

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica

**“USO DE LOS RESIDUOS DE HUESO DE
ACEITUNA PARA OBTENER CARBÓN
ACTIVADO”**

TESIS

Presentado por :

Bach. JESUS TALLEDO BERMUDEZ

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

**TACNA - PERÚ
2013**

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA

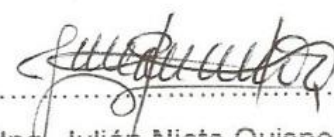
**USO DE LOS RESIDUOS DE HUESO DE ACEITUNA PARA
OBTENER CARBÓN ACTIVADO**

Tesis sustentada y aprobada el 09 de octubre de 2013, estando
integrado el Jurado Calificador por:

PRESIDENTE


.....
MSc. Nataniel Mario Linares Gutiérrez.

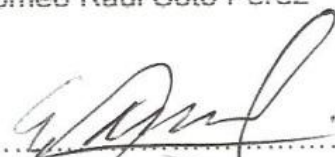
SECRETARIO


.....
Ing. Julián Nieto Quispe

MIEMBRO


.....
MSc Tolomeo Raúl Soto Pérez

ASESOR


.....
Ing. Zoilo Edgardo Valdivia Infantas

DEDICATORIA

DEDICO ESTE TRABAJO
A DIOS, MI TIA FELICIA,
MIS PADRES JESUS Y
ANA; MIS PRIMOS
EMILIO, ISOLDA Y
NAOMI QUE LOS
QUIERO MUCHO

AGRADECIMIENTO.

A Dios padre que me formo, a Cristo quien me salvo y al Espíritu Santo que mora en mí y los tres son uno, a las personas que más quiero, las cuales me apoyaron y me aconsejaron a superar los obstáculos de la vida, mis pastores FELIPE, PAUL y LUIS y a toda mi familia.

A mis profesores que me enseñaron, no solo conocimientos; sino lo importante que son los valores en una persona y la responsabilidad ante todo para lograr el éxito profesional.

Al ingeniero Zoilo Valdivia por haberme apoyado en la elaboración de este trabajo de tesis, por la información y recursos que me brindo, para elaborar el presente tema de investigación.

A mis amigos y amigas, que me enseñaron a valorar lo importante que es la amistad en las buenas y malas experiencias de mi vida.

RESUMEN.

Existe actualmente una gran diversidad de métodos y materias primas para la obtención de carbón activado. Lo cual da una activación en mayor o menor grado de los materiales carbonizables, todo lo anterior da como consecuencia que los carbones activados presenten diferencias físicas de acuerdo a la materia prima y el método a través del cual se obtuvieron. Para el proyecto se utilizó como materia prima residuos de hueso de aceituna, de la empresa Montefiori. Luego se hicieron secar a la intemperie, por cinco días. El proceso en el laboratorio empezó con la determinación de la humedad, que fue de 10%, obteniéndose 45 g de un total de 50 g, para luego dar paso a la carbonización, y determinación de cenizas. Posteriormente el material carbonizado se sometió a un proceso de activación física con vapor de agua sobrecalentado. Finalmente, se determinaron las propiedades de adsorción del carbón activado por el número de Yodo. Estos resultados han permitido elaborar un estudio preliminar, de un proyecto de producción industrial de Carbón Activado, a partir del residuo de hueso de aceituna; con el que se ha establecido una rentabilidad aceptable.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I ESTUDIO METODOLÓGICO DEL PROBLEMA	5
1.1. Descripción del problema	5
1.2. Delimitación del problema	6
1.3. Planteamiento del problema	7
1.4. Justificación del problema	7
1.5. Tipo o nivel de investigación	8
1.6. Objetivos de la investigación	9
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	10
2.1. Obtención de carbón	10
2.1.1. Descripción de la materia prima	10
2.1.2. Definición del carbón activado	17
2.1.3. Propiedades del carbón activado	19
2.1.4. Tipos de carbones activados	19

2.1.5. Descripción del proceso de producción	21
2.1.6. Secado de la materia prima	21
2.1.7. Carbonización	22
2.1.8. Trituración	23
2.2. Activación del carbón	23
2.2.1. Procedimiento de activación	23
CAPITULO III DESARROLLO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.1. Antecedentes	28
3.1.1. Carbón activado de cascara de almendra	28
3.1.2. Carbón activado de hueso de aceituna	28
3.1.3. Carbón activado de la levadura	29
3.1.4. Mejoramiento del carbón activado de hueso de aceituna	30
3.1.5. Carbón activado a partir de cascara de naranja	31
3.2. Especificaciones del producto	32
3.3. Caracterización de la materia prima	40
3.3.1. Caracterización de la estructura de poros de la materia prima	41

3.3.2. Caracterización térmica de la materia prima y sus cenizas	42
3.3.3. Caracterización de densidad de empaquetamiento	44
3.3.4. Número de yodo	44
3.4. Usos del producto	45
3.4.1. Usos para fase gaseosa	45
3.4.2. Usos para fase líquida	46
3.5. Físico química del producto	47
3.6. Estudio técnico	49
3.6.1. Descripción del proceso de producción	49
3.7. Aspectos técnicos a tenerse en cuenta	60
3.7.1. Composición de la materia prima	60
3.7.2. Rendimiento de los carbones	62
3.7.3. Parámetros de adsorción del carbón activado	64
3.7.4. Índices asociados a los carbones activados	65
3.8. Pruebas de laboratorio	70
3.8.1. Diagrama de flujo	71
3.9. Pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio	72
3.10. Realización de las pruebas de laboratorio	75

CAPITULO IV ANALISIS DE LOS RESULTADOS	77
4.1. Resultados y análisis de resultados e interpretación de resultados	77
CAPITULO V DISEÑO DE LA PLANTA	80
5.1. Criterios para diseñar una planta piloto	80
5.2. Capacidad de producción	82
5.3. Especificación de los equipos	83
5.3.1. Horno rotatorio	83
5.3.2. Enfriador	86
5.3.3. Tolva dosificadora	87
5.3.4. Chancadora de quijadas	88
5.3.5. Zaranda	90
5.3.6. Fajas	90
5.3.7. Caldera	92
CAPITULO VI ORGANIZACIÓN Y ADMINISTRACIÓN	93
6.1. Organigrama	93
6.2. Requerimiento de recursos humanos	94

CAPITULO VII ESTUDIO ECONOMICO	95
7.1. Inversión	95
7.2. Producción e ingresos	96
7.3. Costos de producción	96
7.4. Determinación de la depreciación	97
7.5. Capital de trabajo	97
7.6. Estado de perdidas y ganancias	98
7.7. Evaluación económica	99
CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

INTRODUCCIÓN

Para producir el carbón activado, se emplean diferentes materiales orgánicos ricos en carbono, como carbón vegetal, carbón mineral, madera, residuos celulósicos, cáscaras de frutas, cáscara de coco, cascara de nuez y de maní, hueso de aceituna, hueso de durazno, aceites pesados de petróleo, aserrín, desechos de leche, granos de maíz, hollejos de legumbre, etc. La elección del precursor o sea de la materia prima, depende de la disponibilidad, precio y pureza, pero el proceso de fabricación y la posible aplicación del producto, sirven en forma muy importante para elegir la materia prima a utilizar.

El carbón activado, es una forma preparada de carbón que tiene una gran superficie específica y que se emplea para la adsorción de gases o líquidos. Se fabrica por destilación seca de materiales carbonosos bajo condiciones reguladas. El carbón activado posee la virtud de adherir o retener en su superficie átomos, moléculas o iones del líquido que está en contacto con él. Este fenómeno se denomina poder adsorbente. La adsorción es la responsable de purificar, desodorizar y

decolorar el agua u otros sólidos, líquidos o gases que entren en contacto con el carbón activado.

La primera aplicación documentada del carbón activo en fase gas data de 1793; realizadas por el Dr. D. M. Kehl, quien usó el carbón vegetal para eliminar los olores emanados por la gangrena. El mismo doctor lo usaba también para filtrar el agua para beber. La primera aplicación industrial del carbón activado tuvo lugar en Inglaterra, en 1794, donde se usó como decolorante en la industria del azúcar. En 1854, tuvo lugar la primera aplicación a gran escala cuando un municipio de Inglaterra instaló filtros de carbón vegetal en los sistemas de ventilación de los drenajes. En 1872, aparecieron las primeras máscaras con filtros de carbón activado usadas en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio. En 1881, Kayser introduce el término adsorción para describir como los materiales carbonizados atrapaban a los gases. Von Raphael Ostrejko, a quien se considera como el inventor del carbón activado, desarrolló varios métodos para producir carbón activado tal y como se conoce hoy en día. El uso de agentes químicos trajo como consecuencia la necesidad de desarrollar filtros de carbón activado para máscaras de gas, siendo el punto de partida para el

desarrollo de la industria del carbón activado, expandiéndose a otros usos.

Actualmente, el carbón activado tiene cientos de aplicaciones diferentes, tanto en sistemas de vapor, como en fase líquida. El 80 % del consumo mundial está relacionado con aplicaciones en fase líquida, como: purificar agua, desodorizar, decolorar, o ionizar. Dadas sus características muy versátiles, son muy útiles en la industria minera, vitivinicultura, alimentos, cigarrerías, farmacéuticas, fabricación de filtros para control de emisiones, cosmética y muchísimas otras áreas. En los últimos años, la creciente demanda de nuevos sistemas de almacenamiento de energía ha impulsado la utilización de los carbones activados en electrodos de condensadores eléctricos de doble capa, también llamados súper-condensadores. Estos dispositivos son usados en sistemas de copias de seguridad para computadoras, telefonía móvil, sistemas de potencia no-interrumpida, escáner, etc. A partir de la cascara de coco es posible obtener diferentes tipos de carbones activados para aplicaciones diversas variando las condiciones de preparación.

El área específica del carbón activo oscila desde 600 a 2000 metros cuadrados por gramo. Tanto en el carbón en estado granular como en forma de polvo, esta superficie es casi enteramente interna; es el

área de la estructura porosa creada en los dos pasos seguidos en la expulsión de los componentes volátiles de las materias primas carbonosas y la oxidación del residuo. Los carbones activos para la adsorción de gases y vapores difieren de los que se utilizan en la adsorción de líquidos. La primera clase se caracteriza por una preponderancia de poros pequeños por debajo de 20 Å diámetro; en general, son más duros y más densos que los denominados “decolorantes”. La estructura de poros fino requerida por el carbón para fase gaseosa puede conseguirse eligiendo la materia prima adecuada o por la elección del método de fabricación adecuado.

CAPÍTULO I.

ESTUDIO METODOLÓGICO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los carbones activados son sustancias auxiliares para muchos sectores de la industria, la necesidad de cuidar los vertidos, el preservar el medio ambiente, etc., representan uno de los factores más influyentes en cuanto a la utilización de los carbones activados en tratamientos de aguas residuales, plantas potabilizadoras, adsorción de oro, corrientes gaseosas, etc.

Existen actualmente un gran diversidad de métodos y materias primas para la obtención de carbón activado lo cual da una activación en mayor o menor grado de los materiales carbonizados, el oxígeno en la materia prima es un agente activador necesario para la formación de una estructura porosa ; todo lo anterior da como consecuencia que los carbones activados presenten diferencias físicas de acuerdo la materia prima y el método a través del cual se obtuvieron.

La investigación, tiene presente que la provincia de Tacna es uno de los productores de aceitunas y sus derivados, en la parte sur de nuestro Perú; por lo tanto se dispone de una buena cantidad de residuo de pepa de aceituna para la elaboración de carbón activado, ya que dicho residuos son desechados o sirven de alimento de animales, pero se pueden recuperar pagando por ellos un precio mejor.

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL: La investigación de estudio se realizó dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, en el laboratorio de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

1.2.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL: La investigación tuvo inicio el mes de agosto del 2011 y su finalización el mes de marzo del 2012.

1.2.3 DELIMITACIÓN SOCIAL: En el desarrollo de la siguiente investigación participaron las siguientes personas:

- El investigador
- El asesor
- Especialista en carbón activado.

1.2.4 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL: El trabajo de investigación abarcara los siguientes temas:

- Especificaciones del producto
- Caracterización de la materia prima
- Número de Yodo
- Físico química del producto
- Propuesta de una planta piloto.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este trabajo de investigación permite elaborar una propuesta, para la obtención de carbón activado utilizando residuos de hueso de aceituna.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad se utilizan diversos materiales para la elaboración de carbones activados, la elaboración de carbón

activado de residuos de hueso de aceituna es una alternativa económica, ecológica y viable, sobre todo el aprovechamiento de toda la materia de desecho de las procesadoras de aceituna.

Puesto que dicho residuos del hueso de aceituna, muchas veces solo es un desperdicio y se acumula en lugares inapropiados contribuyendo a la contaminación, ya que cuando ese residuo se comienza a descomponer llega a producir algunos de los gases de efecto invernadero, también son buenos hogares para muchas plagas, así poniendo en riesgo a la salud de las poblaciones cercanas.

Por lo cual es importante evitar que dichos desperdicios puedan ser un problema de contaminación, tomemos conciencia del gran problema de la contaminación que existe en la actualidad y comencemos con nuevas tecnologías y que mejor utilizando los mismos desperdicios de la industria.

1.5. TIPO O NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Tipo: Investigación aplicada

Nivel: Experimental. Porque nos ayudara a determinar las características físicas y químicas de la investigación.

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 OBJETIVO GENERAL

- Obtener carbón activado a partir de los residuos de hueso de aceituna

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades de adsorción del carbón activado de huesos de aceituna, por medio del número de Yodo en el laboratorio.
- Determinar los análisis aproximados del porcentaje de humedad, cenizas y materia volátil.
- Proponer el diseño de una planta piloto, para la obtención de carbón activado a partir de los residuos de huesos de aceituna.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. OBTENCIÓN DE CARBÓN.

2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

1. La Aceituna.

La aceituna es el fruto del olivo. Se le puede llamar también oliva. Las aceitunas se consumen en fresco pasando primero por un proceso de maceración que elimina el sabor amargo que tienen debido a un glucósido conocido como Oleuropeína.

Energía 150Kcal	
Carbohidratos	3,84
> Azúcares	0,54
> Fibras alimentarias	3,30
Grasa	15,36
Proteínas	1,06




Figura N° 01. Nutrientes de la aceituna

Fuente: Base de datos de nutrientes (USDA)

2. Características Generales de la Aceituna

El fruto es una drupa comestible, de tamaño variable, con una sola semilla o hueso o corazón en su interior. Pertenece a la familia de las oleaceae.

Su área natural es la cuenca mediterránea, norte de África, parte de la cuenca atlántica, México, Perú -donde nace la conocida "criolla peruana"-, Chile, Venezuela, estados del sur de Australia, Sudáfrica en la zona de El Cabo, Nueva Zelanda, Estados Unidos, China y el Cáucaso

3. Producción de Aceituna.

El olivar es el cultivo frutal más cultivado del mundo y España es líder mundial en producción. El área de cultivo se triplicó de 2,6 a 8,5 millones de hectáreas entre 1980 y 2010.

La producción de aceitunas en el Perú, ha venido creciendo a un ritmo anual de 3,8% entre 1990 y 2003, tras el incremento de las plantaciones orientadas al mercado externo, aunado a la expansión del rendimiento promedio por hectárea (1,6%) ante el mejor manejo técnico del cultivo.

En el 2003 el valor de la producción de aceituna alcanzó los S/. 89 millones, mayor en 17,1% respecto al año anterior, participando del 0,56% del PBI agropecuario. Alrededor del 5% de la producción peruana de olivo se destina a la elaboración de aceite y el resto se procesa en forma de aceituna entera (negras y verdes).

Tabla N° I. Aceituneros en el Perú

ACEITUNEROS EN EL PERÚ			
Tamaño (ha)	N° de Huertos	Área Total (ha)	Área Promedio
< 3	2 800	3 300	1,0
3 - 10	697	3 000	4,0
10 - 20	165	2 000	12,0
> 20	38	1 700	44,0
Total	3 700	10 000	1,6

Fuente: ANPEAP

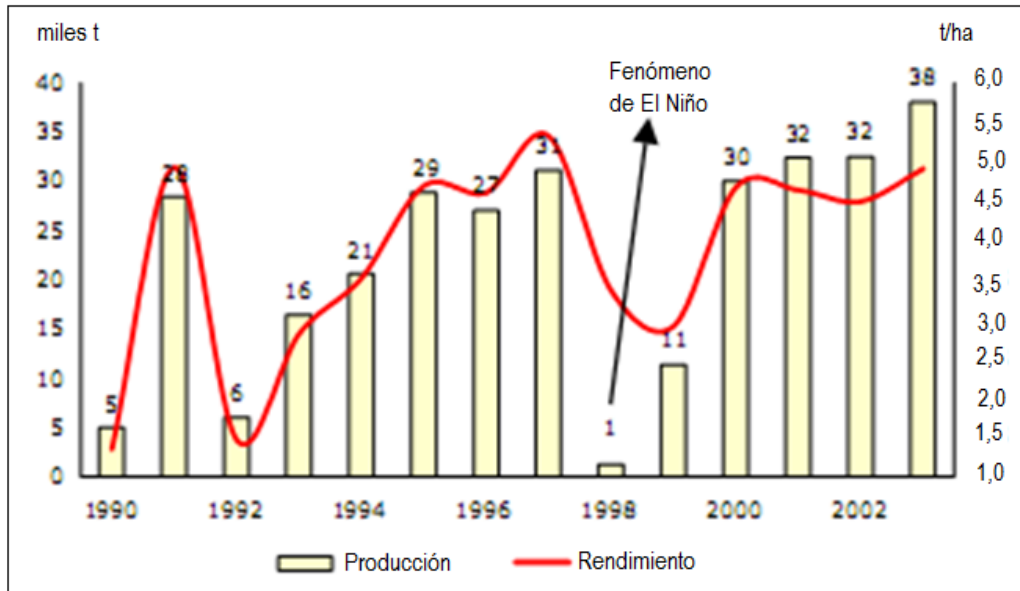


Figura N° 1. Producción y Rendimiento Nacional de Aceituna

Fuente: MINAG

4. Tacna Registra Mayor Rendimiento Productivo

La producción de aceituna se concentra principalmente en Tacna, que abarca más del 60% de la producción nacional, y en donde las áreas de cultivo se encuentran en proceso de expansión incentivadas por el incremento de las ventas al exterior.

Tacna registra el mayor rendimiento de olivo a nivel nacional (6,4 t/ha), dada la eficiente conducción técnica del cultivo, aplicando buenas prácticas agrícolas como podas,

fertilización, deshierbes, riego, tratamiento de plagas y enfermedades, para la obtención de una cosecha de aceitunas uniformes en tamaño y maduración.

En contraste, Arequipa, segundo departamento productor, viene reduciendo su producción de olivo afectada por la ocurrencia de las plagas Queresa y Margaronia en Yauca y la Bella Unión, lo cual ha provocado una merma en los ingresos de los productores y el reemplazo del olivo por otros cultivos de mayor rentabilidad

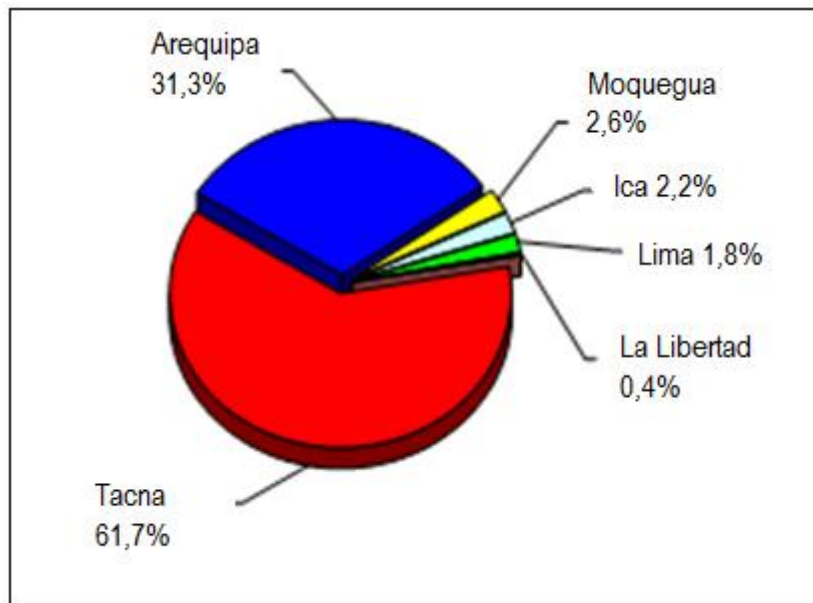


Figura N° 2. Producción de Aceituna por Departamento, 2003

Fuente: MINAG

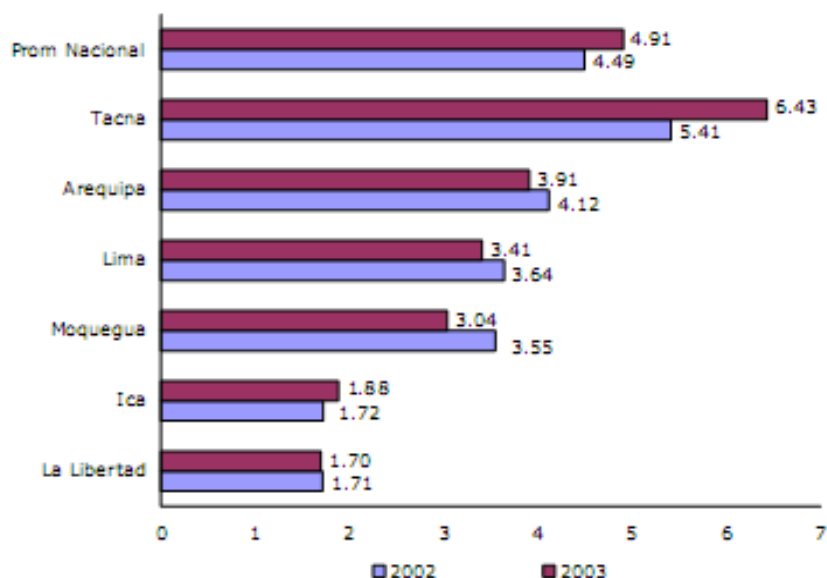


Figura N° 3 Ranking de Rendimiento de Aceituna por Departamento

Fuente: MINAG. Elaboración: MAXIMIXE

5. Obtención del Hueso de Aceituna

En el proceso de extracción del aceite de oliva virgen, se genera un subproducto denominado alpeorujo: restos de piel, pulpa, hueso de la aceituna y agua de vegetación añadida en el proceso. De este producto húmedo, la propia empresa se encarga de almacenarlos en los botaderos que ellos disponen.

De este producto, he extraído el hueso de aceituna triturado mediante secado al sol, reduciendo considerablemente la humedad inicial de hueso. Para posteriormente realizar los demás procesos de secado, carbonización, cenizas y activación física y química.

El porcentaje en peso del hueso en el total de la aceituna que se recibe en la empresa es variable, dependiendo fundamentalmente de la variedad de olivo, de las condiciones hídricas durante su cultivo y del peso medio de la aceituna. Este porcentaje puede oscilar desde un 15 a un 25 % del peso total de aceituna procesada en la empresa.



Figura N° 4. Depósito de aceituna

Fuente: MINAG

2.1.2 DEFINICION DEL CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado se puede definir como una serie de carbones porosos, amorfos y preparados químicamente para que tengan un elevado grado de porosidad y una alta superficie específica interna. Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo componen, le dan la propiedad de atraer y atrapar ciertas moléculas del fluido que rodea al carbón. A esta propiedad se le llama “adsorción”; al sólido que adsorbe se le denomina adsorbente y a la molécula atrapada, adsorbato. La unión entre el carbón y el adsorbato se lleva a cabo por medio de fuerzas de London, que son una de las clases de fuerzas de Van der Waals. Éstas son relativamente débiles y por lo tanto, reversibles.

El carbón activado es el único agente usado para la recuperación, separación y purificación de sustancias. Hasta 1700 fue reconocido como un agente purificador. Desde 1950 en los Estados Unidos el carbón activado se empleó como un material adsorbente de productos orgánicos en agua de desperdicio.

El carbón activado comprende una familia de sustancias con fórmulas estructurales no definidas. Las únicas bases para su diferencia en la medida de su capacidad relativa de adsorción. Los procesos básicos de activación son la carbonización y oxidación.

Los procesos de carbonización es conducida en ausencia de aire entre 873K (600°C) a 1173K (900°C), mientras la oxidación se realizara en una atmosfera oxidante tal como un vapor a eso de 1173K (900°C).

Una de las características más singulares del carbón activado es una estructura porosa. Aunque la estructura submicroscopica no está bien determinada, se asume que puede estar compuesta de partículas amorfas al azar distribuida para dar una compleja red de forma irregular en parte interconectada entre las partículas. Los poros van dentro de las dos distintas clases de tamaño. Los macro poros constituyen aproximadamente el 5% de la superficie activa y tiene de 1 000 a 2 000 Å en diámetro.

2.1.3 PROPIEDADES DEL CARBÓN ACTIVADO.

El carbón activado, es un material orgánico el cual tiene una estructura esencialmente grafitica. Tiene una superficie especifica extremadamente grande debido al alto desarrollo interno de la estructura porosa y una área superficial excede 1 000 m² /g.

Como resultado, el carbón activado ha encontrado diversas aplicaciones industriales ya sea en procesos de separación de gas y liquido; sin embargo su uso en la industria de la recuperación de oro ha sido desde 1980.

2.1.4 TIPOS DE CARBONES ACTIVADOS

Los carbones activados pueden clasificarse de acuerdo al tamaño de las partículas, existiendo dos grupos:

Carbón Activado en Polvo (CAP).

Los CAP presentan tamaños menores a 100 nm, siendo los tamaños típicos entre 15 nm y 25 nm.

Carbón Activado Granular (CAG).

Los CAG presentan un tamaño medio de partícula entre 1mm y 5mm. Los CAG pueden dividirse en dos categorías:

1. Carbón Activado Troceado (o sin forma)

Los carbones activados troceados se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de briquetas de carbón o de trozos más grandes.

2. Carbón Activado Conformado (o con una forma específica, cilindros, discos, etc.).

Los carbones conformados pueden obtenerse por peletización o por extrusión de carbón en polvo mezclado con distintos tipos de aglomerantes.

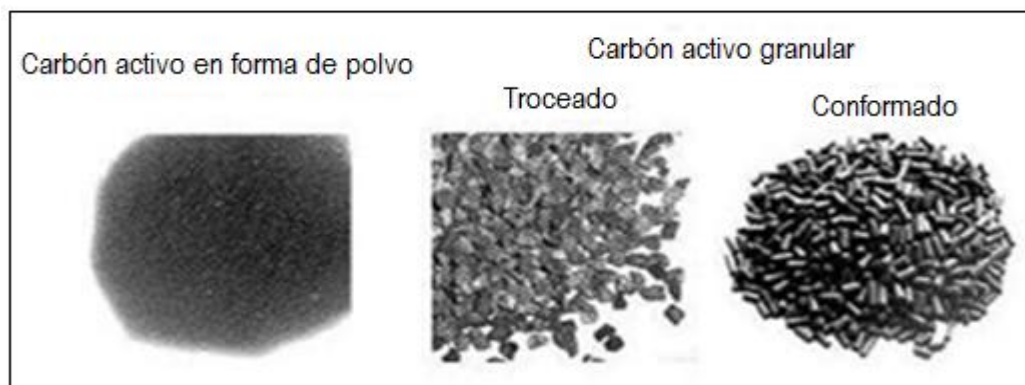


Figura N° 5. Tipos de Carbón Activado

Fuente: Web Global Waters Group

2.1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Los procesos de fabricación se pueden dividir en dos tipos: activación física o térmica y activación química. La porosidad de los carbones preparados mediante activación física es el resultado de la gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas, mientras que la porosidad que se obtiene por la activación química es generada por reacciones de deshidratación Química, que se lleva a cabo a temperaturas más bajas.

La activación consiste en crear una gran cantidad de poros en un carbón, dando como resultado una estructura extremadamente porosa de gran área superficial disponible para llevar a cabo el proceso de adsorción de diferentes sustancias.

2.1.6 SECADO DE LA MATERIA PRIMA

El proceso de secado se puede hacer al sol en forma manual, o en un horno de secado a nivel de laboratorio o en hornos adecuados a nivel industrial.

2.1.7 CARBONIZACION

El carbón primario se obtiene mediante el proceso de carbonización, que implica la descomposición térmica o pirolisis de la materia prima en ausencia de aire, teniendo lugar la eliminación de materias volátiles y los productos de la descomposición pirolítica y dando como resultado una masa carbonosa con alto contenido de carbono fijo y una estructura porosa incipiente.

La carbonización industrial, se realiza principalmente en hornos rotatorios construidos en acero inoxidable y revestido con materiales refractarios para soportar las temperaturas de carbonización de hasta 973K (700°C).

La carbonización a nivel de laboratorio se puede efectuar en un horno tubular, en atmósfera de nitrógeno, con calentamiento continuo 275K/minuto (2°C/min.). Se pueden estudiar tres valores de temperatura tales como: 1073K (600°C), 1173K (700°C), o 1023K (750°C). Una vez alcanzada la temperatura de estudio, se debe mantener la muestra en el

horno por un período de 60 minutos, sacarla del horno y se dejarla enfriar a temperatura ambiente.

2.1.8 TRITURACION

El carbón carbonizado se tritura a una granulometría determinada y se procede a su activación.

2.2. ACTIVACIÓN DEL CARBÓN.

El término “activado” hace referencia al desarrollo de una gran porosidad, y superficie específica asociada, por medio del proceso de activación, función de los elevados poderes de adsorción de estos carbones es su gran aplicabilidad como adsorbentes de un gran número de sustancias, tanto en fase líquida y fase gaseosa.

2.2.1. PROCEDIMIENTO DE ACTIVACIÓN.

Existen dos procedimientos básicos para la obtención del carbón activado:

a. Activación Física.

Es el proceso de carbonización, en que en la mayoría de los elementos unidos al carbono, oxígeno e hidrógeno son los primeros que se eliminan en forma de gaseosa durante la pirólisis del material de partida. Los átomos de carbono liberándose van agrupando en forma cristalográfica ordenadas. Estas unidades cristalográficas se disponen en forma irregular dejando huecos o intersticios entre ellas, posiblemente como consecuencia de la descomposición de sustancias alquitranosas, que van llenándose con carbono desorganizados.

El producto carbonizado tendrá por tanto, una capacidad de adsorción baja, debido a pequeños niveles de porosidad desarrollado.

Mediante una activación posterior de este material carbonizado utilizando CO_2 , vapor de agua, etc. En condiciones tales que el gas oxide al carbono (temperaturas 973K a 1173K) se consigue un alto nivel de porosidad. Esta activación tendría lugar en dos etapas, una inicial en la que

reacciona el carbono desorganizado liberando los poros intersticiales, y otra segunda en la toman parte en la reacción los carbonos pertenecientes a los cristales elementales.

b. Activación Química.

La activación química transcurre según el mecanismo diferente, basado en el efecto de degradación que el agente activante ejerce sobre la celulosa y otros componentes de la materia prima, dando lugar a la formación de una masa. Como consecuencia de este proceso se facilita la pirólisis de la mezcla. A todo esto hay que añadirle la acción deshidratante que produce la descomposición de las sustancias orgánicas impidiendo o reduciendo la formación de alquitrán.

La activación química, consiste también, en poner el precursor carbonoso con un agente activador, tras lo cual se lleva a cabo un tratamiento térmico entre 773K (500°C) y 973K (700°C) bajo una atmósfera inerte para generar porosidad. Los agentes comúnmente utilizados son $ZnCl_2$, KOH y H_3PO_4 .

En ambos procesos, el área superficial específica del carbón activo obtenido depende de la pérdida de peso del material durante la etapa de activación, alcanzando, generalmente un valor máximo cuando se produce una pérdida de peso entre el 30 y el 70 %.

c. Reactivación

La regeneración se efectúa por la desorción de las sustancias adsorbidas, y se efectúa por tratamiento térmico o por desgasificación, que consiste en hacer pasar una corriente de vapor de agua sobrecalentado o de gas inerte a alta temperatura a través del lecho de carbón. En algunos casos la regeneración se lleva a cabo en forma similar a una activación, para descomponer y desorber las sustancias adsorbidas. La regeneración es recomendable para el carbón granular, porque para el carbón en polvo, las pérdidas pueden ser demasiado elevadas.

d. Rendimiento de los Carbones Activados

$$\% \text{ Rendimiento} = \left(\frac{\text{peso del producto final}}{\text{peso del precursor}} \right) \times 100 \quad (1)$$

El rendimiento del carbón activado, es un parámetro muy importante debido a que nos permite conocer si el precursor y el método usado resultan económicos. El rendimiento del carbón activado disminuye con el incremento de la temperatura y la razón de impregnación, para ambas series activadas con KOH y H₃PO₄. Se obtienen mejores rendimientos para los carbones activados con H₃PO₄, serie en la que las variaciones son mínimas; los rendimientos obtenidos en el orden de 46,2- 54,3%, coinciden con los reportados por otros investigadores para precursores similares frente a valores entre 19,2-28,9% obtenidos para los activados con KOH.

CAPITULO III

DESARROLLO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACION

3.1 ANTECEDENTES

3.1.1 CARBÓN ACTIVADO DE CASCARA DE ALMENDRA.

El departamento de química inorgánica de la universidad de granada, ha venido realizando con éxito investigaciones sobre la activación física de cascara de almendra que pone en manifiesto la utilidad de este subproducto como materia prima para la obtención de carbón activado. Utilizando como uno de los agentes activantes más utilizados el cloruro de zinc. (Proyecto de Berenguer 1980).

3.1.2 CARBÓN ACTIVADO DE HUESO DE ACEITUNA

López González y Rodríguez Reinoso (1972), impregnaron hueso de aceituna previamente carbonizada a temperaturas de 573K (300°C), 873K (600°C) y 973K (700°C) con distintas soluciones de cloruro de zinc, utilizando

coeficientes de impregnación de 1%, 3%, 12%, 50% y 100%. El número total de experimentos realizados fue de 10.

Todas las muestras fueron activadas a 673K (400°C) durante 3 horas. En lo referente a la acción activante de las disoluciones de cloruro de zinc sobre las muestras carbonizadas, se observó un sustancial aumento de la superficie específica en los casos en que se utilizaron disoluciones diluidas, obteniéndose el máximo valor cuando la proporción en peso de Cloruro de zinc a peso de carbonización en la disolución era del 3%.

3.1.3 CARBÓN ACTIVADO DE LA LEVADURA.

Nacco y Aquarone (1978) utilizaron como materia prima para la obtención de carbón activado químicamente levadura (*saccaromicescervisiae*), normalmente utilizado en la fermentación de las melazas de la caña de azúcar. Comparan el comportamiento del ácido fosfórico, carbonato de potasio y cloruro de zinc como agentes activantes.

La carbonización se llevó a cabo en una mufla, empleando impregnación previa a la carbonización a temperaturas de 673K (400°C), 823K (550°C) y 973K (700oC), a tiempos de 30 y 60 minutos y relaciones de activantes del 15% y 60% para el cloruro de zinc y el fosfórico, del 12,5% y 50% para el carbonato de potasio.

Los resultados mostraron que el cloruro de zinc fue el mejor de los activantes en las condiciones experimentales utilizadas, un buen rendimiento en carbón (37% - 62%) y con una superficie específica mayores que las obtenidas con los otros activantes. Con ácido fosfórico no se obtuvieron carbones activados. Al utilizar el carbonato de potasio obtuvieron productos de buena capacidad adsorbente pero con muy bajo rendimiento (10% – 18%).

3.1.4 MEJORAMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE HUESO DE ACEITUNA.

López González, Rodríguez Reinoso y Martínez Vílchez (1980), utilizaron de nuevo huesos de aceituna como materia prima para la obtención de carbón activado químicamente con

cloruro de zinc. En este caso la materia prima fue impregnada (a distintos periodos de tiempo) previamente a la carbonización, utilizando relaciones en peso de materia prima de 1:0,5; 1:1; 1:2, y las temperaturas de 873K (600°C) y 973K (700°C).

Se prepararon un total de 8 muestras por este procedimiento. Los resultados obtenidos mostraron que los carbones activados con cloruro de zinc dan lugar a carbones activados con mejores propiedades de adsorción, tanto en la fase gas como en la fase líquida, que los procedentes de la misma materia prima activada físicamente con dióxido de carbono.

3.1.5 CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CASCARA DE NARANJA.

Este proyecto utilizó como materia prima la cáscara de naranja, en la Escuela Nacional Preparatoria de México. Para lo cual limpiaron las cascara de naranja enjugándolas y quitando el bagazo después se dejaron secar y endurecer al sol por un día. El proceso en el laboratorio empezó con la pre

incineración de las cascara donde por cada 100 g de cascara se obtuvo 50,8 g para dar paso a la activación física del carbón que se llevó a cabo en una mufla a 873K (600°C). La activación química se dio mediante la aplicación de ácido fosfórico a una temperatura de 373K (100°C) en proporción y tiempo variado.

Para retirar el sobrante de ácido fosfórico enjuagó con agua destilada y se realizó una filtración al vacío.

Para ver su rendimiento hicieron una comparación con el carbón activado que tenía de cascara de coco; aplicando la colorimetría. Haciendo pasar una disolución de colorante vegetal azul en agua. Midiendo la adsorbancia con el espectrofotómetro.

3.2 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

El carbón activado es un material de color negro, con diversos grados de dureza cuando es del tipo granular, inflamable, con alta capacidad de adsorber gases. Es el adsorbente por excelencia y se aplica en todo proceso donde sea necesario separar

una sustancia de interés de un contaminante, reteniendo en el carbón activado el primero o el segundo.

Las propiedades más importantes son: a) Estabilidad térmica; b) Resistencia al ataque ácido; c) Carácter esencialmente hidrófobo; d) Bajo costo; e) Estructura porosa. Por tal razón, en los últimos años ha aumentado considerablemente el número de investigaciones en lo que concierne a su síntesis, y a sus diversas aplicaciones, como en la separación de gases y en la industria en general.

Desde el punto de vista estructural, el carbón activado se puede definir como un material carbonoso poroso preparado a partir de un material base de carbón con gases, y en ocasiones con la adición de productos químicos (por ejemplo, ácido fosfórico, cloruro de cinc, hidróxido de potasio, etc.), durante y después de la carbonización, para aumentar la porosidad. La estructura del carbón activado está constituida por un conjunto irregular de capas de carbono, con espacios que constituyen la porosidad

Este ordenamiento al azar de las capas y el entrecruzamiento entre ellas, impide el ordenamiento de la estructura para dar grafito, aun cuando se someta a tratamientos térmicos de hasta $3\ 273\text{K}$ ($3\ 000^{\circ}\text{C}$). Es precisamente, esta característica del carbón activado la que contribuye a su propiedad más importante, la estructura porosa interna altamente desarrollada y al mismo tiempo, accesible para los procesos de adsorción. La superficie específica y las dimensiones de los poros dependen del precursor y de las condiciones de los procesos de carbonización y activación utilizados.

Los tamaños de poros van desde los más pequeños, llamados micro poros ($< 2,0$) nm, hasta los meso poros (entre $2,0$ y $50,0$ nm) y macro poros ($> 50,0$ nm). La aplicación puede requerir de carbón activado bajo diferentes presentaciones: polvo (CAP, con tamaño medio de partícula en el carbón en polvo de $15\text{nm} - 25\text{nm}$) y granular o conformado (CAG, con tamaño medio de partícula de $1,0\text{nm} - 5,0\text{nm}$). Otras formas son: las fibras, telas, membranas, y monolitos, de carbón. La selección en el tipo de presentación se basa según el grado de purificación que se requiera.

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no sólo están definidas por su estructura porosa, sino también por su naturaleza química. El carbón activado presenta en su estructura átomos de carbono con valencia insaturada y además, grupos funcionales (principalmente de oxígeno y nitrógeno) y componentes inorgánicos provenientes de las cenizas, todos ellos con un efecto importante en los procesos de adsorción. Los grupos funcionales se forman durante el proceso de activación por interacción entre los radicales libres de la superficie del carbón que hacen que la superficie del carbón se haga químicamente reactiva y es la razón por la que afectan las propiedades adsorbentes, especialmente para moléculas de cierto carácter polar. Así, el carbón activado puede ser considerado en principio como hidrófobo, por su poca afinidad al agua, lo que es muy importante en aplicaciones de adsorción de gases en presencia de humedad, o de especies en disolución acuosa; pero la presencia de grupos funcionales en su superficie hacen que puedan reaccionar con el agua, haciendo que la superficie sea más hidrófila. La oxidación de un carbón, produce la formación de grupos hidroxilo (OH^-), carbonilo (RCHO), carboxilo (RCOOH), etc., que le dan al carbón un carácter anfótero, esto es,

carácter ácido y básico, a la vez. Esto influye en la adsorción de muchas moléculas.

Las propiedades más importantes a considerar al seleccionar un carbón son el diámetro de los poros y las características de los mismos. Los poros de un carbón activado se clasifican en tres, de acuerdo a su tamaño:

- Micro poros: 20 Å°
- Poros medios: 20 – 500 Å°
- Macro poros: 500 Å° a más.

Los micro poros, son poros con un radio de 20Å° o menos y son los que más área proporcionan. Son útiles para adsorber moléculas muy pequeñas, que generalmente se encuentran presentes en purificaciones de gases. Los poros medios están en el rango de 20Å°- 500Å° y aunque su contribución al área total es menor que los microporos, su tamaño les permite adsorber moléculas grandes que por lo general están presentes en purificaciones de líquidos. Los macro poros casi no contribuyen al área total de un carbón pero su importancia radica en que actúan como vías de acceso a los poros medios y microporos, afectando la

velocidad de difusión de las impurezas en el carbón. Para medir el área total y el tamaño de los poros se suelen utilizar algunos índices como:

- El índice de yodo.
- El índice de melaza.
- El índice de azul de metileno.
- El índice de tetra cloruro de carbono.
- El índice de butano.

Estos índices nos dan una idea de que tan fácil se adsorben las moléculas de distintos tamaños, por lo que podemos darnos una idea del tipo de poros que tiene un carbón. Normalmente es difícil que un carbón tenga poros de un solo tamaño, lo que Tiene es una determinada distribución. Cuando la media se inclina hacia los microporos se dice que el carbón es de "fase gaseosa"; en caso contrario, el carbón será para "fase líquida".

Tabla N° II. Uso del Carbón Activado en Fase Gaseosa

FASE GASEOSA		
Industria	Descripción	Uso Típico
Recuperación de solventes	Recuperación de los solventes orgánicos para optimizar la economía del proceso y para controlar emisiones del vapor	Fibras de acetato (acetona), productos farmacéuticos (cloruro de metileno), capa de película e impresión (acetato etílico), cinta magnética (MEK)
Bióxido de carbono	Purificación del bióxido de carbono de procesos de fermentación	Adsorción de alcoholes y de aminas
Respiradores industriales	Adsorción de vapores orgánicos	Para cumplir con los estándares de CEN 141 – Respiradores de tipo A
Disposición de desechos	Disposición de la basura doméstica, química y clínica por la incineración de alta temperatura	Retiro de metales pesados y de toxinas del humo
Cigarrillos	Incorporación como polvo o gránulo en extremidades del filtro	Extracción de algunos elementos dañosos del humo del cigarrillo, o control del gusto y del sabor
Aire acondicionado	Calefacción, ventilación y aire acondicionado (HEVAC)	Aeropuertos (olores del combustible parcialmente quemado), oficinas (olores mecánicos del motor, armarios (olores solventes)
Fibras compuestas	Impregnación de carbón activado pulverizado	Tratamiento del aire, mascarillas y respiradores, el desodorizante de la plantilla del zapato y el tratamiento de aguas
Desodorizantes para Refrigeradores	Unidades de filtrado	Retiro de los olores generales del alimento

Fuente: CLP Industrias

Tabla N° III Uso del Carbón Activado en Fase Líquida

FASE LIQUIDA		
Industria	Descripción	Uso Típico
Tratamiento de aguas potable	Los carbones activados granulares (GAC) instalados en filtros de rápida gravedad	Eliminación de contaminantes orgánicos disueltos y control de problemas del olor
Bebidas Embotelladas	Tratamiento de agua potable, esterilización con cloro	Eliminación del cloro y adsorción de contaminantes orgánicos disueltos
Elaboración de la cerveza	Tratamiento de agua potable	Remoción de los trihalometanos (THM)
Recuperación del oro	La operación del carbón como absorbente	La recuperación del oro disuelto en cianuro de sodio
Petroquímico	Reciclaje del condensado del vapor para el agua de alimentación de la caldera	Remoción de la contaminación del aceite y del hidrocarburo
Agua subterránea	Contaminación industrial de las reservas del agua subterránea	Reducción de los trihalometanos (THM) y de los halógenos orgánicos absorbibles (AOX) incluyendo el cloroformo, el tetracloroetileno y el tricloroetileno
Deshechos de Agua Industrial	Tratamiento efluente de proceso para satisfacer la legislación ambiental	Reducción de los trihalometanos (THM), de la demanda biológica del oxígeno (DBO) y de la demanda de oxígeno producido por reacción química (DQO)
Piscinas	Inyección del ozono para el retiro de contaminantes orgánicos	El retiro del ozono residual y en el control del los niveles de cloro

Fuente: CLP Industrias

Tabla N° IV Especificaciones del Producto

CARACTERÍSTICAS		VALOR
Humedad remanente luego de secado	%	0,4
Densidad aparente	g/ml	0,444
Ph		9,4
Porcentaje de residuo	%	1,2
Cloruros	%	0,013
Tamaño de partícula 4,75 ~ 3,35 mm	%	96,8
~ 4,75 mm	%	0,7
4,75 ~ 4,00 mm	%	74,8
4,00 ~ 3,35 mm	%	22,0
3,35 ~ 2,36 mm	%	1,2
2,36 ~ mm	%	1,3
Dureza	%	99,7
Actividad (tetracloruro de carbono)	%	72,8
Punto de ignición	°C	520

Fuente: CLP Industrias

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para la caracterización de los carbones se efectuaron análisis inmediatos: Determinación de porcentajes de humedad, cenizas, materia volátil, y poder calorífico. Análisis elemental: porcentajes de carbono, hidrógeno y azufre. Además, de las siguientes otras caracterizaciones.

3.3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE POROS DE LA MATERIA PRIMA.

Esta caracterización se ha llevado a cabo determinando distintas densidades, porosimetría de mercurio y microscopía electrónica de barrido. Se han determinado la densidad de empaquetamiento (masa en base seca por unidad de volumen que cabe perfectamente empaquetada en una probeta graduada, la densidad aparente (masa por unidad de volumen de las partículas incluyendo el volumen de la mayoría del sistema poroso, Hg) y la densidad real (masa por unidad de volumen del esqueleto carbonoso del sólido inaccesible al helio). Una vez conocidos el Hg y He se calculó el volumen total accesible al helio o volumen total de poros.

Mediante la técnica de porosimetría de mercurio se ha obtenido los volúmenes de macroporos (con más de 50 nanómetros de anchura), de mesoporos (entre 2 y 50 nm. de anchura) y el total de ambos o volumen acumulado. Con la técnica de microscopía electrónica de barrido se ha obtenido información de la morfología superficial del hueso.

3.3.2 CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE LA MATERIA PRIMA Y SUS CENIZAS.

El comportamiento térmico del hueso de cereza hasta 1273 K (1000°C) y de las cenizas hasta 1223 K (950°C) se estudió mediante termogravimetría, usando un sistema Mettler TA 3000. Los termogramas se obtuvieron calentando a una velocidad de 283K (10°C)/ minuto en atmósfera de nitrógeno (200cm³/minuto). El comportamiento térmico del hueso de cereza se ha estudiado también mediante calorimetría diferencial de barrido, empleando un equipo Mettler (configuración DSC), entre 303K (30°C) y 873K (600°C) en las condiciones de velocidad de calentamiento y atmósfera previamente descritos en la termogravimetría. Por ejemplo para el caso de materia prima como el hueso de cereza, el termograma da la siguiente información:

Sobre la pérdida de masa y variaciones térmicas que experimenta la materia orgánica e inorgánica del hueso de cereza cuando se calienta entre 303K (30°C) y 1273K (1000°C). Por analogía con las cuatro etapas claramente diferenciadas en el tratamiento térmico de la Mettler, los

efectos que ocurren en el tratamiento térmico del hueso de cereza se han asignado como sigue:

- a) La pérdida de masa entre 303K (30°C) y 473K (200°C) corresponde a la pérdida de humedad, y también a una posible eliminación de compuestos volátiles arrastrados por el vapor de agua. Esta etapa es endotérmica.
- b) A partir de 473K (200°C) y hasta aproximadamente 573K (300°C), los constituyentes menos estables del hueso de cereza se descomponen. Esta etapa es exotérmica a partir de 493K (220°C).
- c) Entre 573K (300°C) y 673K (400°C) tienen lugar reacciones exotérmicas. Los desprendimientos gaseosos son importantes. El residuo sólido a 673K (400°C) es ya carbón vegetal.
- d) d) A partir de 673K (400°C) continúa el desprendimiento gaseoso, debiendo corresponder principalmente a hidrocarburos a bajas temperaturas y a hidrógeno a altas temperaturas. Consecuentemente, el carbón vegetal se enriquecerá en carbono fijo.

3.3.3 CARACTERIZACIÓN DE DENSIDAD DE EMPAQUETAMIENTO

Es deseable que las materias primas que se utilizan en la fabricación de carbones activados tengan una densidad de empaquetamiento alta porque contribuye a una mayor resistencia del carbón activado a fragmentarse excesivamente durante su uso. En comparación con materias primas lignocelulósicas utilizadas en la fabricación de carbones activados, es de destacar el alto valor de la densidad de empaquetamiento ($0,76 \text{ g/cm}^3$); supera el de maderas blandas ($0,40 - 0,50 \text{ g/cm}^3$) y es algo menor que el valor límite superior de maderas duras ($0,55 - 0,80 \text{ g/cm}^3$).

3.3.4 NÚMERO DE YODO.

El número de Yodo se define como la cantidad de yodo expresado en miligramo adsorbido de una solución, de concentración conocida, determinada por gramo de carbón activado (mg.l/g de carbón adsorbidos), constituyendo una medida usada con cierta frecuencia como control de la capacidad adsorbente de un carbón activado. Existe en la bibliografía una serie de métodos recomendados para su

determinación. La mayoría de ellos consisten en añadir una cantidad de carbón a un volumen dado de una solución de concentración 0,1N de yodo, manteniendo agitada la mezcla durante un cierto periodo de tiempo, separando después el carbón y valorando el yodo no adsorbido con tiosulfato de sodio (Snell y Hilton, 1968).

3.4 USOS DEL PRODUCTO

3.4.1 USOS PARA FASE GASEOSA

Solo un 20% del carbón activado se emplea en adsorción en fase gaseosa, dado que es más caro en un 40%. Las principales aplicaciones son: recuperación de disolvente, control de las emisiones de gasolina, control de gases industriales, separación de gases, eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales, soporte de catalizadores, filtros de cigarrillos, máscaras anti-gases, en el control de emisión de automóviles, etc.

3.4.2 USOS PARA FASE LÍQUIDA

El 80% de los carbones activados se emplean para la adsorción en fase líquida. Las principales aplicaciones están relacionadas con el tratamiento de aguas:

1. Aguas potables, consume el 25% y su misión fundamental es complementar la desinfección y filtración habituales, mediante la adsorción de productos tóxicos y otros materiales orgánicos.
2. Aguas residuales; consume el 20% del consumo en fase líquida.
3. Decoloración de edulcorantes, consume el 20%, es el caso del azúcar y los sirupos.
4. Industria química, purificación de glicoles, colorantes, hidróxido de potasio, ácido clorhídrico y fosfórico, etc.
5. Industria alimentaria, como aceites, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, café descafeinado, etc.

6. Industria metalúrgica, en la extracción de oro como complejo cianurado.
7. Otras, como la industria farmacéutica, como antibióticos, vitaminas, disoluciones intravenosas, en pastillas para corregir problemas intestinales, catálisis, electrodeposición, filtros de refrigerador, peceras, etc.

El mercado a nivel mundial, es del orden de 650 mil toneladas producidas por año para todas sus aplicaciones.

3.5 FÍSICO QUÍMICA DEL PRODUCTO

El carbón activado realiza su función mediante un proceso de adsorción y desorción. 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. 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 o más, por gramo 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. Para darnos una idea más clara de la magnitud de la misma, imaginemos un gramo de carbón en trozo el cual moleremos muy fino para incrementar su superficie, como resultado obtendremos un área aproximada de 3 a 4 metros cuadrados, en cambio, al activar el carbón logramos multiplicar de 200 a 300 veces este valor. Por todo ello, cuando se desea remover una impureza orgánica que causa color, olor o sabor indeseable, normalmente la adsorción con carbón activado suele ser la técnica más económica y sencilla.

3.6 ESTUDIO TÉCNICO

3.6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.

Los procesos de fabricación se pueden dividir en dos tipos: activación física o térmica y activación química. La porosidad de los carbones preparados mediante activación física es el resultado de la gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas, mientras que la porosidad que se obtiene por la activación química es generada por reacciones de deshidratación química, que se lleva a cabo a temperaturas más bajas.

La activación consiste en crear una gran cantidad de poros en un carbón, dando como resultado una estructura extremadamente porosa de gran área superficial disponible para llevar a cabo el proceso de adsorción de diferentes sustancias.

Las etapas del proceso son las siguientes:

a. Secado de la Materia Prima

El proceso de secado se puede hacer al sol en forma manual, o en un horno de sacado a nivel de laboratorio o en hornos adecuados a nivel industrial.

b. Carbonización

El carbón primario se obtiene mediante el proceso de carbonización, que implica la descomposición térmica o pirólisis de la materia prima en ausencia de aire, teniendo lugar la eliminación de materias volátiles y los productos de la descomposición pirolítica y dando como resultado una masa carbonosa con alto contenido de carbono fijo y una estructura porosa incipiente.

La carbonización industrial, se realiza principalmente en hornos rotatorios construidos en acero inoxidable y revestido con materiales refractarios para soportar las temperaturas de carbonización de hasta 973K (700°C).

La carbonización a nivel de laboratorio se puede efectuar en un horno tubular, en atmósfera de nitrógeno, con calentamiento continuo 275K/min. (2°C/min.). Se pueden

estudiar tres valores de temperatura tales como: 873K (600°C), 973K (700°C), o 1023K (750°C). Una vez alcanzada la temperatura de estudio, se debe mantener la muestra en el horno por un período de 60 minutos, sacarla del horno y se dejarla enfriar a temperatura ambiente.

c. Activación Física y Química

Activación Física

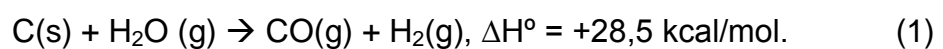
La activación física se lleva a cabo después de haber realizado la carbonización, en la que se elimina principalmente la materia volátil de la materia prima, para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria.

La activación física, se realiza mediante la gasificación, en la que el carbonizado, se expone a una atmósfera oxidante que elimina los remanentes de la materia volátil y átomos de carbono, aumentando el volumen de los poros y la superficie específica. La carbonización y la activación se realizan en distintos tipos de horno, principalmente hornos rotatorios con carcasa de acero y revestimiento refractario, para soportar temperaturas del orden de 1 273K (1 000°C).

Durante la gasificación el carbonizado se expone a una atmósfera oxidante (vapor de agua, dióxido de carbono, o mezcla de ambos) que elimina los productos volátiles y átomos de carbono, aumentando el volumen de poros y el área específica. El vapor de agua se produce en calderas. El agua que usan las calderas para producir el vapor debe ser tratada para reducir su dureza, pues de otra forma se producen incrustaciones en los intercambiadores de la caldera.

Activación Física con Vapor de Agua

La activación física del carbón con vapor de agua es el proceso más económico y menos corrosivo y se realiza a temperaturas inferiores a las aplicadas en la activación química tradicional, lo que simplifica el proceso. Todo ello se traduce en un menor costo, así como en un menor impacto en el medio ambiental. La activación física con vapor de agua es un proceso complicado que se lleva a cabo en un horno rotatorio a temperaturas elevadas 1073K – 1273K (800°C – 1000°C). En la activación física ocurre la siguiente reacción endotérmica:



Que elimina átomos de carbono, generando una mayor porosidad.

El tiempo de activación es de 2 horas con una presión de vapor de 275,8KPa (40psi). Al finalizar se evacua la muestra del reactor y se dejaba enfriar a temperatura ambiente.

Activación Física con Dióxido de Carbono

La activación física con dióxido de carbono, emplea una atmósfera de dióxido de carbono a temperaturas entre 1073K (800°C) y 1098K (825°C). El dióxido de carbono a temperaturas inferiores a 973K (700°C) actúa como un gas inerte, pero cuando se supera esta temperatura manifiesta su poder oxidante incrementando la porosidad del material mediante la reacción:



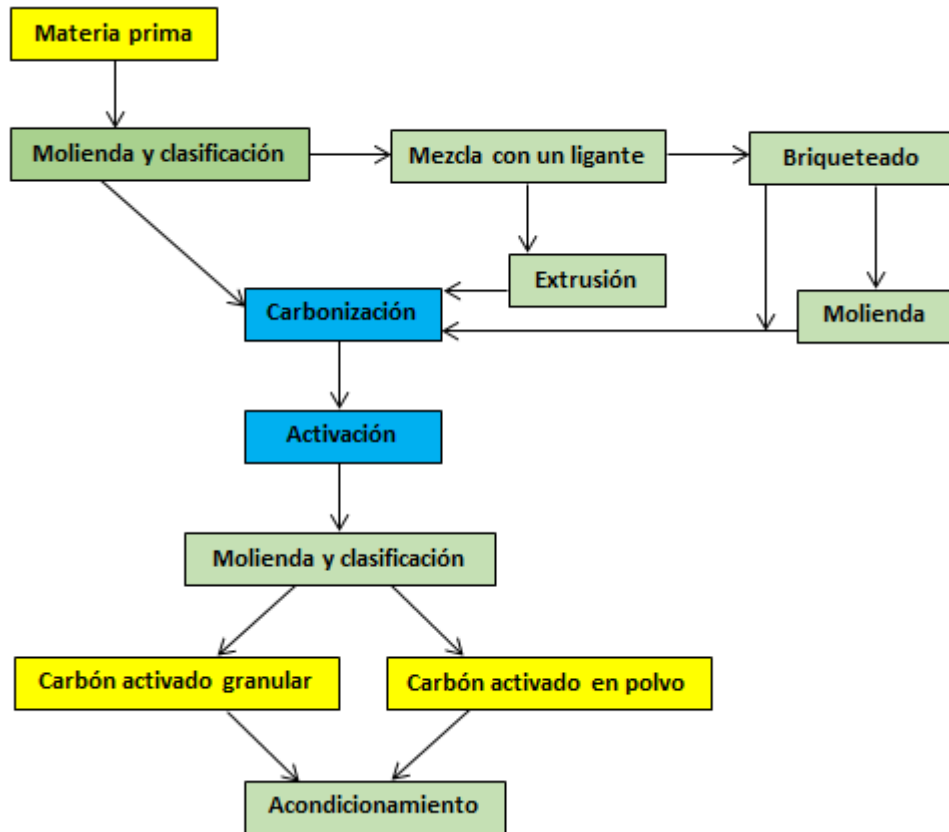


Figura N°6. Diagrama del Proceso de Producción Mediante Activación Física

Fuente: Instituto Nacional del Carbón, España.

Activación Química

La porosidad de los carbones que se obtiene por activación química es generada por reacciones de deshidratación química, que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas. En este proceso el material a base de carbón se impregna con un agente químico, principalmente ácido fosfórico

(o cloruro de zinc) y el material impregnado se calienta en un horno a 773K - 973K (500°C – 700°C). Los agentes químicos utilizados reducen la formación de materia volátil y alquitranes. El carbón resultante se lava para eliminar los restos del agente químico usado. Este carbón es llamado carbón secundario.

En la actualidad se han desarrollado carbones de muy altas superficies específicas de más de 3000 m²/g, utilizando hidróxido de potasio.

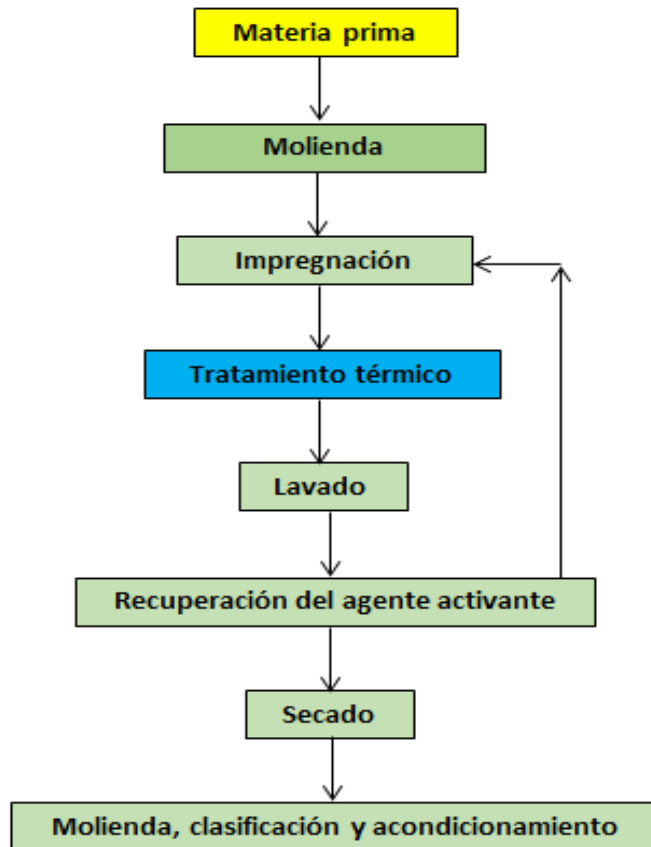


Figura N° 7. Diagrama de Producción Mediante Activación Química

Fuente: Instituto Nacional del Carbón, España.

d. Enfriamiento y Secado de los Materiales Tratados.

El proceso de enfriamiento, que se lleva a cabo al final del horno, tiene como fin reducir la temperatura del tratamiento térmico a la salida del horno, con la intención de facilitar las operaciones de manejo y embalaje del material.

e. Clasificación y Envasado

La clasificación y envasado se refiere al proceso de trituración y/o tamizado final, porque durante el proceso de activación las partículas de carbón reducen su tamaño y eventualmente se producen finos. Estos tienen que ser eliminados. Además, cuando se requiere una granulometría específica en el producto final, esta es controlada en esta etapa.

f. Regeneración

Una vez que el carbón activado ha sido saturado con los componentes que debe adsorber en una aplicación industrial puede ser regenerado mediante una serie de procesos, para así recuperar su estado original.

Las ventajas de la regeneración son principalmente que se reduce el costo para el usuario y que se reduce el problema de la eliminación o almacenamiento del material gastado. La regeneración puede hacerse en la propia instalación del usuario o en los sistemas de regeneración de los propios fabricantes. El método más simple de

regeneración es la desorción de las sustancias adsorbidas por tratamiento térmico o por desgasificación.

Lo que se suele hacer es pasar una corriente de vapor de agua sobrecalentado o de gas inerte a alta temperatura a través del lecho de carbón; este procedimiento es la base del proceso de recuperación de disolventes y del sistema PSA (pressure swing adsorption) utilizado en la separación de mezclas de gases. En algunos casos la regeneración se lleva a cabo en condiciones de activación para descomponer y desorber las sustancias adsorbidas y es en la práctica una reactivación. Aunque es posible regenerar cualquier tipo de carbón activado, la regeneración está en este momento casi restringida al carbón granular, por su mayor costo, porque en el caso del carbón en polvo las pérdidas de material pueden ser demasiado elevadas.

Otros Tratamientos.

Además, de los métodos específicos de fabricación de carbón activado, en ocasiones es necesario producir variedades de carbón especiales, por lo que una vez

fabricados es necesario realizar tratamientos posteriores. Así es común, por ejemplo para aplicaciones como la industria farmacéutica, que se deba eliminar la mayor parte de las impurezas inorgánicas tales como cenizas. Para esto los productores suelen lavar el carbón con ácido clorhídrico, lo que debe ir seguido de un lavado con agua.

Puesto que las propiedades adsorbentes del carbón activado vienen también condicionadas por la naturaleza química de su superficie, es común someter el carbón a un tratamiento adicional para modificar parcialmente su superficie. Si la modificación implica grupos superficiales de oxígeno, las dos opciones más importantes son la oxidación con aire, ácido nítrico o peróxido de hidrógeno (la selección del cual estará basada en el número y tipo de grupos que se van a introducir), y el tratamiento en helio o hidrógeno a alta temperatura para reducir parcial o totalmente los grupos superficiales de oxígeno.

Otras posibles modificaciones del carbón activado pueden ser la introducción de grupos halógeno con cloro o

bromo, de grupos azufre con sulfuro de hidrógeno y de grupos nitrógeno con amoníaco, aumentando así las posibilidades de retención de compuestos específicos. Una aproximación diferente es la impregnación del carbón activado con productos químicos específicos. Así, los carbones que se utilizan para la protección frente a gases tóxicos en guerra química (cianuro de hidrógeno, cloruro de cianógeno, etc.) Son impregnados con sales de cromo y cobre. El carbón activado impregnado con yoduro potásico o con aminas es utilizado en los reactores nucleares para la retención de compuestos de yodo radiactivos.

3.7 ASPECTOS TÉCNICOS A TENERSE EN CUENTA

3.7.1 COMPOSICION DE LA MATERIA PRIMA

Un precursor adecuado para obtener carbones activados debe tener alto contenido de carbono fijo y de materia volátil, alta densidad de empaquetamiento y bajo contenido de cenizas.

Los métodos de preparación del carbón activado y la naturaleza del precursor influyen en el rendimiento, las

características texturales y adsorbentes del carbón activado. El tipo de agente activante, la razón de impregnación y la temperatura son los parámetros más importantes.

La pepa de níspero es un buen precursor para preparar carbón activado, debido a su bajo contenido de cenizas (0,46%) y azufre (0,14%), alto contenido de volátiles y carbono fijo (81,3 y 58%), respectivamente.

La tabla N° V muestra los resultados del análisis aproximado de la pepa de níspero, donde se observa un bajo contenido de cenizas y un alto contenido de volátiles, valores semejantes a los obtenidos para las pepas de cerezas y albaricoque de los análisis realizados mediante difracción de rayos X analíticos, se determinó la composición química del precursor. La tabla N° VI, muestra un alto contenido de carbono (57,72%) y un contenido bajo de azufre (0,14%). Se observa una relación O/C de 0,68 típico de un material lignocelulósico. Un bajo contenido de S, favorece el desarrollo de elevadas áreas superficiales.

Tabla N° V. Propiedades de la Pepa del Níspero

Análisis proximal (% en peso)			
Humedad	Volátiles	Cenizas	Carbón fijo
2,93	81,33	0,46	15,26

Fuente: Compañía de Carbones Activados Carbonapelsa, México

Tabla N° VI. Elementos contenidos en la Pepa del Níspero

Elementos contenidos (% en peso)							
C	O	Ca	Al	K	Cl	Si	S
57,72	38,99	1,63	0,6	0,38	0,29	0,25	0,14

Fuente: Compañía de Carbones Activados Carbonapelsa, México

3.7.2 RENDIMIENTO DE LOS CARBONES.

$$\% \text{ Rendimiento} = \left(\frac{\text{peso del producto final}}{\text{peso del precursor}} \right) \times 100 \quad (2)$$

El rendimiento del carbón activado, es un parámetro muy importante debido a que nos permite conocer si el precursor y el método usado resultan económicos. En la tabla N° VII observamos, en general, que el rendimiento del carbón activado disminuye con el incremento de la temperatura y la razón de impregnación, para ambas series activadas con KOH y H₃PO₄. Se obtienen mejores rendimientos para los carbones activados con H₃PO₄, serie en la que las variaciones son mínimas; los rendimientos obtenidos en el orden de 46,2% -

54,3%, coinciden con los reportados por otros investigadores para precursores similares frente a valores entre 19,2% - 28,9% obtenidos para los activados con KOH.

Tabla N° VII. Carbones Activados Preparados, Parámetros de Activación y Rendimiento

Carbón	Razón de impregnación (g de agenteactivante/gde recurso)	Temperatura de activación (°C)	Rendimiento (%)
NF0,54-300	0,54	300	54,3
NF0,54-400	0,54	400	53,5
NF0,54-500	0,54	500	53,2
NF0,67-300	0,67	300	50,8
NF0,67-400	0,67	400	50,6
NF0,67-500	0,67	500	49
NF0,94-300	0,94	300	47,3
NF0,94-400	0,94	400	46,9
NF0,94-500	0,94	500	46,2
NK0,5-500	0,5	500	24,6
NK0,5-600	0,5	600	24,5
NK0,5-700	0,5	700	19,2
NK0,75-500	0,75	500	24,3
NK0,75-600	0,75	600	24,1
NK0,75-700	0,75	700	20,8
NK1,0-500	1,0	500	28,9
NK1,0-600	1,0	600	26,4
NK1,0-700	1,0	700	25,3
M-2184	-	-	-

Fuente: Compañía de carbones activados Carbonapelsa, México.

El rendimiento de carbón activado tiende a disminuir con el aumento de la razón de impregnación y el aumento de la temperatura de activación. Los carbones obtenidos con H_3PO_4 , tuvieron los más altos rendimientos y esencialmente fueron carbones microporosos.

3.7.3 PARÁMETROS DE ADSORCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

Los siguientes parámetros influyen en la capacidad de adsorción del carbón activado:

Área de la superficie: La capacidad de adsorción es proporcional al área de la superficie.

Tamaño de los poros: La correcta distribución de los tamaños de poros es necesaria para facilitar el proceso de adsorción proveyendo sitios de adsorción y apropiados canales para transportar el la sustancia a adsorberse.

Tamaño de partículas: Partículas más pequeñas entregan mayores radios de adsorción. El área total de la

superficie es determinada por el grado de activación y la estructura de los poros y no del tamaño de las partículas.

Temperatura: Temperaturas menores incrementan la capacidad de adsorción excepto en el caso de líquidos viscosos.

Concentración de la sustancia a adsorberse: La capacidad de adsorción es proporcional a la concentración de la sustancia a adsorberse.

pH: La capacidad de adsorción está influenciada significativamente por el pH.

Tiempo de contacto: Un suficiente tiempo de contacto es requerido para alcanzar el equilibrio de adsorción y para maximizar la eficiencia de adsorción.

3.7.4 ÍNDICES ASOCIADOS A LOS CARBONES ACTIVADOS

Los niveles de adsorción de un carbón activado pueden ser medidos mediante los siguientes índices:

Índice de Yodo.

Es el parámetro fundamental usado para caracterizar el funcionamiento del carbón activado y sirve para determinar:

- a) El nivel de actividad (los números más grandes indican mayor grado de activación).
- b) La medida del contenido del microporo.
- c) Equivalente al área de superficie del carbón activado en m^2/g .
- d) Medida estándar para aplicaciones en fase líquida.

Índice Azul de Metileno

Mide la estructura de los mesoporos.

Índice de Melaza

- a) Mide la estructura de macroporos.
- b) Es importante para establecer la capacidad de decoloración.

Área de la Superficie

Mide la capacidad de adsorción. La razón tamaño de los poros/volumen del poro es también importante para determinar el funcionamiento.

Densidad Aparente

Densidades mayores entregan un mejor volumen de actividad y normalmente indica carbones activados de mejor calidad.

Tamaño de Partículas

Tamaños menores proveen radios de adsorción más rápidos el cual reduce la cantidad de tiempo de contacto requerida.

Dureza

- a) Mide la resistencia al agotamiento de los carbones activados.

- b) Es un indicador importante para mantener su integridad física, mantener las fuerzas friccionales impuestos por repercusiones, etc.

Contenido de Ceniza

- a) Reduce toda la actividad del carbón activado.

- b) Reduce la eficiencia de reactivación.

En la siguiente tabla N° VIII, se observan las características que se pueden obtener a partir de las materia primas más utilizadas en el mercado, índices que se pueden obtener mediante un adecuado del control de las variables que influyen en el proceso tales como temperatura, tiempo de residencia y agente oxidante utilizado.

Tabla N° VIII. Propiedades de Algunos Carbones Activados Obtenidos a Partir de Diferentes Materias Primas

Propiedades / Materia prima utilizada	Cáscaras de coco y cuescos de carozos	Carbón vegetal	Lignito	Madera (en polvo)
Microporo	Alta	Alta	Media	Baja
Macroporo	Bajo	Medio	Alto	Alto
Dureza	Alto	Alto	Bajo	No aplicable
Cenizas	5%	10%	20%	5%
Ceniza soluble en agua	Alta	Baja	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	1.000	600	1.000

Fuente: Carbochem, Ardomer (USA)

Se observa que el carbón activado fabricado a partir de cuescos de frutas (en general carozos como durazno y damascos) o cáscaras de frutas (coco, maní y nuez) se pueden

obtener carbones 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 grado de cenizas (a mayor % 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:

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

3.8 PRUEBAS DE LABORATORIO

La metodología experimental consta de una primera etapa en la que la materia prima se somete a análisis elemental y termogravimétrico, determinándose propiedades relevantes del precursor del carbón activado. En una siguiente etapa se procede al diseño y construcción de un horno hermético de acero, ladrillo y mortero refractario con una capacidad de 0,1 m³ de volumen, con dos orificios abiertos en la parte baja de cada contra-cara del dispositivo, que permiten una combustión completa sin llama.

Este horno, se opera a presión atmosférica, cerrado y en combustión con deficiencia de oxígeno. Posteriormente, el material carbonizado se somete a un proceso de trituración y adecuación de tamaño de partícula y se le realiza un análisis elemental, llevando el material homogenizado y caracterizado a un proceso de activación física con vapor de agua sobrecalentado. Finalmente, se determinaron las propiedades de adsorción del carbón activado obtenido.

3.8.1 DIAGRAMA DE FLUJO

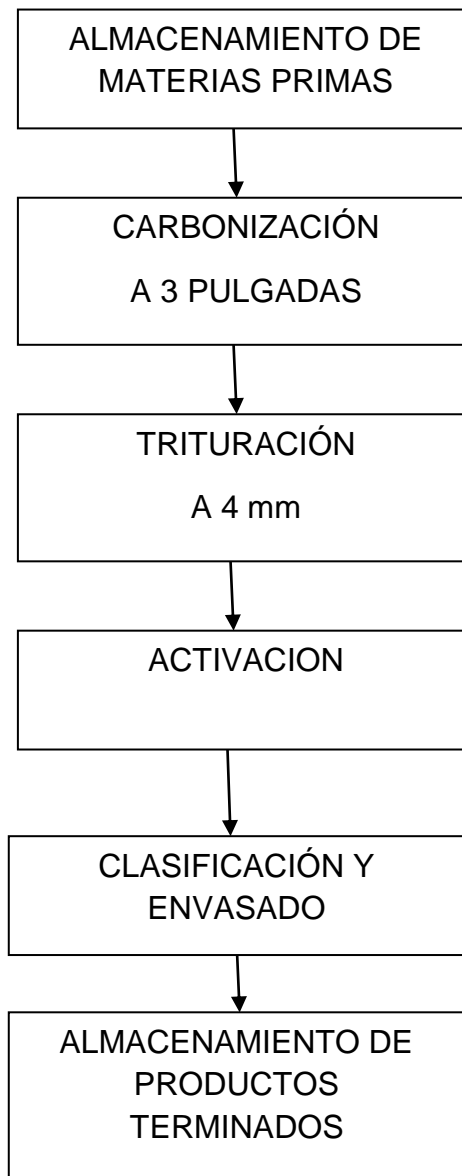


Figura 6. Diagrama de Flujo del Proceso

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

3.9 PRUEBAS METALÚRGICAS A NIVEL DE LABORATORIO

Tabla N° IX. Procedimiento de las Pruebas de Laboratorio

1. OBTENCIÓN DE MATERIAS PRIMAS	
2. MOLER LAS PEPAS DE ACEITUNA A 4-5 mm	
3. SECAR LAS PEPAS EN MUFLA A 373K (100°C) HASTA PESO CONSTANTE	
4. EFECTUAR UN ANALISIS INMEDIATO Y UN ANALISIS ELEMENTAL	
5. PESAR 50 GRAMOS DE PEPAS	
6. REALIZAR LA CARBONIZACIÓN EN UN REACTOR TUBULAR DE LECHO FIJO A 873K (600°C), <973K (700°C), EN AUSENCIA DE AIRE, con un tiempo de carbonización de 1 h	
7. REALIZAR LOS DOS PROCEDIMIENTOS SIGUIENTES DE ACTIVACIÓN	
8. PREPARAR 250 ml SOLUCIÓN IMPREGNANTE DE H ₃ PO ₄ (ÁCIDO FOSFÓRICO) AL 85%	
9. ACTIVACIÓN FÍSICA CON VAPOR DE AGUA: C + H ₂ O \longleftrightarrow H ₂ + CO	ACTIVACIÓN QUÍMICA (<500°C), CON ACIDO FOSFORICO H ₃ PO ₄
	El H ₃ PO ₄ retarda la oxidación del carbón
Temperatura de activación: 1073K – 1123K (800°C - 850°C)	Adicionar 1 ml de H ₃ PO ₄ al 85% por cada gramo de muestra. Hacer otras pruebas con 0,5 ml y 0,75 ml
Tiempo de contacto con el vapor: 2h - 4 h	Calentar en la parrilla eléctrica hasta 158°C, hasta evaporar el ácido fosfórico. En caso de agitación 3 h a 323K (50°C)
Tasa alimentación del vapor: 0,75 lb/h/lb carbón	Enjuagar con agua destilada para eliminar los residuos de ácido y 5% NaHCO ₃ hasta pH de 5,5
Presión de vapor: 275,8 KPa(40 psi)	Secar a 70°C hasta peso constante

Fuente: Universidad de Alicante de España, Facultad de Ciencias

Tabla N° X. Preparación del Indicador Comprobación con Colorímetro

1. Preparar solución con colorante vegetal. 1 gramo de colorante por 100 ml de agua pura
2. Diluir a proporción de 1 ml de solución concentrada en 100 ml de agua pura
3. Colocar un embudo en un soporte y un vaso de vidrio en la base
4. Cortar papel filtro de 13 x 13 cm, humedecerlo y colocarlo en el embudo
5. Colocar un gramo de carbón activado
6. Vaciar 20 ml de dilucide colorante vegetal en el embudo
7. Repetir con cada muestra
8. Comparar resultados con ayuda de un espectrofotómetro

Fuente: Universidad de Alicante de España, Facultad de Ciencias

Tabla N° XI. Procedimiento para Determinar el Número de Yodo, (mg. de Yodo Absorbido por Mg. de Carbón Activado)

1. Pesar 1 gramo de carbón activado con una granulometría menor a 0,1 mm (malla 20)
2. Secar a 423K (150°C), hasta peso constante
3. Colocar 10 ml de HCl al 5%, en un matraz, agitar hasta que el carbón este mojado
4. Colocar matraz en plancha caliente, hasta ebullición, 30 segundos para eliminar S
5. Enfriar a temperatura ambiente
6. Agregar con pipeta 100 ml de solución de yodo 0,10 N
7. Tapar matraz y agitar vigorosamente 30 segundos
8. Filtrar por gravedad y descartar los primeros 20 ml del filtrado
9. Colectar el resto en un vaso de precipitados limpio y agitar
10. Pipetear 50 ml del filtrado a otro matraz Erlenmeyer
11. Titular la muestra con tiosulfato de sodio 0,10 N, hasta que color amarillo desaparezca
12. Agregar solución de almidón y continuar la titulación hasta que color azul del indicador desaparezca
13. Registrar el volumen de la solución de tiosulfato de sodio utilizado
Calcular el número de Yodo mediante la relación: $N^{\circ} \text{ yodo} = X \cdot A / M$ X = mg de yodo absorbidos por el carbón activado M = masa del carbón activado en gramos A = factor de correlación después de la normalidad residual

Fuente: Universidad de Alicante de España, Facultad de Ciencias

3.10 REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

Las pruebas de laboratorio, para nuestra investigación se han realizado con 1,93Kg de hueso de aceituna húmedos, a una granulometría de menos malla 6 (- 3,36 mm) y de 1,78 Kg de hueso de aceituna seco.

Tabla N° XII. Procedimiento de las Pruebas para Nuestra Investigación

1. TRITURACION DEL HUESO DE ACEITUNA Se trituraron para obtener una granulometría de – 3,36 mm (menos malla 6)
2. OBTENCION DE LA MATERIA PRIMA Se tomó un total de 1,93 kg de hueso de aceituna húmedo.
3. SECAR EL HUESO EN MUFLA A 100°C HASTA PESO CONSTANTE Se obtuvo un peso de 1,78 Kg de hueso de aceituna seco
4. EFECTUAR UN ANALISIS INMEDIATO Y UN ANALISIS ELEMENTAL
5. CARBONIZACIÓN EN UN REACTOR TUBULAR DE LECHO FIJO A 873K (600°C), en ausencia de aire, con un tiempo de carbonización de 1 h. Se realizó en 8 partes, carbonizándose un total de 1,78 Kg de hueso de aceituna seco, para obtenerse 395 gramos de carbón carbonizado, listo para realizar la etapa final de la activación.
6. ACTIVACION FISICA CON VAPOR DE AGUA: $C + H_2O \longleftrightarrow H_2 + CO$ Se realizaron cuatro pruebas, para cada prueba se tomó un peso de 28 g
PARAMETROS DE LAS PRUEBAS DE ACTIVACIÓN
Temperatura de activación: 1023K (750°C)
Tiempo de contacto con el vapor: 4 h y 8 h
Tasa alimentación del vapor: 1- 2 ml / min/g °C

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

Tabla N° XIII. Pruebas para la Activación con Vapor de Agua

MUESTRA N°	TEMPERATURA ° C	TIEMPO horas	FLUJO VAPOR ml / min	PRESIÓN PSI
1	750	8	1	20
2	750	4	1	20
3	800	4	1	20
4	650	4	2	20

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo



REACTORES PARA LA CARBONIZACION



HUESO DE ACEITUNA SECO



CARBONIZACION



INSTALACION TOTAL ACTIVACION CON VAPOR DE AGUA

Figura N° 7. Fotografía de la Materia Prima y Equipos en el Laboratorio

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

CAPITULO IV

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Tabla N° XIV. Análisis de la Materia Prima.

	HUMEDO (%)	SECO (%)
MATERIA VOLATIL	71,53	77,75
HUMEDAD	8,00	0
CENIZAS	2,45	2,66
CARBONO FIJO	18,02	19,59

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

Se observa que el nivel de materia volátil; es bueno y el nivel de cenizas es bajo y aceptable, por lo que se estima que el carbón activado producido será aceptable.

Tabla N° XV. Resultados del índice de Yodo

MUESTRA N°	INDICE DE YODO
1	510
2	503
3	520
4	440
COMERCIAL	480

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

Tomando como referencia, el índice de Yodo de un carbón activado comercial. Los valores del índice de Yodo de los carbones producidos, mayores que el de la muestra comercial, indican que el carbón obtenido de hueso de aceituna por medio de una activación con vapor de agua posee un área superficial similar que el carbón activado comercial.

Los índices de Yodo ligeramente superiores, se deben a un buen tiempo de activación, probablemente ligeramente mayores a los utilizados en la producción industrial.

La temperatura, es una variable importante dado que un incremento de 323K (50°C), produce un incremento perceptible en el número de yodo.

La muestra N° 4, no es representativa del proceso, dado que al incrementar el flujo de vapor, no se pudo controlar la temperatura del vapor que ingresaba al reactor, produciendo un descenso de su temperatura. Esta dificultad de control fue debido a que no se pudo sellar herméticamente el horno que calentaba el serpentín, perdiéndose calor e imposibilitando mantener una temperatura más alta, lo que ocasiono que llegara vapor más frío, por el mayor flujo y que finalmente enfriara el reactor hasta los 923K (650°C). El sellado hermético del horno produciría un deterioro del refractario del horno, por lo que no se forzó un sellado de este tipo.

CAPITULO V

DISEÑO DE LA PLANTA

5.1 CRITERIOS PARA DISEÑAR UNA PLANTA PILOTO

La unidad debe estar compuesta de tres secciones:

1. Un molino.
2. Un horno rotatorio.
3. Una cámara de enfriamiento.

El horno rotatorio consta de un cuerpo cilíndrico, el cual utiliza ladrillo refractario en la parte interior de un cilindro de acero que será la estructura, con una capa exterior de aislante térmico y una lámina que sostenga dicho aislante. Para la rotación de este cuerpo cilíndrico se le colocaran anillos de acero que tendrían la función de estar en contacto con los apoyos que permitan la libre rotación, además de un engrane, que será donde se genere la rotación para el horno rotatorio. El sistema de alimentación será una tapa que tendrá una chute por la cual se alimentará la materia prima molida al horno rotatorio.

También se instalará un quemador que será el que genere el calor necesario. Para el sello de la tapa con el cuerpo cilíndrico se utilizará una cejilla tipo C de forma tal que la pérdida de los gases sea mínima y a la vez no interfiera con la rotación del horno.

El sistema receptor es el que recibe el material (carbón activado). Así mismo, en este sistema se genera la activación por medio de vapor de agua. Para generar el vapor de agua se utiliza un difusor, el cual enviará 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. Con esto, se logra llevar a cabo la activación, controlar los gases internos del horno y disminuir la temperatura a la salida del material. El sistema receptor podrá ser desplazado de manera horizontal, cuando sea necesario, para dar mantenimiento al horno.

La inclinación del horno rotatorio debe ser de 5%. Los gases calientes serán los obtenidos del quemado del combustible (gas natural) que se encuentra en una cámara de combustión central, y serán los que proporcionen la energía necesaria para la reacción de activación. El vapor de agua (con aire) será inyectado como

agente de activación en modo de contracorriente. Se supone que el lecho sólido se moverá como un pseudo-fluido con un desplazamiento axial y sin retro-mezclado, y éste se irá desplazando en dirección transversal como el cilindro vaya rotando. En la primera sección longitudinal del horno, se realizará el precalentamiento de la carga hasta la temperatura de operación, donde se liberará 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.

5.2 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

La producción nacional de aceitunas es del orden de 40 000 toneladas y la producción de Tacna es el 60% de la producción nacional.

Se considera que Tacna produce 24 000 toneladas de aceituna y que el 15% es la disponibilidad total de hueso de aceituna, esto es 3 600 toneladas al año.

Para el presente estudio se ha considerado que se podría disponer del 25% del total de hueso de aceituna, esto es 900 toneladas.

Con una carga de hueso de aceituna de 900 toneladas con una humedad de 10% y teniendo en cuenta que el rendimiento del proceso es de 35% en la etapa de la carbonización y que en la activación el rendimiento es de 95%. La capacidad de producción de la planta es de 269 toneladas de carbón activado al año. El cálculo es el siguiente:

Carga seca : $900 \times 0,90 = 810$ toneladas/año

Salida carbonización : $810 \times 0,35 = 284$ toneladas/año

Salida activación : $284 \times 0,95 = 270$ toneladas/año

5.3 ESPECIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

5.3.1. HORNO ROTATORIO

- Dimensiones:

Diámetro Interior: 2,5 metros

Longitud Interior: 5 metros

- Cámara interior construida en ladrillo aislante en cara fría y concreto de alta resistencia mecánica en cara caliente. Se considera una junta de dilatación para absorber contracciones y dilataciones del concreto.
- Rotación mediante motor reductor y acople mecánico.
- Calentamiento mediante quemador con fuel oil.
- El proceso de calentamiento del material a procesar se llevará a cabo en 20 minutos y durante ese tiempo el cilindro del horno estará rotando a una velocidad determinada, comandada desde un variador de frecuencia. Simultáneamente el cilindro será inclinado verticalmente en dos sentidos para agitar el material, hasta que se cumpla el tiempo de residencia. La cámara interior dispondrá de paletas de acero refractario destinadas a producir un contacto pleno del producto con la fuente de calor. Una vez cumplido el proceso de exposición se inclinará el cilindro de tal modo que se produzca la descarga y se pueda iniciar un nuevo ciclo.
- El tablero de control contendrá todos los elementos de protección, control, comando y señalización. Variador de

velocidad, PLC, controladores de temperatura, indicador de velocidad y tiempo.

- El horno dispondrá de una doble base de soporte para contener el sistema motorizado de rotación y el sistema hidráulico de inclinación.
- El horno posee una tolva de carga a través de la cual se ingresa el material al horno.

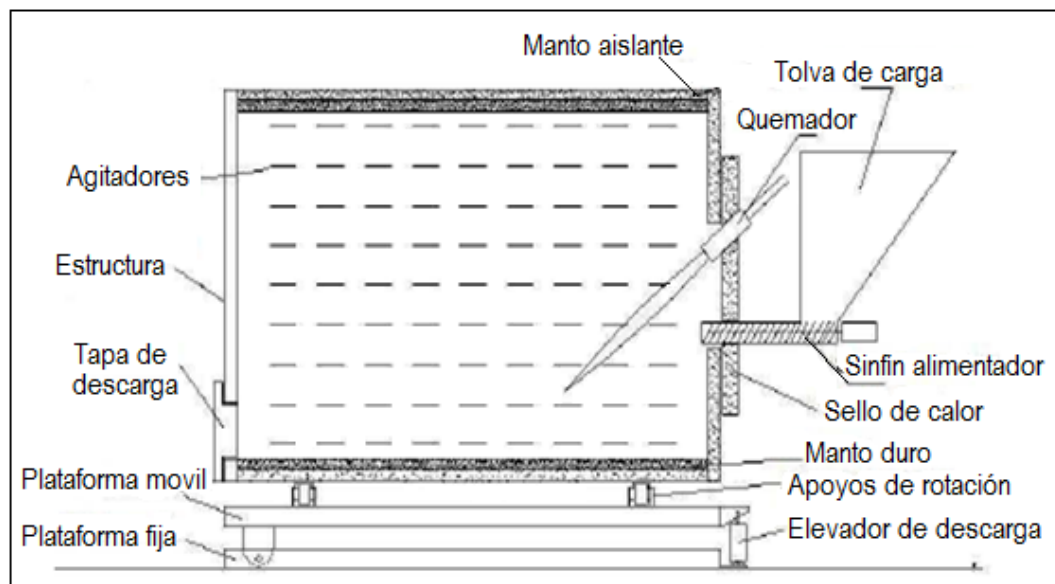


Figura N° 8. Esquema Horno Rotatorio

Fuente: Guía de Productos Aguamarket

5.3.2. ENFRIADOR

Los equipos rotatorios normalmente son operados entre un 3% y un 12% de su volumen lleno con material sólido. En este caso el volumen corresponde a aproximadamente un 8,7%. Luego el volumen del enfriador debe ser de $3,5 \text{ m}^3$ y sus dimensiones son:

- Largo: 6,5 metros
- Diámetro interno: 0,70 metros
- Diámetro externo: 1,11 metros

Potencia: 2 HP

Peso: 3 toneladas

Volumen: $2,5 \text{ m}^3$

Lo que ingresa al enfriador; es el material sólido que sale del horno. De acuerdo a los cálculos ya realizados la cantidad de material que ingresará a este horno es de 130 kg/h

El material luego de ser procesado en el horno debe pasar al enfriador/secador para ser enfriado. Este equipo debe ser utilizado en ambas etapas. El enfriamiento se justifica pues el material sale al rojo vivo del horno y al exponerlo a un

enfriamiento lento se afecta su calidad, además por razones de seguridad para los operarios y además porque el material debe ser transportado hasta el silo de almacenamiento.

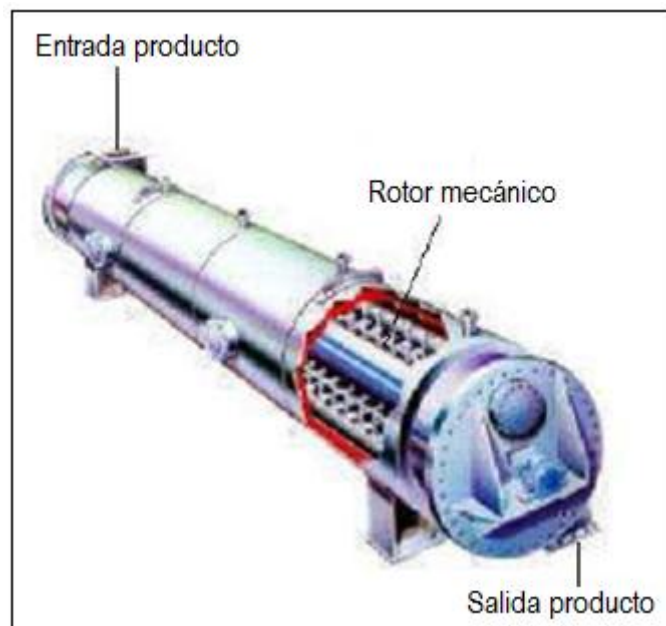


Figura N° 9. Esquema del Enfriador

Fuente: Guía de Productos Aguamarket

5.3.3. TOLVA DOSIFICADORA

Por lo tanto se requiere de una tolva cuyo volumen mínimo sea de 5,2 m³

5.3.4. CHANCADORA DE QUIJADAS

La chancadora primaria será utilizada antes de la carbonización del hueso de aceituna para darle un tamaño adecuado para ser procesado. El tamaño de gránulo apto de la materia prima según bibliografía consultada es de 0,5 cm a 1,0 cm. Además, luego de obtenido el producto final este debe ser triturado en una chancadora de martillos para darle el tamaño de gránulo para su comercialización, el cual puede variar de acuerdo al uso que se le quiera dar y a los requerimientos del cliente.

Para la etapa primaria, el flujo de entrada se calcula con los siguientes supuestos:

- Se estiman 88 días hábiles aproximadamente
- La cantidad total es 2,700 toneladas anuales, es decir 30,7 toneladas diarias.
- La chancadora operará durante un turno de 8 horas
- El flujo sería de aproximadamente 3,8 t/h (unos 3,3 m³/h) de cuescos de durazno. Los cuescos poseen un diámetro que normalmente va entre los 2,5 y 3,5 centímetros y deben ser reducidos a un tamaño de grano de 5mm a 10mm.

- La chancadora seleccionada posee las siguientes características:
- Tamaño de alimentación: 0 – 80 mm
- Rango de apertura de descarga: 7 – 21 mm
- Capacidad de trituración: 2 – 8 m³/h
- Velocidad: 330 rpm
- Potencia motor: 7,5 Kw

Para la chancadora secundaria se utilizará una chancadora de martillo, el cual permite obtener la granulometría adecuada para el producto final. En esta etapa, el material debe ser triturado a tamaños entre 0,5mm y 5mm. Las especificaciones de esta chancadora son las siguientes:

- Tamaño de alimentación: hasta 50mm
- Tamaño de salida: Ajustable hasta 12mm
- Capacidad de triturado: de 0,7 hasta 3 toneladas por hora
- Potencia motor: 5,5 KW

5.3.5. ZARANDA

El harnero será utilizado al final del proceso de fabricación del carbón activado y será utilizado para clasificar el producto final según tamaño.

- Rango de entrada: Hasta 100mm.
- Salida (mm): Ajustable de acuerdo al tamaño de los agujeros
- seleccionados. Potencia: 5,5 KW

5.3.6. FAJAS

- La cinta utilizada para transportar el hueso de aceituna desde el camión a la tolva dosificadora será una cinta especial de un ancho de 40,6cm (16"), tendrá una mesa de acumulación en su base, para alimentar la cinta vaciando los camiones. Altura vertical de 4 metros entre la mesa de acumulación y la boca de la tolva. Será una cinta de 8m de longitud, para 32° de inclinación, con moto-reductor en 1,5 HP – 380 voltios, más botonera eléctrica de operación.
- Cinta de largo 3m entre centros, ancho de 40,6cm (16"), moto-reductor de 1,5 HP – 380 voltios, más botonera eléctrica de operación, con 20° de inclinación. Esta cinta

será utilizada para transportar material entre la chancadora secundaria y la zaranda.

- Cinta de largo 4 m y de ancho de 40,6cm (16”), moto-reductor de 1,5 HP – 380 voltios, más botonera eléctrica de operación, 10° de inclinación o más. Esta cinta será utilizada para transportar material desde la chancadora primario al área de almacenamiento.
- Cinta de largo 2 m entre centros, ancho de cinta útil 40,6cm (16”), moto-reductor de 1,5 HP – 380 voltios, más botonera eléctrica de operación, 10° de inclinación. Esta cinta será utilizada para transportar el material a la chancadora primaria
- La cinta utilizada para transportar el material desde el enfriador al silo de almacenamiento será una cinta especial de 6 metros de longitud un ancho de 40,6cm (16”), con moto-reductor de 1,5 HP – 380 voltios, más botonera eléctrica de operación.

5.3.7. CALDERA

La caldera alimentará al horno rotatorio de vapor de agua, el cual actuará como agente oxidante en la etapa de activación del material sólido carbonizado. Se ha estimado que la cantidad de vapor de agua para el proceso debiera ser de 2 kg/h por kilogramo de carbón de acuerdo a la experiencia. Caldera de vapor modelo HDR 50 para 600 kg/h de vapor saturado a 482,6 KPa (70 psi) de presión máxima de trabajo. Con quemador para petróleo diésel.

Tabla N° XVI. Datos Técnicos de la Caldera de Vapor de Agua

Artículo	Descripción	Unidad	Cant.
1	Caldera HDR 80 para 600 Kg/h con quemador modelo NOL 20 para petróleo diésel	c/u	1
2	Sistema de alimentación de agua compuesto por dos bombas marca Calpeda, válvulas de succión y descarga	Conjunto	1
3	Estanque de condesado	c/u	1
4	Estanque de purgas de 100 litros	c/u	1
5	Equipo ablandador simple de operación manual	c/u	1
6	Traslado montaje y puesta en marcha (dentro de la región metropolitana)	c/u	1

Fuente: Calderas Chile Ltda.

CAPITULO VI

ORGANIZACIÓN Y ADMINISTRACIÓN

6.1. ORGANIGRAMA

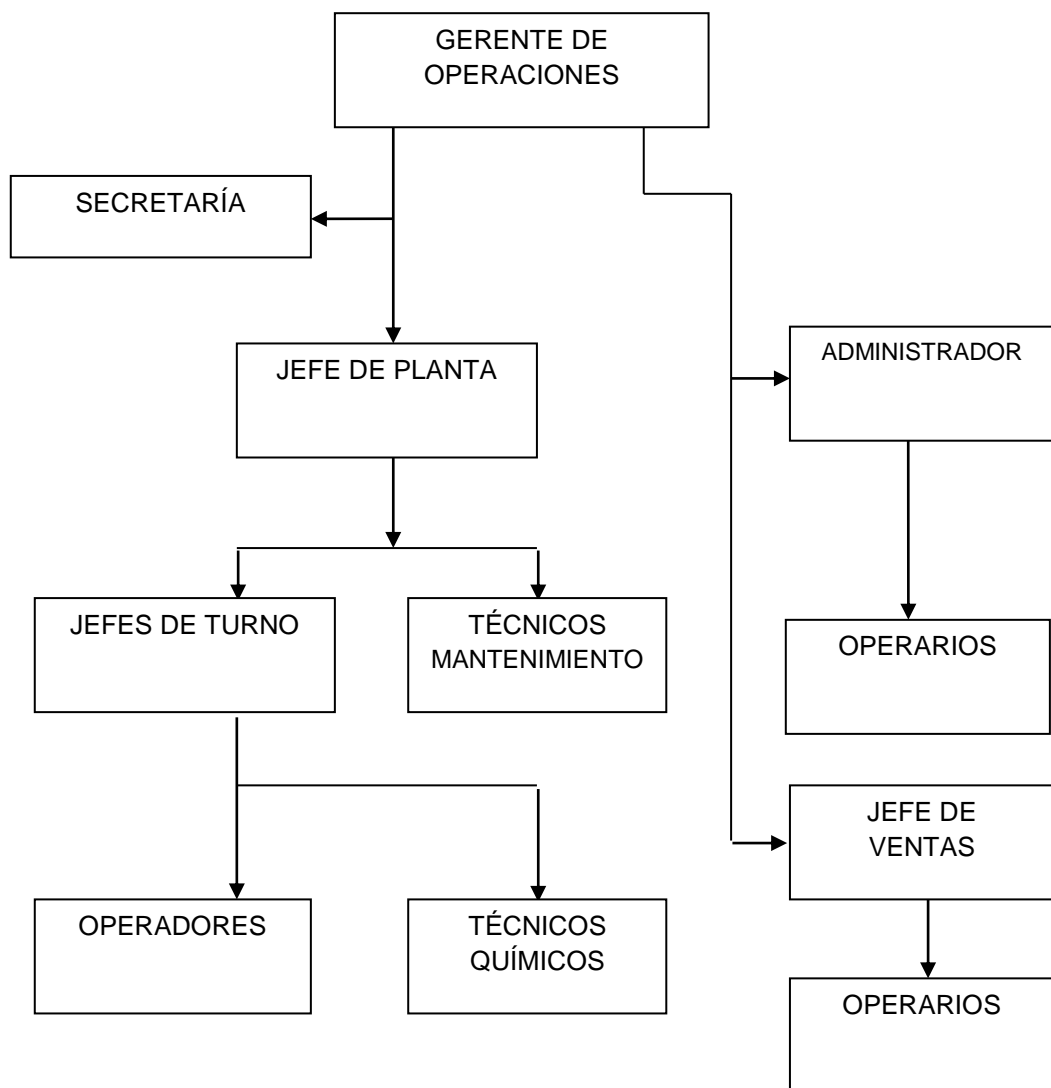


Figura N° 10. Organigrama de la Planta

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

6.2. REQUERIMIENTO DE RECURSOS HUMANOS

Tabla N° XVII. Asignación de Personal

CANT.	MANO DE OBRA DIRECTA	MES	AÑO	FACTOR	TOTAL
1	JEFE DE PLANTA	700	9 800	1,3	12 740
3	JEFES DE TURNO	500	21 000	1,3	27 300
3	TÉCNICOS QUÍMICOS	400	16 800	1,3	21 840
10	OPERADORES	300	42 000	1,3	54 600
4	VOLANTES	300	16 800	1,3	21 840
	TOTAL				138 320
	MANO DE OBRA INDIRECTA.				
1	ADMINISTRADOR	500	7 000	1,3	9 100
1	SECRETARIA	200	2 800	1,3	3 640
2	TÉCNICOS MANTENIMIENTO	400	11 200	1,3	14 560
2	ALMACENERO	200	5 600	1,3	7 280
3	VIGILANTE	200	8 400	1,3	10 920
1	ASEO Y LIMPIEZA	200	2 800	1,3	3 640
1	CHOFER	200	2 800	1,3	3 640
32	TOTAL				52 780

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

CAPITULO VII
ESTUDIO ECONOMICO

7.1. INVERSIÓN

Tabla N° XVIII. Determinación de la Inversión

I. INVERSION FIJA	US\$	%
A. ACTIVOS FIJOS		
EDIFICIO	50 000	17,44
PLANTA DE PRODUCCION		
HORNO	50 000	17,44
CALDERA	10 000	3,49
ENFRIADOR	10 000	3,49
LAVADOR GASES	4 000	1,40
FAJAS TRANSPORTADORAS	10 700	3,73
CHANCADORA PRIMARIA	8 000	2,79
CHANCADORA SECUNDARIA	4 000	1,40
ZARANDA	5 000	1,74
OBRAS CIVILES	50 000	17,44
SUBTOTAL PLANTA PRODUCCIÓN	151 700	
B. INTANGIBLES	10 000	3,49
TOTAL INVERSIÓN FIJA	211 700	
II. CAPITAL DE TRABAJO (dos meses)	75 000	26,16
TOTAL INVERSIÓN	286 700	100,00

Fuente: Elaboracion Propia, Jesús Talledo

7.2. PRODUCCIÓN E INGRESOS

Tabla N° XIX. Producción e Ingresos por año

AÑO	PROD. (t)	AÑO	INGR. \$ x1000
1	210	1	483
2	250	2	575
3—10	270	3—10	621

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

7.3. COSTOS DE PRODUCCIÓN

Tabla N° XX. Costos

ELEMENTO DEL COSTO	UNIDAD	CANTIDAD t	PRECIO \$/t	COSTO \$/t	PORCEN. %
HUESO DE ACEITUNA		3,30	200	660,00	38,65
COMBUSTIBLE				90,00	5,27
ENERGIA ELECTRICA	Kwh/t	250	0,10	25,00	1,46
AGUA REFRIGERAC.				2,20	0,13
DEPRECIACIÓN				78,41	4,59
MANO OBRA DIRECTA				512,30	30,00
COSTO PRODUCCIÓN				1367,90	80,11
MANO OBRA INDIRECTA.				195,48	11,45
GASTOS ADMINISTRA.				20,00	1,17
GASTOS DE VENTA				50,00	2,93
MANTENIMIENTO				74,07	4,34
COSTOS OPERACIÓN				1707,46	100,00
UTILIDAD				592,54	25,76
PRECIO DE VENTA				2300,00	

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

7.4. DETERMINACIÓN DE LA DEPRECIACIÓN

Tabla N° XXI. Depreciación de los Bienes Fijos

	US\$
EDIFICIO PLANTA	50 000
PLANTA ALAMBRÓN	151 700
INTANGIBLES	10 000
TOTAL INVERSIÓN FIJA	211 700
PERIODO DE VIDA DE LOS BIENES FIJOS (años)	10
DEPRECIACIÓN ANUAL DE BIENES FIJOS	21 170

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

7.5. CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo correspondiente a dos meses de producción es el siguiente:

Tabla N° XXII. Capital de Trabajo

PRODUCCIÓN MENSUAL (toneladas)	22,5
COSTO UNITARIO OPERACIÓN (US\$/t)	1707
CAPITAL DE TRABAJO (US\$)	76836

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

7.6. ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS

Tabla N° XXIII. Pérdidas y Ganancias (dólares x 1000)

	1	2	3	4	5
INGRESOS	483	575	621	621	621
COSTOS OPERACIÓN	359	427	461	461	461
UTILIDAD OPERACIÓN	124	148	160	160	160
DEPRECIACIÓN	21	21	21	21	21
UTILIDAD BRUTA	103	127	139	139	139
IMPUESTOS	31	38	42	42	42
UTILIDAD NETA	72	89	97	97	97

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

Tabla N° XXIV. Flujo de Caja Económico (dólares X 1000)

AÑO	INGRESOS	COSTOS T.	UTIL. OPER.
0	0	287	-287
1	483	359	124
2	575	427	148
3	621	461	160
4	621	461	160
5	621	461	160
6	621	461	160
7	621	461	160
8	621	461	160
9	621	461	160
10	621	461	160
VAN	\$2 641	\$2 247	\$394
		VAN=	\$394
		B/C=	\$1,18
		TIRE=	50%
		PRI (años)=	7

Fuente: Elaboración Propia, Jesús Talledo

7.7. EVALUACION ECONÓMICA

(Tasa de Actualización: 18 %)

VALOR ACTUAL NETO ECONÓMICO : 394 000 US \$

TASA INTERNA DE RETORNO ECONÓMICA : 50 %

RELACIÓN BENEFICIO /COSTO : 1,18

PERIODO DE RECUPERACIÓN DE INVERSIÓN: 7 AÑOS

CONCLUSIONES

1. Se ha llevado a cabo un programa de pruebas sobre la carbonización y activación de los residuos del hueso de aceituna, con aceptables resultados.
2. Para la caracterización de los carbones activados. Se ha determinado el rendimiento del proceso por las cenizas y el número de Yodo.
3. Entre las variables de preparación del carbón activado a partir de los residuos del hueso de aceituna, la razón de impregnación y la temperatura de activación tuvieron una influencia determinante en las propiedades adsorbentes de dicho carbón obtenido.
4. La elaboración de carbón activado consiste en dos procesos que son la activación física y la activación química, en el proyecto se hicieron pruebas con los tipos de activaciones comprobando que al utilizar las dos activaciones en conjunto se obtuvieron mejores resultados que utilizando los procesos individualmente.
5. A partir de la producción de carbón activado se comprobó que los

residuos del hueso de aceituna son de una calidad medianamente adecuada para la elaboración de carbón activado, ya que el objetivo fue determinar si era posible obtener carbón activado de dicho producto.

6. El proyecto es muy interesante, dado que se está proponiendo un nuevo tipo de agroindustria que utilice una materia prima nacional (residuo del hueso de aceituna) considerada un desecho, transformándola en una industria sustentable de un material con mayor valor agregado (carbón activado), que genere, ingresos económicos, nuevos empleos y que ayude a reducir la importación de este producto.

7. La rentabilidad del proyecto medida por la Tasa Interna de Retorno Económica TIRE, es de 50 %, lo cual demuestra que el proyecto es rentable y tiene un periodo de recuperación de la inversión de 7 años.

RECOMENDACIONES.

1. En la industria en general cada día se están buscando nuevas alternativas para invertir en métodos que permitan tratar cualquier tipo de contaminante de manera de reducir el impacto al medio ambiente y así poder cumplir con las exigencias de producción limpia de cada país. Dentro de estas alternativas se encuentra el tratamiento a través de filtros y columnas de carbón activado, un método aplicable al tratamiento de líquidos que implica un bajo costo para las empresas. Por lo cual se sugiere que el carbón activado a partir de los residuos de hueso de aceituna es una buena alternativa en nuestra ciudad, ya que Tacna es el principal productor de aceituna del país.
2. Latinoamérica presenta un gran nivel de actividad minera aurífera, principalmente Perú. Esta industria representa un mercado potencial para el carbón activado ya que en yacimientos de oro y plata de baja ley los métodos más utilizados para la recuperación de oro involucran el uso de carbón activado.

3. Se debe realizar un programa mayor de pruebas, acondicionando especialmente los hornos de producción de vapor y de calentamiento del reactor, específicamente sellándolos para mantener 1073K (800°C), con un mayor flujo de vapor y operar con mayores presiones.
4. Un programa mayor de pruebas, significa un mayor costo en la preparación del equipo, por lo cual se debe buscar una fuente de financiamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

1. Bascur F., Morales Maritza, Carlos Juan. (1987), *Obtención de Carbón Activado a partir de la Mazorca de Maíz*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad de Chile.
2. Castro Cortes Laura Estefanía, Flores García Nancy Jazmín, Martínez Morales Ashanti Yoselin, Márquez Moreno Araceli. (2009). *Elaboración de Carbón Activado a Partir de Cáscara de Naranja*, Trabajo de Investigación Experimental, Escuela: Química – UNAM.
3. Luna Donaciano, González Armando, Gordona Manuel y Martín Nancy. *Obtención de Carbón Activado a partir de la Cascara de Coco*. UAM–Azcapotzalco, Área Termofluidos, Av. San Pablo 180, D.F., México.
4. Marcilla Gomis Antonio F., (1982). *Carbón Activado a partir de Cascara de Almendra*. Estudio del Proceso de Activación Mediante Cloruro de Zinc. Tesis para optar el grado de Doctor en Ingeniería Química, Universidad de Alicante – Alicante.

5. Velásquez J. Jorge, Mejía T. Luz Adriana, Carrasquilla G. Federico, López S. Ricardo, Garcés B. Beatriz, "Obtención de Carbón Activado a Partir de Cáscara de Coco Pre tratada con Vapor". Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Química, Grupo de Investigación Pulpa y Papel. Cq. 1 #70-01, Bl. 11, Medellín, Colombia.

REFERENCIA DE INTERNET.

1. El Instituto Nacional del Carbón (INCAR), con sede en Oviedo
<http://www.incar.csic.es/>, visitado el día 05 de agosto del 2011 a las 23 horas.
2. <http://www.carbotecnia.info/carbon%20activado.htm>. ¿Qué es el carbón activado?, visitado el día 15 de septiembre del 2011 a las 21:00 horas
3. Fabricante de Carbón Activado y proveedor de productos químicos CARBOCHEM <http://www.carbochem.com/>, visitado el día 20 de septiembre del 2011 a las 16:00 horas.
4. <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=18467&nombreproducto=carbon+activado+de+coco>.
Producto de Fabricación de filtros de carbón activado de cascara de coco. Visitado el día 15 de noviembre del 2011 a las 20:00 horas
5. Empresa de fabricación de carbón activado.
<http://www.carbonapelsa.com.mx/pages/spanish/carbonactivado.html>.
Visitado el día 23 de noviembre del 2011 a las 00:00 horas
6. <http://www.carbonapelsa.com.mx/pages/spanish/activacion.html>,
visitado el día 10 de diciembre del 2011 a las 16 horas.