

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña

Facultad de Ciencia y Tecnología  
Escuela de Química



“Estudio de Factibilidad a Escala de Laboratorio para la Producción de Carbón Activado Adsorbente a Partir de: Carbón Mineral y Materiales Lignocelulósicos de Origen Agrícola en República Dominicana”

Trabajo de grado para optar por el título de:  
Ingeniería Química

Sustentado por:  
Abel Johan Concepcion de Jesus  
Lescelis Altagracia Morillo Agramonte

Santo Domingo, D. N.

2019

## **AGRADECIMIENTOS**

## AGRADECIMIENTOS

**A mis padres** por inculcarme desde niña la importancia de una buena educación, buenos valores y mucha disciplina. Por dedicarse arduamente a hacer de mí una persona de bien y servicial, y enfocarme siempre en mis metas. **A mis hermanos** por estar ahí en las buenas y malas, y siempre brindarme su apoyo incondicional.

**A mis tíos** por haber sido parte importante en mi vida, en especial a tía Grecia y mi tío Lisandro. **A mis abuelos** por brindarme todo el amor, cariño y apoyo, y enseñarme todo aquello de la vida que solo la experiencia puede, en especial a mis abuelas Roma y Mireya, aunque en vida no estén sus enseñanzas siempre permanecerán conmigo

**A mis amigas** por ser la familia que elegí y estar conmigo en todo este largo camino de la vida y de la carrera y estar ahí para apoyarme en los buenos y malos momentos en especial a Katherine Martínez, Stefany Beltre, Winibel Pimentel, Anyi Fernández y mi prima Nathalie Morillo.

**A mis profesores** por darme toda la formación académica y humana, y guiarme en todo este trayecto académico. **A mis asesores** por su incondicional apoyo en nuestro trabajo de grado, en especial a Ing. Maribel Espinosa, siempre dispuesta a escuchar y aconsejar.

**Lescelis Alt. Morillo**

## AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer en primer lugar a **Dios** por otorgarme un destino cuyo trayecto es más difícil de predecir que la posición exacta de un electrón que orbita un átomo, esto hace la vida mucho más divertida.

Al **Sr. Fredy** por facilitar parte de los componentes del reactor y del mismo modo aportar con ideas para el diseño de dicho reactor, tomarse la molestia de interrumpir las gestiones normales de su negocio para realizar críticas constructivas sobre el camino que llevaba el proyecto para ese momento.

**Juan Uribe** por ser el encargado de la etapa de soldadura del reactor, de igual modo por aportar con ideas para el diseño del reactor. Dedicar horas a unir las partes necesarias a la coraza del reactor, dedicar noches de descanso en nuestro proyecto con el fin de aportar a nuestra causa.

A mi **familia** por permitir crecer en mí la curiosidad y la naturaleza explorativa, desarrollando así la persona que soy hoy en día. Permitir que la experimentación se lleve a cabo en nuestro hogar a pesar de tener en ocasiones que experimentar en ambientes con la combinación de los tres componentes más seguros: agua, electricidad y gas.

A mis **amigos** por cooperar tanto en este proyecto, como en proyectos anteriores, tal como la síntesis de nitrato de potasio a partir de estiércol, que me han ayudado a desarrollar ciertas habilidades que fueron muy útiles para el desarrollo del trabajo de grado.

Muchas gracias ...

**Abel Concepcion**

## **DEDICATORIA**

## DEDICATORIA

A mis dos amadas abuelas **Roma Segura** y **Mireya Mateo**, por siempre creer en mí, mostrarme el gran ser humano que soy, enseñarme a confiar en mí e impulsarme a luchar por todo lo que quiero hasta hacerlo realidad.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS .....	iv
DEDICATORIA.....	vii
INTRODUCCION .....	12
OBJETIVOS.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
Alcance .....	16
JUSTIFICACIÓN .....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
PRIMERA PARTE.....	20
CAPITULO I: ANTECEDENTES .....	23
CAPITULO II: EL CARBÓN ACTIVADO EN REPÚBLICA DOMINICANA ..	24
II.1. Tratamiento de agua.....	24
II.2. Proceso de Descafeinado del café .....	25
II.3. Minería y extracción de metales .....	26
II.4. Alimentos y bebidas.....	28
CAPÍTULO III: CONCEPTOS A CONOCER.....	30
III.1. Carbón Vegetal .....	30
III.2. Carbón mineral .....	30
III.3. Fibra de carbono .....	30
III.4. Carbón activo.....	31
III.5. Proceso de carbonización.....	31
III.6. Adsorción.....	31
III.7. Aplicaciones del carbón activo.....	32
III.8. Producción de Carbón activado en la República Dominicana.....	32

III.9.	Manejo y almacenamiento del carbón activado .....	33
III.10.	Aspectos de seguridad del carbón activado .....	35
III.11.	Estudio de factibilidad .....	36
CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD .....		38
IV.1	Concepto de Factibilidad .....	38
IV.2	Concepto de Viabilidad .....	38
IV.3	Diferencia entre viable y factible .....	39
IV.4	Evaluación de un Proyecto Factible .....	39
IV.5	Componentes del Estudio de Factibilidad .....	40
CAPITULO V: ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL Y LEGAL .....		44
V.1	Posibles impactos de la planta de producción al ambiente .....	44
V.2	Métodos de mitigación ambiental .....	45
SEGUNDA PARTE .....		23
CAPITULO VI: ASPECTO METODOLÓGICO .....		47
VI.1	Método de producción de carbón .....	47
VI.2	Producción de fibra de carbón .....	48
VI.3	Obtención de carbón mineral .....	51
VI.4	Métodos de activación de carbón .....	52
VI.5	Técnicas de caracterización del carbón activado .....	53
VI.6	Metodología Empleada .....	54
TERCERA PARTE .....		47
CAPITULO VII: ELABORACIÓN DEL REACTOR .....		57
VII.1	Diseño del reactor .....	57
VII.2	Materiales y equipos para la construcción del reactor .....	58
VII.3	Proceso de Ensamblaje .....	60
CUARTA PARTE .....		62
CAPITULO VIII: ESTUDIO DEL MERCADO .....		63



VIII.1	Descripción del producto .....	63
VIII.2	Clasificación Internacional Industrial Uniforme .....	64
VIII.3	La demanda .....	65
VIII.4	La oferta .....	66
VIII.5	Canales de comercialización .....	67
VIII.6	Localización .....	68
VIII.7	Determinación del tamaño de planta.....	70
CAPITULO IX: PLAN DE PRODUCCIÓN.....		71
IX.1	Capacidad de producción .....	71
IX.2	Días hábiles de trabajo .....	71
IX.3	Número de turnos .....	71
IX.4	Equipos.....	72
CAPITULO X: EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....		74
X.1	Cronograma de inversión .....	74
X.2	Flujo de caja .....	76
CONCLUSIÓN.....		80
RECOMENDACIONES.....		83
BIBLIOGRAFÍA.....		83
ANEXOS .....		85
ANEXO A .....		86
ANEXO B .....		98
ANEXO C .....		105
ANEXO D .....		112

## INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado es un estudio de factibilidad de producción de carbón activado absorbente a partir de carbón mineral y materiales lignocelulósicos de origen agrícola, tales como Bagazo de caña y trigo.

El carbón activado es un material carbonoso altamente absorbente, esto es debido a la gran cantidad de poros que posee en su superficie. Gracias a esta característica absorbente, este material es de suma importancia en la mayoría de las industrias, ya sea de manera directa, involucrado en los procesos, o de manera indirecta, en la obtención de la materia prima.

A pesar la gran utilidad que tiene el carbón activo en los procesos industriales y tratamiento de agua, en la actualidad, República Dominicana no cuenta con industrias que se dediquen a la fabricación de este material, sino que se importa al país, ya sea por dichas industrias directamente, o por proveedores de reactivos químicos que luego lo comercializan, para su utilización.

Como consecuencia de esta necesidad nace este proyecto, donde se evalúa la puesta en marcha de un laboratorio para producir carbón activado. Para esto se evalúan los diferentes métodos de activación del carbón, las diferentes alternativas de diseño de los equipos y estructura del laboratorio. De esta manera podremos dar respuesta a las interrogantes que han surgido en el planteamiento del proyecto como, por ejemplo, ¿Qué tan factible es producir carbón activado en la República Dominicana? ¿El método elegido es el más conveniente?

El trabajo está organizado de la siguiente manera: primero, se introduce el tema de trabajo, detallando todo lo relacionado a conceptos que permiten la comprensión del contenido. Segundo, se desglosan todas las herramientas usadas, es en otras palabras, los métodos de activación y producción del carbón, y la metodología usada para el análisis. Tercero, se describe de qué forma se llevó a cabo la elaboración del reactor, los

materiales y equipos que se utilizaron en la elaboración y ensamblaje de este. Luego se presentan la bibliografía y los anexos, donde primer anexo contiene todas las tabulaciones y el segundo anexo los diagramas correspondientes a los textos.

## **OBJETIVOS**

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Determinar qué tan factible es la producción de carbón activado adsorbente, a partir de carbones minerales y materiales lignocelulósicos de origen agrícola.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar los diversos métodos de activación del carbón.
- Comparar los métodos de activación y elegir el más conveniente.
- Reunir información acerca de la demanda y los precios del carbón activado.
- Producir carbón activado a partir del método seleccionado a escala de laboratorio.
- Registrar y relacionar los datos de la experimentación con la demanda y los precios del carbón activado.

## **Alcance**

El siguiente trabajo consiste en un estudio de factibilidad a escala de laboratorio para la producción de carbón activado adsorbente a partir de: carbón mineral y material Lignocelulósico de Origen Agrícola (Bagazo de Caña y Trigo) en República Dominicana.

## **JUSTIFICACIÓN**



## **JUSTIFICACIÓN**

La importación de productos debe ser considerada la última opción a tomar en consideración, pues si lo buscado es producido en el país, es lógico pensar que el precio debe ser inferior ya que no se debe tomar en cuenta los costos por arancel y todo lo relacionado a la importación o FOB (Libre a bordo). Esto sucede con el carbón activo, cuya materia prima se puede obtener en el país. Es posible que la exportación del carbón vegetal beneficie a unos cuantos, y sirva para el sector eléctrico, pero puede ser utilizado para la elaboración de carbón activado y beneficiar aún más la población dominicana.

El estudio de productos derivados del carbón está aumentando a pasos acelerados y con el pasar de los tiempos, estos productos presentarán un aumento en su valor, haciendo que el estudio de estas sustancias sea cada vez más costoso y que los equipos utilizados en la actualidad sean considerados obsoletos, porque el avance de las ciencias no se detiene. Como país, República Dominicana, se debe posicionar en la vía del desarrollo y este producto le puede ayudar a iniciar un proceso de crecimiento, no solo científico, sino también en diversas áreas donde las propiedades del carbón activo sean de utilidad.

Cabe destacar que es importante la producción de carbón activado en República Dominicana, porque ayudaría al mejoramiento económico y ambiental del país de manera indirecta. Pues una reducción en los costos de los procesos de tratamiento de agua es consecuencia de un menor precio en los filtros de carbón activado, y esto también implica menos contaminación en ríos y playas cuyas aguas pertenecen a las líneas de desecho de industrias cercanas.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de carbón activado ha sido un tema muy controversial en los últimos años, siendo la fuente de carbón el aspecto con más variabilidad en dichos debates. Como veremos más adelante, existen diversos métodos de activación de carbón, y cada método puede aportar diversas propiedades al producto final, siendo todos estos aspectos parte de un tema muy retocado. Realizar un estudio de factibilidad puede facilitar la toma de decisión a la hora de realizar una inversión, refiriéndose a factibilidad como la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señalados de producción de una empresa manufacturera. Para plantear parte del problema, pero a la vez justificar el trabajo de grado, no se tiene registro de un estudio de factibilidad para la producción de carbón activado de ningún tipo, siendo el tema seleccionado para la obtención de grado completamente innovador.

La contaminación de los cuerpos de agua en la República Dominicana crece cada año más, y los tratamientos pueden llegar a ser muy costosos por requerir materiales que no están disponibles en el país y cuyos procesos productivos poseen altas tarifas (Rodríguez Pimentel, 2017). Las emisiones de gases nocivos a la atmósfera es otro gran problema que afronta la nación, y los procesos de remediación gozan de los mismos factores económicos elevados.

El origen del problema radica en la poca inversión dedicada a la investigación, que causa un reducido interés como para; iniciar un proyecto, comprobar los datos, o provocar suficiente inclinación como para reproducir dichos experimentos de licencia abierta, con el fin único de confirmar y/o mejorar dichos diseños, en el país. El desinterés se traduce en una pobre aplicación de los recursos científicos y un estancamiento que impide el desarrollo del estado, imposibilitando la introducción de este, a una competencia de carácter mundial.

Usar indiscriminadamente el carbón para fines energéticos como único fin, esto es sin considerar la exportación, sería dejar el mercado libre al sector eléctrico. Si en

cambio existiera otra demanda, en este caso selectiva con la cantidad de carbono, los precios del carbón se adaptarían a este mercado, con dos consumidores que poseen una gran cantidad de demanda, el mercado se ve obligado a segmentarse y es posible que con el tiempo el carbón, que no posee productos de reacción de combustión muy agradables, solo se use para la producción de carbón activo u otros productos. Todos los aspectos mencionados tienen una solución que pueden ser encontrados en este trabajo, y es que, dependiendo de los resultados de los estudios de factibilidad, se puede tomar la decisión o no de escalar los resultados a otro nivel y obviamente obtener mayores beneficios a cambio de asumir un mayor riesgo.

**PRIMERA PARTE**  
**MARCO TEÓRICO**

## CAPITULO I: ANTECEDENTES

El carbón es la materia prima del carbón activado, era utilizado anteriormente en lugar de este, y también posee propiedades adsorbentes, esto quiere decir, que el carbón activado no es más que el resultado de potenciar la propiedad de adsorción del carbón. Los usos médicos dados al carbón se remontan desde los años 1550 a.C. como lo indican los papiros encontrados en la antigua Tebas griega, así como su posterior uso en la filtración de agua con fines de eliminación de sabor, olor y enfermedades. Históricamente se sabe que los fenicios solían quemar parcialmente el interior de los barriles de madera que contendrían sus bebidas, pero no es hasta 1793 que se registra la primera aplicación del carbón en gases, por el Dr. D. M. Kehl, quien lo usaba para suprimir el mal olor emanado por la gangrena.

No existe una fecha exacta para la invención del carbón activado, pero en 1794 tuvo su primera aparición y aplicación industrial donde se usó como decolorante en la industria azucarera, siendo aun así su patente publicada en 1812. En 1854 tuvo su primera aplicación a gran escala y en 1872 se comenzó a emplear en mascarar usadas en industrias químicas para evitar la inhalación de vapores de mercurio, todos los sucesos históricos anteriormente mencionado acontecidos en Inglaterra. A pesar de no conocer una fecha exacta de su invención, es a Von Raphael Ostrejko que se le atribuye el título de inventor del carbón activado desarrollando varios métodos de producción de este producto y patentizando 2 de sus métodos en 1901 (Luna, Gordon, Martin. & González, 2007).

## **CAPITULO II: EL CARBÓN ACTIVADO EN REPÚBLICA DOMINICANA**

### **II.1. Tratamiento de agua**

En República Dominicana y en varios países, el principal uso del carbón activado está relacionado con la purificación de agua, es decir, el uso está concentrado en los métodos de tratamiento de agua, para ser específicos, en el tratamiento terciario.

La finalidad de este método es mejorar la calidad de agua a partir de procesos físicos y químicos que aseguren un óptimo mejoramiento en las aguas efluidas. En la mayoría de los casos se utiliza en ocasiones en las que sea necesario cumplir con características dentro de un rango dictado por la legislación del país en cuestión y busca permitir los vertimientos de estos, sin causar algún impacto al medio ambiente, o así mismo, ser reutilizado para alguna actividad agroindustrial o de interés.

El tratamiento terciario es el procedimiento más completo para tratar el contenido de las aguas residuales, pero no es un método frecuentemente utilizado pues es un procedimiento muy costoso. La finalidad del método de tratamiento terciario es la eliminación de la carga orgánica residual y de las otras sustancias contaminantes que no son eliminadas en el tratamiento anterior, es decir, el método secundario. Estos contaminantes pueden ser nutrientes, fósforo y nitrógeno. Entre las etapas que comprenden este tratamiento se encuentran: precipitación, filtración y/o cloración para reducir de manera significativa los nutrientes inorgánicos, en especial los fosfatos y nitratos del efluente final. El agua residual que recibe un tratamiento terciario adecuado no permite un desarrollo microbiano considerable. Estos procesos son de naturaleza biológica o físico-química, siendo el proceso unitario más empleado el tratamiento físico-químico. Este consta de una coagulación - floculación y una decantación (Troconis, 2010).

## II.2. Proceso de Descafeinado del café

La cafeína es el componente fisiológicamente más activo del café. Este elemento tiene propiedades tonificantes para el organismo humano, siendo capaz de quitar la somnolencia y restaurar el nivel de alerta, además de reducir la fatiga, la irritabilidad y mejorar el estado de humor y el bienestar general (Pinzón, 2007).

Los efectos de la cafeína pueden no ser tan deseables para algunos individuos, pues puede ocasionarles angustia, neuralgias, palpitaciones, etc. Siendo tampoco recomendado para las personas con trastornos cardiovasculares ya que produce aumento de la presión arterial y arritmias, y para diabéticos ya que tiene influencia en el mecanismo de secreción de insulina (Pinzón, 2007)

Para eliminar los efectos negativos de la cafeína, la industria ha desarrollado el café sin cafeína, mediante procesos que permiten ofrecer a estos colectivos la posibilidad de degustar café sin estar expuestos a riesgos potenciales. Existen varios métodos para el descafeinado del café, pero hablar de ellos tomaría mucho tiempo, es por eso que se presentan los pasos en común de dichos procesos para la extracción de la cafeína (Pinzón, 2007).

En la mayoría de los procesos de descafeinización, la extracción de la cafeína tiene lugar en el grano de café verde, antes del tueste y la molienda, para minimizar la pérdida de aromas y sabores. El resultado es un grano libre entre 97% - 98% de la cafeína total. Todos los métodos de obtención de un café descafeinado, es decir, descafeinización por disolventes químicos, como es el uso de DCM (Dicloruro de metileno) y AE (ASAHIKLIN AE-3000 series es un hidrofluoroéter con un potencial de agotamiento de ozono de 0 y un potencial de calentamiento global de 580. Este disolvente fluorado posee un bajo impacto en el medio ambiente) o descafeinización por agua, por fluidos supercríticos como es el CO<sub>2</sub>-, comparten las siguientes etapas:

- Hinchado con agua caliente para preparar el grano para la posterior extracción de la cafeína.



- Extracción de la cafeína con un disolvente o material adsorbente.
- Eliminación del disolvente.
- Regeneración de los absorbentes (si procede). Secado del café descafeinado (hasta aproximadamente su humedad inicial).

Entre las empresas dedicadas a la producción de café descafeinado está INDUBAN República Dominicana. Industrias Banilejas S.A.S., es la principal empresa productora de café de la República Dominicana.

En sus instalaciones se realiza el proceso inicial para la elaboración y almacenamiento del café, el cual es transportado a Santo Domingo, donde se encuentra la torrefacción principal y el centro de control de calidad, lugar en que expertos catadores seleccionan el grano que será utilizado en la elaboración del producto final. Con el café seleccionado, y empleando tecnología de vanguardia, se procede al tostado, molido y empaque de los diversos productos.

Todas sus instalaciones, incluyendo la Torrefacción y almacenes, tienen acoplados un sistema de purificación ambiental que cumple con las más exigentes normas y estándares internacionales, dado posibilidad a la utilización de filtros de carbón activado.

### **II.3. Minería y extracción de metales**

El interés de la industria minera por el carbón activado comenzó en 1880 cuando fue propuesto como adsorbente en soluciones auríferas en procesos de cloración, esto fue debido a las propiedades de adsorción que posee el mismo. No fue hasta 1890 que se descubrió que el oro y la plata pueden ser adsorbidos por carbón activado a partir de las soluciones obtenidas en el proceso (Suero, 2011).

Hablando del mecanismo, la captación de moléculas líquidas o gaseosas por la superficie de un sólido es lo que se conoce como adsorción por un sólido. A través de los años se han propuesto varios mecanismos para explicar que cantidad de oro y plata se extraer con el carbón activado a partir de soluciones. Los métodos propuestos son los mencionados a continuación:

1. Oro fijo en forma aurocianuro. Las fuerzas de Van Der Waals dediles que se producen por las fuerzas de atracción y repulsión que ejercen las moléculas una con la otra, estas son la causa de que las moléculas no polares sean adsorbidas por la superficie del carbón activado, dando origen a dipolos en el aurocianuro  $Au(CN)_2$ .
2. Reducción de aurocianuro. Este método plantea que el ion aurocianuro es reducido como oro metálico sobre el carbón, dentro de la estructura de los poros.

En una planta de extracción de oro la carga normal de carbón es de aproximadamente 5,000 g/ton, esto en un típico circuito CIP de 5 etapas a contracorriente, con un tiempo de retención de una hora por etapa (Suero, 2011).

La velocidad de adsorción del oro sobre el carbón se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta(Au)_c = k(Au)_s t^n$$

Dónde:

- $\Delta(Au)_c$  : aumento de concentración de oro en el carbón.
- $(Au)_s$ : concentración de oro en la solución.
- $k$ : constante de velocidad de eficiencia de mezclado, carbón y ensuciamiento del carbón, varía entre 29 y 400  $h^{-1}$ .
- $n$ : termino exponencial, tiene sensibilidad al pH, fuerza iónica y ensuciamiento del carbón, es aproximadamente 0.5.

El proceso de extracción consta de las siguientes etapas:

1. Lixiviación: esta se lleva a cabo ya sea por agitación o por pilas.
2. Carga: el oro es adsorbido de la solución cianurada.
3. Descarga: también es conocida como elusión o desorción de oro del carbón en una solución más concentrada

4. Regeneración: se reponen las propiedades del carbón.
5. Producción de oro metálico: esta etapa es llevada a cabo por técnicas de electrodeposición o cementación del oro de la solución concentrada.

### **II.3.1. Métodos de adsorción con carbón activado**

La adsorción del oro y plata sobre el carbón activado puede realizarse directamente sobre las soluciones ricas y claras de pilas de lixiviación, estar acompañado de una purificación y clarificación del licor de las pulpas lixiviadas, o en el momento en que la lixiviación se esté realizando. Cabe mencionar que existen 3 métodos de adsorción con carbón activado, Carbón en columna (CIC), Carbón en pulpa (CIP) y Carbón en Leach (CIL).

## **II.4. Alimentos y bebidas**

Gracias a la capacidad súper absorbente que posee carbón activado se ve inverso en la industria de alimentos y bebidas donde tiene una amplia utilidad en los procesos de eliminación de contaminantes e impurezas de color y el olor de los edulcorantes, líquidos alimentarios, jarabes, bebidas, glicerina y aminoácidos y ácidos orgánicos.

### **Cerveza**

En el proceso de elaboración de la cerveza como también en el embotellado se puede producir gases de carbonización, estos, en conjunto con el agua que se utiliza en el proceso se deben tratar con purificadores adicionales utilizando carbón activado. Otra aplicación del carbón activado en la fabricación de cerveza se trata de la producción de cervezas claras y producción de malta sin sabor, donde se usa para eliminar el color, como también el sabor.

## Edulcorantes

Los edulcorantes, jarabes de dextrosa y maíz, son sustancias capaces de dar sabor dulce a los alimentos y bebidas, pero también se usan para la fermentación. A menudo estos productos requieren de la eliminación de contaminantes de color y compuestos de sabor y olor. Esto se logra utilizando carbón activado o resinas de intercambio iónico, ambos juntos o separados.

## Licores y vinos

Los licores son bebidas alcohólicas obtenidas por maceración, infusión o destilación, los vinos, por fermentación. Estos, dependiendo del fabricante, el tipo de licor, y el consumidor al cual está dirigido, requieren en algunos casos eliminar sabores y olores no deseado. Esto se lleva a cabo mediante el uso de carbón activado, por ejemplo, para la producción de ron blanco se utilizan 6 gramos de carbón activado por litro de ron para blanquearlo, y en vinos, la cantidad a utilizarse puede variar dependiendo de la tonalidad deseada, pueden utilizarse de 3 hasta 10 gramos de carbón activado por cada 100 litros de vino, cantidad que puede aumentar si se quiere más pardo, o transparente como en algunos casos.

## **CAPÍTULO III: CONCEPTOS A CONOCER**

Para el desarrollo de este tópico, es importante conocer los conceptos que a él vinculan. Desde los tipos de carbón que existen, a las propiedades que este compuesto, luego de ser activado, puede brindar.

### **III.1. Carbón Vegetal**

Es un sólido oscuro producto de la pirolisis de material orgánico, que mantiene la morfología de su materia prima, no produce llamas al consumirse y es una mezcla de elemento entre los que se puede citar el oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, azufre, y carbono en mayor proporción a los demás (Czernik, 2010).

### **III.2. Carbón mineral**

El carbón, de tipo mineral, es una roca sedimentaria originada por la acumulación, enterramiento y transformación con enriquecimiento en carbono de restos de materia vegetal. Las principales acumulaciones proceden del periodo Carbonífero de la Era Primaria (Evangelista, 2007).

### **III.3. Fibra de carbono**

Se define como una fibra que contiene por lo menos 92% de carbono, mientras que las fibras que contiene como mínimo 99% de carbono se consideran de grafito, forma alotrópica del carbono. Posee excelentes propiedades de tracción, baja densidad, alta estabilidad térmica y química en ausencia de agentes oxidantes, buena conductividad térmica y eléctrica, y poco sino nula deformación al aplicarle fuerza (Huang, 2009).

Existen varios tipos de carbón y varias formas de clasificarlos, dependiendo del porcentaje de materiales volátiles, por el poder calorífico, y por el porcentaje de carbono

que posea siendo esta última clasificación la ideal para la selección del carbón ideal para su posterior activación. En el Anexo A. Tabla 1 se presenta una tabla de los tipos de carbón y el porcentaje de carbono que estos presentan.

#### **III.4. Carbón activo**

Es un término genérico de la familia de materiales carbonados altamente porosos, ninguno de los cuales puede caracterizarse por una fórmula estructural o análisis químico. El volumen de poros en este carbón es generalmente definido como mayor de 0.2 ml/g, y el área superficial es por lo general mayor a 400 m<sup>2</sup>/g medido por el método de nitrógeno BET. El ancho de los poros varía desde 3 Å hasta miles de angstroms, y los poros tienden a clasificarse por conveniencia en términos de sus diámetros, esto se muestra en el anexo A Tabla 2 (McDougall, 1991).

#### **III.5. Proceso de carbonización**

La carbonización, en lo que a tecnología química respecta, es una forma particular del proceso denominada pirolisis, es decir, la descomposición de sustancias complejas en otras más simple mediante la aplicación de calor. Carbonización es el término utilizado cuando sustancias carbonosas complejas, tales como madera o residuos agrícolas, son reducidas, por calor, a carbono elemental y otros compuestos que puedan contener carbono en su estructura. El término también se aplica a la pirolisis de carbón a coque (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985).

#### **III.6. Adsorción**

La adsorción es un fenómeno de superficie, que puede ser considerada como una operación unitaria en ingeniería química. De manera general, no es más que un proceso de separación de mezcla. Por lo general el adsorbente se mantiene en un lecho fijo, mientras que el fluido a separar pasa continuamente a través del lecho hasta que el sólido está saturado. Entonces el flujo se desvía hasta otro lecho, y el lecho saturado es

sustituido o regenerado. La mayoría de los adsorbentes son materiales muy porosos (como es el caso del carbón activado), y el proceso de adsorción tiene lugar en las paredes de esos poros o en puntos específicos de la partícula (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

### **III.7. Aplicaciones del carbón activo**

Al ser un producto tan versátil y de tan bajo costo, este posee innumerables usos. A continuación, se mencionan algunas de las aplicaciones más comunes del carbón activo son:

- Remoción de impurezas que le dan color, olor y sabor al agua potable
- Proceso de descafeinado del café
- Decoloración de azúcar, mieles, caramelos, etc.
- Decoloración de licores, jugos, vinagre, etc.
- Tratamiento de agua en procesos industriales.
- Tratamiento terciario de aguas residuales
- Purificación de aire y gases industriales
- Respiradores de cartucho (Mascarillas para gases)
- Eliminación de olores en lugares cerrados: cocinas, bodegas, refrigeradores, etc.
- Purificación de aire comprimido (tanques de buceo y hospitales)
- Adsorbente de etileno para evitar la maduración prematura de frutas y verduras
- Tratamiento contra intoxicaciones agudas
- Tratamiento de llagas, quemaduras, o heridas, con apósitos de carbón activado impregnado con plata
- Recuperación de oro, plata y otros metales

### **III.8. Producción de Carbón activado en la República Dominicana**

Los usos que se le dan al carbón activado en la República Dominicana son los mismos citados anteriormente, con un detalle en particular, y es que no se produce carbón activado. Este producto es importado bajo el número de arancel 38021000, base

3 y categoría A, dicho entonces por la **Dirección General de Aduanas (2007)** que “se consideran activados cuando su estructura superficial se ha modificado por un tratamiento apropiado para adecuarlos a ciertos usos, tales como la decoloración, la adsorción de gases o de la humedad, la catálisis, el intercambio iónico o la filtración”.

Es interesante saber que dentro de la clasificación de arancel de la **Dirección General de Aduanas (2007)** se excluye carbón activado que “tenga el carácter de medicamento o acondicionado para la venta al por menor como desodorante para refrigeradores, automóviles, etc. Los catalizadores constituidos por un producto químico fijado sobre una materia activada que tengan la función de soporte”.

### **III.9. Manejo y almacenamiento del carbón activado**

En lo que al carbón activado respecta, la utilización y/ o el manejo de esta sustancia es relativamente fácil. De lograr un correcto almacenamiento siguiendo las instrucciones del productor, la vida útil del producto puede extenderse indefinidamente. No presenta toxicidad y no enciende fácilmente, es decir, no es infumable. Si es mojado o dañado al ser almacenado de manera inadecuada, generalmente puede secarse o restaurarse fácilmente. Después de la saturación con contaminantes debido al uso, puede volver a ser activado virtualmente a su capacidad de adsorción original, y esto se puede lograr con una mínima pérdida volumétrica.

El carbón activado es completamente estable y puede llegar a ser almacenado por periodos de tiempo largo en recipientes o paquete de envío, que por lo general están completamente sellados, estado así protegido de vapores y/o líquidos contaminantes. El carbón activado tiende a ser guardado en diferentes recipientes y materiales, entre los que se encuentran súper sacos de gran tamaño (450 - 900 kg), súper sacos pequeños (90 - 225 kg), bolsas pequeñas (10 - 25 kg), cajas tipo Gaylord (90 - 450 kg) y tambores de acero o fibra (22 -90 kg). El deterioro del carbón activado ocurre solo al ser utilizado, en otras palabras, al trabajar; actuando como catalizador o adsorbiendo vapores, gases y sustancias disueltas. El carbón activado es resistente a una amplia variedad de ácidos,



sustancias alcalinas y otras sustancias corrosivas debido a que es prácticamente carbón puro como se ha mencionado anteriormente. Los ciclos que involucran un rápido de cambio de temperaturas afectan de manera insignificante a su estructura física. Otro dato relevante es que, en las plantas de recuperación de solventes, este producto puede ser utilizado en varios ciclos, hasta un número de 1000 ciclos de repentinos cambios de temperatura sin presentar desgaste en los gránulos.

Los mejores grados, haciendo referencia al tamaño de las partículas, de carbón activado granular presentan cierta dureza y resistencia a la abrasión, pero el producto deberá ser manejado de forma que se evite la trituración de este mismo. En los tratamientos de vapor, la alta velocidad de flujo o un flujo de aire que presente fluctuaciones puede causar el movimiento de partículas y un deterioro o rompimiento rápido de los gránulos, principalmente en los casos en que la parte superior del lecho no es fijada con el uso de una pantalla.

La inyección de fluido de forma ascendente durante la adsorción deberá ser evitada para prevenir levantar los gránulos y causar acanalamiento, esto se entiende mejor suponiendo un caso hipotético de una tubería empaquetada, con flujo perpendicular al suelo, es decir, en contra de la gravedad. Dependiendo del producto que será utilizado, existen diferentes métodos para el buen manejo del carbón activado. Un ejemplo puede ser cuando se trabaja con polvos, en este caso se tienen diferentes consideraciones en lo que a su manejo se refiere, a diferencia de las que tiene un material que se encuentra en estado granular. De manera generalmente, los activados en estado granulados que están impregnados poseen puntos de ignición más bajos que aquellos carbones que no están impregnados. Se conoce sobre algunas excepciones, pero se debe ser especialmente cauteloso con los puntos de ignición en relacionados a los carbones que han sido impregnados o a aquellos que se les ha realizado algún tratamiento especial. Las hojas que describen las especificaciones del producto que son generalmente suministrada por el fabricante, también conocidas como datasheet y las hojas que poseen datos relacionados a la seguridad del material, proveen detalles importantes, así como la temperatura de inflamación

Para la purificación del aire, esto es para la eliminación de olores o gases tóxicos, en los lugares poblado por civiles, el adsorbente deberá estar razonablemente seco. No es sensible a la humedad, pero si está goteando por estar demasiado mojado, su capacidad será reducida. Si ha quedado saturado, puede secarse en un horno 90 – 120 C. El carbón activado mojado tiende a corroer el acero suave, aluminio y algunos otros metales. Para aplicaciones en mojado, puede utilizarse satisfactoriamente acero inoxidable, níquel monel, plástico, vidrio o materiales cerámicos como recipientes. Para las aplicaciones en seco, el acero ordinario, aluminio, plástico o papel son materiales adecuados para el recipiente.

Lavando el carbón granulado con aire o agua se eliminan los polvos o gránulos finos que puede no ser convenientes para ciertas aplicaciones. También se puede humedecer el carbón a unos 10 o 30% de humedad para así reducir el número de partículas finas

### **III.10. Aspectos de seguridad del carbón activado**

La toxicidad del carbón activado es nula. Un número amplio de carbones activados cumplen con los estándares del código de la U.S. FDA (Food and Drugs Administration) para el empleo en alimentos y varios tipos de carbones activados también están aprobados por la AWWA (American Water Works Association) y NSF (National Science Foundation) para los sistemas de agua potable. Además, algunos grados de carbón activado están certificados por la U.S. Pharmacopeia (USP) y son utilizados de forma interna para varios tipos de tratamientos medicinales. Para la exposición al polvo de carbón activado, se deberá hacer uso de los procedimientos normales para el manejo de sustancias polvorientas, tales como protección para la vista y máscaras para evitar la inhalación de polvo para el personal encargado de manipular el carbón activado, la instalación también debe contar con filtros de polvo.

Puede que el carbón activado sea un combustible, pero no es una sustancia que encienda fácilmente. El carbón activado solo presenta oportunidad para realizar una combustión si existe la presencia de una corriente de aire y este se apagará solo bajo

ciertas circunstancias. Sin embargo, lo ideal es no hacer pasar corrientes de aire a través de este si se encuentra aproximadamente a temperaturas igual o mayor a 200 °C. Durante reacciones exotérmicas como lo son la adsorción, el calor procedente de este puede ser suficiente como para elevar la temperatura de manera apreciable. En estos casos, puede ser conveniente trabajar con el carbón parcialmente mojado con agua.

### **III.11. Estudio de factibilidad**

El estudio de factibilidad es un instrumento que sirve para orientar la toma de decisiones en la evaluación de un proyecto y corresponde a la última fase de la etapa pre-operativa o de formulación dentro del ciclo del proyecto. Se formula con base en información que tiene la menor incertidumbre posible para medir las posibilidades de éxito o fracaso de un proyecto de inversión, apoyándose en él se tomará la decisión de proceder o no con su implementación (Miranda Miranda, 2001).

El estudio de factibilidad debe conducir a:

- Determinación plena e inequívoca del proyecto a través del estudio de mercado, la definición del tamaño, la ubicación de las instalaciones y la selección de tecnología.
- Diseño del modelo administrativo adecuado para cada etapa del proyecto
- Estimación del nivel de las inversiones necesarias y su cronología, lo mismo que los costos de operación y el cálculo de los ingresos.
- Identificación plena de fuentes de financiación y la regulación de compromisos de participación en el proyecto.
- Definición de términos de contratación y pliegos de licitación de obras para adquisición de equipos y construcciones civiles principales y complementarias.
- Sometimiento del proyecto, si es necesario, a las respectivas autoridades de planeación.
- Aplicación de criterios de evaluación tanto financiera como económica, social y ambiental, que permita llegar a argumentos para la decisión de realización del proyecto

Del estudio de factibilidad se puede esperar: o abandonar el proyecto por no encontrarlo suficientemente viable, conveniente u oportuno; o mejorarlo, elaborando un diseño definitivo, teniendo en cuenta las sugerencias y modificaciones que surgirán de los analistas representantes de las alternas fuentes de financiación, o de funcionarios estatales de planeación en los diferentes niveles, nacional, sectorial, regional, local o empresarial. En consecuencia, los objetivos de cualquier estudio de factibilidad se pueden resumir en los siguientes términos:

- Verificación de la existencia de un mercado potencial o de una necesidad no satisfecha.
- Demostración de la viabilidad técnica y la disponibilidad de los recursos humanos, materiales, administrativos y financieros.
- Corroboración de las ventajas desde el punto de vista financiero, económico, social o ambiental de asignar recursos hacia la producción de un bien o la prestación de un servicio.

## **CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD**

### **IV.1 Concepto de Factibilidad**

Según Varela, “se entiende por factibilidad, las posibilidades que tiene de lograrse un determinado proyecto”. El estudio de factibilidad es el análisis que realiza una empresa para determinar si el negocio que se propone será bueno o malo, y cuáles serán las estrategias que se deben desarrollar para que sea exitoso.

Según el Diccionario de la Real Academia Española, la Factibilidad es la “cualidad o condición de factible”. Factible: “que se puede hacer” y para asentar mejor el concepto, un proyecto puede ser viable, pero no necesariamente factible.

### **IV.2 Concepto de Viabilidad**

Según el diccionario de la Real Academia Española Viabilidad: “cualidad de viable”, Viable: “Que, por sus circunstancias, tiene probabilidades de poderse llevar a cabo”. Otros conceptos dicen: es la posibilidad que tiene un proyecto para ser ejecutado y operado de tal manera que cumpla con su objetivo, es decir, la viabilidad puede ser técnica, económica, social, etc. Está relacionada con principios de calidad, eficiencia y pertinencia de un proyecto en términos de los elementos conceptuales que lo componen, la información utilizada, la coherencia de los planteamientos y el mayor acercamiento a la realidad a la que se refiere el proyecto.

### **IV.3 Diferencia entre viable y factible**

La diferencia entre estos dos términos por lo tanto debe ser identificada para poder realizar una buena interpretación de los resultados y una buena clasificación del proyecto.

- Viable: Que, por sus circunstancias, tiene probabilidades de poderse llevar a cabo.
- Factible: Que se puede hacer.

Según lo anterior, a priori pareciera lo mismo, aunque tienen sus diferencias en la práctica, por lo que un proyecto factible es un proyecto que se puede realizar, que se puede hacer. Un proyecto viable, es un proyecto que además de ser factible (que se puede hacer), es un proyecto que resulta viable cuando en nuestro contexto puede ser sostenible, rentable económicamente y que reúne todas características de implementable.

Un ejemplo sería un proyecto sobre la extracción de petróleo de la luna, puede que sea factible debido a la disponibilidad de equipos, métodos, digamos también que exista petróleo en la luna, tendríamos todo lo necesario para el proyecto, siendo este factible, pero los costos relacionados con ello lo harían imposible, dejando de ser viable.

### **IV.4 Evaluación de un Proyecto Factible.**

Un proyecto factible, es el que ha aprobado cuatro evaluaciones básicas: Evaluación Técnica - Evaluación Ambiental - Evaluación Financiera - Evaluación Socio-económica

La aprobación de cada evaluación se le puede llamar viabilidad; estas viabilidades se deben dar al mismo tiempo para alcanzar la factibilidad de un proyecto; por ejemplo, un



proyecto puede ser viable técnicamente, pero puede ser no viable financiera o ambientalmente.

## **IV.5 Componentes del Estudio de Factibilidad**

Dependiendo de la complejidad del estudio de factibilidad, se tomarán en cuenta diferentes componentes, estos componentes son:

### **IV.5.1 Estudio de Mercado**

Tiene como finalidad determinar si existe o no, una demanda que justifique la puesta en marcha de un programa de producción de ciertos bienes o servicios, en un espacio de tiempo.

El estudio de mercado es uno de los estudios más importantes y complejos que debe realizarse para la evaluación de proyectos, ya que, define el medio en el que habrá de llevarse a cabo el proyecto. En este estudio se analiza el mercado o entorno del proyecto, demanda, la oferta y la mezcla de mercadotecnia o estrategia comercial, dentro de la cual se estudian el producto, el precio, los canales de distribución y la promoción o publicidad. Pero siempre desde el punto de vista del evaluador, es decir, en cuanto al costo/beneficios que cada una de estas variables pudiesen tener sobre la evaluación de proyectos, ya que, detecta situaciones que condicionan los demás estudios.

Los objetivos del estudio de mercado son:

- Analizar el mercado de las materias primas y demás insumos indispensables para el proceso productivo.
- Estudiar el mercado competidor, es decir, a todas las empresas que forman parte de la industria en la que se llevará a cabo el proyecto.
- Comprender las características del medio externo o internacional que pueden influir el desempeño del proyecto.

- Conocer los posibles efectos que pueden tener los factores económicos, socioculturales, demográficos, tecnológicos, competitivos y político-legales del macroentorno, sobre las actividades que se vayan a desarrollar en el futuro.
- Caracterizar al usuario o consumidor potencial del producto gracias a una previa segmentación del mercado.
- Delimitar el área geográfica que va a ser atendida por el proyecto.
- Estimar el comportamiento futuro de la demanda y de la oferta de bienes y servicios del proyecto.
- Planificar la estrategia de comercialización más adecuada a la naturaleza del bien y servicio del proyecto y a las características del usuario o consumidor.
- Definir las características generales del bien o servicio que se ofrecerá.
- Determinar la cantidad de bienes y servicios provenientes de la empresa del proyecto que los consumidores estarán dispuestos a adquirir.
- Estimar los precios a los cuales los consumidores estarán dispuestos a adquirir el producto y los productos a ofrecer.
- Describir el canal de distribución más adecuado, que es la ruta que toma el producto al pasar del productor al consumidor final.
- Describir la promoción y publicidad que se ocupará para la comunicación del posicionamiento del producto a los consumidores o clientes.

#### **IV.5.2 Estudio Técnico**

Tiene por objeto proveer información, para cuantificar el monto de las inversiones y costos de las operaciones relativas en esta área. Es decir, el estudio técnico, entrega la información necesaria para determinar cuánto hay que invertir y los costos de operación asociados de llevar a cabo el proyecto. Este estudio, responde las preguntas cuándo, cuánto, cómo y con qué producir el bien o servicio del proyecto.

Además, el estudio técnico permite definir el tamaño, la localización del proyecto, la tecnología que se usará y la función de producción óptima para la utilización eficiente de los recursos disponibles.



La elección de un lugar determinado dependerá de diversos factores como disponibilidad y costo de mano de obra, factores del medio ambiente, medios y costos de transporte, cercanía del mercado y de las fuentes de abastecimiento, disponibilidad de insumos, etcétera.

También, es posible determinar la estructura organizacional de la empresa y los recursos a utilizar en la operación del proyecto.

### **IV.5.3 Estudio Financiero**

De manera general consiste en:

- Ordenar y sistematizar la información de tipo monetario que proporcionaron las etapas anteriores.
- Elaborar los cuadros analíticos para la evaluación del proyecto.
- Evaluar los antecedentes anteriores para determinar su rentabilidad

El estudio financiero, es la última etapa del análisis de viabilidad financiera de un proyecto, ya que, cuantifica los beneficios y costos monetarios de llevarse a cabo el proyecto.

Su objetivo, es sistematizar la información de carácter monetario de los estudios anteriores para así determinar la rentabilidad del proyecto. Para esto se utiliza el esquema de los flujos de caja proyectados, para el periodo de tiempo que se considera relevante para la evaluación del proyecto.

Los estudios mencionados anteriormente, que deben hacerse en la evaluación de proyectos, pueden variar en el nivel de profundidad y en el orden en que se haga cada uno de ellos, dependiendo de las características del proyecto en particular.

Otros de los componentes de un estudio de factibilidad que pueden ser mencionados son:

- Análisis medio ambiental y legal
- Localización
- Plan de producción
- Evaluación del proyecto

## CAPITULO V: ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL Y LEGAL

### **V.1 Posibles impactos de la planta de producción al ambiente**

El principal impacto que tendría una planta de producción de carbón activado sería la emisión de gases a altas temperatura que, si bien nos enfocamos en la producción en base a materiales lignocelulósicos, dichos gases variarían de material en material, pero en nuestro caso usaremos una fuente específica sin variarla durante la experimentación. Estos gases se producirían en el proceso de carbonización, dicha operación involucra altas temperaturas y la descomposición del material orgánico a una estructura de carbono. En la activación física, la emisión de gases nocivos se reduce considerablemente mientras que, en la activación química, la utilización de ácido fosfórico y/o cloruro de zinc agrega la necesidad de considerar posibles derrames o la inhalación de vapores dañinos no solo para los operarios, sino también para los equipos.

El horno utilizado para la carbonización y para la activación no es un dispositivo ideal, por lo tanto, hay que considerar la emisión de gases de combustión, combustible y otros gases indeseables a la atmósfera, siendo el caso del monóxido de carbono el mayor problema cuando a escala industrial se trabaja. Algunas industrias suelen utilizar el monóxido como combustible, pero capturarlo durante su expulsión como gas de chimenea es un poco complicado. Siendo uno de los principales gases responsable del efecto invernadero que debe ser controlado en este proceso, y para acatar las leyes ambientales del país, haremos uso de las Normas Ambientales de Calidad Aire y Control de Emisiones de la República Dominicana. Se deberá realizar un análisis de emisión y controlar la liberación de dichos gases presentes, manteniéndolos en el rango permitido de emisión presente en el Anexo A. Tabla 4.

## V.2 Métodos de mitigación ambiental

Puede que la producción de carbón activado, como la mayoría de los procesos industriales en la actualidad, genere algún tipo de impacto al ambiente que haya que mitigar. Los gases que se producen en la carbonización son el único reto, pues los gases de la activación física son los mismo que los de la combustión, y en todo proceso que exista una caldera o algún equipo de generación de calor, existirán estos productos que hay que habrá que tratar.

La chimenea ideal para este proyecto a escala industrial deberá funcionar bajo los principios del efecto Venturi. Este efecto consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión cuando aumenta la velocidad al pasar por una zona de sección menor. En ciertas condiciones, cuando el aumento de velocidad es muy grande, se llegan a producir presiones negativas y entonces, si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido de este conducto, que se mezclará con el que circula por el primer conducto. Los gases de chimenea serán por lo tanto aspirados y podrán ser direccionados para un posterior tratamiento, pudiéndose tratar de un filtro de gases de carbón activado

En el caso de la activación química, un buen manejo de los reactivos es el único método de mitigar los daños que estos podrían ocasionar, pero como se mencionó anteriormente, la activación química no es conveniente a grandes escalas porque los costos serian superiores a los considerados en la activación física, por lo tanto, la aplicación de buenas prácticas se tomara en consideración para la activación a escala de laboratorio durante la experimentación.

**SEGUNDA PARTE**  
**MARCO METODOLÓGICO**

## **CAPITULO VI: ASPECTO METODOLÓGICO**

La investigación de este trabajo de grado posee un nivel de profundidad correlacional, donde la variable de mayor importancia es la capacidad de adsorción. El enfoque dado a la investigación es cuantitativo, como indica el último objetivo específico de este proyecto, que enuncia la comparación, en este caso de la calidad del carbón activado proveniente de diversas fuentes, tomando como parámetro la capacidad de adsorción del producto. El método empleado es de tipo experimental (experimentalista), pues trata de una producción a una pequeña escala (de laboratorio) de un artículo, esto implica la manipulación de información y la comprobación de datos. Utilizando la técnica de investigación documental.

En esta parte haremos referencia a cuatro trabajos de investigación relacionados al tema central de este documento, que ayuden a la selección del método ideal para la producción de carbón activo, así como para presentar los métodos de obtención de la materia prima necesaria para realizar la investigación, pues en la etapa experimental, solo nos enfocaremos en la producción del carbón activado.

### **VI.1 Método de producción de carbón**

De la siguiente investigación titulada “Producción de carbón industrial con generación de energía en Mully Children's Family Yatta, Kenia” se analiza la sección relacionada con la producción de carbón, donde se describe un proceso general para producción de este producto. Parte de este proceso fue mencionado con anterioridad en el marco conceptual, durante el desarrollo del proceso de carbonización donde aquí agregamos uno que otros conceptos.

La producción de carbón se realiza calentando la biomasa en un ambiente de poco o nula presencia de oxígeno, siendo este proceso la pirolisis que fue antes mencionada. La carbonización ocurre a una temperatura mayor o igual a 270 °C, en ausencia de aire para prevenir la combustión de la biomasa formando carbón. Además de la formación de

carbón, los gases más importantes formados son aquellos de la combustión y vapores alquitranados. La investigación también comenta que la producción de carbón ha sido practicada por cientos de años en hornos de baja eficiencia, y poco control de gases de escape. La producción ha sido modernizada a través de los siglos 19 y 20 e industrializada hoy día (Tutturen, 2013).

Los pasos para la producción de carbón se resumen a continuación:

1. **Etapa de secado:** La temperatura es elevada a 110 C y se mantiene entre un intervalo de 100 – 110 C hasta que el contenido de humedad sea cero.
2. **Etapa de pirolisis:** La temperatura se eleva a 270 C dando un endodermo, una reacción que absorbe calor en orden de descomponer la biomasa.
3. **Etapa final:** Se eleva la temperatura en un rango de 500 – 600 C para aumentar la calidad del carbón.

## VI.2 Producción de fibra de carbón

La fibra de carbono puede ser un buen sustituto del carbón mineral, es por eso que del trabajo titulado “Precursores y fabricación de fibras carbono” se obtiene la información necesaria para la elaboración de fibras de carbono. Más allá de esto, explica numerosas técnicas para fabricar fibras de carbón.

En los últimos años, la industria de la fibra de carbón ha sufrido un crecimiento debido a la demanda progresiva en varios campos de aplicación, en los que se menciona: la aeroespacial (aeronaves y sistemas espaciales), milicia, automovilístico, para artículos deportivos, cuchillas de turbina, construcción, medicina, cilindros ligeros y recipientes a presión, etc. Además, el rango de aplicación dependerá del tipo de precursor utilizado en la producción de la fibra. En el presente documento solo se mencionan los precursores y se abunda en el más relevante (Park, 2015).

Los factores por tomar en consideración en (Park, 2015) para la selección del precursor ideal son: fácil conversión a fibras de carbono, alto rendimiento de carbón y que el proceso tenga una buena relación de eficiencia-costos.

Precursores para la fabricación de fibras de carbono por (Park, 2015):

- Acrílico: Han sido utilizados exitosamente para la preparación de fibras de carbono por la mayoría de las industrias manufactureras por un largo periodo de tiempo. Estos precursores de acrílico poseen >85% del monómero acrilonitrilo. En lo particular, el monómero poliacrilonitrilo es utilizado con mayor frecuencia que el acrilonitrilo para la producción de fibras de carbono.
- Celulósico: Contienen un 44.4% de carbón. Sin embargo, en práctica la reacción es más complicada que una mera deshidratación y la recuperación de carbono es solo del 25 al 30%.
- Basado en brea: Posee una recuperación de carbono del 85% y la fibra resultante muestra un alto modulo debido a la mayor apariencia grafitica. Por otro lado, las fibras de carbono basadas en brea tienen una peor compresión y propiedades transversales en comparación con las fibras de carbono basadas en PAN (poliacrilonitrilo).
- Otros: Otras formas de precursores: Se han investigado el cloruro de vinilideno y resinas fenólicas como precursores para la fabricación de fibras de carbono, pero no se encontraron ser comercialmente viable.

El documento de “Precursores y fabricación de fibras carbono”, también habla sobre los métodos de polimerización que se pueden utilizar para la producción de la fibra. A



fin de conocer, se menciona uno de los métodos de varios expuestos en libro, sobre la polimerización:

Polimerización tipo Bulk: este método es la forma más simple y directa de sintetizar polímeros. Esta polimerización se lleva a cabo mediante la adición de un iniciador soluble a un monómero puro y líquido. El iniciador se disuelve en el monómero y la reacción se inicia por calentamiento o exposición a la radiación. La mezcla se torna viscoso a medida que avanza la reacción. En ese instante, la reacción es exotérmica y se producen reactivos con una amplia distribución de pesos moleculares. Por lo tanto, este método de polimerización para la preparación de precursores basados en PAN se utiliza en el proceso de fabricación a pequeña escala, en el que es fácil eliminar la reacción calor (Park, 2015).

De manera general se mencionan los pasos más comunes en la elaboración de las fibras de carbono:

1. Polimerización de precursores basados en PAN e hilado de fibras
2. Estabilización térmica (oxidación)
3. Carbonización y grafitización
4. Tratamiento superficial y lavado
5. Secado, dimensionamiento y enrollamiento

Cada uno de los pasos posee un diagrama que explica de manera más detallada, que ocurre durante dicha fase, estos estarán ubicados en el anexo B. Cada diagrama esta respectivamente numerado con el paso mencionado anteriormente.

### VI.3 Obtención de carbón mineral

El carbón mineral es muy rico en carbono, pero también puede contener minerales como el azufre, oxígeno, nitrógeno o hidrógeno. Este se forma debido a la descomposición de materia vegetal acumuladas en pantanos, lagunas y cuencas.

Este se encuentra a profundidades en el subsuelo, que tan profundo se encuentre el carbón mineral, es lo que define el tipo de extracción que se usará para obtenerlos, los cuales son:

1. Minería de cielo abierto: Este tipo de minería se utiliza cuando se está a una profundidad máxima de 50 metros de la superficie terrestre, es económica y resulta fácil restablecer las condiciones normales del suelo
2. Minería subterránea: Este tipo se utiliza cuando el carbón está a profundidades de más 300 metros. En esta se crean túneles con ángulos de 20° llegar al carbón llegando a profundidades de 800 hasta 1000 metros, el carbón puede ser desprendido con máquinas cortadoras, picas neumáticas o con las manos, luego es transportado por bandas a la superficie.

El proceso de extracción consta de las siguientes etapas:

1. Perforación: En esta etapa se remueven las capas de suelo que cubren el carbón o se cava el túnel hasta el mismo.
2. Extracción: En esta etapa el carbón es sustraído por el método elegido, ya sea con máquinas o manualmente.
3. Transporte: En esta etapa el carbón extraído es transportado mediante correas o bandas transportadoras hasta la superficie.

La elección de un método de extracción depende de las condiciones topográficas y geológicas de las rocas de las capas que cubren el carbón, como también por los requisitos y limitaciones ambientales y económicas, cabe destacar el que factor más importante a tomar en cuenta es la cantidad de capas que cubre el carbón.

#### VI.4 Métodos de activación de carbón

Existen dos técnicas generales para la activación del carbón, estas se dividen en físicas, también llamada activación térmica, y químicas, que afectan de manera directa al número de poros y al diámetro que estos poseerán, lo que se traduce como una mayor o menor capacidad de adsorción.

- **Activación física.** La porosidad de los carbones preparados mediante activación física es el resultado de la gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas, esto es una inyección de gas a alta presión durante un proceso de calentamiento dentro de un horno especializado. En la carbonización se eliminan elementos como el hidrógeno y el oxígeno del precursor para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria, esto se debe a las altas temperaturas del horno, y que durante este proceso se rompen todos los enlaces quedando una estructura estable de carbono-carbono. Durante la gasificación el carbonizado se expone a una atmósfera oxidante (vapor de agua, dióxido de carbono, o mezcla ambos) que elimina los productos volátiles y átomos que no sean de carbono, aumentando el volumen de poros y el área específica (Luna, Gordon, Martín, & González, 2007).
- **Activación química.** La porosidad de los carbones que se obtiene por activación química es generada por reacciones de deshidratación química, que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas. En este proceso el material a base de carbón se impregna con un agente químico, principalmente ácido fosfórico (que puede ser también cloruro de cinc) y el material impregnado se calienta en un horno a 500–700 °C. Los agentes químicos utilizados reducen la formación de materia volátil y alquitranes. El carbón resultante se lava para eliminar los restos del agente químico usado. Este carbón es llamado carbón secundario (Luna, Gordon, Martín, & González, 2007).

## VI.5 Técnicas de caracterización del carbón activado

Como la palabra indica y relacionándolo con este tema, las técnicas de caracterización nos sirven en este aspecto para determinar la eficiencia de adsorción del carbón activado. Existen numerosas técnicas y son las que se utilizan en este trabajo para la comparación entre los diferentes precursores.

De acuerdo con (Uribe, López, & González, 2013) las técnicas generales para la caracterización del activado son: la caracterización por adsorción de soluciones de los carbones activados y la caracterización detallada.

- **Caracterización por adsorción de soluciones de los carbones activados** según (Uribe, López, & González, 2013), con el objetivo de analizar las características texturales, se utilizan las técnicas de adsorción de soluciones (índice de azul de metileno y número de yodo):
  - **Técnica con azul de metileno:** La técnica del azul de metileno, consiste en la determinación del número de mililitros de una solución estándar de azul de metileno decolorada por 0,1 g de carbón activado. Es un método rápido de conocer la capacidad de adsorción de un carbón activado frente a moléculas grandes, importante para la determinación de macroporos. El proceso consiste en adicionar 1 ml inicial de azul de metileno esperar decoloración durante 5 minutos, y seguir adicionando hasta su saturación (Uribe, López, & González, 2013).
  - **Técnica del número de yodo:** El número de yodo expuesto por (Uribe, López, & González, 2013), está definido como los miligramos de yodo adsorbidos por un gramo de carbón activado, este procedimiento puede relacionarse de manera indirecta con el área superficial del carbón activado, el cual da indicios de microporos al ser una molécula de diámetro pequeño. El proceso consiste en titular y registrar el volumen de tiosulfato gastado para decolorar una solución que provenía del filtrado

que se generaba al poner en contacto el carbón activado con HCl (5% en peso) y yodo. Para luego mediante la realización de cálculos que tienen en cuenta las concentraciones de las soluciones y las cantidades de carbón y tiosulfato, lograr el número de yodo de cada una de las muestras.

- **Caracterización detallada:** La caracterización detallada, normalmente realizada a tres muestras representativas, según (Uribe, López, & González, 2013), en donde una de ellas era el carbón mineral y las otras dos fueron aquellos carbones activados que, bajo las diferentes condiciones establecidas, obtuvieron los mejores resultados, frente al índice de azul de metileno y número de yodo. El análisis textural, se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM por sus siglas en inglés), se analizaron tanto muestras de carbón mineral como aquellas activadas bajo las diferentes condiciones, con el fin de observar el desarrollo de la porosidad en ellas.

## VI.6 Metodología Empleada

A continuación, se expone el método empleado en este trabajo de grado, para la elaboración de carbón activado. Como el título indica se producirá “a escala de laboratorio, carbón activado adsorbente a partir de: carbones minerales y materiales lignocelulósicos de Origen Agrícola, haciendo uso en este último caso del proceso de carbonización (expuesto en el marco teórico y desarrollado en el metodológico)

Para la obtención del activado, a partir de carbón mineral, se hace uso de uno de los alótropos más utilizados del carbono, el grafito. Este mineral se obtiene en este caso como materia prima a partir de ferreterías, baterías recicladas, pilas de grafito, lápices, etc. En el caso de la obtención a partir de materiales lignocelulósicos, como se mencionó anteriormente, se utiliza el método de carbonización, pudiendo sugerir como hipótesis, en este punto de la lectura, que el activado obtenido a partir de este precursor, tendrá el menor rendimiento debido a la diferencia en números de carbono, lo cual es inevitable.

Se realizan dos activaciones para los dos distintos tipos de carbón, siendo las dos muestras semejantes en masa, tomando en cuenta los factores ambientales como temperatura, humedad, presión, esto con el objetivo de disminuir el número de variables y tratar de realizar una relación lo más lineal posible. Los datos se recopilan en Microsoft Excel, donde también se realiza el procesamiento de ellos. Como la escala laboratorio es relativamente pequeña, lo ideal es realizar la activación utilizando el método químico, aunque este método no es el utilizado a escala industrial, por lo general es utilizado el método físico, pero este es mucho más costoso cuando se trabaja a pequeña escala, de igual modo, el método químico es más costoso cuando se trabaja a gran escala, es por eso que la activación en este proyecto se hará usando el método químico.

Luego de la activación, se requerirá una comparación con respecto a las dimensiones de los poros. Dependiendo de los resultados, se identifica que tipo de relación guarda el número de poros con el tipo de fuente de carbono, excluyendo de la ecuación el tipo de activación, que en este caso permanece invariable. Se publica dicha relación en el trabajo de grado, detallando en la conclusión los resultados de la experimentación y se integran los costos relacionados con el proceso dentro del estudio técnico, donde también estarán los costos relacionado con los equipos utilizados en la operación finalizando con el estudio de factibilidad.

**TERCERA PARTE**  
**EXPERIMENTACIÓN**

## **CAPITULO VII: ELABORACIÓN DEL REACTOR**

En este capítulo se desarrolla todo lo relacionado con el reactor tipo batch (Horno tipo mufla) diseñado para la producción de carbón y carbón activado, así como la programación tras la automatización de dicho reactor, el diseño de control del proceso, exceptuando lo relacionado con las funciones de transferencias de dicho proceso de control, pues esto último no viene al caso.

Cabe destacar que toda la coraza del reactor fue creada a partir de materiales reutilizados con el fin de reducir costos y representar la filosofía "Piensa en verde, UNPHU". Todos los componentes electrónicos utilizados en el diseño de control fueron importados, pues resultaba difícil sino imposible la obtención de dichos elementos en el país, lo que pudo haber retrasado el completar los objetivos de este trabajo de grado.

### **VII.1 Diseño del reactor**

Un reactor es un equipo en cuyo interior tiene lugar una reacción química, diseñado para maximizar la conversión y la selectividad de esa reacción con el menor coste posible. El reactor diseñado debe ser lo más eficiente posible, y puesto que las reacciones que se llevaran a cabo dentro de este tienen una temperatura relativamente alta de operación, lo ideal sería diseñar un reactor que pueda operar a la temperatura de carbonización y a la vez a la temperatura de activación, en este caso el reactor podría definirse que es de lote o tipo Batch.

El reactor tipo Batch es un reactor donde no existe flujo de entrada ni de salida, es simplemente un reactor con un agitador que homogeniza la mezcla. Es esencialmente un tanque en el que se ha permitido que ocurra una reacción. Una vez que se ha tratado un lote, se vacía el reactor, y se puede entonces tratar un segundo lote, ya que no hay flujos másicos de entrante ni másicos de saliente.



Un solo recipiente puede realizar una secuencia de diversas operaciones sin la necesidad de romper la contención. Esto es particularmente útil cuando se procesan componentes tóxicos o altamente potentes. A pesar de que estos reactores son muy usados en procesos industriales y aplicaciones de control de contaminación, para el tratamiento de aguas residuales son poco prácticos pues se necesita tener entrada y salida de agua para que se puedan tratar volúmenes de agua residual considerables. Pero en nuestro caso es perfecto, pues deseamos hacer dos operaciones relacionadas con la temperatura en un mismo reactor.

Puesto que la temperatura de activación del carbón es la temperatura máxima que en teoría este reactor debe alcanzar, los materiales que componen el reactor deben ser lo suficientemente resistentes para poder controlar esta variable, siendo la temperatura máxima de operación entre 700 a 800 grados centígrados

## **VII.2 Materiales y equipos para la construcción del reactor**

Para la construcción del reactor se hará uso de un sinnúmero de materiales que presentan alta resistencia térmica, a continuación, hablaremos de los materiales más relevantes siendo uno de estos la manta de aislamiento de fibra de cerámica. Las mantas de fibra cerámica están compuestas por fibras entrelazadas largas y flexibles, fabricadas a través del proceso spun (El proceso de spinning no es más que un proceso de hilatura de las fibras), creando con esto un producto durable, fuerte y ligero. Este material puede usarse en aplicaciones con temperaturas que van desde los 538 °C (1,000 °F) hasta los 1,480 °C (2,700 °F).

Las características que presentan estas mantas son:

- Bajo almacenamiento de calor.
- Alta resistencia a la tensión.
- Resistencia al choque térmico.
- Absorción del sonido.
- Fácil instalación.
- No contiene aglutinante.
- No contiene asbestos.
- No requiere tiempo de secado o de curado.

Las aplicaciones comunes de las mantas de aislamiento de fibra de cerámica son:

- Refinamiento y petroquímica.
- Hornos de pirólisis y reformadores.
- Sellos para tubos, empaques y juntas de expansión.
- Tubería para alta temperatura, aislamiento de ejes y turbinas.
- Revestimiento para calentadores de crudo.

El uso de este material en el interior del reactor permite aprovechar con mayor eficiencia el calor generado, impidiendo la disipación térmica a los alrededores, haciendo el equipo aún más seguro para la operación, evitando así posibles quemaduras al entrar en contacto con las paredes metálicas.

El balde metálico con tapa será el recipiente principal, contendrá la manta cerámica, el cilindro de acero y mantendrá todo en su lugar. Por otro lado, el cilindro de acero será el recipiente secundario que contendrá el material lignocelulósico o el carbón que ha de ser activado. Se escoge acero en este caso pues la temperatura entre la manta cerámica y la pared exterior del cilindro de acero puede alcanzar temperaturas superiores a los 1000 grados centígrados mientras que el punto de fusión del acero depende de la aleación y los porcentajes de elementos aleantes. Frecuentemente, de alrededor de 1,375 °C

Los termopares se utilizan para monitorear la temperatura instantánea de operación, es decir, la temperatura que tiene la interfaz manta-acero, y la temperatura en el interior del cilindro de acero. La razón de utilizar dos termopares es para controlar la temperatura de ambos sistemas. Si la temperatura de la pared del acero supera su punto de ebullición, podremos tener metal fundido y exponer el carbón o material lignocelulósico a una atmósfera oxidante generando ceniza en vez de carbón o carbón activado. El segundo termopar está ubicado estratégicamente en el interior del cilindro para mantener la temperatura entre los rangos deseados.

Se debe controlar la temperatura, y esto lo podemos lograr variando el flujo de gas que entrará al reactor. Para controlar la temperatura, se puede registrar su valor neto y modificar el flujo de gas para alcanzar el valor deseado. Esto se puede realizar de forma manual, pero sería un proceso tedioso, poco exacto y algo peligroso. es por eso que se hace uso del microcontrolador Arduino Uno. Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y relativamente fáciles de usar. La lista de materiales estará ubicada en los anexos de manera más detallada (Tabla 3, Anexo A).

### **VII.3 Proceso de Ensamblaje**

La pared interna del balde metálico es cubierta con la manta cerámica, esto incluye la tapa y el fondo. Se perfora la tapa del reactor, creando así un orificio de ventilación que tendrá otra función como orificio de alivio, también se perfora el costado del reactor, con un ángulo estratégico para que las llamas del mechero generen un torbellino en el interior del reactor. Se cortan los ladrillos refractarios para posicionar las piezas en el fondo del reactor, creando así una superficie estable donde colocar el cilindro de acero. El cilindro de acero es colocado en el fondo del reactor, este tendrá una tapa roscable cuyo centro conecta con el tubo de cobre, este servirá como chimenea o tubo de escape, evitando que exista riesgos de explosión por acumulación de presión en el interior de esta recámara. Los vapores generados en el cilindro durante la carbonización escaparan por el tubo de cobre, el cual sale del interior del reactor hacia el exterior a través del orificio de ventilación, y pueden ser recolectados para otros tipos de procesos, en nuestro caso no son de interés.

Con respecto al proceso de control, se perfora el fondo del reactor hasta llegar al interior del cilindro de acero, esto es para colocar el termopar que dará las lecturas de operación. Dicho sensor sirve como elemento primario de medida y elemento de transmisión. El set point es programado en el Arduino siendo este el controlador en el sistema de control de lazo cerrado o bucle. El Arduino Uno también emite la señal de salida tras proporcionar una acción de control correspondiente a la señal de entrada de

los sensores, donde la señal de salida ira directo al controlador, en este caso una electroválvula, que controlará el flujo de combustible en el mechero.

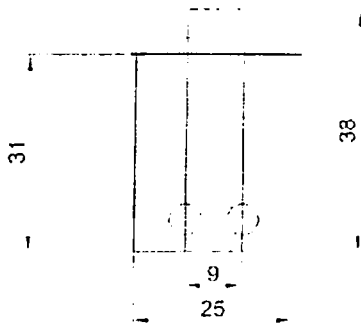


Figura 1.1

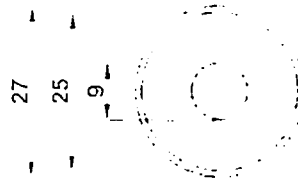


Figura 1.2

Las unidades de las medidas están en centímetros.

Nota. Fuente Abel C. y Lescelis M (2018).

En el Anexo D se encontrarán imágenes con las etapas del proceso de ensamblaje, esto es para crear una versión más palpable acerca de la transformación de las piezas del reactor en el producto terminado. También se presentarán imágenes del proceso de producción de carbón activado, así como los inconvenientes encontrados en el camino.

**CUARTA PARTE**  
**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD**

## CAPITULO VIII: ESTUDIO DEL MERCADO

### VIII.1 Descripción del producto

Como todo producto, este debe ser analizado para posterior distribución en el mercado. El carbón activado fue analizado a partir de un método instrumental, tal como fue mencionado en las técnicas de caracterización. La técnica empleada fue a partir de microscopio electrónico de barrido para observar el desarrollo de la porosidad en las muestras. El análisis fue llevado a cabo por el laboratorio de aduanas en donde se detectaron la presencia de poros, lo cual confirma la activación del carbón y la funcionalidad del reactor diseñado, también se determinó que el tamaño de los poros lo cual es excelente a la hora de especificar al cliente el producto que va a comprar.

En las siguientes imágenes se puede observar la porosidad del carbón:

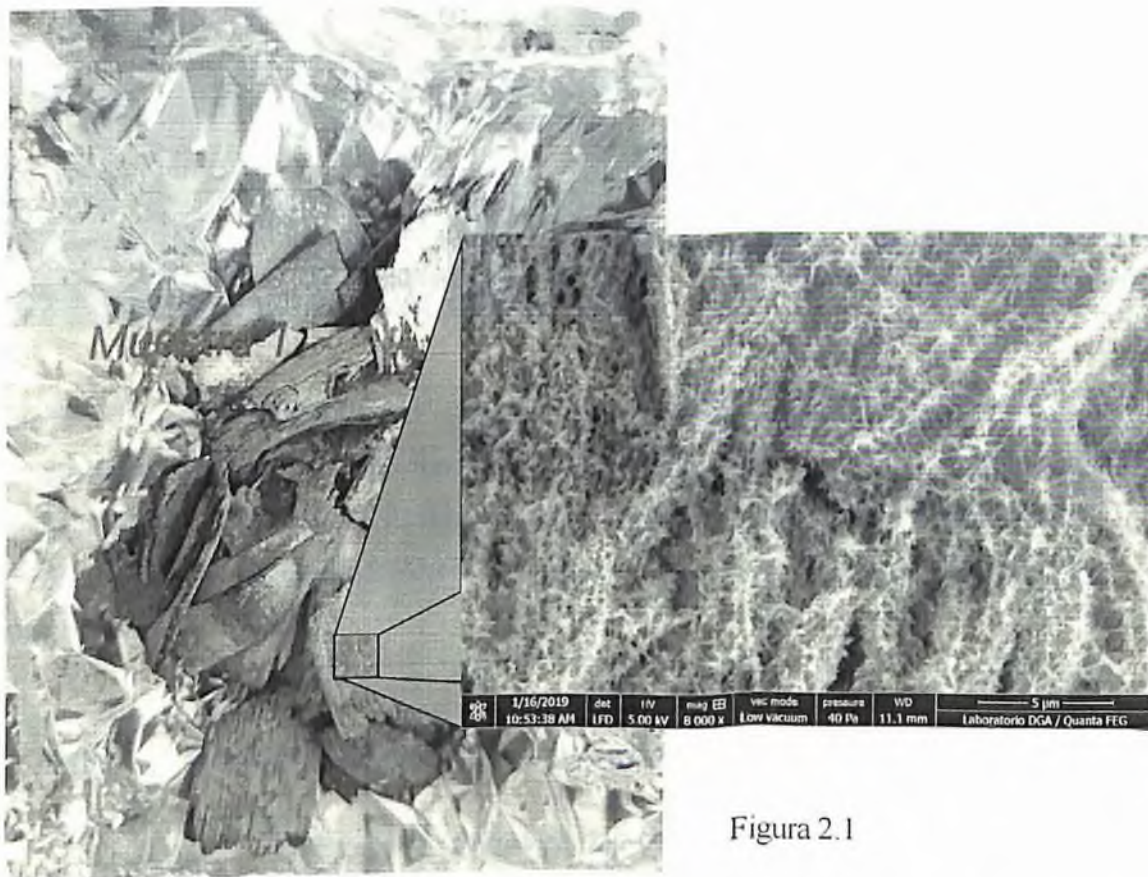


Figura 2.1

Nota. Fuente: Abel C y Lescelis M (2018)



Como se puede ver en la imagen, la estructura porosa está presente en el carbón, lo que comprueba la activación del mismo. Esta es la primera de dos muestras analizadas en el laboratorio de aduanas, cuyo análisis fue efectuado por el Sr. Jesús Olivera Cabo. La segunda muestra se puede contemplar a continuación:

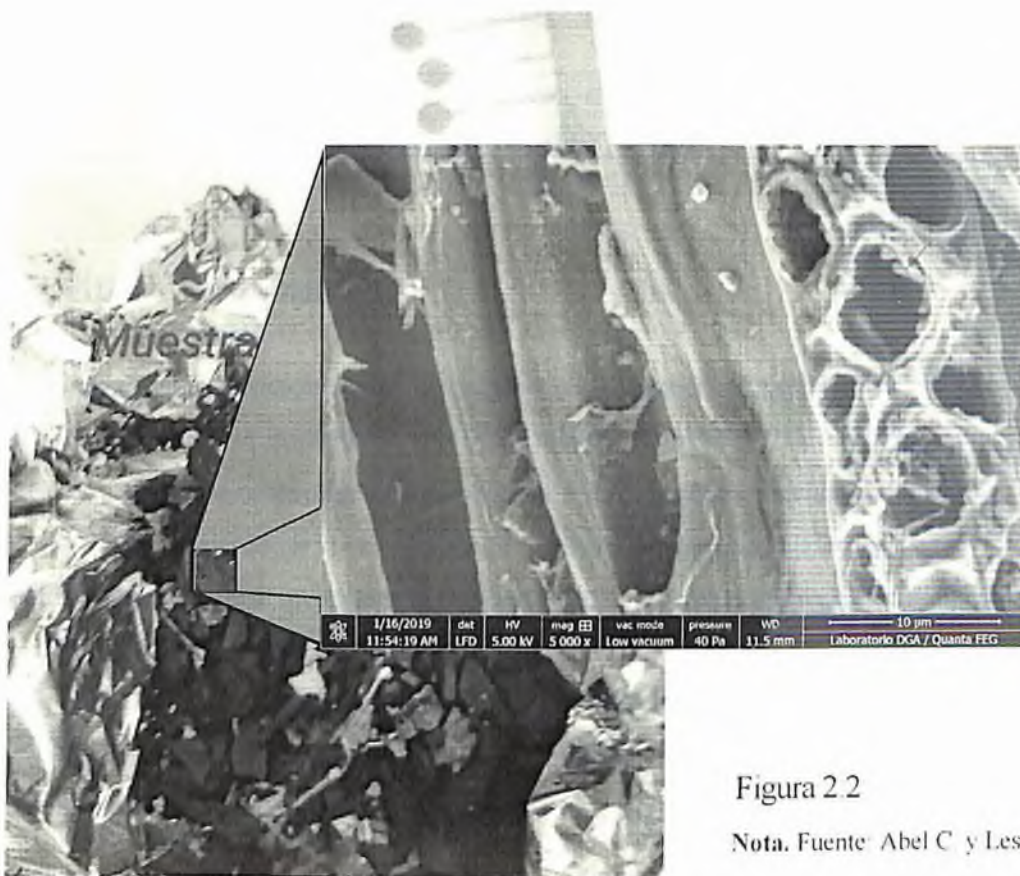


Figura 2.2

Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018)

En estas imágenes podemos ver que tanto la estructura macro como la vista en el microscopio electrónico de barrido tienen menor dimensión, y que los poros en esta imagen son más notorios. Las dimensiones promedio de los poros obtenidos en nuestros productos son de aproximadamente  $1.5 \mu\text{m}$  a  $10 \mu\text{m}$ , con superficies ásperas para atrapar cualquier impureza.

## VIII.2 Clasificación Internacional Industrial Uniforme

La Clasificación Internacional Industrial Uniforme (siglas: CIU) o, en inglés, International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (abreviada como ISIC), es la clasificación sistemática de todas las actividades económicas cuya

finalidad es la de establecer su codificación armonizada a nivel mundial. Es utilizada para conocer niveles de desarrollo, requerimientos, normalización, políticas económicas e industriales, entre otras utilidades.

Para la producción de carbón activado la CIU es en dicho caso:

Fabricación de sustancias químicas básicas, excepto abonos y compuestos de nitrógeno.	
24110	carbón activado, fabricación

**Nota.** Aduanas (2017).

### VIII.3 La demanda

Como se ha mencionado anteriormente, la demanda de carbón activado en nuestro país se cubre con la importación de este producto, todo el carbón activado que se utiliza es proveniente de empresas internacionales. Para conocer la demanda de nuestra nación y el comportamiento de dicha demanda a través del tiempo, podemos hacer uso de los datos relacionados a importación facilitado por la Dirección General de Aduanas. Los gráficos presentados en el Anexo C muestran el cambio de Free On Board (FOB), una cláusula de comercio internacional que se utiliza para operaciones de compraventa en las que el transporte de la mercancía se realiza por barco, ya sea marítimo o fluvial, en función a los diferentes países importadores de carbón activado.

Analizando todos los gráficos del Anexo C podemos ver que el puesto para el principal importador de carbón activado, desde el año 2014, pertenece a Estados Unidos con una importación anual promedio valorada en 1,473,577.523 FOB US\$, seguido de China y Suiza con 646,142.3362 FOB US\$ y 346,444.0144 FOB US\$ respectivamente, siendo FOB US\$ la unidad utilizada en los gráficos del Anexo C para representar la cantidad valorada en dólares invertidas en la importación de carbón activado. También podemos ver en la gráfica 4 del Anexo C que desde Bélgica solo se ha realizado una importación, efectuada en el año 2017, siendo dicha inversión para entonces insignificante comparado con los demás países, demostrado que la producción de carbón activado en Bélgica puede ser a una pequeña escala o que la producción esta direccionada a suplir solo su territorio nacional.



Se tomó el año 2016 para realizar un análisis mensual de la importación de carbón activado, escogiendo el 2016 debido a que es el año medio para los datos que tenemos disponibles. De acuerdo con las gráficas, febrero fue el mes con mayor importación de carbón activado con un total de 476,532.68 FOB US\$ lo cual es un 17% del total de importación para dicho año, mientras que septiembre y enero son los dos siguientes en el top 3, con 352,285.5564 FOB US\$ y 320,801.0927 FOB US\$ respectivamente.

El Anexo A Tabla 9, contiene información relevante sobre algunas empresas en la República Dominicana que usan carbón activado en sus procesos de producción. esta también permite conocer los productos que producen las mismas. Debido a que estas empresas usan nuestro producto, es decir Carbón activado, son consideradas posibles consumidores.

#### **VIII.4 La oferta**

Ya sabemos que el carbón activado es importado y que no hay producción a nivel nacional, por lo tanto, la oferta está en función de la producción internacional, que podemos medir a partir de la cantidad de carbón activado importado y a partir de las diferentes compañías encargadas de la producción del producto en cuestión a nivel internacional, como ejemplo tenemos a algunos proveedores en el Anexo A Tabla 5.

También sabemos que el carbón activado se puede clasificar según la porosidad que este posea, pero esto también influye en la utilidad y el precio que este pueda tener en el mercado. Los proveedores, en su mayoría, tienden a especificar la clasificación de sus productos y esto ayuda a los compradores para la selección del carbón que más le convenga.

##### **VIII.4.1 Precio**

En el Anexo A Tabla 5, podemos ver una muestra de los diversos proveedores de carbón activado. Por el momento no es posible determinar su capacidad instalada, pero

a diferencia de otros estudios de oferta, no es necesario igualar la producción de la competencia pues la escala de este proyecto ya está predeterminada. Los precios presentados en el Anexo A son precios que no toman en cuenta los costos relacionados a la importación, esto puede significar una ventaja para este proyecto pues los precios de nuestro producto pueden ser aumentado por encima de la competencia, siempre y cuando no supere la suma de costos relacionada a la importación.

Las tablas especifican los precios por kilogramos de carbón activado, y en ella podemos ver que existen por lo menos 5 proveedores de carbón activado en México, estando Estados Unidos, Argentina y otros países como China, que siempre está entre los países con precios más bajos para la venta de carbón activado

### **VIII.5 Canales de comercialización**

Los canales de comercialización son las vías por donde circulan los productos desde su origen, el fabricante, hasta el consumidor final. Estos canales están formados por empresas independientes de los fabricantes que tienen como función comercializar, vender o ayudar a la venta de los productos creados o fabricados por otros.

Para este Proyecto, la ruta de comercialización puede ser directa, pero también puede tener naturaleza indirecta. La razón es que los principales compradores adquieren el carbón activado en grandes cantidades, lo cual es más cómodo si se contacta directamente con el proveedor. La comercialización indirecta puede presentar un reto pues queda en función de los compradores de pequeñas cantidades y la frecuencia con que estos la necesitan.

La mejor forma para la venta de este producto en estos tiempos es a través de medios electrónicos. Es una forma rápida y cómoda de realizar comprar siendo este método un canal de comercialización electrónico.

## **VIII.6 Localización**

El estudio de la localización tiene el propósito de buscar y cubrir las exigencias o requerimientos del proyecto, contribuye a minimizar los costos de inversión y costos y gastos durante el periodo productivo del proyecto. La determinación de la localización es un factor importante en la evaluación del proyectador.

A continuación, procedemos a realizar el análisis de macro localización y micro localización.

### **VIII.6.1 Macro localización**

La macro localización es la parte del estudio de localización que nos permite conocer que zona o región es la más favorecedora para desarrollar un proyecto o industrial. En esta se analizan cada una de las alternativas las cuales son:

- Región Este

En esta región, Santo Domingo y el Distrito Nacional son las provincias con mayor actividad económica. Esta cuenta con un gran desarrollo industrial y con atractivos turísticos, por esa misma razón, una gran contaminación ambiental y numerosos puestos de manipulación de madera y materiales lignocelulósicos, dispuestos a vender a un precio razonable sus desperdicios que pueden ser utilizados como materia prima en la producción del carbón activado.

- Región Sur

Esta región es menos privilegiada en términos económicos. Esta es zona de producciones agrícolas, además cuentas con algunos ligares turísticos. Esta zona posee la mayor disponibilidad de material celulósico para el proceso de carbonización, pero a

diferencia de la zona este, la distancia que existe con los consumidores y las líneas de distribución, dificultan la elaboración de un buen plan de comercialización.

- Región Norte

En esta región predomina Santiago como provincia de mayor desarrollo industrial. En esta región las industrias que más se destacan son la de café, cacao y arroz. Consta con una importante actividad minera, además es poseedora de algunos de los atractivos turísticos más importantes del Caribe.

En Anexo A Tabla 6, es un análisis de las regiones de la República Dominicana, en el cual se tomaron en cuenta ciertos factores que consideramos de suma importancia para para beneficio de nuestro proyecto.

- ✓ Selección de la zona

La región elegida es la región este, debido a su gran cantidad de industrias, mayor desarrollo y disponibilidad de recursos. La región Sur, carece de los recursos básicos necesarios para llevar a cabo ciertas actividades, y en el caso de la región norte, esta no queda descartada en su totalidad siendo una alternativa válida en caso de presentar inconvenientes futuros relacionados a la localización.

### **VIII.6.2 Micro localización**

Dentro de la región este la provincia elegida ha sido Santo Domingo, esto es debido a que cuenta con un gran desarrollo industrial, mayor disponibilidad de recursos y transporte, y una gran cercanía a al mercado.

### **VIII.6.3 Matriz de localización**

Luego de seleccionar la provincia donde se lleva a cabo nuestro proyecto, se evaluaron algunas plantas o naves industriales, en el caso de una escala mayor, para identificar la más idónea donde desarrollar nuestro proyecto. A continuación, les presentamos un listado de dichas naves:

1. Nave Industrial, km 22 de la Autopista Duarte, Santo domingo.
2. Nave Industrial Km 17 de la Autopista Duarte, Santo domingo.
3. Nave Industrial, Km 14, Pantoja, Santo Domingo.
4. Nave Industrial, Sector 6 de noviembre, Santo Domingo.
5. Nave Industrial, Autopista Duarte, Santo Domingo Oeste.

✓ Selección de la Nave

De acuerdo con los datos tabulados en el Anexo A Tabla 7 y tomando en cuenta los resultados del Anexo A Tabla 8, llegamos a la conclusión de que la nave que cumple con las mejores condiciones es la identificada con el número 5, correspondiente a la Nave Industrial, ubicada en la Autopista Duarte en Santo Domingo Oeste.

### **VIII.7 Determinación del tamaño de planta**

En Anexo D Ilustración 15, es un plano de planta donde se muestra muy detalladamente de qué manera se distribuirán las áreas dentro la nave. Por otra parte, el Anexo A Tabla 8, se tabulan las dimensiones necesarias para cada área de la nave, teniendo como resultado la superficie total de 97 metros cuadrados necesarias para el desarrollo de la empresa.

## **CAPITULO IX: PLAN DE PRODUCCIÓN**

El plan de producción es la sección del plan de negocios a mediano plazo que el departamento de fabricación / operaciones es responsable de desarrollar. El plan señala en términos generales la cantidad total de producto cuya responsabilidad de producción es del departamento de fabricación durante cada período del horizonte de planificación.

### **IX.1 Capacidad de producción**

Para el inicio del proyecto se dispondrá de solo un reactor, debido a la escala de producción establecida en el alcance del proyecto. La capacidad del reactor es de aproximadamente 1 kg de carbón activado por hora, en una tanda laboral de 9 horas al día y 8 horas efectivas dedicada al reactor, esto se traduce como 8 kg de carbón activado al día. Los números pueden aumentas con la cantidad de reactores dentro de la planta, pero de igual manera aumentan los gastos.

### **IX.2 Días hábiles de trabajo**

El Código de trabajo de la República Dominicana establece 44 horas laborables a la semana distribuidas de la siguiente manera, 8 horas los de lunes a viernes, y 4 horas los sábados. Teniendo lo estipulado en el código, realizamos nuestra programación de producción, se laborará de lunes a viernes de 8:00 AM a 5:00 PM, lo que sería un total de 5 días a la semana, y 20 días laborables al mes.

### **IX.3 Número de turnos**

Pues en marcha el laboratorio y teniendo en cuenta la programación, se trabajará un turno de 8 de la mañana a 5 de la tarde, es decir, 8 horas diarias, para un total de 40 horas a la semana y 160 horas al mes.

## IX.4 Equipos

El Anexo A Tabla 10 es un registro del conjunto de herramientas y equipos que necesitaremos para la puesta en marcha del laboratorio, aquí es posible observar algunas características correspondientes, tales como la cantidad necesaria de cada uno y ciertos detalles.

La producción es de 1 Kg por hora, 8 Kg al día, 40 Kg a la semana y por tanto 160 Kg al mes. A partir de los datos del Anexo A Tabla 11, se observa que por cada 5 unidades de masa de materia prima se produce 1 unidad de materia de producto. por tanto, para producir 160 Kg de carbón activado se van a requerir 800 Kg de materia prima, con materia prima nos referimos en este caso a material lignocelulósico o al aserrín utilizado en la experimentación. En el caso de la utilización de carbón mineral, la relación se mantiene de una unidad de masa de materia prima a una unidad de masa de producto.

Para el transporte de la materia prima se ha tomado como referencia al Nissan NP300 2.5L, con un rendimiento mixto de combustible de 11.9 km/l y una capacidad máxima de carga de 1249 Kg. Con un recorrido estimado de 50 Km por mes para el transporte de la materia prima, se calcula un consumo de combustible de 4.21 L (1.11 Gal) al mes con un exceso de 50% para los imprevistos y congestionamiento del tránsito hace un total de 6.32 L (1.67 Gal). Como el precio de los combustibles varía a través del tiempo, usaremos el valor actual proporcionado por la página del Ministerio de industria comercio y MIPYMES. El precio de la gasolina regular actual (12/01/2019) es de 192.60 pesos dominicanos el galón, traduciendo el consumo de combustible en a 321.65 pesos al mes.

Con una carga de 1249 Kg al mes y 800 Kg necesarios, reduciendo la carga del transportador a 1200 Kg para mayor seguridad, restarán 400 Kg cada mes, sirviendo esto para reducir la compra de materia prima, es decir, reducir la frecuencia con la que

haya que realizar la ruta de transporte y reducir costos de combustible. Cada 2 meses el almacén se abastece con los 800 Kg necesarios a partir de los 400 Kg restantes cada mes para la producción del tercer mes.

En la figura 1.2 se puede observar que el diámetro máximo ocupado por el reactor es de 27 cm, esto es un área de  $0.06 \text{ m}^2$  por reactor. Disponiendo de 1 metro de radio entre cada reactor, cada reactor por tanto podría ocupar un área de  $1.27 \text{ m}^2$ . El área de producción dispone de  $24 \text{ m}^2$  y si se desea ocupar la mitad del área de producción con reactores, el número de reactores dentro del área sería de 9 reactores.

Luego de completar la producción de carbón activado, el producto pasará al almacén con una capacidad de (introducir la capacidad de almacenaje a partir del volumen del almacén y a la densidad del carbón activado). Al igual que el producto, la materia prima se deberá almacenar de una manera tal que el porcentaje de humedad no incremente significativamente pues esto aumentaría la cantidad de combustible necesario para el proceso de carbonización. El proceso consistirá en los procesos designados en el Anexo B Diagrama 7.



## CAPITULO X: EVALUACIÓN DEL PROYECTO

### **X.1 Cronograma de inversión**

El cronograma de inversiones está dividido en meses para el primer año, donde se pueden ver los costos relacionados al reactor. Dicho reactor pertenece a la etapa experimental del proyecto y sirvió para establecer el balance de materia en la producción de carbón activado. Los costos que le siguen al reactor pertenecen al conjunto de equipos y herramientas para la puesta en marcha de una pequeña producción de carbón activado completamente independiente y autónoma, perteneciendo tanto los costos del reactor como los costos relacionados a los mobiliarios a los costos fijos.

Los costos diferidos por su parte están clasificados por los permisos, la capacitación del pequeño personal, el estudio de mercado que dependerá de que tan profundo se desee realizar, pues para este proyecto los datos facilitados por Aduanas han sido más que suficiente, mantenimiento preventivo para los reactores y equipos, y finalmente publicidad, la cual en estos últimos años se ha hecho más económica y posee mayor efectividad. La tabla mostrada a continuación solo muestra la inversión inicial, pues las dimensiones de la tabla original sobrepasan las dimensiones de las hojas. De todos modos, los datos relacionados con los meses siguientes son utilizados en la tabla de flujo de caja y son resumidas para una mejor comprensión dentro del texto que le corresponde.

### X.1.1 Cronograma de Inversión

Nota. Fuente Abel C y Lescelis M (2018)

Inversion fija	Datos relevantes	Unidad	Costo unidad	Costo total
Balde metálico con tapa	Cilindrico	1	\$ 1.000.00	\$ 1.000.00
Manta de Aislamiento de Fibra de Cerámica	RD\$300 / ft	5	\$ 300.00	\$ 1.500.00
Taladro	Disponible	1	\$ 2.700.00	\$ 2.700.00
Tornillos, Arandelas y Tuercas	Kit	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Termopar	Tipo K	2	\$ 500.00	\$ 1.000.00
Cilindro de Acero	Pedido	1	\$ 2.000.00	\$ 2.000.00
Ladrillo Refractario	Horno	1	\$ 700.00	\$ 700.00
Arduino Uno	Kit	1	\$ 3.900.00	\$ 3.900.00
Mechero	Truper	2	\$ 1.200.00	\$ 2.400.00
MAX6675	Modulo Arduino	1	\$ 400.00	\$ 400.00
Electrovalvula	110 V - AC (1/2")	1	\$ 800.00	\$ 800.00
Coupling	Total	1	\$ 2.750.00	\$ 2.750.00
Herrero	Manufactura	1	\$ 2.000.00	\$ 2.000.00
Courier / Supridor	Aeropaq / Amazon	1	\$ 2.000.00	\$ 2.000.00
Tanque de gas	12 LB	1	\$ 1.830.00	\$ 1.830.00
Whynter ARC-14S	Aire acondicionado	1	\$ 22.950.00	\$ 22.950.00
Muebles	Escritorios, Muebles, equipos de oficina	1	\$ 100.000.00	\$ 100.000.00
Ventilador	Minka-Aire F843-SL	4	\$ 12.240.00	\$ 48.960.00
Estanterías	0.9398 m x 0.3556 m	20	\$ 2.200.00	\$ 44.000.00
Inversion diferida	Datos relevantes	Unidad	Costo unidad	Costo total
Permisos	Operación y medio ambiente	1	\$ 5.000.00	\$ 5.000.00
Capacitacion	Cursos y demas	6	\$ 1.000.00	\$ 6.000.00
Estudio de mercado	N/A	1	\$ 3.000.00	\$ 3.000.00
Mantenimiento a equipos	N/A	10	\$ 200.00	\$ 2.000.00
Publicidad	Redes	1	\$ 3.000.00	\$ 3.000.00

### X.2.1 Diagrama de Flujo del Proyecto

Tasa de Inflación	
Anual	Mensual
0.04	0.003228822

	Inversión	2	3	4	5
Ingresos	\$ -	\$ 327,728.00	\$ 327,728.00	\$ 327,728.00	\$ 327,728.00
Costos	-\$ 260,390.00	-\$ 327,728.00	-\$ 355,208.00	-\$ 327,728.00	-\$ 355,208.00
	-\$ 260,390.00	\$ -	-\$ 27,480.00	\$ -	-\$ 27,480.00

VAN
-\$895,334.67

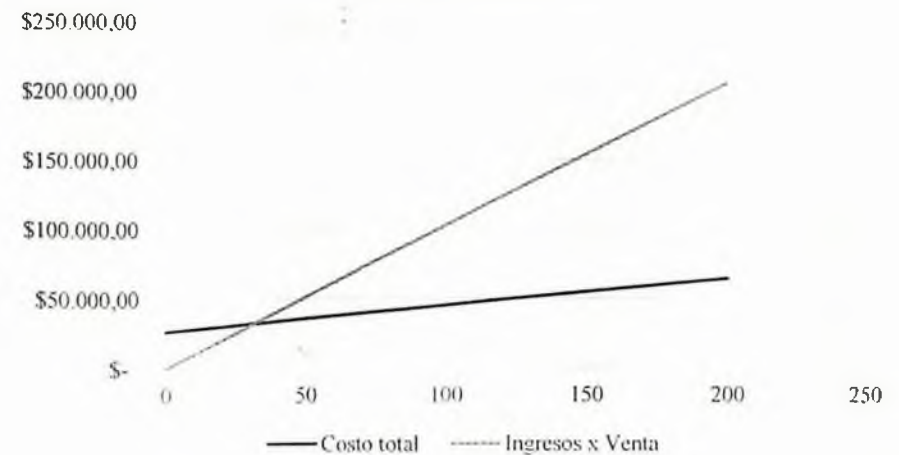
6	7	8	9	10	11	12
\$ 327,728.00	\$ 327,728.00	\$ 327,728.00	\$ 327,728.00	\$ 327,728.00	\$ 327,728.00	\$ 327,728.00
-\$ 333,728.00	-\$ 355,208.00	-\$ 327,728.00	-\$ 355,208.00	-\$ 327,728.00	-\$ 353,208.00	-\$ 329,728.00
-\$ 6,000.00	-\$ 27,480.00	\$ -	-\$ 27,480.00	\$ -	-\$ 25,480.00	-\$ 2,000.00

Costos fijos mensuales	\$ 26,314.43
Costos variable unitario	\$ 189.21
Precio de venta por unidad	\$ 1,024.15

Cantidad de equilibrio	31.52
Ingreso de equilibrio	\$ 32,277.48

India	\$ 19.64
Proyecto	\$ 1,024.15
Diferencia	\$ 1,004.52

Grafica de Equilibrio



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018)

**X.2.2 Diagrama de Flujo Factible**

Tasa de Inflación	
Anual	Mensual
0.04	0.003228822

	1	2	3	4	5
Ingresos	\$ -	\$ 458,064.04	\$ 458,064.04	\$ 458,064.04	\$ 458,064.04
Costos	-\$ 260,390.00	-\$ 327,728.00	-\$ 355,208.00	-\$ 327,728.00	-\$ 355,208.00
	-\$ 260,390.00	\$ 130,336.04	\$ 102,856.04	\$ 130,336.04	\$ 102,856.04

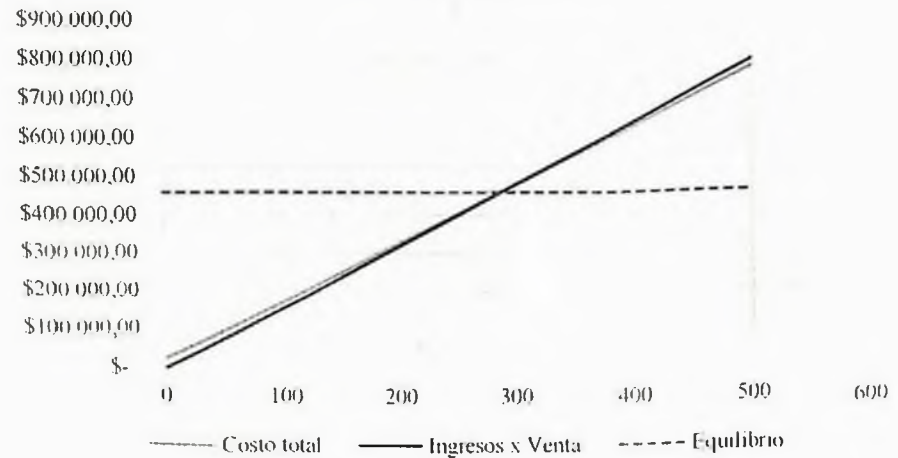
6	7	8	9	10	11	12
\$ 458,064.04	\$ 458,064.04	\$ 458,064.04	\$ 458,064.04	\$ 458,064.04	\$ 458,064.04	\$ 458,064.04
-\$ 333,728.00	-\$ 355,208.00	-\$ 327,728.00	-\$ 355,208.00	-\$ 327,728.00	-\$ 353,208.00	-\$ 329,728.00
\$ 124,336.04	\$ 102,856.04	\$ 130,336.04	\$ 102,856.04	\$ 130,336.04	\$ 104,856.04	\$ 128,336.04

VAN	TIR
\$1,005,244.41	46%

Costos fijos mensuales	\$ 25,000.00
Costo variable unitario	\$ 1,503.63
Precio de venta por unidad	\$ 1,590.44

Cantidad de equilibrio	288.01
Ingreso de equilibrio	\$ 458,064.04

**Gráfica de Equilibrio**



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018)

## **X.2 Flujo de caja**

Para empezar, se debe señalar que este proyecto consta de dos diagramas de flujo de caja, ambos proyectados por cinco años en periodo de meses, pero representados en este documento por solo un año. El primer diagrama está enfocado en mostrar que tan factible sería el proyecto, si dicho producto poseyera el precio suficiente como para equiparar los costos mensuales, pero en función de la cantidad de equilibrio determinada. El segundo diagrama nos permite ajustar el precio para llevar el proyecto a un estado factible, esto quiere decir que cambiamos el precio hasta hacer este proyecto factible y conocer que tanto por ciento estamos excediendo los costos de producción para sustentar el proyecto. Este último diagrama también sirve para saber si los clientes están dispuestos a pagar más por un producto que pueden costearse de manera instantánea y sin tener que involucrarse con formalidades aduanales.



## CONCLUSIÓN

## CONCLUSIÓN

Llegando a esta etapa, podemos concluir que el proyecto es viable hasta cierto punto, pues en el país se dispone de todos los recursos necesarios para la puesta en marcha del proyecto, es decir, materia prima, equipos y herramientas. El proyecto en cambio no es factible, pues la viabilidad financiera se ve afectada por varios factores relacionados a la cantidad y precio del producto ofrecido, así como a los costos que estos reflejan para la producción.

Este proyecto posee un valor actual neto de -\$895,334.67 para un proyecto de 5 años, cabe señalar que el periodo de recuperación no está dentro de los 5 años analizados y que el punto de equilibrio de este proyecto posee unas coordenadas de 31.52 Kg de carbón activado producido con un ingreso de equilibrio de \$32,277.48, correspondiente a un precio de \$1,024.15 unidades monetarias (Pesos dominicanos, como en los demás casos), esto es un precio mucho mayor a los precios encontrados en el mercado ( Anexo A Tabla 5), ocupando así el quinto lugar de los precios más altos por kilogramo de carbón activado. Este valor de VAN (indicador financiero) deja más que claro que el proyecto no es factible, aunque presente viabilidad técnica, ambiental y social, cumpliendo estos datos por lo tanto con nuestro objetivo general.

Los métodos de activación para la producción de carbón activado fueron presentados y analizados, para así luego poder seleccionar el más conveniente, así como se especificó en los objetivos. En nuestro caso la activación química fue seleccionada debido a la escala del proyecto y debido a la disponibilidad de los recursos para la elaboración del reactor.

Los datos relacionados a la demanda fueron recolectados de forma indirecta debido a la dificultad que poseen muchas empresas para facilitar estas cifras, es decir, haciendo uso de información sobre las importaciones de carbón activado al país. El método que se utilizó para conocer si existe mercado de carbón activado en el país, solo pudo haber sido efectuado debido a que no existe una oferta nacional de este producto.

El diseño y la construcción del reactor presentaron ser un reto para el proyecto, pero debido a que se dedicó mucho esfuerzo en esta etapa, la producción del carbón activado resultó ser un proceso sencillo. Los datos experimentales se procesaron para determinar el precio que ayudaría a cubrir los costos, el precio de equilibrio y se compararon esos datos con los precios existentes en el mercado internacional, completando así todos los objetivos específicos que fueron establecidos al inicio del proyecto.



## **RECOMENDACIONES**

## RECOMENDACIONES

El sistema diseñado de recolección de material lignocelulósico puede mejorar en el futuro cuando el país tenga una cultura de reciclaje adecuada para reducir los costos en este aspecto.

Existen varias formas para convertir el estado de factibilidad de este proyecto, y esto se puede lograr si el proyecto logra alcanzar el punto de equilibrio financiero, pues el precio al que deberá ser establecido luego de conocer las coordenadas de la intersección de las curvas de equilibrio. Durante el procesamiento de los datos se tomaron varios precios referentes a diferentes suplidores internacionales, y se realizaron análisis respecto a estos. El precio promedio para hacer este proyecto factible es alrededor de los \$1000 a \$1600 pesos dominicanos, con una cantidad producida mensual que dependerá exclusivamente del precio establecido. Un ejemplo que se puede señalar es un precio unitario de \$1,590.44 para una cantidad de 288.01 Kg mensuales, que se pueden lograr con 10 reactores alcanzando un VAN de \$1,005,244.41 y una tasa interna de retorno del 46%, todo esto con un periodo de recuperación de 4 meses! Una tasa interna de oportunidad mayor que 46% no se encontrará en cualquier lugar, prometiendo en este caso ser un proyecto factible.

El precio de equilibrio en el ejemplo anterior no es el precio más alto documentado en este proyecto, por tal razón, se debe considerar la diferencia del carbón producida en el país con carbones activados de las competencias, que para empresas con una demanda constante y significativa, esté carbón podría convertirse en una fuente inmediata por la que no existen demoras a consecuencia de tener que migrar el producto y el cliente estaría ahorrando los costos relacionados al precio del flete, el seguro de transporte, los gastos de desestiba y puerto de destino, las gestiones aduaneras en el país de destino y el transporte desde el puerto hasta el destino final de la mercancía. Pero la producción realizada en este trabajo de grado no alcanza los niveles para ser un proyecto factible

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Czernik, S. (8 de Septiembre de 2010). *Fundamentals of Charcoal Production*. Newcastle, Tyne y Wear, Inglaterra.
- Evangelista, C. (2007). *EL CARBÓN: EL RECORRIDO DE LOS MINERALES*. Madrid: Domènech e-learning multimedia, S.A.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (20 de marzo de 1985). *Publications: FAO*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/home/en/>
- Huang, X. (16 de Diciembre de 2009). *Materials: MDPI Open Access Journals*. Obtenido de MDPI Open Access Journals: <http://www.mdpi.com>
- Luna, D., Gordon, M., Martín, N., & González, A. (16 de febrero de 2007). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. Ciudad de México, Reynosa Tamaulipas, México.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (2007). ADSORCIÓN. En W. McCabe, J. Smith, & P. Harriot, *OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA* (págs. 875-876). México: McGraw-Hill.
- McDougall, G. (1991). The physical nature and manufacture of activated carbon. En G. McDougall, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* (págs. 109-120). Ekurhuleni: Next Century Pub.
- Miranda Miranda, J. J. (2001). *Gestion de Proyectos*. Bogotá: Editora Guadalupe.
- Muriel, A., Gamba, G., Cabrera, J., Fierro, L., Díaz, M., & Mejía, S. (2005). *La Cadena del Carbón*. Bogotá: Ministerio de minas y energía.
- Park, S.-J. (2015). *Precursors and Manufacturing of Carbon*. Incheon: Springer.
- Pinzón, M. (Junio de 2007). Café Descafeinado. *Fórum del Café*, 1-6.
- Rodríguez Pimentel, H. (1 de Marzo de 2017). *DATA: IAGUA* . Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es>
- Suero, P. (2011). Separata de Metalurgia Extractiva II *Metalurgia del Oro Proceso*, 31-34.

Troconis, A. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Miami: Belzona Inc.

Tutturen, K. (May de 2013). *Industrial charcoal production with power generation at Mully Children's Family Yatta, Kenya*. Trondheim: Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología.

Uribe, L., López, M., & González, A. (2013). ACTIVACIÓN DE CARBÓN MINERAL MEDIANTE PROCESO FÍSICO EN HORNO TUBULAR HORIZONTAL Y ATMÓSFERA INERTE. *Revista Colombiana de Materiales*, 25-40.

Yu-Chun Chiang, Y.-J. C.-Y. (11 de Noviembre de 2017). *Material: MDPI Open Access*. Obtenido de MDPI Open Access: <https://www.mdpi.com/>

## **ANEXOS**

## ANEXO A

### Tablas referentes en los textos anteriores

Tabla 1 .....	89
Tabla 2 .....	89
Tabla 3 .....	90
Tabla 4 .....	91
Tabla 5 .....	92
Tabla 6 .....	93
Tabla 7 .....	93
Tabla 8 .....	94
Tabla 9 .....	95
Tabla 10 .....	96
Tabla 11 .....	97

Tabla 1

*Tipos de carbón.*

<b>Tipo de carbón</b>	<b>Porcentaje de Carbono</b>
Turba	60%
Lignito	65%-75%
Hulla	84%
Antracita	90%

Nota. Fuente: El Carbón: El Recorrido de los Minerales.

Tabla 2

*Clasificación de poros en el carbón activado.*

<b>Tipo de poros</b>	<b>Ancho (Å)</b>
Macroporos	500 a 20000
Poros transicionales (Mesoporos)	100 a 500
Microporos	8 a 100

Nota. Fuente: The Physical Nature and Manufacture of Activated Carbon.



Tabla 3

*Lista de materiales para la elaboración del reactor.*

<b>Materiales</b>	<b>Detalles</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio individual</b>	<b>Subtotal</b>
Balde metálico con tapa	Cilindrico	1	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00
Manta de Aislamiento de Fibra de Cerámica	RD\$300 / ft	5	\$ 300.00	\$ 1,500.00
Taladro	Disponible	1	\$ 2,700.00	\$ 2,700.00
Tornillos, Arandelas y Tuercas	Kit	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Termopar	Tipo K	2	\$ 500.00	\$ 1,000.00
Cilindro de Acero	Pedido	1	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
Ladrillo Refractario	Horno	1	\$ 700.00	\$ 700.00
Arduino Uno	Kit	1	\$ 3,900.00	\$ 3,900.00
Mechero	Truper	2	\$ 1,200.00	\$ 2,400.00
MAX6675	Módulo Arduino	1	\$ 400.00	\$ 400.00
Electroválvula	110 V - AC (1/2")	1	\$ 800.00	\$ 800.00
Coupling	Total	1	\$ 2,750.00	\$ 2,750.00
Herrero	Manufactura	1	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
Courier / Supliodor	Aeropaq / Amazon	1	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
Tanque de gas	12 LB	1	\$ 1,830.00	\$ 1,830.00

Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M. (2018).

Tabla 4

Límites de emisión de gases

Actividad	Nombre	Formula	Concentracion (Mg/Nm3)	Observacion
Centrales térmicas que utilizan fuel-oil y carbón mineral	Dióxido de Azufre	SO <sub>2</sub>	2200	Cualquier potencia. En base al flujo seco y 15% de O <sub>2</sub>
Centrales que utilizan fuel-oil y mezclas de petcoke				En base al flujo seco y 15% de O <sub>2</sub>
Centrales térmicas que utilizan carbón mineral	Dióxido de Nitrógeno	NO <sub>2</sub>	750	En base al flujo seco y el 6% de O <sub>2</sub>
Centrales térmicas que utilizan fuel oil y diesel			2000	En base al flujo seco y el 15% de O <sub>2</sub>
Centrales térmicas que usan gas natural			220	N/A
Combustible industrial	Monóxido de Carbono	CO	1150	Instalaciones que utilizan fuel-oil
Centrales térmicas que utilizan carbón			1150	N/A
Centrales térmicas e instalaciones que utilizan fuel-oil y carbón mineral	Partículas sólidas	N/A	250	Potencia <50 MW
Incineración de residuos sólidos no peligrosos			300	Residuos < 1 ton/h

Nota. Fuente Normas Ambientales de Calidad Aire y Control de Emisiones.

Tabla 5

*Lista de suplidores de Carbón Activado y precios en dólares.*

Tabla de proveedores				
Proveedor	Precio en dólar (Kg)	Precio en pesos (Kg)	Precio por producción	
México, Puebla	\$ 1.51	\$ 77.01	\$	616.08
México, México	\$ 1.26	\$ 64.26	\$	514.08
Costa Rica, Acosta	\$ 1.00	\$ 51.00	\$	408.00
Argentina, Quilmes	\$ 1.00	\$ 51.00	\$	408.00
México, México	\$ 0.52	\$ 26.52	\$	212.16
USA	\$ 0.45	\$ 23.15	\$	185.23
México, Arandas	\$ 0.45	\$ 22.95	\$	183.60
India	\$ 0.39	\$ 19.64	\$	157.08
Venezuela, Valencia	\$ 0.27	\$ 13.77	\$	110.16
Ecuador, Riobamba	\$ 0.25	\$ 12.75	\$	102.00
China	\$ 0.06	\$ 3.06	\$	24.48
Colombia, Bogotá	\$ 0.06	\$ 2.81	\$	22.44
Venezuela, Valencia	\$ 0.05	\$ 2.65	\$	21.22
México, Toluca	\$ 0.05	\$ 2.55	\$	20.40

Nota. Fuente Abel C. y Lescelis M. (2018).

Tabla 6

*Evaluación de regiones para la macrolización.*

<b>Región</b>	<b>Materia prima</b>	<b>Transporte</b>	<b>Recursos (agua, luz)</b>	<b>Proveedores</b>	<b>Porcentaje</b>
Este	5	5	5	5	100%
Sur	5	2	3	5	75%
Norte	4	4	4	5	85%

Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M. (2018).

Tabla 7

*Evaluación de naves industriales, microlocalización.*

<b>Nave</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Agua</b>	<b>Luz</b>	<b>Transporte</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Clima</b>	<b>Precio</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Porcentaje</b>
1	4	3	3	3	5	4	4	3	70%
2	4	5	5	4	5	5	3	5	90%
3	3	5	5	4	5	3	2	5	82.5%
4	2	5	5	2	5	3	1	4	67.5%
5	4	5	5	4	5	4	5	5	92.5%

Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M. (2018).

Tabla 8

*Distribución de las áreas dentro de la nave.*

<b>Superficies totales de operaciones</b>				
Departamento	Largo (m)	Ancho(m)	Cantidad	Área (m <sup>2</sup> )
Área de Producción	6	4	1	24
Área de Servicio	2	2	1	4
Almacén	6	4	1	24
Área de transferencia	3	4	1	12
Recepción	2	4	1	8
Comedor	4	4	1	16
Baños	3	2	2	12
Total				100

**Nota.** Fuente: Abel C. Lescelis M. (2018)

Tabla 9

*Posibles compradores y sus productos.*

<b>Empresas</b>	<b>Productos</b>
Barrick	Oro
La Famosa	Vinagre
Brugal	Ron Blanco
Ron Barceló	Ron Blanco
Ron Columbus	Ron Blanco
Cervecería Nacional Dominicana	Cerveza
Bustelo	Café
Domingo Rojas, S. A.	Vinagre
Induban	Café
Constanza Industrial, S. A.	Vinagre
MercaSID	Vinagre
Central Romana	Azúcar
Cristobal Colon, CAEI	Azúcar
Azucarera el Porvenir, CEA	Azúcar
BalDOM	Vinagre
Vinicola del Norte	Ron y vino
Ron Veleiro	Ron
Ron Relicairo	Ron
Ron Bermudez Cia	Ron
Bodegas 1492	Ron
Dubar y Compañía	Licor
La Benedicta	Bebidas alcohólicas
Oliver & Oliver Internacional, Inc.	Bebidas alcohólicas
Cervecería Vegana, S. A.	Malta
Ron Contrabando	Ron (destilado de caña de azúcar)
Ron Macorix	Ron

Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M. (2018).



Tabla 10

*Herramientas y equipos necesarios*

<b>Herramienta</b>	<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>
Balde metálico con tapa	Cilíndrico	1
Manta de Aislamiento de Fibra de Cerámica	RD\$300 / ft	5
Taladro	Disponible	1
Tornillos, Arandelas y Tuercas	Kit	1
Termopar	Tipo K	2
Cilindro de Acero	Pedido	1
Ladrillo Refractario	Horno	1
Arduino Uno	Kit	1
Mechero	Truper	2
MAX6675	Módulo Arduino	1
Electroválvula	110 V - AC (1/2")	1
Coupling	Total	1
Herrero	Manufactura	1
Courier / Suplidor	Aeropaq / Amazon	1
Tanque de gas	12 LB	1

Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

Tabla 11

*Balance de materia del proceso experimental*

<b>Lote 1 (triturado)</b>					
<b>Proceso</b>	<b>Material prima</b>	<b>Masa R (g)</b>	<b>Duración (min)</b>	<b>Producto</b>	<b>Masa P (g)</b>
Carbonización	Aserrín	10.1	16	Carbón	2
Impregnación	Carbón + K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2	2074.98	Carbón impregnado	2.5
Activación	Carbón impregnado	2.5	87	Carbón activado	1.9
Lavado	Carbón activado	1.9	5	Carbón activado	1.5

<b>Lote 2 (entero)</b>					
<b>Proceso</b>	<b>Material prima</b>	<b>Masa R (g)</b>	<b>Duración (min)</b>	<b>Producto</b>	<b>Masa P (g)</b>
Carbonización	Aserrín	10.1	16	Carbón	2
Impregnación	Carbón + K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	4	2074.98	Carbón impregnado	2.5
Activación	Carbón impregnado	2.5	87	Carbón activado	2.3
Lavado	Carbón activado	2.3	5	Carbón activado	2.1

Masa R	Masa del reactivo
Masa P	Masa producto

**Nota.** Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

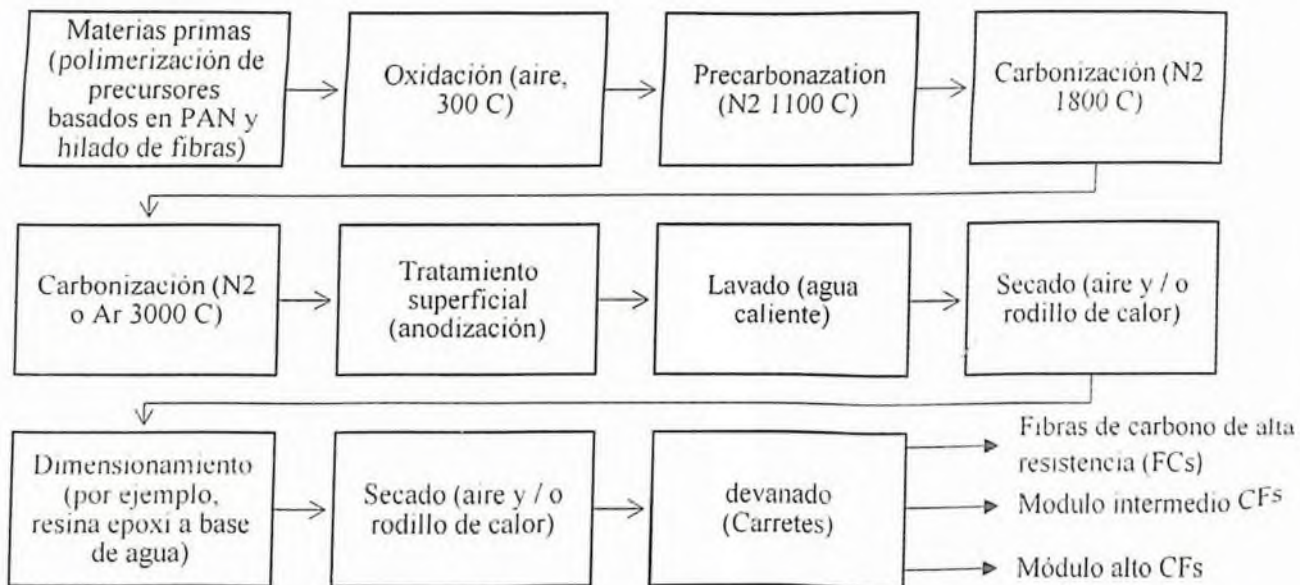


## ANEXO B

### Diagramas referentes en los textos anteriores

Diagrama 1 .....	99
Diagrama 2 .....	100
Diagrama 3 .....	101
Diagrama 4 .....	101
Diagrama 5 .....	102
Diagrama 6 .....	103
Diagrama 7 .....	104

Diagrama 1

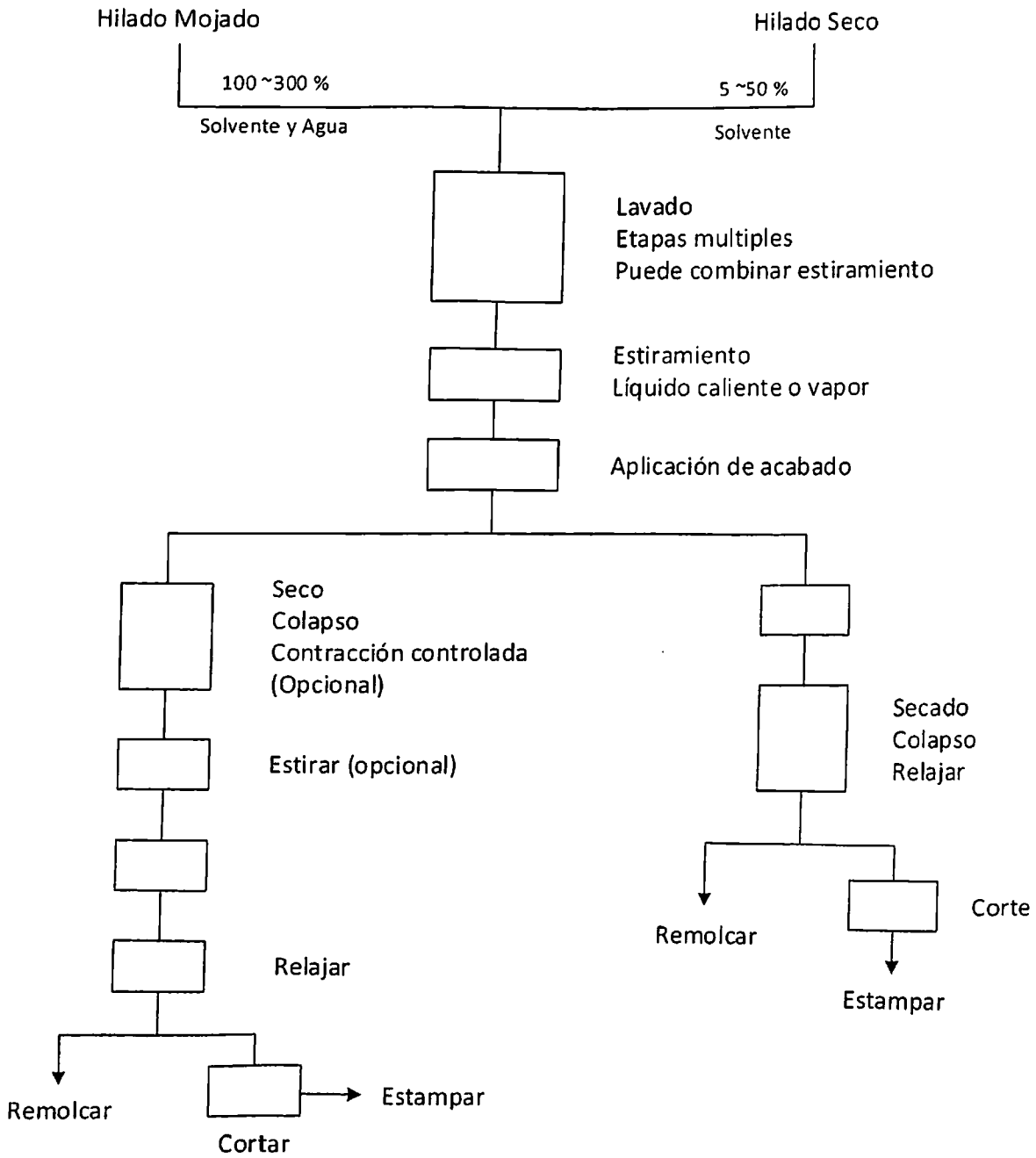


*Polimerización de precursores basados en PAN e hilado de fibras.*

Nota. Fuente: Springer Series in Materials Science.

Diagrama 2

*Estabilización térmica (oxidación).*



Nota. Fuente. Springer Series in Materials Science

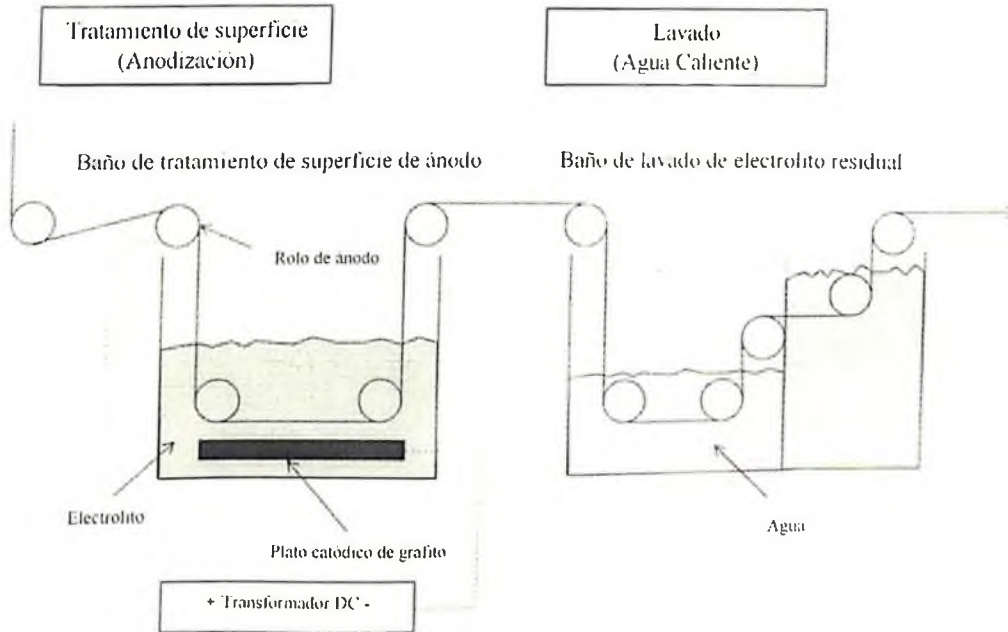
Diagrama 3

*Carbonización y grafitización.*



Nota. Fuente. Springer Series in Materials Science.

Diagrama 4

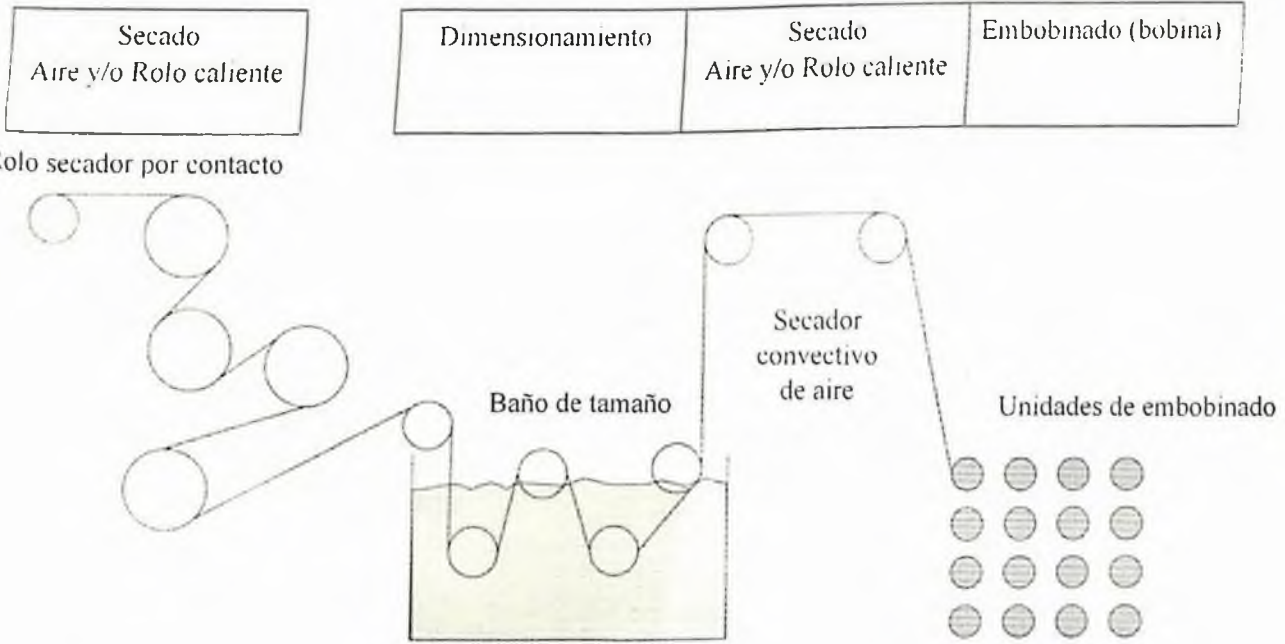


*Tratamiento superficial y lavado.*

Nota. Fuente: Springer Series in Materials Science

# Diagrama 5

*Secado, dimensionamiento y enrollamiento.*



Nota. Fuente: Springer Series in Materials Science.

## Diagrama 6

*Programación del reactor – horno para la producción de carbón activado (Arduino).*

```
#include "max6675.h"

int tempin;
int ktcSO = 11;
int ktcCS = 12;
int ktcCLK = 13;
int valve = 3;

MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO);

void setup() {
  pinMode(valve, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  delay(500);
}

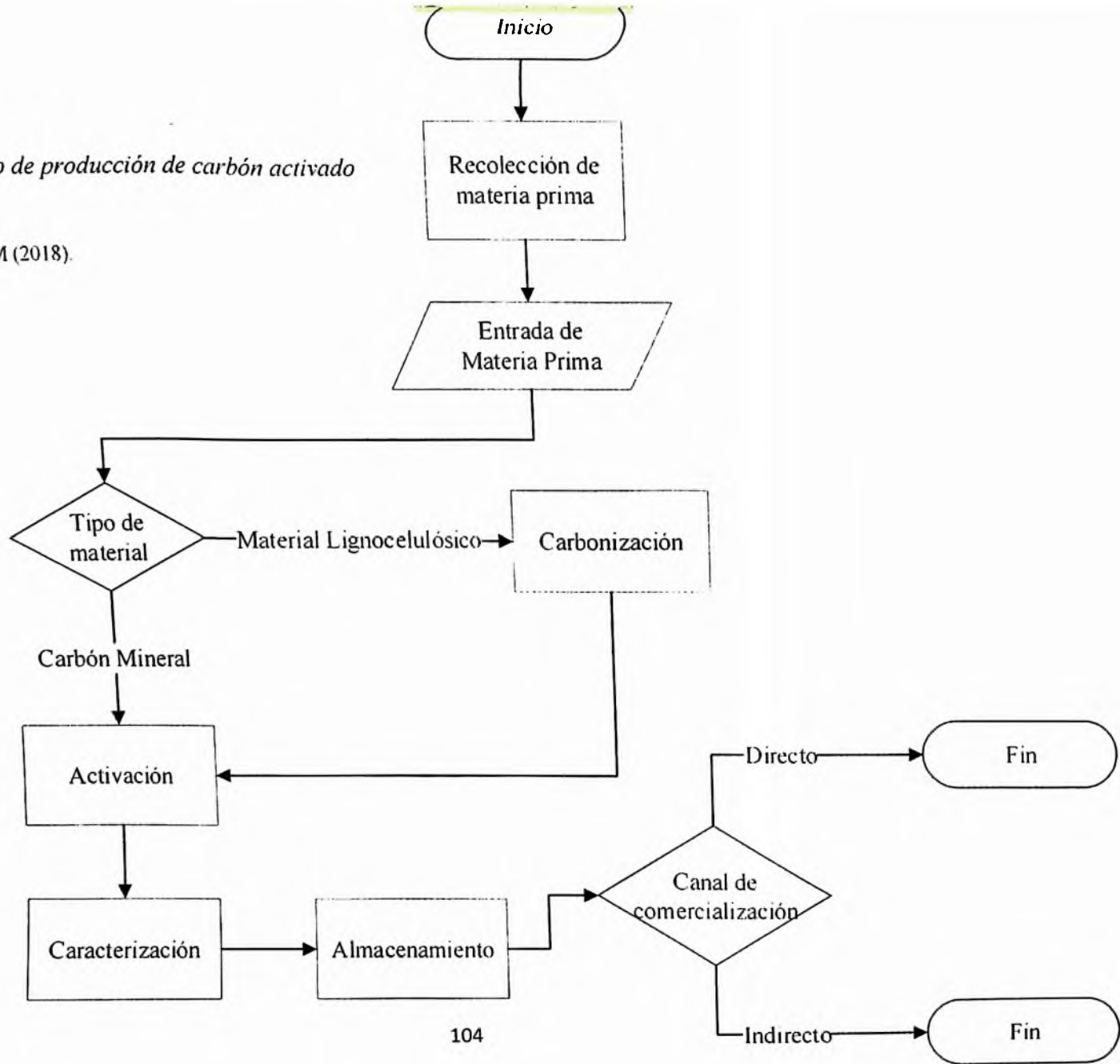
void loop() {
  tempin = ktc.readTempC();

  if (tempin < 800) {
    digitalWrite(valve, LOW);
  }
  if (tempin > 800) {
    digitalWrite(valve, HIGH);
  }
  Serial.print("Temperatura interna: ");
  Serial.print(tempin);
  Serial.print(" C, ");
  Serial.print("Switch State: ");
  Serial.print(valve);
  delay(500);
}
```

Diagrama 7

Diagrama de flujo de proceso de producción de carbón activado

Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).



## ANEXO C

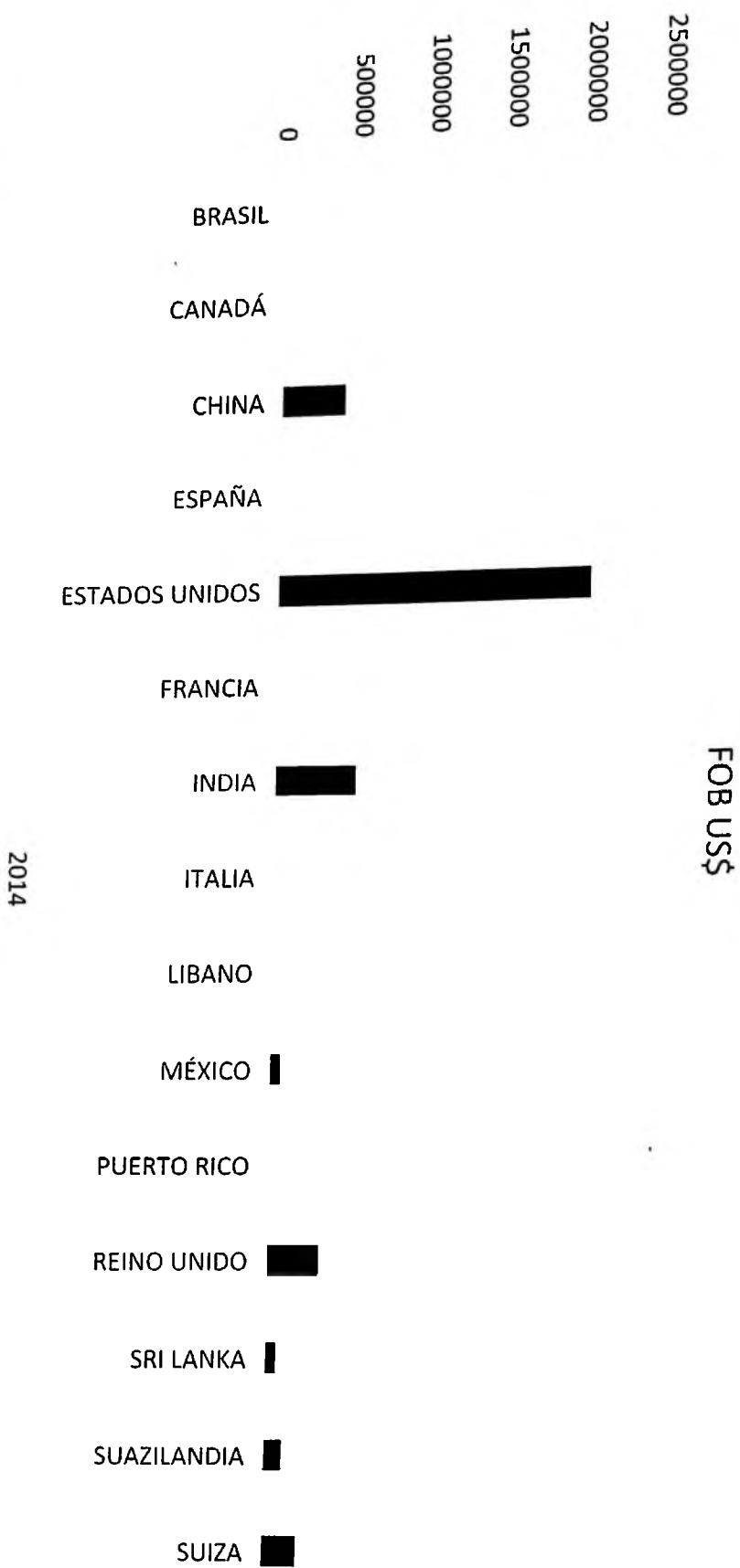
### Gráficas referentes en los textos anteriores

Gráfica 1 .....	106
Gráfica 2 .....	107
Gráfica 3 .....	108
Gráfica 4 .....	109
Gráfica 5 .....	110
Gráfica 6 .....	111



Grafica 1

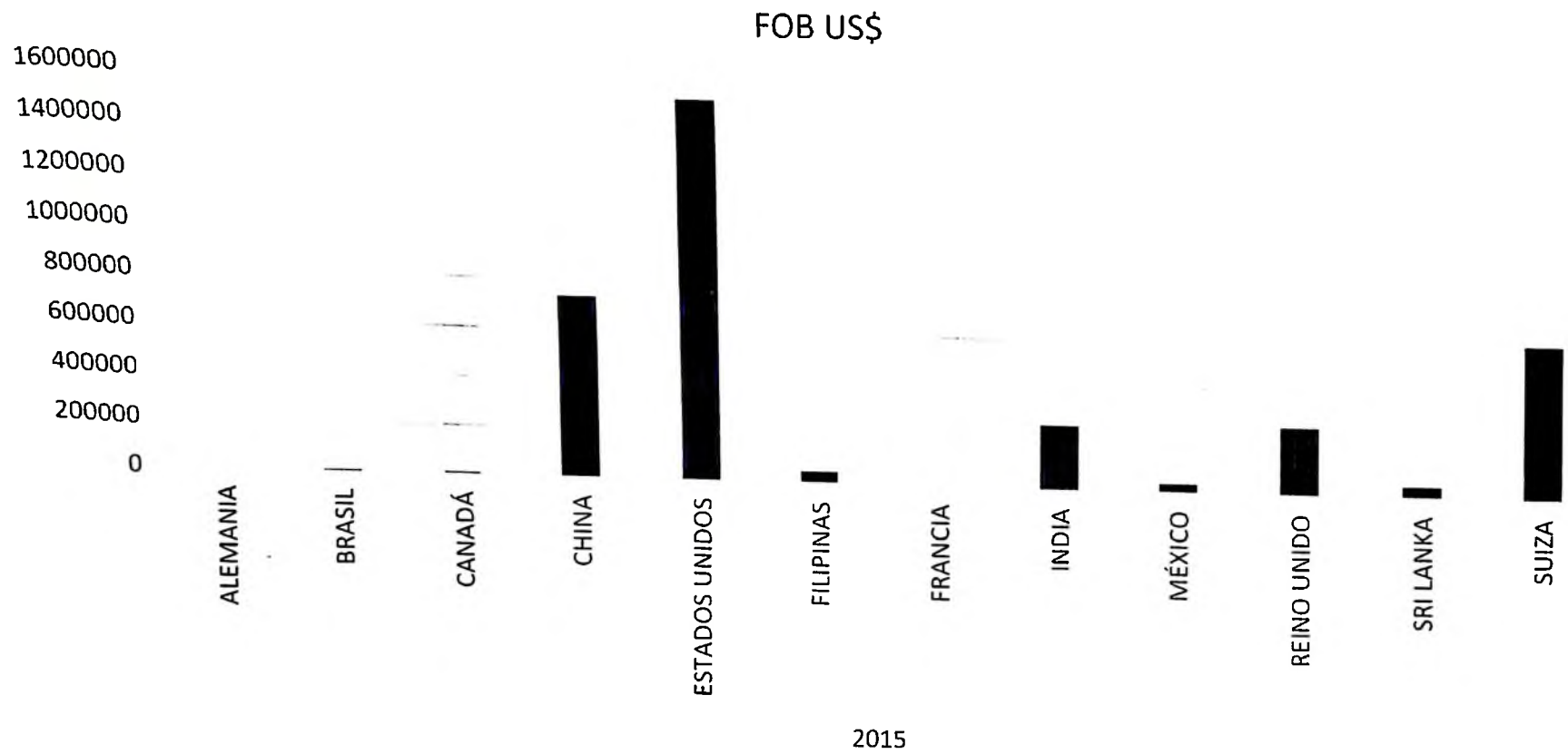
Grafica de importación de Carbón Activado del año 2014.



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

Gráfica 2

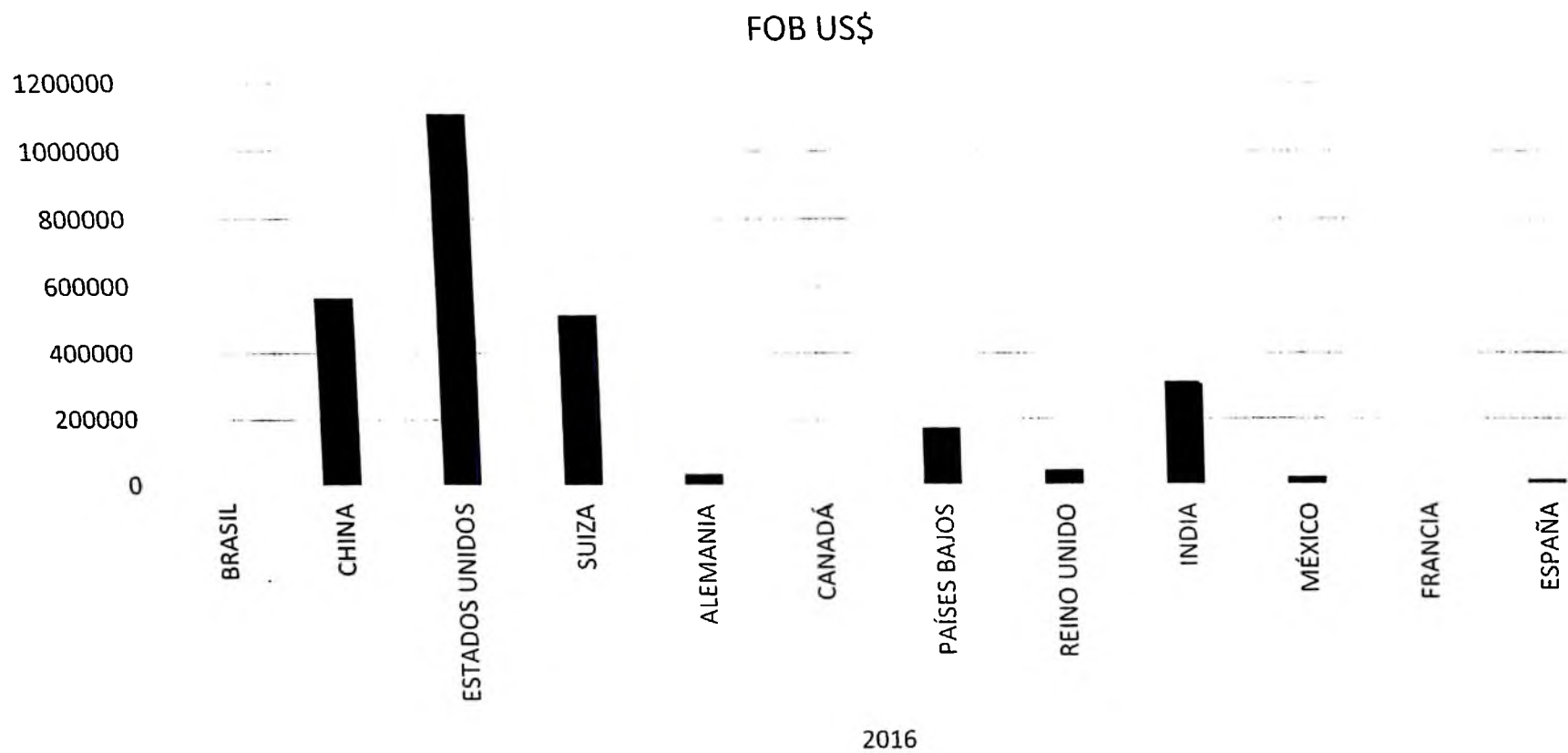
Gráfica de importación de Carbón Activado del año 2015.



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

Gráfica 3

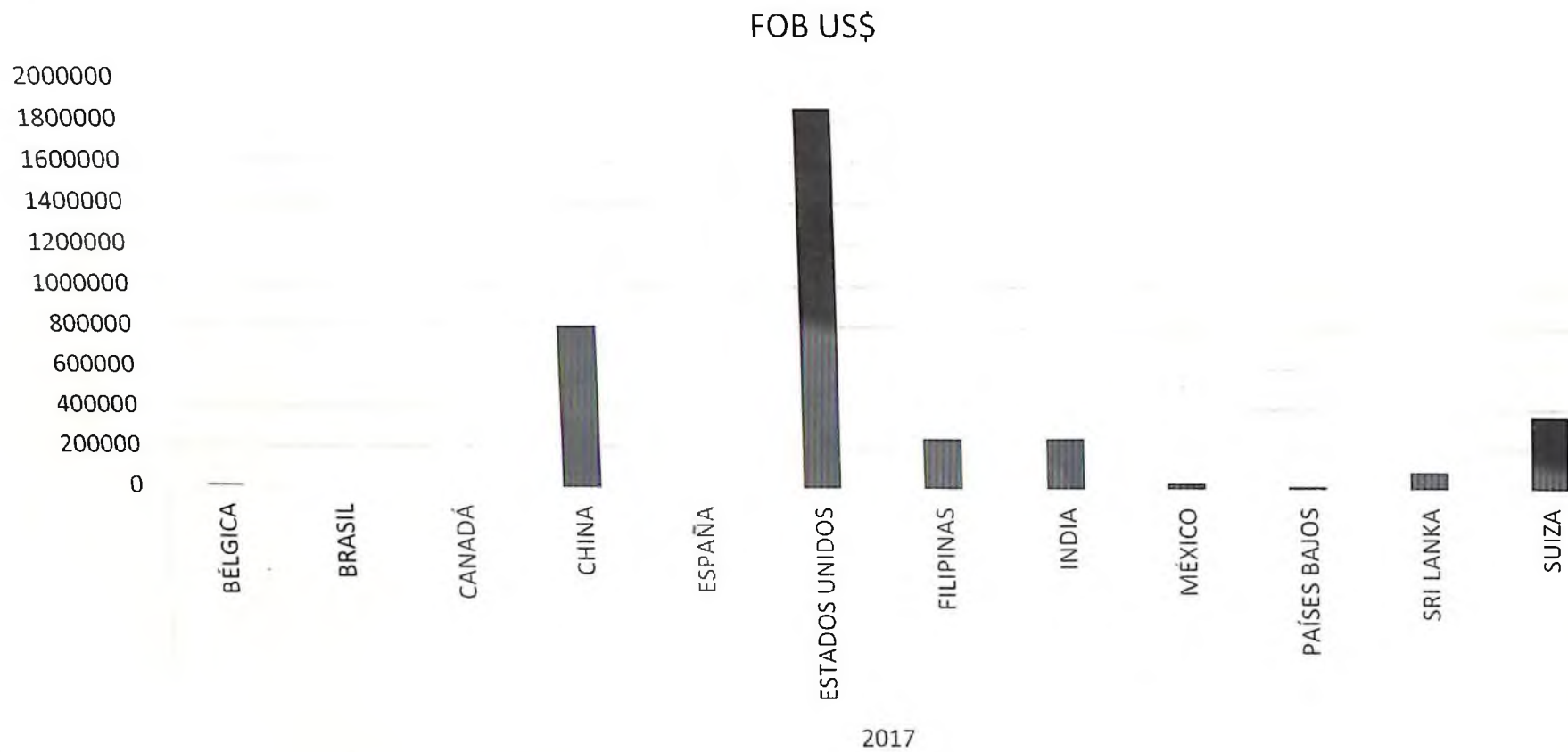
Gráfica de importación de Carbón Activado del año 2016.



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

Gráfica 4

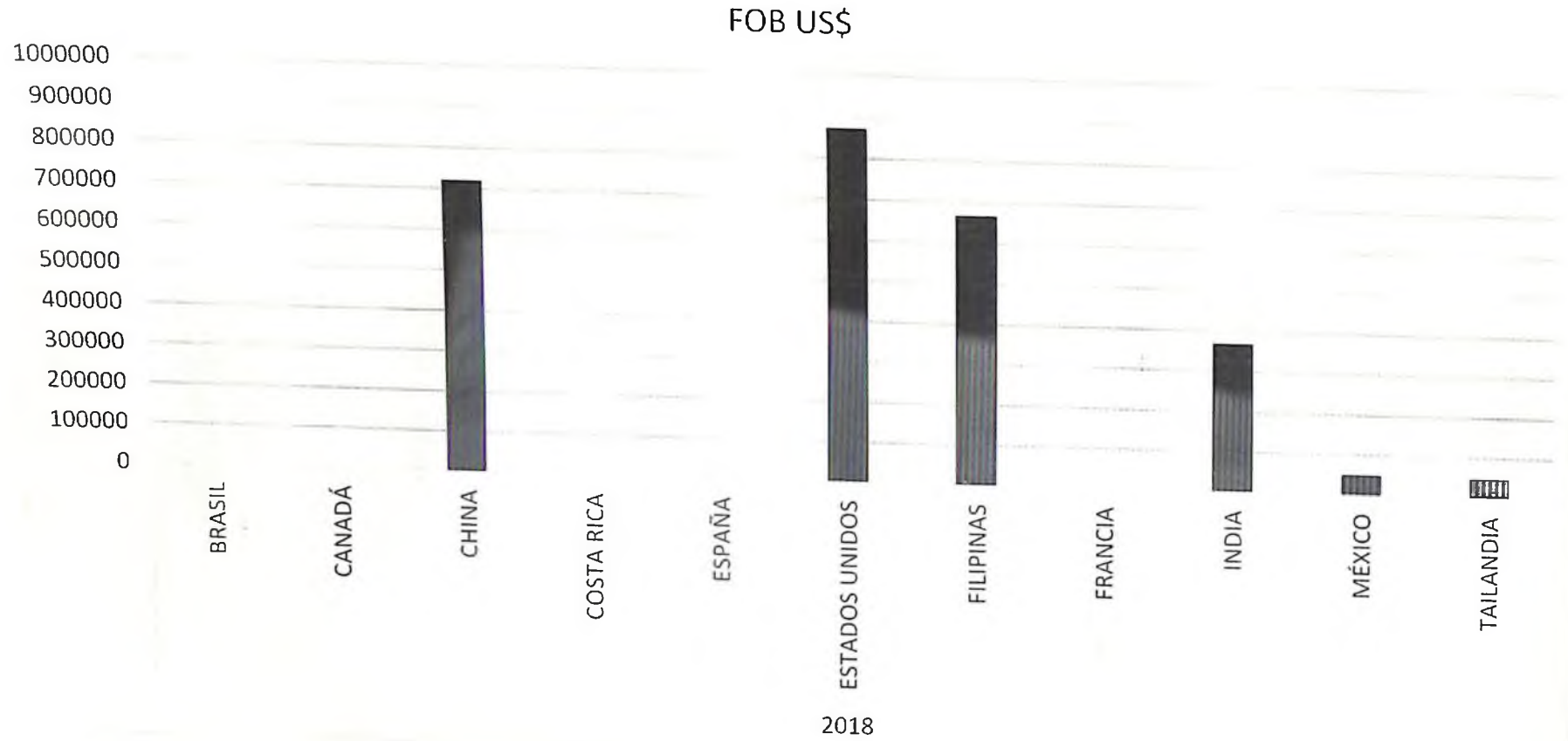
Gráfica de importación de Carbón Activado del año 2017.



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

Gráfica 5

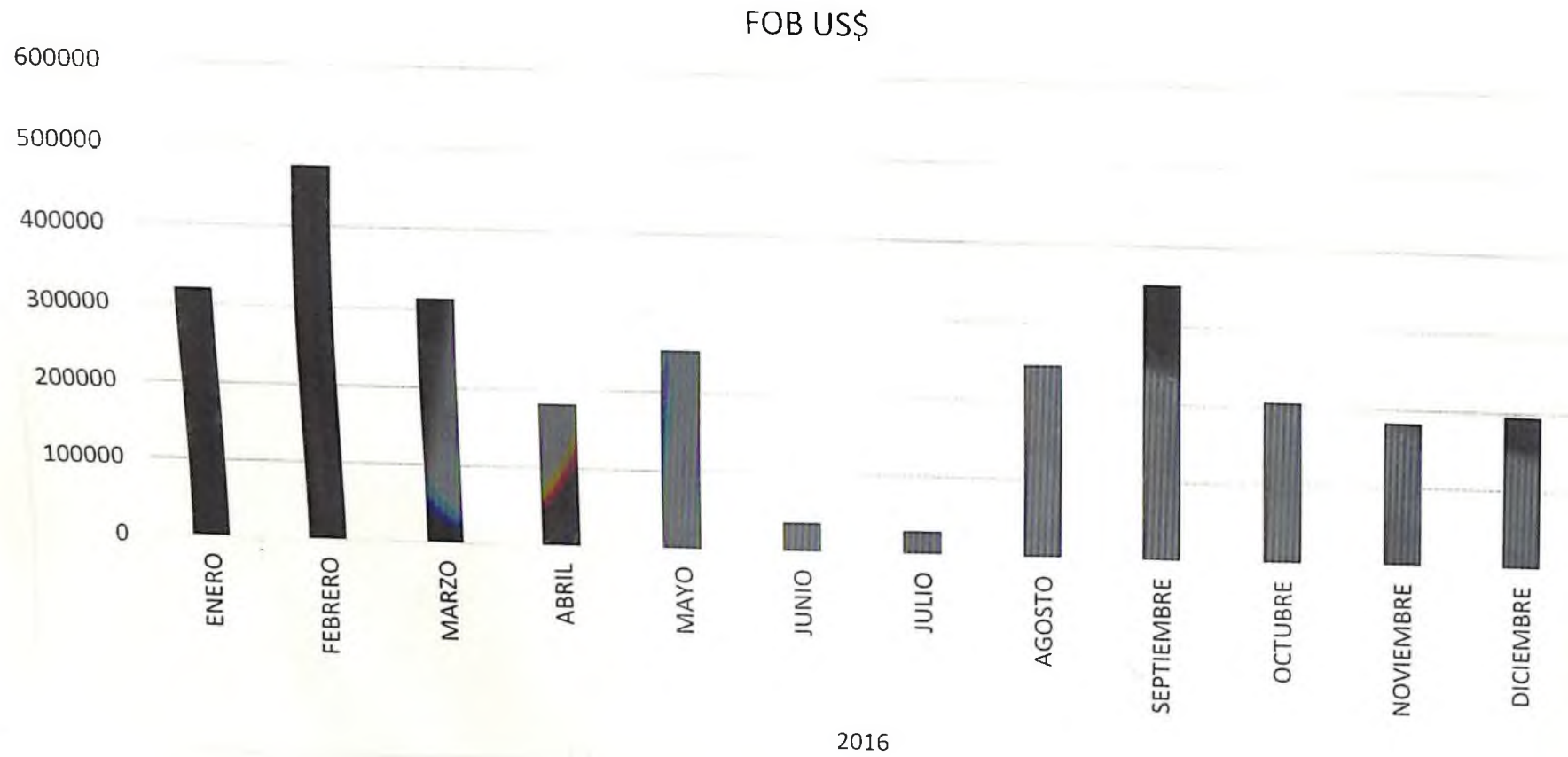
Gráfica de importación de Carbón Activado del año 2018.



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

Gráfica 6

Gráfica de importación mensual de Carbón Activado del año 2016.



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

## ANEXO D

### Imágenes referentes en los textos anteriores

Ilustración 1.....	113
Ilustración 2.....	113
Ilustración 3.....	114
Ilustración 4.....	114
Ilustración 5.....	115
Ilustración 6.....	115
Ilustración 7.....	116
Ilustración 8.....	116
Ilustración 9.....	117
Ilustración 10.....	117
Ilustración 11.....	118
Ilustración 12.....	118
Ilustración 13.....	119
Ilustración 14.....	120
Ilustración 15.....	121

## Ilustración 1

*Cilindro central o contenedor.*

**Descripción:** Imagen del cilindro central que contendrá la muestra de carbón, antes de ser modificado.



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

## Ilustración 2

*Sección no deseada del cilindro central.*



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis



### Ilustración 3

*Coraza del reactor.*



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018)

**Descripción:** En la siguiente imagen podemos ver lo que posteriormente se convirtió en lo que se ilustró en la figura 1.1 y 1.2 de la sección VII.3 (Proceso de ensamblaje).

### Ilustración 4

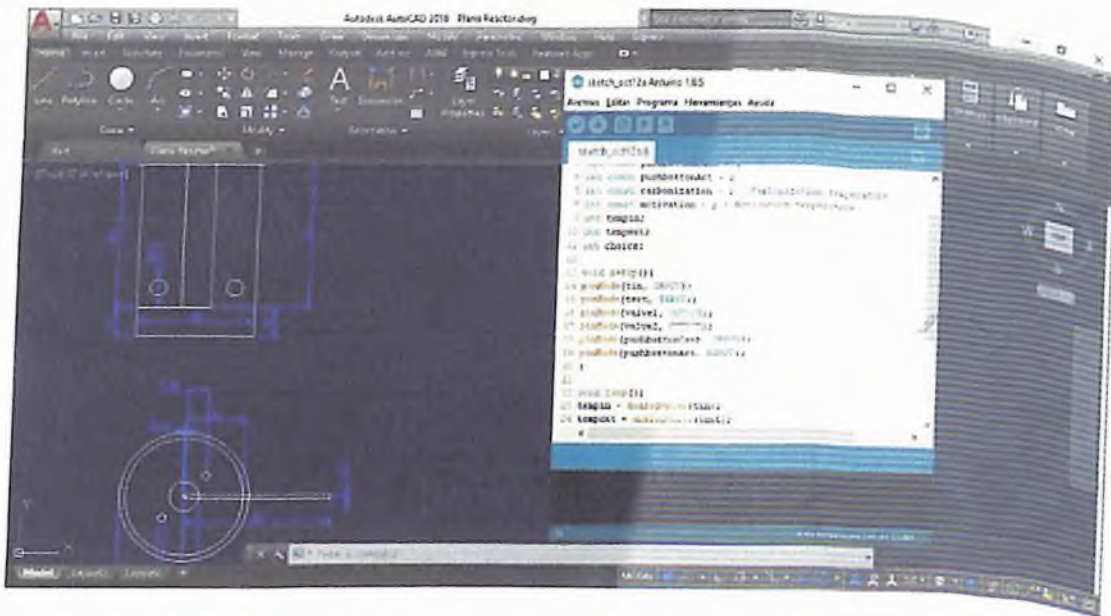
*Recubrimiento con aislante térmico (fibra cerámica).*



Nota. Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

## Ilustración 5

*Programación e inspección del diseño del reactor.*



**Nota.** Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

## Ilustración 6

*Compra local e importación*



**Nota.** Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).



## Ilustración 7

*Ilustración de todos accesorios del sistema de control.*



**Nota.** Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

## Ilustración 8

*Primera demostración del funcionamiento del reactor.*



**Nota.** Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

### Ilustración 9

*Aspecto final del reactor.*



**Nota.** Fuente: Abel C y Lescelis M (2018).

### Ilustración 10

*Pesado de materia prima (Experimentación).*



**Nota.** Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).



Ilustración 11

*Carbonización (Experimentación).*



**Nota.** Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018)

Ilustración 12

*Pesado e impregnado (Experimentación).*



**Nota.** Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).



**Nota.** Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).



Abel C. y Lescelis M (2018).

Ilustración 14

*Resultados de la experimentación.*



**Nota.** Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).



**Nota.** Fuente: Abel C. y Lescelis M (2018).

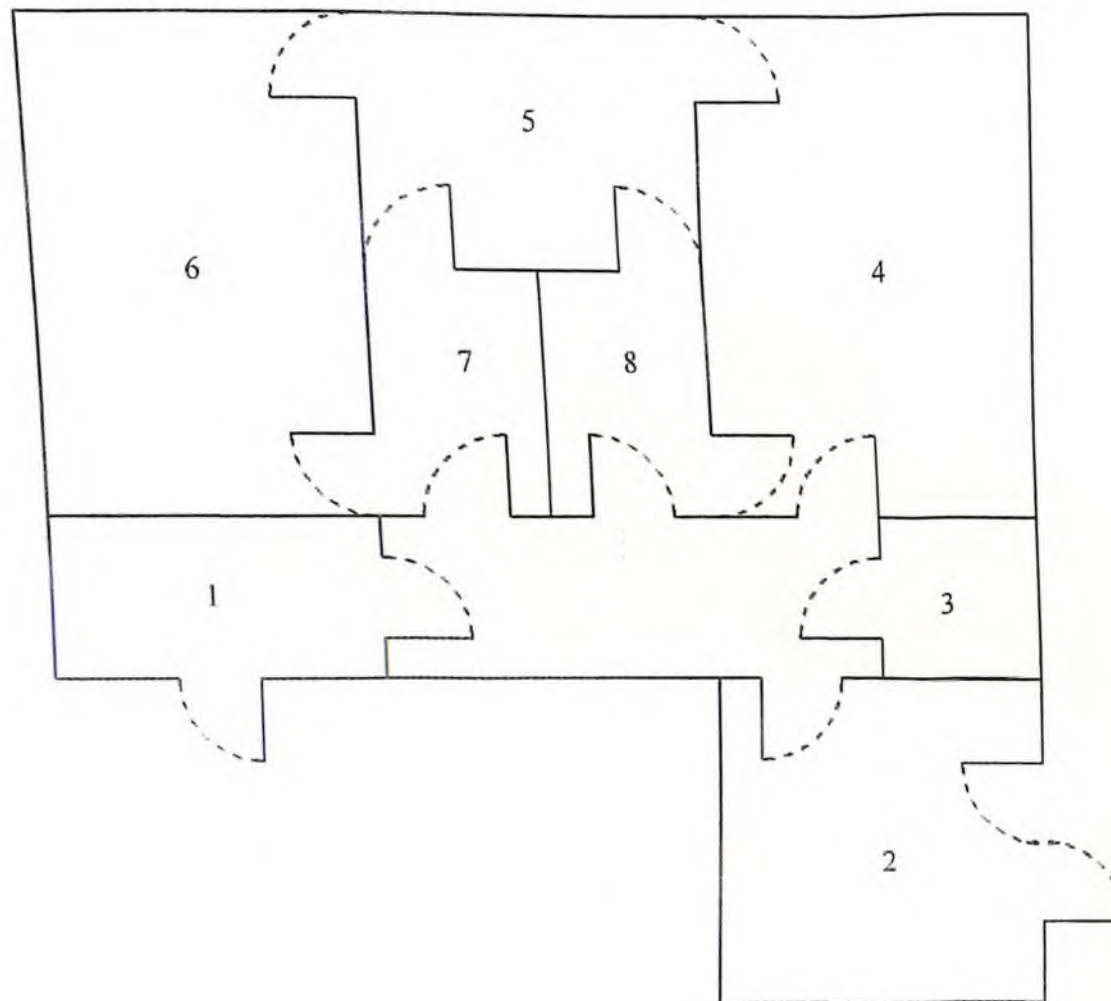


Ilustración 15

Plano de distribución de la nave.

Leyenda	
Área	Descripción
1	Recepción
2	Comedor / Entrada
3	Servicios
4	Almacén
5	Transfer
6	Producción
7	Baño M
8	Baño H

Nota. Fuente: Abei C. y Lescelis M (2018).





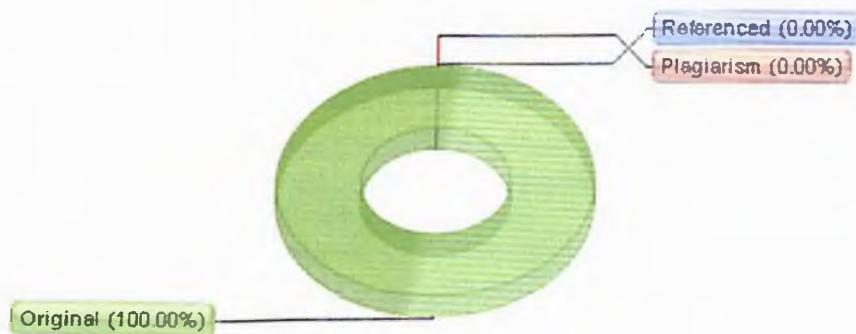
### Plagiarism Detector v. 1092 - Originality Report:

Analyzed document: 21/02/2019 18:42:55

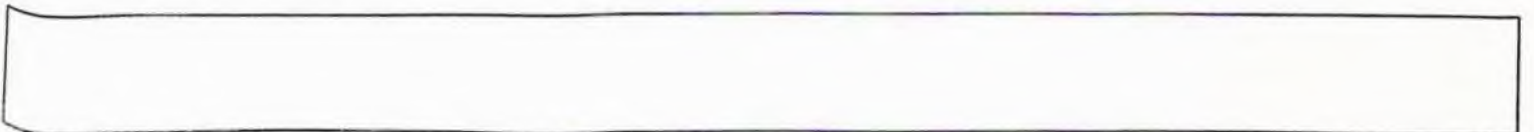
# "Estudio de Factibilidad a Escala de Laboratorio para la Producción de Carbón Activado Adsorbente a Partir de Carbón Mineral y Materiales Lignocelulósicos de Origen Agrícola en RD.docx"

Licensed to: Samuel Valdemora Santana

Relation chart:



Distribution graph:



Comparison Preset: Word-to-Word. Detected language: Spanish

Top sources of plagiarism:

Processed resources details:

0 - Ok / 0 - Failed

Important notes:

Wikipedia:

Google Books:

Ghostwriting services:

Anti-cheating:



[not detected]

[not detected]

[not detected]

[not detected]

Excluded Urls:

## Included Urls:

## Detailed document analysis:

Escuela de Química

Facultad de Ciencia y Tecnología

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña

"Estudio de Factibilidad a Escala de Laboratorio para la Producción de Carbón Activado Adsorbente a Partir de: Carbón Mineral y Materiales Lignocelulósicos de Origen Agrícola en República Dominicana" Trabajo de grado para optar por el título de:

Ingeniería Química

Sustentado por:

Abel Johan Concepcion de Jesus Lescelis

Altagracia Morillo Agramonte 14-1515 Santo Domingo,

D. N. 2019

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

por inculcarme desde niña la importancia de una buena educación, buenos valores y mucha disciplina. Por dedicarse arduamente a hacer de mí una persona de bien y servicial, y enfocarme siempre en mis metas. A mis hermanos por estar ahí en las buenas y malas, y siempre brindarme su apoyo incondicional. A mis tíos por haber sido parte importante en mi vida, en especial a tía Grecia y mi tío Lisandro. A mis abuelos por brindarme todo el amor, cariño y apoyo, y enseñarme todo aquello de la vida que solo la experiencia puede, en especial a mis abuelas Roma y Mireya, aunque en vida no estén sus enseñanzas siempre permanecerán conmigo. A mis amigas

por ser la familia que elegí y estar conmigo en todo este largo camino de la vida y de la carrera y estar ahí para apoyarme en los buenos y malos momentos en especial a Katherine Martínez, Stefany Beltre, Winibel Pimentel, Anyi Fernández y mi prima Nathalie Morillo. A mis profesores

por darme toda la formación académica y humana, y guiarme en todo este trayecto académico. A mis asesores por su incondicional apoyo en nuestro trabajo de grado, en especial a Ing. Maribel Espinosa, siempre dispuesta a escuchar y aconsejar. Lescelis

Alt. Morillo AGRADDECIMIENTOS

Debo agradecer en primer lugar a Dios por otorgarme un destino cuyo trayecto es más difícil de predecir que la posición exacta de un electrón que orbita un átomo, esto hace la vida mucho más divertida. Al Sr. Fredy por facilitar parte de los componentes del reactor y del mismo modo aportar con ideas para el diseño de dicho reactor, tomarse la molestia de interrumpir las gestiones normales de su negocio para realizar críticas constructivas sobre el camino que llevaba el proyecto para ese momento. Juan Uribe

por ser el encargado de la etapa de soldadura del reactor, de igual modo por aportar con ideas para el diseño del reactor. Dedicar horas a unir las partes necesarias a la coraza del reactor, dedicar noches de descanso en nuestro proyecto con el fin de aportar a nuestra causa. A mi familia por permitir crecer en mi la curiosidad y la naturaleza explorativa, desarrollando así la persona que soy hoy en día. Permitir que la experimentación se lleve a cabo en nuestro hogar a pesar de tener en ocasiones que experimentar en ambientes con la combinación de los tres componentes más seguros: agua, electricidad y gas. A mis amigos por cooperar tanto en este proyecto, como en proyectos anteriores, tal como la síntesis de nitrato de potasio a partir de estiércol, que me han ayudado a desarrollar ciertas habilidades que fueron muy útiles para el desarrollo del trabajo de grado. Muchas gracias.

Abel Concepcion DEDICATORIA

DEDICATORIA

A mis dos amadas abuelas Roma Segura y Mireya Mateo, por siempre creer en mí, mostrarme el gran ser humano que soy, enseñarme a confiar en mí e impulsarme a luchar por todo lo que quiero hasta hacerlo realidad. INDICE

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

INTRODUCCION

OBJETIVOS

5 Objetivo General

5 Objetivos Específicos

5 Alcance

6 JUSTIFICACIÓN

Abel Concepción

**Abel Johan Concepcion de Jesus**

**Sustentante**

Lescelis Morillo

**Lescelis Altagracia Morillo Agramonte**

**Sustentante**

Ma Alicia Troncoso

**Jurado**

[Signature]

**Jurado**

90

**Puntuación**

[Signature]

**Jurado**

[Signature]

**Ing. Maribel Espinosa Sención**

**Asesora**

[Signature]

**Ing. Ramón Antonio Sánchez Rosario**

**Asesor**

[Signature]

**Ing. Doris Mercedes Peña Calderón**  
**Directora de la Escuela de Química**

