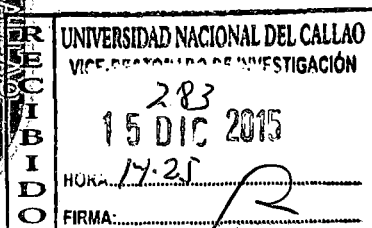


290

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERIA QUIMICA**



*W119  
Mary  
03/12/2015  
14:00  
398*

**INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**  
**“OPERACIONES Y PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN**  
**DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA CÁSCARA**  
**DE COCO”**

**AUTOR:**

**ING. ROBERTO LAZO CAMPOSANO**

**Período de ejecución:**

**DIC 2015**

**Del : 01-05-2013    Al : 30-04-2015)**

**Resolución de Aprobación N°:**

**R.N° 527-2013-R (05-06-2013)**

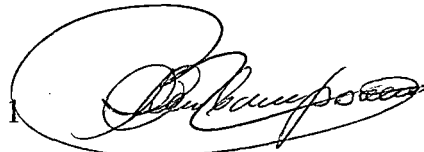


**Callao, 2015**

**DIC 2015**

# I ÍNDICE

I	ÍNDICE .....	1
	INDICE DE FOTOS.....	5
	INDICE DE FIGURAS.....	6
	INDICE DE CUADROS .....	7
	INDICE DE DIAGRAMAS.....	8
	INDICE DE TABLAS .....	9
II	RESUMEN Y ABSTRACT .....	10
2.2	ABSTRACT .....	12
III	INTRODUCCIÓN.....	13
IV	MARCO TEORICO.....	20
4.1	Breve Historia del Carbón Activado .....	20
4.2	Descripción y Análisis del Tema.....	21
4.2.1	Definición del Fruto:.....	21
4.2.2	Estructura .....	21
4.2.3	Variedades.....	22
4.2.4	Enanos : .....	24
4.2.5	Híbridos : .....	24
4.3	Cultivo .....	24
4.4	Utilidades .....	25
4.5	Características Físico-Químicas.....	26
4.5.1	Composición Química .....	26
4.5.2	Estructura física .....	27
4.6	Mecanismos de Operación como Adsorbente.....	27
4.6.1	Tipos de Fenómenos de Adsorción: .....	27
4.6.2	Tipos de poros dentro de una partícula de carbón .....	28
4.7	Otra clasificación de los poros:.....	28
4.8	Activación Física:.....	29
4.9	Activación Química.....	31
4.10	Otros tratamientos : .....	32
4.11	Aplicaciones Generales.....	32



4.12	Propiedades:	34
4.13	Condiciones que afectan la adsorción en el Carbón Activado:	35
4.13.1	Propiedades relacionadas con el tipo de carbón activado:	35
4.13.2	Propiedades relacionadas con el adsorbato:	36
4.13.3	Propiedades relacionadas con el líquido que rodea al carbón activado:	37
4.14	Importancia de la química superficial de los carbones activados:	37
4.15	Propiedades Físico-Químicas:	39
4.15.1	Capacidad de adsorción:	39
4.15.2	Densidad relativa:	39
4.15.3	Tamaño de partícula:	40
4.15.4	Humedad:	40
4.15.5	Pureza:	40
4.15.6	pH:	40
4.16	Ventajas y Desventajas:	41
4.17	Tipos de Carbón Activado:	41
4.17.1	Pulverizado:	41
4.17.2	Granulado:	42
4.17.3	Desorción con carbón activado:	42
4.17.4	Proceso de la desorción:	43
4.18	Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el agua:	43
4.19	CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE COCO:	44
4.19.1	El coco como materia prima a nivel mundial es muy abundante:	44
4.19.2	La distribución del tamaño del poro:	45
4.19.3	Información de otros carbones activados:	51
4.19.4	Carbón activado de hueso:	52
4.20	PROPUESTA DEL PROCESO DE OBTENCION DEL CARBON ACTIVADO:	54
4.20.1	Ingeniería del Proceso:	54
4.20.2	Recolección y transporte de la materia prima:	55
4.20.3	Secado de la cáscara de coco:	55



4.20.4	Molienda del producto seco .....	56
4.20.5	Tratamiento térmico del material Carbonización y Activación.....	56
4.20.6	Enfriamiento y secado de los materiales tratados. ....	57
4.20.7	Horno Rotatorio.....	57
4.20.8	Preparación de los Carbones Activados: .....	58
4.20.9	Actividad física .....	59
4.20.10	Actividad química.....	60
4.20.11	Teorías sobre la Absorción Física de Gases .....	60
4.20.12	Teoría Bet .....	61
4.21	Teoría del llenado del volumen de microporos.....	62
4.22	El método de AS de SING.....	63
4.23	Caracterización de Carbones Activados .....	63
4.23.1	Absorción de N <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> . ....	63
4.23.2	El volumen de mesoporos. ....	65
4.24	Técnicas especiales.....	66
4.24.1	Cámara de Enfriamiento.....	67
4.25	Aplicaciones del Carbón Activado :.....	70
4.25.1	Tratamiento de Aguas Residuales con Carbón Activado :.....	70
4.25.2	Aplicación del carbón activado (PAC):.....	70
4.25.3	Aplicación del carbón activado granular (GAC).....	72
4.25.4	Principales sectores que emplean CA para tratamiento de aguas residuales: .....	73
4.25.5	Purificación de aire y gases con carbón activado granular.....	74
4.25.6	Tipo de carbón activado adecuado para la purificación de aire y gases. 75	
4.26	Uso Médico:.....	78
4.26.1	Propiedades .....	78
4.26.2	Contraindicaciones.....	79
4.27	Alimentos : .....	80
4.28	Química:.....	80
4.29	Demanda : .....	81
	Tipos de clientes a los que va dirigido el producto: .....	81



4.30	Tamaño total del mercado :	81
4.31	Características del tamaño de planta:	82
4.32	Estimación de la inversión de capital fijo e inversión total de capital :	84
4.33	Maquinaria requerida y especificaciones técnicas :	86
4.34	Especificaciones de calidad de materia prima :	86
4.35	Requerimientos de inventario :	87
4.36	Requerimientos de personal para la producción :	87
4.37	Aspectos Financieros:	88
4.38	Inversión inicial :	88
	Fuente :	89
4.39	Características del envasado :	90
	Principales productores y exportadores de carbón activado.....	91
4.40	Parte Experimental :	96
4.41	Capacidad de adsorción :	101
4.42	Eficiencia de los carbones.....	103
V	MATERIALES Y METODOS.....	104
5.1	Materiales de Escritorio .....	104
5.2	Población de la Investigación: .....	105
5.3	Métodos de Investigación :: .....	105
5.4	Técnicas de Análisis: .....	106
5.5	Metodología.....	107
5.6	Métodos de Investigación ::.....	107
VI	RESULTADOS.....	108
	Prueba de Turbidez.....	108
VII	DISCUSIÓN .....	110
	Análisis de los Resultados .....	110
	CONCLUSIONES.....	111
	RECOMENDACIONES :	112
VIII	REFERENCIALES.....	113
IX	APENDICES .....	116
X	ANEXOS.....	120



## INDICE DE FOTOS

<b>Foto.1 Coco entero</b> .....	23
<b>Foto.2 Sin Mesocarpo fibroso</b> .....	23
<b>Foto.3 Sin Mesocarpo fibroso</b> .....	24
<b>Foto.4 Tipos de carbón activado</b> .....	42
<b>Foto.1 Palmera del coco</b> .....	55
<b>Foto.2 Secado de la cáscara de coco</b> .....	56
<b>Foto.3 Molienda se la cáscara de coco</b> .....	56
<b>Foto.4 Tratamiento térmico del material</b> .....	57
<b>Foto.5 Enfriamiento y secado de los materiales</b> .....	57
<b>Foto.6 Cáscara de coco pelado y reducido de tamaño</b> .....	96
<b>Foto.7 Tratamiento Químico</b> .....	96
<b>Foto.8 Sistema de Activación de la cáscara de coco</b> .....	98
<b>Foto.9 Sistema de Activación de la cáscara de coco</b> .....	98
<b>Foto.10 Sistema listo para la activación</b> .....	99
<b>Foto.11 Remoción del ácido fosfórico</b> .....	99
<b>Foto.12 Secado del carbón activado</b> .....	100
<b>Foto.13 Secado del carbón activado</b> .....	101



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura.1 Arreglo Estructural de las Placas Planas del granito.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 2 Textura porosa y química superficial de un carbón.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura.1 Corrientes de flujo involucradas .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura.2 Lixiviado de vertederos .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura.3 Contaminación de aguas superficiales y subterráneas .....</b>	<b>71</b>



## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro.1 Aplicaciones por calidades del carbón activado.....</b>	<b>34</b>
<b>Cuadro.2.Propiedades de algunos carbones activados varios. ....</b>	<b>35</b>
<b>Cuadro.3 Principales materias primas y tecnologías de activación...41</b>	<b>41</b>
<b>Cuadro.4 Distribución del tamaño de poros.....46</b>	<b>46</b>
<b>Cuadro.5 Capacidad de un Carbón Activado para retener una sustancia .....</b>	<b>47</b>
<b>Cuadro.6 Carbón Activado de Hulla Bituminosa .....</b>	<b>51</b>
<b>Cuadro.7 Datos Técnicos de Carbón Activado de Hueso.....52</b>	<b>52</b>
<b>Cuadro. 8a Análisis elemental de las muestras (Ihc: Libre de humedad y cenizas ) .....</b>	<b>52</b>
<b>Cuadro.1 Aplicación de los distintos carbones activos a aguas residuales.....</b>	<b>74</b>
<b>Cuadro.2 Producción de Carbón Activado a partir de la Cáscara de Coco. ....</b>	<b>85</b>
<b>Cuadro.3 Requerimiento de Personal para la Producción.....</b>	<b>87</b>
<b>Cuadro.4 Inversión inicial para una planta de 10,000 toneladas al año: .....</b>	<b>88</b>
<b>Cuadro.5 Inversión inicial para una planta de 5,000 toneladas al año: .....</b>	<b>89</b>
<b>Cuadro.6 Datos del Producto – Datos.....</b>	<b>90</b>
<b>Cuadro.1 Turbidez del agua residual después del tratamiento con carbón activado.....</b>	<b>108</b>





## INDICE DE DIAGRAMAS

<b>Diagrama.1 Obtención de carbón activado : activación física .....</b>	<b>30</b>
<b>Diagrama.2 Obtención de carbón activado a través de activación Química.....</b>	<b>31</b>
<b>Diagrama.1 De bloques del proceso de obtención del carbón activado a partir de la cáscara de coco.....</b>	<b>68</b>
<b>Diagrama.2 Características del tamaño de Planta.....</b>	<b>84</b>
<b>Diagrama.3 Distribución de los Equipos de la Planta de Producción de Carbón Activado.....</b>	<b>89</b>



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla.1 Denominación de los materiales activados .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla.2 Análisis próximo de las materias primas en base seca (Bs) y base húmeda (Bh) .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla.3 Valores de Área superficial BET y Volumen de.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla.4 Capacidad de adsorción de las muestras .....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla.1 Distribución del consumo por uso final para 2010:.....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla.2 Principales Exportadores de Carbón Activado. ....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla.3 Importaciones Latinoamericanas .....</b>	<b>94</b>
<b>Tabla.4 Principales Importadores de Carbón Activado.....</b>	<b>95</b>



## II RESUMEN Y ABSTRACT

### 2.1 RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se ha utilizado se ha utilizado dos metodologías un tratamiento físico y otro tratamiento químico contando con la materia prima la cáscara de coco:

La activación es el proceso de oxidación lenta del carbón resultante por medio del cual se forman millones de poros microscópicos en la superficie del carbón. La carbonización y la activación se realizan principalmente en hornos rotatorios construidos en acero inoxidable y materiales refractarios para soportar las altas temperaturas de activación, cercanas a 1000°C.

Utilizando el método de la activación física a alta temperatura (450 a 800 °C) en presencia de vapor de agua se puede obtiene un carbón hidrofílico, microporoso apropiado para aplicaciones que involucran separación de gases.

Aplicando la metodología de la activación química, se ha utilizado reactivos químicos tales como el cloruro de zinc, el hidróxido de potasio, el ácido fosfórico, el ácido sulfúrico que mediante el cual se activa para ser luego calcinado en una mufla de 500 a 1000 °C, del cual se puede obtener un carbón hidrofílico de poros más anchos apropiado para aplicaciones en fase líquida . Haciendo la prueba respectiva de filtración ha dado un buen resultado utilizando para la prueba de filtración, una solución turbia de más de 1000 NTU obteniendo una filtración hasta de 2.29 NTU. Llegando a la conclusión que el trabajo de investigación ha dado buenos resultados



## **PALABRAS CLAVES**

1. **ACTIVACION** : Puesta en funcionamiento de un mecanismo, que puede ser físico ó químico.
2. **OXIDACION** : La **oxidación** es una reacción química donde un elemento cede electrones, y por lo tanto aumenta su estado de oxidación.

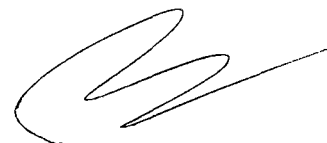
A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'C' followed by several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

## 2.2 ABSTRACT

In this research work has been used has been used two methodologies a physical treatment and other chemical matter with treatment raw material Coconut husk: activation is the oxidation process slow the resulting coal by means of which millions of microscopic pores on the surface of coal are formed. Carbonization and activation are carried out mainly in rotary kilns built in stainless steel and refractory materials to withstand the high temperatures of activation, close to 1000° C.

Using the method of high temperature (450 to 800 °C) physical activation in the presence of water vapour can be obtained a hydrophilic, microporous carbon suited to applications involving gas separation. Applying the methodology of chemical activation, has been used reactive chemicals such as zinc chloride, potassium hydroxide, phosphoric acid, sulfuric acid that by means which is activated to be then calcined in a flask of 500 to 1000 ° C, which you can get a carbon more pored hydrophilic suitable for applications in liquid phase.

Making the respective filtration test has given good results using for testing filtration, a cloudy solution of more than 1000 NTU obtaining a filtration up to 2.29 NTU. Coming to the conclusion that the research work has given good results



### III INTRODUCCIÓN

Uno de los materiales que se utilizan en la industria y en el tratamiento de aguas y otros productos líquidos, es el carbón activado; que para ello se utilizan diversos materiales orgánicos que tienen que ser sometidos a una serie de operaciones y procesos químicos para darle un acabado que sea posible la capacidad de la adsorción durante el uso que se le da. La propiedad fundamental de los carbones activados es la de adsorber partículas finas así como olores que se desea eliminar en una solución. Por esa particularidad el carbón activado es utilizado en muchas industrias especialmente en el tratamiento físico químico de las aguas residuales, la purificación del agua, así como también en la purificación del aire, uso en medicina contra intoxicaciones, uso en la minería, y muchas otras aplicaciones.

Para la preparación de los carbones activados existen muchas materias primas, como por ejemplo la cáscara del arroz, la madera, cáscaras de semillas de frutos, de la nervadura de las hojas de las palmeras, cáscara de coco, de materiales orgánicos tales como el hueso, existen también de origen mineral, como el carbón mineral, del bitumen de la brea que se utilizan en las fundiciones, etc.. Es decir la preparación va depender básicamente el carbón activado que presente mayor área de adsorción y del uso que se le va a dar. Además va depender de la fuente de abastecimiento de la materia prima, de la calidad, de los costos de procesos y operaciones del producto.

Se ha escogido la producción a partir de la cáscara de coco, ya que en nuestro medio la producción del coco está centrado en el Amazonas que puede ser el centro de abastecimiento de la materia prima. Uno de los objetivos de la utilización del carbón activado a partir de la cáscara de coco es su versatilidad en el uso y cada vez se está dando la preferencia por las industrias incluso a nivel mundial el uso de éste producto, sobretodo en la minería para la recuperación del oro y la plata, como es el caso de las Empresas Antamina y Yanacocha.



### **3.1 Planteamiento del Problema de Investigación**

#### **➤ Descripción y Análisis del Tema:**

Debido a la gran demanda del carbón activado para los diferentes usos en las industrias así como la minería, cada vez es más necesario la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco.


En el mercado existen variedades de carbón activado , entre ellos se encuentra a partir de la cáscara de arroz, de madera huesos, y cáscaras de frutas, pero entre todas ellas resulta el más eficiente por su grado de porosidad el carbón activado obtenido de la cáscara de coco.

Además en los últimos años hay mayor preocupación en el cuidado del medio ambiente, obligando a mejorar en el establecimiento de los límites de la calidad del agua en todos los sectores de consumo y producción. Los compuestos orgánicos constituyen un grupo muy grande dentro de los contaminantes presentes en los efluentes líquidos.

La organización Mundial de la Salud (OMS) ha determinado que muchos de ellos son tóxicos y están presentes debido a su uso extendido como reactivo y solvente en varias industrias. Entre dichos compuestos orgánicos tenemos los fenoles, nitrofenoles, compuestos organoclorados, ácidos orgánicos entre muchos otros.

### **3.2 Planteamiento del Problema:**

Se puede producir el carbón activado a partir de la cáscara de coco, seleccionando el método adecuado y la materia prima, para obtener un carbón activado de calidad ?



## **Objetivos y Alcances de la Investigación**

### **3.2.1 OBJETIVO GENERAL:**

Describir las operaciones y procesos para obtener el carbón activado a partir de la cáscara de coco por el método químico o vaporización.

### **3.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Preparar el carbón activado utilizando el método químico o de vaporización a partir de la cáscara de coco.
- b) Evaluar el mejor método de producción del carbón activado a partir de la cáscara de coco.

### **FORMULACION DE LA HIPOTESIS:**

#### **Hipótesis General**

El carbón activado obtenido a partir de la cáscara de coco cumplirá con su función de filtrar con eficiencia durante el tratamiento de las aguas residuales ?

#### **Hipótesis Específicas .**

- a) La disponibilidad de la cáscara de coco en nuestro medio será posible para su producción ?
- b) Se podrá obtener el carbón activado a partir de la cáscara de coco utilizando el método físico o químico y producir un producto de calidad ?





### 3.2.4 Variables Dependientes e Independientes

- **Variables Independientes:**

Las reacciones químicas que se generan durante el proceso, debido a la gradiente de temperatura utilizada durante la carbonización

- **Variables Dependientes:**

La calidad de la cáscara de coco acondicionada, en donde los factores de humead durante la activación con vapor sea la adecuada.

#### Definiciones de las Variables .

$$X = f(Y, Z)$$

X = Variable dependiente

Y = Variable independiente

Z = Variable independiente

#### Definiciones

**X = Variable dependiente:** Insumos para la producción del carbón activado a partir de la cáscara de coco, tanto físicos como químicos.

**Y = Variable independiente:** Calidad y naturaleza de las cáscaras de coco en nuestro medio.

**Z = Variable independiente:** Disponibilidad de la metodología de obtención actual para la obtención del carbón activado.



## OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidad de las materias primas.</li> <li>- Cáscaras de coco</li> <li>- Recolección</li> <li>- Transporte</li> <li>- Almacenamiento de la materia prima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Características</li> <li>- Variedades</li> <li>- Características</li> <li>- Disponibilidad</li> <li>- Area adecuado Al tamaño de Planta.</li> </ul>	Considerando Y^Z identificados con la teoría de diseño de las empresas de producción del carbón activado a partir de la cáscara de coco.
VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Control de las reacciones químicas.</li> <li>- Diferentes grados de temperatura de activación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Raciones Qcas, Variables</li> <li>- Tipos de carbón activado</li> </ul>	Análisis químicos
Z	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Control de calidad de muestras</li> <li>- Métodos de producción</li> <li>- Control de procesos de producción</li> <li>- Almacenamiento del producto obtenido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiencia de Filtración.</li> <li>- Elegidos</li> <li>- Activación física o química</li> <li>- Areas adecuadas.</li> </ul>	Entrevistas.



### **3.3 Propósito de la Investigación**

a) El tipo de Investigación es Descriptiva, Analítica y experimental, teniendo como base los fundamentos de las calidades de carbón activado por los métodos planteados a partir de la cáscara de coco.

b) Alcances de la Investigación

Los sectores que se verán beneficiados serán:

La industria química, al desarrollar la tecnología de la producción de carbón activado a partir del mejor método de activación del carbón de tal manera sea más eficiente uno de otro.

### **3.4 Importancia y Justificación de la Investigación**

#### **3.4.1 Aporte Científico y Tecnológico**

a) **Aporte Científico:**

El aprovechamiento del método de eliminación de los contaminantes utilizando el carbón activado producido a partir de la cáscara de coco.

b) **Aporte Tecnológico:**

Conocimientos de diferentes tecnologías para eliminar los contaminantes orgánicos de las diferentes clases de aguas residuales.

#### **3.4.2 Valor de la Investigación que se propone**

➤ **Desarrollo de la Tecnología**

Desarrollar la tecnología de eliminación de contaminantes orgánicos é inorgánicos aplicando en las Plantas de tratamiento de aguas.

➤ **Desarrollo de las Industrias Químicas**

Aprovechando el agua libre de contaminantes orgánicos é inorgánicos. evitará problemas de contaminación en su producto



final sobre todo las industrias dedicadas a la producción de alimentos.

### **3.4.3 Proponer otras tecnologías:**

Relacionadas a la eliminación de los contaminantes de las diferentes clases de aguas, con el uso del carbón activado.

#### **> Antecedentes Técnicos**

El presente Proyecto de Investigación se realiza para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco, teniendo en cuenta que la incidencia en la no contaminación del medio ambiente y que necesariamente las industrias tienen que adecuarse al PAMA ( Programa de Adecuación al Medio Ambiente)

Dado que el carbón activado procedente de diversos tipos de materiales es de gran uso en la industria, razón por la cual es necesario desarrollar el presente proyecto sobre todo tomando como referencia que en nuestro país no hay producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco, y que sustituya la importación de este producto.

Así mismo el coco como materia prima a nivel mundial es muy abundante, se produce en más de 90 países, sin embargo en 12 de ellos se concentra el 91,1% de superficie plantada en este cultivo: los países asiáticos son los que lideran y los únicos países en América que forman parte de este grupo son: Brasil 2,4% y México con 1,4% ocupando el 12avo lugar; y en nuestro país no hay empresas productoras sino comercializadoras que bordean los 28,907.5 TM/año.



## IV MARCO TEORICO

### 4.1 Breve Historia del Carbón Activado

A través de la historia del uso del carbón activado, no se disponen de datos precisos, sin embargo el uso del carbón vegetal para usos médicos como adsorbentes se hace de conocimiento en Grecia por medio de un papiro encontrado en Tebas en el año 1550 a C debido a su porosidad al ser quemada los vegetales.

Asimismo en el año 400 Hipócrates recomienda utilizar el carbón vegetal para filtrar el agua sobre todo el olor, el sabor, a fin de evitar algunas enfermedades.

En el año 1793 el Dr. DM. Kehl, utiliza el carbón vegetal para disminuir los olores de la gangrena, recomendando también para filtrar el agua con carbón vegetal.

En 1881 el término adsorción fue utilizado por el Dr. Kayser dando a conocer como algunos tipos de materiales carbonizados atrapaban los gases. Por estas épocas el Dr. R. Von Ostrejko considerado el inventor del carbón activado, desarrolla varios métodos para producir carbón activado que hasta la fecha se utiliza en nuestros medios.

Así, en 1901 patentó dos métodos diferentes para producir carbón activado. El primero consistía en la carbonización de materiales lignocelulósicos con cloruros de metales; lo cual resulto la base de lo que hoy en día es la activación química. En el segundo, proponía una gasificación suave de materiales previamente carbonizados con vapor de agua o  $\text{CO}_2$ ; es decir una activación física, o más correctamente térmica.



En 1974 se hace la primera aplicación industrial en Inglaterra sobre todo el carbón activado como agente decolorizante en la producción del azúcar, y que durante 18 años permaneció en secreto.

## 4.2 Descripción y Análisis del Tema

### 4.2.1 Definición del Fruto:

Nombre común del fruto del *Cocotero*, una gran palmera habitual en los grandes espacios de Asia y África, árbol de la de las Palmáceas (Palmaceae), especie *Cocos nucifera*. Una palmácea de climas tropicales que puede llegar a vivir más de 100 años, siendo en la actualidad la especie de palmera más cultivada a nivel mundial. El árbol puede llegar a medir hasta 30 m de altura, marcado por numerosos anillos que señalan la posición de las hojas que ha ido perdiendo. En el extremo superior lleva un ramillete con una veintena de hojas, por lo general curvadas en forma de arco. El fruto cuelga en racimos de 10 a 20 nueces o más; en cada árbol puede haber, según la época, 10 o 12 de estos racimos.

El coco es una drupa de forma redondeada u ovoidal y 20-30 cm de diámetro aproximadamente. El coco es propio de las islas de clima tropical y subtropical del océano Pacífico, su cultivo se ha extendido por Centroamérica, el Caribe y África tropical.

### 4.2.2 Estructura

a).-**El pericarpio**: es decir, la parte del fruto que envuelve y protege a la pulpa y las semillas se divide en varias cortezas o capas que pueden reseñarse de la siguiente manera: epicarpio o parte exterior del pericarpio cuando éste consiste en dos o más capas de diferente textura, ceroso, lustroso, de color verde o amarillento que como una piel rodea todo el fruto.



b).-**Mesocarpio**: o parte intermedia del pericarpio, fibroso, de 4 a 5 cm. de espesor, con forma de pelos.

c).-**Endocarpio**: o capa interior, leñosa, que dispone de 3 orificios próximos en disposición triangular.

Fuertemente adherida a la cáscara leñosa, se encuentra la carne del fruto rodeada de una fina y delicada capa rojiza. En su cavidad central se encuentra un líquido muy dulce llamado "agua de coco", semi-transparente y comestible.

En conjunto puede llegar a pesar cerca de 2,5 kg. Los colores que destacan en el coco son el amarillento-verdoso para la capa exterior, amarronado la capa dura y blanco en la pulpa.

#### 4.2.3 Variedades

Los tipos de cocotero se clasifican en tres grupos: gigantes, enanos e híbridos, dentro de los cuales existen, a su vez, diversas variedades:

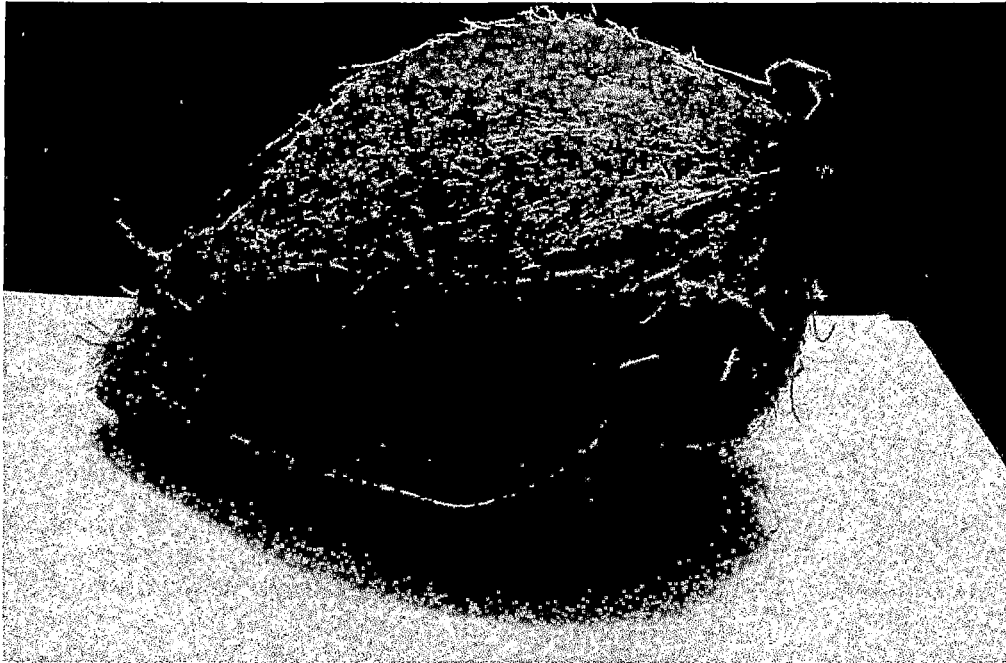
##### a) Gigantes

Comercializados para el consumo en fresco debido a su gran tamaño y la obtención de aceite de coco (excelente porcentaje de copra o pulpa despedazada y seca).

El agua de su interior presenta un sabor poco dulzón. Algunas de sus variedades son: Gigante de Renell (GRL) de Tahití, Gigante del Oeste Africano (GOA) de Costa de Marfil, Gigante de Malasia (GML) o Alto de Jamaica.

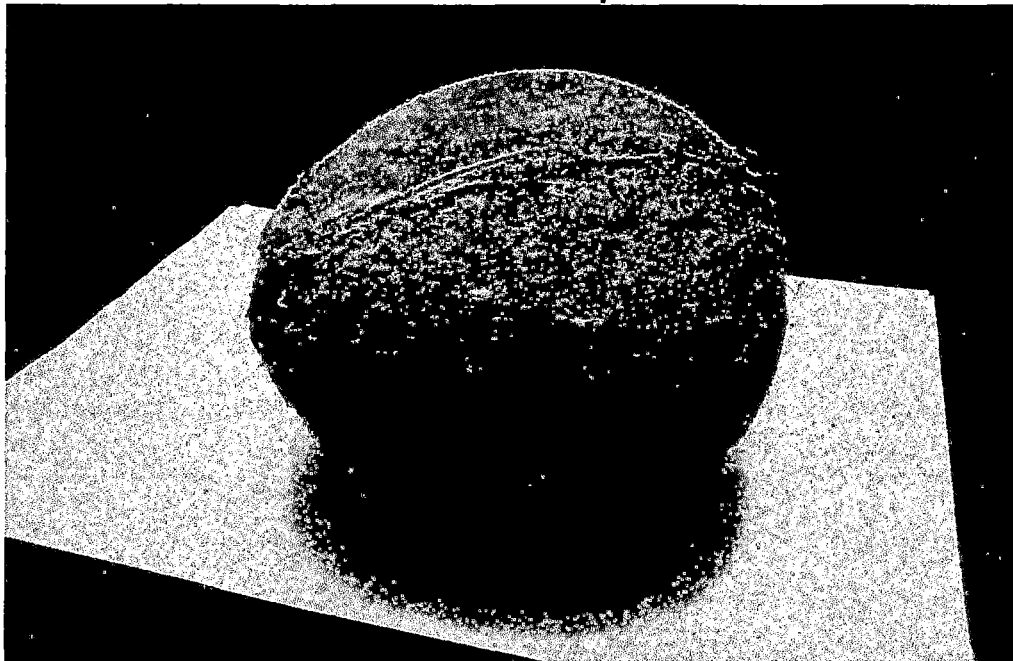


**Foto.1 Coco entero**



**Fuente : Elaboración Propia**

**Foto.2 Sin Mesocarpo fibroso**

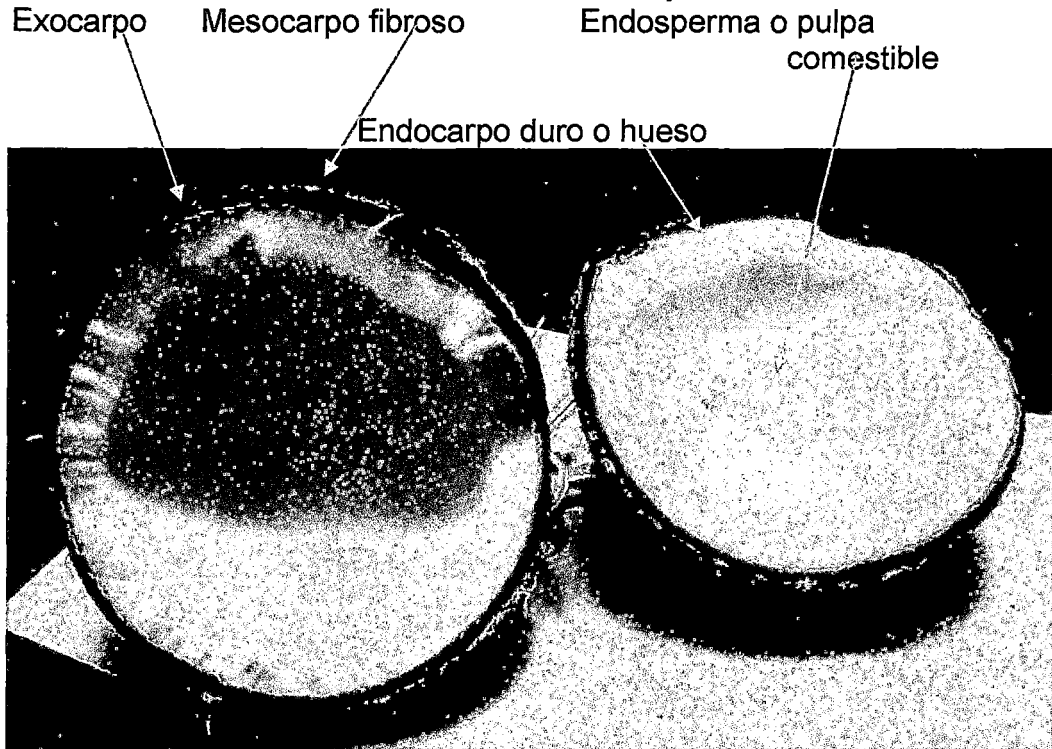


**Fuente : Elaboración Propia**

A handwritten signature or mark, consisting of a stylized, cursive-like shape, located in the bottom right corner of the page.



**Foto.3 Sin Mesocarpo fibroso  
Fruto del coco con sus partes**



**Fuente : Propia**

#### **4.2.4 Enanos :**

Su agua muestra un excelente sabor por lo que es utilizado para la elaboración de bebidas. Entre sus variedades destacan Verde de Brasil (AVEB) de Río Grande del Norte, Naranja Enana de la India y Amarillo de Malasia (AAM).

#### **4.2.5 Híbridos :**

Nacen del cruce del coco gigante y enano, con frutos medianos-grandes, que aúnan las características de los anteriores. El ejemplar con una mayor superficie de cultivo es MAPAN VIC 14.

### **4.3 Cultivo**

Los cocoteros son palmeras que necesitan de un clima cálido y húmedo (60% aproximadamente) para desarrollarse y que no existan variaciones considerables de temperatura, con medias

diarias que rondan los 27°C (al tratarse de una planta tropical es muy sensible a las heladas).

Los suelos ideales para el cultivo de cocoteros son aquellos profundos, con texturas suaves y con una capa freática muy superficial. Estas singularidades suelen darse en los estratos de la planicie costera, además acepta de buen grado

#### **4.4 Utilidades**

De la copra (*la carne seca del coco*), se obtiene aceite, muy bien cotizado en las industrias de alimentos y cosméticos, y los residuos que quedan, se usan para pasto animal.

La cáscara dura o endocarpio del coco se usa como combustible de alto valor calorífico (7500–7600 cal/g), y también sirve de materia prima para la obtención de carbón activado.

La savia del cocotero fresca; fermentada, puede conservarse y transformarse en un tipo de bebida alcohólica, conocida como vino de coco.

Las fibras que rodea el fruto del coco se utilizan para hacer cepillos, colchones y cuerdas

El carbón activado al igual que otros tipos de carbón, forman un grupo de materiales carbonosos en los cuales la estructura y propiedades son más o menos similares a la estructura y propiedades del grafito.

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito solo que el orden en la estructura del carbón activado es menos perfecta; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 500 a 1,500 metros cuadrados ó más, por gramo de carbón. El área de superficie del carbón activado varía dependiendo de la materia prima y del proceso de activación. Son las altas temperaturas, la atmósfera especial y la inyección de vapor



del proceso de fabricación del carbón activado lo que “activa” y crea la porosidad, dejando mayormente una “esponja” de esqueleto de carbón.

### Figura.1 Arreglo Estructural de las Placas Planas del granito

Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20980/Capítulo 1.pdf>

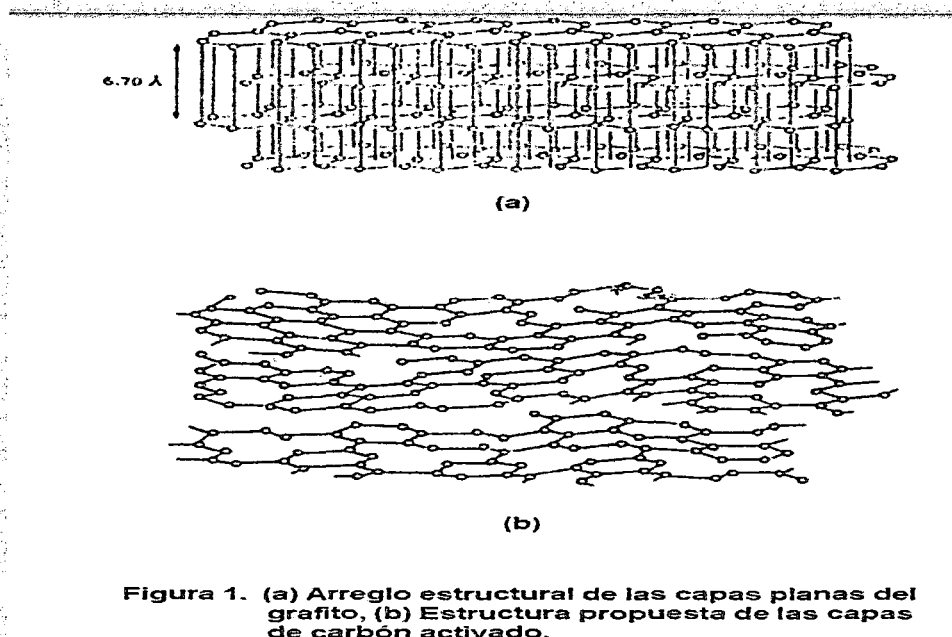


Figura 1. (a) Arreglo estructural de las capas planas del grafito, (b) Estructura propuesta de las capas de carbón activado.

## 4.5 Características Físico-Químicas

### 4.5.1 Composición Química

El término carbón activo designa un amplio espectro de materiales que se diferencian fundamentalmente en su estructura interna (distinción de poros y superficie específica) y en su granulometría.

Desde el punto de vista de la composición química, el carbón activo es carbón prácticamente puro, al igual que lo es el diamante, el grafito, el negro de humo y los diversos carbonos

minerales o de leña. Todos ellos poseen la propiedad de adsorber, que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos y que están contenidas en un líquido o gas.

La composición química del carbón activo es aproximadamente un 75-80% en carbono, 5-10% en cenizas, 60% en oxígeno y 0,5% en hidrógeno.

#### **4.5.2 Estructura física**

El carbón activo posee una estructura microcristalina que recuerda en cierta medida a la del grafito. Esta estructura que presenta el carbón activo da lugar normalmente a una distribución de tamaño de poro bien determinada.

### **4.6 Mecanismos de Operación como Adsorbente**

Es importante comprender el mecanismo de adsorción ya que permite predecir con cierto grado de aproximación el comportamiento del carbón activado en muchas de las aplicaciones que puede tener.

#### **4.6.1 Tipos de Fenómenos de Adsorción:**

Existen dos tipos de fenómenos de adsorción: Fisisorción y Quimisorción.

a).- **Fisisorción:** Ésta es la más común para el caso de carbón activado, en este tipo de adsorción no existe intercambio de electrones entre adsorbente y adsorbato, lo que permite que el proceso sea reversible.



b).- **Quimisorción:** Ésta es menos frecuente, este tipo de adsorción suele ser irreversible debido a que ocurren modificaciones de las estructuras químicas del adsorbato y del adsorbente.

#### 4.6.2 Tipos de poros dentro de una partícula de carbón

El carbón activado tiene una gran variedad de tamaños de poros que pueden clasificarse, de acuerdo con su función, en *poros de adsorción* y *poros de transporte*.

Los poros de adsorción consisten en espacios entre placas grafiticas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. En estos, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza.

Los poros mayores que los de adsorción son los *poros de transporte* y tienen un rango muy amplio de tamaños, que van hasta el de las grietas que están en el límite detectable para la vista y que corresponden a 0.1 mm. En esta clase de poros, sólo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y entonces lo hace con una fuerza menor, insuficiente para retenerlo.

#### 4.7 Otra clasificación de los poros:

Es la de la IUPAC (International Union of pure and Applied chemists), que se basa en el diámetro de los mismos, de acuerdo con lo siguiente:

- Micro poros: menores a 2 nm
- Meso poros: entre 2 y 50 nm
- Macro poros: entre 50 y 100,000 nm



Los microporos tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas, que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes. Los macro poros atrapan moléculas grandes, como los colores intensos o las sustancias húmicas, ácidos húmicos y fúlvicos que se generan al descomponerse la materia orgánica. Los meso poros son los apropiados para moléculas de tamaño intermedio entre las anteriores

#### **4.8 Activación Física:**

La activación física se realiza en dos pasos que consiste en la carbonización de un material de alto contenido de carbón seguido de la activación del material resultante a una temperatura elevada en presencia de gases oxidantes. Algunos de los gases empleados son el  $\text{CO}_2$ , vapor de agua, aire o mezclas de ellos. El rango usual de temperaturas de carbonización es de 400 a 800 °C, mientras que el rango de temperatura de activación es de 600 a 900 °C.

La activación consiste en "multiplicar" la cantidad de poros de un carbón dando como resultado una estructura extremadamente porosa de gran área superficial disponible para llevar a cabo el proceso de adsorción en las diferentes aplicaciones ya mencionadas.

Normalmente se lleva a cabo en dos etapas: la carbonización del precursor y la gasificación controlada del carbonizado. La carbonización es la transformación de la materia prima a carbón en la cual se eliminan elementos como el hidrógeno y el oxígeno del precursor, para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria. Este proceso se realiza en ausencia de oxígeno a temperaturas inferiores a 700°C.

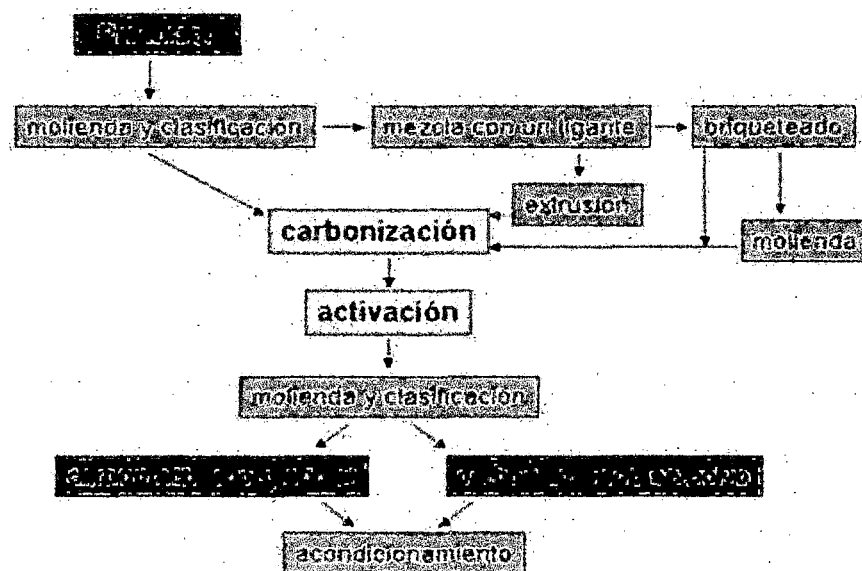


En la activación el material sólido se expone a una atmósfera oxidante (oxígeno, vapor de agua, CO<sub>2</sub>, o una mezcla de éstos) a temperaturas entre 800 °C y 1000 °C, que elimina los productos volátiles, aumentando el volumen de poros y la superficie específica al oxidar parte de las moléculas de carbono. La activación es el proceso de oxidación lenta del carbón resultante por medio del cual se forman millones de poros microscópicos en la superficie del carbón.

La carbonización y la activación se realizan principalmente en hornos rotatorios construidos en acero inoxidable y materiales refractarios para soportar las altas temperaturas de activación, cercanas a 1000 °C. Cuando se utiliza como materia prima un material orgánico (ya sea, cáscara de coco, cuescos de frutas u otro), el proceso debe comenzar con la carbonización del material.

El siguiente diagrama muestra a grandes rasgos las etapas involucradas en la obtención de carbón activado mediante activación física

**Diagrama.1 Obtención de carbón activado : activación física**

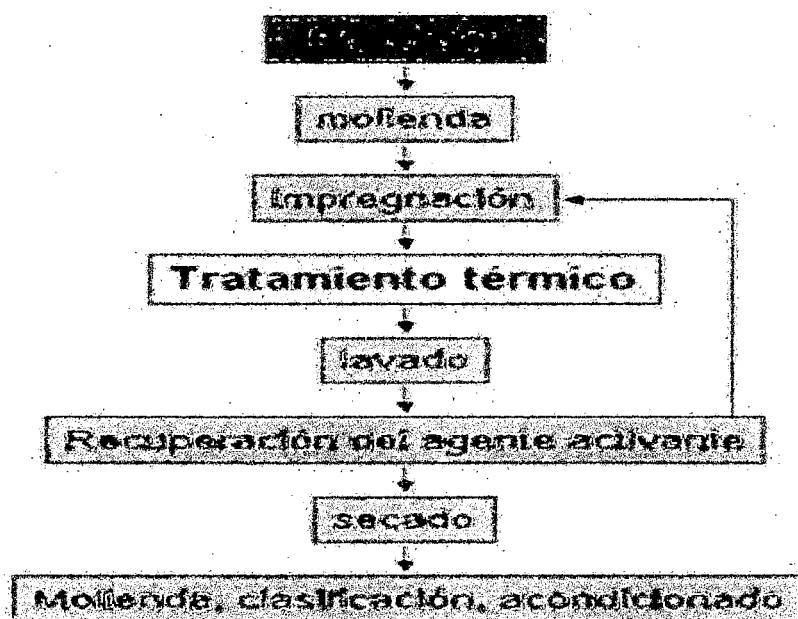


**Fuente: Instituto Nacional del Carbón, España**

#### 4.9 Activación Química

En este caso el precursor, normalmente un material lignocelulósico como madera, se impregna con un agente químico, preferentemente ácido fosfórico (aunque también se puede utilizar cloruro de cinc), y el material impregnado se calienta en un horno a 500-700°C. Los agentes químicos utilizados reducen la formación de material volátil y alquitranes, aumentando el rendimiento en carbono. Los agentes químicos más utilizados son el  $\text{Cl}_2\text{Zn}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , el  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . El carbón resultante se lava profundamente para eliminar los restos del agente químico usado en la impregnación. Adicionalmente, estos carbones pueden ser activados térmicamente por gasificación parcial con dióxido de carbono o vapor de agua para obtener carbones activados con elevadas áreas superficiales para aplicaciones como el almacenamiento de gas natural.

Diagrama.2 Obtención de carbón activado a través de activación Química.



Fuente: Instituto Nacional del Carbón, España





#### **4.10 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.

#### **4.11 Aplicaciones Generales**

El carbón activado son de múltiples usos por ser un compuesto covalente muestra preferencia por moléculas covalentes, es decir pro moléculas que tienden a ser no iónicas y poco polares, tal es el caso de los compuestos orgánicos por tal razón el carbón activado se considera un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas.

##### **Las principales aplicaciones del carbón activado:**

- a) Tratamiento de Aguas.** Se emplea en la purificación y filtración de aguas, para eliminar grasas, color, olor, gusto y adsorbente de fenoles en las aguas sedimentarias potables y alcantarilladas, con el objetivo de reducir la corrosión, mejorar la coagulación, remover gustos debido a cantidades pequeñas de impureza.
- **Tratamiento de aguas subterráneas.**
- **Tratamiento de aguas residuales.**
- **Tratamiento de aguas para piscinas.**



- d) **Refinación de aceites y grasas comestibles.** Se emplea con fines de purificación en un uso antiguo fue como suplemento de tierra de batan para decolorar el aceite de semilla de algodón.
- e) **Eliminación de impurezas:** Para mejorar el color y sabor de muchos productos alimenticios como la gelatina, las sopas y el vinagre han proporcionado un mercado importante para el carbón activado. No causa variación en los productos alimenticios durante la desaparición de impurezas adsorbidas.
- f) **Bebidas alcohólicas:** Se emplea para eliminar aroma, color y olor así como para eliminar bacterias en cerveza, jugo de frutas, whisky y vinos, con el fin de corregir aromas y colores, mejorar sabor, clasificar añejamiento de brebajes.
- g) **Purificación de aire :** adsorbe solventes orgánicos
- h) **Purificación de gas natural o Biogás:** adsorbe sulfuro de hidrogeno.
- i) **Adsorción y recuperación de oro, plata y cobre:** como es el caso de las empresas mineras de Antamina y Yanacocha para obtener el moro doré.
- j) **Tratamiento de gases:** desodorante en filtros de cigarrillos máscaras anti-gases, emisión de gases de automóviles y en las campanas sobre las cocina integrales.

Según el uso se puede dividir en carbón activado para adsorber gases: sus poros son más pequeños para los líquidos, se usa como materia prima, cascara de nueces, carbón y hulla principalmente:



**Cuadro.1 Aplicaciones por calidades del carbón activado**

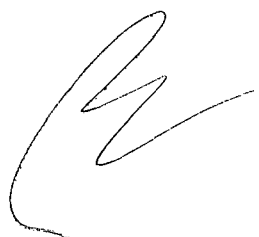
Carbono 119	Filtros de decoloración de aguas domésticas e industriales, tratamiento de efluentes, purificación de aguas residuales, purificación de gas carbónico, ácidos orgánicos, adsorción de alcohol, desodorización de heladeras, cámaras frigoríficas
Carbono 141-S	Tratamiento de gases, recuperación de solventes, soporte catalítico, recuperación de oro, purificación de ácidos
CBL 200	Tratamiento de aguas para filtros domésticos, productos químicos
SC 340	Soporte catalítico para procesos petroquímicos, aplicación a gasolina e querosene de aviación
Carbono 118	Glucosa, ácido láctico, glutamato monosódico, gelatina, ácido orgánico, cafeína
Carbono 118-CB	Glicerinas, gorduras, ceras, óleos, esteres, baños galvánicos, productos orgánicos, carbonato de sodio
Carbono 118-90	Vinos, jugos de frutas, bebidas alcohólicas, aguas municipales
Carbono 117	Refino de azúcar, refrigerantes, óleos, ácidos orgánicos, plastificantes
Carbono 106-RC	Gorduras y ceras, residuos industrias, baño de galvanoplastia, plastificantes, sulfato de aluminio, baños electrolíticos.
Carbono 106-90	Aguas municipales, fenol, residuos industrias
Carbono 147	Antibióticos, sorbitol, manitol, dextros, soporte catalítico, baños galvánicos especiales, productos químicos e farmacéuticos especiales
Carbono 147-90	Vinos y bebidas alcohólicas, productos químicos y farmacéuticos especiales

Fuente: Carbochem, Ardmore, USA

#### 4.12 Propiedades:

La composición elemental del carbón activado típico es de 88% C, 0.5% H<sub>2</sub>, 0.5% N<sub>2</sub> como 1% azufre y de 6 a 7 % O<sub>2</sub>. Los carbones activados más usados tienen un área de 500 m a 1500 m<sup>2</sup>/gr.

La caracterización del carbón activado está basado en las siguientes propiedades:



**Cuadro.2. Propiedades de algunos carbones activados varios.**

**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, Ardmore, USA

**4.13 Condiciones que afectan la adsorción en el Carbón Activado:**

La adsorción en carbón activado se ve afectada por diversas propiedades tanto del carbón como del adsorbato, así como por las condiciones del gas o del líquido en el que se lleva a cabo este proceso. Las propiedades que afectan la adsorción son las siguientes:

**4.13.1 Propiedades relacionadas con el tipo de carbón activado**

La adsorción aumenta cuando el diámetro de los poros predominantes está entre una y cinco veces el diámetro del adsorbato.

Diferencias en la química superficial y en los constituyentes de las cenizas pueden afectar la adsorción, especialmente en fase líquida.

El carbón activado tiene grupos orgánicos superficiales y cenizas. Los primeros pueden ser de diverso tipo y estar presentes en distintas cantidades, dependiendo de las condiciones a las que se ha sometido el carbón desde el momento de su producción. Un carbón que se activa arriba de 600 °C en ausencia de oxígeno y que se enfría en una atmósfera inerte resulta cargado negativamente, se denomina carbón H, y adsorbe preferentemente moléculas ácidas en una solución líquida.

Si la activación se hace en presencia de oxígeno y a menos de 500 °C, el carbón activado queda cargado positivamente, se llama carbón L y tiene mayor afección por moléculas básicas de una solución líquida. En caso de que el carbón se active a temperaturas cercanas a 500 o 600 °C, o a temperaturas superiores pero en contacto con oxígeno durante su enfriamiento, entonces adsorbe por igual tanto ácidos como bases.

Respecto a las cenizas, los carbones activados comerciales de diversos orígenes contienen entre 3 y 15% de ellas, generalmente en forma de óxidos metálicos. La cantidad exacta puede determinarse por ignición de una muestra de carbón.

Las cenizas están constituidas por elementos no volátiles, como Na, K, Ca, Mg, S, Fe, Si, Al y P; con lavados ácidos es posible extraer hasta 90% de éstos.

#### **4.13.2 Propiedades relacionadas con el adsorbato**

Antes de enlistarlas, hay que mencionar que todo tipo de moléculas orgánicas se adsorbe bien en el carbón activado. No así las inorgánicas, excepto algunas como los molibdatos, los cianuros de oro, el dicianuro de cobre, el cloruro de mercurio, el yodo y las sales de plata, entre otros.

- La adsorción de orgánicos es más fuerte al aumentar su peso molecular, mientras el tamaño de la molécula no rebase el del poro.
- Las moléculas orgánicas no polares se adsorben con mayor fuerza que las polares.
- Las moléculas orgánicas ramificadas se adsorben con mayor fuerza que las lineales.
- La mayoría de las moléculas orgánicas que tienen ligados átomos de cloro, bromo o yodo se adsorben con mayor fuerza.
- La adsorción en fase líquida aumenta al disminuir la solubilidad del adsorbato.

#### **4.13.3 Propiedades relacionadas con el líquido que rodea al carbón activado:**

Generalmente aumenta la adsorción al disminuir el pH.

La teoría dice que la adsorción no se ve afectada por la temperatura; sin embargo, a mayor temperatura, aumenta la solubilidad del adsorbato y se adsorbe en menor proporción. Por otro lado, a mayor temperatura, también disminuye la viscosidad del solvente, facilitando la movilidad del adsorbato y por lo tanto acelerando su velocidad de difusión hacia los poros. En términos prácticos, generalmente aumenta la adsorción al aumentar la temperatura.

#### **4.14 Importancia de la química superficial de los carbones activados.**

La superficie de los carbones, en particular los átomos de carbono de los bordes de los planos basales, pueden encontrarse combinados en mayor o menor proporción con otros átomos distintos al carbono (heteroátomos), dando lugar a diferentes grupos superficiales. Por otro lado, los átomos de carbono de los planos basales, poseen

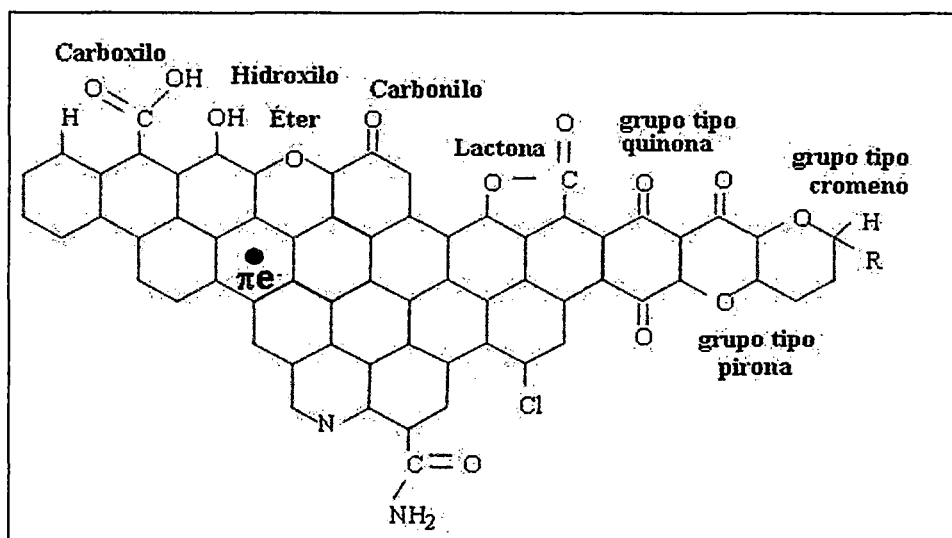


orbitales p que contienen electrones más o menos deslocalizados dentro de estos planos basales. La presencia o ausencia de los grupos superficiales, así como el mayor o menor grado de deslocalización de los electrones p afecta a las interacciones del carbón con otros elementos o compuestos.

Por ejemplo, todos los carbones presentan en principio un carácter hidrófobo, no obstante podemos disminuir este carácter hidrófobo adicionando grupos superficiales polares. Esto puede conseguirse por oxidación con algún tipo de agente oxidante. Los grupos oxigenados dan lugar a centros primarios de adsorción de moléculas de agua que a su vez adsorberán nuevas moléculas por formación de puentes de hidrógeno. De esta forma se aumenta el carácter hidrófilo y la "mojabilidad" de los carbones. En el caso de la adsorción de compuestos inorgánicos en fase acuosa esto podría resultar beneficioso. Sin embargo, en el caso de que el carbón activado vaya a ser usado para adsorber compuestos en fase gas, el hecho de que los poros estén ocupados, o incluso bloqueados, por moléculas de agua puede llegar a disminuir sustancialmente la capacidad de adsorción del carbón. De hecho este efecto combinado de oxidación/adsorción de humedad de los carbones activados se conoce como efecto de envejecimiento (*ageing effect*) y es algo a evitar en la medida de lo posible, especialmente para las aplicaciones en fase gas.

Optimizar la textura porosa y química superficial de un carbón activo no siempre es una tarea sencilla máxime si tenemos en cuenta que la textura porosa y la química superficial pueden estar interrelacionadas. Por ejemplo, un aumento en el contenido en grupos superficiales oxigenados puede modificar la textura porosa de un carbón ya que se pueden bloquear parte de los microporos lo que disminuye la accesibilidad al sistema poroso.

Figura.2 Textura porosa y química superficial de un carbón



Fuente: La Chira Martínez Reysond Renato

#### 4.15 Propiedades Físico-Químicas

##### 4.15.1 Capacidad de adsorción.

Es la propiedad más importante del carbón activado, siendo una medida de la eficiencia de la adsorción, esta puede ser evaluada por la decoloración de las soluciones que contengan un tinte, el más usado es el azul de metileno que puede ser decolorado completamente. Una razón por la cual el carbón activado tiene una capacidad de adsorción es debido a la gran área superficial que presenta y que está contenido en un pequeño peso.

##### 4.15.2 Densidad relativa.

Es el peso en gramos por centímetros cúbicos cuando el carbón es llevado al volumen mínimo. Una densidad relativa alta puede ser ventajosa pero que no hay más gramos en menos espacios, lo cual significa que mayor cantidad será descargada en igual tiempo, requiriéndose de un menor espacio para almacenar carbón de densidad



relativa alta. La ventaja de la densidad relativa alta es que este carbón ocupa menos espacio en el filtro.

#### **4.15.3 Tamaño de partícula**

Es una propiedad que permite un mejor uso de poder adsorbente en base a tamaño óptimo de las partículas y se expresa con el porcentaje de carbón que pasa por una malla determinada con respecto a la masa inicial tomada para la prueba.

#### **4.15.4 Humedad**

Se determina como pérdida de peso de agua, asumiendo que esta es la única materia volátil presente en el carbón activado y es expresado como % muestra seca con respecto a la humedad original.

#### **4.15.5 Pureza**

Los fabricantes de carbón activado frecuentemente citan en las especificaciones el contenido de ceniza como una indicación de materia inorgánica presente en su producto. En la práctica muchos carbones de uso general con alto de contenido e cenizas son más eficientes en eliminar impurezas que muchos carbones tiene bajo contenido de ceniza.

#### **4.15.6 pH**

Es la medida de la diferencia de potenciales de hidrogeno de carbón activado, originada por la solución en agua de sustancias contenidas en el carbón activado, tanto en caliente a 80°C como en temperatura ambiente debe estar seco.

#### 4.16 Ventajas y Desventajas

El carbón activo puede fabricarse a partir de un sin número de materiales carbonosos, solamente se utilizan unos cuantos a nivel *comercial*, debido a su disponibilidad, bajo coste, y a que los productos obtenidos a partir de ellos tienen las propiedades que cubren toda la gama de aplicaciones que el carbón activo puede tener.

En el siguiente cuadro se muestran las principales materias primas y tecnologías de activación utilizados en la producción, así como la dureza y el tamaño de poro de los productos obtenidos.

**Cuadro.3 Principales materias primas y tecnologías de activación**

Materia Prima	Activación	Dureza o resistencia a la abrasión	Tamaño de poros
Madera de Pino	Deshidratación química <sup>1</sup>	30-50	Macroporoso
Madera de Pino	Termica <sup>2</sup>	40-60	Mesoporoso
Carbón mineral Bituminoso	Termica <sup>2</sup>	70-80	Mesoporoso
Concha de coco	Termica <sup>2</sup>	90-99	Microporoso

Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20980/Capítulo 1.pdf>

1 Típicamente con ácido fosfórico y en ocasiones con cloruro de zinc.

2 En atmósfera saturada de vapor de agua o con gases de combustión.

#### 4.17 Tipos de Carbón Activado

##### 4.17.1 Pulverizado

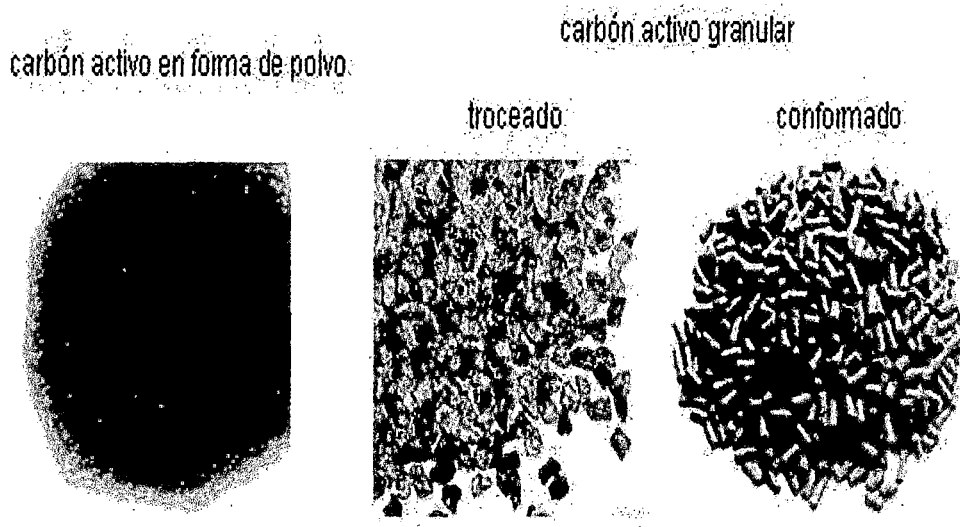
Los Carbonos Activados pulverizados poseen grande área superficial, con estructura porosa bien distribuida, predominando los medios y macro poros. Son utilizados generalmente en procesos discontinuos, presentando la ventaja de uso en dosificaciones variadas. El Carbono en polvo es agregado y combinado al líquido a ser tratado, siendo entonces removido por filtración y/o sedimentación, después de un determinado tiempo de contacto. El tamaño de sus partículas promueve un contacto íntimo con el líquido

a purificar, aparte de poseer las características necesarias de humectabilidad y sedimentación..

#### 4.17.2 Granulado.

Los Carbonos granulados son producidos a partir de materias-primas rígidas, de modo que adquieren dureza necesaria para evitar pérdidas excesivas debido a la fricción y manipuleo. Poseen elevada área superficial, proporcionando alto poder de adsorción en las aplicaciones a que se destinan. Son utilizados en columnas de lechos fijos o móviles, a través de los cuales el fluido pasa y es purificado.

**Foto.4 Tipos de carbón activado**



<http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3184/1/05-TESIS.IQ011.G35.pdf>

#### 4.17.3 Desorción con carbón activado:

La adsorción es un proceso que se utiliza para separar una sustancia de una solución que es soluble en el agua, en el soluto es el carbón activado. Se aprovecha una de las propiedades físicas del carbón activado cuya preparación está orientado para cubrir una superficie interna de 500 – 1500 m<sup>2</sup>/g. Esta superficie interna hace

que el carbón tenga una eficiencia elevada. El carbón activado se puede producir bajo dos formas:

#### **4.17.4 Proceso de la desorción:**

Consiste en que las partículas que se encuentren en la solución ó gas, se adhieren físicamente a la superficie interna que poseen el carbón activado y que el proceso ocurre en tres pasos:

- ❖ **Macro transporte** : Es el movimiento del material orgánico a través del sistema macro poros del carbón activado (macro-poros >50 nm).
- ❖ **Micro transporte** : El movimiento del material orgánico a través del sistema micro-poros del carbón activado (micro-poro < 2 nm, meso-poro 2-50 nm).
- ❖ **Adsorción**: La adsorción física del material orgánico en la superficie del carbón activado en los meso-poros y micro-poros del carbón activado.

#### **4.18 Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el agua:**

La concentración del compuesto que se desea eliminar, que de acuerdo a la concentración se empleará mayor cantidad de carbón activado.

La naturaleza del compuesto que se desea eliminar ya que los compuestos con peso molecular elevado y baja solubilidad son adsorbidos con mayor facilidad.

El pH del agua, en este caso los compuestos con baja acides son eliminados con mayor facilidad.



#### **4.19 CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE COCO**

Una de las razones para proponer el presente trabajo de investigación es la disponibilidad de la materia prima, sobre todo en nuestra amazonia, en el Departamento de Amazonas . A partir de la cáscara de coco es posible obtener diferentes tipos de carbones activados para aplicaciones diversas variando las condiciones de preparación.

Por ejemplo, activando la cáscara de coco a alta temperatura (800 °C) en presencia de vapor de agua se puede obtener un carbón hidrofílico (afinidad con el agua), microporoso (con ultramicroporos de diámetros < 0.7 nm), apropiado para aplicaciones que involucran separación de gases; pero, si se activa a menor temperatura (450 °C) usando un agente químico, como ácido fosfórico o cloruro de zinc, se puede obtener un carbón hidrofílico de poros más anchos (Con mesoporos > 2 nm) apropiado para aplicaciones en fase líquida [Reinoso, (2005)].

Además, de obtener una amplia distribución de poros, el carbón activado obtenido de la cáscara de coco resulta con mayor dureza y resistencia, comparado con el obtenido de madera. Otra ventaja que ofrecen los carbones activados obtenidos de materiales orgánicos, en relación a los obtenidos de materiales inorgánicos, es que en los primeros, el porcentaje de cenizas es menor.

##### **4.19.1 El coco como materia prima a nivel mundial es muy abundante**

El cocotero, es la más importante de todas las palmeras. Para obtener una tonelada de carbón activado se



necesitan aproximadamente 11 toneladas de cáscara de coco [Soyentrepreneur, 1998].

#### **4.19.2 La distribución del tamaño del poro:**

Depende fundamentalmente de tres factores: el origen de la materia prima, el tipo de activación, y la duración del proceso de activación

En términos generales, los carbones microporosos son más adecuados para la remoción de moléculas pequeñas, por ejemplo los trihalometanos, los cuales consisten de estructuras simples como:  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CHClBr}_2$ ,  $\text{CHClBr}_2$ .

Para remover compuestos metálicos, los cuales se encuentran en forma de complejos de coordinación disueltos en una suspensión acuosa de retención es a través de formación de enlaces químicos entre el carbón y el complejo metálico que de esta manera es adsorbido. Un ejemplo de esto es la retención y adsorción del complejo de cianuro de oro.

El carbón activado químicamente con ácido fosfórico no adsorbe efectivamente este complejo, pero el carbón activado térmicamente con vapor tiene una alta capacidad de retención del mencionado complejo de oro.

Generalmente se aplica la siguiente regla para la adsorción en fase líquida: los compuestos orgánicos de alto peso molecular de estructura compleja y de baja solubilidad en el solvente en que se encuentran, son más fácilmente adsorbidos en el carbón, que



los compuestos de bajo peso molecular, estructura sencilla y alta solubilidad en el solvente.

**Cuadro.4 Distribución del tamaño de poros**

Propiedad	Coco	Carbón bituminoso	Lignita	Madera
Microporos	Altos	Altos	Medianos	Bajos
Macroporos	Bajos	Medianos	Altos	Altos
Dureza	Alta	Alta	Baja	Mediana
Cenizas	5%	10%	20%	5%
Cenizas solubles en agua	Altas	Bajas	Altas	Medianas
Pólvo	Bajo	Mediano	Alto	Mediano
Regeneración	Buena	Buena	Pobre	Regular
Densidad aparente	0.48 gr/cc	0.48 gr/cc	0.3 gr/cc	0.35 gr/cc
Número de Yodo	1100	1000	600	1000

Fuente: <http://www.slideshare.net/fullscreen/renatolachira/carbn-activado/1>

La capacidad de un Carbón Activado para retener una sustancia determinada, no solo está dada por su área superficial, sino por la proporción de poros cuyo tamaño es el adecuado: una a cinco veces el diámetro de la molécula de dicha sustancia .

Aunque, como se ha mencionado, el Carbón Activado puede fabricarse a partir de un sinnúmero de materiales carbonosos, solamente se utilizan unos cuantos a nivel comercial, debido a su disponibilidad, bajo costo y a que los productos obtenidos a partir de ellos, tienen las propiedades que cubren toda la gama de aplicaciones que el Carbón Activado puede tener.

**Cuadro.5 Capacidad de un Carbón Activado para retener una sustancia**

<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>ACTIVACIÓN</b>	<b>DUREZA O RESIST. A LA ABRASIÓN</b>	<b>RADIO MEDIO DE PORO</b>
<i>Madera de pino</i>	<i>deshidratación química</i>	<i>30-50</i>	<i>10-2,000 nm</i>
<i>Carbón mineral lignítico</i>	<i>térmica</i>	<i>40-60</i>	<i>3.3 nm</i>
<i>Carbón mineral bituminoso</i>	<i>térmica</i>	<i>70-80</i>	<i>1.4 nm</i>
<i>Concha de coco</i>	<i>térmica</i>	<i>90-99</i>	<i>0.8 nm</i>

Fuente: <http://www.beberaguapura.com/caq.php>

Los poros varían en tamaño desde “microporos” de <20 angstroms y “mesoporos” de 20 - 100 angstroms, hasta “macroporos” de >100 angstroms en un rango de hasta más de 100,000 angstroms.

El área de superficie (AS) del carbón activado varía de 500 a 2,500 m<sup>2</sup>/gr, dependiendo de la materia prima y del proceso de activación. El grado típico de carbón para tratamiento de agua tiene un área de superficie de 900 a 1,100 m<sup>2</sup>/gr.

Para la producción de carbón activado se debe partir de una materia prima con propiedades bien definidas tales como abundancia, dureza, estructura inherente de poros, alto contenido de carbono, bajo contenido de ceniza y alto rendimiento en masa durante el proceso de carbonización.

En la Tabla 1, se muestran los tratamientos de activación de los precursores lignocelulósicos, endocarpio de coco, endocarpio de palma africana, y de los mantos 45, 200 y 240. Las



muestras se identificaron teniendo en cuenta que las primeras letras indican el material activado: Manto (M), seguido de su respectivo número (45, 200 y 240) y, los precursores lignocelulósicos: Endocarpio o cáscara de coco (CC) y Endocarpio o cuesco de palma (CP); las ultimas letras indican el tipo de activación física (F) y química (Q), y el agente activante: dióxido de carbono (D) y vapor (V).

**Tabla.1 Denominación de los materiales activados**

Material precursor	Tratamiento de activación	Condiciones de Carbonización (°C/h)	Condiciones de Activación (°C/h)	Denominación
Manto 45	CO <sub>2</sub>	800/2	800/4	M45-FD
Manto 200	CO <sub>2</sub>	800/2	800/4	M200-FD
Manto 240	Vapor de Agua	800/2	800/3	M240-FV
	CO <sub>2</sub>	800/2	800/4	M240-FD
	KOH	---	900/1	M240-OB
Endocarpio de Coco	Vapor de Agua	600/2.5	800/3	CC-FV
	CO <sub>2</sub>	600/2.5	900/1.5	CC-FD
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	---	500/2	CC-QA
Endocarpio de Palma Africana	Vapor de Agua	600/2.5	800/3	CP-FV
	CO <sub>2</sub>	600/2.5	900/1.5	CP-FD
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	---	500/2	CP-QA

**Fuente : Carbochem Ardmore,USA**

**Tabla.2 Análisis próximo de las materias primas en base seca (Bs) y base húmeda (Bh)**

Materia Prima	Ceniza (Bh) (%)	Ceniza (Bs) (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (Bh) (%)	Materia Volátil (Bs) (%)	Carbono Fijo (Bh) (%)	Carbono Fijo (Bs) (%)
M45	13.08	13.71	3.75	30.61	32.08	51.73	54.21
M200	9.91	10.79	7.51	28.98	31.57	52.92	57.64
M240	4.02	4.35	6.96	27.69	29.95	60.74	65.70
CC	1.30	---	8.50	68.70	---	21.50	---
CP	1.60	---	7.30	72.70	---	18.40	---

**Fuente : Carbochem Ardmore,USA**

Los resultados del análisis próximo de los carbones minerales ubican a los carbones usados en este estudio dentro del rango de los Carbones Bituminosos (UPME, 2005). Teniendo en cuenta estos resultados se observa que, por su contenido de carbono fijo, los materiales son aptos .

En la Tabla 3 se muestran los resultados de los valores de las áreas superficiales BET y el Volumen de poro determinados para cada una de las muestras activadas físicamente (Dióxido de carbono y Vapor de Agua) y químicamente (KOH y H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).

**Tabla.3 Valores de Área superficial BET y Volumen de poro de las muestras**

Muestra	Peso (g)	Area superficial (m <sup>2</sup> /g)	Volumen poro (cc/g)
M45-FD	0.139	43.69	0.0228
M200-FD	0.186	179.25	0.0864
M240-FD	0.125	177.79	0.0852
M240-FV	0.186	217.79	0.1018
CC-FV	0.159	611.77	0.2392
CC-FD	0.114	1208.94	0.5186
CP-FV	0.135	543.12	0.2373
CP-FD	0.150	737.28	0.3076
M240-QB	0.122	56.94	0.0279
CC-QA	0.143	701.98	0.2875
CP-QA	0.147	391.71	0.1631

Fuente: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/21n3/art10.pdf>

Para las muestras activadas físicamente la que reportó mayor área superficial fue la CC-FD con 1208.94 m<sup>2</sup>/g y un volumen de poro de 0.5186 cc/g, para las muestras activadas químicamente, se obtuvo un área de 701.98 m<sup>2</sup>/g y volumen de poro de 0.2875 cc/g para la muestra CC-QA.

Para el procedimiento de adsorción de fenol sobre los carbones activados los resultados son presentados en la Tabla 4, en donde los valores de Co, Ce y Qe representan la concentración inicial de la solución de fenol, concentración en el equilibrio del contaminante y cantidad adsorbida del contaminante, respectivamente.

**Tabla.4 Capacidad de adsorción de las muestras**

Muestra	Peso Muestra (g)	Co (ppm)	Ce * (ppm)	Qe ** (mg/g)
CP-FV	0.206	500	287.07	20.67
CP-FD	0.205	500	21.36	46.58
CC-FD	0.204	500	6.67	48.41
M240-FV	0.208	500	463.95	3.47
M240-FD	0.206	500	293.33	20.08
M240-QB	0.205	500	12.18	47.47

**Fuente : <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/21n3/art10.pdf>**

De los resultados presentados en la Tabla 4, se puede observar la alta capacidad de adsorción de fenol de los carbones activados obtenidos por activación física con CO<sub>2</sub> para endocarpio de coco y endocarpio de palma, como también el obtenido por activación química con KOH del manto 240, esto significa que estos materiales adsorbentes tienen alta probabilidad de ser empleados en tratamientos de aguas potables o residuales y brindar un buen desempeño en los sistemas de adsorción utilizados. La mayor capacidad de adsorción de fenol en solución acuosa se debe a la cantidad de fenol que se adsorbe en los microporos, en las partículas de menor diámetro se tiene una mayor disponibilidad del área de los microporos y por esta razón, la adsorción del fenol en solución acuosa aumenta.



#### 4.19.3 Información de otros carbones activados

##### Carbón activado bituminoso

El Carbón Activado Bituminoso (Mineral), es un producto de alta calidad fabricado a partir de hulla bituminosa. Se caracteriza por tener una gran cantidad de meso a macro-poros (>50nm) adecuados para la eliminación de moléculas grandes, es activado con vapor, por lo que no contiene agentes químicos que puedan contaminar o reaccionar con el medio donde sea utilizado, contiene un PH casi neutro, se puede fabricar en granulometría menor a malla (8X30).

El Carbón Activado Bituminoso tiene una alta dureza, por lo tanto presenta mayor resistencia a la erosión. Puede ser utilizado en columnas de lecho fijo o lecho móvil, con un mínimo de pérdidas en los procesos de retrolavado y regeneración.

**Cuadro.6 Carbón Activado de Hulla Bituminosa**

<b>DATOS TECNICOS : CARBON ACTIVADO DE HULLA BITUMINOSA 1000</b>	<b>Valor</b>
Número de Yodo (mg l/g de CAG)	1000
Ph	7
Dureza	85%
Cenizas Totales	4%
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.47
Diámetro promedio del poro (Amstrong)	32
<b>DATOS TECNICOS: CARBON ACTIVADO DE HULLA BITUMINOSA 900</b>	<b>Valor</b>
Número de Yodo (mg l/g de CAG)	900
Ph	7
Dureza	83%
Cenizas Totales	4%
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.49

Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20980/Capítulo 1.pdf>

Es un material muy utilizado en la industria Alimenticia y de Bebidas, la presentación en polvo es ocupada para la clarificación de aceites y jarabes.

#### 4.19.4 Carbón activado de hueso

Se caracteriza por tener una gran cantidad de micro-poros (2-20 nm).

**Cuadro.7 Datos Técnicos de Carbón Activado de Hueso**

<b>CARBON ACTIVADO DE HUESO</b>	
Datos técnicos	Granulado
Número de Iodo (mg I/gr CA)	50
Ph	8 – 9.5
Dureza Adimensional	95
Densidad Aparente	0.75
Solubles en agua	2 % máximo
Carbono	10 – 15 %
Area superficial (m <sup>2</sup> /gr)	194
Diámetro promedio de poros (nm)	11.1
Volumen de poros (m <sup>3</sup> /gr)	0.28
Diámetro de partículas (mm)	0.79

Fuente: Estudio sobre la factibilidad de preparar carbones activados a partir de recursos biomásicos tropicales Medina Álvarez, B. F.; Villegas Aguilar, P. J.; de las Posas del Río, C.E. Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera. Facultad de Ingeniería Mecánica.

**Cuadro. 8a Análisis elemental de las muestras (Ihc: Libre de humedad y cenizas )**

<b>Muestra</b>	<b>%C (Ihc)</b>	<b>%H (Ihc)</b>	<b>%O (Ihc)</b>	<b>%N (Ihc)</b>	<b>O/C</b>	<b>Rp (%)</b>
Aroma	51,3	5,4	42,2	1,0	0,82	23
Semillas de mamey	50,1	5,5	43,3	1,1	0,86	33
Cáscaras caoba africana	53,9	5,2	40,0	1,0	0,74	33
Cáscaras caoba hondureña	54,2	5,1	39,7	1,0	0,73	32
Cáscaras de coco	53,5	5,2,	40,3	1,0	0,75	35
Bagazo de caña de azúcar	46,9	5,6	46,3	1,2	0,99	22
Residuos agrícolas cañeros	44,5	5,7	49	1,2	1,10	20

Fuente: Estudio sobre la factibilidad de preparar carbones activados a partir de recursos biomásicos tropicales Medina Álvarez, B. F.; Villegas Aguilar, P. J.; de las Posas del Río, C. E. Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera, Facultad de Ingeniería Mecánica

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 8a, se encontró la dependencia entre la relación O/C y el rendimiento de la pirólisis.

$$R_p = 53,98 - 29,93 \cdot O/C$$

Donde:  $R_p$ , es rendimiento de la pirolisis de cada una de las materias primas.  $O/C$ : es la relación de las composiciones elementales de oxígeno y carbono.

Las materias primas con bajos rendimientos de la pirólisis como el bagazo de caña de azúcar y los RAC, clasifican como materias primas de baja factibilidad para su elección en la preparación de carbón activado.

**CUADRO N° 8.b Dependencia entre el rendimiento y la temperatura durante 60 min de pirólisis de diferentes materiales.**

Materia prima	Rendimiento de la pirolisis		
	T = 400°C	T = 600°C	T = 800°C
Corteza de aroma	36	33	28
Semillas de mamey	39	33	31
Semillas de aceituna	30	28	24
Cáscaras de caoba africana	37	33	27
Cáscaras de coco	40	35	33
Bagazo de caña de azúcar	30	22	17
Residuos agrícolas cañeros (RAC)	29	20	16

Fuente: Estudio sobre la factibilidad de preparar carbones activados a partir de recursos biomásicos tropicales Medina Álvarez, B. F.; Villegas Aguilar, P. J.; de las Posas del Río, C. E. Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera, Facultad de Ingeniería Mecánica

Los residuos agro-industriales cañeros y el bagazo de caña poseen bajos rendimientos con temperaturas superiores a 600°C. Por esta razón es conveniente emplear bajas temperaturas para la obtención de carbones activados a partir de estos precursores lo cual se corresponde con los procesos de activación "química", la que generalmente se realiza en el intervalo de 350 a 500°C. El empleo de la activación "física" para este tipo de materiales sería económicamente

poco factible debido a que el proceso se realiza a más alta temperaturas lo cual conspira contra los rendimientos del proceso.

Por otro lado precursores como las cáscaras de coco, semillas de mamey y la aroma poseen comparativamente mayores rendimientos a temperaturas de 800°C., lo cual permite la utilización de procesos de activación física con vapor de agua que generalmente se realizan en este rango de temperatura.

**CUADRO N° 8.c Densidades aparentes (dap), reales (dr) y porosidad (P) de algunos residuos tropicales.**

Materia prima	dap (g/cm <sup>3</sup> )	dr (g/cm <sup>3</sup> )	P (%)
Cáscaras del fruto de la caoba africana	0.382	0.612	0.37
Cáscaras del fruto de la caoba hondureña	0.371	0.750	0.50
Semillas de mamey	0.750	1.080	0.35
Semillas de guayaba	0.408	1.040	0.62
Cáscaras de coco	1.308	1.537	0.14
Corteza de aroma	0.340	0.565	0.38
Tusa de maíz	0.168	0.820	0.79
Bagazo de caña de azúcar	0.090	0.700	0.86

Fuente: Estudio sobre la factibilidad de preparar carbones activados a partir de recursos biomásicos tropicales Medina Álvarez, B. F.; Villegas Aguilar, P. J.; de las Posas del Río, C. E. Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera, Facultad de Ingeniería Mecánica

La resistencia mecánica de los carbones activados está estrechamente relacionada con la porosidad de los carbonizados y esta a su vez con la porosidad inicial de los precursores. A partir de los datos de la Tabla anterior, se puede seleccionar con anticipación a los recursos que posibilitan la preparación de carbones activados con buena resistencia mecánica ( $P < 40$ ), siendo éstos básicamente las semillas de mamey, cáscaras de coco y madera de aroma.

#### **4.20 PROPUESTA DEL PROCESO DE OBTENCION DEL CARBON ACTIVADO**

##### **4.20.1 Ingeniería del Proceso**

El proceso consta de las siguientes etapas:

- Recolección y transporte de la materia prima

- Secado de la cáscara de coco.
- Molienda del producto seco;
- Tratamiento térmico del material (carbonización y activación);
- Enfriamiento y secado de los materiales tratados.

#### **4.20.2 Recolección y transporte de la materia prima**

Se extrae de la palmera cocotero las cascaras duras o endocarpio del coco, luego son transportados a la planta de procesamiento con el fin de obtener carbón activado

**Foto.1 Palmera del coco**



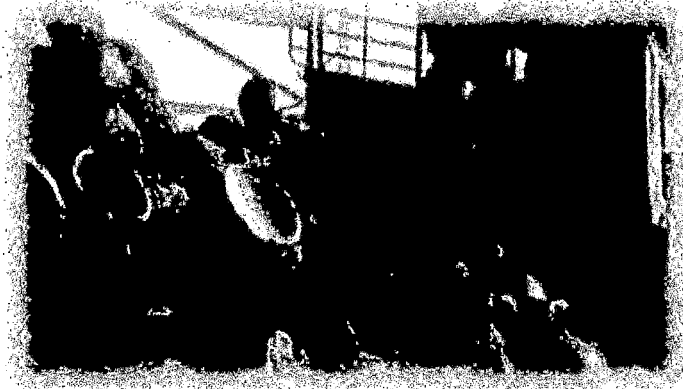
#### **4.20.3 Secado de la cáscara de coco**

Exponer al sol de forma manual las cascaras de coco.

A handwritten signature in black ink, located in the bottom right corner of the page.



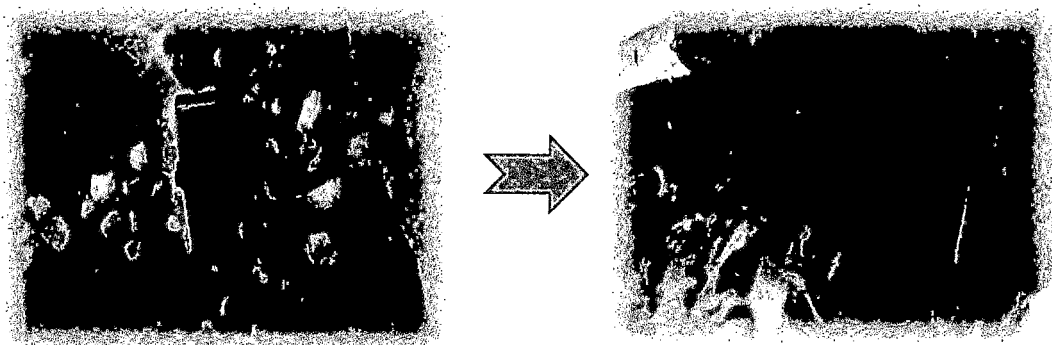
**Foto.2 Secado de la cáscara de coco**



#### **4.20.4 Molienda del producto seco**

Poner las cascaras de coco en una serie de trituradoras mecánicas con la capacidad necesaria para poder moler la cáscara de coco seca de manera eficiente con la granulometría establecida para que pueda mantener la velocidad de alimentación requerida por el horno rotatorio a diseñar, para que así ocupen menos espacio en el horno; además que pueda trabajar por pausas y que no esté en operación constante.

**Foto.3 Molienda se la cáscara de coco**



#### **4.20.5 Tratamiento térmico del material Carbonización y Activación**

Se ponen las cascaras trituradas en el carbonizador; en su interior los fragmentos se calientan a  $T=500^{\circ}\text{C}$ , pero se restringen los

suministros de aire para que las cascaras no se consuman en su totalidad, en cambio la humedad y los aceites de las cascaras se evaporan y lo que quede en las cascaras se transforman en carbón, luego entre 4-6 horas la carbonización está completa.

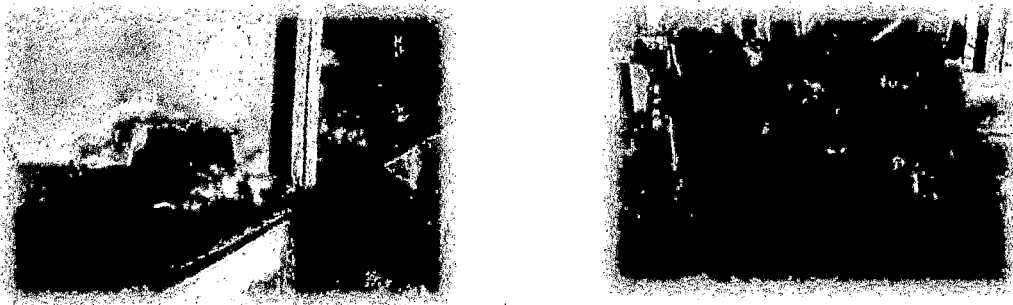
**Foto.4 Tratamiento térmico del material**



#### **4.20.6 Enfriamiento y secado de los materiales tratados.**

Después de haber salido del carbonizador las cascaras pasan a la cinta transportadora para enfriarse. Sin embargo este carbón obtenido aún no está activado pero si puede ser usado para parrilla.

**Foto.5 Enfriamiento y secado de los materiales**

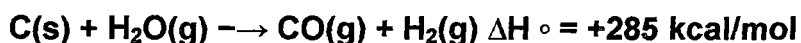


#### **4.20.7 Horno Rotatorio**

El proceso de carbonización-activación , se llevará a cabo en el horno rotatorio a diseñar, el cual operará de manera continua y solo podrá ser suspendido al realizar labores de mantenimiento general. El

proceso de activación tiene como objetivo crear en la superficie del carbón muchos poros u orificios microscópicos que van a atraer a las moléculas de diferentes sustancias. En el presente proceso se usará un tipo de activación física con vapor de agua.

Se seleccionó la activación física del carbón con vapor de agua por ser un 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 el presente caso en un horno rotatorio a temperaturas elevadas (800–1000 °C). La activación física ocurre según la siguiente reacción endotérmica:



El proceso de enfriamiento, que se llevará 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. Los hornos rotatorios son usados desde hace 50 años en las industrias, de alimentos, de construcción, metalúrgica, etc. Sin embargo, su uso más común es para la incineración de residuos peligrosos, debido a 44 Contactos 64, 39–48 (2007)

#### **4.20.8 Preparación de los Carbones Activados:**

El carbón obtenido de la pirolisis es prácticamente inactivo, con área superficial específica del orden de unos pocos metros cuadrados por gramo, mientras que un absorbente con una porosidad desarrollada y una correspondiente amplia área superficial es sólo posible por la activación del material carbonizado, por gasificación parcial, con un activante como: vapor de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> o de ambos y otras sustancias

químicas, aunque el vapor de agua es el agente activante más usado en las plantas industriales.

#### **4.20.9 Actividad física**

Se inicia con la etapa de carbonización, de modo que se logre la deshidratación y la desvolatilización de forma controlada, obteniéndose un carbonizado con elevado por ciento en carbono fijo y una estructura porosa inicial. Durante la carbonización los elementos no carbonosos, como el hidrógeno y oxígeno, presentes en la cáscara de cocco, son eliminados en parte por la pirolisis del material y los átomos de carbono se organizan en estructuras microcristalinas conocidas como "cristalitas grafiticas elementales". Entre estos microcristales hay espacios libres, debido a que su ordenamiento es irregular. Estos espacios o intersticios son bloqueados por carbono amorfo, alquitranes y otros residuos de la descomposición pirolítica del material celulósico.

Como resultado de ello los carbones producto de la carbonización sólo presentan una pequeña capacidad de absorción aumentándose esta capacidad a través del proceso de activación.

La activación se realiza en una segunda etapa a temperaturas entre 800 y 1100 °C en presencia de un oxidante como agente activante que puede ser CO<sub>2</sub> y vapor de agua.

La oxidación del carbón amorfo y la gasificación no uniforme de los microcristales conduce, en la primera fase de activación, a la formación de nuevos poros.

Según Dubinin, para pérdidas por combustión menores del 50 % se obtienen carbones activados microporosos, si la pérdida por combustión es mayor del 75 % se obtiene un carbón macroporoso, si la pérdida por combustión está entre el 50 y 75 % el producto obtenido es una mezcla de estructura micro y macroporosa.

#### **4.20.10 Actividad química**

Este proceso se desarrolla en una sola etapa, calentando en un ambiente inerte una mezcla del agente activante con el material de partida. Las sustancias más usadas son: ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), Cloruro de cinc ( $ZnCl_2$ ), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), aunque también se han usado sulfuros y tiocianatos de potasio, cloruros de calcio y magnesio, hidróxidos de algunos metales alcalinos, entre otras sustancias

Entre las materias primas de origen vegetal se utiliza fundamentalmente aserrín de un tipo de madera y como agente activante el ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ). Considerando que el aserrín es un desecho y el activante se puede recuperar. El proceso involucra el mezclado de la materia prima original con el agente activante (deshidratante), formando una pasta que luego es secada y carbonizada en un horno, entre 200 y 650 °C, ocurriendo una deshidratación con el resultado final de la creación de una estructura porosa y una ampliación del área superficial.

#### **4.20.11 Teorías sobre la Absorción Física de Gases**

Las isothermas de absorción son la característica más usada del estado de equilibrio de un sistema de absorción. Usualmente de ellas se obtiene la información sobre el volumen de absorción, el área superficial del absorbente, volumen de poros y su distribución, la magnitud del calor de absorción y otras informaciones. Teorías como las de Freundlich, Henry, Volmer, Hill de Boer, Langmuir, BET, Teoría del Potencial de Polanyi, Teoría del Llenado del volumen de Microporos de Dubinin y Teoría Fractal tratan de explicar este fenómeno de la absorción y constituyen métodos para la obtención de las isothermas correspondientes.

Las isothermas de absorción, por su forma, se agrupan en seis tipos sobre la base de la clasificación de Brunauer, Deming, Deming y Teller (BDDT).



#### 4.20.12 Teoría Bet

La teoría BET responde a sus autores, Brunauer, Emmett y Teller quienes desarrollaron las ideas de Langmuir para describir la adsorción multimolecular o en multicapas.

El modelo para la formación de infinitas capas moleculares conduce a la bien conocida ecuación BET:

$$\frac{p}{n^a(p_0 - p)} = \frac{1}{n_m^a C} + \frac{C-1}{n_m^a C} \left( \frac{p}{p_0} \right) \quad (1)$$

Donde:

$n^a$  y  $n_m^a$  := la cantidad absorbida a la presión de equilibrio  $p/p_0$  y la cantidad absorbida en la monocapa respectivamente.

$C$  = una constante la que está relacionada proporcionalmente con la fortaleza de la interacción adsorbente-adsorbato y puede usarse para caracterizar la forma de la isoterma BET.

La ecuación 1 da una adecuada descripción para carbones micro, meso y macroporosos sobre un rango limitado de presión relativa, usualmente entre 0.05 y 0.3; por debajo de 0.05, el principio de homogeneidad energética de la superficie no es aplicable a la mayoría de los adsorbentes y por encima de 0.3 deben considerarse las interacciones laterales de las moléculas, lo que no sustenta la teoría BET.

El área de superficie aparente BET (ABET), se calcula a través de la siguiente expresión:

$$ABET = (n_m^a) (N) (a_m) \quad (2)$$

Donde:

$N$ : constante de Avogadro.

$a_m$  : área de la sección transversal de la molécula.

La aplicabilidad de la teoría BET a carbones con microporos estrechos puede tener fuertes limitaciones al asumir la adsorción en multicapa por lo que puede ser inapropiada en poros muy estrechos; lo



que hizo que aparecieran nuevas teorías sobre la absorción en microporos como la ideada por Dubinin y col. acerca del llenado del volumen de microporos, que constituye a priori una teoría más realista

#### 4.21 Teoría del llenado del volumen de microporos

Dubinin y Radushkevich desarrollaron esta teoría basados en el concepto de curva característica y el potencial de absorción de Polanyi para describir la absorción en microporos estableciendo la relación fundamental de la teoría que es la ecuación de Dubinin-Radushkevich (DR):

$$W = W_0 \exp \left[ - \left( \frac{A}{\beta V_m} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Donde:

$W$ : el volumen de adsorbato líquido en los microporos a temperatura ( $T$ ). y presión relativa ( $p/p_0$ ).

$W_0$ : el volumen de microporos o volumen límite de adsorción en unidad de volumen ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) o cantidad de sustancia ( $\text{mmol/g}$ ).

$\beta$ : el coeficiente de similitud.

Al representar la ecuación logarítmica en un sistema de ejes coordenados, se obtiene el volumen de microporos a partir del intercepto y del volumen molar, así como la superficie de microporos partiendo del volumen de éstos, el factor de conversión a líquido del adsorbato y el área molecular del adsorbato.

Algunos autores como Lippens y de Boer, Sing K.S.W., entre otros, demostraron que la relación entre el volumen absorbido ( $V_a$ ) y el volumen de la capa unimolecular o monocapa del gas ( $V_m$ ) si se representa frente a la presión relativa, proporciona una curva llamada isoterma estándar. Los métodos de caracterización basados en las isotermas estándar, permiten un estudio más completo de la microporosidad del absorbente y de su área de superficie, detectando la presencia de microporos y su

volumen, así como la condensación capilar en mesoporos, entre estos métodos se encuentran el método-t y el A S.

#### **4.22 El método de AS de SING.**

Tanto el método t de Lippens, B.C. y de Boer, como el AS de Sing, K.S.W., están regidos por el mismo principio de comparación de una isoterma experimental a una estándar. El método AS puede considerarse una modificación del método t propuesto por Sing y col.. Sing modificó el método-t reemplazando el grosor de la capa absorbida (t) por la relación  $V_a/V_{0.4}$  o  $n/n_{0.4}$ , llamada A S,

Donde:

$V_{0.4}$  o  $n_{0.4}$ , es el volumen o cantidad de sustancia absorbida por un sólido no poroso, de referencia, a la presión relativa seleccionada  $(p/p_0)_x$ .

#### **4.23 Caracterización de Carbones Activados**

##### **4.23.1 Absorción de N<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.**

El absorbente más usado para la caracterización de carbones activados es el nitrógeno (N<sub>2</sub>) seguido por el CO<sub>2</sub>. Para la determinación del área de superficie es usual tomar como valores de área molecular 0.162 nm<sup>2</sup> para el N<sub>2</sub> a 77 K y 0.195 nm<sup>2</sup> para la molécula de CO<sub>2</sub> a 273 K. La absorción de N<sub>2</sub> es muy lenta debido a la lentitud del proceso de difusión a través de los microporos a la temperatura de análisis (77 K). Por tal razón se completa la caracterización con la absorción de CO<sub>2</sub> que presenta dimensiones moleculares similares a las del N<sub>2</sub> ( 0.28 nm y 0.30 nm respectivamente) pero que puede ser utilizado a temperaturas de 273 K o 298 K a las que el proceso de difusión se ve bien favorecido y se alcanza el equilibrio antes que con N<sub>2</sub>. El rango de presión relativa cubierto, en el caso de la absorción de CO<sub>2</sub>, es menor al cubierto en la absorción de N<sub>2</sub> a 77 K, debido al elevado valor de presión de saturación del CO<sub>2</sub> a 273 K.





Para tener una información de la distribución del tamaño de microporos, se parte de los datos que se obtienen del método MP de Mikhail, Brunauer y Bodor (Brunauer, S. y col. 1968) que es una extensión del método t de de Boer para el análisis de la distribución del volumen de microporos en función del volumen calculado a partir del grosor de la monocapa y la superficie a partir de la pendiente.

En este método, t puede ser calculada independientemente del sólido por la siguiente ecuación.:

$$t = V_{(l)} / S_{(BET)} \times 10^4 \quad (4)$$

Donde:

t : grosor de la capa adsorbida medido en Å.

V(l) : el volumen de adsorbato líquido.

S<sub>BET</sub> : el área de superficie calculada por el método BET.

Al representar V(l) frente a t, se pueden obtener diferentes valores de pendiente al construir diferentes líneas de pendiente para intervalos de valores de t, pudiéndose calcular el área de superficie de microporos de la muestra por la sumatoria de las áreas de cada uno de los intervalos medidos. Finalmente, se calcula el volumen de microporos por la expresión siguiente:

$$V = 10^{-4} (S_1 - S_2) \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (\text{cm}^3/\text{g}) \quad (5)$$

Donde:

S1: área de superficie calculada de la pendiente 1.

S2: área de superficie calculada de la pendiente 2.

t<sub>1</sub>: grosor de la capa absorbida al inicio del intervalo usado para la pendiente 2.

t<sub>2</sub>: grosor de la capa absorbida al final del intervalo usado para la pendiente 2.



De esta forma se puede obtener una curva de distribución de microporos al representar V frente al radio de la capa de moléculas absorbidas.

#### 4.23.2 El volumen de mesoporos.

Puede estimarse a partir de la isoterma de nitrógeno si ésta es lo suficientemente aplanada a presiones relativas altas, o combinando resultados de la isoterma y de las curvas de intrusión de la porosimetría de mercurio. En el estudio de los fenómenos de adsorción en mesoporos, la relación entre el tamaño del poro y la presión relativa queda establecida por la ecuación de Kelvin:

$$\ln (P/P_0) = -2sV_m/(RTr_m) \quad (6)$$

Donde:

$p/p_0$  : la presión relativa del gas.

$s$  : la tensión superficial del adsorbato líquido.

$V_m$  : el volumen molar del adsorbato líquido

$r_m$  : el radio de curvatura del menisco (al que se le suma el espesor de la capa adsorbida para tener el radio del poro,  $(r_p)$ ).

$RT$ : Constante de los gases ideales y la temperatura de adsorción, respectivamente.

Para la distribución del volumen de mesoporos se aplica el método de Barret, Joyner y Halenda.

La distribución del volumen de mesoporos se hace asumiendo poros geoméricamente cilíndricos usando la ecuación de Kelvin para el cálculo del radio del poro, por despeje de la ecuación anterior.

Pero usando una constante apropiada para el N<sub>2</sub>, la ecuación anterior se reduce a la siguiente ecuación:



$$rK = \frac{4.15}{\log\left(\frac{p}{p_0}\right)} \quad (7)$$

Donde

$rK$  : es el radio Kelvin, la que permite el cálculo del radio ( $rK$ ) en el que tiene lugar la condensación capilar a presión relativa  $p/p_0$ . Partiendo del hecho de que previo a la condensación tiene lugar alguna absorción en las paredes del poro,  $rK$  no representa el verdadero radio de éste, entonces el verdadero radio ( $r_p$ ) está dado por:

$$r_p = rK + t \quad (8)$$

Donde  $t$  es el grosor de la capa absorbida.

La representación de la derivada del volumen de mesoporos respecto a la derivada del logaritmo del radio, frente al logaritmo del radio, permite obtener la intrusión de mercurio por el método de porosimetría de mercurio.

Mediante este método se mide la presión requerida para forzar la entrada de mercurio dentro de los poros del sólido. Esta presión puede relacionarse a su vez con el tamaño del poro y así obtenerse una distribución de tamaño de poros, lo que se hace a través de la ecuación de Washburn.

$$D P = - 2s \cos \theta / r_p \quad (9)$$

Para el mercurio se toma como valor de  $s$  (tensión superficial) igual a 480 din/cm y  $\theta$  (ángulo del menisco) con valor de  $141,3^\circ$  y  $r_p$  que es el radio del poro.

#### 4.24 Técnicas especiales

Hay métodos y técnicas experimentales para determinar la naturaleza de las estructuras químicas en la superficie de los



absorbentes, la polaridad de la superficie, la distribución de tamaño y estructura de poros, el área superficial y el volumen de microporos como complemento a los métodos ya visto; entre los que se encuentran: la calorimetría de inmersión, la espectroscopía RMNC13 en estado sólido y la microscopía electrónica de alta resolución.

#### **4.24.1 Cámara de Enfriamiento**

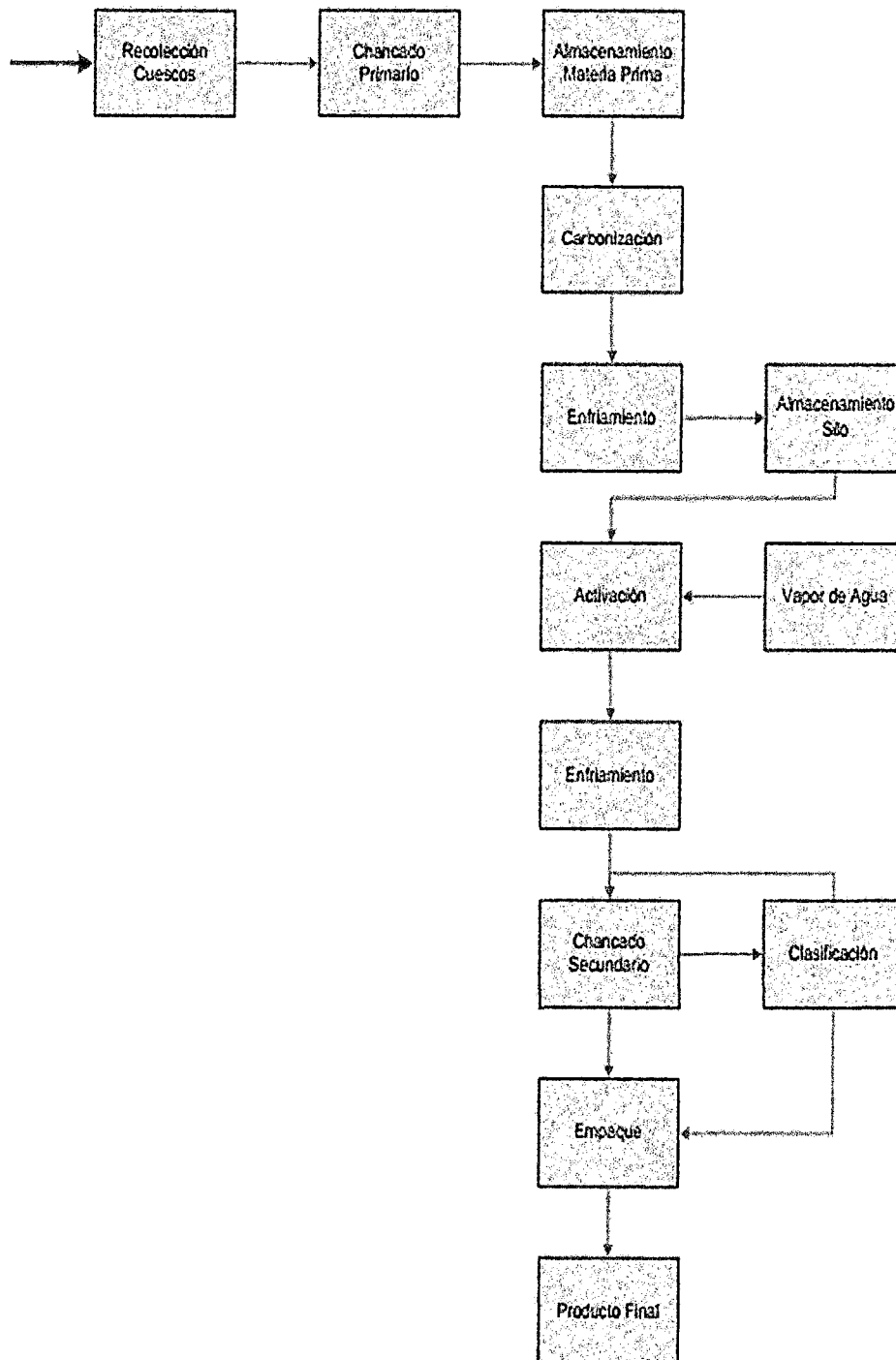
La cámara de enfriamiento tiene como funciones principales retirar el material terminado del horno rotatorio y a su vez, reducir la temperatura de salida para que el manejo y almacenado del material sea más seguro.

La cámara de enfriamiento para desplazar el material del horno rotatorio utilizará un engrane helicoidal comúnmente llamado tornillo de Arquímedes. Para el enfriamiento se utilizará agua que estará circulando entre las paredes del canal por donde se desplazará en contra corriente al desplazamiento del material.



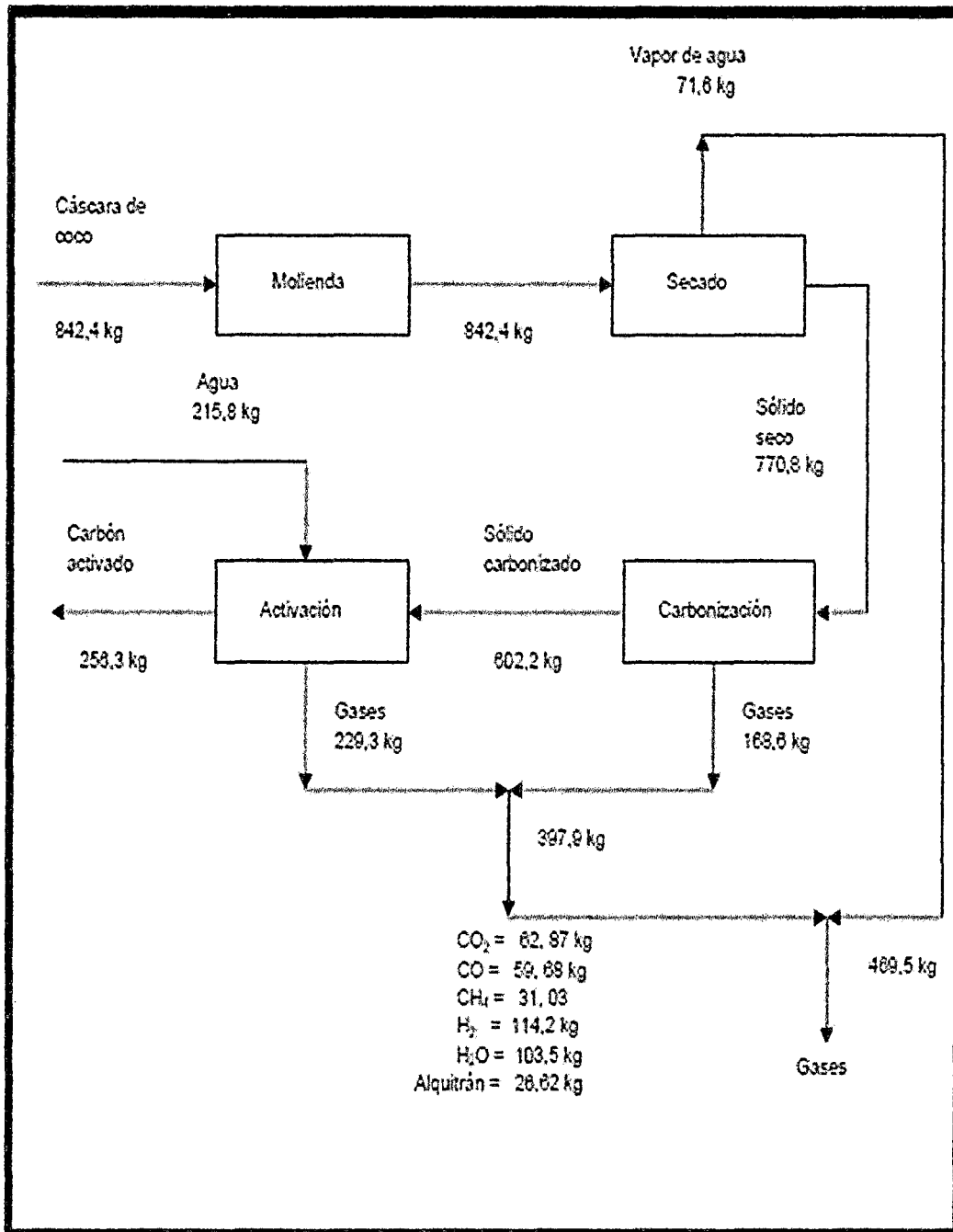
Diagrama :

Diagrama.1 De bloques del proceso de obtención del carbón activado a partir de la cáscara de coco



Fuente: Instituto Nacional del Carbón, España

**Figura.1 Corrientes de flujo involucradas**



**Figura Corrientes de flujo involucradas en el proceso del carbón activado**

<http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3184/1/05-TESES.IQ011.G35.pdf>

## **4.25 Aplicaciones del Carbón Activado :**

### **4.25.1 Tratamiento de Aguas Residuales con Carbón Activado :**

Los Carbones Activos (CA) Son una opción ideal para su aplicación como tratamiento terciario en PETARs, con vistas a la reutilización de las aguas. También resultan muy eficaces en la eliminación de compuestos tóxicos que puedan hacer peligrar el funcionamiento del tratamiento biológico, mejorando, a su vez, su rendimiento.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante CA son fáciles de implantar y mantener, ya que incluso se pueden incorporar a sistemas convencionales de depuración.

Los CA cuentan con la ventaja de controlar los olores de las aguas residuales mejor que otros materiales, pudiendo estar en polvo o en forma granular. La dosis de tratamiento con CA en polvo suele ser menor de 5 mg/l, aunque variará en función de las características de los contaminantes y de la calidad final requerida. El CA granular se usa en lechos fijos solo o formando una bicapa con arena.

### **4.25.2 Aplicación del carbón activado (PAC):**

Aplicación de Carbón Activo en Polvo como coadyuvante en el tratamiento biológico (Fangos Activos, aireación prolongada, etc).

La mezcla del PAC con la biomasa en el tratamiento secundario potencia la actividad de los microorganismos, ya que tiene la capacidad de adsorber, retener y ceder oxígeno en su superficie, favoreciendo una mejora en la eficiencia de la eliminación de contaminantes orgánicos por medio de la biomasa.

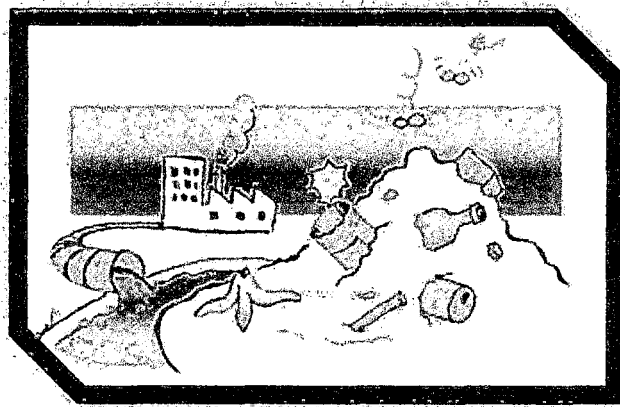
Después del ciclo de aireación, los sólidos (PAC con compuestos orgánicos adsorbidos, biomasa y sólidos inertes) se retiran mediante sedimentación. Estos sólidos retirados son, en su mayoría,

devueltos al tanque de aireación, del que se extraen los sólidos en exceso. También pueden ser regenerados para recuperar el PAC o deshidratados para proceder a su eliminación.

Este sistema de tratamiento de aguas residuales mediante carbón activo en polvo ha sido aplicado en los siguientes campos:

- **Lixiviados de vertederos**

**Figura.2 Lixiviado de vertederos**



- **Aguas superficiales y subterráneas contaminadas.**
- Figura.3 Contaminación de aguas superficiales y subterráneas**



Entre los beneficios del sistema se encuentran:

- Mayor estabilidad del sistema biológico frente a puntas de contaminación.



- Eliminación de color y olor.
- Reducción de amoníaco: mejora la nitrificación, incluso a temperaturas bajas.
- Mejora en la sedimentación de los sólidos en aguas muy contaminadas.

Se puede implementar en un sistema de fangos activos con un coste mínimo.

#### **4.25.3 Aplicación del carbón activado granular (GAC)**

De modo general, el sistema de adsorción sobre Carbón Activo Granular se emplea como tratamiento terciario en PETARs o como parte del proceso de tratamiento físico-químico de las aguas residuales.

A la hora de implantar un sistema de adsorción mediante GAC es necesario conocer tanto la cantidad como la calidad del agua residual que entra a dicho sistema, ya que es necesario una concentración de sólidos en suspensión lo más uniforme posible (que no sobrepasen los 20 mg/l) y evitar, en la medida de lo posible, las puntas de caudal. También se deben considerar otros factores, como el pH y la temperatura, pues éstos pueden influir en la solubilidad y ésta, a su vez, en las propiedades de adsorción de los contaminantes sobre el carbón.

La adsorción con carbón activo consiste en retirar del agua las sustancias solubles mediante el filtrado a través de un lecho de este material, consiguiéndose que los oligominerales pasen a través de los microporos, separando y reteniendo en la superficie interna de los gránulos los compuestos más pesados.

Este proceso retiene sustancias no polares como aceite mineral, polihidrocarburos aromáticos, cloro y derivados, sustancias halogenadas como I, Br, Cl, H, F, sustancias generadoras de malos olores y gustos en el agua, levaduras, etc. La filtración mediante GAC se suele realizar después de la clarificación primaria y previamente a la desinfección.

Por otro lado, los compuestos residuales derivados de procesos de cloración y ozonización son catalizados y pasan a formas reducidas inofensivas.

Entre las ventajas de la utilización de este sistema de filtración mediante GAC se encuentran las siguientes:

Para aguas residuales urbanas que contengan una proporción significativa de aguas residuales industriales (15-20%), es una tecnología fiable para eliminar compuestos orgánicos disueltos.

- Las necesidades de espacio son reducidas
- La adsorción mediante GAC se puede incorporar fácilmente a cualquier instalación de tratamiento de aguas residuales existente.
- Son sistemas menos exigentes que el biológico
- Mejora de la calidad final del agua tratada en la PETARI, de modo que se pueda proceder a su reutilización en distintos usos de proceso industrial, con el consiguiente ahorro económico.

#### **4.25.4 Principales sectores que emplean CA para tratamiento de aguas residuales:**

- Industrias químicas-farmacéuticas: producción de tintes, pigmentos, gomas, pesticidas, productos farmacéuticos, etc.
- Eliminación de compuestos tóxicos, color, AOX, etc.
- Industria petroquímica: Eliminación de aceites y grasas del efluente para evitar que el tratamiento biológico se inhiba.
- Industria metalmecánica: p.e. baños de galvanización. El empleo de filtros de CA previos a las Resinas de Intercambio Iónico protege a éstas de partículas que puedan disminuir su rendimiento.
- Industria fabricación pasta de papel: eliminación color y AOX.
- Industrias porcinas (purines): filtro terciario para mejorar calidad efluente final y posible reutilización. etc.

**Cuadro.1 Aplicación de los distintos carbones activos a aguas residuales**


APLICACIÓN DE LOS DISTINTOS CARBONES ACTIVOS A AGUAS RESIDUALES				
BASE MATERIAL DEL CARBÓN ACTIVO	TIPO PRODUCTO GEDAR	DUREZA	DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE POROS	TIPOS DE CONTAMINANTES A RETENIDOS
Cáscara de coco	GCO PCO	++++	Microporoso	Moléculas pequeñas: compuestos clorados, compuestos orgánicos volátiles, etc.
Mineral bituminoso	GMI PMI	+++	Mesoporoso.	Compuestos peso molecular intermedio: herbicidas, pesticidas, etc.
Mineral lignítico	HOK G HOK P HOK S	++	Amplia distribución poros	Contaminantes tamaño molecular variado: aguas residuales distintos orígenes (municipales)
Madera	GMA PMA	+	Macroporoso	Contaminantes alto peso molecular: grasas, aceites, tintes, etc. Aguas residuales industriales (textil, alimentación, petróleo, etc)

#### 4.25.5 Purificación de aire y gases con carbón activado granular

El carbón activado se utiliza en la purificación de gases o líquidos cuyo contaminante es una molécula orgánica.

##### a) Algunas aplicaciones en la purificación de aire y gases

- Acondicionamiento de aire
- Recuperación de solventes
- Purificación de hidrógeno (reteniendo hidrocarburos y cloruros orgánicos)
- Control de contaminantes industriales
- Cánisters de automóviles
- Purificación de helio
- Respiradores
- Purificación de acetileno (reteniendo arsina, fosfina, estibina o bencina)
- Campanas de cocina
- Boquillas de cigarrros
- Purificación de monóxido de carbono (reteniendo tolueno)



- Purificación de aire comprimido (tanques de buceo, hospitales,...)
- Purificación de bióxido de carbono, (reteniendo benceno o tolueno que provienen del aceite del compresor)

#### **b) Tamaño de la molécula del adsorbato**

Las moléculas de los compuestos que se encuentran en fase gaseosa a condiciones normales de temperatura, -9 generalmente tienen un diámetro de entre 0.5 y 0.8 nm (nanómetros). Un nanómetro es  $1 \times 10^{-9}$  metros. Es decir, un metro tiene 1,000,000,000 de nanómetros.

El rango de tamaño anterior corresponde a moléculas y no a partículas. Una partícula, por pequeña que sea, está conformada por un enorme número de moléculas. Por ejemplo, una partícula muy pequeña, de 37 micras (que pasa por la malla 400 U.S. Std. mesh) mide 37,000 nm.

Por lo tanto, el carbón activado tiene la función de adsorber moléculas y no la de atrapar partículas, independientemente de que, si el aire o gas tratado, arrastra partículas, muchas de ellas quedarán atrapadas entre los gránulos del carbón, bloquearán el acceso a los poros, y evitarán que éste realice su función como adsorbente de vapores y gases.

#### **4.25.6 Tipo de carbón activado adecuado para la purificación de aire y gases.**

Con base en el diámetro predominante de sus poros, hay tres tipos de carbón activado.

De acuerdo con las características que debe cumplir un adsorbato para ser retenido eficazmente, y con el tamaño de las moléculas de los gases, los carbones microporosos, fabricados a partir de la concha del coco, son los más adecuados para la purificación de aire y gases.



### **a) Tamaño de partícula**

El carbón activado puede fabricarse en tres presentaciones, de acuerdo con su forma:

- Granulares
- Peletizados
- En polvo

En la purificación de aire y gases se utilizan los primeros y los segundos. Los carbones granulares tienen los siguientes rangos de tamaño típicos:

4x10 Para camas de más de 5 cm de espesor.

12x20, 12x30 Para camas de 2 a 5 cm de espesor (Ej: cartuchos de respiradores).

20x50, 50x80 Para camas menores a 2 cm de espesor (Ej: boquillas de cigarros).

En caso de ser un carbón pelet: 3 ó 4 mm de diámetro Para camas de más de 5 cm de espesor.

Menos de 3 mm Para camas de 2 a 5 mm de espesor.

### **b) Detección del punto de ruptura**

El punto de ruptura es aquel en el que la concentración del contaminante en el aire o gas que sale de la cama de carbón activado, supera el valor máximo aceptable o permitido. La detección puede hacerse con un analizador o mediante el olfato. Este último es capaz de detectar olores provocados por moléculas presentes en muy bajas concentraciones.

Por ejemplo, el olfato detecta:

0.47 g/l de anhídrido sulfuroso

(g = microgramos)

1.10 g/l de metil mercaptano

21 g/l de metil amina

1.0 g/l de indol

1.20 g/l de escatol

**c) Extracción de oro y el carbón activado.**

El oro se encuentra en las menas en cantidades pequeñas: menos de 10 g/t o 0.001%. El único método económicamente viable para extraer oro de los minerales es el uso de procesos de extracción que utilizan soluciones a base de agua (hidrometalurgia). Entre los procesos hidrometalúrgicos más comunes para la recuperación de oro se pueden mencionar el de lixiviación, por el cual el oro se disuelve en un medio acuoso para separar la solución que contiene oro de la que contiene residuos, y la recuperación del oro utilizando carbón activado.

Una vez extraído del carbón activado, el oro es concentrado por precipitación o galvanización.

Como el oro es un metal noble no es soluble en agua. Para disolverlo se necesita de una sustancia como el cianuro, que permite formar complejos y estabilizar el oro en las soluciones, o de un agente oxidante como el oxígeno. Para poder disolver oro se necesitan 350 mg/l o 0.035% (como 100% NaCN) de cianuro.

Los especialistas metalúrgicos de SGS han desarrollado y siguen mejorando estos procesos, rentables y de eficacia demostrada durante largo tiempo. En cada uno de ellos se utiliza carbón activado para extraer el oro de la solución de lixiviado de cianuro. Estos sistemas de extracción con carbón ofrecen tasas de recuperación elevadas y costes de capital y operativos bajos.

**Estas técnicas de extracción con carbón incluyen:**

➤ **Carbón en la pulpa**

El mineral se muele, se tritura finamente y se mezcla con la solución de lixiviado de cianuro para formar una lechada en un tanque agitador. El carbón activado se añade a la lechada y se elimina mediante criba una vez cargado totalmente o "preñado" de oro.

➤ **Carbón en la lixiviación**

Este proceso es muy similar al proceso CIP. Las principales diferencias son la preparación de la lechada y el método para retirar el oro del lixiviado. En un proceso CIL el carbón se mezcla con la solución de lixiviado, no con pulpa. Este es un sistema mucho menos abrasivo, lo que supone que el carbón dura mucho más que en un proceso CIP.

➤ **Carbono en columnas**

Durante este proceso la solución de lixiviado de cianuro pasa a través de columnas llenas de mineral. El proceso es sumamente eficaz para extraer el oro de un mineral de baja graduación.

**4.26 Uso Médico:**

El carbón activado es utilizado como agente adsorbente para tratar envenenamientos y sobredosis por ingestión oral. Previene la absorción del veneno en el estómago.

La dosificación típica para un adulto es de 2 g/kg en la primera hora de la intoxicación, con un tope máximo de 100 gramos totales y después 0,5 g/kg cada 4 h.

Las dosis pediátricas son 12-25 g (1 gramo/kg).

. Para el uso fuera del hospital, se presenta en comprimidos de 1 g, o en tubos o botellas plásticas, comúnmente de 12,5 ó 25 g, premezclados con agua. Tiene nombres comerciales como Insta Char, Super Char, Actidose y Liqui-Socarra, pero por lo general se le llama simplemente carbón activado.

**4.26.1 Propiedades**

Se estima que el carbón activado reduce la absorción de sustancias venenosas hasta en un 60%.

- El carbón activado se administra generalmente después de que el paciente haya sido sometido a un lavado gástrico. El lavado



gástrico sólo es eficaz si se realiza de forma inmediata a la ingesta de la sustancia tóxica o dentro de 1 hora posterior.

- El carbón activado no se digiere. Se queda en el tracto gastrointestinal y se elimina al defecar junto a las toxinas adsorbidas.
- El carbón activado se mezcla a menudo con sorbitol para que pase a través del sistema gastrointestinal más rápido y prevenir el estreñimiento que produce el carbón activado (el sorbitol tiene efecto laxante).
- El carbón activado se utiliza ampliamente en productos para la limpieza de colon y está disponible tanto en líquido como en polvo (por lo general en cápsulas o comprimidos). Se debe tomar con mucha agua para evitar el estreñimiento y obstrucción intestinal.

#### **4.26.2 Contraindicaciones**

- El carbón activado no se debe administrar a mujeres embarazadas o madres lactantes y en individuos de edad avanzada.
- El carbón activado es sin duda muy eficaz para combatir envenenamientos si se utiliza de forma rápida. Sólo debe ser administrado por un médico, aunque algunos preparados se pueden adquirir sin receta médica, como cápsulas de carbón activado, se debe tener cuidado en su administración y pedir consejo al médico o farmacéutico.
- Nunca utilices los preparados de carbón activado adquiridos sin receta médica en caso de intoxicación, en este caso debes acudir inmediatamente a un centro sanitario para que puedan administrar las dosis adecuadas en función del peso, edad y tóxicos ingeridos además de llevar a cabo pautas adicionales que pudieran ser necesarias.





#### 4.27 Alimentos :

##### a) Refinación del azúcar :

Decolorando jarabe de caña o remolacha, elimina colorantes naturales (polifenoles), aminoácidos, polisacáridos.

##### b) Edulcorantes de fructuosa de maíz:

Decoloración y mejoramiento de sabor para bebidas alcohólicas y no alcohólicas.

##### c) Edulcorantes artificiales:

Derivados de fructuosa, almidón o un proceso de síntesis, dejándolos en estándares de sabor y color.

##### d) Aceites comestibles de pescado y grasas.

Eliminan pigmentos naturales como carotinoides, clorofilas y xantofilas, especialmente en los de coco y girasol refinado, al remover hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (PAH).

##### e) Lactosa

Purifica la lactosa comestible para obtenerla en grado farmacéutico, elimina la riboflavina (vitamina B2 de color amarillo), las proteínas residuales, adsorción de hidroximetilfurfural (precursor de color).

#### 4.28 Química:

##### a) Ácidos :

En la fabricación de productos de alta calidad eliminando impurezas y mejorando color.

##### b) Galvanoplastia::

Limpieza de baños de galvanoplastia, donde se acumulan compuestos orgánicos é inorgánicos nocivos para la salud.



**c) Oleoquímicos :**

Purificación de ácidos grasos, ésteres metílicos de ácidos grasos, alcoholes grasos, aminas grasas y glicerinas refinadas.

**d) Tintorerías :**

Recuperación y decoloración de solventes para limpieza en seco.

**e) Agricultura:**

Elimina los residuos de plaguicidas orgánicos en el suelo, mejorándolo para el crecimiento de los cultivos.

**4.29 Demanda :**

**Tipos de clientes a los que va dirigido el producto:**

La variedad de clientes potenciales del carbón activo a nivel nacional e internacional es muy amplia debido a las múltiples aplicaciones del producto tanto en su fase líquida como en su fase gaseosa:

Algunos de los clientes potenciales de acuerdo a la utilización del carbón activado en su fase líquida son empresas ó instituciones dedicadas a:

- ✓ Tratamiento de agua residual
- ✓ Bebidas embotelladas
- ✓ Elaboración de Cerveza
- ✓ Semiconductores
- ✓ Recuperación del Oro
- ✓ Petroquímica
- ✓ Tratamiento de agua potable
- ✓ Piscinas

**4.30 Tamaño total del mercado :**

El consumo mundial de carbón activado fue estimado en 1'200,000 toneladas en 2012 y se espera que en el 2017 el número sea de 2'300,000 toneladas según el último estudio sobre el tema



que se realiza a nivel mundial por “*Current Industrial Reports*” (aproximadamente cada cuatro años). El tratamiento de aguas es el mayor mercado, representado cerca del 35% a nivel mundial.

**Tabla.1 Distribución del consumo por uso final para 2010:**

Requerimientos	Consumo, %
Tratamiento de aguas	35
Purificación de gases	25
Recuperación de oro	16
Procesamiento de alimentos	15
Recuperación de solvents	3
Otros	6
Total	100

**Fuente: Current Industrial Reports**

En 2010 se registró un cambio en el mercado de carbón activado. El consumo en EU se incrementó alrededor de un 5% a un nivel record de 950'000 toneladas, aunque este incremento no prosiguió en 2011. Los pronósticos de un futuro crecimiento en la industria del carbón activado son optimistas. El consumo global se ha estimado que crezca en un 10 a 11,3 % anual. Los pronósticos de la demanda de carbón activado, sugieren que el consumo mundial de carbón activado se incrementará entre 250,000 y 300,000 toneladas por año para el 2017 según lo considerado por el “Current Industrial Report”.

#### **4.31 Características del tamaño de planta:**

Las características del estudio técnico que se están presentando están en base a una planta tipo con capacidad máxima de producir 10,000 Tn al año.

Es importante mencionar que se requiere de un estudio técnico completo, donde se establezca la ingeniería del proceso a detalle para validar la maquinaria requerida, así como los demás

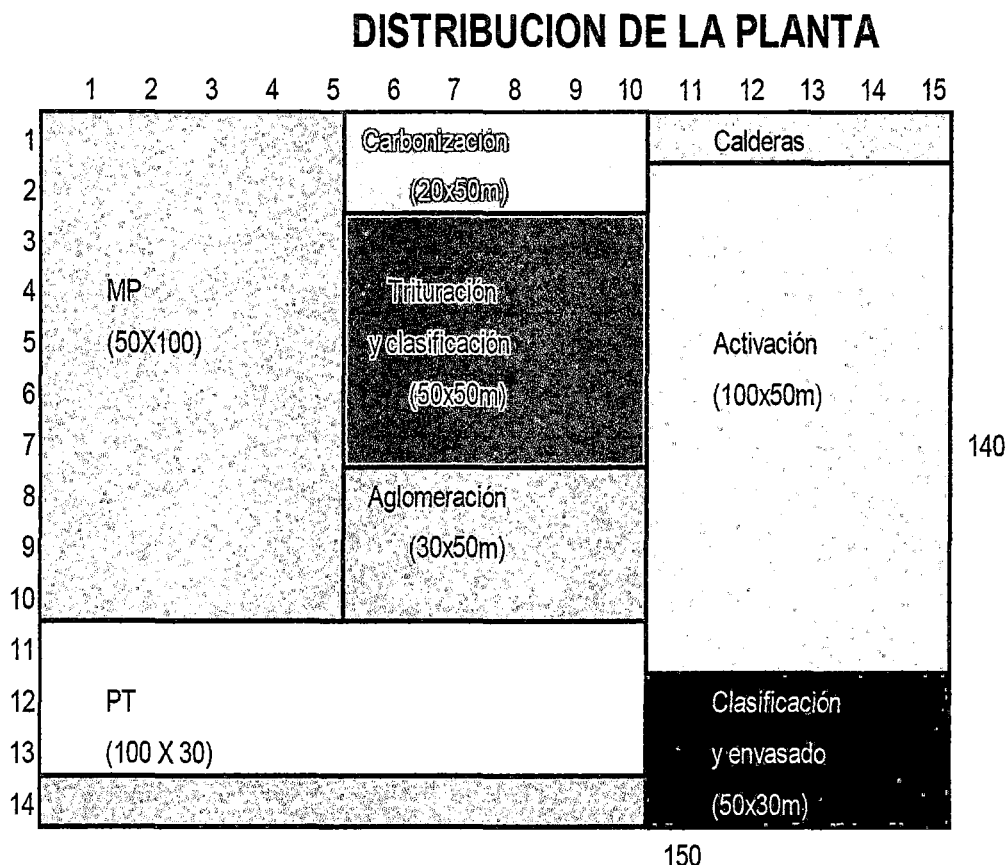


puntos técnicos. Sin embargo los datos que se proporcionan en este documento son la base para dicho estudio.

Tomando en cuenta esto, tenemos que se debe contar con un área de recepción de la materia prima (50 x100 m), nave de calderas y servicios, nave de carbonización, nave de trituración y clasificación (50 x 50 m), nave de aglomeración (30 x 50 m ), nave de activación (100 x 50m), nave de clasificación y envasado (50 x 30 m) y nave de almacenamiento de producto terminado (100 x 30 m ).

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'C' followed by several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Diagrama.2 Características del tamaño de Planta.



Fuente : Carbochem Ardmore,USA

#### 4.32 Estimación de la inversión de capital fijo e inversión total de capital :

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

caso del presente estudio; por tal motivo ese resultó ser el método seleccionado.

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

- Costos de manufactura
- Los costos de manufactura se detallan a continuación:
- Costos directos de producción
- Materia prima
- Operación laboral (mano de obra directa)
- Supervisión directa
- Servicios: agua, electricidad, gas natural
- Mantenimiento y reparaciones
- Suministros
- Gastos de laboratorio
- Gastos fijos
- Depreciación
- Seguro

**Cuadro.2 Producción de Carbón Activado a partir de la Cáscara de Coco.**

**Toneladas**

	Anual	Diaria	Capacidad de la maquinaria
Producción de Carbón Activado	10,000	28	2 hornos rotatorios 15 ton/día c/uno
Producción de Carbón Primario	33,000	92	
Materia Prima Requerida	99,000	275	Horno de carbonización 300 ton /día

**Fuente : Carbochem Ardmore,USA**

#### **4.33 Maquinaria requerida y especificaciones técnicas :**

- Área de trituración y clasificación:
- Molino de rodillos estriado, 300t/día
- Molino de rodillos dentados, 300t/ día
- Sistema de tamizadoras, 300 t/día
- Sistema de captación de polvo para 3 t/ día
- Molino de bolas con sistema de clasificación de polvo, 300 Tn/ día
- 5 Bandas transportadoras, 300 t/ día por banda
- elevadores de cangilones, 300 t/ día por elevador
- Tolva de producto triturado, 600 toneladas
- Tolva de producto en polvo, 600 toneladas
- Área de aglomeración:
- Tolva de aglomerante, 100 toneladas
- 2 Bandas transportadoras, 300 t/ día por banda
- 2 elevadores de cangilones, 300 t/ día por elevador
- Área de activación
- 2 hornos rotatorios de activación, 15 t/ día
- Sistema de captación de gases y polvo 1 t/ día
- 2 tolvas de carbón activado, 30 toneladas cada una.
- Ensacadora
- Área de calderas y servicios
- Caldera para vapor saturado, 150 t/ día
- Sistema para tratamiento de agua de caldera.

#### **4.34 Especificaciones de calidad de materia prima :**

##### **a).Para producción de carbón activado de granulometría natural.**

Carbón, con un grado adecuado de carbonización (5000 °C), obtenido a partir de trozos grandes de madera, libre de



pedras, corteza, hojas u otras impurezas que se pudieran incorporar en el proceso de manipulación.

**b).Para producción de carbón activado aglomerado.**

Aserrín, material en polvo o desmenuzado, trozos pequeños, residuos de la clasificación del material para a producción de carbón de granulometría natural.

**4.35 Requerimientos de inventario :**

Cantidad de carbón suficiente para 7 días de operación de la planta. Se requiere contar con montacargas, containers y el área de almacenamiento debe garantizar el acceso de transporte pesado, proteger de lluvia, nieve y viento y contar con estrictas medidas de seguridad contra incendios.

**4.36 Requerimientos de personal para la producción :**

Tiempo completo. El proceso de producción es 24x 364, con la excepción de los paros por mantenimiento. Se requiere un supervisor por turno (educación superior), responsables de cada una de las áreas (personal capacitado) y se estiman 12 obreros calificados por turno. Además, laboratorio de control con un técnico químico (experiencia en laboratorio). Este trabajaría sólo turno diurno.

**Cuadro.3 Requerimiento de Personal para la Producción.**

Personas	Puesto	Turnos		
		Primer	Segundo	Tercer
12	Obreros	X		
12	Obreros		X	
12	Obreros			X
1	Supervisor	X		
1	Supervisor		X	
1	Supervisor			X
1	Técnico químico	X		

**Fuente : Carbochem Ardmores,USA**



#### 4.37 Aspectos Financieros:

En esta parte se pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto. El objetivo es ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionaron las otras secciones.

Se incluirá la determinación de la inversión inicial para una planta de 10,000 toneladas y 5,000 toneladas respectivamente así como la determinación del margen bruto de contribución del carbón activo.

#### 4.38 Inversión inicial :

El estudio técnico se hizo en base a una de 10,000 toneladas pero en este punto también se considera el desembolso inicial para una planta de 5,000 toneladas esto con el fin de contar con una mayor flexibilidad en el proyecto.

##### a) Planta de 10,000 Toneladas :

**Cuadro.4 Inversión inicial para una planta de 10,000 toneladas al año:**

<b>Inversión Inicial</b>	<b>USD</b>
Terreno	315,000
Edificio	4,242,424
Maquinaria	8,351,729
Gastos notariales y permisos	1,515
3% de imprevistos	387,320
<b>Total Inversión Inicial</b>	

Fuente : Carbochem Ardmore,USA

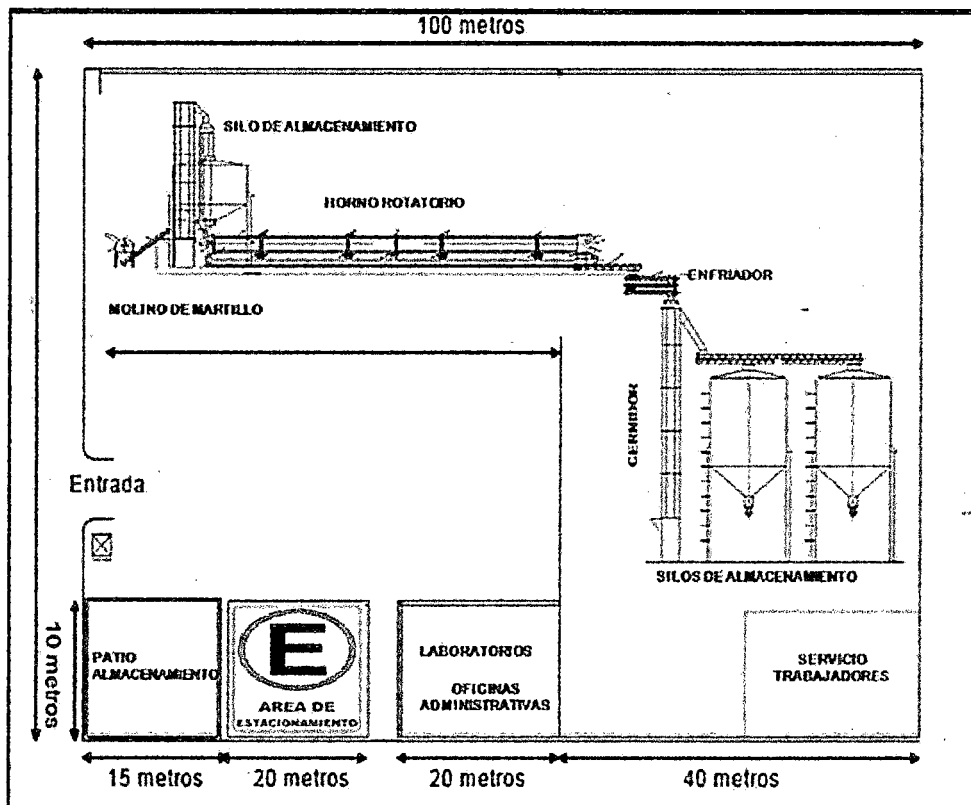


b) Planta de 5,000 Toneladas :

Cuadro.5 Inversión inicial para una planta de 5,000 toneladas al año:

Inversión Inicial	USD
Terreno	189,000
Edificio	2,545,455
Maquinaria	5,846,210
Gastos notariales y permisos	1,515
3% de imprevistos	257,465
<b>Total Inversión Inicial</b>	

Diagrama.3 Distribución de los Equipos de la Planta de Producción de Carbón Activado.



Fuente : <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3184/1/05-TESES.IQ011.G35.pdf>

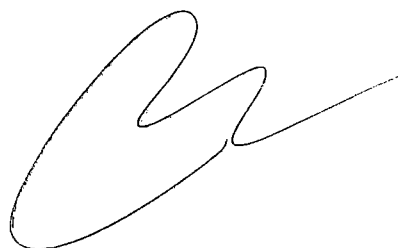
#### 4.39 Características del envasado :

- a) 25 kg/bolsa, bolso de los pp alineado con el bolso del pe
- b) Empresas diferentes de acuerdo a los requerimientos del cliente, proporciona una amplia gama de grados, de alta calidad de precisión de envasado de productos.

**Cuadro.6 Datos del Producto – Datos**

<b>CLASIFICACIÓN:</b>	<b>AGENTES QUÍMICOS AUXILIARES</b>	<b>CAS NO.:</b>	<b>C7440-44-0</b>
Otros Nombres:	de carbón activado	MF:	C-c-c
EINECS No.:	264-846-4	Pureza:	> 90%
Lugar del origen:	México	Tipo:	Adsorbente
Variedad adsorbente:	Carbón Activado	Uso:	Pintura Aditivos, Electrónica Químicos, agente auxiliar de cuero, Documento de productos químicos, Aditivos de Aceite, Aditivos Plásticos, Productos químicos de caucho, Surfactante, Fabricación de aditivos, productos químicos para el tratamiento de agua
Marca:	benniu	Número de Modelo:	Bn-ac-02
De color::	granular negro		

Fuente: <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3184/1/05-TESES.IQ011.G35.pdf>



**c) Especificaciones**

1. Yodo valor: 900-1300 mg/g
2. Es aprobado por la Iso 9001:2000

**4.40 Mercado: Productores, exportadores e importadores:**

**a) Principales productores y exportadores de carbón activado :**

El mercado mundial del carbón activado alcanza los 500 millones de dólares, y los principales productores se encuentran en Europa, Norteamérica y Asia, utilizando diferentes tecnologías, materias primas y procesos para su fabricación, razón que podría explicar las diferencias en precios que se observan. La información ha sido obtenida de la base de datos del Centro Internacional de Comercio, ubicado en Suiza. El único país latinoamericano dentro de los grandes productores y exportadores de carbón activado es México cuyos niveles de exportaciones para el año 2005 alcanzaron los 2 millones de dólares, lo que representa una cantidad cercana a las 2.500 toneladas. China es el principal exportador mundial de carbón activado, alcanzando el 2005 la cantidad de 218 mil toneladas, lo que representa casi el 50% del total mundial, hecho que podría explicarse dado el bajo costo de este producto proveniente de China. Los principales exportadores de carbón activado en el mundo se muestran en la siguiente tabla:

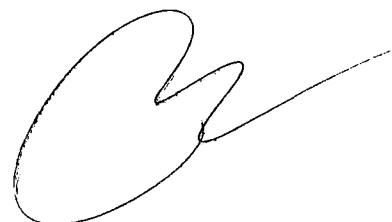


Tabla.2 Principales Exportadores de Carbón Activado.

Tabla : Principales exportadores de carbón activado (Valores CIF).

Países Exportadores	Año 2005			Año 2004		
	Valor (miles de US\$)	Cantidad (toneladas)	Valor unitario (US\$/ton)	Valor (miles de US\$)	Cantidad (toneladas)	Valor unitario (US\$/ton)
<i>Mundial</i>	<i>480.801</i>	<i>425.307</i>	<i>3.292</i>	<i>505.995</i>	<i>238.528</i>	<i>2.577</i>
China	129.338	218.355	592	117.895	-	-
EE.UU.	94.074	49.394	1.905	60.609	48.797	1.295
Japón	59.792	10.285	5.808	63.622	10.474	6.091
Filipinas	44.544	33.943	1.316	41.454	32.710	1.287
Reino Unido	38.647	17.035	2.151	32.549	14.174	2.296
Francia	32.282	28.722	1.124	28.255	21.310	1.328
Alemania	28.880	14.282	2.022	31.120	13.535	2.299
Indonesia	16.303	25.671	635	12.387	18.075	771
Italia	9.428	8.485	1.454	7.587	5.114	1.484
Austria	4.428	2.329	1.901	4.352	2.303	1.890
Canadá	3.536	713	4.959	2.925	541	5.407
México	2.974	2.468	1.185	3.530	5.760	613
Suecia	2.757	2.275	1.212	2.598	2.281	1.135
Australia	2.472	7.003	353	2.742	4.399	625
Grecia	2.394	415	5.789	3.068	496	6.185
Hong Kong	2.197	2.539	865	2.107	2.399	878
Sud Africa	2.022	892	2.038	1.224	657	1.883
Fed. Rusa	1.925	1.007	1.912	1.633	869	1.879
Suiza	1.285	490	2.622	979	294	3.330
Singapur	1.282	524	2.447	490	308	1.591
Corea del Sur	1.147	135	8.496	1.643	586	2.903
Dinamarca	912	48	19.000	956	80	11.950
Finlandia	167	29	5.759	187	23	8.130
Croacia	72	252	288	20	239	84
Irlanda	39	5	7.800	-	-	-
Nva. Zelanda	8	3	2.000	4	1	4.000
Estonia	-	-	-	48	15	3.200
Luxemburgo	-	-	-	48	12	4.000
Holanda	-	-	-	24.487	10.134	2.416
Sri Lanka	-	-	-	17.020	16.578	1.027
Malasia	-	-	-	12.644	15.870	797
India	-	-	-	8.146	9.689	841
Tailandia	-	-	-	7.532	-	-
Vietnam	-	-	-	1.860	-	-
Brasil	-	-	-	1.843	2.850	647
Taiwán	-	-	-	1.584	746	2.137
Polonia	-	-	-	957	1.239	692

Fuente: ITC, Centro Internacional de Comercio, [www.trademap.org](http://www.trademap.org)

China, Estados Unidos y Japón representan a los principales exportadores mundiales de carbón activado. En la tabla se muestra el valor de las exportaciones en miles de US\$, la cantidad exportada en toneladas y el precio promedio por tonelada, todos los datos para el año 2004 y 2005.

China es el principal exportador de carbón activado, seguido por Estados Unidos, quienes en conjunto suman una cantidad de 267.000 toneladas exportadas, lo que representa más de la mitad de las exportaciones de carbón activado a nivel mundial. China posee el 51% de las exportaciones a nivel mundial (medido en toneladas) sin embargo sus ingresos en miles de US\$ representan solo al 27%. No así Estados Unidos quien posee el 12% del volumen del mercado en toneladas y el 20% de ingresos. Los datos anteriores corresponden a las exportaciones de carbón activado en todas sus variedades, sin importar la calidad y especificación del producto.

La diferencia de precios que se observa en la tabla anterior se debe principalmente a las diferentes calidades del carbón activado. Estas diferencias de calidad están determinadas por los métodos de fabricación que se utilicen y por las calidades obtenidas a partir de los diferentes procesos de fabricación y materias primas. Por ejemplo, en países asiáticos utilizan métodos más rudimentarios para fabricar carbón activado, existen muchos campesinos que producen carbón en tambores diseñados por ellos mismos, además de existir fábricas de carbón activado. En cambio en Norteamérica y en los países europeos poseen grandes empresas dedicadas exclusivamente a la producción de carbón activado, utilizando mejores tecnologías y mayores recursos en la investigación y desarrollo de mejoras en calidades y métodos de fabricación de carbón activado. Entre las empresas más importantes se encuentran CPL Carbon Link Group en Alemania y Reino Unido; Calgon Carbons Corporations en EEUU; Chemviron Carbon en Bélgica,



Francia, Reino Unido y Alemania; Activated Corp en EEUU; entre otras (Fuente: Sitios Web de las empresas mencionadas)

**b) Principales importadores de carbón activado :**

En la siguiente tabla se muestra el valor de las importaciones en miles de US\$ CIF, la cantidad importada por cada país en toneladas y el precio por tonelada promedio registrado por cada país. Principalmente Europa y Asia son los grandes importadores de este producto. A nivel latinoamericano México es el único país dentro de la lista.

**Tabla.3 Importaciones Latinoamericanas**

Tabla : Importaciones latinoamericanas durante el año 2005. Precios FOB.

<i>Pais</i>	<i>Valor importado (miles de US\$)</i>	<i>Cantidad (toneladas)</i>	<i>Precio promedio (US\$/ton)</i>
Mexico	12.278	5.142	2.388
Brasil	7.891	4.432	1.780
Argentina	6.069	3.457	1.756
Venezuela	3.872	2.470	1.568
Chile	2.162	1.272	1.700
Peru	1.838	1.153	1.594
Colombia	1.178	899	1.310
Ecuador	841	509	1.652
Costa Rica	531	347	1.530
Bolivia	450	266	1.573
Uruguay	236	205	1.151
Panamá	162	68	2.382
Paraguay	95	57	1.667
<b>TOTAL</b>	<b>37.603</b>	<b>20.297</b>	<b>1.853</b>

Fuente: ITC, Centro Internacional de Comercio

Tabla : Importaciones de Latinoamérica durante el año 2004. Precios FOB.

<i>Pais</i>	<i>Valor Importado (miles de US\$)</i>	<i>Cantidad (Toneladas)</i>	<i>Precio unitario (US\$/ton)</i>
México	11.933	4.973	2.400
Brasil	6.731	3.178	2.118
Argentina	4.593	2.531	1.815
Venezuela	3.289	2.215	1.485
Chile	1.902	1.403	1.356
Perú	1.629	1.046	1.557
Colombia	1.201	935	1.284
Ecuador	615	393	1.565
Costa Rica	540	558	968
Panamá	251	210	1.195
Uruguay	193	152	1.270
Bolivia	186	114	1.632
Paraguay	106	76	1.395
<b>Total</b>	<b>33.169</b>	<b>17.784</b>	<b>1.541</b>

Fuente: ITC, Centro Internacional de Comercio

**Tabla.4 Principales Importadores de Carbón Activado**

**Tabla : Principales importadores de carbón activado (Valores CIF)**

Países Importadores	Año 2005			Año 2004		
	Valor (miles de US\$)	Cantidad (toneladas)	Valor unitario (US\$/ton)	Valor (miles de US\$)	Cantidad (toneladas)	Valor unitario (US\$/ton)
<i>Estimación</i>	529.599	411.444	1.968	508.048	424.490	1.955
Japón	82.778	82.177	1.007	89.208	89.372	998
EE.UU.	78.623	79.883	999	75.500	68.844	1.129
Alemania	67.078	35.372	1.814	69.700	29.205	2.091
Bélgica	41.248	32.653	1.263	38.492	27.358	1.334
Francia	38.672	28.772	1.344	28.255	21.370	1.328
Corea del Sur	38.569	31.084	1.240	39.824	32.145	1.211
Italia	38.250	28.784	1.259	32.537	27.589	1.181
Reino Unido	30.883	22.823	1.353	25.915	28.067	923
Canadá	20.043	11.854	1.691	21.208	9.498	2.233
China	18.714	8.355	2.045	18.013	-	-
México	12.278	5.142	2.388	11.933	49.738	240
Australia	10.728	7.883	1.381	8.789	5.528	1.230
Suiza	10.098	3.831	2.636	11.788	4.615	2.550
Fed. Rusa	9.379	5.579	1.681	7.523	4.419	1.702
Sud Africa	9.411	7.501	1.121	8.718	6.580	1.325
Suecia	5.888	4.527	1.298	5.180	5.215	985
Finlandia	4.737	1.922	2.465	3.818	1.814	2.104
Austria	4.288	2.578	1.658	5.572	3.478	1.602
Hong Kong	3.883	3.685	999	3.913	3.018	1.297
Dinamarca	3.645	1.457	2.502	4.414	1.905	2.317
Indonesia	2.481	1.910	1.299	2.069	1.528	1.354
Singapur	2.425	1.323	1.833	2.629	1.359	1.935
Nueva Zelanda	1.868	1.354	1.253	1.108	808	1.371
Irlanda	1.588	481	3.488	1.541	429	3.592
Grecia	1.574	1.131	1.392	1.992	1.321	1.508
Kyrgystan	871	338	2.592	1.282	537	2.408
Senegal	577	300	1.923	242	101	2.398
Croacia	447	245	1.824	838	198	4.211
Jordania	385	788	483	315	711	443
Armenia	310	210	1.478	143	88	1.490

Fuente: ITC, Centro Internacional de Comercio

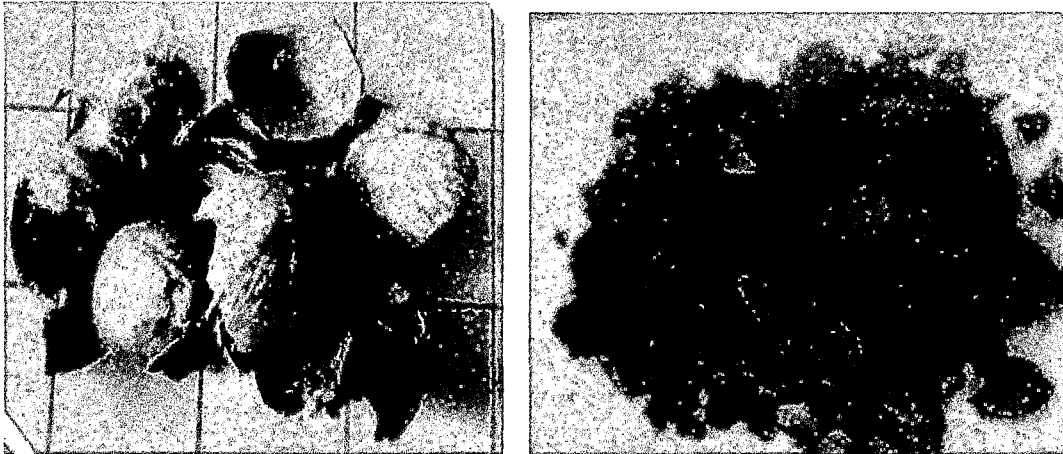


#### 4.41 Parte Experimental :

##### a) Pretratamiento a la cáscara de coco

Se lavó (quitamos la tierra e impurezas) y se secó la cáscara de coco durante una hora a 100°C

**Foto.6 Cáscara de coco pelado y reducido de tamaño**



(a)

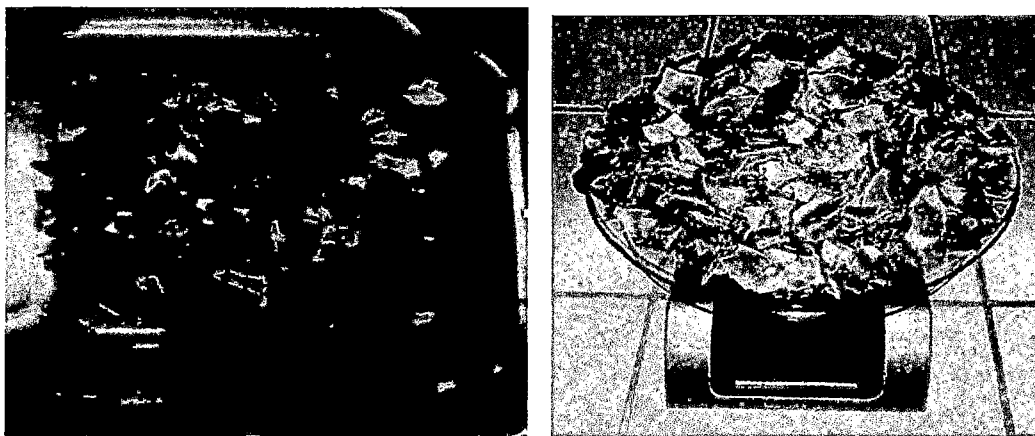
(a)

Fuente : Elaboración Propia

##### b).- Tratamiento con $H_3PO_4$

- 1.- Añadir 200 ml de  $H_3PO_4$  concentrado (85%).
- 2.- Dejar reposar durante 2 días

**Foto.7 Tratamiento Químico**



(c)

(c)

Fuente: Elaboración propia



**c).-Elaboración del sistema de activación de la cáscara de coco**

**Materiales necesarios :**

Una mufla a 1000°C por una hora.


Un molde de yeso (ya que este material resiste altas temperaturas).

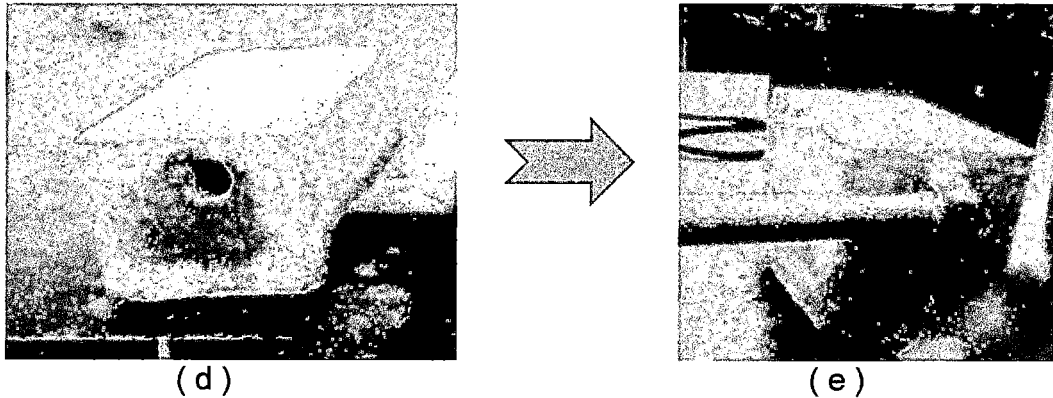
Una conexión de tuberías, que conecte la parte interna del molde hacia el medio ambiente para eliminar vapores.

La cáscara de coco previamente tratada con ácido fosfórico.

**d).- Procedimiento :**

- Se elaboró una caja de yeso (molde) con las siguientes dimensiones
  - Altura=10cm
  - Ancho=8cm
  - Largo=15cm
- La caja de yeso debe ingresar con exactitud a la mufla.
- Con un orificio de 1.5 cm para la conexión de la tubería que sólo transportará los gases que se formen dentro del molde y restringirá el paso del aire hacia el interior del sistema.
- Con la finalidad de evitar la combustión de la cáscara de coco, interrumpiendo la correcta activación de nuestro producto.





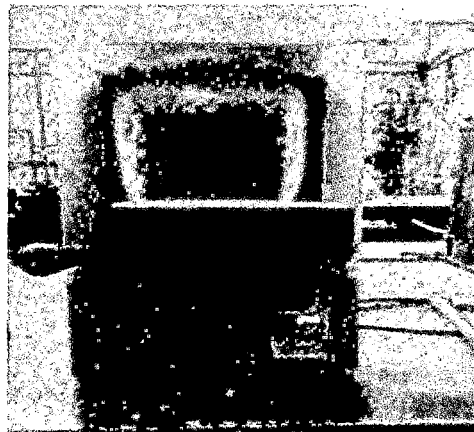
(d) (e)  
**Foto.8 Sistema de Activación de la cáscara de coco**  
**Fuente: Elaboración propia**

**e).-Implementación del sistema :**

Introducir a la mufla la cáscara de coco que previamente fue activado con el ácido fosfórico

Se incorpora el sistema de tuberías para canalizar la emisión de los gases que se forman dentro de nuestro sistema

**f).-Acondicionamiento de la mufla:**



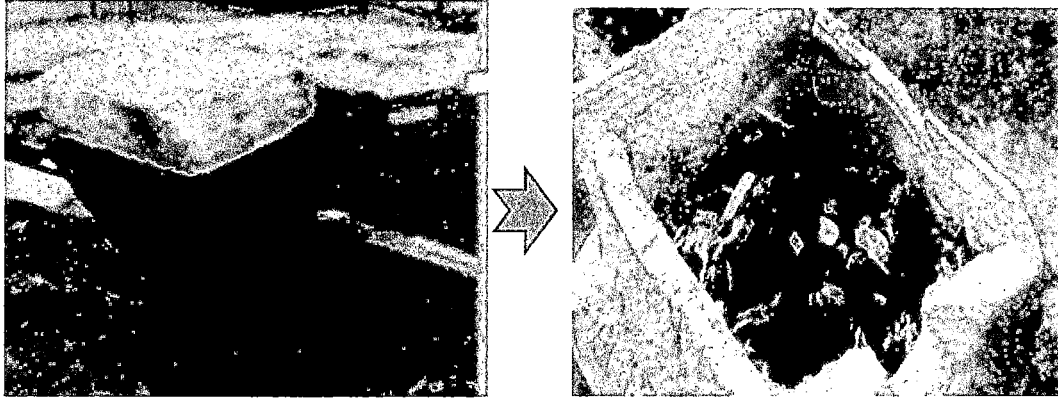
(f)

**Foto.9 Sistema de Activación de la cáscara de coco**  
**Fuente: Elaboración propia**

A handwritten signature in black ink, located in the bottom right corner of the page.

**g).- Sistema listo para la operación:**

**Foto.10 Sistema listo para la activación**



(g)

**Fuente : Elaboración propia**

**h).- Retiro del molde de la mufla**

**i) Lavado del Carbón**

Remoción del ácido fosfórico residual

Las muestras de carbón se enjuagó con agua destilada para retirar los residuos del ácido, llegamos hasta pH = 6.5

**Foto.11 Remoción del ácido fosfórico**



(i)

**Fuente : Elaboración propia**

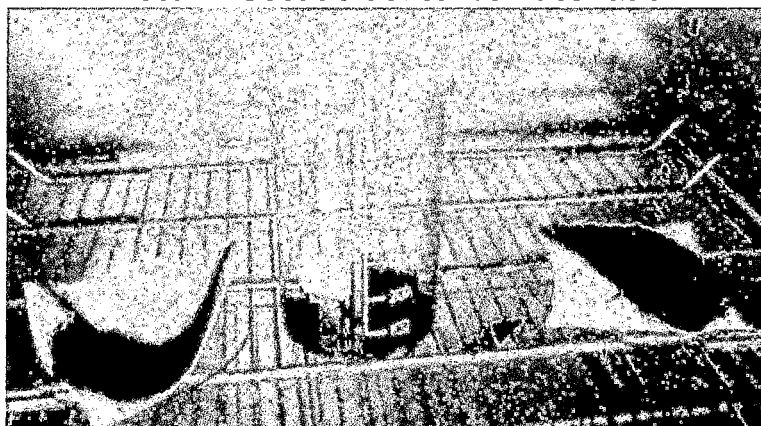
**j).- Evaluación del Ph**

Se realizó la evaluación con ayuda del pH universal, el primer lavado obtuvimos un ph =3.5 y en el décimo, un ph=6.5.

**k).- Secado del carbón activado :**

La operación se realizó a 100 °C , durante 1 hora.

**Foto.12 Secado del carbón activado**



**Fuente : Elaboración propia**

**l).- Tamizado**

Para tener un buen resultado en la filtración el CA debe ser tamizado, para obtener diferentes tamaños, y utilizar un tamaño homogéneo para realizar bien la filtración o la decoloración sobre todo de las aguas residuales.

Dependiendo del tamizado, el carbón activado se puede presentar como:

- Carbón activado en polvo o PAC (Powdered Activates Carbón), el cual se usa en la elaboración de medicamentos antidiarreicos y adsorbente intestinal.

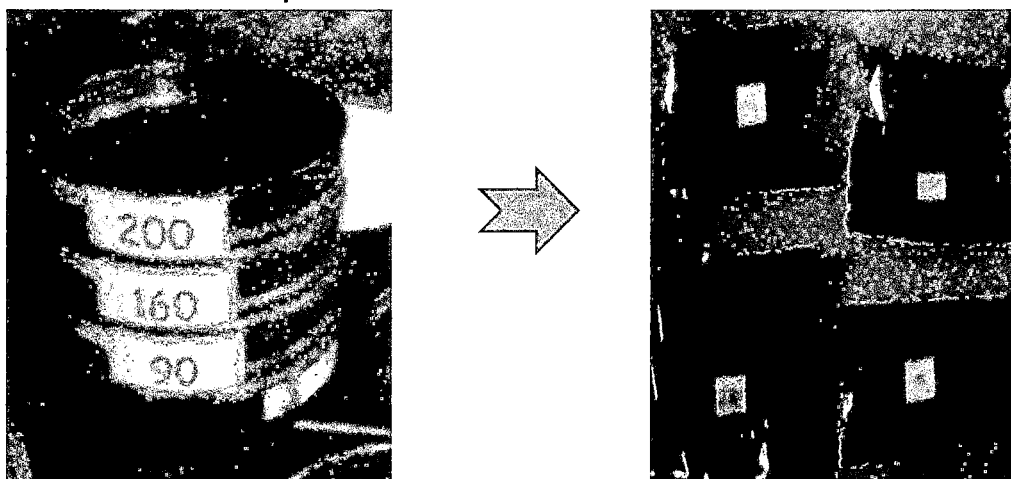
A handwritten signature or mark.

- Carbón activado granular o GAC (Granular Activated Carbon), con granos de hasta 2 mm, se usa en los filtros de columna para el tratamiento de agua.

**II).- Procedimiento del tamizado :**

- a) Una vez lavado y secado el carbón activado procedemos a reducir de tamaño en el mortero.
- b) Luego ya reducido de tamaño pasamos al proceso de tamizado.
- c) Utilizaremos mallas de 90,160 y 200.

**Foto.13 Secado del carbón activado**



**Fuente : Elaboración propia**

**4.42 Capacidad de adsorción :**

Viene expresada en gramos de sustancia adsorbida por cada 100 gramos de adsorbente y es la cantidad que puede captarse en determinadas condiciones de temperatura, concentraciones, humedad del aire y velocidad de paso.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'C' followed by a horizontal line and a small flourish.

**Temperatura:** cuanto menor es la temperatura, mayor es la tasa de adsorción.

**Concentración:** influye directamente sobre la tasa de retención, en cuanto mayor sea la cantidad de sustancia a adsorber, mayor será la cantidad de adsorbente necesario para el tratamiento.

**Humedad:** en general la humedad relativa H.R. aconsejable es de 70-75%

**Velocidad de paso:** es la velocidad con la cual se hace pasar el aire a depurar a través del adsorbente, cuanto menor es la velocidad de paso, la retención es mayor.

**Los adsorbentes pueden ser** . productos naturales como la bentonita o artificiales como el carbón activo, geles inorgánicos ó adsorbentes sintéticos.

Los estudios de los fenómenos de adsorción a temperatura constante fueron desarrollados por Freundlich y Langmuir.

A partir de consideraciones empíricas Freundlich llegó a la ecuación;

$$X/M = a \cdot b \cdot K / (1 + b \cdot C)$$

En los que:

$X/M$  = cantidad adsorbida por peso unitario de adsorbente.

$a$  ,  $b$  ,  $k$  = Constantes empíricas

$C$  = Concentración de equilibrio del adsorbato en solución después de la adsorción.

La forma de determinar las constantes empíricas, es mediante experimentación de laboratorio en cada caso concreto.

Dentro de los factores que favorecen la adsorción, el más importante es la concentración y el más desfavorable la temperatura, siendo muy importante la estructura de la molécula a adsorber. Por otra parte cabe señalar la selectividad de cada adsorbente hacia ciertos adsorbatos, habiendo dado lugar este hecho a la aparición en



el mercado de adsorbentes específicos para determinados compuestos.

#### **4.43 Eficiencia de los carbones**

##### **a) Índice de yodo**

Mide la adsorción por parte de los poros contenidos en un diámetro superior a 5 Angstrom y es proporcional a la superficie específica.

##### **b) Índice de Benceno**

Mide la adsorción del vapor de benceno a una determinada concentración de carbón activado granular, Los carbones activos mide la adsorción del vapor de benceno a una determinada concentración de carbón activado granular. Los carbones activados que utilizamos generalmente son del tipo 35G y 40G. Para permitir una buena retención, es necesario que el aire a purificar, pase a través de una gran placa de carbón a una velocidad de paso de 0,5 m/s aproximadamente.





## V MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Materiales de Escritorio

Para la elaboración del presente trabajo de Investigación se ha utilizado los siguientes materiales :

- Papel bond.
- Lápices, lapiceros.
- Discos CD.s
- Computadora.
- Libros de la especialidad.
- Internet.
- Fotografías, fotostáticas
- Máquina fotográfica.
- Folders.
- Sobres.
- Engrapadora y grapa
- Papel bond.
- Impresiones
- Insumos: coco

#### **Materiales de Laboratorio:**

- Pipetas aforada de 10 mL
- Soporte Universal
- Agarraderas
- Balanza eléctrica digital ; ( 0.01 g/div.)
- Vasos de precipitado
- Matraz aforado de 50, 100 , 250 y 500 mL.
- Probeta de 50 mL
- Mechero Bunsen
- Equipo de tamiz
- Fruto del coco.
- Una mufla



### **Reactivos**

- Agua destilada
- Solución de KOH
- Carbón activado.
- Acido sulfúrico.
- Acido fosfórico
- Cloruro de zinc

### **5.2 Población de la Investigación:**

La investigación ha sido desarrollado experimentalmente así como bibliográfico, descriptivo, y análisis de los métodos. El desarrollo de la investigación ha sido como sigue :

- Recopilación bibliográfica.
- Recopilación de datos teóricos de las principales características de las diferentes clases de carbón activado.

### **5.3 Métodos de Investigación ::**

Se ha utilizado dos métodos:

#### **Actividad Física:**

La porosidad de los carbones preparados mediante activación física es el resultado de gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas.

#### **Actividad Química**

En la activación química, los pasos de carbonización y activación se llevan a cabo simultáneamente. En un solo paso y a bajas temperaturas, se mezcla el precursor con agentes químicos activantes, los cuales pueden actuar como agentes deshidratantes y oxidantes, como resultado, se obtiene una mejor estructura porosa.



#### 5.4 Técnicas de Análisis:

Se aplicó las técnicas siguientes :

- Prueba de Turbidez aplicado con un turbidímetro digital tanto al inicio del tratamiento como al final.
- Prueba de coagulación Floculación de la muestra problema (agua de Mina del Dpto. de Puno).
- Luego de la coagulación y floculación se procedió a la filtración con carbón activado y con arcilla.
- Para este tratamiento se tuvo que seleccionar con un tamiz el carbón activado y la arcilla para tener un lecho homogéneo y obtener una buena filtración del líquido obtenido.

#### Investigación Básica:

Se aplicó la metodología siguiente:

- ❖ **Activación Física:** para ello se utilizó una mufla a una temperatura controlada de 450 a 1000 °C
- **Activación Química:** utilizamos diferentes reactivos químicos como: ácido sulfúrico, Agua destilada, soluciones de KOH, carbón activado de coco, ácido fosfórico, cloruro de zinc, agua destilada.
- **Coagulantes floculantes:** para disminuir la turbidez, sulfato de aluminio.
- **Productos filtrantes:** Carbón activado de cáscara de coco y arcilla sepiolita montmorillonita.



## **5.5 Metodología**

La investigación ha sido desarrollado experimentalmente así como bibliográfico, descriptivo, y análisis de los métodos. El desarrollo de la investigación ha sido como sigue :

- Recopilación bibliográfica.
- Recopilación de datos teóricos de las principales características de las diferentes clases de carbón activado.

## **5.6 Métodos de Investigación ::**

Se ha utilizado dos métodos:

### **Actividad Física:**

La porosidad de los carbones preparados mediante activación física es el resultado de gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas.

### **Actividad Química**

En la activación química, los pasos de carbonización y activación se llevan a cabo simultáneamente. En un solo paso y a bajas temperaturas, se mezcla el precursor con agentes químicos activantes, los cuales pueden actuar como agentes deshidratantes y oxidantes, como resultado, se obtiene una mejor estructura porosa.



## VI RESULTADOS

El desarrollo del presente trabajo lo primero que se hizo es tomar la base de la Bibliografía consultada, luego se ha visto la materia prima que es el fruto del coco.

**Se ha obtenido el siguiente resultado:**

### 6.1 Prueba de Turbidez:

Para la prueba de filtración se utilizó agua residual de mina con una turbidez inicial de NTU 1000. medido con un turbidímetro digital, antes del proceso, luego de la coagulación y floculación el resultado de la turbidez fue de 35.38 NTU, se ha procedido a filtrar con el carbón activado obtenido, dando buenos resultados cuya turbidez fue de 2.29 NTU. En comparación con un filtro de arcilla ( sepiolita: montmorillonita ) que se obtuvo inicialmente 34-1 NTU y luego de la coagulación y floculación de la muestra nos dio un resultado de 1.9 NTU. Esto nos indica que el producto obtenido ha cumplido con el objetivo planteado ya que se logra clarificar el agua a una turbidez aceptable para cualquier uso que se le de al producto obtenido. Según se observa en el cuadro N° 7 el agua más clara tuvo como resultado de la turbidez respectiva de 2.29, que es el producto final del tratamiento utilizando el carbón activado producido. Mientras que en el cuadro N° 8 utilizando la arcilla la turbidez original del agua de mina se obtuvo 3.41 NTU y después de coagulada y filtrada se obtuvo 1.9 NTU.

**Cuadro.1 Turbidez del agua residual después del tratamiento con carbón activado**

MUESTRAS : Agua de mina	TURBIDEZ (NTU)
Floculado	35.38
Filtrado	2.29

**Fuente : Elaboración propia**



**Cuadro.8 Turbidez del agua residual después del tratamiento con arcilla sepiolita montmorillonita**

<b>MUESTRAS : Agua de mina</b>	<b>TURBIDEZ (NTU)</b>
<b>Floculado</b>	<b>34.1</b>
<b>Filtrado</b>	<b>1.9</b>

**Fuente : Elaboración propia**

- Para la obtención del carbón activado después del proceso de activación, se ha tamizado a fin de obtener un tamaño homogéneo según se muestra en el cuadro N° 9, al igual que la arcilla. En ambos casos se ha tomado los tamaños de la malla 100.
- Para el caso de la solución obtenida después de la filtración con ambos productos fue de 40 ml, así como los pesos correspondientes para la filtración, que se muestra en el cuadro N° 10.

**Cuadro N° 9 Tamizado del Carbón Activado**

<b>MALLA</b>	<b>PESO OBTENIDO: gr</b>
500	8,41
400	2,44
315	3,03
250	2,55
160	3,00
100	3,89

**Fuente: Elaboración propia**

**Cuadro N° 10 Volumen de solución utilizado**

<b>PRODUCTO</b>	<b>VOL.DE MUESTRA</b>	<b>PESO DE FILTRANTES</b>
Carbón Activ.	40 ml	3.89
Arcilla	40 ml	3.89

**Fuente: Elaboración propia**

## VII DISCUSIÓN

### Análisis de los Resultados

- **En la primera parte.** se hizo la operación de obtener el carbón activado, donde primero se tuvo que moler la cáscara, luego someterlo a una mufla a temperaturas variables teniendo un control estricto para su calcinación previamente acondicionado la mufla y calentándolo aproximadamente de 700 a 1000°C. Después de calcinar se tuvo que clasificar en un tamiz a mallas de 90, 169 y 200.
- **En la segunda parte** De las pruebas realizadas: en primer lugar utilizando el carbón activado se ha obtenido un resultado satisfactorio, preparando con agua turbia de mina mayor a 1,000 NTU dándonos un resultado de 35.8 NTU después de la coagulación floculación, y 2.29 NTU después de la filtración con carbón activado. Luego se trató con la arcilla **sepiolita montmorillonita** después de la coagulación floculación, nos dio 34.1 NTU luego después de la filtración nos dio 1.9 NTU.
- La filtración con el **carbón activado** obtenido tiene una buena eficiencia de filtración, la eficiencia de nuestro carbón cumplió el rol de adsorber la coloración y olor de la muestra floculada. Ha reducido la turbidez de 35.38 a 2.29 NTU.
- En comparación lo filtrado con la arcilla **sepiolita montmorillonita** que se obtuvo la turbidez inicial después de floculado fue de 34.9 NTU, está bastante cerca a lo obtenido con el C.A., mientras que filtrado después de la floculación se ha obtenido 1.9 NTU.



- Se puede catalogar que un agua residual con esas características tiene para ser reutilizado ó darle un uso adecuado.
- Para obtener un buen resultado es necesario contar con una buena granulometría del carbón activado y que todos los procesos y operaciones sean muy bien controlados.
- Finalmente haciendo los ajustes necesarios se llegará a obtener un carbón activado de calidad.

### **CONCLUSIONES**

- Obtuvimos carbón activado en polvo de diferentes tamaños de tamices: 200, 160, 90.
- El método de la activación química a T iguales a 1000 °C ayuda a adsorber los gases (olores) y colores de las aguas a tratar. La obtención del carbón activado de cáscara de coco resulta totalmente viable con respecto a las ganancias económicas, si se vende al precio del carbón comercial.
- La materia prima seleccionada fue el endocarpio del coco y el método de activación seleccionado fue el de activación física térmica, utilizando vapor de agua como agente activante.

Por otra parte 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.





Además 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.

Dado el gran potencial de la materia prima bajo estudio, se deben realizar experimentos con el objetivo de encontrar los parámetros adecuados para lograr los requerimientos de cada industria y, más aún, de cada cliente.

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

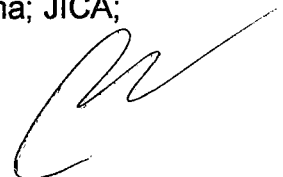
#### **RECOMENDACIONES :**

- Uso de guantes para manipular el material corrosivo en este caso el ácido fosfórico
- Evitar la oxigenación en el proceso de activación del carbón activado
- Controlar la temperatura del Horno a intervalos establecidos de tiempo
- Uso de mascarillas para evitar la inhalación de partículas de carbón activado en polvo.



## VIII REFERENCIALES

- 1.- BILLINGS BRUCE - VAUGHAN JONES - Forecasting Urban Water Demand - 1996 - American Water Works Association - 6666 W. Quincy Ave. Denver Colorado CO 80235
- 2.- CRITES TCHOBANOGLOUS RON.-Tratamiento de Aguas Residuales - - Mc Graw Hill – 2001
- 3.- UNDA FRANCISCO O.- Teoría y Diseño de Plantas de Tratamiento de Agua Potable. Departamento de Publicaciones de la Universidad Católica de Chile- 1963.
- 4.- LETTERMAN RAYMOND Calidad y Tratamiento del Agua - Manual de Suministros de Agua Comunitaria -American Water Works Association - - Mc Graw Hill Profesional 2002.
- 5.- ROMERO ROJAS JAIRO ALBERTO Potabilización del Agua / 3ra. Edición // Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería \_ Alfaomega Grupo Editor S.A> de C.U. 1999
- 6.- SPIELMAN, L.A. & QUIGLEY, J.E. A motion picture study of floc breakup. American Chemical Society National Meeting / Louisiana, Mar. 20-27, 1997
- 7.- ANDREU-VILLEGAS, R. & LETTERMAN, R.D.. Optimizing flocculator power input. Journal of the environmental Engineering Division, 102 (EE2): 251-262, Apr. 1976.
- 8.- AMES, R. Optimizing the slow mix velocity gradient at the south water filtration plant. Chicago, Bureau of water, s.d. Report N 6
- 9.- LIMA. ESAL & OPS CEPIS. Ampliación de la planta de tratamiento La Atarjea; estudio preliminar. Lima, Empresa de Saneamiento de lima, 1978 .
- 10.- LABORATORIOS AyA. Análisis de laboratorio proporcionados personalmente por la doctora victoria Pacheco. San José, 1980 (Asesor de Tratamiento del Agua, CEPIS, OPS/OMS) .
- 11.- MAISCH GUEVARA, ERNESTO.- Problemas de hidráulica en plantas de tratamiento de agua potable y desague.- Lima; JICA;



1990. 3v.[817] p. Ilus., planos. El CIE tiene los tomos 2 y 3. Estudio realizado para SEDAPAL.

- 12.- ESCOBAR, ALFONSO; SILVA, ISMAEL; KAWASO, JORGE; ZACARÍAS, AUGUSTO; PALACIOS, HERNÁN.- Informe Misión de Funcionarios de Sedapal a USA.- Lima; SEDAPAL; 1987. 207,86 p. Ilus. *SEDAPAL-CDIE*
- 13.- DEGRÉMONT..- Manual técnico del agua.- Seine; Degrémont; 1959. 546 p. Ilus.- *SEDAPAL-CDIE*.
- 14.- ARRISUEÑO ARISPE, JOSÉ.- Conducción Huampani Atarjea: análisis de la situación actual y ventajas del proyecto..- 1983.- *SEDAPAL-CDIE*.
- 15.- SOLIS-FUENTES, JULIO ALBERTO. "Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña.
- 16.- JORGE VELASQUEZ, Obtención de carbón activado a partir de cáscara de coco pre tratada con vapor.

## INTERNET

- 1.- mgs@correo.azc.unm.mx
- 2.- <http://www.monografias.com/trabajos14/falta-oxigeno/falta-oxigeno.shtml>
- 3.- Obtención del carbón activado a partir de la cáscara de coco.
- 4.-  
[http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n64ne/carbon\\_v2.pdf](http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n64ne/carbon_v2.pdf)
- 5.- Producción de carbón activado a partir de precursores de carbón activado a partir de precursores carbonosos Departamento del César, Colombia
- 6.- <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v21n3/art10.pdf>
- 7.- El Carbón Activado y Propiedades



- <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20980/Capitulo1.pdf>
- 8.- Evaluación Técnico económica de una Planta de Carbón Activado.  
[http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/soto\\_fp/sources/soto\\_fp.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/soto_fp/sources/soto_fp.pdf)
- 9.- Diseño preliminar de una Planta para la obtención de Carbón Activado
10. [http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3184/1/05-\*\*TESIS.IQ011.G35.pdf\*\*](http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3184/1/05-<b>TESIS.IQ011.G35.pdf</b)
- 11.- Aspectos Industriales de la Producción del Carbón Activado uy sus aplicaciones en la mitigación Ambiental.  
<http://calima.univalle.edu.co/scf/archivo/lberometIX/articulos/comision8/IBMC08-03.pdf>
- 12.- <http://www.carbotecnia.info/Infortecnica.htm>
- 13.- <http://www.siicex.gob.pe/siicex/portal5ES.asp?page=160.00000>
- 14.- <http://www.minag.gob.peportal/>
- 15.- <http://www.sunat.gob.pe/>

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'C' followed by a long, sweeping horizontal line extending to the right.

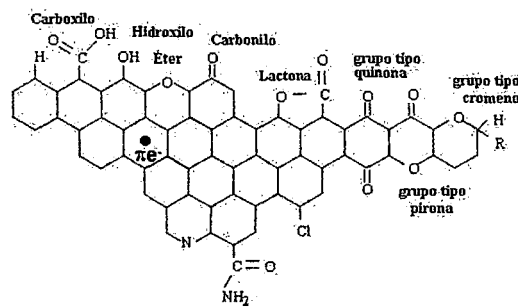
**IX APENDICES**

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'C' followed by a checkmark-like flourish.

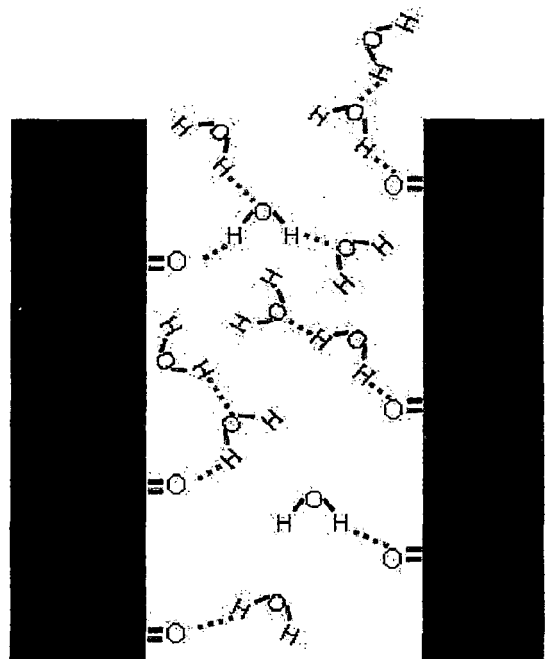
## IMPORTANCIA DE LA QUÍMICA SUPERFICIAL DE LOS CARBONES ACTIVADOS

La superficie de los carbones puede encontrarse combinada en mayor o menor proporción con otros átomos distintos al carbono (heteroátomos), dando lugar a diferentes grupos superficiales.

Representación esquemática de los principales grupos superficiales que pueden encontrarse en un carbón. La mayoría de estos grupos son grupos oxigenados, debido a la tendencia de los carbones a oxidarse incluso a temperatura ambiente. Los electrones deslocalizados de los orbitales juegan un papel muy importante en la química superficial de los carbones.



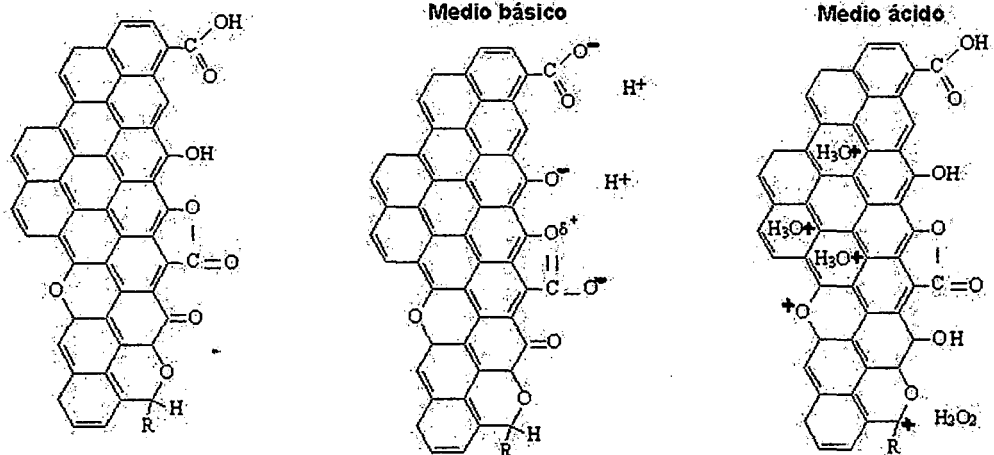
*Representación esquemática de grupos superficiales dentro de un poro, y de los puentes de hidrógeno que forman las moléculas de agua con ellos y entre sí.*



Representación esquemática del carácter ácido de algunos grupos oxigenados (carboxilos, hidroxilos y lactonas) y del carácter básico de los

electrones deslocalizados del plano basal y de grupos oxigenados (tipo pirona, tipo quinona y tipo cromeno).

Dado que el modificar el pH de los efluentes contaminantes no siempre resulta sencillo es preferible optimizar la química superficial del carbón activado teniendo en cuenta los criterios anteriores para que la adsorción sea máxima.



Optimizar la textura porosa y química superficial de un carbón activo no siempre es una tarea sencilla máxime si tenemos en cuenta que la textura porosa y la química superficial pueden estar interrelacionadas. Por ejemplo, un aumento en el contenido en grupos superficiales oxigenados puede modificar la textura porosa de un carbón, ya que se pueden bloquear parte de los micro poros lo que disminuye la accesibilidad al sistema poroso. Un tratamiento térmico a temperaturas elevadas para eliminar grupos superficiales puede también producir un colapso de la textura porosa disminuyendo también el volumen de poros. Así, a veces puede ser necesario llegar a soluciones de compromiso cuando se pretende optimizar la textura porosa y química superficial de un carbón.

## 2.- Distribución de tamaños de poros en distintos tipos de carbón activado

Cuando el carbón activado se produce por el mismo método de activación –Térmica– las placas gráficas del carbón de madera resultan pequeñas, muy separadas entre sí y con una orientación no uniforme. Por el contrario, el carbón de concha de coco está formado por placas de mayor



tamaño, poco separadas y con una orientación básicamente similar todas ellas.

Los carbones minerales poseen características intermedias.

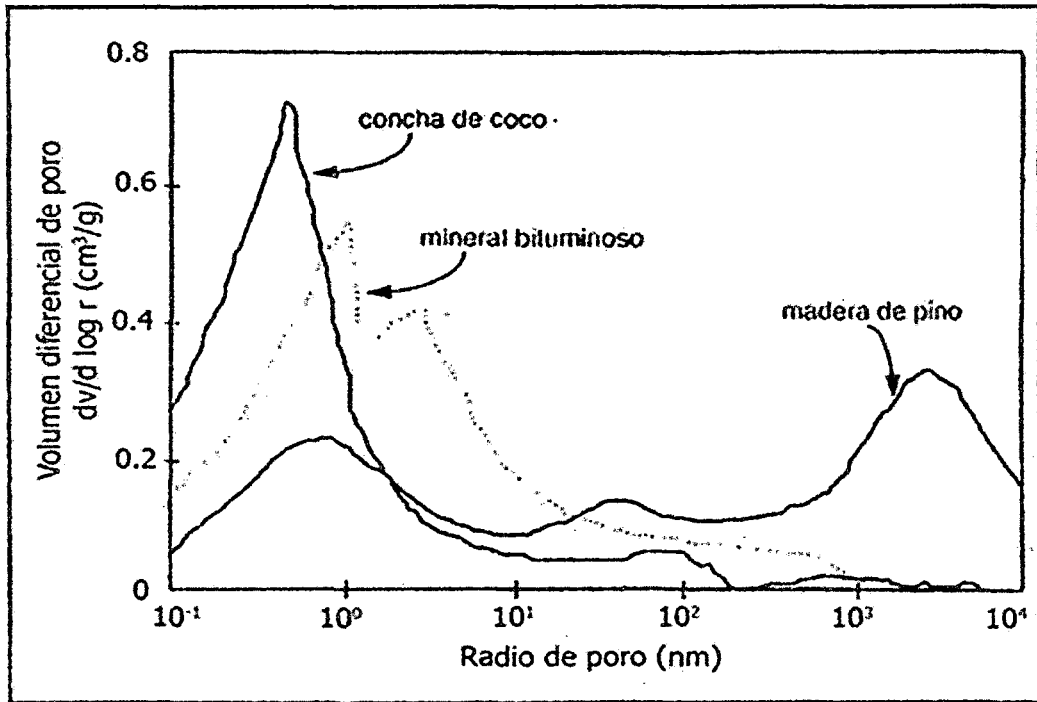


Figura 2. Distribución de tamaños de poros en distintos tipos de carbón activado



**X ANEXOS**

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'C' followed by a checkmark-like flourish.

## 1.- MATRIZ DE CONSISTENCIA

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	GENERAL OBJETIVO	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Se puede producir el carbón activado a partir de la cáscara de coco, seleccionando el método adecuado y la materia prima, para obtener un carbón activado de calidad ?	Obtener el carbón activado a partir de la cáscara de coco por el método químico o vaporización	La obtención del carbón activado a partir de la cáscara de coco utilizando el método adecuado de procesamiento sea el método químico o de vaporización y se pueda aplicar en el tratamiento de agua y obtener un producto de calidad ?	X	Disponibilidad de las materias primas: Cáscara de coco. Disponibilidad de reactivos químicos. Recolección. Transporte. Almacenamiento de cocos y cáscara de coco.	Características Características Características	Considerando YAZ identificados con la teoría de diseño de las empresas constructoras y empresas dedicadas a la producción y envasado del carbón activado.
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuáles son las condiciones de almacenamiento del carbón activado en el Perú ?	Preparación del carbón activado por el método químico utilizando ácido fosfórico como agente impregnante y cáscara de coco material precursor  Obtención del carbón activado por el método de vaporización.	Las materias primas que se utilizarán serán las adecuadas para obtener el carbón activado de buena calidad ?	Y	Zonas de almacenamiento del producto obtenido. Formas de almacenamiento.	Características Características	Entrevistas
¿Cuál es la disponibilidad del método adecuado para producir el carbón activado ?.	Evaluar el mejor método de producción del carbón activado a partir de la cáscara de coco.  Verificar la disponibilidad de las cáscaras de coco para producir el carbón activado.	La disponibilidad de las materias primas serán constantes para la producción de carbón activado en nuestro país ?	Z	Equipos Transporte Circuitos de proceso. Almacenamiento de producto final.	Características Características Características Características	Entrevistas

#### VARIABLES

- X = Método de obtención del carbón activado a partir de la cáscara de coco.  
 Y = Condiciones de almacenamiento de las materias primas: cáscara de coco.  
 Z = Disponibilidad de la metodología de obtención del carbón activado.



## 2.- ARANCELES PREFERENCIALES

Principio del formulario

### CÓDIGO ARMONIZADO

↳ 380210 CARBÓN ACTIVADO (EXC. CON EL CARÁCTER DE MEDICAMENTO O ACONDICIONADOS PARA LA VENTA AL POR MENOR COMO DESODORANTES PARA REFRIGERADORES, VEHÍCULOS, ETC

Final del formulario

Principio del formulario

### CUADRO N° 14.- APC PERU-EEUU (Cronograma EEUU) Harmonized Tariff Schedule of the United States - US HTS (SA

2002)

Subpartida	Descripción	Arancel Preferencial Ad valorem (%)
------------	-------------	--

38021000 Activated carbon

Final del formulario

Dentro de los consumidores del carbón activado podemos citar a los siguientes::

SEDAPAL: para tratamientos de agua y uso en Laboratorio.

Corporación José R. Lindley: Tratamiento de aguas para producción de aguas gaseosas y aguas de mesa.

Corporación Backus Cervecería: Tratamiento de aguas para producción de la cerveza y tratamiento de aguas.

Industrias de producción de productos químicos.

Plantas electrolíticas de cromado, niquelado y zincado para la filtración de sus soluciones electrolíticas.

Muchos otros de nuestro mercado.

Empresas Mineras:

Cía. Minera Antamina (Huaraz): para recuperación del oro y tratamiento de aguas residuales de la mina y tratamiento de agua doméstica.

Cía Minera Yanacocha (Cajamarca); para la recuperación del oro dore, tratamiento de agua residual para regadío y tratamiento de agua doméstica.

Doe Run para tratamiento de aguas residuales y domésticas.

Industrias Alimentaria : Bimbo, Nicolini, y muchos otros más.

### 3.- Proyección de la Demanda

Año	TM/Año	Ventas \$
2013	2,800	2'240,000
2014	2,975	2'380,000
2015	3,150	2'520,000
2016	3,350	2'680,000
2017	3,350	2'680,000

### ANALISIS DE LA OFERTA

Fabricantes Nacionales ( Si las hubiera)

### PRINCIPALES EMPRESAS PERUANAS EXPORTADORAS DEL CARBON ACTIVADO

Principio del formulario

Empresa	% Var 11-10	% Part. 11
<u>ORICA CHEMICALS PERU S.A.C</u>	--	71%
<u>ALICORP SAA</u>	--	21%
<u>INTERAMERICANA DE INGENIERIA SAC ...</u>	--	4%
<u>DMP MAC DRILLING E.I.R.L.</u>	--	3%
<u>SOCIEDAD QUIMICA ALEMANA SOCIEDAD...</u>	-1%	1%
<u>GLS NETWORK SOCIEDAD ANONIMA CERRADA</u>	--	0%
<u>MERCANTIL INTERAMERICANA S.A.C</u>	--	0%

Fuente: SUNAT : SIICEX

### ANALISIS DE LOS PRECIOS

Factores que influyen en los precios:

Los factores que influyen en los precios son las siguientes:

La no disponibilidad insitu de la materia prima.

La importación de los equipos.

Mayor desarrollo agropecuario para la producción de la materia prima.

4.- Precios Actuales PRECIO FOB, PRECIO CIF EN \$/TM  
CUADRO N° 15

Subpartida Nacional: 3802.10.00.00 CARBONES ACTIVADOS

País de origen	Valor FOB (dólares)	Valor CIF (dólares)	Peso Neto (Kilos)	Peso Bruto (Kilos)	Porcentaje CIF
IN-INDIA	2,184,472.49	2,418,017.49	872,824.900	897,580.420	35.12
CN-CHINA	1,707,995.12	1,946,122.77	1,050,999,840	1,077,907.690	28.27
MY-MALAYSIA	612,594.40	676,292.24	242,000.000	269,916.000	9.82
NLNETHERLANDS	358,683.16	383,312.19	94,257.400	105,958.530	5.57
US-UNIT- STATES	335,715.42	376,536.49	67,218.400	70,753.620	5.47
BR-BRASIL	254,296.06	269,609.02	121,185.530	124,002.830	3.92
MX-MEXICO	253,396.80	264,251.76	135,240.000	143,280.000	3.84
PH-PHILLIPINES	206,855.00	239,392.01	98,000.000	101,339.880	3.48
GB-UNITED KINGDOM	120,154.80	136,868.36	57,000.500	60,154.960	1.99
ID-INDONESIA	53,352.20	60,909.24	20,212.000	20,212.000	0.88
LK-SRI LANKA	51,414.00	56,562.28	20,795.5000	21,890.000	0.82
TH-THAILAND	47,000.00	51,673.39	20,000.000	24,410.000	0.75
IT-ITALY	2,072.74	2,239.91	1,155.000	1,197.660	0.03
CZ-CZECH REPUBLIC	1,606.68	1,651.46	61,740	64,990	0.02
ES-SPAIN	759.16	861.92	30.000	44.120	0.01
DE-GERMANY	256.48	281.96	31.660	47.020	0.00
RO-ROMANIA	21.78	24.34	0.380	0.390	0.00
LOS DEMAS	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00
TOTAL	6,190,645.99	6,884,606.83	2,801,012.650	2,918,760.310	100.00

Fuente: COMTRADE

5.- COMERCIALIZACIÓN

Canales de comercialización:

Se consideran los siguientes:

Empresas dedicadas a la distribución del carbón activado.

Cámara de Comercio de Lima Callao.

Ministerio de la Producción.

Sociedad Nacional de Industria.

SUNAT.

Comercio exterior.

Otros.

6.- **TABLAS, CUADROS:**  
**EXPORTACIONES**

**CUADRO N° 1.- PARTIDAS ARANCELARIAS DEL PRODUCTO,  
EXPORTADAS EN LOS ÚLTIMOS AÑOS**

"Las partidas de exportación listadas a continuación pudieran contener otros productos o especies"

PARTIDA	DESCRIPCIÓN DE LA PARTIDA	FOB-11	%Var11-10
3802100000	CARBONES ACTIVADOS	176,359	12,270%

**CUADRO N° 2.- PRINCIPALES EMPRESAS PERUANAS  
EXPORTADORAS DEL CARBON ACTIVADO**

Empresa	%Var 11-10	% Part 11
<u>ORICA CHEMICALS PERU S.A.C</u>	--	71%
<u>ALICORP SAA</u>	--	21%
<u>INTERAMERICANA DE INGENIERIA SAC ...</u>	--	4%
<u>DMP MAC DRILLING E.I.R.L.</u>	--	3%
<u>SOCIEDAD QUIMICA ALEMANA SOCIEDAD...</u>	-1%	1%
<u>GLS NETWORK SOCIEDAD ANONIMA CERRADA</u>	--	0%
<u>MERCANTIL INTERAMERICANA S.A.C</u>	--	0%

Fuente: SUNAT : SIICEX