

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA PARA LA OBTENCIÓN DE
CARBÓN ACTIVADO**

REALIZADO POR:

GARCIA RENDON VANESSA KATHERINE
MACHADO RIVAS RUTH ANDREINA

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente Como
Requisito Parcial para Optar al Título de:**

INGENIERO QUÍMICO

Puerto La Cruz, junio de 2011

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA PARA LA OBTENCIÓN DE
CARBÓN ACTIVADO**

ASESOR ACADÉMICO

Ing. Quím. Héctor Silva, MSc

Puerto La Cruz, junio de 2011

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



DISEÑO PRELIMINAR DE UN PROCESO CONTINUO PARA LA
OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO

JURADO

Ing. Quím. Héctor Silva, MSc

Asesor académico

Ing. Quím. Osvaldo Ochoa

Alemán

Jurado principal

Lic. Quím. Rafael

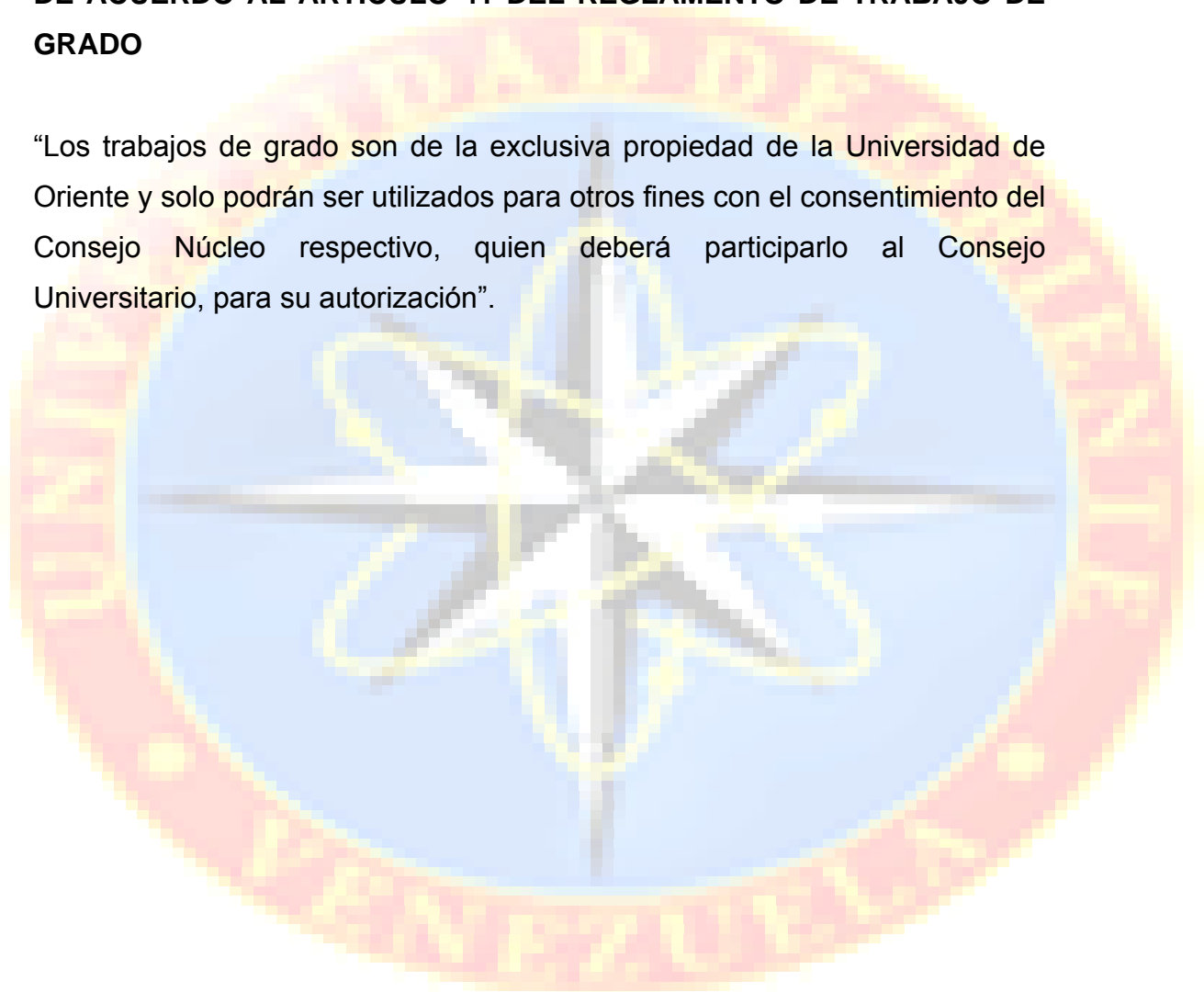
Jurado principal

Puerto La Cruz, junio de 2011

RESOLUCIÓN

DE ACUERDO AL ARTICULO 41 DEL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO

“Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo Núcleo respectivo, quien deberá participarlo al Consejo Universitario, para su autorización”.



DEDICATORIA

A Dios, por permitirme alcanzar esta meta, por darme valor, perseverancia y fuerza para afrontar los momentos difíciles; y capacidad para disfrutar los momentos felices.

A mis padres, porque cada uno en su momento buscó lo mejor para mí, porque me hicieron una persona con valores y principios para toda la vida. A ti mami, por tu infinito amor, por haberme educado y soportar mis errores. A ti papi, por tu amor, tu comprensión y por la paciencia y el apoyo que me has brindado. ¡LOS AMO! El orgullo que sienten por mí fue uno de mis mayores impulsos.

A mis abuelos, Brigida, Mario, a mis hermanos, tíos y primos; con todos comparto este logro. Espero no defraudarlos y contar siempre con su apoyo sincero e incondicional.

A mis amigos, éste es un logro de todos. A Ti Ruth, por haber luchado conmigo hasta el final. ¡LO LOGRAMOS AMIGA, TE AMO!

A nuestro tutor, por su desinteresada y generosa labor de transmisión del saber, su inagotable entusiasmo y sus acertados consejos y sugerencias.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más, a mis padres, hermana, novio y demás familiares y amigos. Y en especial a mi por mi trabajo y lucha para alcanzar las metas trazadas.

AGRADECIMIENTOS

Primero y antes que nada le doy gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por llenarme de sabiduría y por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante toda la carrera.

A mis padres, Edith y Adolfo, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser mejor persona, pero más que nada por su amor. De verdad gracias mami, gracias papi. ¡SON MI RAZÓN DE SER!

A Brigida y Mario, mis segundos padres, gracias por tanto amor, sus consejos me acompañarán por siempre. A ti Brigi, gracias por enseñarme que todo es posible, que siempre hay motivos y fuerzas para vivir, que la palabra rendirse siempre se sustituye por la palabra Luchar. ¡TE EXTRAÑARÉ TODA LA VIDA! Mil gracias.

A mis abuelos, porque han sido un buen ejemplo, un estímulo para querer vivir y sacarle provecho a la vida.

A mis hermanos, a todos mis tíos y primos, y demás familiares; que directamente me impulsaron para llegar hasta este lugar, a todos ¡GRACIAS!, me resulta muy difícil nombrarlos en tan poco espacio, sin embargo, ustedes saben quienes son.

A mis amigos, porque gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino: Astrid, Paola, Armi, Fernando, Yanais, María José, y en especial a mi gran amiga y con quien comparto este logro, Ruth Machado. También a esas personitas que me brindaron su amistad, su cariño, y que de una forma u otra han mostrado su preocupación y apoyo: nuestro Padrino César, Nora, Ángel, Yaritza y Luis. A todos mil gracias. ¡LOS QUIERO ENORME!

A nuestro tutor, por el interés que puso en este proyecto, por sus constantes consejos, por su paciencia y dedicación. ¡GRACIAS!

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco primeramente a Dios por nunca abandonarme cuando pensé que jamás terminaría mi tesis, de corazón fue mi mayor y más grande apoyo.

A mi papá Luis Machado y a mi mamá Ruth Rivas por apoyarme en todo momento, por guiar mis pasos durante mi niñez, mi adolescencia y hasta ahora que ya casi he culminado una gran etapa de mi vida, gracias padres por su amor y dedicación.

A mi hermana Génesis Machado que ha sido mi bastón cada vez que caigo y quien me ha brindado su apoyo y su amor incondicional, te amo mi herma.

A mi abuela quien con sus rezos y apoyo ha ayudado a que todos mis caminos se hagan más llevaderos, ella que me ha brindado un amor súper especial y a quien amo mucho, ojalá fuera eterna y nunca se alejara de este mundo.

A mis tíos y primos en especial a Isidro, Noralis, Eduardo, Júnior y Fermari quienes me han acompañado en las buenas y en las malas, los adoro. A mis demás familiares que de igual manera me han apoyado en todo.

A Juan Carlos mi futuro esposo, que a pesar de lo gruñón me ha apoyado en todo y me ha brindado su mano cada vez que la he necesitado. Mono te amo y te adoro gracias.

A mis amigas María Fernanda, Armi, Chesk, Astrid, Paola y Melly y a mi amigo Fernando quienes han estado preocupados y de corazón pendientes de todo mi recorrido o parte de el, en la universidad. A Vanessa quien es mi compañera de tesis y en especial mi amiga, quien me ha apoyado en las buenas y en las malas y es la personita que me ha dado fuerzas en cada obstáculo que se nos han presentado con nuestro trabajo de grado.

A mis compañeros de estudios María José, Chak, Rilimar, Yanais, Peinado quien me acompañaron y me brindaron apoyo en el recorrido de la universidad que ahora estoy concluyendo, la Udo. Gracias por formar parte de mi vida

Y a todas esas personas que aportaron un granito de arena en el camino que emprendí al decidir estudiar ingeniería química, gracias por estar allí.

RESUMEN

En este trabajo de investigación se hizo una propuesta para determinar la factibilidad de una planta de producción continua de carbón activado. Para ello se consideraron diversos factores, tanto técnicos como económicos, pasando del diseño de los equipos principales a ser instalados en planta hasta un estudio económico tipo V para la implementación de este tipo de producción a nivel nacional. Se seleccionó la materia prima y el método de activación más adecuados para que el proceso resulte económico y pueda trabajar continuamente durante un promedio de 300 días por año y 20 horas promedio por día. Se seleccionó como materia prima la concha de coco por su disponibilidad en el oriente del país, lo que condujo a la ubicación de la planta en la ciudad de Cumaná estado Sucre. El método de activación que se considera más acorde al proyecto, ya que ofrece mejores ventajas económicas, es el de activación física. Se hizo un diseño de los diferentes equipos que son necesarios para la producción del carbón activado en Venezuela, siendo los más importantes un molino de martillos, un horno rotatorio, un enfriador y un cernidor. La producción anual de la planta será de 1.537,8 t/año de carbón activado, la cual es la producción adecuada para satisfacer la demanda nacional anual, más un excedente de 30 % para compensar un posible incremento del consumo en el futuro o para dedicarlo a la exportación. Se realizó un estudio económico para determinar si era o no factible la instalación de esta planta, y se concluyó que las posibilidades de éxito del proyecto se reflejan en que el tiempo dinámico de retorno de la inversión será de 4,46 años, utilizando un tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) de 29% lo que indica que el capital invertido se recupera antes del quinto año de operación de la planta y el porcentaje de retorno de la

inversión se estimó en 43,28 %; por lo que se puede asegurar que la inversión presentada resulta atractiva.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
RESUMEN	v
CONTENIDO	vii
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
CAPÍTULO 1	14
INTRODUCCIÓN	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2. OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo general.....	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
CAPÍTULO 2.....	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1. ANTECEDENTES.....	16
2.2. ADSORCIÓN	18
2.3. CARBÓN ACTIVADO	19
2.3.1. Tipos de carbón activado	21
2.3.2 Características físico-químicas del carbón activado	21
2.4. MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	23
2.5 PROCESO GENERAL PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO	26
2.5.1 Acondicionamiento de la materia prima	26
2.5.2. Activación del material carbonáceo.....	26
2.5.2.1 Proceso físico	26
2.5.2.2 Proceso químico	28
2.6. USOS DEL CARBÓN ACTIVADO	29
2.6.1. Uso del carbón activado granular.....	29

2.6.2. Uso del carbón activado en polvo (PAC)	30
2.6.3. Uso del Carbón Activado por áreas específicas.....	31
2.7. PROPIEDADES DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO A PARTIR DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS.	32
2.8. MOLINOS DE MARTILLOS	33
2.9. HORNOS ROTATORIOS	34
2.10. LAVADOR DE GASES	36
2.11. BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA	36
2.11.1. Balance de materia	37
2.11.2. Balance de energía	38
2.12. ESTUDIO ECONÓMICO	39
2.12.1. Estimación de la inversión de capital	41
2.12.2. Factibilidad económica.....	41
Capítulo 3	44
DESARROLLO DEL TRABAJO	44
3.1. SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA Y EL MÉTODO DE ACTIVACIÓN ...	44
3.1.1 Selección de la materia prima	45
3.1.2. Selección del método de activación	46
3.2. ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL PROCESO Y UBICACIÓN DE LA PLANTA	47
3.3. DETERMINACION DEL TIPO Y TAMAÑO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS QUE CONFORMA EL PROCESO INDUSTRIAL	51
3.3.1. Patio de almacenamiento del material	52
3.3.2. Molino de martillos	54
3.3.3. Silo de almacenamiento de materia prima molida.....	55
3.3.4. Horno rotatorio	56
3.3.4.1. Determinación de la longitud y diámetro del horno.....	59
3.3.4.2. Cálculo de la cantidad de combustible a utilizar en el horno y del aire de combustión.....	60

3.3.5. Ventilador de tiro	68
3.3.6. Enfriador	69
3.3.7. Cernidor	70
3.3.8. Silos de almacenamiento	70
3.3.9. Lavador de gases.....	70
3.3.10. Localización de los equipos dentro de la planta (lay-out).....	71
3.4 REALIZACIÓN DEL ESTUDIO ECONÓMICO (TIPO V) DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	72
3.4.1. Costo de los equipos principales de la planta	72
3.4.2. Estimación de la inversión de capital fijo e inversión total de capital del proyecto	73
3.4.3. Estimación de los costos totales de producción anual del carbón activado	73
3.4.3.1. Costos de manufactura	73
3.4.3.2. Costos generales de la planta	80
3.4.4. Ingresos por la venta del producto (carbón activado)	81
3.4.5. Impuestos	82
3.4.6. Cálculo del beneficio bruto y beneficio neto	82
3.4.7. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)	83
3.4.7. Cálculo del tiempo de pago dinámico (n).....	83
Capítulo 4	84
DISCUSIÓN DE RESULTADOS,.....	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
4.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	84
4.1.1 Selección de la materia prima y el proceso de activación del carbón	84
4.1.2. Condiciones de operación del proceso y la ubicación de la planta	86
4.1.3 Tipo y tamaño de los principales equipos que conformarán el proceso industrial	87

4.1.4. Estudio económico (tipo V) del proceso para la fabricación del carbón activado	91
4.2 CONCLUSIONES	95
4.3. RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXO A.....	¡Error! Marcador no definido.
IMPORTACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO EN VENEZUELA	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO B.....	¡Error! Marcador no definido.
COTIZACIONES Y DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES	¡Error! Marcador no definido.
Construcciones Metalúrgicas Gómez C.A.	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO C.....	¡Error! Marcador no definido.
TASAS ACTIVAS DEL BANCO DE VENEZUELA...	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Propiedades de algunos carbones activados obtenidos a partir de diferentes materias primas.....	32
Tabla 2.2. Factores relativos para la estimación de la inversión de capital para los diversos rubros, basados en el costo de los equipos entregados.....	43
Tabla 3.1. Diferencias entre los métodos de activación.....	46
Tabla 3.2. Análisis elemental del endocarpio del coco	49
Tabla 3.3. Composición de los gases de carbonización y activación	49
Tabla 3.3. Gases condensables y no condensables.....	58
Tabla 3.4. Composición del gas natural.....	60
Tabla 3.5. Total compuestos que salen del horno por hora	62
Tabla 3.6. Calores específicos.....	63
Tabla 3.8. Gases que salen del horno rotatorio	69
Figura 3.5. Distribución (layout) de los equipos de la planta de producción de carbón activado	72
Tabla 3.9. Costo de los equipos necesarios para la obtención de carbón activado	74
Tabla 3.10. Rubros para la estimación de la inversión total, basado en el costo de los equipos entregados	75
Tabla 4.1. Condiciones de operación del proceso	86
Tabla 4.2. Equipos del proceso de fabricación de carbón activado	88
Tabla.4.3. Estimación del capital fijo de inversión y de la inversión total de capital requerido para la instalación de la planta para obtención de carbón activado.	92
Tabla 4.4. Estimación de los costos totales anuales de producción de carbón activado	93

Tabla 4.4. (Continuación). Estimación de los costos totales anuales de
producción de carbón activado 94

Tabla 4.5. Resumen del estudio económico 94

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Tipos de carbón activado (Manual del carbón activado 2003).....	21
Figura 2.2 Representación esquemática de una partícula porosa (Manual del carbón activado 2003).	24
Figura 2.3. Molino de martillo (Metal mecánica 2007)	35
Figura 2.4. Horno rotatorio (Emisor, 2003)	35
Figura 3.1. Corrientes de flujo involucradas en el proceso del carbón activado ...	51
Figura 3.2. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de carbón activado	52
Figura 3.3. Vista lateral y frontal del almacenamiento de materia prima.....	53
Tabla 3.7. Calores latentes y de reacción a 25 °C y 1 atm.	64
Figura 4.1. Cultivo de coco	86
Figura 4.2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de carbón activado.....	88

1.1.Planteamiento del problema

El nombre de carbón activado se aplica a una serie de carbones porosos preparados artificialmente, a través de un proceso de carbonización, para que exhiban un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. El carbón activado es un adsorbente muy versátil ya que el tamaño y la distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados para satisfacer las necesidades de tecnología. Los carbones activados comerciales son preparados a partir de materiales precursores con un alto contenido en carbono, especialmente materiales orgánicos como madera, huesos, cáscaras de semillas de frutos, como también, carbón mineral, breas, turba y coque. La elección del precursor es fundamentalmente una función de su disponibilidad, precio y pureza, pero el proceso de fabricación y la posible aplicación del producto final deben ser igualmente tomados en cuenta.

Actualmente existe sólo una planta en Venezuela destinada a la producción de carbón activado. Dicha planta se llama CARBAC C.A. y está ubicada en el estado Falcón, opera de manera discontinua y tiene una capacidad productiva de 100 toneladas anuales, que representa sólo el 9,23% de aproximadamente 1.182,895 toneladas anuales de carbón activado consumidas en Venezuela. El resto es importado de países como Francia, Estados Unidos, México, Brasil, China, Japón y muchos otros. En este sentido nace la necesidad de aumentar dicha producción anual de carbón activado (BANCOEX, 2008)

En Venezuela y específicamente en el oriente del país existe una serie de desperdicios de origen vegetal, así como también desperdicios de origen mineral, entre los cuales destaca el coque de petróleo por su gran disponibilidad en el complejo de fraccionamiento “José Antonio Anzoátegui”, que pueden ser utilizados como materia prima en la elaboración del carbón activado. Sobre esta base y a la

necesidad de incrementar la producción de carbón activado en Venezuela, se plantea diseñar preliminarmente una planta para la obtención de ese rubro, que a diferencia de la que existe en el país operaría en proceso continuo.

Para el diseño planteado, primeramente se seleccionarán desperdicios de materia vegetal, los cuales ya han sido objeto de estudio para la elaboración del carbón activado, así como también el proceso adecuado de activación del mismo. Posteriormente, con base en la disponibilidad del o los materiales vegetales seleccionados, se establecerá la capacidad de la planta, condiciones del proceso y la ubicación de la misma, ésta última estará relacionada con la facilidad de suministro de la materia prima. Se determinará el tipo y el tamaño de los principales equipos que conformarán el proceso industrial y finalmente se realizará un estudio económico del mismo.

En general, con este proyecto se pretende dar el primer paso para incrementar el valor agregado a los rubros de origen vegetal a seleccionar, generar fuentes de empleo directo e indirecto y sustituir la importación de carbón activado en Venezuela.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar preliminarmente un proceso continuo para la obtención de carbón activado.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Seleccionar la materia prima y el proceso de activación del carbón.
2. Establecer las condiciones de operación del proceso y la ubicación de la planta.
3. Determinar el tipo y tamaño de los principales equipos que conformarán el proceso industrial.
4. Realizar un estudio económico tipo V del proceso de fabricación del carbón activado.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Soto (2007) realizó una investigación titulada “Evaluación técnico económica de una planta de carbón activado en Chile”, presentada ante la Universidad de Chile para optar al título de Ingeniero Civil. El objetivo de la investigación fue conocer la calidad que se puede obtener del producto y el proceso de producción. La

investigación incluyó un estudio de prefactibilidad junto al análisis de sensibilidad de las variables que podrían afectar el resultado del proyecto.

Sálas (2006) realizó una investigación que tituló “Diseño básico de un horno de una planta de pintura de autopartes”, el cual fue presentado ante la Universidad de Oriente, Anzoátegui para optar al título de Ingeniero Químico. El objetivo general de la investigación fue diseñar un horno en una planta de pintura de autopartes, tomando como referencia una planta ya existente y aplicando principios de radiación y convección, obteniendo una buena eficiencia para el horno.

Márquez y Torres (2004) llevaron a cabo la investigación “Producción y análisis de carbón activado utilizando como precursor el endocarpio de la coroba”, trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente para optar al título de Ingeniero Químico. Dicha investigación estuvo basada en el estudio de las variables relacionadas con el proceso de producción de carbón activado usando el método de activación química, se determinó que los carbones activados obtenidos por este método superan a los obtenidos por el método de activación física, la operación del horno para este caso fue por lotes.

Ramos y Parra (2002) obtuvieron carbón activado a partir de la coroba, en laboratorio y a nivel industrial mediante el método de activación física utilizando como agentes activantes aire y vapor de agua, obteniendo carbón activado en ambos niveles, estableciéndose comparaciones en relación con otros carbones de origen vegetal, además, realizaron análisis físicos y químicos para determinar las propiedades adsorptivas del carbón y el porcentaje de rendimiento. La mencionada investigación presenta información comparativa de los carbones de origen vegetal, así como la descripción del proceso físico que se utilizó.

Gullón (1995) diseñó una planta piloto para la obtención de carbones activados a partir de carbones bituminosos en Chile, mediante el método de activación física utilizando como agente activante vapor de agua. El equipo principal fue un horno de lecho fluidizado.

Álvarez, (1989) realizó el trabajo titulado “Obtención de carbón activado a partir de cuescos de frutas”, trabajo de grado para optar al título de ingeniero

químico en la Universidad de Chile. En este trabajo utilizaron una serie de semillas y desperdicios del procesamiento de frutas para obtener en laboratorio carbón activado; determinando las cualidades de los mismos, así como las características generales del proceso.

Acosta y Berra (1985) obtuvieron carbón activado metalizado a partir de coque residual de petróleo. En su investigación analizaron como influye en la capacidad adsorptiva del carbón el tiempo de impregnación, la concentración del agente activante, la temperatura, el tiempo de activación y el tamaño de partícula. Obtuvieron valores adecuados para cada uno de estos parámetros y verificaron como influye el vapor de agua en la capacidad adsorptiva.

La información aportada por cada uno de los trabajos anteriores sirvió de guía para el diseño del proceso de fabricación de carbón activado del presente trabajo, especialmente aquellos que aportaron resultados experimentales.

2.2. Adsorción

Antes de hablar del carbón activado es conveniente analizar primero el proceso de adsorción, para así comprender mejor como es que el carbón activado realiza su función. La adsorción es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. Estas fuerzas de atracción son conocidas como " fuerzas de Van Der Waals", por lo tanto al ser un fenómeno que ocurre en la superficie, mientras mayor área superficial disponible tenga un sólido, mejor adsorbente podrá ser. La adsorción se define como la remoción, por adherencia, de las impurezas (líquidos, gases, materia suspendida, coloides, moléculas, átomos e iones disueltos) de la sustancia en la superficie (que incluye poros o superficie interna) del sorbente (interface entre las dos fases). Este proceso es sumamente necesario e imprescindible para una planta purificadora de agua. Pudiéndose representar con la siguiente reacción química:



Donde A es el adsorbato o sustancia absorbida, B es el adsorbente y A.B es el compuesto formado con la adsorción.

Los tipos de adsorbente más utilizados, especialmente en el tratamiento de agua, son: el carbón activado, resinas adsorbentes de intercambio orgánico, óxidos metálicos, entre otros.

2.3. Carbón activado

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1.500 metros cuadrados, por gramo de carbón. El nombre de carbón activado se aplica a una serie de carbones porosos preparados artificialmente a través de un proceso de carbonización, para que exhiban un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Es un producto obtenido a partir del carbón amorfo, el cual se ha sometido a un tratamiento de activación con el fin de incrementar su área superficial hasta 300 veces debido a la formación de poros internos, pudiendo alcanzarse áreas de 1200 -1500 m^2 /g de carbón.

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

La capacidad adsorbente del carbón activado es tal, que un gramo puede adsorber aproximadamente otro gramo de gases y líquido. Químicamente está compuesto por carbono, oxígeno, hidrógeno y cenizas. El carbón activado puede adsorber:

- Contaminantes orgánicos: colores, olores y sabores desagradables, volátiles, insecticidas, pesticidas, plaguicidas, herbicidas, detergentes,

derivados del petróleo, compuestos con trihalometanos, compuestos fenólicos.

- Sustancias activas al azul de metileno.
- Sustancias halogenadas (I, Cl, Br, H, F).
- Ozono residual
- Sólidos pesados (plomo, mercurio)
- Gases
- Turbiedad.
- Materia disuelta
- Algas

Los compuestos orgánicos volátiles causan (a altas concentraciones) problemas psicológicos como depresión, decaimiento y estupor, además pueden irritar o atacar las membranas mucosas. De ahí la importancia de eliminar todo este tipo de compuestos orgánicos.

El carbón activado se obtiene por carbonización y activación de materiales orgánicos, especialmente de origen vegetal, hullas, lignitos y turbas, con el fin de obtener un alto grado de porosidad y una importante superficie intraparticular. La elevada superficie específica facilita la adsorción física de gases y vapores de mezclas gaseosas o sustancias dispersas en líquidos.

La actividad del carbón activo en los procesos de adsorción viene dada fundamentalmente, por la naturaleza de la materia prima y el proceso de activación utilizado en la producción del mismo. Su capacidad adsorbente se ve muy favorecida por la estructura porosa y la interacción con adsorbatos polares y no polares, dada su estructura química, además las reacciones químicas en su superficie están influenciadas por centros activos, dislocaciones y discontinuidades, donde los carbones tienen electrones desapareados y valencias insaturadas presentando mayor energía potencial. (Manual del carbón activado 2003).

2.3.1. Tipos de carbón activado

Dependiendo si es sometido a un proceso de granulación o pulverización, el carbón activado se puede presentar como:

- Carbón activado en polvo o PAC (Powdered Activated Carbon), el cual se usa en la elaboración de medicamentos antidiarreicos y adsorbente intestinal.
- Carbón activado granular o GAC (Granular Activated Carbon), con granos de hasta 2 mm, se usa en los filtros de columna para el tratamiento de agua.

En la figura 2.1 se pueden observar los tipos de carbón activado (Manual del carbón activado, 2003)

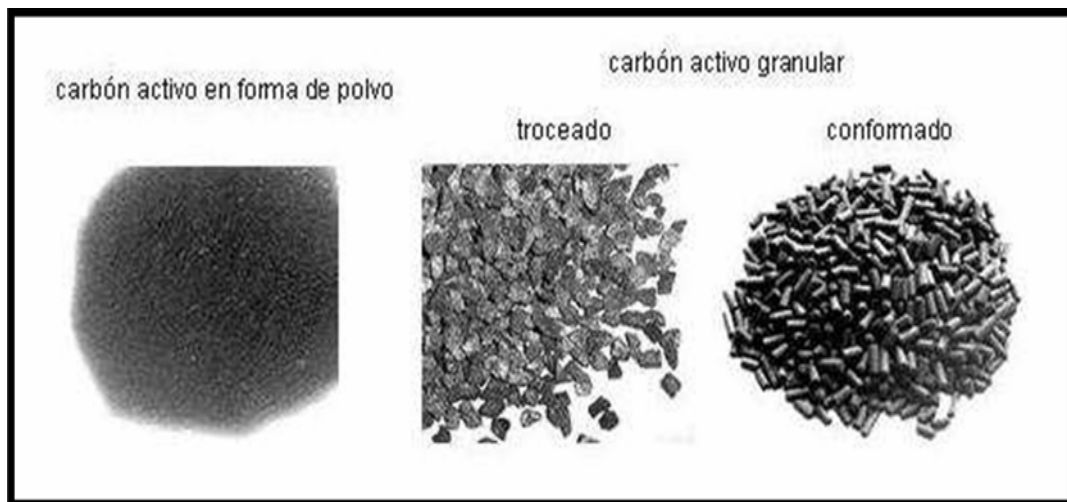


Figura 2.1. Tipos de carbón activado (Manual del carbón activado 2003)

2.3.2 Características físico-químicas del carbón activado

• Características químicas

Desde el punto de vista de la composición química, el carbón activo es carbón prácticamente puro, al igual que el diamante, el grafito, el negro de humo y los diversos carbones minerales o de leña. Todos ellos poseen la propiedad de adsorber, que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos

y que están contenidas en un líquido o gas. La composición química del carbón activo es aproximadamente un 75-80% en carbono, 5–10% en cenizas, 6% en oxígeno y 0,5% en hidrógeno (Manual del carbón activado 2003).

- **Características físicas**

El carbón activo posee una estructura microcristalina que recuerda en cierta medida a la del grafito. Esta estructura que presenta el carbón activo da lugar normalmente a una distribución de tamaño de poro bien determinada. Así, se pueden distinguir tres tipos de poros según su radio(r): macroporos ($r > 25$ nm), mesoporos ($25 > r > 1$ nm) y microporos ($r < 1$ nm).

El carbón activo tiene una gran variedad de tamaños de poros, estos se clasifican de acuerdo a su función, en poros de adsorción y poros de transporte. Los primeros consisten en espacios entre placas graníticas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. En éstos, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza.

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

Otra clasificación de los poros, es el de la IUPAC (International Unión of Pure and Applied Chemists), que se basan en el diámetro de los mismos, de acuerdo a lo siguiente:

- Microporos: menores a 2 nm
- Mesoporos: entre 2 y 50 nm.
- Macroporos: mayores a 50 nm (típicamente de 200 a 2000 nm)

Los microporos tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes. Los macroporos atrapan moléculas grandes, tales como las que son cloradas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica. Los mesoporos son los apropiados para moléculas intermedias entre las anteriores.

Por lo tanto la capacidad de un carbón activo para retener una determinada sustancia no solo depende de su área superficial, sino también de la proporción de poros internos que tenga dicho carbón, y del tamaño de los mismos (un tamaño adecuado para un poro debe oscilar entre 1 y 5 veces el diámetro de la molécula a retener). La distribución del tamaño del poro depende fundamentalmente de tres factores: el origen de la materia prima, el tipo de activación, y la duración del proceso de activación. (Manual del carbón activado 2003). Un esquema de la estructura porosa de una partícula sólida se presenta en la figura 2.2:

2.4. Materias primas utilizadas en la obtención del carbón activado

Los carbones activados pueden obtenerse de diversos precursores carbonosos aunque los más utilizados son madera, carbón mineral o cáscaras de coco. Debido a que estos adsorbentes han tenido una gran demanda se ha impulsado la búsqueda de nuevas materias primas, tomando en cuenta su costo y disponibilidad. Entre los precursores más utilizados se encuentran:

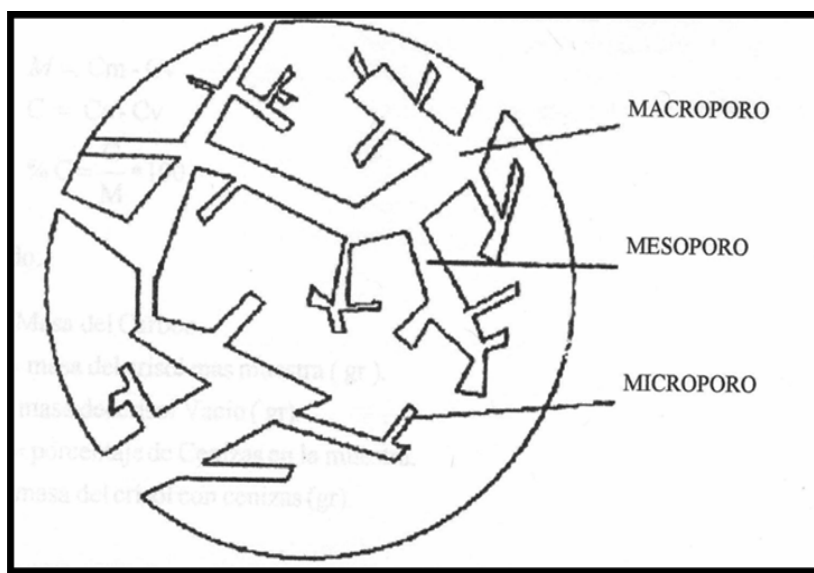


Figura 2.2 Representación esquemática de una partícula porosa (Manual del carbón activado 2003).

•**Bagazo de caña de azúcar:** es un material lignocelulósico constituido principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Se obtiene como subproducto o residuo en los centrales azucareros después de la extracción del jugo de la caña de azúcar y representa aproximadamente entre el 25 y 40% del total de materia procesada, dependiendo del contenido de fibra de la caña de azúcar y la eficiencia de la extracción del jugo. En Venezuela es uno de los residuos agrícolas más abundantes, con una producción estimada de 600.000 toneladas al año (Pernalet & Piña. 2008).

•**Cáscara de coco:** el cocotero, es la más importante de todas las palmeras. Su fruto, el coco, presenta una cáscara externa, correosa o fibrosa, de 4 ó 5 centímetros de espesor, con fibras fuertemente adheridas a la nuez. Le sigue una capa intermedia y fina y otra más dura que dispone de tres orificios próximos entre sí, con una disposición triangular y situados en el ápice. Su uso predominante es el de la producción de copra (la carne seca del coco), de la que se obtiene aceite, muy bien cotizado en las industrias de alimentos y cosméticos, y los residuos que quedan, se usan para pasto animal. La cáscara dura o endocarpio del coco se usa como combustible de alto valor calorífico (7500–7600 cal/g), y también sirve de

materia prima para la obtención de carbón activado. En Venezuela los estados con mayor producción de coco son Falcón y Sucre donde se concentra el 70% de la producción nacional (FEDEAGRO 2011).

•**Coque de petróleo:** el coque de petróleo es un producto residual sólido similar al carbón bituminoso que se obtiene de las refinerías después de que se han removido todos los fluidos esenciales del crudo de petróleo. Este producto representa entre el 5 y 10% del crudo total alimentado a las refinerías. En Venezuela se cuenta con gran cantidad de este producto, la estatal Petróleos de Venezuela (PDVSA) tiene una producción de 12 mil toneladas por día de coque y en el bloque Carabobo de la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO) hay una producción de 6.000 toneladas por día del mismo.

•**Madera:** es un material ortotrópico encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen cada año y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. Como la madera la producen y utilizan las plantas con fines estructurales es un material muy resistente y gracias a esta característica y a su abundancia natural es utilizada ampliamente, ya desde tiempos muy remotos (Padilla. 2000).

Otros precursores también utilizados son: cáscaras de nueces, cáscaras de arroz, cáscaras de naranja y mandarina, huesos de animales, desperdicios de pasta de papel, tusas y caña de maíz, aserrín, semilla de durazno, semilla de guayaba, turba, sacarosa, carbones minerales.

Existen varios factores que convierten a un material en un potencial precursor para la producción de un carbón activado, siendo estos:

- Alto contenido de carbono.
- Bajo contenido de inorgánicos.
- Bajo nivel de riesgos en su manipulación y transporte.
- Disponibilidad en el mercado que garantice la producción.
- Bajo costo.

2.5 Proceso general para la producción de carbón activado

Este proceso involucra varios pasos que van desde la selección de la materia prima hasta la obtención del carbón activado.

2.5.1 Acondicionamiento de la materia prima

Es bien sabido que para lograr la producción de un carbón activado competitivo en el mercado, el precursor debe cumplir con ciertas condiciones básicas antes de iniciar el proceso de activación; por esta razón la materia prima es sometida a:

- Reducción de tamaño: el objeto de la reducción de tamaño es llevar al material de partida a una distribución de tamaño de partícula inferior a la inicial, para tener un producto en el entorno de la granulometría deseada. El proceso se realiza llevando al precursor a un equipo de molienda.
- Tamizado: el tamizado tiene como objetivo separar las partículas de diferentes tamaños obtenidas después de que el precursor ha sido sometido al proceso de molienda. Esta etapa juega un papel importante en la activación química, pues el tamaño de partícula determina el área expuesta al agente activante y el tiempo de penetración del mismo en el precursor.
- Secado: el precursor es sometido a calentamiento en un horno a temperaturas que oscilan entre 100 y 120 °C con el fin de eliminar el exceso de agua y compuestos volátiles presentes en el mismo (Manual del carbón activado 2003).

2.5.2. Activación del material carbonáceo

La activación se puede lograr por medios físicos o por medios químicos.

2.5.2.1 Proceso físico

El proceso físico de activación se realiza en dos etapas, la carbonización de la materia prima y la activación del sólido carbonizado. Durante la carbonización la materia prima llega al rojo vivo para expulsar los hidrocarburos, pero sin el

suficiente aire para llegar a la combustión, en ella se eliminan elementos como el hidrogeno y el oxígeno del precursor para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria y los átomos de carbono se organizan en estructuras microcristalinas conocidas como "cristalitas gráficas elementales". Entre estos microcristales hay espacios libres, debido a que su ordenamiento es irregular. Estos espacios o intersticios son bloqueados por carbono amorfo, alquitranes y otros residuos de la descomposición pirolítica del material.

La activación se realiza en una segunda etapa a temperaturas entre 800 y 1100 °C en presencia de un oxidante como agente activante. La activación propiamente dicha, puede ser un proceso totalmente independiente de la carbonización o llevarse a cabo a continuación de ésta. Consiste en hacer reaccionar al agente activante con los átomos de carbono del carbonizado que está siendo activado; de forma que se produce un "quemado selectivo" que va horadando progresivamente al carbonizado, generando poros y aumentando la porosidad hasta transformarlo en un carbón activado. Los agentes activantes que se suelen usar son: oxígeno (raramente a escala industrial), aire, vapor de agua (el más usado) y CO₂.

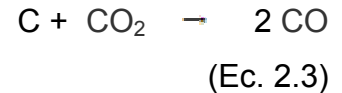
La activación con vapor de agua se lleva a cabo a temperaturas entre 850-950 °C en ausencia de oxígeno. Su presencia provoca una disminución en el rendimiento del carbón y en la porosidad. Durante el proceso de activación ocurren una serie de reacciones químicas, siendo la principal la siguiente:



Parte del hidrógeno formado se adsorbe en los centros activos de la superficie del carbón reduciendo la activación del material producido, a la vez que disminuye la velocidad de reacción.

La activación con CO₂ implica una reacción menos energética en comparación con la del vapor de agua y requiere temperaturas mayores (850-1100 °C). Al ser el CO₂ una molécula de mayor tamaño que la del vapor de agua, se produce una

difusión más lenta a través de la estructura porosa del carbón, disminuyendo así la cantidad de microporos. En este caso, la reacción de activación es:



El uso de oxígeno como agente de activación es menor que en los casos anteriores, debido a la dificultad de mantener unas condiciones de operación estacionarias en el horno ya que la reacción es extremadamente exotérmica y produce sobrecalentamientos locales que disminuyen la homogeneidad del carbón activo final, las reacciones que ocurren son las siguientes:



Por otro lado, la acción del oxígeno no se limita a la oxidación de los poros sino que también produce una gran cantidad de óxidos sobre la superficie y una disminución en el rendimiento a carbón. Por estas razones, este tipo de activación raramente es utilizada.

2.5.2.2 Proceso químico

La activación química se basa en la deshidratación mediante sustancias químicas y a una temperatura media de 400 a 600 °C, la cual depende de la sustancia química utilizada para activar el carbón. En este caso la activación suele tener lugar en una única etapa, no obstante, es necesaria una etapa posterior de lavado del carbón activado para eliminar los restos del agente químico activante. Existen numerosos compuestos que pueden usarse como agentes activantes, sin embargo los más usados industrialmente son el cloruro de zinc (ZnCl_2), el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el hidróxido de potasio (KOH).

La activación química con $ZnCl_2$ fue el método más usado hasta 1970, especialmente para la activación de residuos de madera. Su uso, sin embargo, se ha restringido mucho en la actualidad, debido a los problemas medioambientales que conlleva el uso del $ZnCl_2$ no obstante, algunos países como China aún siguen usando este método para producir carbón activado.

La activación química con H_3PO_4 prácticamente ha desplazado al $ZnCl_2$ y los precursores en este tipo de activación son en su mayoría, como en el caso de $ZnCl_2$, residuos forestales (madera, cáscara de coco, hueso de aceituna, etc.).

La activación química con KOH se desarrolló durante los años 70, para producir los denominados “carbones superactivados”, con superficies específicas del orden de los 3000 m^2/g . A diferencia de los otros dos agentes activantes, los precursores preferibles para la activación con KOH son aquellos de bajo contenido en volátiles y alto contenido en carbono, como los carbones minerales de alto rango, carbonizados, coque de petróleo, etc. En esta activación el KOH se mezcla con el precursor, en una suspensión acuosa o mediante una simple mezcla física, en proporciones entre 2:1 y 4:1.

Cuando la impregnación tiene lugar en medio acuoso, la activación se lleva a cabo en dos tratamientos térmicos consecutivos en atmósfera inerte. El primero a temperaturas bajas, pero superiores a los 200°C que se utiliza sólo para evaporar el agua y dispersar el KOH) y el segundo entre 700 y 900 °C (Manual del carbón activado 2003).

2.6. Usos del carbón activado

2.6.1. Uso del carbón activado granular

En la purificación de agua el carbón activado granular (GAC) se puede usar en sustitución de los filtros de arena, actuando como filtro mecánico, es decir, removiendo las partículas por obstrucción y como adsorbente, o bien como complemento de éstos (en este caso sólo funciona como adsorbente con una mayor eficiencia en la retención de micro contaminantes).

Sin embargo, normalmente el GAC se usa después de haber filtrado el agua por lechos de arena. En este caso el GAC se empaca en torres filtrantes a través de las cuales el agua se infiltra lentamente según la dirección de su flujo. Esto se puede hacer de dos maneras:

- Sistema activo: el agua pasa a través del filtro de carbón activado, aunque no es la forma más eficiente de usarlo.

- Sistema pasivo: el agua no incide directamente contra la masa de carbón activo, sino se mueve lentamente entre sus granos y tiende a ocupar de forma efectiva sólo una parte del lecho filtrante. La adsorción se da lentamente y solamente en la superficie externa de los granos de carbón. Aunque se tarda más en eliminar los contaminantes se adsorbe lo más posible. Es más eficiente y funciona con la mínima atención.

2.6.2. Uso del carbón activado en polvo (PAC)

Hay dos formas de aplicar el carbón activado en polvo (PAC); la primera consiste en usar el carbón seco, mojarlo y aplicarlo al agua, mientras que la otra forma consiste en hacer suspensión con el carbón activado en polvo en un envase y aplicarla al sistema.

Cuando no hay filtros de arena en la purificación se debe aplicar PAC en suspensión directamente a los depósitos del agua. La suspensión se distribuye en la superficie del depósito de la manera más uniforme posible, es decir, se debe aplicar mayor cantidad de la suspensión del PAC en las áreas donde el depósito es más profundo. El PAC se asienta completamente en uno o dos días.

Para corregir problemas de sabor las dosis puede ir desde 1 hasta 1200 libras de PAC por millón de galones de agua. El 80 % de los olores y sabores pueden ser removidos con dosis de 10 a 40 libras de carbón activado por millón de galones de líquido.

2.6.3. Uso del carbón activado por áreas específicas

- Adsorción de gases: a nivel industrial es empleado para recuperar los solventes utilizados en los procesos, para su posterior reutilización o simplemente para evitar su incorporación al ambiente.
- En la medicina: ciertas bacterias tóxicas son removidas por carbón activado, por lo que es usado para el tratamiento de gastritis y enteritis y para tratar envenenamientos ocasionados por alimentos, alcaloides, metales, fósforo, fenol, entre otros.
- En el tratamiento de agua: se usa en los procesos de separación de iones de soluciones, como la suavización o ablandamiento de agua y la desmineralización, también en el tratamiento de agua potable y de aguas residuales.
- En la industria de bebidas y alimentos: se utiliza para tratamiento de aguas, también como clarificante, removedor, purificador para la fabricación de vinos, cerveza, refrescos, entre otros, y en la manufactura del azúcar, para la remoción de colores y sabores.
- En catálisis: generalmente interviene como catalizador en reacciones de oxidación, de combinación, de descomposición y de eliminación. Su papel es diferente según sea la reacción, para unas dependerá de los grupos carbono-oxígeno presentes, para otras de la variabilidad de sitios activos.
- En otras aplicaciones: desodorización y purificación del aire para aplicaciones técnicas, en los casos por ejemplo de atmósferas para licuefacción y en algunas de aire comprimido; recuperación de gasolinas, propano y butanos del gas natural, tal y como lo reporta el proceso de síntesis Fischer-Tropsch a bajas presiones; cromatografía de gases, donde actúa de coadyuvante en análisis de separación y detención; recuperación de metales valiosos y remoción de metales pesados en soluciones acuosas, tales como la adsorción del oro sobre el carbón activado (Manual del carbón activado 2003).

2.7. Propiedades del carbón activado obtenido a partir de diferentes materias primas

Para obtener el carbón activado, tal como se indicó anteriormente, se pueden usar diversos materiales orgánicos como carbón vegetal, madera, hulla, aserrín, turba, lignito, caña de azúcar, residuos celulósicos, hueso de aceituna, cáscara de coco, nueces, arroz, etc., mazorca de maíz, melaza, petróleo, etc. En la tabla 2.1 se muestran las propiedades de algunos carbones activados obtenidos a partir de diferentes materias primas.

Tabla 2.1. Propiedades de algunos carbones activados obtenidos a partir de diferentes materias primas

Propiedades / Materia prima utilizada	Cáscaras de coco y semillas de duraznos	Carbón vegetal	Lignito	Madera (en polvo)
Microporos	Alta	Alta	Media	Baja
Macroporos	Bajo	Medio	Alto	Alto
Dureza	Alto	Alto	Bajo	No aplicable
Cenizas	5%	10%	20%	5%
Ceniza soluble en agua	Alta	Bajo	Alta	Media
Polvo	Bajo	Medio	Alto	No aplicable
Reactivación	Buena	Buena	Pobre	No
Densidad aparente	0,48 gr/cc	0,48 gr/cc	0,4 gr/cc	0,35 gr/cc
Número de yodo	1.100	1.100	600	1.100

Fuente: Carbochem, Ardmore, US. 1999

El carbón activado fabricado a partir de semillas de frutas (en general semillas como durazno y damascos) o cáscaras de frutas (coco, maní y nuez) son de mejor calidad, con un alto nivel de microporos (responsable del 90% de la adsorción), alto grado de dureza (lo que le da mayor durabilidad y hace posible que el carbón pueda ser reutilizado), bajo contenido de cenizas (a mayor porcentaje de cenizas más afectada negativamente se ve la calidad del carbón) y un alto número de yodo (medida de adsorción de los carbones) lo cual le da al carbón la posibilidad de ser utilizado en una mayor cantidad de aplicaciones. El carbón activado es comercializado bajo las siguientes normas (Manual del carbón activado 2003):

- Medida de malla: Indica el tamaño del granulo (mm.).
- Número de yodo (mg/gr.)
- Dureza (%)
- Cenizas (%)

2.8. Molinos de martillos

Para pulverizar y desintegrar materiales sólidos existen varios tipos de molinos, entre los que se destacan los de bolas, de piedras, de varillas, de martillo, de tubo, entre muchos otros. Cada uno recomendado para diferentes tipos de dureza, en el caso particular de materiales muy duros se recomienda el uso de molinos de martillos.

Estos molinos que pueden pulverizar y desintegrar materiales sólidos funcionan a altas velocidades. El eje del rotor puede ser vertical u horizontal, aunque predomina esta última modalidad; el eje sostiene a los martillos, llamados a veces agitadores, y pueden ser elementos en forma de T, de estribo, barras o anillos fijos o pivotados al eje o a los discos fijos que van sobre el eje.

El molino de martillos se fabrica en gran número de tipos y tamaños y se utiliza en una mayor variedad de materiales que cualquier otra clase de

maquinaria. El molino es capaz de recibir material de alimentación de 2 cm, dependiendo del tamaño de la garganta de dosificación, y de reducirlo a un producto sustancialmente capaz en su totalidad de atravesar una malla N° 200. Para producir materiales dentro de la gama de tamaños finos, puede operarse en combinación con clasificadores de aire exteriores. En la figura 2.3 se puede observar un molino de martillos (Perry, R 2001).

2.9. Hornos rotatorios

Este tipo de horno se emplea para llevar a cabo la descomposición de sólidos finamente divididos y para las reacciones de sólidos con gases o incluso con líquidos. La alimentación del horno, por lo general granular, se ajusta hasta lograr que la carga ocupe un volumen interno del horno entre 8 y 15 %. El horno está constituido por un recipiente de acero recubierto interiormente con una capa de refractario y aislante. Su forma es cilíndrica. El horno dispone de una entrada para la alimentación de la materia prima, un quemador y la entrada de aire comburente. La inclinación del horno rotatorio varía entre 2° y 5° con respecto a la horizontal y giran con velocidades de 0,25 a 5 rpm. La relación longitud/diámetro se establece entre 10 y 35, dependiendo del tiempo de reacción necesario



Figura 2.3. Molino de martillo (Metal mecánica 2007)

En la figura 2. 4 se observa un horno rotatorio.



Figura 2.4. Horno rotatorio (Emisor, 2003)

Las formulas para calcular la capacidad y el tiempo de residencia para estos equipos, en función de sus condiciones de operación, se deben a Heiligenstaedt (Perry, 2001):

$$C = 148 n \phi D^3 V \operatorname{tg} \varphi \quad (\text{Ec. 2.6})$$

$$t = L / (60 \pi n D \operatorname{tg} \varphi) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

n = rpm

ϕ = fracción de sección transversal ocupada

D = diámetro interno útil del horno, m

L = longitud del horno, m

φ = inclinación en grados, con respecto a la horizontal

C = capacidad del horno, t/d

V = volumen interno del horno, m^3

t = tiempo de residencia del material, h

2.10. Lavador de gases

Los lavadores de gases están orientados a la extracción y tratamiento de gases contaminantes, fundiciones, plantas de tratamiento químico, y en general donde se requiere extraer los gases nocivos. Estos sistemas se componen generalmente por un ventilador centrífugo simple o ventilador axial, una red de ductos y un conjunto de campanas. Una de las ventajas de los lavadores de gases es su instalación compacta, prácticamente no tiene limitante de temperatura y humedad para los gases a tratar, bajos costos de manutención y absorción de contaminantes gaseosos (GEA group 2010)

2.11. Balances de materia y energía

2.11.1. Balance de materia

Los procesos químicos pueden clasificarse como intermitentes o por lotes, continuos o semicontinuos, y en estado estacionario o transitorios. Antes de escribir el balance de materia para un sistema de proceso, es necesario saber a cuál de estas categorías pertenece.

- Proceso intermitente o por lotes: la alimentación se carga (se introduce) a un recipiente al comienzo del proceso y, transcurrido cierto tiempo, se retira el contenido de dicho recipiente. No hay transferencia de masa más allá de los límites del sistema desde el momento en que se carga la alimentación hasta que se retira el producto.
- Proceso continuo: las corrientes de alimentación y descarga fluyen de manera continua durante todo el proceso.
- Proceso semicontinuo: cualquier proceso que no sea intermitente o por lotes ni continuo.
- Proceso en estado estacionario: cuando la magnitud de los flujos que entran y salen a un proceso continuo no cambian en el tiempo
- Proceso transitorio: cuando los flujos que entran o salen a un proceso continuo varían en el tiempo

La base para los balances de materia es la ley de la conservación de la masa, la cual establece que la masa no se crea ni se destruye. La ecuación general para un balance de materia en un proceso continuo viene dada de la siguiente forma:

$$\text{Acumulación de materia} = \text{entradas} + \text{generación} - \text{salidas} - \text{consumo}$$

(Ec.2.8)

Cuando el sistema trabaja en estado estacionario, la acumulación de materia se hace cero, por lo tanto, la ecuación 2.8 queda de la siguiente manera:

$$\text{Entradas} + \text{generación} = \text{Salidas} + \text{consumo}$$

(Ec.2.9)

Si se realiza el balance de una especie no reactiva o de la masa total, los términos de generación y consumo son iguales a cero y la ecuación se reduce a:

$$\text{Entradas} = \text{salidas} \quad (\text{Ec.2.10})$$

2.11.2. Balance de energía

La energía es cara, aún no hemos aprendido a emplear de manera eficaz el suministro, en apariencia inagotable, de energía gratuita del Sol, los vientos y las mareas; también es factible generar energía nuclear, pero la necesidad de la eliminación segura de los desechos radiactivos de los reactores nucleares es un problema grave aún por resolver y no se cuenta con suficientes caídas de agua ni presas como para proveer suficiente energía hidroeléctrica y cubrir las necesidades energéticas mundiales.

Las industrias de proceso siempre han reconocido que desperdiciar energía reduce las ganancias, pero durante la mayor parte del siglo XX el costo de la energía constituyó casi siempre una parte insignificante del costo total del proceso y se toleraban graves ineficiencias operacionales. En la década de 1970, el drástico aumento en el precio del gas natural y el petróleo elevó el costo de la energía en gran proporción e intensificó la necesidad de eliminar el consumo innecesario de la misma. Si una planta utiliza más energía que sus competidores, es posible que sus productos queden fuera de precio en el mercado.

Una de las tareas principales del ingeniero al diseñar un proceso consiste en justificar con cuidado la energía que entra y sale de cada unidad de proceso y determinar los requerimientos energéticos totales de éste. Para ello, recurre a escribir los balances de energía de manera muy similar a los balances de materia que se describen para explicar los flujos de masa que entran y salen del proceso y de sus unidades.

Se dice que un sistema es abierto o cerrado dependiendo que exista o no transferencia de masa a través de la frontera del sistema durante el período de tiempo en que ocurre el balance de energía. Por definición un proceso intermitente es un proceso cerrado y los procesos intermitentes y continuos son sistemas abiertos.

La ecuación general de balance de energía para un sistema abierto que pasa de un estado 1 a un estado 2, viene dada de la siguiente forma:

$$\Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p = Q - W \quad (\text{Ec.2.11})$$

Donde:

ΔH = variación de la entalpía, kCal/kgmol

ΔE_c = variación de la energía cinética, kCal/kgmol

ΔE_p = variación de la energía potencial, kCal/kgmol

Q = calor transferido hacia o desde el entorno, kCal/h

W = trabajo realizado por el sistema o por el entorno, kCal/h.

2.12. Estudio económico

Las estimaciones de los costos en una etapa de prediseño (también llamado estudio preliminar) requieren información mucho menos detallada que las estimaciones en firme, como la definitiva y la detallada. Sin embargo, esas estimaciones previas al diseño son extremadamente importantes para decidir si un proyecto determinado ha de seguir o no su curso y para la comparación de las diversas alternativas posibles (Peters y Timmerhaus, 1993).

Los estimados de costos sirven de base a la gerencia de proyectos para (Blank y Tarquín, 2000):

1. Evaluación de factibilidad en su fase conceptual

2. Análisis de rentabilidad económica.
3. Selección de opciones entre diversas alternativas de inversión.
4. Aprobación presupuestaria.
5. Definición de estrategias de financiamiento.
6. Comparación de ofertas en las licitaciones.

La estimación del capital a invertir para un proceso varía desde una estimación preliminar, basada en planos y especificaciones hasta una completa. Entre estos dos extremos de estimaciones de inversión capital pueden existir muchas otras clases de estimaciones, cuya exactitud varía de acuerdo con el grado de desarrollo del proyecto, ellas son:

Clase V: se realiza cuando se ha determinado la necesidad de un bien y servicio y/o se ha iniciado su conceptualización. Existe una definición global a “grosso modo” del proyecto y de sus principales unidades de proceso, donde la información disponible se limita esencialmente a trabajos de laboratorio, tamaño o capacidad propuesta, ubicación geográfica, etc. La probabilidad de que los costos finales resulten dentro de más o menos 10% del estimado, es del 15 %.

Clase IV: se lleva a cabo con el estimado de ingeniería conceptual completada, y se ha avanzado en las especificaciones del diseño básico. Se han concluido los estudios para la preselección el tipo y tamaño de los equipos mayores, así como también se han preparado los diagramas principales de flujo y los requerimientos de servicios profesionales. La probabilidad de que los costos finales resulten, dentro de más o menos 10% del estimado, es un 30%.

Clase III: se realiza después que la “base del diseño” del proyecto se ha completado el 60% de la Ingeniería Básica. Se han concluido también los estudios para seleccionar el tipo, tamaño y parámetros de diseño para las plantas de procesamiento y otras unidades y se ha comenzado el trabajo de diseño de equipos básicos incluyendo las especificaciones de diseño. La probabilidad de que los costos finales resulten, dentro de más o menos 10% del estimado, es del 60%.

Clase II: se basa en especificaciones de diseño completadas (Ingeniería Básica), las cuales son de un alcance suficiente para definir íntegramente el proyecto para el diseño y la ingeniería de detalle subsiguiente. Los principales

componentes de equipos, edificios, requerimientos de almacenaje, etc. La probabilidad de que los costos finales resulten, dentro de más o menos 10% del estimado, es del 80%. **Usos:** Solicitud de aprobación de fondos para la Ing. Detalle, procura, construcción y arranque del proyecto. Presupuesto base para el control de costos y de avance. Establecer flujo de caja y evaluar la tasa de retorno de la inversión.

Clase I: se estima para la contratación de obras y/o servicios, es un pronóstico de costos realizado cuando el avance de la ingeniería de detalle es tal que se dispone del diseño completo de fundaciones, estructuras y se conocen cómputos métricos de los materiales de construcción. La probabilidad de que los costos finales resulten dentro de más o menos el 10% del estimado es del 90%.

2.12.1. Estimación de la inversión de capital

Se pueden usar diversos métodos para estimar la inversión de capital. La elección del método depende de la cantidad de información detallada disponible y la exactitud que se desee obtener (Peters y Timmerhaus, 1993). En la tabla 2.2 se presentan los factores que se utilizan para la estimación de inversión de capital, basada en el costo de compra del equipo o equipos principales. Para la estimación de la inversión de capital fijo o total se requiere la determinación del costo del equipo entregado. Los restantes rubros del costo directo de la planta se estiman como porcentajes del costo de los equipos entregados. Los componentes adicionales de la inversión de capital se basan en porcentajes promedios del costo directo total de la planta, en los costos totales directo e indirecto o en la inversión total del capital.

2.12.2. Factibilidad económica

Los estudios de factibilidad económica incluyen análisis de costos y beneficios asociados con cada alternativa del proyecto. Con los análisis de costo/beneficio, todos los costos y beneficios de adquirir y operar cada sistema alternativo se identifican y se hace una comparación entre ellos. Primero se comparan los costos esperados de cada alternativa con los beneficios esperados para asegurarse que

los beneficios excedan a los costos. Después la proporción costo/beneficio de cada alternativa se compara con la proporción costo/beneficio de las otras alternativas para identificar la alternativa que sea más atractiva en su aspecto económico.

El estudio de factibilidad se basa en la documentación técnica de la inversión, en donde se valora la variante seleccionada desde el punto de vista técnico y económico, se analiza la conveniencia y factibilidad de su ejecución y se precisan los esquemas de negociación y comercialización, así como los cronogramas de ejecución. El estudio de factibilidad es el documento donde quedan plasmados todos aquellos parámetros e indicadores que se necesitan; éstos serán precisos, confiables y con un desarrollo de las proyecciones económicas y financieras que le permitan a la alta dirección tomar decisiones sobre la conveniencia o no de la inversión (Peters, Timmerhaus, 1993).

Algunas de las principales herramientas y metodologías que se utilizan para medir la factibilidad de un proyecto son (Blank y Tarquín, 2000):

- **Tasa de retorno porcentual estándar de la inversión (TR)**

$$TR = \frac{\text{Ganancia anual}}{\text{Inversión total inicial}} \times 100 \quad (\text{Ec. 2.12})$$

- **Período de recuperación de la inversión (PRI)**

$$PRI, \text{ años} = \frac{\text{Inversión total inicial}}{\text{Ganancia anual}} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

En la actualidad la tasa de retorno y el período de recuperación de la inversión se determinan mediante el valor actual de una anualidad, que se define como el valor que tendría que ser invertido actualmente con una tarifa de interés compuesto i (ecuación 2.14) para rendir una cantidad total al final de la anualidad igual a la

cantidad de la anualidad. La letra P representa el valor actual de una anualidad ordinaria. La letra A representa el pago periódico uniforme hecho durante períodos discretos de n en una anualidad ordinaria (Peters, Timmerhaus, 1993).

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (\text{Ec. 2.14})$$

Tabla 2.2. Factores relativos para la estimación de la inversión de capital para los diversos rubros, basados en el costo de los equipos entregados

Rubro	Porcentajes del costo del equipo		
	Planta que Procesa Sólidos	Planta que procesa sólidos y fluidos	Planta que procesa fluidos
Costos indirectos			
Equipos adquiridos y entregados	100	100	100
Instalación del equipo adquirido	45	39	47
Instrumentación y controles (instalados)	9	13	18
Cañerías y tuberías (instaladas)	16	31	66
Instalaciones eléctricas (colocadas)	10	10	11
Obras civiles	25	29	18
Mejoras del terreno	13	10	10

Instalaciones de servicio	40	55	70
Terreno (si es necesario adquirirlo)	6	6	6
Total Costos directo de la planta	264	293	346
Costos indirectos			
Ingeniería y supervisión	33	32	33
Gastos de construcción	39	34	41
Total costos directos e indirectos	336	359	420
Honorarios del contratista (aproximadamente el 5 % de los costos directos e indirectos de la planta)	17	18	21
Eventuales (alrededor del 10 % de los costos directos e indirectos de la planta)	34	36	42
Inversión de capital fijo	387	413	483
Capital de trabajo (alrededor del 15 % de la inversión total de capital)	68	74	86
INVERSIÓN TOTAL DE CAPITAL	455	487	569

Fuente: (Peters y Timmerhaus 1993).

CAPÍTULO 3 DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1. Selección de la materia prima y el método de activación

Prácticamente cualquier materia con un alto contenido de carbono puede ser utilizado como precursor para la preparación de carbones activados. La madera,

cáscara de coco, huesos de frutos, turba, carbón vegetal, carbón mineral, coque de petróleo, entre otros, son materias primas baratas con un amplio contenido de carbono y bajos en impurezas inorgánicas, y por consiguiente son adecuadas para la producción de carbón activado. Las propiedades del producto final serán diferentes, dependiendo de la materia prima a utilizar, del método de activación y de las condiciones del proceso.

Aunque el carbón activado puede fabricarse a partir de un sinnúmero de materiales carbonosos, solamente se utilizan unos cuantos a nivel comercial, debido a su disponibilidad, bajo costo y a los productos que se derivan de ellos.

En la primera etapa del proyecto se considera el estudio de los diferentes materiales, tanto minerales como vegetales, a fin de definir el más adecuado para la propuesta. En segundo lugar, ya seleccionada la materia prima, se procedió a determinar cuál de los métodos de activación era el más adecuado.

3.1.1 Selección de la materia prima

Las premisas para la selección de la materia prima adecuada para la obtención del carbón activado fueron las siguientes:

- Bajo costo, preferiblemente ser un desecho no aprovechado actualmente en Venezuela.
- Que haya sido objeto de estudios experimentales anteriormente como precursor de carbón activado. Esta premisa es muy importante ya que en este trabajo no se realizan ensayos experimentales para la obtención de carbón activado.
- Disponibilidad suficiente de esa materia prima en el oriente del país. La planta a diseñar se desea que esté ubicada en esa zona de Venezuela.

En base a estas premisas, se revisaron potenciales fuentes de materia prima, tanto de origen mineral, como es el caso del coque de petróleo, como de origen vegetal, principalmente desechos del procesamiento de frutas. Se encontró que el endocarpio (cáscara interna) del coco, fruta comestible obtenida del cocotero (cocos nucífera) reúne perfectamente las tres condiciones planteadas.

3.1.2. Selección del método de activación

Los métodos de activación para la obtención del carbón activado son el método químico y físico. En la activación química se recomienda como materia prima la de origen vegetal especialmente la madera; aunque también se emplea la de origen mineral, y su viabilidad depende básicamente de la eficacia de recuperación del agente activante utilizado para su reciclado y reutilización.

En cambio la activación física resulta mucho más económica puesto que los agentes activantes utilizados son de menor costo, además es un proceso más limpio y puede ser llevada a cabo en los más variados reactores y modos de operación; el agente activante más utilizado es vapor de agua, precisamente por cumplir con estas características. En función de la materia prima utilizada, del tipo de carbón activado deseado, de las variables de operación y de los costos, se utiliza un tipo determinado de reactor para llevarse a cabo el mismo.

El método físico se recomienda mayormente para materia prima de origen vegetal. En la tabla 3.1 se muestran las diferencias entre los métodos de activación. Estos valores se tomaron en cuenta al momento de hacer la selección.

De acuerdo a lo descrito anteriormente se escogió el método de activación físico con vapor de agua, ya que resulta económicamente más factible y con el que se obtendrá un carbón activado de calidad.

Tabla 3.1. Diferencias entre los métodos de activación

Método de activación física	Método de activación química
------------------------------------	-------------------------------------

<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza en dos etapas, carbonización y activación. • Puede utilizarse tanto para materias de origen vegetal como para materias de origen mineral. • Su temperatura para la carbonización es de 600°C y para la activación una temperatura constante 700-1200°C. • Los agentes activantes pueden ser: dióxido de carbono, vapor de agua, o aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se produce en tres etapas, deshidratación, activación, y lavado. • Se utiliza para materias de origen vegetal especialmente para maderas y para materias de origen mineral. • Comprende una temperatura media de deshidratación 400-600°C y para la activación una temperatura única entre 450-900°C. • Los agentes oxidantes más utilizados industrialmente para esta etapa pueden ser: el cloruro de zinc (ZnCl₂), el ácido fosfórico (H₃PO₄) y el hidróxido de potasio (KOH).
---	--

3.2. Establecimiento de las condiciones de operación del proceso y ubicación de la planta

En esta etapa luego de seleccionado el material a utilizar y el método de activación, se procedió a establecer las condiciones de operación del proceso, tales como: capacidad de la planta, es decir, producción de carbón activado anual, consumo anual de la materia prima, granulometría de la materia prima, presión y

temperatura durante el proceso de carbonización y activación, entre otros; además de seleccionar la región adecuada para su instalación.

Para determinar la capacidad de la planta se utilizó la información suministrada por Bancoex en cuanto a la cantidad de carbón activado importado para el año 2008 (anexo A), la cual fue de 1.083 toneladas métricas; esto unido a la producción nacional de 100 toneladas métricas (la empresa CARBAC, ubicada en el estado Falcón) arroja un consumo de 1.183 toneladas anuales. En vista que fue imposible conseguir información sobre el consumo en años anteriores, para así hacer una proyección hacia el futuro, se tomó la decisión de diseñar la planta con un incremento del 30% sobre el consumo del 2008, esperando así un incremento de la demanda en el futuro. A continuación se indica la capacidad de producción de carbón activado de la planta, así como los días y horas promedio a trabajar durante el año.

- Capacidad anual de la planta: 1.537,8 toneladas de carbón activado
- Días de operación promedio de la planta por año: 300
- Horas de operación promedio por día: 20
- Producción de carbón activado, en kg/h, promedio de la planta = $1.537,8 \text{ t/año} \times 1 \text{ año}/300 \text{ días} \times 1 \text{ día}/20 \text{ h} \times 1.000 \text{ kg/t} = 256,3 \text{ kg/h}$

Para determinar la cantidad de cáscara de coco (endocarpio) a utilizar en el proceso, así como las demás corrientes de flujo involucradas en el mismo, se tomó como base una hora de producción, es decir, 256,3 kg de carbón activado. Las premisas para realizar los balances de materia son indicadas a continuación:

- En el horno ocurren tres procesos: secado, carbonización y activación del material carbonizado
- En el secado se evapora totalmente el contenido de agua en la cáscara. En la tabla 3.2 se puede observar un análisis típico del endocarpio del coco

- En la carbonización se pierde, principalmente en forma gaseosa, el 65 % de la materia prima seca
- Durante la activación se pierde en forma gaseosa el 5 % del material sólido carbonizado
- El agente de activación es vapor de agua, el cual entrará en estado líquido, y luego por efecto de la temperatura en el horno pasará al estado gaseoso. El flujo de agua es de 0,8 kg/kg de material sólido carbonizado

Tabla 3.2. Análisis elemental del endocarpio del coco

Componente	% masa
C	51,2
H	4,69
N	0,902
Cenizas	1,3
Humedad	8,5

Fuente: Álvarez X.
1989.

- La composición de los gases producto de los procesos

de carbonización y activación es mostrada en la tabla 3.3

Tabla 3.3. Composición de los gases de carbonización y activación

Componente	% masa
CO ₂	15,8
CO	15,0
CH ₄	7,8
H ₂	28,7
H ₂ O	26,0
Alquitrán	6,7

Fuente: Soto, 2007

En base a estas premisas, en la figura 3.1 se pueden apreciar las diferentes corrientes de flujo involucradas en el proceso (todas están basadas en una hora de trabajo).

La granulometría del material antes de ser sometido a la carbonización y activación debe ser de 0,5 a 1 cm. de diámetro aproximadamente; mientras que la presión de trabajo es de 1 atmósfera, la temperatura de carbonización es de 600 °C y la de activación está entre 850 y 950 °C.

Los factores que intervienen en el análisis previo a la implantación de una planta productora de carbón activado son de diversa índole, pudiéndose mencionar: fácil acceso de transporte de materiales y producto, servicios públicos (agua, luz, aseo urbano), cercanía a la materia prima, clima, cercanía a los centros urbanos, entre otros.

El abastecimiento de la materia prima es uno de los factores más importantes a considerar; la planta debe mantener un suministro adecuado de la misma, por ello es necesario que su ubicación sea cercana a la fuente productora de la materia prima. Se estudiaron las principales zonas productoras de materia prima (coco) en el oriente del país y se escogió la que se consideró que ofrece mayores ventajas, en todos los aspectos.

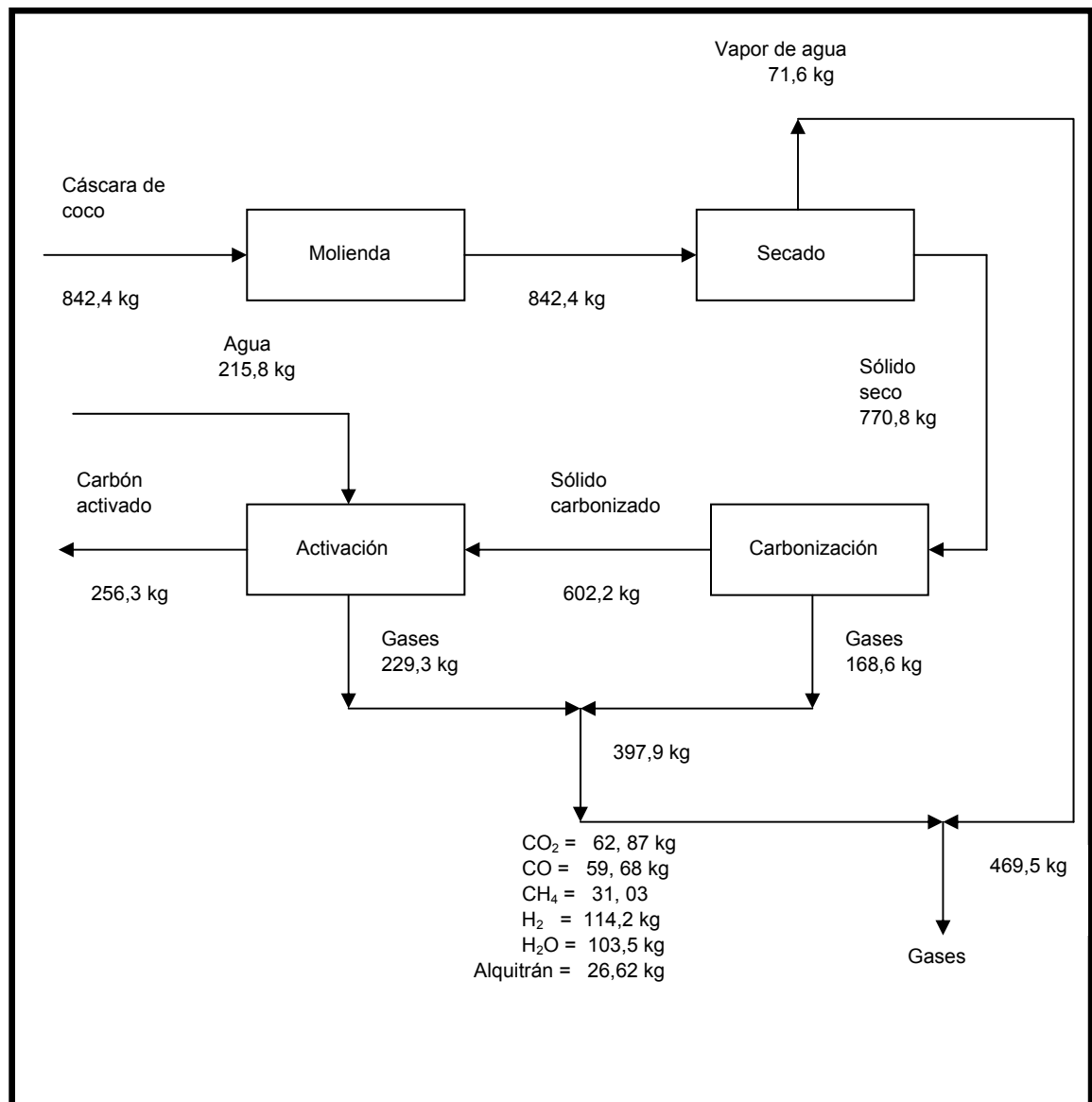


Figura 3.1. Corrientes de flujo involucradas en el proceso del carbón activado

3.3. Determinación del tipo y tamaño de los principales equipos que conforma el proceso industrial

Para determinar el tipo y tamaño de los principales equipos que conforman el proceso industrial, se hizo uso un estudio para la selección de las unidades que

conformarán el proceso, desde el almacenamiento de la materia prima hasta la clasificación del carbón activado. Para facilitar el análisis se elaboró un diagrama de bloques del proceso propuesto y se dimensionaron los equipos más importantes involucrados en el mismo. En la figura 3.2 se presenta el diagrama de bloques del proceso de fabricación de carbón activado por el método de activación física.

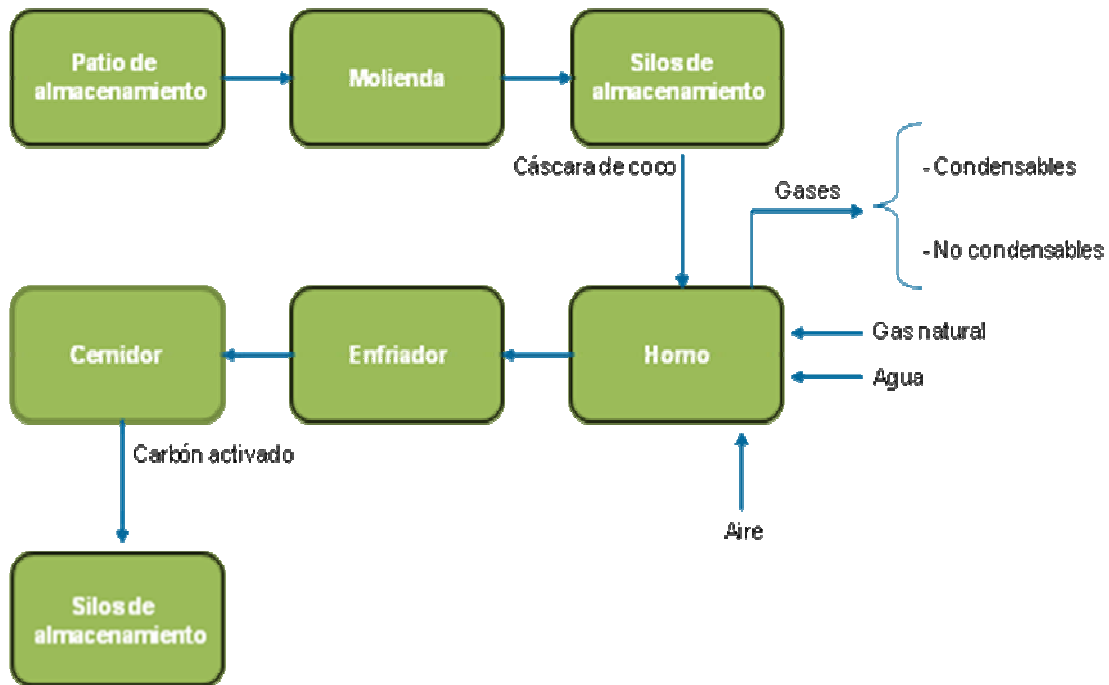
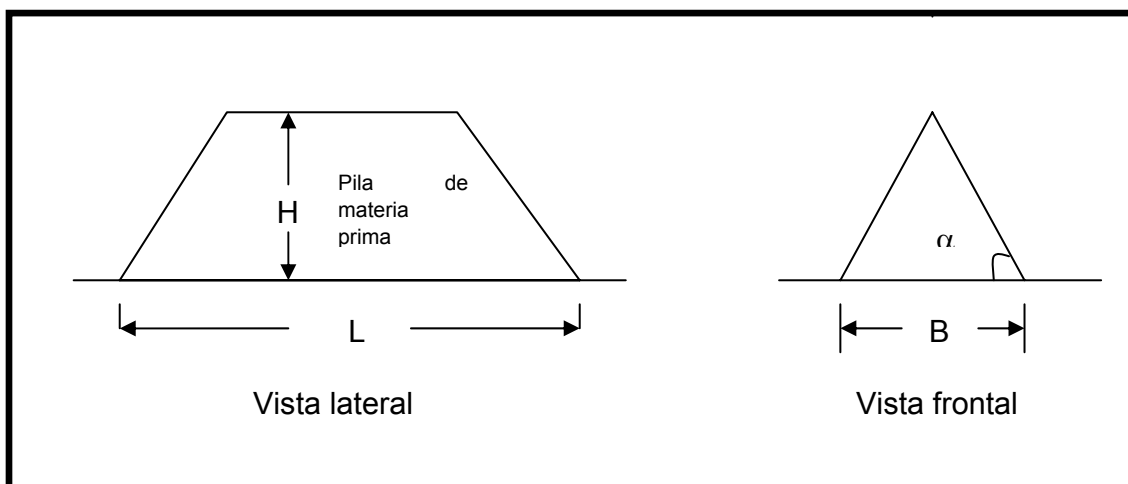


Figura 3.2. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de carbón activado

3.3.1. Patio de almacenamiento del material

Una vez que la materia prima llega a la planta, debe almacenarse, para esto se escogió un patio debido a su practicidad, economía, cuyo dimensionamiento se basó en la capacidad de almacenamiento para un tiempo determinado, el cual se fijó en 15 días, para garantizar así el abastecimiento continuo de la materia prima al proceso. La forma de apilamiento se puede observar en la figura 3.3.



Legenda: B: base; H: altura; L: longitud; α : ángulo de reposo del material

Figura 3.3. Vista lateral y frontal del almacenamiento de materia prima

La capacidad de almacenamiento del patio, para garantizar 15 días de materia prima, viene dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad} = \text{kg/d materia prima} \times 15 \text{ días} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Tal como se indicó anteriormente, se desean producir 256,3 kg/h de carbón activado, lo que implica un consumo de materia prima de 842,4 kg/h. Ahora tomando lo establecido de 20 horas promedio por día, la capacidad del patio para 15 días de almacenamiento es:

$$\text{Capacidad patio} = 842,4 \text{ kg/h} \times 20 \text{ h/d} \times 15 \text{ d} = 252.720 \text{ kg}$$

Las dimensiones de la pila de materia prima (endocarpio del coco), en atención a la figura 3.3, se obtuvieron por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Volumen de la pila} = (B \times H/2) \times L \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Volumen de la pila = masa almacenada para 15 días / densidad de empaque del

material

(Ec. 3.3)

$$H = (B/2) \times \operatorname{tg} \alpha \quad (\text{Ec. 3.4})$$

La densidad de empaque o aparente de la cáscara de coco fue determinada introduciendo una masa determinada de la misma en un envase de volumen conocido, obteniéndose una densidad de $560,2 \text{ kg/m}^3$. El ángulo de reposo (α) de la materia prima apilada se determinó utilizando la planta piloto de molienda ubicada en el laboratorio de Operaciones Unitarias del departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Oriente, mostrada en la figura 3.4 , resultando un valor de 37° . Finalmente asumiendo un valor para la base, B, de la pila de 10 metros y resolviendo las ecuaciones 3.2, 3.3 y 3.4, se obtuvieron los siguientes valores de L y H:

$$L = 24 \text{ m} \quad \text{y} \quad H = 3,8 \text{ m}$$

En base a lo anterior, las dimensiones del patio de almacenamiento serán de 28 m de largo por 14 m de ancho (se ha asumido un excedente de 4 m, tanto de ancho como de largo).

3.3.2. Molino de martillos

El molino tiene como función principal reducir el tamaño de la materia prima para que la alimentación al horno sea la más adecuada en cuanto a granulometría se refiere, además define el tamaño de grano que se obtendrá para el carbón activado. Por tanto, el molino debe tener una gran capacidad de alimentación y un paso de material casi instantáneo.

Se requiere que el molino sea capaz de proporcionar un material con una granulometría de 0,5 a 1cm, y tenga una capacidad de molienda igual o superior al

consumo de materia prima por hora, 842,4 kg/h, que es la mínima requerida de acuerdo al diseño propuesto.



Figura 3.4. Planta piloto de molienda

3.3.3. Silo de almacenamiento de materia prima molida

Para el almacenamiento a granel del material ya triturado se requiere de un silo, el cual por la disposición e inclinación de sus paredes permite un menor esfuerzo para la reconducción del material hasta el siguiente paso del proceso. Este silo tendrá una capacidad de almacenamiento de materia prima molida para aproximadamente 8 horas de consumo del horno (7.000 kg), esto con la finalidad de no parar el horno ante una eventual parada por fallas mecánicas o eléctricas en el molino de martillos. Tomando la densidad de empaque de la cáscara, 560,2 kg/m³, el volumen del silo deber ser de aproximadamente 13 m³. El material molido que sale del molino será transportado por medio de un tornillo sin fin hasta un elevador de cangilones, el cual transportará verticalmente el material hasta el silo de almacenamiento.

3.3.4. Horno rotatorio

Del silo, el material molido será llevado hasta un horno rotatorio por medio de un tornillo sin fin. El horno es el principal equipo que participa en el proceso, utilizado para las etapas de carbonización y activación. Los hornos más apropiados para este proceso son los hornos rotatorios, pues éstos permiten a las partículas tener un tiempo de residencia homogéneo y su costo de instalación es menor comparado con el costo de otros tipos de hornos para procesos continuos.

En el horno, tal como se dijo anteriormente, ocurre primeramente el secado y la carbonización, cuyo objetivo es producir una deshidratación y desvolatilización de los átomos de carbono. En la etapa de carbonización se obtiene como producto un residuo sólido que representa un 35% de la materia prima seca inicial. En la primera sección longitudinal del horno, se realizará el pre-calentamiento de la carga hasta la temperatura de operación, donde se liberara la mayor parte de los compuestos volátiles producidos. En el resto de la longitud del horno se llevará a cabo lo que resta de la reducción del material carbonoso, obteniéndose la activación necesaria.

La activación es la etapa más importante en la producción del carbón activado y donde se pierde el 5 % del sólido carbonizado. En este proceso la materia carbonizada es convertida en una forma cristalina de carbón, desarrollándose una extensa área superficial y una estructura porosa de distintas formas y tamaños distribuidos al azar.

El tiempo de residencia del material para ser secado y carbonizado es de 20 minutos y un tiempo de 30 minutos para el proceso de activación. En lo que respecta a la inclinación del horno varía de 2° a 5°, este rango permite modificar el tiempo de residencia del material.

El diseño conceptual del horno rotatorio del presente proyecto consta de un cuerpo cilíndrico de acero, el cual utiliza ladrillos refractarios en la parte interior del mismo, con una capa exterior de aislante térmico y una lámina que sostenga dicho aislante. Para la rotación de este cuerpo cilíndrico se le colocarán anillos de acero que tendrán la función de estar en contacto con los apoyos que permitan la libre rotación, además de un engranaje, que será donde se genere la rotación para el

horno rotatorio. El sistema de alimentación será una tapa que tendrá una resbaladilla por la cual se alimentara la materia prima molida al horno rotatorio. En sentido opuesto a la entrada estará instalado el quemador que será el que genere el calor necesario. Todos los gases generados en el horno serán aspirados por un ventilador de tiro, el cual a su vez permite la entrada del oxígeno (aire) al proceso de combustión.

Para generar el vapor de agua se utilizará un difusor, el cual mandará al interior del horno partículas de agua por medio de presión neumática que al entrar en contacto con el calor interno del horno cambia de fase líquida a vapor. El vapor de agua será inyectado como agente de activación en modo de contracorriente.

El horno dispone de una salida de gases, estos serán llevados a un lavador, para evitar la exposición de agentes tóxicos al ambiente. Según referencias bibliográficas (Álvarez, 1989) dichos gases se clasifican en dos tipos: no condensables y condensables, éstos últimos serán retirados en el lavador de gases. En la tabla 3.3 se puede apreciar los componentes de los gases condensables y no condensables.

Otras características del horno, recomendadas por los fabricantes de Construcciones Metalúrgicas Gómez, C.A., son:

- Dos (02) guías tipo perfil conformado soldadas al cuerpo, las cuales encajan en ruedas metálicas.
- Una (01) cremallera en acero fundido o mecanizado, fijada por pernos al cilindro (cuerpo) y engranaje en acero con paso equivalente al de la cremallera, el cual, por la acción de un Motorreductor de 3 HP, dará movimiento al ducto circular
- Tolva de alimentación con válvula de paleta para la dosificación del material a manejar (con ajuste de velocidad).
- Identificador de temperatura.
- Tapa lado descarga. Características similares a la tapa de alimentación de materia prima, excepto porque se encuentra ubicado el quemador y ésta

albergará al equipo automático de agua caliente para lograr mediante el vapor de agua el choque térmico y porosidad en la partícula de carbón.

- Todo el conjunto (cilindro y tapas) contendrá internamente bloques refractarios o espuma refractaria; y lana mineral exteriormente para aislamiento del calor.
- Estructura soporte. Tipo perfil normalizado (acero al carbono). Estará dividida en 2 partes. Una parte móvil con base y ejes para pivote; ubicación de transmisión y ruedas soportes y mecanismo de acción mecánica para ajuste del ángulo de trabajo del horno. Una parte fija que conectará con la móvil y soportará todo el conjunto.
- A la salida del horno estará el descargador de carbón que será un transportador sinfín y tendrá las siguientes características:
- Transportador tipo sinfín, tipo canoa con espira helicoidal. Consta de tubo eje, ejes de extremos, tapas frontales bridadas
- Boca de carga acoplada mediante brida a la descarga del horno.
- Boca de descarga, base motor y Motorreductor de ½ HP.
- Transmisión por piñones y cadena.

Tabla 3.3. Gases condensables y no condensables

Condensables	No condensables
H ₂ O Alquitrán	CO ₂ CO H ₂ CH ₄ N ₂

Fuente: Álvarez, 1989

3.3.4.1. Determinación de la longitud y diámetro del horno

Para determinar la longitud y diámetro del horno rotatorio adecuado para el proyecto se emplearon las ecuaciones 2.6 y 2.7 del caudal y del tiempo de residencia, respectivamente, dadas en el capítulo 2 para hornos rotatorios:

$$C = 148 \times n \times \phi \times V \times D^3 \times \text{tg } \varphi$$

$$t = \frac{L}{60 \pi n \phi D \text{tg } \varphi}$$

Donde:

C = caudal alimentación materia prima al horno (t/d): 842,4 kg/h = 16,848 t/d de cáscara de coco

t= tiempo de residencia. (h)

L= longitud del horno (m)

n= rpm (0,25- 5rpm). Se utilizará un valor de 1 rpm

ϕ = fracción de sección transversal ocupada por el material (0,08 – 0,15). Se usará 0,12

D= diámetro interno del horno (m)

φ = ángulo de inclinación del horno ($^{\circ}$). Se usará un valor promedio de 3,5 $^{\circ}$

V = volumen interno del horno, m³: $(\pi D^2/4) L$

El tiempo de residencia en este caso es de 0,83 horas, de las cuales, 0,33 corresponden a la etapa de carbonización y 0,50 horas a la etapa de activación, de acuerdo al criterio utilizado por Soto (2007). Además, de acuerdo a Gullón (1995) en este tipo de proceso la velocidad de rotación más adecuada para el horno es de 1 rpm, por ello se fija este valor de diseño. Por último, se asume un

grado de inclinación de 3,5°, tomando en cuenta un promedio del rango establecido por Perry (2007).

Al sustituir estos valores en las ecuaciones anteriores y resolviéndolas simultáneamente se obtuvieron los valores de la longitud y diámetro del horno rotatorio:

$$L = 10,85 \text{ m} \quad \text{y} \quad D = 1,13 \text{ m}$$

3.3.4.2. Cálculo de la cantidad de combustible y aire de combustión

Para el proceso de combustión en el horno se propone el uso de gas natural, cuya composición se puede observar en la tabla 3.4. Las reacciones de combustión que toman lugar en el horno son las siguientes:



Tabla 3.4. Composición del gas natural

Metano	72,5% molar
Etano	10,6% molar

Tabla 3.4 (Continuación). Composición del gas natural

Propano	5,33% molar
Dióxido de carbono	9,96% molar
Nitrógeno	0,55% molar

Fuente: Gerencia de Procesamiento PDVSA GAS

Todos los cálculos que se presentan a continuación estarán basados en una hora de producción. Sea G la cantidad de gas natural, en kgmol/h, que se necesita para el proceso de combustión, entonces en base a las ecuaciones 3.3, 3.6 y 3.7 la cantidad de oxígeno consumido, en kgmol/h, para la combustión completa es:

$$O_2 \text{ consumido} = (2(0,725) G + 3,5(0,106) G + 5(0,0533) G) \text{ (kgmol)}$$

$$O_2 \text{ consumido} = 2,088 G \text{ (kgmol)} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Según Álvarez (1989) el oxígeno no puede estar en exceso porque interviene en el proceso de activación ya que ésta se lleva a cabo en una atmósfera libre de oxígeno, por lo tanto se asumirá que el oxígeno consumido es igual al alimentado. El oxígeno se tomará a partir del aire, por lo tanto, al sistema entrará el nitrógeno contenido en el aire más el nitrógeno contenido en el gas natural. Considerando que la concentración del aire es 21 % molar de O_2 y 79 % molar de N_2 , la cantidad de nitrógeno que entra al proceso:

$$N_2 \text{ entrando} = (79 \text{ kgmol } N_2 / 21 \text{ kgmol } O_2) \times 2,088 G \text{ kgmol } O_2 + 0,0055 G \text{ (kgmol)}$$

$$N_2 = 7,859 G \text{ (kgmol)} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Como el nitrógeno es un gas inerte en los procesos de combustión, la cantidad que entra será igual a la cantidad que sale con los gases de escape del horno.

Para calcular el CO_2 y el H_2O que se produce en la combustión se hizo uso de la estequiometría de las reacciones de combustión. Para el caso del CO_2 es necesario tomar en consideración la cantidad que entra con el gas natural; los cálculos se presentan a continuación:

$$CO_2 = 0,725 G + 2(0,106 G) + 3(0,0533 G) + 0,096 G \quad (\text{kgmol})$$

$$\text{CO}_2 = 1,193 \text{ G} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

$$\text{H}_2\text{O combustión} = (2 (0,725) \text{ G} + 3 (0,106) \text{ G} + 4 (0,0533) \text{ G}) \quad (\text{kgmol})$$

$$\text{H}_2\text{O combustión} = 1,98 \text{ G (kgmol)}. \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Estos gases, unidos a los generados por la cáscara del coco y el agua de activación (figura 3.1), constituyen la totalidad de los gases que salen del horno. En la tabla 3.5 se pueden observar la totalidad de los compuestos que salen del horno; así mismo en la tabla 3.6 se pueden apreciar los calores específicos de los diferentes compuestos que participan en el balance de energía, tomadas de la literatura.

Tabla 3.5. Total compuestos que salen del horno por hora

Componente	Secado, carbonización y activación kg/h	Secado, carbonización y activación kgmol/h	Combustión kgmol/h	Total
CO ₂	62,87	1,429	1,097 G	1,429 + 1,193G
CO	59,68	2,131	-	kgmol
CH ₄	31,03	1,939	-	2,131 kgmol
H ₂	114,2	57,1	-	1,939 kgmol
H ₂ O	175,1	5,75	1,98 G	57,1 kgmol
N ₂	-	-	7,853 G	175,1 + 1,98 G
Alquitrán	26,62	-	-	kgmol

C. activado	256,3	-	-	7,859 G kgmol 26,62 kg 256,3 kg
-------------	-------	---	---	---------------------------------------

Tabla 3.6. Calores específicos

Compuesto	C_p	
CO ₂	$8,63 + 1,011 \times 10^{-2} T - 0,69 \times 10^{-5} T^2$	kcal/kgmol °C
CO	$6,919 + 0,0982 \times 10^{-2} + 0,0848 \times 10^{-5}$	kcal/kgmol °C
CH ₄	$8,2 + 1,307 \times 10^{-2} + 0,0875 \times 10^{-5}$	kcal/kgmol °C
H ₂	$6,893 + 0,00183 \times 10^{-2} + 0,0786 \times 10^{-5}$	kcal/kgmol °C
H ₂ O	$8 + 0,1644 \times 10^{-2} + 0,1817 \times 10^{-5}$	kcal/kgmol °C
N ₂	$6,93 + 0,0525 \times 10^{-2} + 0,1368 \times 10^{-5}$	kcal/kgmol °C
Alquitrán	0,45 kCal/kg °C	
C. activado	0,239 kCal/kg °C	

Fuente: Himmelblau, D, 1997

A continuación se procederá con el balance de energía en el horno para determinar la cantidad de gas natural a utilizar. Tal como se indicó anteriormente, los cálculos se realizaron tomando una base de una hora, además se utilizó una presión constante de 1 atmósfera, una temperatura de entrada del aire, del gas natural y de la cáscara de coco de 25°C, se asumió una temperatura de salida del carbón activado de 800 °C y finalmente una temperatura de salida de los gases de 400 °C. En la figura 3.4 se muestran detalladamente las corrientes de entrada y salida tomadas en cuenta para realizar el balance de energía, utilizando el método donde se parte de las reacciones químicas a 25 °C y 1 atmósfera y luego se llevan entradas y salidas a sus respectivas temperaturas (Silva, 2007). Además en la tabla 3.7 son mostrados los valores de los calores estándar, a 25 °C y 1 atmósfera, de las diferentes reacciones que toman lugar en el horno.

Balance de energía:

$$\Sigma \Delta H = 0 \quad (\text{Ec. 3.12})$$

Donde se ha asumido como despreciables las pérdidas de calor al ambiente, ya que no se dispone de información al respecto, también se despreciaron los cambios en la energía cinética y energía potencial. En base a la figura 3.4, la ecuación anterior queda de la siguiente manera:

$$\Delta H_{v1} + \Delta H_{v2} + \Delta H_{r1} + \Delta H_{r2} + \Delta H_{r3} + \Delta H_{r4} + \Delta H_{r5} + \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6 + \Delta H_7 + \Delta H_8 = 0$$

(Ec.3.13)

Donde:

ΔH_{v1} : calor latente de vaporización del agua a 25 °C y 1 atm. contenida en la cáscara del coco

$$\Delta H_{v1} = 71,6 \text{ kg agua} \left(\frac{1 \text{ kgmol agua}}{18 \text{ kg agua}} \right) 10.514 \text{ kcal/kgmol agua} \\ = 41.822,4 \text{ kCal}$$

ΔH_{v2} : calor latente de evaporación a 25°C y 1 atm. del agua utilizada para la activación

$$\Delta H_{v2} = 215,8 \text{ kg agua} \left(\frac{1 \text{ kgmol agua}}{18 \text{ kg agua}} \right) 10.514 \text{ kCal/kgmol agua} \\ = 126.051,2 \text{ kCal}$$

ΔH_{r1} : calor de reacción para el proceso de carbonización a 25 °C y 1 atm

$$\Delta H_{r1} = 168,6 \text{ kg} \times 200 \text{ kCal/kg} = 33.720 \text{ kCal}$$

ΔH_{r2} = calor de reacción para el proceso de activación a 25 °C y 1 atm.

Tabla 3.7. Calores latentes y de reacción a 25 °C y 1 atm

Calor	Valor
-------	-------

Calor de vaporización del agua	10.514 kcal/kgmol
Calor de reacción de carbonización	200 kcal/kg *
Calor de reacción de activación	3.025 kcal/kg *
Calor de combustión del metano	-191.697,7 kcal/kgmol **
Calor de combustión del etano	- 341.215,2 kcal/kgmol **
Calor de combustión del propano	- 484.379,5 kcal/kgmol **

Fuente: Perry, 2007

** El estado de referencia para el agua generada es el gaseoso

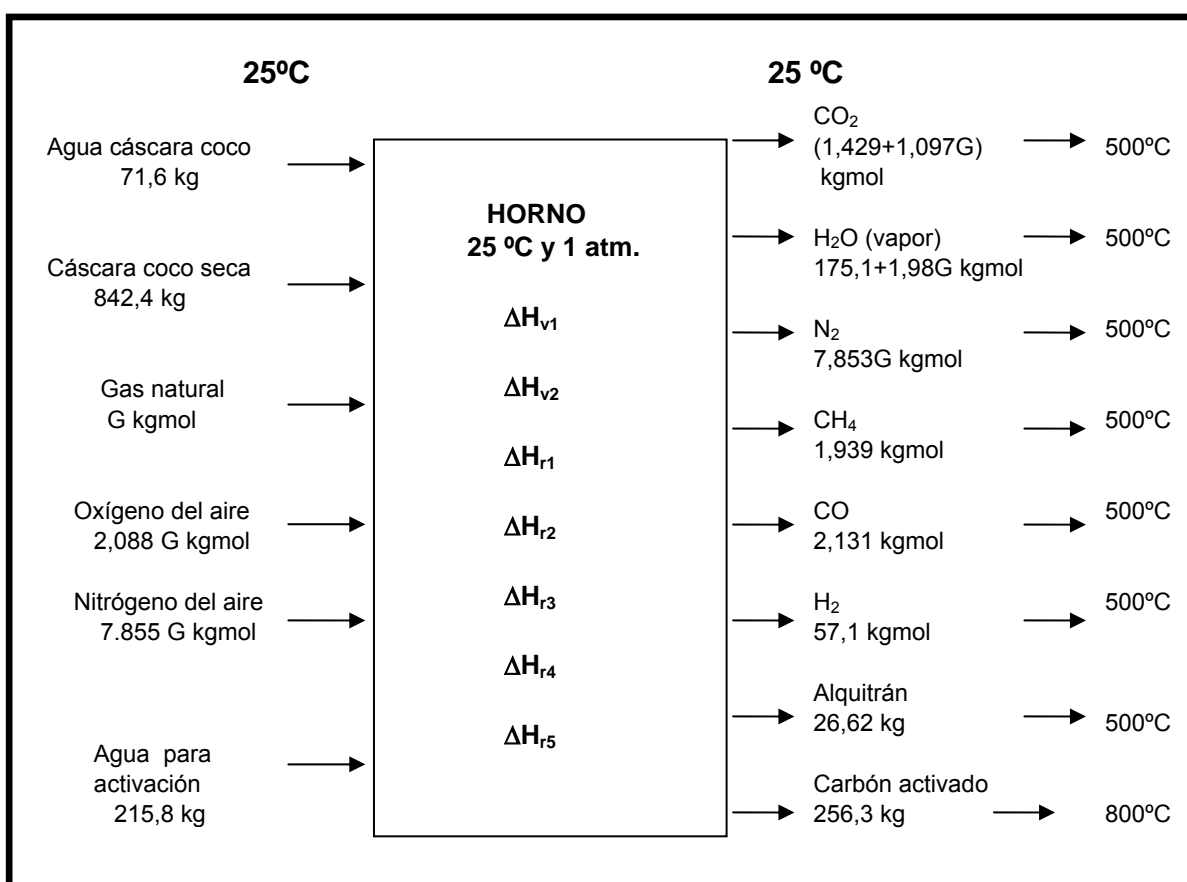


Figura 3.5. Corrientes de entrada y salida para el balance de energía.

$$\Delta H_{r2} = (602,2 \times 0,05) \text{ kg} \times 3.025 \text{ kcal/kg} = 91.082,8 \text{ kcal}$$

ΔH_{r3}: calor de la reacción de combustión del metano a 25 °C y 1 atm.

$$\Delta H_{r3} = (0,725 \text{ G}) \text{ kgmol CH}_4 \times (-191.697, 7) \text{ kCal/kgmol CH}_4 = - 138.980,8 \text{ G kcal}$$

ΔH_{r4} : calor de la reacción de combustión del etano a 25 °C y 1 atm.

$$\Delta H_{r4} = (0,106 \text{ G}) \text{ kgmol C}_2\text{H}_6 \times (- 341.215,2) \text{ kCal/kgmol C}_2\text{H}_6 = - 36.168,8 \text{ G kcal}$$

ΔH_{r5} : calor de la reacción de combustión del propano a 25 °C y 1 atm.

$$\Delta H_{r5} = (0,0533 \text{ G}) \text{ kgmol C}_3\text{H}_8 \times (- 484.379,5) \text{ kCal/kgmol C}_3\text{H}_8 = - 25.817,4 \text{ G kcal}$$

ΔH_1 : calor sensible para llevar el total de CO₂ que sale desde 25 °C hasta 500 °C

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= (1,429 + 1,193\text{G}) \text{ kgmol} \int_{25^\circ\text{C}}^{500^\circ\text{C}} (8,63 + 1,011 \times 10^{-2} T - 0,69 \times 10^{-5} T^2) dt (\text{kcal} / \text{kgmol}^\circ\text{C}) \\ &= 24.000 + 20.036,8 \text{ G kcal} \end{aligned}$$

ΔH_2 : calor sensible para llevar el total de H₂O que sale desde 25 °C hasta 500 °C

$$\begin{aligned} \Delta H_2 &= (175,1 + 1,98\text{G}) \text{ kgmol} \int_{25^\circ\text{C}}^{500^\circ\text{C}} (8 + 0,1644 \times 10^{-2} T - 0,1817 \times 10^{-5} T^2) dt (\text{kcal} / \text{kgmol}^\circ\text{C}) \\ &= 687.705,3 + 7.776,5 \text{ G kcal} \end{aligned}$$

ΔH_3 : calor sensible para llevar el N₂ que sale desde 25 °C hasta 500 °C

$$\Delta H_3 = (7,859\text{G}) \text{ kgmol} \int_{25^\circ\text{C}}^{500^\circ\text{C}} (6,93 + 0,0525 \times 10^{-2} T - 0,1368 \times 10^{-5} T^2) dt (\text{kcal} / \text{kgmol}^\circ\text{C})$$

$$= 26.832,5 \text{ G kcal}$$

ΔH_4 : calor sensible para llevar el CH_4 que sale desde 25°C hasta 500°C

$$\Delta H_4 = 1,939 \text{ kgmol} \int_{25^\circ\text{C}}^{500^\circ\text{C}} (8,2 + 1,307 \times 10^{-2} T - 0,0786 \times 10^{-5} T^2) dt (\text{kcal} / \text{kgmol}^\circ\text{C})$$

$$= 10.775,9 \text{ kcal}$$

ΔH_5 : calor sensible para llevar el CO que sale desde 25°C hasta 500°C

$$\Delta H_5 = 2,131 \text{ kgmol} \int_{25^\circ\text{C}}^{500^\circ\text{C}} (6,919 + 0,0982 \times 10^{-2} T - 0,0848 \times 10^{-5} T^2) dt (\text{kcal} / \text{kgmol}^\circ\text{C})$$

$$= 3.446,4 \text{ kcal}$$

ΔH_6 : calor sensible para llevar el H_2 que sale desde 25°C hasta 500°C

$$\Delta H_6 = 57,1 \text{ kgmol} \int_{25^\circ\text{C}}^{500^\circ\text{C}} (6,893 + 0,00183 \times 10^{-2} T - 0,0786 \times 10^{-5} T^2) dt (\text{kcal} / \text{kgmol}^\circ\text{C})$$

$$= 188.954,3 \text{ kcal}$$

ΔH_7 : calor sensible para llevar el alquitrán que sale desde 25°C hasta 500°C

$$\Delta H_7 = 26,62 \text{ kg} \int_{25^\circ\text{C}}^{500^\circ\text{C}} 0,45 dt (\text{kcal} / \text{kg}^\circ\text{C}) = 5.690 \text{ kcal}$$

ΔH_8 : calor sensible para llevar el carbón activado que sale desde 25°C hasta 800°C

$$\Delta H_8 = 256,3 \text{ kg} \int_{25^\circ\text{C}}^{800^\circ\text{C}} 0,239 dt (\text{kcal} / \text{kg}^\circ\text{C}) = 47.473,2 \text{ kcal}$$

Introduciendo todos estos valores en la ecuación 3.15, queda como única incógnita la cantidad de gas natural alimentada: G (kgmol/h)

$$G = 8,616 \text{ kgmol/h}$$

Asumiendo el gas natural como ideal, entonces el volumen necesario a 25 °C y 1 atmósfera viene dado por la siguiente ecuación:

$$V_{GN} = n R T/P \quad (\text{Ec. 3.14})$$

Donde:

V_{GN} : volumen de gas natural, m³/h

n: 8,616 kgmol/h de gas natural

R: constante de los gases, 0.08206 m³ atm/kgmol K

T: temperatura, 298 K

P: presión, 1 atm.

Resolviendo la ecuación 3.13:

$$V_{GN} = 210,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

La cantidad de aire necesaria para la combustión viene dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Aire alimentado} = \text{O}_2 \text{ entrando} + \text{N}_2 \text{ entrando con el aire} \quad (\text{Ec.3.15})$$

De la ecuación 3.8

$$\text{O}_2 \text{ entrando} = 18 \text{ kgmol/h}$$

$$\text{N}_2 \text{ entrando con el aire} = (79/21) \times 18 = 67,71 \text{ kgmol/h}$$

Introduciendo estos valores en la ecuación 3.16:

Aire alimentado para la combustión = 85,71 kgmol/h = 2.096 m³/h a 25 °C y 1 atm

3.3.5. Ventilador de tiro

Los gases que se generan en el horno deben ser retirados por un ventilador de tiro, el cual a su vez crea la depresión o vacío para la entrada del aire de combustión. La cantidad de gases de escape que debe movilizar este ventilador están conformados por los gases originados, incluyendo las pequeñas partículas sólidas que pueda arrastrar, por los procesos de secado, carbonización y

activación, más los gases originados en el proceso de combustión. En la tabla 3.8 se muestra la totalidad de estos gases.

En la totalización de los kgmol/h de gases se ha omitido los correspondientes a los alquitranes, ya que su volumen puede ser despreciado, de esta manera, el volumen de gases a movilizar por el ventilador de tiro a 25 °C y 1 atmósfera y asumiendo gas ideal es de 4.094 m³/h.

3.3.6. Enfriador

El producto que sale del horno (carbón activado) se encontrará a elevadas temperaturas, por lo que se hace necesario enfriarlo antes de almacenarlo; un enfriamiento lento puede afectar su calidad, por ende se hace necesario el uso de un enfriador. Aunado a esto se debe considerar la seguridad del personal que labore en la planta de fabricación de carbón activado, es decir, el material debe estar a una temperatura que se considere segura para su manejo. Se usará un transportador sin fin para llevar el carbón activado hasta el enfriador.

Tabla 3.8. Gases que salen del horno rotatorio

Componente	Gas de carbonización y activación kgmol/h	Gas de combustión kgmol/h	Total kgmol/h
CO ₂	1,429	10,28	11,71
CO	2,131	0	2,131
CH ₄	1,939	0	1,939
H ₂	57,1	0	57,1

N ₂	0	67,71	67,71
H ₂ O	9,728	17,06	26,79
Alquitrán	26,62 kg/h	0	26,62 kg
		Total	167,4
kgmol/h			

3.3.7. Cernidor

Una vez que el material se haya enfriado será necesario separarlo de acuerdo a su granulometría, para esto se escogió un cernidor. La selección de este equipo se debió en gran medida a su versatilidad, por la capacidad que tiene para separar los gránulos por su tamaño. El carbón activado tiene varias aplicaciones de acuerdo a su granulometría, éste facilita darle diferentes usos al mismo, clasificándolo de una forma inmediata. La operación ocurre por oscilación y vibración del equipo. Este equipo permite la incorporación de otros cuerpos separadores donde se puede seleccionar el tamaño de acuerdo a lo requerido. Al igual que en los casos anteriores, el material será transportado del enfriador hasta el cernidor por medio de un tornillo sin fin.

3.3.8. Silos de almacenamiento

Finalmente el carbón activado será llevado a silos de almacenamiento, por medio de transportadores de cangilones, para su posterior distribución, cabe recalcar que se dispondrá de dos silos, para así almacenar dos tamaños diferentes de carbón activado, cada uno con una capacidad de 13.000 kg de carbón activado.

3.3.9. Lavador de gases

Los gases que salen del horno se pueden dividir en gases condensables (vapor de agua y alquitrán) y gases no condensables (CO₂, CO, CH₄, H₂ y N₂). Estos gases se hacen pasar a través de un lavador de gases para separar los no condensables de los condensables.

Para el lavado de gases a altas temperaturas, GEA Jet Pumps tiene una gran experiencia en el diseño y suministro de los lavadores de gases tipo “jet” combinados con un sistema “quenche” (sistema de enfriamiento rápido). El “quenche” o “enfriamiento” es la primera etapa en el proceso de limpieza. Aquí, los gases contaminados y a altas temperaturas se enfrían hasta unos 100°C, mediante la inyección, a través de unas toberas especiales, del fluido de refrigeración. Una vez frío, tiene lugar la primera fase de lavado, que consiste en la absorción de las sustancias nocivas presentes en el gas y el arrastre de las cenizas de mayor tamaño utilizando un fluido de lavado adecuado que suele ser un disolvente alcalino. Posteriormente, el gas y la fase líquida son separadas en un separador centrífugo que se sitúa en la parte inferior del lavador.

3.3.10. Localización de los equipos dentro de la planta (lay-out)

Una vez conocidos los equipos principales que conformarán la planta, se desarrolló un diagrama donde se especifica la ubicación o distribución de cada uno de ellos en el terreno destinado para tal fin, así como también las áreas destinadas para oficinas, laboratorio, taller de mantenimiento, entre otros. En la figura 3.5 se puede apreciar la distribución de los equipos dentro de la planta.

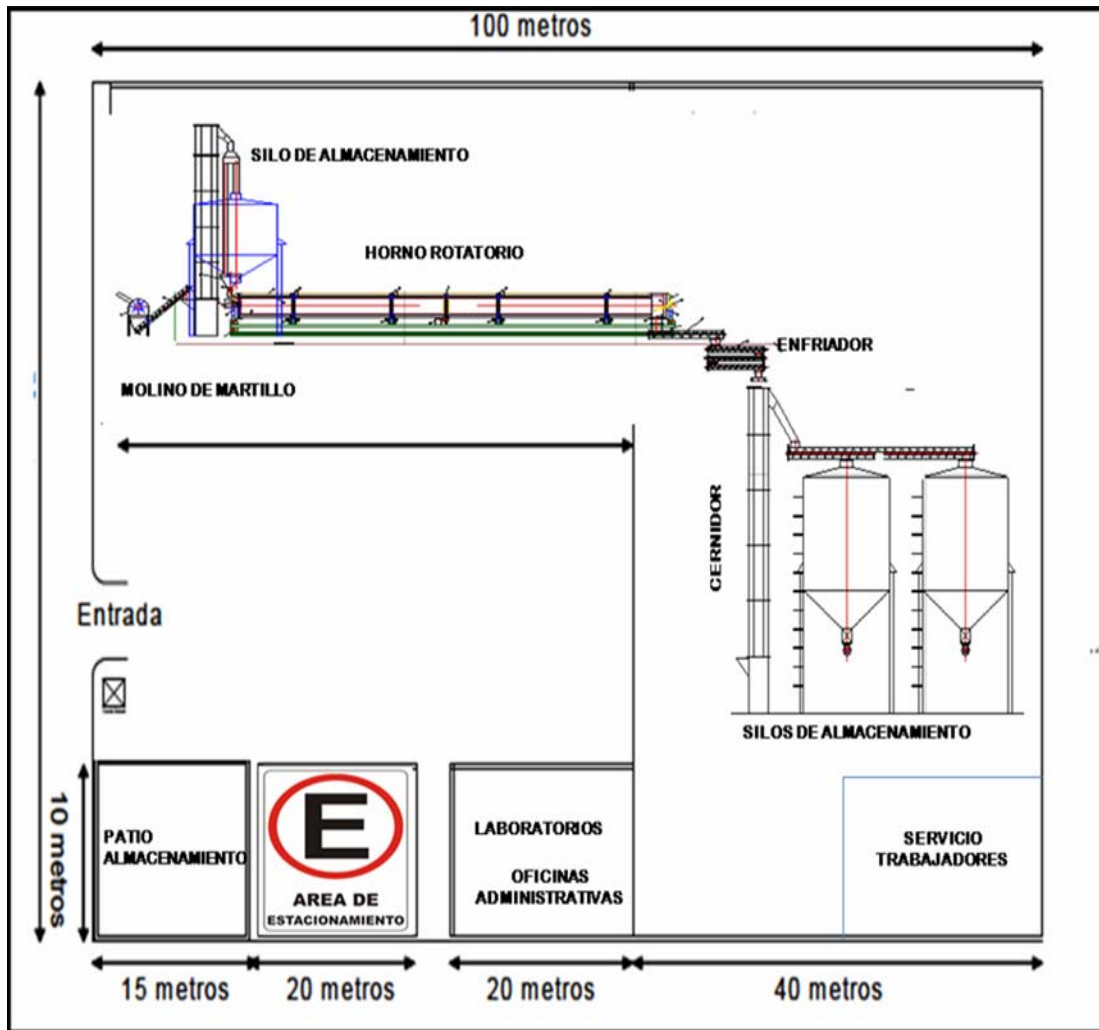


Figura 3.6. Distribución (layout) de los equipos de la planta de producción de carbón activado

3.4 Realización del estudio económico (tipo v) del proceso de fabricación del carbón activado

3.4.1. Costo de los equipos principales de la planta

El costo de los equipos principales que conformarán la planta para la obtención de carbón activado fue suministrado por Construcciones Metalúrgicas Gómez C.A., empresa ubicada en la ciudad de Cumaná, estado Sucre y dedicada a la fabricación de este tipo de equipos. En la tabla 3.9 se indican los principales equipos, así como sus precios de costo.

3.4.2. Estimación de la inversión de capital fijo e inversión total de capital del proyecto

Existen varios métodos para estimar la inversión total de capital del proyecto, tales como: estimación detallada de cada rubro, estimación mediante costos unitarios, factores de Lang, exponente que se aplica a la relación entre las capacidades de plantas similares, costo de inversión por unidad de capacidad de producción y porcentaje del costo del equipo entregado; siendo este último el más usado cuando se hace una estimación preliminar, tal como es el caso del presente estudio; por tal motivo ese resultó ser el método seleccionado.

En la tabla 3.10 se muestran diversos rubros considerados para la estimación de la inversión total de capital, basado en el costo de los equipos entregados para una planta que procesa sólidos y fluidos (Peters y Timmerhaus, 1993).

3.4.3. Estimación de los costos totales de producción anual del carbón activado

Los costos totales de producción anual están conformados por los costos de manufactura y los gastos generales.

3.4.3.1. Costos de manufactura

Los costos de manufactura se detallan a continuación:

Costos directos de producción

- Materia prima
- Operación laboral (mano de obra directa)
- Supervisión directa
- Servicios: agua, electricidad, gas natural
- Mantenimiento y reparaciones
- Suministros
- Gastos de laboratorio

Gastos fijos

- Depreciación
- Seguro

Gastos generales

Tabla 3.9. Costo de los equipos necesarios para la obtención de carbón activado

Cantidad	Equipo	Precio unitario (Bs)	Precio total (Bs)
1	Molino de martillos	94.520	94.520
1	Sinfín para alimentación al elevador de cangilones	42.685	42.685
1	Elevador de cangilones	97.420	97.420
1	Silo almacenamiento cáscara molida	130.765	130.765
1	Sin fin alimentación al horno	47.234	47.234
1	Horno rotatorio	603.740	603.740
1	Sin fin alimentación descarga del horno y alimentación al enfriador	52.520	52.520
1	Enfriador	55.600	55.600
1	Sin fin alimentación al cernidor	46.345	46.345

1	Cernidor	48.653	48.653
2	Elevadores de cangilones	91.376	182.752
2	Silos almacenamiento carbón activado	172.600	345.200
	IVA (12 %)		209.692
	25 % de incremento por los equipos no considerados		489.282
	TOTAL		2.446.408

Fuente: Construcciones Metalúrgicas Gómez C.A. (anexo B)

Tabla 3.10. Rubros para la estimación de la inversión total, basado en el costo de los equipos entregados

Rubro	% del costo del equipo entregado
Costos directos	
Equipos adquiridos y entregados	100
Instalación del equipo adquirido	39
Instrumentación y control	13
Cañerías y tuberías (instaladas)	15
Instalaciones eléctricas	10
Obras civiles	29
Mejoras del terreno, cercas y vialidad	10
Instalaciones de servicios	50
Terreno	6
Costo directo total de la planta	272

Tabla 3.10. (Continuación) Rubros para la estimación de la inversión total, basado en el costo de los equipos entregados

Rubro	% del costo del equipo entregado
Costos indirectos	
Ingeniería y supervisión	30
Gastos de construcción	34
Total costos directos e indirectos	336
Honorarios del contratista (5 % de costos directos+indirectos)	17
Eventuales (10 % de costos directos+indirectos)	34
Total capital fijo de inversión	387
Capital de trabajo (15 % del capital total de inversión)	68
Inversión total de capital	455

Fuente: Peters y Timmerhaus, 1993

A. Materia prima

En el caso en estudio la materia prima es el endocarpio (cáscara) del coco; ésta es una materia de desecho en el procesamiento del coco, sin embargo, se le asignará un valor para promover su recolección. Además, el transporte de la misma hasta la planta ocasionará un gasto extra, por lo tanto, al tomar en

consideración esos dos factores se le asignó un costo de 1,5 Bs/kg. De esta manera el costo de la materia prima para un año de trabajo es:

$$842,4 \text{ kg/h} \times 20 \text{ h/d} \times 300 \text{ d/año} \times 1,5 \text{ Bs/kg} = 7.581.600 \text{ Bs/año}$$

B. Operación laboral (mano de obra directa)

La producción de carbón activado será de aproximadamente 5 toneladas métricas por día (5,126 t/d); según Peters y Timmerhaus, para una planta promedio con una producción diaria de 5 toneladas, se necesitan 24 horas-hombre por turno de trabajo. La planta operará tres turnos por día, por lo tanto, se necesitarán 3 personas por turno, es decir, 9 personas por día. Adicionalmente, se necesitará un turno más para suplir los días libres del personal, de esta manera el número total de personas para la mano de obra directa será de 12.

Recientemente el sueldo mínimo en Venezuela fue incrementado a 1.548,21 Bs/mes, además hay que sumar prestaciones, utilidades, vacaciones, caja de ahorro y bono de alimentación, entre otros. En base a esto, se asumirá un sueldo integral de dos veces el salario mínimo, por lo tanto, el costo de la mano de obra directa es:

$$\begin{aligned} \text{Costo mano de obra directa} &= 12 \times (1.548,21 \times 2) \text{ Bs/mes} \times 12 \text{ meses/año} \\ &= 445.885 \text{ Bs/año} \end{aligned}$$

C. Supervisión directa

Para la supervisión directa se asumirá un 40 % del costo de la mano de obra directa:

$$\text{Costo supervisión directa} = 445.885 \text{ Bs/año} \times 0,40 = 178.354 \text{ Bs/año}$$

D. Servicios

El costo de los servicios en las plantas químicas se encuentra entre 10 y 20 % del costo total del producto y es aproximadamente igual que el costo por mano de obra directa (Peters y Timmerhaus, 1993), por lo tanto:

Costos de servicios = 445.885 Bs/año

Se consideró que el consumo de gas natural también debe estar incluido en los servicios, éste se calculó anteriormente, resultando en 210,7 m³/h (1.264.200 m³/año). Según el ente regulador del gas en Venezuela, ENAGAS, el precio del gas natural es de 42,2 Bs/millón de Btu y en atención al valor calorífico inferior promedio del gas natural, 823 Btu/grmol, se obtuvo el precio de 1,40 Bs/m³ a 25 °C y 1 atmósfera, por lo tanto el costo anual del gas natural es el siguiente:

Costo gas natural = 1.264.220 m³/año x 1,40 Bs/m³ = 1.769.908 Bs/año

De esta forma el costo total en servicios es:

Costo servicios = 445.885 Bs/año + 1.769.908 = 2.215.793 Bs/año

E. Mantenimiento y reparaciones

Para mantener la planta en excelentes condiciones de operación se requiere invertir en gastos de mantenimiento (preventivo y correctivo) y reparaciones en general. En las industrias de procesos, el gasto anual por este concepto representa el 6 % de la inversión de capital fijo (Peters y Timmerhaus, 1993). La inversión de capital fijo es de 6.639.551 Bs (tabla 4.3), por lo tanto el monto anual para mantenimiento y reparaciones es:

Costo anual para mantenimiento y reparaciones = 398.373 Bs/año

F. Suministros

En una planta industrial siempre se requieren suministros para el buen funcionamiento de la misma. El costo anual de este rubro se encuentra alrededor del 15 % del costo de mantenimiento y reparación (Peters y Timmerhaus, 1993). Entonces el costo por suministros es:

$$\text{Costo por suministros} = 398.373 \text{ Bs/año} \times 0,15 = 59.756 \text{ Bs/año}$$

G. Gastos de laboratorio

Estos gastos se pueden estimar como un porcentaje del costo de mano de obra directa, Peter y Timmerhaus recomiendan un 15 %:

$$\text{Gastos de laboratorio} = 445.885 \text{ Bs/año} \times 0,15 = 66.883 \text{ Bs/año}$$

$$\text{Total costos directos de producción} = 10.946.644 \text{ Bs/año}$$

H. Depreciación

El valor de la depreciación se calculó mediante la siguiente ecuación (Peters y Timmerhaus, 1.993)):

$$\text{Depreciación} = (V - V_s)/n \quad \text{Ec. 3.16)}$$

donde:

V: valor original de equipos y edificios (2.446.408 + 709.458 = 3.155.866 Bs)

V_s: valor de recuperación de la propiedad al finalizar la vida útil (Bs)

n: vida útil de la propiedad (años)

Se estima que la vida útil de la propiedad (equipos y edificios) sea de 15 años. El valor de recuperación de la propiedad (V_s) se obtuvo utilizando la siguiente ecuación recomendada por Peters y Timmerhaus:

$$V_s = V (1 - f)^n \quad \text{(Ec. 3.17)}$$

donde f es un factor fijo anual de depreciación, dado por la siguiente ecuación:

$$f = 2 (1/n) \quad \text{(Ec. 3.18)}$$

Por lo tanto:

$$f = 2 (1/15) = 0,1333$$

$$Vs = 3.155.866 (1 - 0,1333)^{15} = 369.105 \text{ Bs}$$

$$\text{Depreciación} = (3.155.866 - 369.105)/15 = 185.784 \text{ Bs}$$

I. Seguro

Se tomará como el 1 % del capital fijo invertido:

$$\text{Costo seguro} = 6.639.551 \times 0,01 = 66.396 \text{ Bs/año}$$

$$\text{Total gastos fijos} = 252.180 \text{ Bs/año}$$

J. Gastos generales de manufactura

Se estiman como el 60 % de los costos de mano de obra, supervisión y mantenimiento, por lo tanto los gastos generales anuales son:

$$\text{Gastos generales de manufactura} = 445.885 + 178.354 + 398.373 = 1.022.612 \text{ Bs/año}$$

3.4.3.2. Costos generales de la planta

Para el cálculo de los gastos generales se incluyen los siguientes rubros (Peters y Timmerhaus, 1993):

- Administración
- Distribución y venta del producto
- Costos de investigación y desarrollo
- Financiamiento (intereses)

A. Administración

Representan el 15 % de la mano de obra, supervisión y mantenimiento, por lo tanto los costos administrativos ascenderán a:

Costos de administración = $0,15 (445.885 + 178.354 + 398.373) = 153.392$
Bs/año

B. Distribución y venta del producto

Representan un 5 % del costo de capital fijo de inversión, por lo tanto ascienden a:

Costo distribución y venta = $6.639.551 \times 0,05 = 331.978$ Bs/año

C. Costos de investigación y desarrollo

Se estiman como el 5 % del costo de capital fijo de inversión, por lo que son:

Costos de investigación y desarrollo = 331.978 Bs/año

D. Financiamiento (intereses)

Se estima como el 5 % de los costos totales de capital fijo de inversión:

Costos de financiamiento = 331.978 Bs/año

3.4.4. Ingresos por la venta del producto (carbón activado)

En base a lo dicho inicialmente, la planta tendrá una producción anual de 1.538.000 kg de carbón activado. En atención al precio de 10,49 Bs/kg del carbón activado importado (anexo A), el cual tiene un promedio de 2,44 dólares/kg y tomando la paridad de 4,3 Bs por dólar (10,49 Bs/kg carbón activado), el ingreso anual será de:

Ingreso anual = $1.537.800 \text{ kg/año} \times 2,44 \text{ \$/kg} \times 4,3 \text{ Bs/\$} = 16.134.598$
Bs/año

3.4.5. Impuestos

Los impuestos anuales que deben ser cancelados corresponden principalmente a los impuestos municipales y al impuesto sobre la renta. En el caso de los tributos municipales, el más importante es el impuesto a las actividades económicas (IAE), con tasas que suelen oscilar entre el 0,5 % y el 2 % del ingreso por la venta del producto, dependiendo de la actividad lucrativa comercial o industrial que se realice. Se asumirá una tasa del 0,5 %, por lo tanto el impuesto municipal es:

$$\text{IAE} = 16.134.598 \text{ Bs/año} \times 0,005 = 80.673 \text{ Bs/año}$$

Para la pequeña y mediana empresa (Pyme), con actividades distintas a la explotación de hidrocarburos y conexas, existe en Venezuela exoneraciones en cuanto al impuesto sobre la renta, las cuales varían de acuerdo a la ubicación y año de inicio de la empresa (Tolosa 2003); pero debido al carácter preliminar del presente estudio se decidió no considerar el ISLR

3.4.6. Cálculo del beneficio bruto y beneficio neto

El beneficio bruto y la ganancia o beneficio neto vienen dado por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Beneficio bruto} = \text{ingreso por la venta del producto} - \text{costos de producción}$$

(Ec. 3.19)

$$\text{Beneficio neto} = \text{Beneficio bruto} - \text{Impuestos}$$

(Ec. 3.20)

De esta manera, sus valores son:

$$\text{Beneficio bruto} = 16.134.598 - 12.961.715 = 3.172.883 \text{ Bs/año}$$

$$\text{Beneficio neto} = 3.172.883 - 80.673 = 3.092.210 \text{ Bs/año}$$

3.4.7. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)

Este factor puede ser calculado utilizando la ecuación 2.14, siendo A la ganancia anual (beneficio neto) más la depreciación de equipos y edificios (3.092.210 + 185.784 = 3.277.994 Bs), P es la inversión total de capital (7.635.484 Bs) y n es el número de años de vida útil de los equipos y edificios (15 años). Sustituyendo estos valores en la ecuación 2.14:

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

Despejando i se obtiene la tasa de retorno anual de la inversión:

$$\text{TIR} = i = 0,4328 = 43,28 \%$$

3.4.7. Cálculo del tiempo de pago dinámico (n)

Este factor también se calcula mediante la ecuación 2.14, con la diferencia de que el período de recuperación de la inversión o tiempo de pago dinámico está representado por la letra n. Para el cálculo se fija una tasa atractiva de retorno (i), la ofrecida por el Banco Central de Venezuela es de 24 % (anexo C), entonces se fija en 29 %, lo cual representa cinco puntos por encima. Los valores de A y P siguen siendo los mismos utilizados para el cálculo del TIR; de esta manera, el valor de n es el siguiente:

$$n = 4,46 \text{ años}$$

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se discutirán los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos específicos presentados en el capítulo 3, en base a los datos proporcionados por las bibliografías consultadas y a los cálculos realizados para la obtención de los mismos, además se presentan las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

4.1 Discusión de resultados

4.1.1 Selección de la materia prima y el proceso de activación del carbón

Tal como se adelantó en el capítulo anterior, una vez tomadas en consideración las premisas para la selección de la materia prima, como lo fueron bajo costo, disponibilidad en el oriente del país y objeto de estudios anteriores como materia

prima para la obtención de carbón activado, se llegó a la conclusión que el endocarpio del coco constituye la mejor opción posible.

El endocarpio o cáscara del coco posee un contenido de carbono de aproximadamente 50 %, gran disponibilidad en el oriente de Venezuela, una hectárea en una hacienda de cocoteros puede producir unos 10 mil cocos por año (un coco pesa aproximadamente 2 kg, de los cuales el 10 % corresponde al endocarpio), y en general constituye un desecho en el aprovechamiento integral del coco. Dadas sus características, desde el punto de vista del área, la resistencia al desgaste y la granulometría, se trata de una materia prima de muy buena calidad para la fabricación de carbones activados.

El carbón activado obtenido de la cáscara de coco, además de tener una amplia distribución de poros, posee una mayor dureza y resistencia, comparado con el obtenido de otras materias prima. Otra ventaja que ofrecen los carbones activados obtenidos de materiales orgánicos, es que poseen un porcentaje de cenizas menor en comparación a los obtenidos de materiales inorgánicos.

En la figura 4.1 se puede apreciar un sembradío de coco en Guiria, municipio Valdez, en el estado Sucre

En cuanto al proceso de activación, el más conveniente es la activación física con vapor de agua, debido a que es mucho más económica en comparación con la química que utiliza agentes oxidantes de mayor costo. El proceso físico se produce básicamente en dos etapas: la de carbonización y la de activación, se lleva a cabo en menor tiempo y permite que el proceso sea continuo.



Figura 4.1. Cultivo de coco

4.1.2. Condiciones de operación del proceso y la ubicación de la planta

En la tabla 4.1 se pueden observar las condiciones más importantes establecidas para el proceso.

Tabla 4.1. Condiciones de operación del proceso

Rubro	Condición
Capacidad producción carbón activado	1.537,8 t/año
Consumo cáscara de coco	5.054,4 t/año
Horas promedio de trabajo por día	20 horas
Días de trabajo por año	300 días
Granulometría de la cáscara de coco molida	0,5 – 1 cm 600 °C
Temperatura para el proceso de carbonización	850 – 950 °C
Temperatura para el proceso de activación	50 minutos
Tiempo de cocción de la materia prima	1 atmósfera
Presión de trabajo	Gas natural
Combustible a utilizar	Vapor de agua
Agente activante	

La capacidad de la planta propuesta está enfocada principalmente para cubrir la demanda actual del mercado nacional para carbón activo, dejando un excedente del 30 % para futuros incrementos de esa demanda o para la exportación del mismo.

Se seleccionó gas natural como fuente de energía para los procesos de carbonización y activación por ser un combustible económico, limpio y abundante en la zona oriental del país.

En el oriente del país se encuentra la mayor cantidad de hectáreas de cocoteros (cocos nucifera L) sembradas anualmente, especialmente en el estado Sucre. De allí que la planta para la producción de carbón activado se establecerá en la ciudad de Carúpano, estado Sucre, al noroeste de la República Bolivariana de Venezuela. Además por su ubicación geográfica, a orillas del mar Caribe, cuenta con puertos marítimos que permitirán disponer de un medio de transporte alternativo al terrestre hacia las zonas consumidoras.

Cabe destacar que el estado Sucre es uno de los dos polos de producción de coco en Venezuela, que conjuntamente con el estado Falcón producen el setenta por ciento de la producción nacional, que para el año 2007 fue de 189.294 toneladas (FEDEAGRO, 2011). Por otra parte, según la revista Producción & Negocio, existen registros que indican la existencia de una superficie sembrada de 1.144,25 hectáreas de coco en el estado Sucre, lo que garantizaría la disponibilidad de la materia prima necesaria para la planta.

4.1.3 Tipo y tamaño de los principales equipos que conformarán el proceso industrial

En la figura 4.2 se presenta un diagrama de flujo completo del proceso continuo propuesto para la fabricación de carbón activado a partir de la cáscara del coco; así mismo en la tabla 4.2 se indican los equipos más importantes que forman parte de la planta y sus características principales.

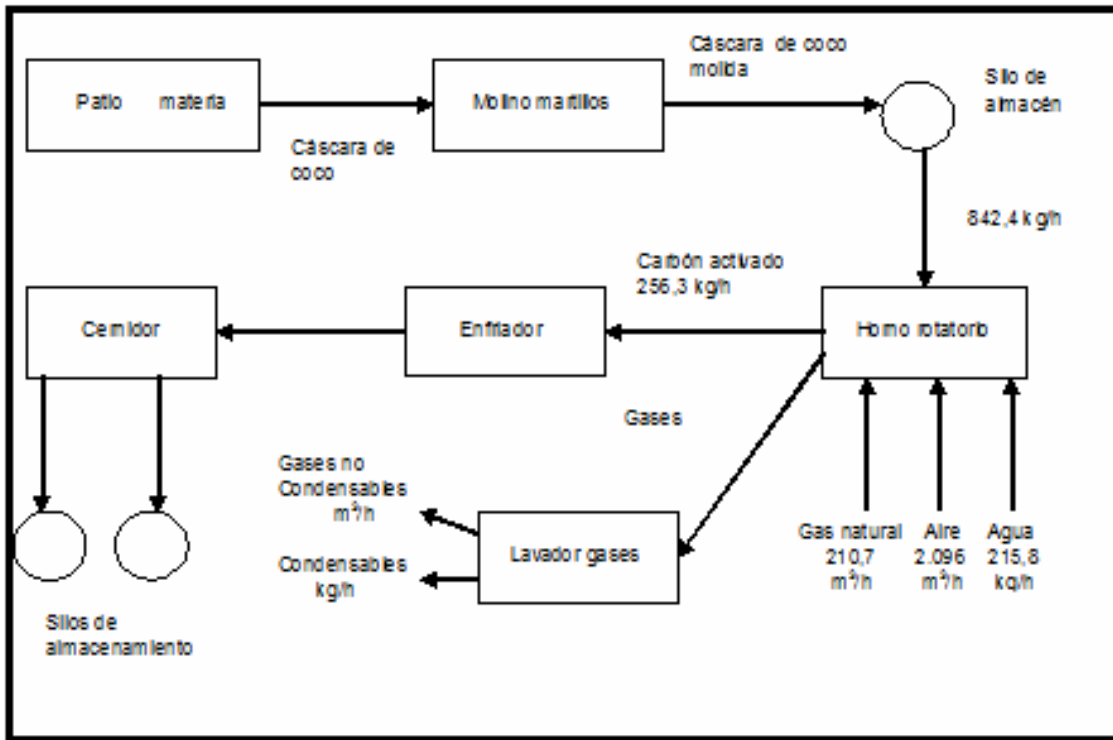


Figura 4.2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de carbón activa

Tabla 4.2. Equipos del proceso de fabricación de carbón activado

Equipos	Características
---------	-----------------

Patio almacenamiento de la cáscara	28 m de largo y 14 m de ancho
Molino de martillos	<p>Descarga por gravedad</p> <p>Capacidad de 5 ton/hora.</p> <p>Martillos de acero con tratamiento térmico.</p> <p>Motor de 5 hp y 3600 rpm.</p> <p>Dimensiones: 550 x 150 x 1185 mm.</p> <p>Cuerpo en acero al carbono</p>
<p>3 Transportadores de tornillo sin fin:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Salida molino • Salida horno • Salida enfriador 	<p>Modelo tubular</p> <p>Espira seccional</p> <p>Diámetro 6 Pulg.</p> <p>Largo: 3395 mm.</p> <p>Motorreductor de ½ HP</p> <p>Incluye tolva de carga.</p> <p>Capacidad: a 1 rpm = 0,04247 m³/h a 132 rpm (máximo) = 5,60637 m³ /h.</p>
Silo almacenamiento cáscara molida	<p>Capacidad: 7.000 kg</p> <p>Volumen: 13 m³</p>
Horno rotatorio	<p>Longitud: 10,85 m</p> <p>Diámetro interno útil: 1,13 m</p> <p>Inclinación: 3,5°</p> <p>Velocidad de rotación: 1 rpm (variable)</p> <p>Temperatura máxima operación: 950 °C</p> <p>Capacidad producción: 256,3 kg/h</p> <p>Revestido internamente con material refractario.</p>
	Conjunto de 3 transportadores tubulares de tornillo sin fin, modelo

Enfriador de sólidos	“Ribbon flight”. Extractor de aire para la circulación del mismo a través del enfriador. Motorreductor de 1,5 hp
Cernidor	Material: acero inoxidable Motor: 0,5 hp
2 Silos para el almacenamiento de carbón activado	Capacidad: 13.000 kg
Ventilador de tiro	Volumen de gases a movilizar: 4.094 m ³ /h a 25 °C y 1 atm.

La mayoría de los equipos serán fabricados en la ciudad de Cumaná en el taller de metalurgia González & Asociados, el cual se dedica al diseño y construcción de equipos para la industria en general. En el anexo B se puede observar la cotización de los equipos.

La capacidad del molino seleccionado está por encima de los requerimientos de la planta, no obstante es el más pequeño que se fabrica en el oriente del país y tiene la fuerza necesaria para llevar cualquier material duro hasta una granulometría de 0,5 a 1cm, que es la necesaria para ingresar al horno.

El equipo principal y más importante del proceso es el horno rotatorio, es aquí donde se produce la carbonización-activación de la materia prima. Éste operara de manera continua y solo podrá detenerse para realizar labores de mantenimiento correctivo y/o preventivo.

La función del lavador de gases es separar los gases condensables (alquitrán y agua) de los gases no condensables, pues cada uno de ellos puede tener usos diferentes. En este proyecto no se contempló el uso de esos materiales, no obstante los gases condensables no pueden salir a la atmósfera, ya que contienen componentes combustibles como el CO, H₂ y CH₄, por lo tanto, en caso de no tener uso, deben ser quemados antes de ser expulsados al ambiente.

4.1.4. Estudio económico (tipo V) del proceso para la fabricación del carbón activado

Para la estimación de la inversión total de capital se utilizó el método del porcentaje del equipo entregado, por ser el más utilizado para estudios económicos tipo V, tomando como costos base los equipos principales que conforman la planta. Como ya fue mencionado anteriormente, el costo de los equipos más importantes fue suministrado por Construcciones Metalúrgicas Gómez; en la tabla 3.9 del capítulo 3 se reportaron los costos de estos equipos. De esta manera la inversión fija de capital resultó ser de 6.639.551 Bs y la inversión total de capital 7.635.484 Bs, estos valores se pueden observar en la tabla 4.3.

La estimación de los costos totales anuales de producción del carbón activado, calculados en el capítulo 3, están reportados en la tabla 4.4, mientras que en la tabla 4.5 se puede observar un resumen del estudio económico realizado.

El tiempo de retorno de la inversión (TRI) fue de 4,46 años, utilizando una tasa mínima atractiva de retorno de 29%, lo que indica que el capital invertido puede ser recuperado en menos de cinco años de operación de la planta. En cuanto a la tasa de retorno anual de la inversión (TRA), ésta fue de 43,28 %, indicando que el presente proyecto representa una alternativa interesante de inversión pues la TRA supera con creces la tasa mínima atractiva de retorno de una inversión (TMAR), la cual ha sido fijada en 12,95%, que es la tasa ofrecida por los bancos para depósitos a plazo fijo durante 90 días.

El bajo TRI y el alto TRA aunado a las diversas aplicaciones que tiene el carbón activado hacen de este proyecto una excelente inversión a nivel de la pequeña y mediana industria nacional.

Tabla.4.3. Estimación del capital fijo de inversión y de la inversión total de capital requerido para la instalación de la planta para obtención de carbón activado.

RUBRO	Bs
Costos directos	
Costos de los equipos	2.446.408
Instalación de equipos	954.099
Instrumentación y control	318.033
Tuberías (instaladas)	366.961
Instalaciones eléctricas	244.641
Edificios (obras civiles)	709.458
Mejoras del terreno, cercado, vialidad	244.641
Instalaciones de servicio	1.223.204
Terreno	146.784
Total costos directos de la planta	4.207.822
Costos indirectos	

Ingeniería y supervisión	733.922
Gastos de construcción	831.779
Total costos indirectos de la planta	1.565.701
Total costos directos e indirectos de la planta	5.773.523
Honorarios de contratistas	288.676
Eventualidades	577.352
Inversión fija de capital	6.639.551
Capital de trabajo	995.933
Total inversión de capital	7.635.484

Tabla 4.4. Estimación de los costos totales anuales de producción de carbón activado

Rubro	Bs
Costos de manufactura	
Costos directos de producción	
Materia prima	7.581.600
Mano de obra directa	445.885
Supervisión directa	178.354
Servicios (agua, electricidad y gas natural)	2.215.793
Mantenimiento y reparación	398.373
Suministros y repuestos	59.756
Gastos de laboratorio	66.883
Total costos directos	10.946.644
Costos fijos	
Depreciación	185.784
Seguro	66.396
Total costos fijos	252.180

Tabla 4.4. (Continuación). Estimación de los costos totales anuales de producción de carbón activado

Rubro	Bs
Costos generales	613.567
Costos generales	
Administración	153.392
Distribución y venta del producto	331.978
Costos investigación y desarrollo	331.978
Financiamiento (intereses)	331.978
Total costos generales	1.149.325
Costos totales de producción	12.961.715

Tabla 4.5. Resumen del estudio económico

Planta: carbón activado		
Producción: 1.537.800 kg/año		
Capital fijo a invertir: 7.635.484 Bs		
Depreciación de equipos y edificios (D): 185.784 Bs/año		
1.- Costo de producción.....	12.961.715	Bs/año
2.- Ingreso por la venta del producto	16.134.598	“
3.- Beneficio bruto (2 – 1).....	3.172.883	“

4.- Impuestos.....	80.673	“
5.- Beneficio neto.....	3.092.210	“
6.- Retorno anual (5 + D).....	3.277.994	“
7.- Tasa retorno anual de la inversión.....	43,28 %	
8.- Tiempo del pago dinámico de la inversión (n).....	4,46 años	

4.2 Conclusiones

1. La materia prima seleccionada fue el endocarpio del coco y el método de activación seleccionado fue el de activación física o térmica, utilizando vapor de agua como agente activante.

2. La mejor ubicación geográfica para instalar la planta es la ciudad de Cumaná en el estado Sucre.

3.- El horno rotatorio constituye la mejor opción para la carbonización y activación en un proceso continuo para la obtención de carbón activado.

4. La producción anual de la planta es de 1.537,8 toneladas de carbón activado, la cual satisface la demanda nacional, quedando un excedente para un futuro incremento de la demanda o para la exportación.

5.- El proceso es económicamente viable, ya que la tasa interna de retorno de la inversión es de 43,28 % y el tiempo dinámico de pago de la misma es de 4,46 años a una tasa mínima atractiva de retorno de 29%.

4.3. Recomendaciones

1.- Realizar ensayos en planta piloto para disponer de datos experimentales más confiables en la obtención de carbón activado a partir de la cáscara del coco.

2.- Se recomienda hacer un estudio acerca de los gases generados durante el proceso de carbonización y activación, los cuales pueden ser usados como combustible, así como el análisis de la factibilidad económica que presenta el alquitrán producido en dicho proceso.

3.- Realizar un estudio económico detallado del proceso propuesto

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, I. y Berra, M. (1985). **“Obtención de carbón activado metalizado a partir de coque residual de petróleo”**. Trabajo de grado, Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela.

Álvarez, X. (1989). **“Obtención de Carbón Activado a Partir de Cuescos de Frutas”**. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil-Químico, Universidad de Chile.

Arias, F. (1999). **“El Proyecto de Investigación”**. Editorial Episteme. Ediciones Oriol. Caracas, Venezuela.

Baca, G. (1998). **“Evaluación de proyecto”**. Editorial McGraw-Hill, 3^{era} edición, Colombia.

Banco Central de Venezuela (2011). **“Tipo de cambio de referencia”**. [Página web en línea]. Disponible en <http://www.bcv.org.ve/cuadros/2/212a.asp>.

BANCOEX (2008). **Centro de Información y Documentación de Exportación**.

Blank, L. y Tarquin A. (1999). **“Ingeniería Económica”**. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. Colombia.

CARBOCHEM, ARDMORE, US (1999). **“Activated carbon manufacturer & chemical supplier”**. [página web en línea]. Disponible en <http://www.carbochem.com/>.

FEDEAGRO (2011). “**Indicadores de Producción del Sub Sector Vegetal, Textiles oleaginosas**”. [Página web en línea]. Disponible en <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp>.

Guerra, A. (2005). [Página web en línea]. Disponible en http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/coco2.htm

GEA Group (2010). “**Lavadores de gases tipo jet**”. [Página web en línea]. Disponible en <http://www.geape.es/gpees/cmsdoc.nsf/WebDoc/webb7zeczz>.

Gutiérrez, B. (2010). “**Situación actual del COCOTERO en el Municipio Valdez del Estado Sucre**”. Revista Producción & Negocio Disponible en: http://www.produccionynegocio.com/edicion_20/cocotero.htm

Himmelblau, D. (1997). “**Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería química**”. Editorial Prentice Hall. Sexta edición. México.

Manual del carbón activado (2003). [Página web en línea]. Disponible en http://prueba2.aguapedia.org/master/presencial/pfm/proyecto_manual_carbon_activo/CARBON%20A

Márquez, A. y Torres, A. (2004). “**Producción y análisis de carbón activado Utilizando como precursor el endocarpio de la coroba**”. Trabajo de Grado, Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela.

Padilla, R. (2000). “**Madera en Venezuela**”. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos10/venez/madera.shtml>.

PDVSA (2002). “**Guías de gerencia para proyecto de inversión de capital**”. Servicios, Ingeniería y Proyectos.

Pernalete, Z. y Piña F. (2008). “**fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar**”

Mediante tratamiento amoniacal". Disponible en [http://cdcht.ucla.edu.ve/bioagro/rev20\(1\).%20fraccionamientodecaña.pdf](http://cdcht.ucla.edu.ve/bioagro/rev20(1).%20fraccionamientodecaña.pdf).

Perry, R. (2001). **"Manual del Ingeniero Químico"**. Séptima edición. Editorial McGraw- Hill. España.

Perry, R. y Chilton, C. (1992). **"Manual del ingeniero químico"**. McGraw-Hill, 3^{era} edición en español, México.

Ramos, Y. y Parra A. (2002). **"Caracterización del carbón activado a partir del endocarpio de la Coroba (Jessenia polycarpa Karst)"**. Trabajo de Grado, Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela.

Salas, D (2006). **"Diseño básico de un horno de una planta de pintura de autopartes"**. Trabajo de Grado, Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela.

Soto, F. (2007). **"Evaluación tecnico-economica de una planta de carbón activado"**.

Tesis de grado para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile. Chile. Disponible en: http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2007/soto_fp.pdf

Silva, H. (2007). **"Balances de materia y energía"**. Primera edición. Venezuela.

Timmerhaus, P. Y Peters, K. (1993). **"Plant design and economics for Chemical Engineers"**. Editorial McGraw-Hill Internacional, 4^{ta} edición, Colombia.

Tolosa, C. (2003). **"Régimen tributario venezolano, aspectos generales"**. [Página Web en línea]. Disponible en <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/eco/sistribvenct-1.htm>.

Ulrich, G. (1992). **“Diseño y economía de los procesos de Ingeniería Química”**.
Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUB ÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

En este trabajo de investigación se hizo una propuesta para determinar la factibilidad de una planta de producción continua de carbón activado. Para ello se consideraron diversos factores, tanto técnicos como económicos, pasando del diseño de los equipos principales a ser instalados en planta hasta un estudio económico tipo V para la implementación de este tipo de producción a nivel nacional. Se seleccionó la materia prima y el método de activación más adecuados para que el proceso resulte económico y pueda trabajar continuamente durante un promedio de 300 días por año y 20 horas promedio por día. Se seleccionó como materia prima la concha de coco por su disponibilidad en el oriente del país, lo que condujo a la ubicación de la planta en la ciudad de Cumaná estado Sucre. El método de activación que se considera más acorde al proyecto, ya que ofrece mejores ventajas económicas, es el de activación física. Se hizo un diseño de los diferentes equipos que son necesarios para la producción del carbón activado en Venezuela, siendo los más importantes un molino de martillos, un horno rotatorio, un enfriador y un cernidor. La producción anual de la planta será de 1.537,8 t/año de carbón activado, la cual es la producción adecuada para satisfacer la demanda nacional anual, más un excedente de 30 % para compensar un posible incremento del consumo en el futuro o para dedicarlo a la exportación. Se realizó un estudio económico para determinar si era o no factible la instalación de esta planta, y se concluyó que las posibilidades de éxito del proyecto se reflejan en que el tiempo dinámico de retorno de la inversión será de 4,46 años, utilizando un tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) de 29% lo que indica que el capital invertido se recupera antes del quinto año de operación

de la planta y el porcentaje de retorno de la inversión se estimó en 43,28 %; por lo que se puede asegurar que la inversión presentada resulta atractiva.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS x	TU	JUx
Silva Héctor	CVLAC:				
	E_MAIL	Hectorsilva53@cantv.net			
	E_MAIL				
Ochoa Osvaldo	CVLAC:				
	E_MAIL	Ochoa.osvaldo@gmail.com			
	E_MAIL				
Alemán Rafael	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2011	07	08
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis diseño preliminar de una planta para la obtención de carbón activado.doc	Application/ msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G
H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x
y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería de Química.

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente. Núcleo Anzoátegui.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado, los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el conocimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién deberá participarlo al Consejo Universitario, para su aprobación.

García Vanessa
AUTOR

Machado Ruth
AUTOR

Ing. Héctor Silva
ASESOR /JURADO

Ing. Salas Yraima
POR LA SUBCOMISION DE TESIS