero (Rojas, 2017), semilla de nancite (Meneses, 2006) e incluso hueso vacuno (Lara, 2004).

Los carbones activados comerciales producidos para obtener propiedades de superficie precisas son costosos y requieren de elaborados procesos de reactivación y regeneración. Dichos procesos a menudo resultan en la degradación de las propiedades de adsorción del carbón, lo que a su vez afecta la viabilidad económica de los procesos en los que son utilizados (Gupta, 2011). Esto implica que existe una necesidad de soluciones económicas e igualmente efectivas.

Una manera de clasificar carbones se basa en el grado químico de “coquización” u ordenamiento de sus átomos de carbono. el carbón es menos duro y puede activarse con mayor facilidad. El carbón activado no es más que carbón poroso. Activar el carbón es simplemente crear más poros en el carbón, para incrementar su área superficial y así mismo su capacidad natural de adsorción.

En nuestro proyecto de graduación se tomó estas referencias y se realizó el procedimiento de obtención de carbón activado para darle un valor agregado al subproducto desechado del endocarpio del coco de la empresa LALA de Nicaragua, planta Eskimo, Ubicada en Altagracia, Managua.

2.1 Marco Legal

En Nicaragua se creó la ley General del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ley 217), que Establece los principios para la conservación y protección ambiental, aplicable a cualquier recurso natural. Como también la ley Especial de Delitos Contra el Medio Ambiente y los Recursos Naturales donde se Sanciona el aprovechamiento ilegal de recursos o actividades sin autorización, con penas de prisión y multas.

Otra es la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON) de Calidad del Aire: Si el carbón activado genera emisiones (como partículas), debe cumplir con los límites máximos permisibles de contaminantes y la Ley Creadora de la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNRCST) (Ley 941) donde Regula el registro y control de sustancias peligrosas, incluyendo la clasificación de riesgos y etiquetado, relevante si el carbón activado se maneja como químico peligroso o contaminante.

Por tal motivo la Estrategia Nacional de Leña y Carbón Vegetal se Orienta a la sostenibilidad del sector forestal, incluyendo el carbón vegetal, promoviendo su manejo y transformación eficiente para el uso en filtros para purificación de agua y remoción de metales pesados.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Obtener carbón activado mediante la carbonización y activación química utilizando como materia prima el endocarpio de coco, para darle valor agregado al subproducto de desecho de la empresa Lala Nicaragua planta Eskimo ubicada en Altagracia, Managua.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del endocarpio de coco (coco nucífera) para su aplicación en la producción de carbón activado.
- Obtener carbón activado a partir del endocarpio mediante activación química utilizando ácido fosfórico (H_3PO_4) como medio activante.
- Determinar un tamaño de partícula de microporos de carbón activado eficiente, asegurando la alta porosidad y capacidad de adsorción del carbón resultante.

4. Descripción del Proyecto

Este trabajo se basa sobre un producto llamado carbón activado, que será obtenido en este caso a partir de endocarpio (concha) de coco que consiste en poner en condiciones de carbonización y adsorción para obtener carbones primarios de diferentes materias primas tanto de origen mineral como de origen vegetal.

Los diferentes métodos para su activación tanto física como química, se caracterizan para poder llegar a la conclusión de la posibilidad que el carbón activado tiene para poder adsorber diferentes tipos de partículas. Estas partículas pueden encontrarse en estado de agregación líquido o gaseoso y pueden estar presente en minerales, combustibles líquidos o gaseosos, bebidas y licores (Grupo TAR, 2016).

La capacidad de un carbón activado para retener una sustancia determinada no sólo está dada por su área superficial, sino por la proporción y adecuación de sus poros. Un poro adecuado tiene un diámetro de entre una y cinco veces la molécula de que se va a adsorber. Si se cumple esta condición, la capacidad de un carbón activado puede ser de entre el 20% y el 50% de su propio peso (Carbotecnia, 2025).

En Nicaragua se ha identificado que en la empresa LALA Nicaragua, especializada en la industria láctea, se utiliza la pulpa de coco para la producción de distintos tipos de helados. Tras este proceso, el endocarpio de coco es desechado, sin ser considerado como una materia prima valiosa que podría aprovecharse. Las cantidades generadas de este residuo son significativas, lo que implica un costo adicional para la empresa debido a la necesidad de trasladar y gestionar el material. Sin embargo, este residuo podría utilizarse como materia prima para la producción de carbón activado, proceso estudiado en este proyecto de graduación.

5. Fundamentos Técnicos

5.1 Endocarpio de Coco

Cocos nucifera, conocida comúnmente como coco, palma de coco y cocotero, originario de Melanesia es tal vez uno de los árboles del trópico mejor reconocidos y uno de los más importantes económicamente. Es una planta monocotiledónea y como tal se puede reproducir solo por medio de semillas; crece a lo largo de las costas arenosas a través de los trópicos y en regiones subtropicales.

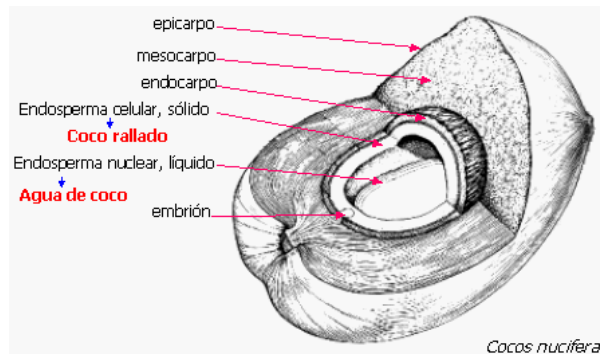


Ilustración 1: Estructura física de cocos nucifera

Es una palma alta y erecta, usualmente de 10 a 20 metros de altura, posee un tronco delgado, en ocasiones curvo, a menudo ensanchado e inclinado en la base con una corteza parda o gris ligeramente rajada. Por lo general no posee ramas laterales. Las hojas de 4-6 metros de longitud son pinnadas, es decir, con varios folíolos a lo largo del eje principal; además, se trata de un árbol de hoja perenne: a pesar de que pueden caerse, siempre crecen otras y el árbol nunca está desnudo a lo largo del año. Puede desarrollar en cada estípula una inflorescencia que contiene flores masculinas y femeninas que florecen en un solo racimo en periodos inversos.

Todas las partes componentes del cocotero son útiles. De la savia de las inflorescencias (que pueden contener hasta el 15% de azúcar) se hace vino palmero; los cocos semi-maduros (de 6

a 7 meses) se cosechan para el consumo inmediato de sus frutos. De los cocos completamente maduros (12+ meses) se gana la llamada “copra” exprimiendo la

pulpa del fruto madurado; la copra es rica en aceite (65%) y proteínas (25%), por lo que es utilizada en la fabricación de jabones, cosméticos, velas e incluso es utilizada con fines gastronómicos.

A nivel industrial, la cáscara de coco es utilizada como combustible en el proceso de secado de la copra y para la elaboración de carbón activo. Las cáscaras bien pulidas sirven además como relleno para materias plásticas de las cuales se elaboran botones, recipientes u otros objetos. La fibra del cocotero se utiliza en la producción de cuerdas y cordeles, en la industria de muebles y tapizados, como abono orgánico y como sustituto de turba. Las hojas y la madera sirven de materia prima para la construcción de edificaciones en zonas tropicales, además de encontrar aplicación en utensilios de uso doméstico.

5.1.1 Composición Química

Compuesto químico	Porcentaje
% Extractivo	6.4
% Holocelulosa	16.3
α -celulosa	44.2
% Lignina	32.8
%Ceniza	2.2

Tabla 1: Composición química de fibras lignocelulosas (Khalil, Alwani, & Omar, 2006)

El endocarpio de coco es considerado un material lignocelulósico, lo que indica que está compuesto principalmente de polímeros complejos que le otorgan una rigidez y resistencia similares a las de la madera. La lignina es un polímero fenólico que actúa como “cemento” entre las fibras, proporcionando la dureza extrema y la resistencia a la degradación biológica, la celulosa proporciona la estructura fibrosa y resistente a la tracción y la hemicelulosa es lo que une ambos componentes.

5.2 Carbón Activado

Con el término genérico de carbón se conoce a los compuestos que tienen en su composición al elemento carbono (C), ordenado regularmente. Los átomos situados en la parte exterior de la estructura cristalina disponen de fuerzas de atracción libre, lo que les permite atraer compuestos existentes en su inmediato alrededor (Grupo TAR, 2016).

El término “carbón activado” se refiere a carbones muy porosos producidos a partir de materiales ricos en carbono mediante diversas formas de activación química o física. La obtención de carbones activados a partir de materiales que pueden ser de origen vegetal o mineral es ampliamente usada en la industria química debido al bajo costo y a la abundancia de este tipo de materiales en la naturaleza.

Son carbones minerales las antracitas, la hulla bituminosa, el lignito y la turba. Son carbones vegetales la madera (pino, acacia, almendros, etc.), residuos de madera, cáscaras, bagazo y huesos de frutas. Este trabajo investigativo está orientado a los carbones vegetales y más precisamente en aquellos cuyo proceso no es tan extensamente estudiado y divulgado como los tradicionales.

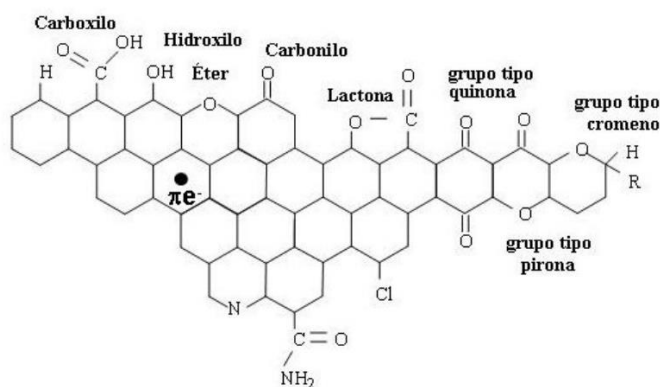


Ilustración 2: Representación esquemática de los principales grupos superficiales que pueden encontrarse en un carbón.

Para la preparación de carbones activados el material es calcinado (carbonización) y luego sometido al proceso de activación, lo que conduce al aumento de la porosidad y, por ende, de la capacidad de adsorción del material carbonizado mediante tratamientos de oxidación de los grupos funcionales de la superficie del sólido.

En términos generales, su composición típica incluye aproximadamente un 75-80% de carbono, un 5/10% de cenizas, alrededor del 6-8% de oxígeno y un 0.5% de hidrogeno (Sevilla, 2011). Cabe señalar que esta composición puede cambiar dependiendo de varias variables, incluidas las condiciones de producción, el método de activación y la fuente del material precursor.

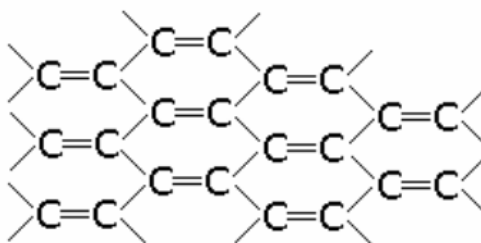


Ilustración 3: Estructura atómica del carbón activado.

5.2.1 Conversión en carbón

La transformación de ciertos materiales precursores en carbón es posible mediante el proceso de carbonización, que implica la descomposición fisicoquímica bajo la influencia del calor y en ausencia de un medio oxidante. Este proceso es una forma de pirólisis que se puede realizar a temperaturas entre un rango de 400°C hasta 600°C y tiempos que varían desde horas hasta días. (Prías & Rojas, 2011).

Los alquitranes y ácidos piroleñosos procedentes de la carbonización pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana, por lo que es preferible recoger el subproducto mediante condensación de los vapores resultantes. Además, se observa que, como ilustra la

tabla 1 reportada por (FAO, 1983), el rendimiento teórico de carbón vegetal cambia a medida que aumenta la temperatura de carbonización debido a variaciones en la cantidad de material alquitranado volátil o ácidos piroleñosos.

Temperatura de carbonización	Análisis químico del carbón	
	%Carbón fijo	% Material volátil
300	68	31
500	86	13
700	92	7

Tabla 2: Efecto de la temperatura de carbonización sobre el rendimiento y composición del carbón vegetal.

5.2.2 Adsorción

Para una entera comprensión de concepto de carbón activo, es necesario entender el proceso de adsorción. Este es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido atraen y retiene moléculas de otros compuestos, estas fuerzas de atracción son mejor conocidas como fuerzas de Van Der Waals. Por lo tanto, al ser un fenómeno que ocurre en la superficie, mientras mayor área superficial disponible tenga un sólido, mejor absorbente podrá ser.

El carbón activado es carbón que ha sido tratado con dióxido de carbono o vapor sobrecalentado a temperaturas muy altas. Esto crea una matriz de poros diminutos en el carbón que aumenta su superficie y crea más lugares para que las moléculas queden atrapadas,

Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor indeseables; la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en "multiplicar" el área superficial hasta 300 veces, creando una estructura porosa pudiendo alcanzarse áreas de 1200 – 1500 m²/g de carbón). Es importante mencionar que el área superficial del carbón activado es interna.

5.2.3 Activación química

La activación es el paso crucial en la producción de carbón activado. Se realiza de manera directa y en un solo paso, la materia prima es sometida a un agente químico (que puede ser ácido fosfórico, hidróxido de sodio o cloruro de zinc) y luego sometida a calentamiento o maceración.

La activación química se realiza casi exclusivamente para carbones producidos de materia prima vegetal de origen reciente. El agente activante influye en el proceso de pirólisis, de tal forma que se restringe a un mínimo la formación de alquitrán y la cantidad de fase acuosa en el destilado. Se obtienen rendimientos de hasta un 50 %, y la economía del proceso depende, principalmente de la recuperación del agente activante utilizado.

5.2.4 Tamaño de partícula

Dentro de los tamaños en lo que se puede presentar el carbón activado estará clasificado de acuerdo con su función, en poros de adsorción y poros de transporte. Los primeros tipos de poros son los espacios entre placas de carbono; estos espacios pueden estar separados una y cinco veces del diámetro molecular. En estos poros, las capas de carbono son suficientes para adsorber y retener el material adsorbido.

Los poros de transporte son más grandes que los de adsorción y tienen un amplio rango de tamaño, llegando hasta el límite detectable por la vista, que corresponde 0.1 mm, como el de las grietas. En esta clase de poros, sólo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y entonces lo hace con una fuerza menor, o incluso insuficiente para retenerlo. Actúan como caminos de difusión por los que circula la molécula hacia los poros de adsorción en los que hay una atracción mayor. Por lo tanto, aunque tiene poca influencia en la capacidad del carbón activo afectan a la cinética o velocidad con la que se lleva a cabo la adsorción.

Según la terminología de la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), todos los carbones activados se reducen a través de un sistema de poros ramificados, como se muestra

en la figura 4, en el caso de que los poros se originan de un tamaño no superior a 2 nm se denominan microporos, en los que tiene lugar mayor parte de la adsorción.

Cuando se detectan a distancias de 2 nm y 50 nm se denominan mesoporos y, en el caso de que los poros superan los 50nm son conocidos como macroporos (Martínez de Yuso, 2012).

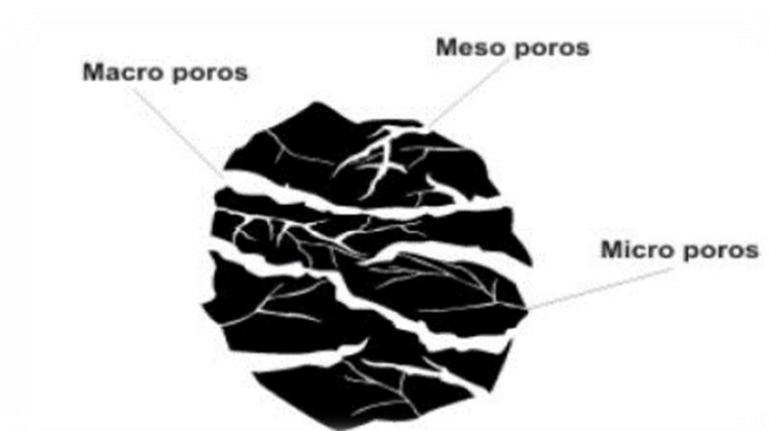


Ilustración 4: Modelo esquemático de un carbón activado.

El volumen de los microporos es en general mayor de 0,2 cm³/g pudiendo alcanzar elevados valores de área de superficie específica interna. Los microporos tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes. Los macroporos atrapan moléculas grandes, tales como las que son cloradas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica. Los mesoporos son los apropiados para moléculas intermedias entre las anteriores.

Por lo tanto, la capacidad de un carbón activo para retener una determinada sustancia no solo depende de su área superficial, sino también de la proporción de poros internos que tenga dicho carbón, y del tamaño de los mismos (un tamaño adecuado para un poro debe oscilar entre 1 y 5 veces el diámetro de la molécula a retener) (Grupo TAR, 2016).

5.2.5 Contenido de ceniza

El residuo que queda después de exponer el carbón activado a una temperatura alrededor de los 600°C hasta que alcanza un peso constante es conocido como ceniza, el cual es expresado en términos de porcentaje en base seca. La capacidad de sorción del carbón y otras propiedades pueden verse influenciadas por la cantidad y composición de estas cenizas. (Macías, 2021).

Para reducir la presencia de ceniza y sus efectos en los procesos, es posible realizar lavados con ácido sobre el carbón activo. Esto es particularmente útil cuando la ceniza afecta significativamente propiedades como la capacidad de adsorción y actúa como un efecto catalítico al activarse con vapor de agua.

Es importante mencionar que, una mayor temperatura de ignición está asociada con un menor contenido de ceniza. Debido a que las cenizas a menudo contienen potasio, óxido de sodio, entre otros metales que pueden actuar como chispas y encender el lecho de carbón.

Asimismo, los carbonos activados comerciales están disponibles en una variedad de orígenes, pero normalmente suelen contener un 3% y un 15% de cenizas, que se encuentra principalmente en forma de óxidos metálicos. Además, la cantidad exacta de cenizas puede determinarse mediante la ignición de una muestra de carbón. (Cabrera, 2013).

6. Metodología Para El Desarrollo Del Proyecto

6.1 Descripción del endocarpio de coco

La metodología utilizada a lo largo de este proyecto fue recopilada de la literatura ya existente, destacando a tres en específico que se utilizaron para describir el proceso llevado a cabo en este proyecto: (Luna, González, Gordon, & Martín, 2007) con el informe “Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco”, (Castro Cortes, Flores García, & Martín Morales, 2009)

con el informe “Elaboración de carbón activado a partir de cáscara de naranja”. La materia prima fue obtenida a través la empresa LALA Nicaragua, en Altagracia, Managua.

6.1.1 Propiedades fisicoquímicas

Análisis próximo (% base masa húmeda)		Análisis último (% masa base seca)	
		C	44.76
Humedad	12.01	O2	44.73
Volátiles	71.45	H2	8.92
Carbón Fijo	15.28	N2	0.16
Cenizas	1.26	S	0.03
		Cenizas	1.40
Total	100	Total	100

Tabla 3: Composición química de fibras lignocelulósicas (Khalil, Alwani & Omar, 2006)

6.2 Recursos, materiales y reactivos

A continuación, se detallan los recursos, materiales y reactivos utilizados para la elaboración de este proyecto.

6.2.1 Recursos

- Fischer Scientific Company Sieve Shakers
- Fischer Scientific Isotemp 825F
- Balanza de precisión Sartorius CP 64
- Nabertherm Muffle Furnace
- Hach DR900 Colorimeter
- Balanza Camry Digital Scale 300kg

6.2.2 Materiales

- Cáscaras de coco
- Beakers de 50 y 100ml
- Papel filtro calibre 40
- Papel toalla

- Papel aluminio
- Cuchillo
- Cápsulas de porcelana
- Pinzas para crisol
- Guantes de tela
- Espátula
- Desecador
- Tubos de ensayo
- Pipetas de 5 y 10ml
- Probetas de 10, 25 y 250ml
- Erlenmeyers de 50 y 100ml
- Pizeta

6.2.3 Reactivos

- H₃PO₄ al 85%
- Agua destilada

6.3 ANALISIS DE PRUEBAS EXPERIMENTAL DEL CARBON ACTIVADO

Este proyecto investigativo de graduación se utilizó el diseño de experimento factorial estadístico (DOE).

1. Estructura del Diseño Factorial = $n2^k$

Para tres factores con dos niveles cada uno (bajo -1 y alto +1),

n: variedad de Coco: es 1

Los tres parámetros (k):

Factor A: Temperatura de carbonización

Factor B: granulometría del carbón activado final

Factor C: absorbancia del carbón activado

el número de experimentos= $(1) 2^3 = 8$. Por tanto

- Son 8 pruebas experimentales de Carbón activado

Para este proyecto de investigación de análisis de experimento por prueba y error se omitió la cantidad de 8 pruebas experimental de carbón activado se tomó una única prueba experimental debido a que se trabajó bajo el proceso Bach a escala de laboratorio donde se tomó una muestra de 25 gramos de cascara de coco,

6.4 Procedimiento

El procedimiento consta de cuatro etapas: pretratamiento, secado, carbonización y activación, conformando un total de 15 pasos (Ver Diagrama 1). Cabe señalar que los cálculos de este proceso son a pequeña escala debido a que están orientados a la obtención de una única muestra final.

6.4.1 Descripción del proceso

- a) **Limpieza:** Limpiar las cáscaras de coco lo mejor posible, retirando la pulpa, el epicarpio, mesocarpio y jugo, dejando solamente el endocarpio del coco con la ayuda de un cuchillo (ver ilustraciones 5 a 8).



Ilustración 5: Materia prima para elaboración de productos comestibles en la empresa LALA.



Ilustración 6: Procesamiento de la materia prima para extraer el material de interés.



Ilustración 7: Material residual del proceso de producción en la empresa LALA.



Ilustración 8: Endocarpio de coco, residuo industrial, limpio y listo para ser procesado como carbón.

- b) **Secado al sol:** Colocar en un recipiente apropiado y dejar secando al sol por 24 horas de sol (aproximadamente 2 días). Se debe considerar que a mayor tiempo de exposición al sol mayor será el porcentaje de humedad removido.
- c) **Molienda:** Reducir el tamaño de las cáscaras secas utilizando un molino, prensa o bien un mortero, asegurando la mínima pérdida de materia posible.
- d) **Tamizar:** Pasar la muestra por un tamiz hasta que las partículas tengan un diámetro adecuado (de 2 a 10mm de diámetro). Una vez tamizado, pesar la muestra para determinar la muestra húmeda inicial.
- e) **Secado en horno convectivo:** Introducir la muestra húmeda en un horno convectivo previamente calentado a 105°C y dejar por un período de 48h. Una vez retirado del horno, se deja enfriar en un desecador y, una vez fría, pesar nuevamente la muestra (ver ilustración).
- f) **Carbonizado (Mufla):** Programar la mufla a 650° C e introducir la muestra seca en un crisol y se deja calcinar durante 30min. Una vez transcurrido el tiempo, retirar y depositar el crisol en el desecador dejando que se enfríe y pesando la materia resultante (ver ilustración 10).



Ilustración 9: Mufla en laboratorio de procesos industriales.



Ilustración 10: Endocarpio recién carbonizado.

- g) **Maceración:** Añadir el ácido fosfórico (H_3PO_4) en una proporción 1:1 por cada gramo de carbón, es decir, 1ml por cada 1.00g. Dejar reposar durante 20min (ver Ilustración 11).



Ilustración 11: Carbón en proceso de activación por método de maceración.

- h) **Secado en horno convectivo:** Introducir la mezcla húmeda en un horno convectivo y calentar a 160°C hasta evaporar todo el ácido (aproximadamente 72h). Monitorear cada 24h para determinar la apropiada evaporación del ácido (ver Ilustración 12).



Ilustración 12: Carbón activado con una evaporación casi total del ácido fosfórico.

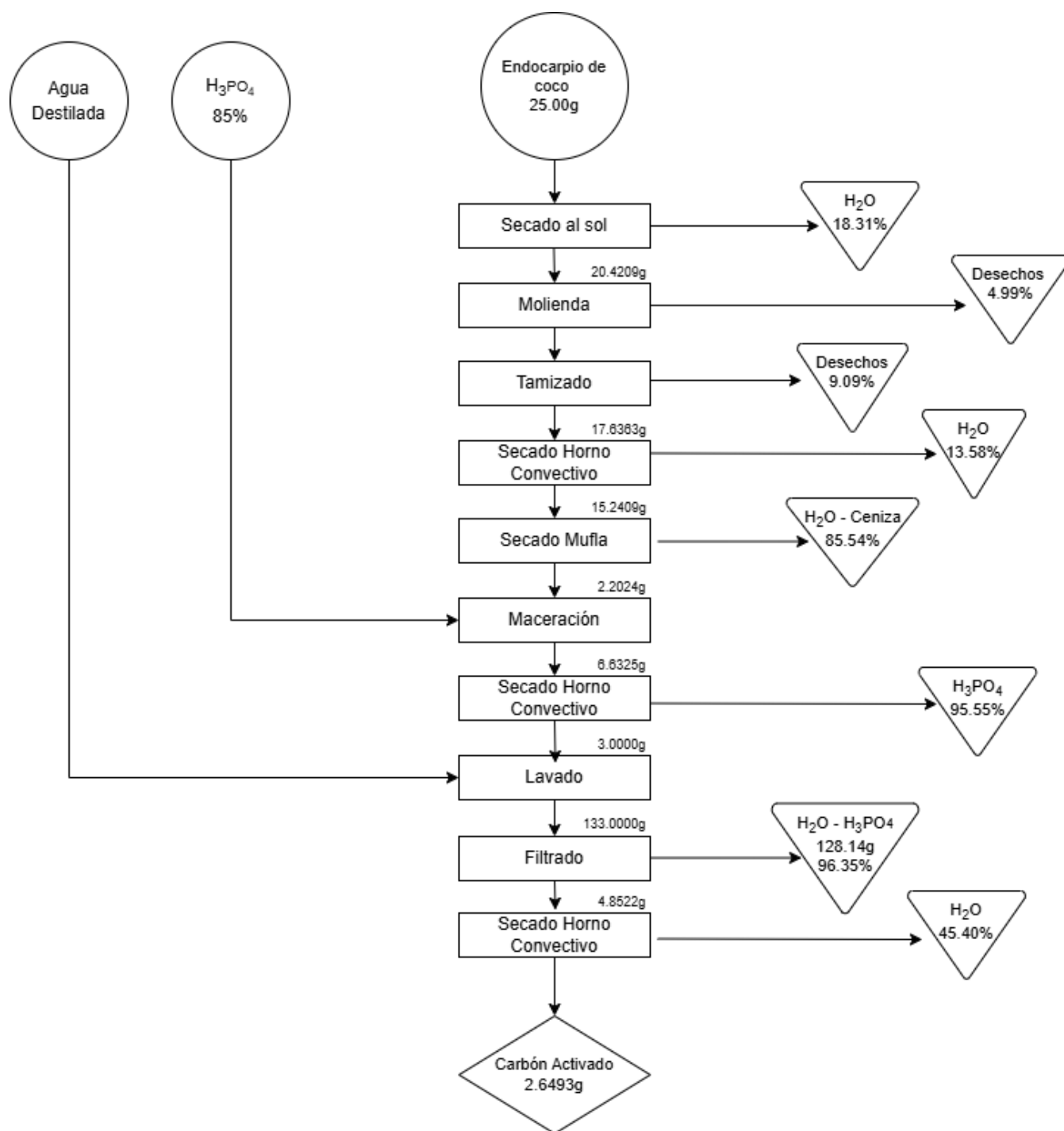
- i) **Lavado:** Enjuagar el carbón con agua destilada para eliminar todos los fosfatos que puedan estar añadidos al carbón, así como eliminar el color negro que desprende el carbón naturalmente.
- j) **Filtrado:** Filtrar la mezcla durante 15 minutos hasta que sea observable la ausencia del líquido, utilizando un embudo (ver ilustración 13).



Ilustración 13: Carbón activado en proceso de lavado y filtrado.

- k) **Secado en horno convectivo:** Introducir nuevamente la muestra en el horno convectivo y se mantiene a 100°C durante 24h horas o hasta que se vea que toda el agua fue evaporada. Una vez que sale del horno se procede a almacenar apropiadamente el producto terminado.

6.4.2 Flujograma del proceso



6.4.3 Determinación del tamaño de partículas

Se procedió por medio de tamizado la terminación del tamaño de partículas que se utiliza a nivel industrial para los tratamientos de aguas residuales, logrando con éxito la obtención de este dato de suma importancia para estos tratamientos.

7. Resultados por capítulos

7.1 procedimiento de obtención de carbón activado

La síntesis del carbón activado se logró satisfactoriamente empleando ácido fosfórico (H_3PO_4) como agente activante en una relación de impregnación específica. El proceso de activación química promovió la deshidratación de la estructura celulósica, evitando la formación de alquitranes durante la pirólisis. Se observó que el ácido actúa como un catalizador que debilita los enlaces laterales de las macromoléculas de lignina a temperaturas moderadas.

El tratamiento térmico en atmósfera inerte permitió la formación de una matriz carbonosa con una estructura esquelética robusta y estable. Tras el proceso de carbonización, se realizó un lavado exhaustivo para eliminar los restos de agente activante y recuperar la porosidad interna. Los resultados indicaron un rendimiento gravimétrico del carbón activado significativamente mayor en comparación con los métodos de activación física convencionales. La morfología superficial del material resultante mostró un incremento notable en la rugosidad y en la apertura de canales de difusión. Esta metodología de activación química demostró ser eficiente para la funcionalización de la superficie del carbón obtenido del endocarpio.

7.2 Análisis comparativo de granulometría

Se realizó un análisis de comparación de granulometría entre el carbón activado que se obtuvo en este proyecto y el carbón activado del laboratorio ambiental, no teniendo ninguna diferencia significativa en la granulometría (2.36mm – 0.595), estos carbones activados granulares

certificado que tienen en el laboratorio de la universidad es de la empresa Alfa Aesar, pertenece a los carbones activados extruidos y es generalmente utilizado para purificación de agua y remoción de sólidos pesados de las aguas residuales.

7.2.1 Balance de materiales en el horno convectivo durante el primer proceso de secado.

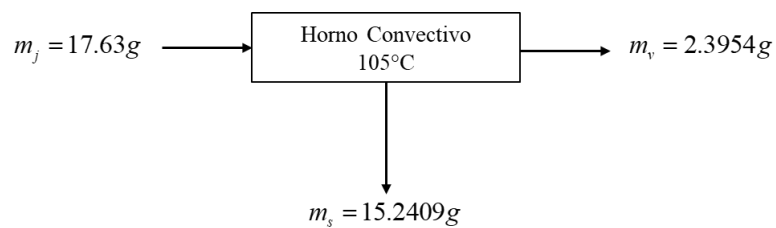
$$m_v = m_j - m_s$$

Donde:

m_v = masa de agua evaporada

m_j = masa húmeda

m_s = masa deshidratada



7.2.2 Balance de materiales en la mufla durante el proceso de carbonización.

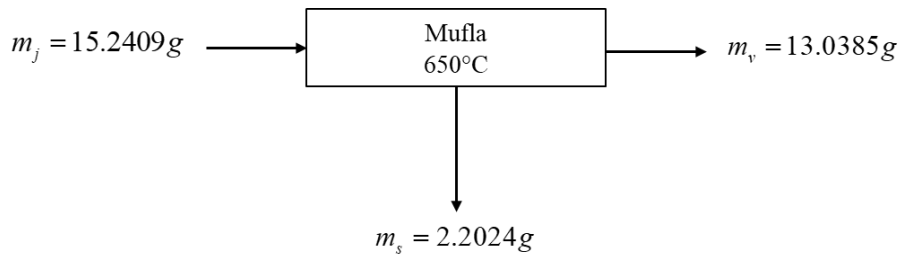
$$m_v = m_j - m_s$$

Donde:

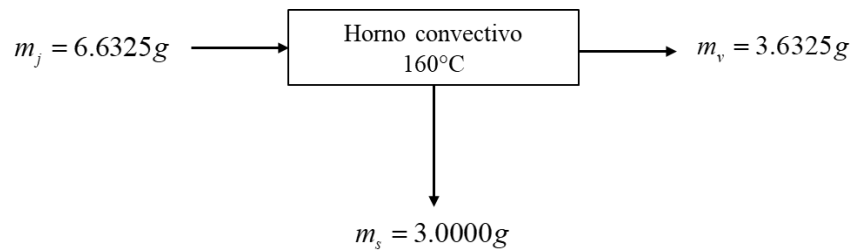
m_v = masa de agua evaporada

m_j = masa húmeda

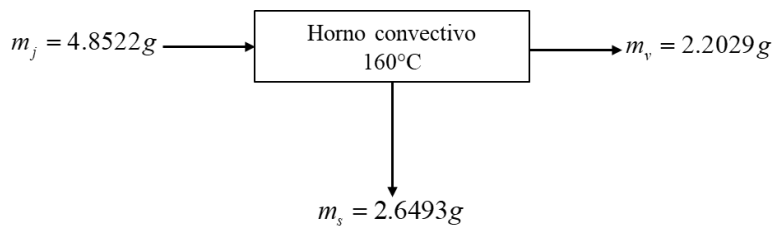
m_s = masa carbonizada



7.2.3 Balance de materiales en el horno convectivo durante el segundo proceso de secado.



7.2.4 Balance de materiales en el horno convectivo durante el tercer proceso de secado.



7.2.5 Cálculo de cenizas durante la carbonización en mufla.

$$\%cenizas = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} * 100$$

Donde:

P_1 = Peso del crisol vacío

P_2 = Peso del crisol con la muestra seca

P_3 = Peso del crisol con las cenizas

$$\%cenizas = 14.4354\%$$

7.3 Cálculo de consumo energético del proceso

7.3.1 Cálculos de energía en materiales en el horno convectivo durante el primer proceso de secado.

- a) Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica del horno a la lámina de acero interna, despreciando el grosor de la resistencia.

$$Q_{c1} = 44.4751 \frac{BTU}{h}$$

- b) Transferencia de calor por conducción del aire caliente del fondo hasta la mitad del horno.

$$Q_{c2} = 1.9024 \frac{BTU}{h}$$

- c) Transferencia de calor por convección del endocarpio de coco que se encuentra en el recipiente.

$$Q_{c3} = 2.5810 \frac{BTU}{h}$$

- d) Transferencia de calor por conducción de la mitad del horno hacia arriba.

$$Q_{c4} = 0.7765 \frac{BTU}{h}$$

- e) Transferencia de calor total

$$Q_T = 49.8199 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_T = 0.0144 \frac{kw}{dia}$$

Por tanto, durante el primer proceso de secado en el horno convectivo se consumieron 0.0144kw en dos días.

7.3.2 Cálculos de energía en la mufla durante el proceso de carbonización

- a) Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica a la lámina de acero interna de la mufla.

$$Q_{c1} = 146.9814 \frac{BTU}{h}$$

- b) Transferencia de calor por conducción del vapor de agua de toda la cámara de la mufla.

$$Q_{c2} = 29.6314 \frac{BTU}{h}$$

- c) Transferencia de calor por convección del endocarpio de coco que se encuentra en el recipiente.

$$Q_{c3} = 9.6929 \frac{BTU}{h}$$

- d) Transferencia de calor total en la mufla

$$Q_T = 186.3057 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_T = 0.0011 \frac{kw}{dia}$$

Por tanto, durante el proceso de carbonización en mufla se consumieron 0.0011kw.

7.3.3 Cálculos de energía en el horno convectivo durante el segundo proceso de secado.

- a) Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica del horno a la lámina de acero interna, despreciando el grosor de la resistencia.

$$Q_{c1} = 63.0334 \frac{BTU}{h}$$

- b) Transferencia de calor por conducción del aire caliente del fondo hasta la mitad del horno.

$$Q_{c2} = 3.1119 \frac{BTU}{h}$$

- c) Transferencia de calor por convección del endocarpio de coco que se encuentra en el recipiente.

$$Q_{c3} = 1.4063 \frac{BTU}{h}$$

- d) Transferencia de calor por conducción de la mitad del horno hacia arriba.

$$Q_{c4} = 1.7903 \frac{BTU}{h}$$

- e) Transferencia de calor total

$$Q_T = 69.3419$$

$$Q_T = 0.0202 \frac{kw}{dia}$$

Por tanto, durante el segundo proceso de secado en el horno convectivo se consumieron 0.0202kw en tres días.

7.3.4 Cálculos de energía en el horno convectivo durante el tercer proceso de secado.

- a) Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica del horno a la lámina de acero interna, despreciando el grosor de la resistencia.

$$Q_{c1} = 42.7461 \frac{BTU}{h}$$

- b) Transferencia de calor por conducción del aire caliente del fondo hasta la mitad del horno.

$$Q_{c2} = 1.8052 \frac{BTU}{h}$$

- c) Transferencia de calor por convección del endocarpio de coco que se encuentra en el recipiente.

$$Q_{c3} = 0.6828 \frac{BTU}{h}$$

- d) Transferencia de calor por conducción de la mitad del horno hacia arriba.

$$Q_{c4} = 0.9511 \frac{BTU}{h}$$

- e) Transferencia de calor total

$$Q_T = 46.1852 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_T = 0.0134 \frac{kw}{dia}$$

Por tanto, durante el tercer proceso de secado en el horno convectivo se consumieron 0.0134kW en 24h. (procedimiento de calculo se encuentra en anexo 1, pagina 36)

8. Conclusiones

La obtención de carbón activado a partir del endocarpio de coco representa una alternativa de altamente eficiente para la gestión de residuos sólidos en la planta Eskimo de Lala Nicaragua. El proceso de carbonización y posterior activación química con ácido fosfórico permite transformar un subproducto desechado en un material adsorbente de alto valor agregado con aplicaciones industriales significativas. Los resultados demuestran que el aprovechamiento de este precursor biogénico no solo optimiza la sostenibilidad operativa de la empresa ubicada en Altagracia, sino que también genera un producto con porosidad desarrollada y alta capacidad de remoción de contaminantes.

Las propiedades fisicoquímicas del endocarpio de *Cocos nucifera* demostró que este residuo posee propiedades idóneas para la síntesis de materiales adsorbentes de alto valor. El análisis a escala de laboratorio de una muestra de 25 gramos reveló un elevado contenido de carbono fijo y una baja proporción de cenizas, factores determinantes que garantizan la estabilidad estructural del precursor durante el proceso térmico. Estas condiciones iniciales confirman que el hueso de coco es una materia prima competitiva frente a otros precursores convencionales en la industria. Por lo tanto, se establece que su composición química facilita la generación de una matriz carbonosa sólida y eficiente para aplicaciones industriales.

Se logró obtener carbón activado mediante una activación química rigurosa empleando 128.14 gramos de ácido fosfórico (H_3PO_4) como agente deshidratante y activante. Esta metodología permitió despolimerizar los componentes orgánicos del endocarpio a temperaturas controladas, optimizando el rendimiento del producto final mediante la creación de una red estructural compleja. La interacción del medio activante con la celulosa y lignina fue fundamental para evitar la contracción del material durante la carbonización, incrementando así el volumen interno de los poros. Se concluye que el uso de H_3PO_4 es un método efectivo para maximizar el desarrollo de sitios activos en la superficie del carbón.

La determinación del tamaño de partícula y la evaluación de la micro-porosidad confirmaron la cantidad obtenida por el proceso de carbonización de 2.6493 gramos teniendo una propiedad de alta capacidad de adsorción, logrando una distribución de poros eficiente para la captura de contaminantes. Los resultados indican que el control granulométrico obtenido es de 2,36 – 0.595 mm donde las condiciones de activación favorecieron la formación de una estructura predominantemente microporosa, esencial para procesos de filtrado de alta precisión. La elevada porosidad alcanzada valida la calidad del carbón producido, asegurando un desempeño óptimo en términos de cinética de transferencia de masa y retención de partículas. En consecuencia, se ratifica que el producto obtenido cumple con los estándares técnicos necesarios para su implementación en sistemas de purificación de agua.

9. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis comparativo entre los factores de temperatura, tiempo y diámetro de partícula para que la carbonización de la materia prima tenga un menor porcentaje de pérdidas.
- Del mismo modo, se sugiere intentar el mismo proceso de obtención del carbón activado, pero con HCl como agente activante y realizar comparaciones cualitativas y cuantitativas (en la medida de lo posible) entre ambos carbones activados resultantes.
- Por otra parte, se recomienda mejorar las técnicas de lavado y filtrado para evitar pérdidas de material a lo largo de todo el proceso y para evitar el desprendimiento de color del carbón.

10. REFERENCIAS

- Carbotecnia. (Abril de 2025). *¿Qué es el carbón activado y para qué sirve?* Recuperado el 10 de enero de 2026, de Carbotecnia.info: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/carbon-activado/que-es-carbon-activado/>
- Carrasco, B., & Londa, E. (2018). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco "Cocos Nucífera L".* Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Forero, C., Castellanos, J., & Sierra, F. (2013). Control de una planta prototipo de gasificación de biomasa mediante redes neuronales. *Ingeniería Mecánica, Tecnología y Desarrollo*, 161-168. Obtenido de SciELO.
- Forero, C., Cediel, A., Hernández, C., Castellanos, J., & Sierra, E. (2012). Oil Palm Empty Bunches Fruits and Coconut Shells Gasification Using a Lab'Scale Downdraft Fixed Bed Gasifier at Universidad Nacional de Colombia. *20th European Biomass Conference and Exhibition*, 1112-1114.
- González, G. V. (2020). *Estudio del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao criollo (Theobroma cacao).* UNAN-Managua.
- Grupo TAR. (2016). *Manual del Carbón Activo.* Recuperado el 10 de enero de 2026, de Aguapedia.net: <https://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
- Gupta, V. K. (July de 2011). Pesticides removal from waste water by activated carbon prepared from waste rubber tire. *Water Research*, 45(13), 4047-4055.
- Kern, D. Q. (1950). *Process Heat Transfer.* McGraw - Hill International Editions.
- Khalil, A., Alwani, S., & Omar, M. (2006). Chemical Composition, Anatomy, Lignin Distribution and Cell Wall Structure of Malaysian Plant Waste Fibers. *Bioresources*, 220-232. Obtenido de

https://bioresources.cnr.ncsu.edu/BioRes_01/BioRes_01_2/BioRes_01_2_220_232_AbdulKhalil_SM_MalaysiaPlantCellWalls.pdf

Labrada Vázquez, B., Sánchez del Campo, A., & Salas Tort, D. (2005). Obtención de Carbón Activado por Método de Activación con Etapa de Lixiviación. *Tecnología Química*, 74-82.

Lara, J. C. (2004). *Obtención de carbón activado a partir de residuos de hueso vacuno a nivel de laboratorio por método químico*. UNI Managua.

Meneses, L. (2006). *Caracterización del carbón activado obtenido a partir de semilla de nancite a escala de laboratorio*. UNI Managua.

Perry, R. (2000). *Manual del Ingeniero Químico* (Vol. I). McGraw Hill.

Rojas, K. (2017). *Valoración de la eficiencia de carbón activado de jícaro sabanero (crescentia alata) y su combinación con óxidos de hierro para la remoción de arsénico en agua*. UNAN-Managua.

Solórzano C., U. K. (2024). *Obtención de carbón activado a partir del endocarpio de coco y aloe vera para su uso en un dentrífico*. Managua: UNI.

11. Anexos

Anexo 1

11.1 Balances de materiales

11.1.1 Balance de materiales en el horno convectivo durante el primer proceso de secado.

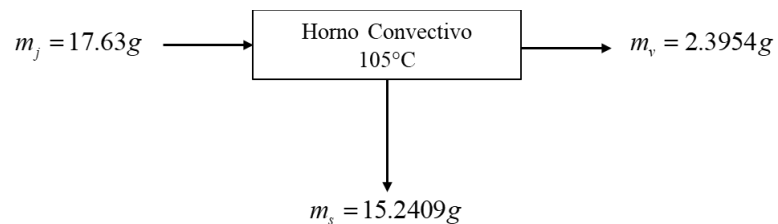
$$m_v = m_j - m_s$$

Donde:

m_v = masa de agua evaporada

m_j = masa húmeda

m_s = masa deshidratada



11.1.2 Balance de materiales en la mufla durante el proceso de carbonización.

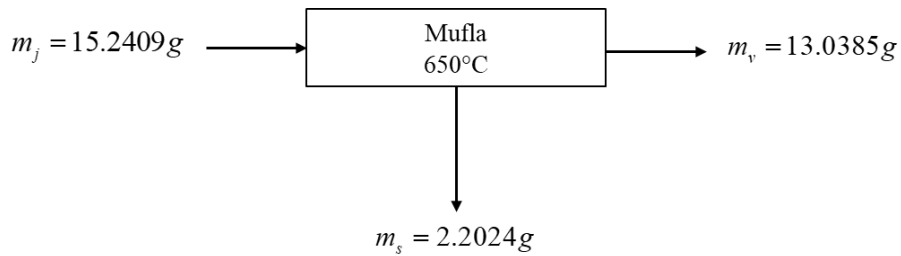
$$m_v = m_j - m_s$$

Donde:

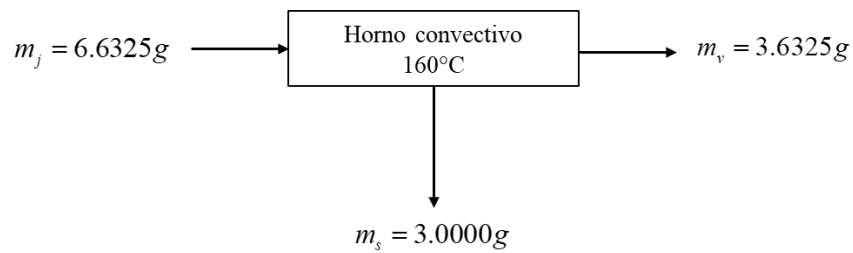
m_v = masa de agua evaporada

m_j = masa húmeda

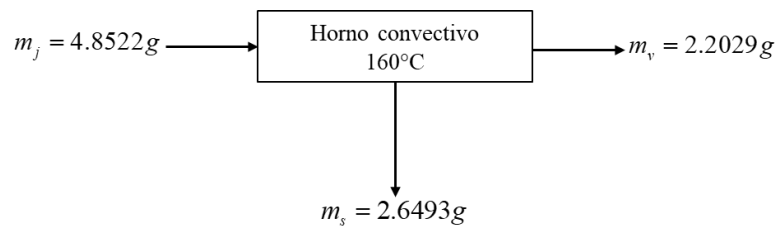
m_s = masa carbonizada



11.1.3 Balance de materiales en el horno convectivo durante el segundo proceso de secado.



11.1.4 Balance de materiales en el horno convectivo durante el tercer proceso de secado



11.1.5 Cálculo de cenizas durante la carbonización en mufla.

$$\%cenizas = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} * 100$$

Donde:

P₁ = Peso del crisol vacío

P₂ = Peso del crisol con la muestra seca

P₃ = Peso del crisol con las cenizas

$$\%cenizas = \frac{29.4424g - 27.24g}{42.4803g - 27.24g} \cdot 100 = 14.4354\%$$

11.2 Cálculo de consumo energético del proceso

11.2.1 Cálculos de energía en materiales en el horno convectivo durante el primer proceso de secado.

- f) Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica del horno a la lámina de acero interna, despreciando el grosor de la resistencia.

$$Q_{C1} = 25.95 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.0114 ft^2}{1.47 ft} \cdot 221^\circ F$$

$$Q_{C1} = 44.4751 \frac{BTU}{h}$$

- g) Transferencia de calor por conducción del aire caliente del fondo hasta la mitad del horno.

$$Q_{C2} = 0.0185 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot 221^\circ F$$

$$Q_{C2} = 1.9024 \frac{BTU}{h}$$

- h) Transferencia de calor por convección del endocarpio de coco que se encuentra en el recipiente.

$$Q_{C3} = 0.0388 \frac{lb}{h} \cdot 0.301 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 221^\circ F = 2.5810 \frac{BTU}{h}$$

- i) Transferencia de calor por conducción de la mitad del horno hacia arriba.

$$Q_{C4} = - \left(0.0127 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot (89.6 - 221)^\circ F \right)$$

$$Q_{C4} = 0.7765 \frac{BTU}{h}$$

- j) Transferencia de calor total

$$Q_T = 44.4751 \frac{BTU}{h} + 1.9024 \frac{BTU}{h} + 2.5810 \frac{BTU}{h} + 0.7765 \frac{BTU}{h} = 49.8199$$

$$Q_T = 49.735 \frac{BTU}{h} \cdot \frac{48h}{2días} \cdot \frac{1hp}{61,056BTU} \cdot \frac{0.74kw}{1hp} = 0.0144 \frac{kw}{día}$$

Por tanto, durante el primer proceso de secado en el horno convectivo se consumieron 0.0144kw en dos días.

11.2.2 Cálculos de energía en la mufla durante el proceso de carbonización

- e) Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica a la lámina de acero interna de la mufla.

$$Q_{C1} = 20.5 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.0068 ft^2}{1.47 ft} \cdot 1,202^\circ F$$

$$Q_{C1} = 146.9814 \frac{BTU}{h}$$

- f) Transferencia de calor por conducción del vapor de agua de toda la cámara de la mufla.

$$Q_{C2} = 0.0504 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.5576 ft^2}{1.14 ft} \cdot 1,202^\circ F$$

$$Q_{C2} = 29.6314 \frac{BTU}{h}$$

- g) Transferencia de calor por convección del endocarpio de coco que se encuentra en el recipiente.

$$Q_{C3} = 0.0336 \frac{lb}{h} \cdot 0.24 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 1,202^\circ F = 9.6929 \frac{BTU}{h}$$

- h) Transferencia de calor total en la mufla

$$Q_T = 146.9814 \frac{BTU}{h} + 29.6314 \frac{BTU}{h} + 9.6929 \frac{BTU}{h} = 186.3057 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_T = 186.3057 \frac{BTU}{h} \cdot \frac{0.5h}{1día} \cdot \frac{1hp}{61,056BTU} \cdot \frac{0.74kw}{1hp} = 0.0011 \frac{kw}{día}$$

Por tanto, durante el proceso de carbonización en mufla se consumieron 0.0011kw.

11.2.3 Cálculos de energía en el horno convectivo durante el segundo proceso de secado.

- f) Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica del horno a la lámina de acero interna, despreciando el grosor de la resistencia.

$$Q_{C1} = 25.4 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.0114 ft^2}{1.47 ft} \cdot 320^\circ F$$

$$Q_{C1} = 63.0334 \frac{BTU}{h}$$

- g) Transferencia de calor por conducción del aire caliente del fondo hasta la mitad del horno.

$$Q_{C2} = 0.0209 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot 320^\circ F$$

$$Q_{C2} = 3.1119 \frac{BTU}{h}$$

- h) Transferencia de calor por convección del endocarpio de coco que se encuentra en el recipiente.

$$Q_{C3} = 0.0146 \frac{lb}{h} \cdot 0.301 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 320^\circ F = 1.4063 \frac{BTU}{h}$$

- i) Transferencia de calor por conducción de la mitad del horno hacia arriba.

$$Q_{C4} = - \left(0.0167 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot (89.6 - 320)^\circ F \right)$$

$$Q_{C4} = 1.7903 \frac{BTU}{h}$$

- j) Transferencia de calor total

$$Q_T = 63.0334 \frac{BTU}{h} + 3.1119 \frac{BTU}{h} + 1.4063 \frac{BTU}{h} + 1.7903 \frac{BTU}{h} = 69.3419$$

$$Q_T = 69.3419 \frac{BTU}{h} \cdot \frac{72h}{3dias} \cdot \frac{1hp}{61,056BTU} \cdot \frac{0.74kw}{1hp} = 0.0202 \frac{kw}{dia}$$

Por tanto, durante el segundo proceso de secado en el horno convectivo se consumieron 0.0202kw en tres días.

11.2.4 Cálculos de energía en el horno convectivo durante el tercer proceso de secado.

- f) Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica del horno a la lámina de acero interna, despreciando el grosor de la resistencia.

$$Q_{C1} = 26 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.0114 ft^2}{1.47 ft} \cdot 212^\circ F$$

$$Q_{C1} = 42.7461 \frac{BTU}{h}$$

- g) Transferencia de calor por conducción del aire caliente del fondo hasta la mitad del horno.

$$Q_{C2} = 0.0183 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot 212^\circ F$$

$$Q_{C2} = 1.8052 \frac{BTU}{h}$$

- h) Transferencia de calor por convección del endocarpio de coco que se encuentra en el recipiente.

$$Q_{C3} = 0.0107 \frac{lb}{h} \cdot 0.301 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 212^\circ F = 0.6828 \frac{BTU}{h}$$

- i) Transferencia de calor por conducción de la mitad del horno hacia arriba.

$$Q_{C4} = - \left(0.0167 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot (89.6 - 212)^\circ F \right)$$

$$Q_{C4} = 0.9511 \frac{BTU}{h}$$

- j) Transferencia de calor total

$$Q_T = 42.7461 \frac{BTU}{h} + 1.8052 \frac{BTU}{h} + 0.6828 \frac{BTU}{h} + 0.9511 \frac{BTU}{h} = 46.1852$$

$$Q_T = 46.1852 \frac{BTU}{h} \cdot \frac{24h}{1dia} \cdot \frac{1hp}{61,056BTU} \cdot \frac{0.74kw}{1hp} = 0.0134 \frac{kw}{dia}$$

Por tanto, durante el tercer proceso de secado en el horno convectivo se consumieron 0.0134kW en 24h.

11.3 Cálculo Energético Total Del Proceso

11.3.1 Cálculo Energético En La Primera Etapa De Secado El Horno Convectivo Del Laboratorio De Operaciones Unitarias.

El horno fue precalentado por 30 minutos hasta alcanzar una temperatura de 105°C. Se introduce la muestra a 32°C, transcurridos 15 minutos la muestra alcanza los 105°C (temperatura isotérmica). Dicho aumento se considera despreciable para los cálculos del estudio, por lo tanto $\Delta t = 105^\circ C$. El calor total durante el proceso viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_T = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + Q_{C4}$$

Donde

Q_{C1} = Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica del horno a la lámina interna del horno.

Q_{C2} = Transferencia de calor por conducción del aire seco de la primera parte del horno.

Q_{C3} = Transferencia de calor por convección al endocarpio de coco.

Q_{C4} = Transferencia de calor por conducción del vapor de agua hacia afuera del horno.

a) Transferencia De Calor Por Conducción De La Resistencia Eléctrica Del Horno A La Lámina De Acero Interna, Despreciando El Grosor De La Resistencia.

Ecuación de transferencia de calor por conducción

$$Q = k \cdot \frac{A}{L} \cdot \Delta t$$

Donde:

κ = Conductividad térmica

L = Grosor de la lámina

A = Área de la lámina

ΔT = Diferencial de temperatura

Datos de la lámina:

$$L = 1.47 \text{ ft}$$

$$a = 1.14 \text{ ft}$$

$$h = 0.01 \text{ ft}$$

$$\text{Área de la lámina} = a \cdot h = 1.14 \text{ ft} \cdot 0.01 \text{ ft} = 0.0114 \text{ ft}^2$$

Para obtener el dato de conductividad térmica del acero a 105°C (o 221°F) se realizó una interpolación lineal utilizando datos de la tabla 3 del apéndice de datos de cálculo en (Kern, 1950).

Fórmula de interpolación lineal:

$$Y = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot x - x_1 \right) + y_1$$

Donde

$$x_1 = 212^\circ\text{F}$$

$$X = 221^\circ\text{F}$$

$$x_2 = 1,112^\circ\text{F}$$

$$y_1 = 26 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} / \text{ft}}$$

$$y_2 = 21 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} / \text{ft}}$$

Aplicando la fórmula obtenemos el valor de la conductividad térmica:

$$Y = \left(\frac{21 - 26}{1,112 - 212} \cdot 221 - 212 \right) + 26$$

$$k = 25.95 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft}$$

Cálculo de Q_{C1}

$$Q_{C1} = 25.95 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.0114 ft^2}{1.47 ft} \cdot 221^\circ F$$

$$Q_{C1} = 44.4751 \frac{BTU}{h}$$

b) Transferencia De Calor Por Conducción Del Aire Caliente Del Fondo Hasta La Mitad Del Horno.

Datos de la mitad del horno:

$$L = 1.47 ft$$

$$a = 1.14 ft$$

$$h = 0.6 ft$$

$$\text{Área de la mitad del horno: } 1.14 ft \cdot 0.6 ft = 0.684 ft^2$$

Para obtener el dato de conductividad térmica del aire a $105^\circ C$ (o $221^\circ F$) se realizó una interpolación lineal utilizando datos de la tabla 5 del apéndice de datos de cálculo en (Kern, 1950).

Fórmula de interpolación lineal:

$$Y = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot X - x_1 \right) + y_1$$

Donde:

$$x_1 = 212^{\circ}F$$

$$X = 221^{\circ}F$$

$$x_2 = 392^{\circ}F$$

$$y_1 = 0.0226 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

$$y_2 = 0.0183 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

Aplicando la fórmula:

$$Y = \left(\frac{0.0226 - 0.0183}{392 - 212} \cdot 221 - 212 \right) + 0.0183$$

$$k = 0.0185 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

Cálculo de Q_{C2}

$$Q_{C2} = 0.0185 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot 221^{\circ}F$$

$$Q_{C2} = 1.9024 \frac{BTU}{h}$$

c) Transferencia De Calor Por Convección Del Endocarpio De Coco Que Se Encuentra En El Recipiente.

Se despreció la transferencia de calor del recipiente y la parrilla que lo sostiene, se considera este mecanismo de transferencia de calor debido a la interacción entre la humedad del endocarpio húmedo y el aire caliente dentro del horno.

Al no tener un valor de calor específico para endocarpio de coco se tomó el valor de calor específico de carbón, encontrado en la tabla 3-329 "Propiedades termofísicas de algunas sustancias sólidas no metálicas" en (Perry, 2000).

$$C_p = 1.27 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \rightarrow C_p = 0.301 \frac{BTU}{lb \cdot ^{\circ}F}$$

Se toma el peso del endocarpio de coco a la entrada del horno para determinar el flujo másico.

$$m_L = 17.6363g \rightarrow 0.0388lb$$

$$\dot{m}_L = 0.0388 \frac{lb}{h}$$

Fórmula para transferencia de calor por convección

$$Q_{C3} = \dot{m}_L \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Calculando Q_{C3}

$$Q_{C3} = 0.0388 \frac{lb}{h} \cdot 0.301 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 221^\circ F = 2.5810 \frac{BTU}{h}$$

d) Transferencia De Calor Por Conducción De La Mitad Del Horno Hacia Arriba

Donde Hay Una Salida De Vapor.

Se desprecia la mezcla por efecto natural que hay entre el vapor de agua y el aire caliente y se considera en el estudio que el ambiente es de puro vapor de agua que se desplaza hacia afuera del horno secador.

Diferencial de temperatura:

$$\Delta t = \frac{89.6^\circ F + 221^\circ F}{2} = 155.3^\circ F$$

Datos de la mitad del horno:

$$L = 1.47 \text{ ft}$$

$$a = 1.14 \text{ ft}$$

$$h = 0.6 \text{ ft}$$

$$\text{Área de la mitad del horno: } a \cdot h = 1.14 \text{ ft} \cdot 0.6 \text{ ft} = 0.684 \text{ ft}^2$$

Para obtener el dato de conductividad térmica del vapor de agua a 105°C (o 221°F) se realizó una interpolación lineal utilizando datos de la tabla 5 del apéndice de datos de cálculo en (Kern, 1950).

Fórmula de interpolación lineal:

$$Y = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot X - x_1 \right) + y_1$$

Donde:

$$x_1 = 115^\circ F$$

$$X = 155.3^\circ F$$

$$x_2 = 212^\circ F$$

$$y_1 = 0.0120 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft}$$

$$y_2 = 0.0137 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft}$$

Aplicando la formula:

$$Y = \left(\frac{0.0137 - 0.0120}{212 - 115} \cdot 150.8 - 115 \right) + 0.0120$$

$$k = 0.0126 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft}$$

Ecuación de transferencia de calor por conducción es negativa porque en el proceso cede el calor al ambiente.

$$Q = -k \cdot \frac{A}{L} \cdot \Delta t$$

$$Q_{C4} = - \left(0.0127 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot (89.6 - 221)^\circ F \right)$$

$$Q_{C4} = 0.7765 \frac{BTU}{h}$$

e) Transferencia De Calor Total

$$Q_T = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + Q_{C4}$$

$$Q_T = 44.4751 \frac{BTU}{h} + 1.9024 \frac{BTU}{h} + 2.5810 \frac{BTU}{h} + 0.7765 \frac{BTU}{h} = 49.8199$$

$$Q_T = 49.735 \frac{BTU}{h} \cdot \frac{48h}{2días} \cdot \frac{1hp}{61,056BTU} \cdot \frac{0.74kw}{1hp} = 0.0144 \frac{kw}{día}$$

Por tanto, durante el primer proceso de secado en el horno convectivo se consumieron 0.0144kw en dos días.

11.3.2 Cálculo Energético En La Etapa De Carbonización En Mufla.

La mufla se precalienta la mufla durante 10 min hasta alcanzar la temperatura de 650°C. Se introduce la muestra al horno con temperatura de 32 °C tardando 15 minutos en alcanzar los 650°C (isotérmica), la parte de aumento de temperatura y la mezcla de aire caliente con vapor de agua son despreciables para el estudio y se considera $\Delta t = 650^\circ\text{C}$ o 1,202°F. El calor total durante el proceso viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_T = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + Q_{C4}$$

Donde

Q_{C1} = Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica del horno a la lámina interna del horno.

Q_{C2} = Transferencia de calor por conducción del aire seco de la primera parte del horno.

Q_{C3} = Transferencia de calor por convección al endocarpio de coco.

Q_{C4} = Transferencia de calor por conducción del vapor de agua hacia afuera del horno.

**a) Transferencia De Calor Por Conducción De La Resistencia Eléctrica
A La Lámina De Acero Interna De La Mufla.**

La lámina del fondo es de 0.010ft de grosor, se desprecia el grosor de la resistencia eléctrica ubicada en la parte inferior del equipo.

Ecuación de transferencia de calor por conducción

$$Q = k \cdot \frac{A}{L} \cdot \Delta t$$

Donde:

κ = Conductividad térmica

L = Grosor de la lámina

A = Área de la lámina

ΔT = Diferencial de temperatura

Datos de la lámina:

$$L = 1.14 \text{ ft}$$

$$a = 0.01 \text{ ft}$$

$$h = 0.68 \text{ ft}$$

$$\text{Área de la lámina} = a \cdot h = 0.68 \text{ ft} \cdot 0.01 \text{ ft} = 0.0068 \text{ ft}^2$$

Para obtener el dato de conductividad térmica del acero a 105°C (o 221°F) se realizó una extrapolación lineal utilizando datos de la tabla 3 del apéndice de datos de cálculo en (Kern, 1950).

Fórmula de extrapolación lineal:

$$y_2 = \left(\frac{Y - y_1}{X - x_1} \cdot x_2 - x_1 \right) + y_1$$

Donde

$$x_1 = 212^{\circ}F$$

$$X = 1,112^{\circ}F$$

$$x_2 = 1,202^{\circ}F$$

$$y_1 = 26 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

$$Y = 21 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

Aplicando la fórmula obtenemos el valor de la conductividad térmica:

$$y_2 = \left(\frac{21 - 26}{1,112 - 212} \cdot 1,202 - 212 \right) + 26$$

$$k = 20.5 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

Cálculo de Q_{C1}

$$Q_{C1} = 20.5 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft} \cdot \frac{0.0068 ft^2}{1.47 ft} \cdot 1,202^{\circ}F$$

$$Q_{C1} = 146.9814 \frac{BTU}{h}$$

b) Transferencia De Calor Por Conducción Del Vapor De Agua De Toda La Cámara De La Mufla.

Datos de la cámara interna de la mufla:

$$L = 1.14 ft$$

$$a = 0.82 ft$$

$$h = 0.68 ft$$

$$\text{Área de la mitad del horno: } 0.82 ft \cdot 0.68 ft = 0.5576 ft^2$$

Para obtener el dato de conductividad térmica del vapor de agua a $1,202^{\circ}F$ se realizó una interpolación lineal utilizando datos de la tabla 5 del apéndice de datos de cálculo en (Kern, 1950).

Fórmula de extrapolación lineal:

$$y_2 = \left(\frac{Y - y_1}{X - x_1} \cdot x_2 - x_1 \right) + y_1$$

Donde

$$x_1 = 752^{\circ}F$$

$$X = 932^{\circ}F$$

$$x_2 = 1,202^{\circ}F$$

$$y_1 = 0.0315 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

$$Y = 0.0441 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

Aplicando la fórmula obtenemos el valor de la conductividad térmica:

$$y_2 = \left(\frac{0.0441 - 0.0315}{932 - 752} \cdot 1,202 - 932 \right) + 0.0315$$

$$k = 0.0504 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

Cálculo de Q_{C2}

$$Q_{C2} = 0.0504 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft} \cdot \frac{0.5576 ft^2}{1.14 ft} \cdot 1,202^{\circ}F$$

$$Q_{C2} = 29.6314 \frac{BTU}{h}$$

c) Transferencia De Calor Por Convección Del Endocarpio De Coco Que Se Encuentra En El Recipiente.

Se despreció la transferencia de calor del recipiente y la parrilla que lo sostiene, se considera este mecanismo de transferencia de calor debido a la interacción entre la humedad del endocarpio húmedo y el aire caliente dentro del horno.

Al no tener un valor de calor específico para carbón activado de coco se consideró para el cálculo el calor específico de carbón vegetal a 650°, obtenido a través de la base de datos de “The engineering toolbox”.

$$C_p = 0.24 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F}$$

Se toma el peso del endocarpio de coco a la entrada del horno para determinar el flujo másico.

$$m_L = 15.2409g \rightarrow 0.0336lb$$

$$\dot{m}_L = 0.0336 \frac{lb}{h}$$

Fórmula para transferencia de calor por convección

$$Q_{C3} = \dot{m}_L \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Calculando Q_{C3}

$$Q_{C3} = 0.0336 \frac{lb}{h} \cdot 0.24 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 1,202^\circ F = 9.6929 \frac{BTU}{h}$$

d) Transferencia De Calor Total en La Mufla.

$$Q_T = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3}$$

$$Q_T = 146.9814 \frac{BTU}{h} + 29.6314 \frac{BTU}{h} + 9.6929 \frac{BTU}{h} = 186.3057 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_T = 186.3057 \frac{BTU}{h} \cdot \frac{0.5h}{1dia} \cdot \frac{1hp}{61,056BTU} \cdot \frac{0.74kw}{1hp} = 0.0011 \frac{kw}{dia}$$

Por tanto, durante el proceso de carbonización en mufla se consumieron 0.0011kw.

11.3.3 Cálculo Energético En La Segunda Etapa De Secado Realizado En El Horno Convectivo Del Laboratorio De Operaciones Unitarias.

El horno fue precalentado por 30 minutos hasta alcanzar una temperatura de 160°C. Se introduce la muestra a 32°C, transcurridos 15 minutos la muestra alcanza los 160°C (temperatura isotérmica). Dicho aumento se considera despreciable para los cálculos del estudio, por lo tanto $\Delta t = 160^\circ\text{C}$. El calor total durante el proceso viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_T = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + Q_{C4}$$

Donde

Q_{C1} = Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica del horno a la lámina interna del horno.

Q_{C2} = Transferencia de calor por conducción del aire seco de la primera parte del horno.

Q_{C3} = Transferencia de calor por convección al carbón activado.

Q_{C4} = Transferencia de calor por conducción del vapor de agua hacia afuera del horno.

a) Transferencia De Calor Por Conducción De La Resistencia Eléctrica Del Horno A La Lámina De Acero Interna, Despreciando El Grosor De La Resistencia.

Ecuación de transferencia de calor por conducción

$$Q = k \cdot \frac{A}{L} \cdot \Delta t$$

Donde:

κ = Conductividad térmica

L = Grosor de la lámina

A = Área de la lámina

ΔT = Diferencial de temperatura

Datos de la lámina:

$$L = 1.47 \text{ ft}$$

$$a = 1.14 \text{ ft}$$

$$h = 0.01 \text{ ft}$$

$$\text{Área de la lámina} = a \cdot h = 1.14 \text{ ft} \cdot 0.01 \text{ ft} = 0.0114 \text{ ft}^2$$

Para obtener el dato de conductividad térmica del acero a 160°C (o 320°F) se realizó una interpolación lineal utilizando datos de la tabla 3 del apéndice de datos de cálculo en (Kern, 1950).

Fórmula de interpolación lineal:

$$Y = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot X - x_1 \right) + y_1$$

Donde

$$x_1 = 212^\circ\text{F}$$

$$X = 320^\circ\text{F}$$

$$x_2 = 1,112^\circ\text{F}$$

$$y_1 = 26 \frac{\text{BTU}}{h \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} / \text{ft}}$$

$$y_2 = 21 \frac{\text{BTU}}{h \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} / \text{ft}}$$

Aplicando la fórmula obtenemos el valor de la conductividad térmica:

$$Y = \left(\frac{21 - 26}{1,112 - 212} \cdot 320 - 212 \right) + 26$$

$$k = 25.4 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} / \text{ft}}$$

Cálculo de Q_{C1}

$$Q_{C1} = 25.4 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.0114 ft^2}{1.47 ft} \cdot 320^\circ F$$

$$Q_{C1} = 63.0334 \frac{BTU}{h}$$

***b) Transferencia De Calor Por Conducción Del Aire Caliente Del Fondo
Hasta La Mitad Del Horno.***

Datos de la mitad del horno:

$$L = 1.47 ft$$

$$a = 1.14 ft$$

$$h = 0.6 ft$$

$$\text{Área de la mitad del horno: } 1.14 ft \cdot 0.6 ft = 0.684 ft^2$$

Para obtener el dato de conductividad térmica del aire a $105^\circ C$ (o $221^\circ F$) se realizó una interpolación lineal utilizando datos de la tabla 5 del apéndice de datos de cálculo en (Kern, 1950).

Fórmula de interpolación lineal:

$$Y = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot X - x_1 \right) + y_1$$

Donde:

$$x_1 = 212^\circ F$$

$$X = 320^\circ F$$

$$x_2 = 392^\circ F$$

$$y_1 = 0.0226 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft}$$

$$y_2 = 0.0183 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft}$$

Aplicando la fórmula:

$$Y = \left(\frac{0.0226 - 0.0183}{392 - 212} \cdot 320 - 212 \right) + 0.0183$$

$$k = 0.0209 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft}$$

Cálculo de Q_{C2}

$$Q_{C2} = 0.0209 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot 320^\circ F$$

$$Q_{C2} = 3.1119 \frac{BTU}{h}$$

c) Transferencia De Calor Por Convección Del Endocarpio De Coco Que Se Encuentra En El Recipiente.

Se despreció la transferencia de calor del recipiente y la parrilla que lo sostiene, se considera este mecanismo de transferencia de calor debido a la interacción entre la humedad del carbón activado y macerado con el aire caliente dentro del horno.

Al no tener un valor de calor específico para endocarpio de coco se tomó el valor de calor específico de carbón, encontrado en la tabla 3-329 "Propiedades termofísicas de algunas sustancias sólidas no metálicas" en (Perry, 2000).

$$C_p = 1.27 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \rightarrow C_p = 0.301 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F}$$

Se toma el peso del endocarpio de coco a la entrada del horno para determinar el flujo másico.

$$m_L = 6.6325g \rightarrow 0.0146lb$$

$$\dot{m}_L = 0.0146 \frac{lb}{h}$$

Fórmula para transferencia de calor por convección

$$Q_{C3} = \dot{m}_L \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Calculando Q_{C3}

$$Q_{C3} = 0.0146 \frac{lb}{h} \cdot 0.301 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 320^\circ F = 1.4063 \frac{BTU}{h}$$

d) Transferencia De Calor Por Conducción De La Mitad Del Horno Hacia

Arriba Donde Hay Una Salida De Vapor

Se desprecia la mezcla por efecto natural que hay entre el vapor de agua y el aire caliente y se considera en el estudio que el ambiente es de puro vapor de agua que se desplaza hacia afuera del horno secador.

$$\Delta t = \frac{89.6^\circ F + 320^\circ F}{2} = 204.8^\circ F$$

Datos de la mitad del horno:

$$L = 1.47 \text{ ft}$$

$$a = 1.14 \text{ ft}$$

$$h = 0.6 \text{ ft}$$

$$\text{Área de la mitad del horno: } a \cdot h = 1.14 \text{ ft} \cdot 0.6 \text{ ft} = 0.684 \text{ ft}^2$$

Para obtener el dato de conductividad térmica del vapor de agua a 160°C (o 320°F) se realizó una interpolación lineal utilizando datos de la tabla 5 del apéndice de datos de cálculo en (Kern, 1950).

Fórmula de interpolación lineal:

$$Y = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot X - x_1 \right) + y_1$$

Donde:

$$x_1 = 212^{\circ}F$$

$$X = 320^{\circ}F$$

$$x_2 = 392^{\circ}F$$

$$y_1 = 0.0137 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

$$y_2 = 0.0187 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

Aplicando la formula:

$$Y = \left(\frac{0.0187 - 0.0137}{392 - 212} \cdot 320 - 212 \right) + 0.0137$$

$$k = 0.0167 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

Ecuación de transferencia de calor por conducción es negativa porque en el proceso cede el calor al ambiente.

$$Q = -k \cdot \frac{A}{L} \cdot \Delta t$$

$$Q_{C4} = - \left(0.0167 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot (89.6 - 320)^{\circ}F \right)$$

$$Q_{C4} = 1.7903 \frac{BTU}{h}$$

e) **Transferencia De Calor Total**

$$Q_T = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + Q_{C4}$$

$$Q_T = 63.0334 \frac{BTU}{h} + 3.1119 \frac{BTU}{h} + 1.4063 \frac{BTU}{h} + 1.7903 \frac{BTU}{h} = 69.3419$$

$$Q_T = 69.3419 \frac{BTU}{h} \cdot \frac{72h}{3dias} \cdot \frac{1hp}{61,056BTU} \cdot \frac{0.74kw}{1hp} = 0.0202 \frac{kw}{dia}$$

Por tanto, durante el segundo proceso de secado en el horno convectivo se consumieron

0.0202kw en tres días.

11.3.4 Cálculo Energético En La Tercera Etapa De Secado Realizado En El Horno Convectivo Del Laboratorio De Operaciones Unitarias.

El horno fue precalentado por 30 minutos hasta alcanzar una temperatura de 100°C. Se introduce la muestra a 32°C, transcurridos 15 minutos la muestra alcanza los 100°C (temperatura isotérmica). Dicho aumento se considera despreciable para los cálculos del estudio, por lo tanto $\Delta t = 100^\circ\text{C}$. El calor total durante el proceso viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_T = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + Q_{C4}$$

Donde:

Q_{C1} = Transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica del horno a la lámina interna del horno.

Q_{C2} = Transferencia de calor por conducción del aire seco de la primera parte del horno.

Q_{C3} = Transferencia de calor por convección al endocarpio de coco.

Q_{C4} = Transferencia de calor por conducción del vapor de agua hacia afuera del horno.

a) Transferencia De Calor Por Conducción De La Resistencia Eléctrica Del Horno A La Lámina De Acero Interna, Despreciando El Grosor De La Resistencia.

Ecuación de transferencia de calor por conducción

$$Q = k \cdot \frac{A}{L} \cdot \Delta t$$

Donde:

κ = Conductividad térmica

A = Área de la lámina

L = Grosor de la lámina

ΔT = Diferencial de temperatura

Datos de la lámina:

$$L = 1.47 \text{ ft}$$

$$a = 1.14 \text{ ft}$$

$$h = 0.01 \text{ ft}$$

$$\text{Área de la lámina} = a \cdot h = 1.14 \text{ ft} \cdot 0.01 \text{ ft} = 0.0114 \text{ ft}^2$$

Valor de conductividad térmica del acero a 100°C (o 212°F) obtenidos de la tabla 3 del apéndice de datos de cálculo en (Kern, 1950).

$$k = 26 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft}$$

Cálculo de Q_{C1}

$$Q_{C1} = 26 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.0114 \text{ ft}^2}{1.47 \text{ ft}} \cdot 212^\circ F$$

$$Q_{C1} = 42.7461 \frac{BTU}{h}$$

b) Transferencia De Calor Por Conducción Del Aire Caliente Del Fondo Hasta La Mitad Del Horno.

Datos de la mitad del horno:

$$L = 1.47 \text{ ft}$$

$$a = 1.14 \text{ ft}$$

$$h = 0.6 \text{ ft}$$

$$\text{Área de la mitad del horno: } 1.14 \text{ ft} \cdot 0.6 \text{ ft} = 0.684 \text{ ft}^2$$

Valor de conductividad térmica del aire a 100°C (o 212°F) obtenidos de la tabla 3 del apéndice de datos de cálculo en (Kern, 1950).

$$k = 0.0183 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft}$$

Cálculo de Q_{C2}

$$Q_{C2} = 0.0183 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot 212^\circ F$$

$$Q_{C2} = 1.8052 \frac{BTU}{h}$$

c) Transferencia De Calor Por Convección Del Endocarpio De Coco Que Se Encuentra En El Recipiente.

Se despreció la transferencia de calor del recipiente y la parrilla que lo sostiene, se considera este mecanismo de transferencia de calor debido a la interacción entre la humedad del carbón activado y el aire caliente dentro del horno.

Al no tener un valor de calor específico para carbón activado de endocarpio de coco se tomó el valor de calor específico de carbón, encontrado en la tabla 3-329 “Propiedades termofísicas de algunas sustancias sólidas no metálicas” en (Perry, 2000).

$$Cp = 1.27 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \rightarrow Cp = 0.301 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F}$$

Se toma el peso del endocarpio de coco a la entrada del horno para determinar el flujo másico.

$$m_L = 4.8522g \rightarrow 0.0107lb$$

$$\dot{m}_L = 0.0107 \frac{lb}{h}$$

Fórmula para transferencia de calor por convección

$$Q_{C3} = \dot{m}_L \cdot Cp \cdot \Delta T$$

Calculando Q_{c3}

$$Q_{c3} = 0.0107 \frac{lb}{h} \cdot 0.301 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 212^\circ F = 0.6828 \frac{BTU}{h}$$

d) Transferencia De Calor Por Conducción De La Mitad Del Horno Hacia Arriba

Donde Hay Una Salida De Vapor.

Se desprecia la mezcla por efecto natural que hay entre el vapor de agua y el aire caliente y se considera en el estudio que el ambiente es de puro vapor de agua que se desplaza hacia afuera del horno secador.

Diferencial de temperatura:

$$\Delta t = \frac{89.6^\circ F + 212^\circ F}{2} = 150.8^\circ F$$

Datos de la mitad del horno:

$$L = 1.47 \text{ ft}$$

$$a = 1.14 \text{ ft}$$

$$h = 0.6 \text{ ft}$$

$$\text{Área de la mitad del horno: } a \cdot h = 1.14 \text{ ft} \cdot 0.6 \text{ ft} = 0.684 \text{ ft}^2$$

Para obtener el dato de conductividad térmica del vapor de agua realizó una interpolación lineal utilizando datos de la tabla 5 del apéndice de datos de cálculo en (Kern, 1950).

Fórmula de interpolación lineal:

$$Y = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot X - x_1 \right) + y_1$$

Donde:

$$x_1 = 212^{\circ}F$$

$$X = 320^{\circ}F$$

$$x_2 = 392^{\circ}F$$

$$y_1 = 0.0137 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

$$y_2 = 0.0187 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

Aplicando la formula:

$$Y = \left(\frac{0.0187 - 0.0137}{392 - 212} \cdot 320 - 212 \right) + 0.0137$$

$$k = 0.0167 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft}$$

Ecuación de transferencia de calor por conducción es negativa porque en el proceso cede el calor al ambiente.

$$Q = -k \cdot \frac{A}{L} \cdot \Delta t$$

$$Q_{C4} = - \left(0.0167 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F / ft} \cdot \frac{0.684 ft^2}{1.47 ft} \cdot (89.6 - 212)^{\circ}F \right)$$

$$Q_{C4} = 0.9511 \frac{BTU}{h}$$

e) **Transferencia Total De Calor**

$$Q_T = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + Q_{C4}$$

$$Q_T = 42.7461 \frac{BTU}{h} + 1.8052 \frac{BTU}{h} + 0.6828 \frac{BTU}{h} + 0.9511 \frac{BTU}{h} = 46.1852$$

$$Q_T = 46.1852 \frac{BTU}{h} \cdot \frac{24h}{1dia} \cdot \frac{1hp}{61,056 BTU} \cdot \frac{0.74kw}{1hp} = 0.0134 \frac{kw}{dia}$$

Por tanto, durante el tercer proceso de secado en el horno convectivo se consumieron 0.0134kW en 24h.

11.4 Anexo 2 Tablas utilizadas.

800

PROCESS HEAT TRANSFER

TABLE 4. THERMAL CONDUCTIVITIES OF LIQUIDS*

$$k = \text{Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$$

A linear variation with temperature may be assumed. The extreme values given constitute also the temperature limits over which the data are recommended.

Liquid	$^\circ\text{F}$	k	Liquid	$^\circ\text{F}$	k
Acetic acid 100 %	68	0.099	Heptyl alcohol (n-)	86	0.094
50 %	68	0.20	Hexyl alcohol (n-)	167	0.091
Acetone	86	0.102		86	0.093
Allyl alcohol	167	0.095		167	0.090
Ammonia	77-86	0.104	Kerosene	68	0.086
Ammonia, aqueous 26 %	5-86	0.29		167	0.081
	68	0.261	Lauric acid	212	0.102
Amyl acetate	140	0.29			
Alcohol (n-)	50	0.083	Mercury	82	4.83
	86	0.094	Methyl alcohol 100 %	68	0.124
	212	0.089	80 %	68	0.154
	86	0.088	60 %	68	0.190
Aniline	167	0.087	40 %	68	0.234
	32-68	0.100	20 %	68	0.284
Benzene	86	0.092	100 %	122	0.114
	140	0.087	Chloride	5	0.111
Bromobenzene	86	0.074		86	0.089
	212	0.070	Nitrobenzene	86	0.095
Butyl acetate (n-)	77-86	0.085		212	0.088
Alcohol (n-)	86	0.097	Nitromethane	86	0.125
	167	0.095		140	0.120
(iso-)	50	0.091	Nonane (n-)	86	0.084
Calcium chloride brine 30 %	86	0.32		140	0.082
15 %	86	0.34	Octane (n-)	86	0.083
Carbon disulphide	86	0.093		140	0.081
	167	0.088	Oils		
Tetrachloride	32	0.107	Castor	68	0.104
	154	0.094		212	0.100
Chlorobenzene	50	0.083	Olive	68	0.097
Chloroform	86	0.080		212	0.095
Cymene (para)	86	0.078	Oleic acid	212	0.0925
	140	0.079	Palmitic acid	212	0.0835
Decane (n-)	86	0.085	Paraldehyde	86	0.084
	140	0.083		212	0.078
Dichlorodifluoromethane	20	0.057	Pentane (n-)	86	0.078
	60	0.053		167	0.074
	100	0.048	Perchloroethylene	122	0.092
	140	0.043	Petroleum ether	86	0.075
Dichloroethane	180	0.038		167	0.073
Dichloromethane	122	0.082	Propyl alcohol (n-)	86	0.099
	5	0.111		167	0.095
	86	0.096	Alcohol (iso-)	86	0.091
Ethyl acetate	68	0.101		140	0.090
Alcohol 100 %	68	0.105	Sodium	212	49
80 %	68	0.137		410	46
60 %	68	0.176	Sodium chloride brine 25.0 %	86	0.33
40 %	68	0.224	12.5 %	86	0.34
20 %	68	0.281	Stearic acid	212	0.0786
100 %	122	0.087	Sulfuric acid 90 %	86	0.21
Benzene	86	0.086	60 %	86	0.25
	140	0.082	30 %	86	0.30
Bromide	68	0.070	Sulfur dioxide	5	0.128
Ether	86	0.080		86	0.111
	167	0.078	Toluene	86	0.086
Iodide	104	0.064		167	0.084
	167	0.063	β -trichloroethane	122	0.077
Ethylene glycol	32	0.153	Trichloroethylene	122	0.080
Gasoline	86	0.078	Turpentine	59	0.074
Glycerol 100 %	68	0.164	Vaseline	59	0.106
80 %	68	0.189	Water	32	0.230
60 %	68	0.220		86	0.356
40 %	68	0.259		140	0.381
20 %	68	0.278		176	0.398
100 %	212	0.164	Xylene (ortho-)	68	0.090
Heptane (n-)	86	0.081	(meta-)	68	0.090
	140	0.079			
Hexane (n-)	86	0.080			
	140	0.078			

* From Perry, J. H., "Chemical Engineers' Handbook," 3d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950.

TABLE 5. THERMAL CONDUCTIVITIES OF GASES AND VAPORS*

$$k = \text{Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$$

The extreme temperature values given constitute the experimental range. For extrapolation to other temperatures, it is suggested that the data given be plotted as $\log k$ vs. $\log T$ or that use be made of the assumption that the ratio c_p/k is practically independent of temperature (or of pressure, within moderate limits).

Substance	$^\circ\text{F}$	k	Substance	$^\circ\text{F}$	k
Acetone.....	32	0.0057	Dichlorodifluoromethane.....	32	0.0048
	115	0.0074		122	0.0064
	212	0.0099		212	0.0080
	363	0.0147		302	0.0097
Acetylene.....	-103	0.0068	Ethane.....	-94	0.0066
	32	0.0108		-29	0.0086
	122	0.0140		32	0.0106
	212	0.0172		212	0.0175
Air.....	-148	0.0095	Ethyl acetate.....	115	0.0072
	32	0.0140		212	0.0096
	212	0.0183		363	0.0141
	392	0.0226	Alcohol.....	68	0.0089
	572	0.0265		212	0.0124
Ammonia.....	-76	0.0095	Chloride.....	32	0.0055
	32	0.0128		212	0.0095
	122	0.0157		363	0.0135
	212	0.0185		413	0.0152
Benzene.....	32	0.0052	Ether.....	32	0.0077
	115	0.0073		115	0.0099
	212	0.0103		212	0.0131
	363	0.0152		363	0.0189
	413	0.0176		413	0.0209
Butane (n).....	32	0.0078	Ethylene.....	-96	0.0064
	212	0.0135		32	0.0101
(iso).....	32	0.0080		122	0.0131
	212	0.0139		212	0.0161
Carbon dioxide.....	-58	0.0068	Heptane (n).....	392	0.0112
	32	0.0085		212	0.0103
	212	0.0133	Hexane (n).....	32	0.0072
	392	0.0181		68	0.0080
	572	0.0228	Hexene.....	32	0.0061
Disulphide.....	32	0.0040		212	0.0109
	45	0.0042	Hydrogen.....	-148	0.065
Monoxide.....	-312	0.0041		-58	0.083
	-294	0.0046		32	0.100
	32	0.0135		122	0.115
Tetrachloride.....	115	0.0041		212	0.129
	212	0.0052		572	0.178
	363	0.0065	Hydrogen and carbon dioxide...	32	
Chlorine.....	32	0.0043	0% H ₂		0.0083
Chloroform.....	32	0.0038	20%.....		0.0165
	115	0.0046	40%.....		0.0270
	212	0.0058	60%.....		0.0410
	363	0.0077	80%.....		0.0620
Cyclohexane.....	216	0.0095	100%.....		0.10

TABLE 5. THERMAL CONDUCTIVITIES OF GASES AND VAPORS.*—(Continued)

Substance	°F	k	Substance	°F	k
Hydrogen and nitrogen.....	32		Nitric oxide.....	-94	0.0103
0% H ₂		0.0133		32	0.0138
20%.....		0.0212	Nitrogen.....	-148	0.0095
40%.....		0.0313		32	0.0140
60%.....		0.0438		122	0.0160
80%.....		0.0635		212	0.0180
Hydrogen and nitrous oxide.....	32		Nitrous oxide.....	-98	0.0067
0% H ₂		0.0002		32	0.0087
20%.....		0.0170		212	0.0128
40%.....		0.0270			
60%.....		0.0410	Oxygen.....	-148	0.0095
80%.....		0.0650		-58	0.0119
Hydrogen sulphide.....	32	0.0076		32	0.0142
				122	0.0164
Mercury.....	392	0.0197		212	0.0185
Methane.....	-148	0.0100			
	-58	0.0145	Pentane (n-).....	32	0.0074
	32	0.0175		68	0.0083
	122	0.0215	(iso-).....	32	0.0072
Methyl alcohol.....	32	0.0083		212	0.0127
	212	0.0128	Propane.....	32	0.0087
Acetate.....	32	0.0059		212	0.0151
	68	0.0068			
Methyl chloride.....	32	0.0053	Sulphur dioxide.....	32	0.0050
	115	0.0072		212	0.0069
	212	0.0094			
	363	0.0130	Water vapor.....	115	0.0120
	413	0.0148		212	0.0137
Methylene chloride.....	32	0.0039		392	0.0187
	115	0.0049		572	0.0248
	212	0.0063		752	0.0315
	413	0.0095		932	0.0441

* From Perry, J. H., "Chemical Engineers' Handbook," 3d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950.

TABLA 3-329 Propiedades termofísicas de algunas sustancias sólidas no metálicas

Material	Densidad, kg/m ³	Emisividad	Calor específico, kJ/(kg · K)	Conducción térmica, W/(m · K)	Difusión térmica, m ² /s × 10 ⁹
Algodón	80	.....	1.30	0.06	0.58
Alúmina	3975	.....	0.765	36.0	11.9
Arcilla	1460	0.91	0.880	1.3	1.01
Asfalto	2110	.....	0.920	0.06	0.03
Baquelita	1300	.....	1.465	1.4	0.74
Berilia	3000	0.82	1.030	270	88.
Carbon	1350	0.80	1.26	0.26	0.15
Carbón, amorfo	1950	0.86	0.724	1.6	1.13
Diamante	3500	.....	0.509	2300.	1290.
Granito	2630	.....	0.775	2.79	1.37
Hule	1150	0.92	2.00	0.2	0.09
Hule, espuma	70	0.90	.....	0.03	.....
Ladrillo	1925	0.93	0.835	0.72	0.45
Ladrillo, arcilla refractaria	2640	0.93	0.960	1.0	0.39
Madera	1000	.....	1.38	0.15	0.11
Madera terciada	540	.....	1.22	0.12	0.18
Magnesio	3635	0.72	0.943	48.	14.
Magnesita	3025	0.38	1.13	4.0	1.2
Papel	930	0.83	1.34	0.011	0.01
Piedra arenisca	2150	0.59	0.745	2.9	1.8
Pino	525	0.84	2.75	0.12	0.54
Poliuretano, espuma	70	.....	1.05	0.03	0.36
Pyrex	2250	0.92	0.835	1.4	0.74
Roble	770	0.90	2.38	0.18	0.10
Sal	.....	0.34	0.854	7.1	.....
Sílice	.....	0.79	0.743	1.3	.....
Silicio, carburo	3160	0.86	0.675	490.	230.
Teflón	2200	0.92	0.35	0.26	0.34
Tierra	2050	0.38	1.84	0.52	0.14
Toria	4160	0.28	0.71	14.	4.7
Vermiculita	120	.....	0.84	0.06	0.60
Yeso, placa	800	0.91	.....	0.17	.....
Zafiro	3975	0.48	0.765	46	15.

NOTA: Las dificultades para precisar las características de muchos de los especímenes significa que muchos de los valores aquí presentados deben considerarse exclusivamente por su orden de magnitud. Para algunos materiales la medida real puede ser el único camino para obtener los datos de precios requeridos. Para convertir kilogramos por metro cúbico en libras por pie cúbico, multiplíquese por 0.062428; para convertir kilojoules por kilogramo-kelvin en unidades térmicas británicas por libras-grados Fahrenheit, multiplíquese por 0.23885.

Anexo 4

11.5 Análisis comparativo de absorción de color

Como medio de verificar la efectividad del producto obtenido al final del proceso se realizó un análisis de comparación entre el carbón activado obtenido en este proyecto, un carbón activado artesanal utilizado en el del Laboratorio de Operaciones Unitarias y un carbón activado certificado utilizado en el Laboratorio Ambiental. El carbón activado del Laboratorio de Operaciones Unitarias fue hecho por estudiantes de la universidad en el pasado y también se escogió la cáscara de coco como materia prima, y pertenece a la línea de carbones activados granulares. Al contrario de esto, el reactivo certificado que tienen en el Laboratorio Ambiental es de la empresa Alfa Aesar y pertenece a los carbones activados extruidos. Se comparó la capacidad de absorción de color que tenía cada uno por medio del método colorimétrico Pt-Co.

Para dar inicio al análisis se debe tener un blanco (agua destilada), la muestra sin tratar y posteriormente el resultado del filtrado de la muestra para cada uno de los carbones activados que se van a analizar. Una vez se tiene todo listo, se procede a encender el equipo y buscar el método 122 Color, 420nm para leer las absorbancias que están dadas en UPC¹. Este análisis se realizó con una bebida carbonatada que posee en su receta el colorante rojo No. 40. Este colorante es tan fuerte y se encuentra presente en tan elevadas concentraciones que por sí solo tenía un valor demasiado alto como para que el equipo lo detectara, por lo cual se realizó una dilución al 10% de la muestra (ver Ilustraciones 14 y 15).

¹ Unidades Platino-Cobalto



Ilustración 14: Muestra de bebida gaseosa.



Ilustración 15: Muestra de bebida gaseosa diluida al 10%.

Sin embargo, los resultados de estos análisis (ver Tabla 4) no fueron satisfactorios ni tampoco lógicos debido a que, según las mediciones del equipo, los tres carbones lo que hicieron fue aportar color a la muestra en vez de removerlo.

Método colorimétrico Pt-Co	Bebida carbonatada sin diluir	Bebida carbonatada diluida a la proporción 1:10	Carbón activado Tesistas	Laboratorio Operaciones Unitarias	Laboratorio Ambiental
Lectura del equipo (UPC)	+++	221	311	245	252
Factor de dilución	-	10	10	10	10
Color aparente (UPC)	-	2 210	3 110	2 450	2 520

Tabla 4: Mediciones colorimétricas tomadas una única vez.

Por ende, se decidió volver a realizar este análisis, esta vez realizando varias lecturas en un período de tiempo determinado (ver Tabla 5).

Mediciones	Bebida carbonatada diluida a la proporción 1:10			Carbón activado Tesistas			Carbón activado Laboratorio Operaciones Unitarias			Carbón activado Laboratorio Ambiental		
	Lectura del equipo [UPC]	Factor de dilución	Color aparente [UPC]	Lectura del equipo [UPC]	Factor de dilución	Color aparente [UPC]	Lectura del equipo [UPC]	Factor de dilución	Color aparente [UPC]	Lectura del equipo [UPC]	Factor de dilución	Color aparente [UPC]
0	280	10	2800	207	10	2070	210	10	2100	335	10	3350
5	272	10	2720	226	10	2260	206	10	2060	311	10	3110
10	262	10	2620	207	10	2070	205	10	2050	322	10	3220
15	285	10	2850	203	10	2030	204	10	2040	317	10	3170
20	290	10	2900	199	10	1990	203	10	2030	321	10	3210
25	289	10	2890	200	10	2000	221	10	2210	320	10	3200
30	287	10	2870	193	10	1930	208	10	2080	321	10	3210
35	287	10	2870	197	10	1970	211	10	2110	325	10	3250
40	289	10	2890	196	10	1960	211	10	2110	316	10	3160
45	286	10	2860	198	10	1980	205	10	2050	307	10	3070
50	279	10	2790	197	10	1970	205	10	2050	320	10	3200
55	278	10	2780	198	10	1980	206	10	2060	321	10	3210
60	271	10	2710	197	10	1970	204	10	2040	321	10	3210
Promedios	281.15	10	2811.54	201.38	10	2013.85	207.62	10	2076.15	319.77	10	3197.69

Tabla 5: Mediciones colorimétricas tomadas por segunda vez en intervalos de 5min durante 1h.

En esta ocasión, los resultados arrojados por el equipo con respecto al carbón de este proyecto y el carbón activado que se utiliza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias fueron bastante satisfactorios ya que se demostró la eficacia que tienen a la hora de remover color (ver Ilustraciones 22 y 23); sin embargo, el carbón que se utiliza en el Laboratorio Ambiental siguió

mostrando valores mayores al de la muestra, e incluso mayores que la primera vez (ver Ilustración 24).



Ilustración 16: Muestra diluida y filtrada (carbón de tesistas)



Ilustración 17: Muestra diluida y filtrada (carbón de op. unitarias).



Ilustración 18: Muestra diluida y filtrada (carbón lab. ambiental).

Al inicio se pensó que podía ser que el carbón estuviera desprendiendo color y esa fuera la razón por la cual el equipo leyó esos valores, pero el carbón activado que se obtuvo del proceso también desprendió color, incluso mayor que el reactivo certificado, por lo cual esta suposición se descarta (ver Ilustraciones 25 a 27). Se recomienda indagar más a fondo el proceso de fabricación de dicho reactivo para así ver si hay algún factor que explique el porqué de dichos valores.



Ilustración 19: Residuos papel filtro (carbón tesistas)



Ilustración 20: Residuos papel filtro (carbón op. unitarias)



Ilustración 21: Residuos papel filtro (carbón lab. ambiental)

Para una mejor comprensión, se procesaron los datos obtenidos de la Tabla 5 en un gráfico de líneas. (ver Gráfico 1).

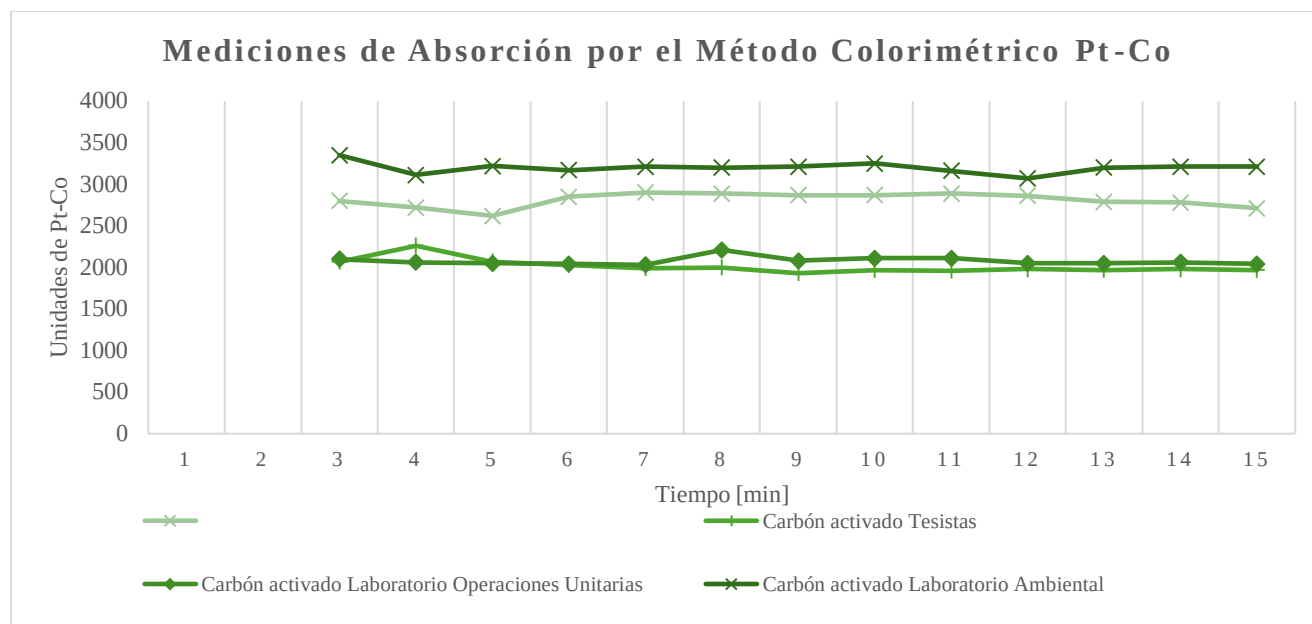


Gráfico 1: Comparación de los valores obtenidos del análisis colorimétrico aplicado a los tres carbones activados del estudio.

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6CA02AD3		
NOMBRE	RAMOS DIAZ SILVANA NAYARETH		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA		
CARRERA	Ingeniería Química		
TURNO	Diurno	SEXO	F
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	D1FCE-QUI-R
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2018

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-QU	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

Correo:
Clave:

FECHA: 24/02/2026 09:28:29

Creado Por:
6CA02AD3
Actualizado
Por:

INICIO DE CLASES:

-- NUEVO INGRESO 2026:

--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO

--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO

--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.

--PRESENCIAL: 9 DE MARZO

--SABATINO: 7 DE MARZO

--DOMINICAL: 8 DE MARZO



Universidad
Nacional de
Ingeniería

**1. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA UNI
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARÁUZ PALACIOS**

**MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1
REPOSICIÓN HOJA DE MATRÍCULA**

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6B-75F10-0		
NOMBRE	MARTÍNEZ BAQUEDANO VICENTE DANIEL		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA		
CARRERA	Ingeniería Química		
TURNO	Diurno	SEXO	M
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	D1FCE-QUI-R
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2019

E. M	AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
M	6	D1FCE-QU	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

**LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>**

FECHA: 25/02/2026

**Creado Por:
6B75F100
Actualizado
Por:**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARÁUZ PALACIOS

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6C-A33A9-3		
NOMBRE	FLETES ROJAS RAMJI RAMAHARYS		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA		
CARRERA	Ingeniería Química		
TURNO	Diurno	SEXO	F
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	D1FCE-QUI-R
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	19

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-QU	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.

Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

□

FECHA: 26/02/2026 10:18:13

Creado Por: DPEREZ3
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:

-- NUEVO INGRESO 2026:

--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO

--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO

--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.

--PRESENCIAL: 9 DE MARZO

--SABATINO: 7 DE MARZO

--DOMINICAL: 8 DE MARZO