

47  
2ej



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

“ELABORACION DE CARBON ACTIVADO A  
PARTIR DE CASCARA DE COCO Y OTRAS  
NUECES”

T E S I S  
Que para obtener el Título de  
INGENIERO QUIMICO  
P r e s e n t a

JORGE GUTIERREZ BENITEZ



México, D. F.

EXAMINADO Y APROBADO  
FACULTAD DE QUIMICA

1985



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## C O N T E N I D O

- I. INTRODUCCION
- II. ANTECEDENTES
- III. PARTE EXPERIMENTAL
- IV. RESULTADOS Y DISCUSION
- V. CONCLUSIONES
- VI. BIBLIOGRAFIA

## I. INTRODUCCION.

Dadas las características peculiares de los carbones activados, constantemente se registran incrementos notables en su consumo, diversificándose sus aplicaciones en el campo de la tecnología química. En el año de 1965 este adsorbente dejó de ser exclusivamente materia prima de importación de la industria nacional, ya que en México se empezó a elaborar dicho producto.<sup>(1)</sup>

Aún así, la producción no satisface a la demanda y dada la importancia que ha adquirido el producto en los últimos años, es conveniente incrementar la investigación de este adsorbente, tomando en cuenta los diferentes métodos de elaboración de carbón activado y utilizando las materias carbonizables; en especial, aquellas que constituyen subproductos o desperdicios en la industria, el empleo de las sustancias activantes y la evaluación de las propiedades de los productos obtenidos.

De esta manera, el propósito del presente trabajo es el de utilizar la cáscara de coco y de otras nueces como materia prima principal para la elaboración de carbón activado, contribuyendo así a su estudio, con la visión de mejorar la producción de éste en el país.

## II. ANTECEDENTES.

## NUECES.

Generalmente se entiende por nueces o frutos de almendra los que presentan una sola semilla, oleosa y comestible, encerrada en una cáscara leñosa y dura.

Morfológicamente, estos frutos son drupas (fruta de mesocarpio carnoso y endocarpio leñoso y una sola semilla) o frutos muciformes como la nuez de mantequilla, la castaña, avellana, nuez de nogal blanco americano y la nuez europea, entre otras.

En un sentido más amplio, se estudian como frutos de almendra otros frutos de pepita y aún tubérculos que tienen cubierta dura, que contienen aceite o almidón como la nuez de Brasil, cacahuate, chufa, piñón, pistacho y el coco.

Los frutos de almendra son cultivados principalmente con fines alimenticios, para la obtención de aceites, algunos se emplean en medicina, ornamentación y otros usos. De lo anterior se puede concluir que al hablar de nueces implica una gran cantidad de frutos. La Tabla I presenta una lista de estos frutos de distintas partes del mundo, con sus nombres comunes, procedencia geográfica y usos principales. (2)

TABLA I.

## NUECES, LUGAR DE PRODUCCION Y USOS DE FRUTOS DE ALMENDRA.

<u>NOMBRE COMUN</u>	<u>PROCEDENCIA GEOGRAFICA</u> <u>PRINCIPAL</u>	<u>U S O S</u>
Avellana	Europa, América del Norte	Alimento
Coco	Trópicos	Alimento y Aceite
Nogal Americano	América del Norte	Alimento y Aceite
Nuez del Brasil	América del Sur	Alimento y Aceite
Piñón	Sureste de Estados Unidos	Alimento y Aceite

NUECES COMESTIBLES DE TIERRA Y AGUA

Cacahuete	Trópicos, Asia y EE.UU.	Alimento y Aceite
Chufa	Sur de Europa y América del Norte	Pienso

NUECES DE ARBOL NO COMESTIBLES

Nuez Clarificadora	India	Depuración del Agua
Castañas de India	Europa y EE.UU.	Medicinas y Abalorios
Nuez Purgante	América Tropical	Medicina

NUECES CON USO ALIMENTICIO SECUNDARIO

Kola	Africa Occidental	Estimulante
Nuez de Clavo	Madagascar	Especia
Nuez Moscada	Indias Orientales	Especia

COCO.

CARACTERISTICAS.

El coco, cuyo nombre científico es "Cocos Nucifera" pertenece a la familia de las palmáceas (arecaceae). Habita en todas las zonas tropicales en especial a 20° N. y S. del Ecuador.

Prospera en zonas litorales con brisa marina, sol, una temperatura de al menos 22°C y suficiente agua, la constitución del terreno debe ser arenosa, arcillosa o de alubión con profundidad y humedad. (3,4)

De acuerdo a su constitución, el coco con su cubierta fibrosa se compone de 43% de fibra (bonote), 15% de cáscara dura (parte leñosa), 30% de almendra (parte comestible) y el 22% de "leche" (correspondiente al agua de coco).

En tanto el coco mondado (coco sin la parte fibrosa) presenta el 55% de almendra, 27% de cáscara dura y el 18% de "leche". (2)

Con base en el porcentaje correspondiente a la cáscara dura (15%), a grosso modo se puede estimar que a partir de una tonelada de coco se obtienen 150 kg. de cáscara.

Por otra parte, si se toma en cuenta una tonelada de coco mondado, (27% de cáscara) se obtendrán 270 kg. de cáscara de coco.

Tomando en cuenta los datos precitados puede concluirse que existe suficiente materia prima para la elaboración de carbón activado partiendo de la cáscara de coco a nivel industrial,<sup>(5)</sup> lo cual queda reflejado en las Gráficas - No. 1 y No. 2.

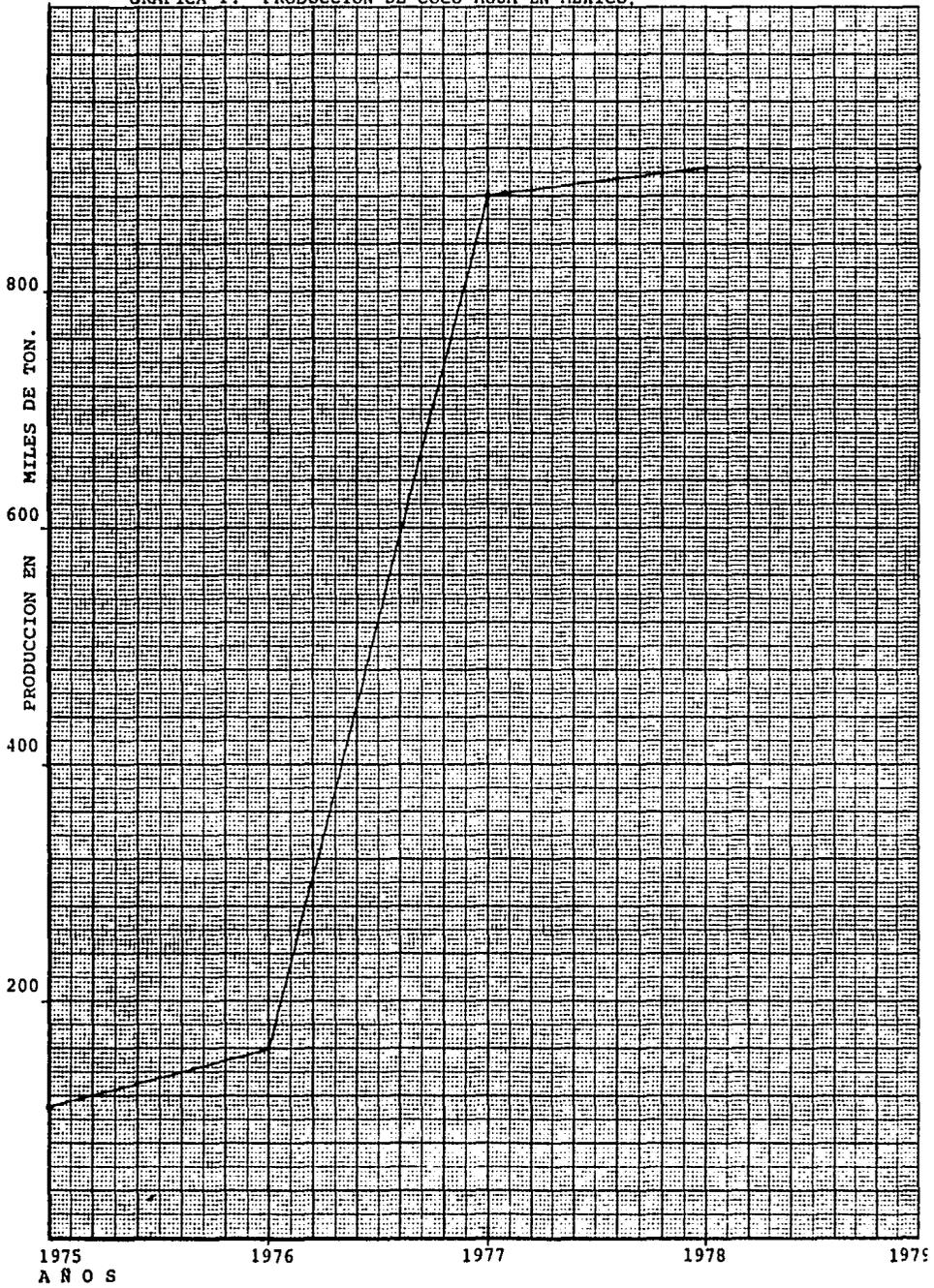
#### CARBON ACTIVADO.

El término carbón activado puede ser aplicable a cualquier forma de carbón, preparado por un proceso adecuado de carbonización y activación de diversas sustancias orgánicas y que presenta un poder adsorbente aunado a una estructura altamente porosa.

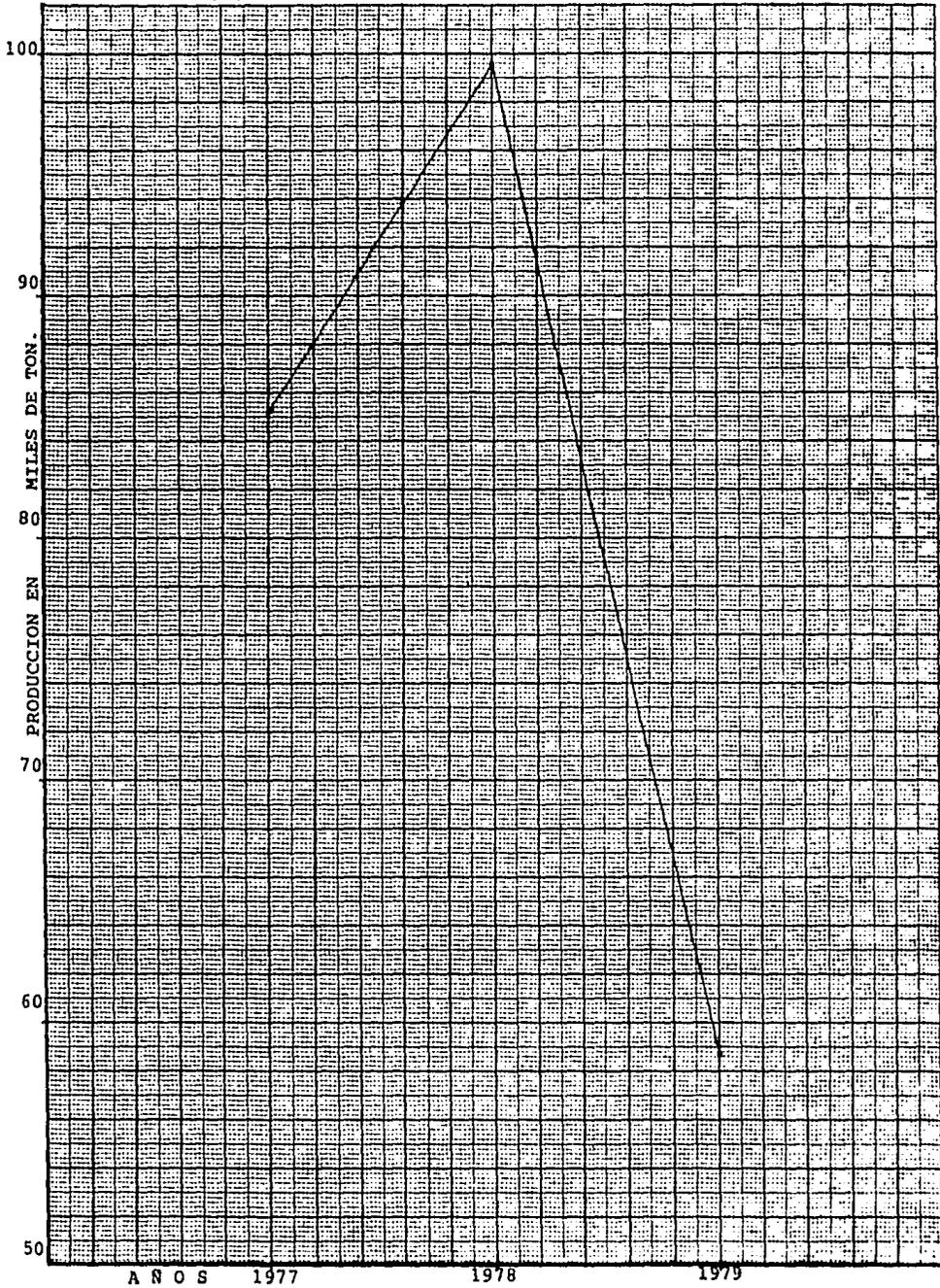
Las propiedades adsorbentes del carbón, se conocieron y estudiaron antes de que se utilizará el término - "carbón activo". Así en tiempos pasados y en algunas publicaciones recientes, las informaciones sobre esta sustancia y sus propiedades aparecen bajo muy variados nombres como carbón vegetal o bien como carbón de: cáscara de coco, huesos, sangre, cáscara de nuez, etc., también aparecen referencias bajo un nombre comercial del carbón, carbonut, activón, sunchar, darco, etc., y por otra parte, muchos fabricantes describen su producto en términos de carbón activado.

En el caso de algunas revistas, como las de la American Chemical Society se refieren a esta sustancia en su literatura como carbón activo, con lo cual existen dos expresiones para una misma sustancia, de tal manera, que carbón activo y carbón activado resultan equivalentes.<sup>(1,2,6)</sup>

GRAFICA 1.- PRODUCCION DE COCO AGUA EN MEXICO.



GRAFICA 2.- PRODUCCION DE COCO FRUTA EN MEXICO.



En la fabricación del carbón activado, como materia prima se utiliza un sin fin de diferentes materias orgánicas.<sup>(6)</sup> (Tabla II).

TABLA II.

## FUENTES POSIBLES PARA LA ELABORACION DE CARBON ACTIVADO.

ALGAS Y VEGETALES MARINOS	BAGAZO
DESPERDICIOS DE FABRICA DE PAPEL	CARBON VEGETAL
GRAFITO	CASCARA DE COCO
GRANOS DE CAFE	CASCARA DE NUEZ
HUESOS DE ANIMALES	CASCARA DE PIÑON
HUESOS DE FRUTAS	SERRIN
LIGNINA	CASCARILLA DE ARROZ
PAJA	CASCARILLA DE ALGODON
LOTES	DESPERDICIOS DE DESTILERIAS
SANGRE Y VICERAS	COQUE DE PETROLEO
MADERAS DURAS Y SUAVES	

En principio, toda materia orgánica sirve igualmente para carbonizarse, por lo tanto puede decirse que se cuenta con un número indefinido de materias primas: serrín, paja, cáscara de frutas, semillas y huesos, residuos de plantas oleaginosas, desperdicios de la fabricación de conservas y mermeladas, así como los de los rastros, etc. de forma similar se emplean según las circunstancias y los precios, mezclas de materiales vegetales y animales -

que dan resultados satisfactorios, así, por ejemplo, la basurra de las ciudades de la que previamente se separan los metales, el vidrio y los residuos cerámicos quedando papel, tejidos, resto de toda clase de alimentos, polvo, etc.; al carbonizarla produce un carbón bastante activo.<sup>(7)</sup>

Es importante señalar que existen grandes diferencias en cuanto a la facilidad con la que pueden activarse las materias primas enlistadas en la Tabla II. Así la sangre y los huesos pueden activarse rápidamente, en tanto - que el coque de petróleo no responde a los métodos conocidos de activación.

Por otra parte, la naturaleza de la materia prima - afecta las propiedades físicas del carbón resultante, por - ejemplo, de la cáscara de coco, se obtiene un carbón denso propio para la adsorción de gases, en tanto que la celulosa, da un carbón suave de baja densidad aparente, utilizado en la purificación de aguas potables.<sup>(1)</sup>

#### MÉTODOS EMPLEADOS PARA LA ELABORACION DE CARBON ACTIVADO.

Los métodos para la obtención de un producto de la la porosidad y pureza adecuadas, son de tipo físico-químico y generalmente pertenecen a 2 grupos diversos según el medio de activación. Es natural que sin excepción, todos requiere

ren calentamiento y la temperatura puede variar de 500 a 1000°C. (6)

En el primer grupo se incluyen los métodos de activación con gases  $H_2$ ,  $CO_2$ , vapor de  $H_2O$  sobrecalentado y óxidos de nitrógeno. (TABLA III).

TABLA III

## AGENTES ACTIVANTES GASEOSOS

Cloro	Anhídrido Carbónico
Vapor de Agua	Anhídrido Sulfuroso
Aire	

Al segundo grupo pertenecen los métodos que impregnan la materia prima, utilizando ciertas sustancias - para disolver y simultáneamente deshidratar la celulosa y los demás cuerpos. La carbonización se efectúa con aquella masa más o menos pastosa a la temperatura apropiada.

Como materias impregnantes, debemos mencionar - las siguientes: ácido sulfúrico, ácido fosfórico, cloruro de zinc, sosa cáustica, etc., la Tabla IV indica algunas de las sustancias químicas utilizadas como activantes.

TABLA IV.

## SUSTANCIAS QUIMICAS ACTIVANTES.

Carbonato de potasio	Dióxido de manganeso
Acido fosfórico	Fosfato de calcio
Acido cítrico	Fosfato de sodio
Cloruro de calcio	Oxido de sodio
Cloruro de zinc	Hidróxido de calcio
Cloruro férrico	Sulfato manganeso
Cloruro manganoso	Sulfato de sodio
Azufre	Tiocianato de potasio
Acido sulfúrico	Dolomita
Acido bórico	

Las diferentes variedades de carbón activado pueden dividirse en 3 grupos según su estado físico:<sup>(7)</sup>

1. Carbón activado polvo
2. Carbón activado fragmentado (trozos)
3. Carbón activado prensado

1. El carbón activado en polvo es el de empleo más amplio: en la industria del azúcar, para decolorar alcohol, vinos, glicerina, aceites, en la industria químico-farmacéutica, etc., además en medicina como el más poderoso

desintoxicante en envenenamientos y diferentes enfermedades del aparato digestivo. Este tipo de carbón de uso medicinal, requiere propiedades especiales, - es el más puro y activo. Para medir las actividades, las diferentes farmacopeas prescriben ensayos con -- cloruro mercúrico (mínimo 0.80 g.  $\text{HgCl}_2$  por 0.10 g. - de carbón activado) antipirina (mínimo 0.047 g. por - 1g de carbón activado) y azul de metileno. Esta última prueba es la más conveniente para definir el po der adsorbente, para todo tipo de carbón activado, - siendo a la vez más sencilla. Según esto 0.10 g. de carbón (desecado a  $120^\circ\text{C}$ ), deben decolorar por lo me nos  $35 \text{ cm}^3$  de la solución azul de metileno al 0.15%.

2. Carbón activado en trozos, se fabrica casi exclusiva mente de cáscaras (nuez, coco, almendras, piñón, -- etc.), y se usa en trocitos de 0.5 - 2 mm de diáme-- tro.

Se emplea casi siempre como el prensado, pero su actividad no llega a alcanzar el grado de éste.

3. Carbón activado prensado, la fabricación de esta va riedad es muchísimo más delicada y la maquinaria tie ne también mayor complicación que la del carbón en polvo. Principalmente se utiliza para la adsorción

de gases y vapores, en la recuperación de disolventes orgánicos volátiles y en general en procesos en que no puede usarse carbón en polvo, sino partículas relativamente grandes y además, con cierta resistencia mecánica. Para su fabricación se usan mezclas de serrín y cáscaras impregnadas con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) ó ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), entre otros. Antes de la activación se hace con la masa, hilos de 2-3 mm de diámetro, que se carbonizan lo más cuidadosamente para conservar la estructura primitiva del tejido celular con el fin de obtener la resistencia deseada.

De acuerdo a su uso se clasifican fundamentalmente en:

- a) Carbones activos para fase gaseosa
- b) Carbones activos para fase líquida<sup>(8)</sup>

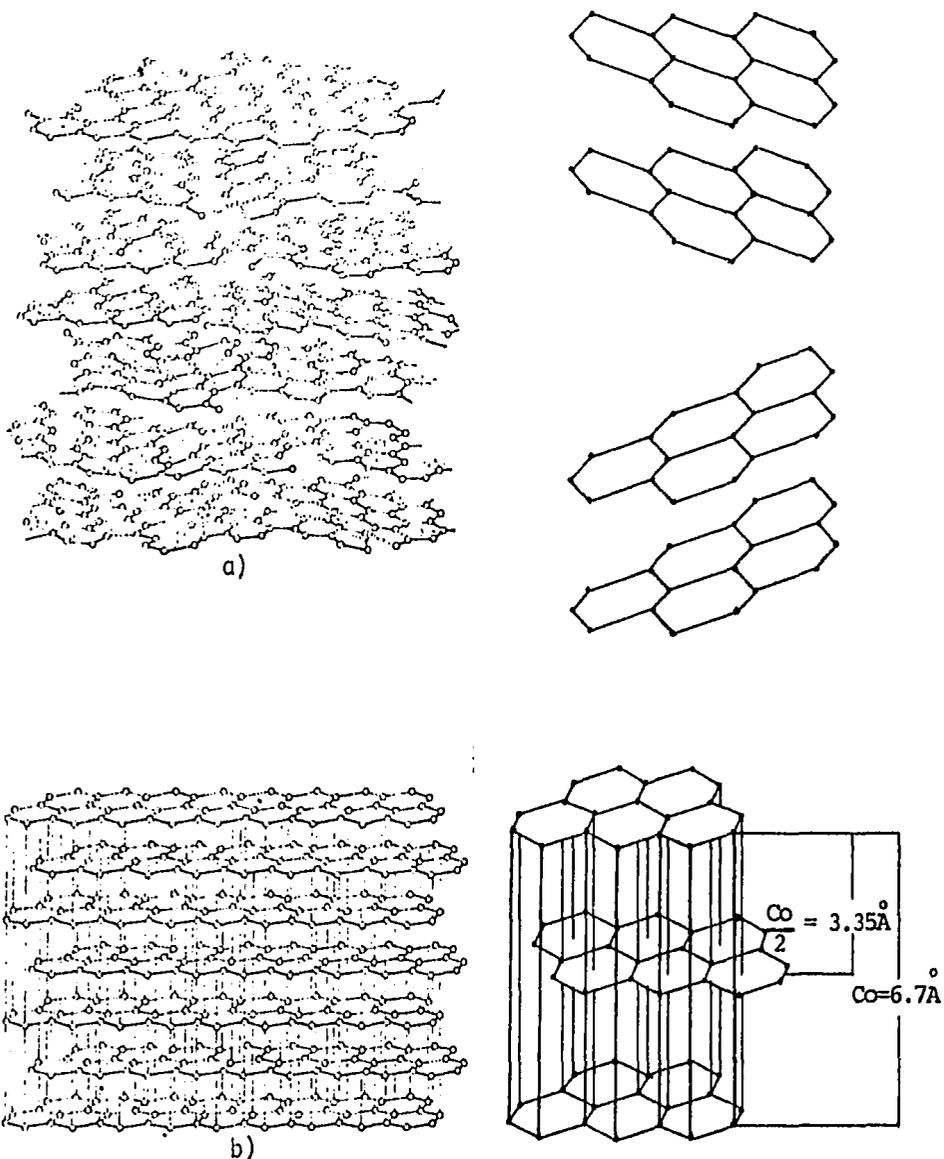
Sin embargo, un carbón puede ser superior a otros carbones, en un sistema líquido y presentar menor capacidad adsorbente con relación a los mismos carbones en un líquido diferente.<sup>(6)</sup> Además de estas variaciones en las propiedades adsorbentes, los análisis químicos revelan diferencias entre carbones activados. Así, lo que se conoce como carbón activado, no es carbón puro, sino que, otros elemen

tos se encuentran presentes en ciertas proporciones, dependiendo de la materia prima y del método de preparación. Algunos elementos, como el  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ , S, etc. están unidos químicamente con los átomos de carbono, en consecuencia, la expresión carbón activado no representa un simple elemento químico, sino más bien es un nombre genérico para una clase de sustancias. (6)

#### CARACTERISTICAS DEL CARBON ACTIVADO.

El carbón activado se clasifica frecuentemente como carbón amorfo, el estudio de su estructura se basó en un principio en los resultados obtenidos en cuanto a la medida de la adsorción. Recientemente el análisis por rayos X, ha demostrado que el carbón activo presenta estructuras cristalinas, o sea, que los átomos libres de carbón como elemento se agrupan en formaciones cristalográficas organizadas denominadas "cristalitos" con dimensiones submicroscópicas. (1,3,9,10)

Tal estructura muestra que los átomos de carbón están dispuestos en retículos hexagonales planos, donde cada átomo de carbono (excepto los de los extremos) está unido a otros tres átomos de carbono. Los planos se encuentran sobrepuestos pero sin orientación alguna con respecto a un eje común y perpendicular, como lo muestra la Fig. 1. (10,11)



a) ESTRUCTURA IRREGULAR DEL CARBON ACTIVADO

b) ESTRUCTURA DEL GRAFITO

El desplazamiento angular de un plano con respecto a otro varía, denominándose a este tipo de arreglo, estructura - turboestrática. (9,10,12)

#### ADSORCION.

Comúnmente se emplea el término adsorción para designar la preferencia que tienen ciertos sólidos para concentrar sustancias específicas de una solución sobre su superficie.

La superficie de un líquido se encuentra en un estado de tensión o no saturado; por otra parte, la de un sólido presenta un campo residual de fuerza, con lo cual habrá una tendencia a la disminución de energía libre en cualquier superficie y ésta será la responsable final del fenómeno de adsorción. Por lo tanto se puede expresar que el término adsorción se refiere estrictamente a la existencia de una concentración más elevada de cualquier componente en la superficie de una fase líquida o sólida que la que se presenta en el interior de la misma, denominándose a ésta, adsorbato y a la superficie, adsorbente. (13,14)

Tratándose de sólidos, debe existir una diferencia marcada entre el significado de adsorción y absorción. Esta última se refiere a una penetración más o menos uniforme

del adsorbato, el cual se distribuye por todo el sólido sin acumularse sobre la superficie.

En realidad es prácticamente imposible separar los efectos de adsorción y los de absorción en los sistemas gas-líquido, por lo cual se emplea el término sorción propuesto por J.W. McBain (1909).<sup>(13,15)</sup>

El tipo de adsorción más importante es, sin duda, el que se presenta cuando los gases son adsorbidos sobre las superficies de sólidos. La adsorción puede ser física o química según sean las fuerzas que fijan las moléculas -- del gas al sólido.

## ISOTERMAS DE ADSORCION.

Las experiencias sobre adsorción que con más frecuencia se realizan, consisten en establecer la relación - que existe entre la concentración del componente adsorbible o su presión parcial y la concentración de éste en la superficie sólida.<sup>(16)</sup>

Estas medidas se realizan de ordinario a temperatura constante y los resultados se presentan gráficamente - en la llamada isoterma de adsorción. Lo que se mide experimentalmente es, o bien el volumen de gas adsorbido por una cantidad de adsorbente o la variación del peso que experimenta el adsorbente al haber estado en contacto con el gas a una determinada presión.<sup>(1)</sup>

Así, se han determinado una gran variedad de formas para las isotermas de adsorción.<sup>(17)</sup> Generalmente en la quimisorción sólo se presentan isotermas del tipo I (Fig. 2), cuya curva en su tramo inicial presenta una acusada pendiente que gradualmente se aproxima a una recta paralela al eje de las abscisas; la parte inicial corresponde a la gran tendencia que tiene la superficie a unirse con las moléculas del gas y la disminución de esta tendencia se atribuye a la saturación de estas fuerzas.

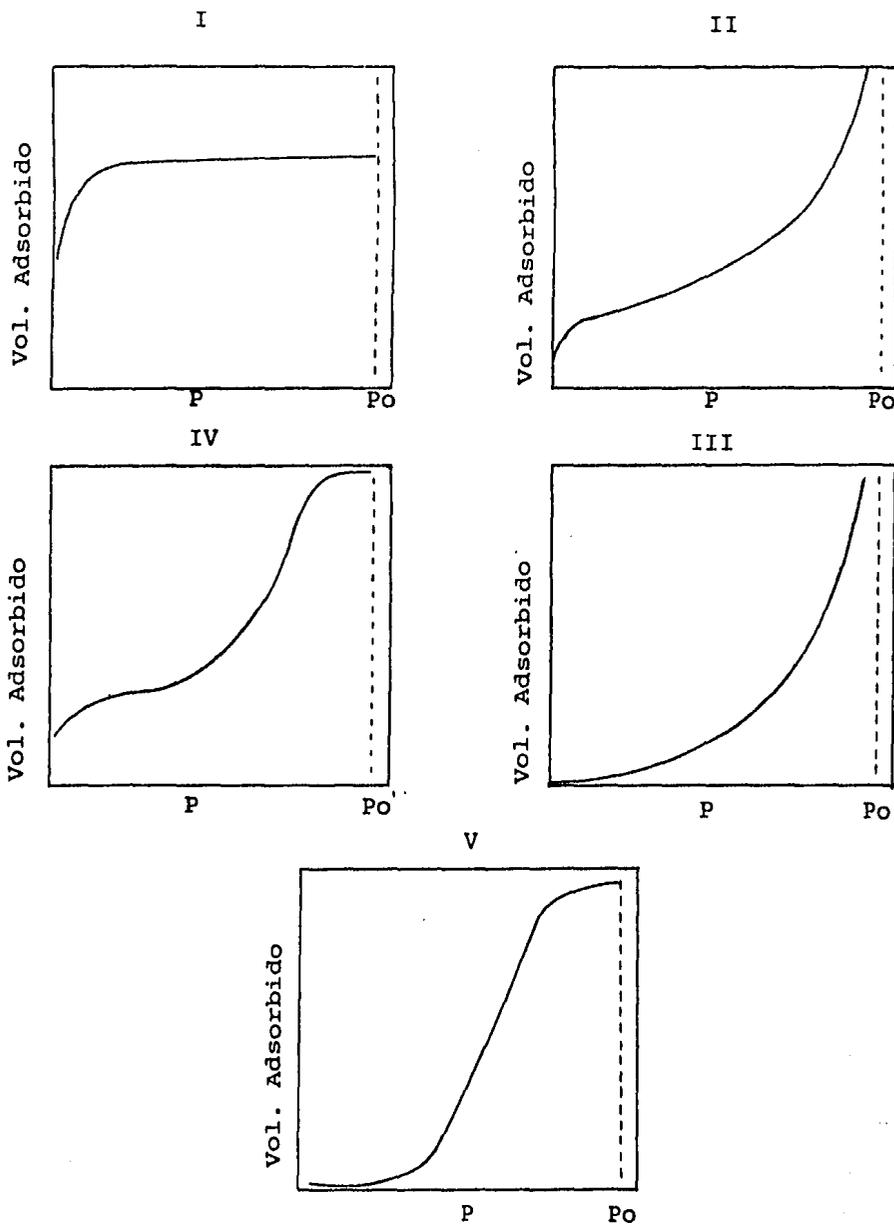
Por el contrario, la adsorción física se puede representar por los cinco tipos de isothermas de adsorción (Fig. 2), donde se puede observar una pendiente creciente a medida que aumenta la presión del gas; cada incremento de presión - origina un incremento cada vez mayor del gas adsorbido teniendo un límite donde la presión es igual a la presión de vapor de la sustancia que se adsorbe. En este momento se produce un ascenso vertical de la isoterma debido a una condensación del gas.

La explicación propuesta para las isothermas del tipo II, III, IV y V es que la adsorción se manifiesta en capas multimoleculares, o sea, la formación de varias capas moleculares sobre la superficie del sólido en lugar de una.

Si se toma en cuenta que  $E_1$  es el calor de adsorción de la primera capa y  $E_L$  como el calor de licuefacción del gas, se puede concluir que las isothermas del tipo II se obtienen cuando  $E_1 > E_L$  y las del tipo III cuando  $E_1 < E_L$ .

En el caso de las isothermas del tipo IV y V, los sólidos que presentan esta conducta, además de la adsorción de varias capas de espesor molecular sobre su superficie, se lleva a cabo la condensación del gas en los poros y capilares del adsorbente obteniendo así isothermas del tipo IV cuando  $E_1 > E_L$  e isothermas del tipo V cuando  $E_1 < E_L$ .

Fig. 2.- TIPOS DE ISOTERMAS DE ADSORCION.



En conclusión, estos tipos de isotermas pueden interpretarse como la combinación tanto de las isotermas de adsorción física como de la adsorción química; sin embargo, no puede darse una explicación formal de todas las isotermas de adsorción observadas experimentalmente.<sup>(1,13,15,16)</sup>

Como ejemplo de cada uno de los tipos de isotermas tenemos, la adsorción de:

Oxígeno sobre carbón a  $-183^{\circ}\text{C}$  tipo I

Nitrógeno sobre catalizador de hierro a  
 $-195^{\circ}\text{C}$  Tipo II

Bromo sobre sílica gel a  $79^{\circ}\text{C}$  tipo III

Benceno sobre gel óxido férrico a  $50^{\circ}\text{C}$   
tipo IV

Vapor de agua sobre carbón a  $100^{\circ}\text{C}$  Tipo V. <sup>(17)</sup>

## ADSORCION FISICA O DE "VAN DER WAALS".

Este tipo de adsorción física o de "Van der waals", es un fenómeno fácilmente reversible y es el resultado de las fuerzas de atracción intermoleculares entre un sólido y un gas, el gas se condensará sobre la superficie del sólido aún cuando su presión sea menor que la presión de vapor correspondiente a la temperatura que prevalece.

Tal condensación será acompañada por un desprendimiento de calor en mayor cantidad que el calor latente de vaporización y es del orden del calor de sublimación del gas.

La sustancia adsorbida no penetra dentro de la red cristalina del sólido sino permanece enteramente sobre la superficie, pero si el sólido es altamente poroso y contiene muchos capilares finos, la sustancia adsorbida penetrará estos intersticios humedeciendo al sólido.

La adsorción física no depende de una manera definitiva de las irregularidades de la naturaleza de la superficie, pero por lo general, es directamente proporcional a esta última.

Los estudios de la adsorción física son útiles para la determinación de las propiedades de los sólidos, como

son el área específica y distribución del volumen y tamaño de los poros. <sup>(16)</sup>

#### ADSORCION QUIMICA O QUIMISORCION.

Este tipo de adsorción química o quimisorción involucra fuerzas mucho más potentes que las presentes en la adsorción física.

H.S. Taylor (1931) sugirió el nombre de quimisorción para describir y distinguir este segundo tipo de combinación de moléculas gaseosas con superficie sólida. <sup>(18)</sup> En este caso las moléculas adsorbidas se retienen en la superficie, por medio de fuerzas de valencia del mismo tipo que las que se presentan entre los átomos y las moléculas. <sup>(16)</sup>

El proceso de quimisorción es frecuentemente irreversible y en la adsorción de la sustancia original a menudo se encontrará que al final ésta presenta cambios químicos; la misma sustancia que en condiciones de baja temperatura se adsorbe físicamente sobre un sólido, puede presentar quimisorción a altas temperaturas y existe la posibilidad de que ocurran ambos fenómenos a la vez.

Como ejemplo se tiene la gran cantidad de hidrógeno adsorbido sobre una superficie de níquel a  $-200^{\circ}\text{C}$ , la cual

disminuye notablemente al elevarse la temperatura, pero aumenta de nuevo hasta un valor máximo a unos  $-100^{\circ}\text{C}$  disminuyendo lentamente después.

Por lo tanto existen pruebas de que la velocidad de adsorción a temperaturas bajas, es mayor que a temperaturas elevadas. (13)

ECUACIONES PARA REPRESENTAR LA ADSORCION DE UN GAS POR UN SOLIDO.

Se han formulado tres ecuaciones básicas para representar la relación entre grado de adsorción de un gas - por un sólido y la presión del gas, estas ecuaciones son - las siguientes:

A) Ecuación de Freundlich

B) Ecuación de Langmuir

c) Ecuación de B. E. T.

ECUACION DE FREUNDLICH.

La Ecuación de Freundlich es una ecuación empírica válida en un pequeño intervalo de concentraciones, particularmente útil para soluciones diluidas y representa la variación de la cantidad de adsorción por unidad de área o de masa con la presión (3,13) esta ecuación tiene la forma:

$$y = kC^{1/n}$$

DONDE:

Y Es el peso de soluto adsorbido por unidad de área o masa de adsorbente

C Concentración del soluto en la disolución en equilibrio

K,n Constantes empíricas

Esta ecuación es conveniente utilizarla en forma logarítmica, con lo cual:

$$\log Y = \log k + \frac{1}{n} \log C$$

Si se trazan en un sistema de coordenadas cartesianas,  $\log Y$  en las ordenadas y  $\log C$  en las abscisas se tiene como resultado una línea recta cuya pendiente es igual a  $1/n$  y ordenada en el origen  $\log k$ .

Si  $C$  es reemplazada por la presión del gas la ecuación quedaría como:

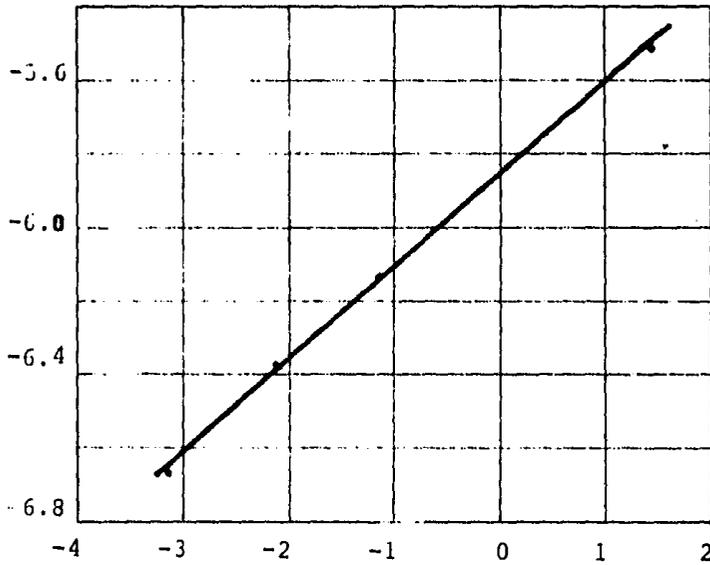
$$\log Y = \log k + \frac{1}{n} \log P$$

que nos define la variación de la cantidad adsorbida por -- unidad de área o de masa con la presión, esta ecuación se -- satisface a bajas presiones, ya que a altas presiones los -- datos experimentales quedan fuera de la recta; señalando ade -- más, que esta ecuación no tiene validez general al reprodu -- cir la adsorción de gases por sólidos.

La Gráfica 3 muestra la línea recta obtenida por medio de la ecuación de Freundlich para la adsorción de Hidrógeno sobre Wolframio a una temperatura de  $400^{\circ}\text{C}$ . (15,19)

GRAFICA 3 - REPRESENTACION GRAFICA SEGUN LA ISOTERMA DE FREUNDLICH DE LOS DATOS DE ADSORCION DEL HIDROGENO - SOBRE WOLFRAMIO A 400°C

Log Y (Y en g de H<sub>2</sub> adsorbidos/g. de W.)



Log P (P en mm Hg)

## ECUACION DE LANGMUIR.

Irving Langmuir en 1916<sup>(20)</sup> propuso un modelo sencillo para describir el fenómeno de adsorción, que en particular es muy útil para la quimisorción y que le condujo a establecer teóricamente y de forma muy elemental, una isoterma de adsorción que ha resultado ser de extraordinaria importancia.<sup>(18)</sup>

En dicho modelo, postula que los gases al ser adsorbidos por la superficie del sólido forman únicamente una capa de espesor monomolecular, además determinó que en el sistema de una superficie sólida y un gas, las moléculas de éste chocarán continuamente sobre la superficie y una fracción de ellas se adherirá; sin embargo, debido a su energía cinética rotacional y vibracional las moléculas más energéticas se desprenderán continuamente de la superficie. De esta forma, se establecerá un equilibrio: es decir, la velocidad con la cual las moléculas chocan con la superficie y permanecen en ella por una cantidad apreciable de tiempo, se equilibra exactamente con la velocidad con la que las moléculas se desprenden de la superficie.

Estos postulados se pueden expresar en forma matemática si designamos a  $\theta$  como la fracción de superficie total cubierta por las moléculas adsorbidas en cualquier instante,

lo cual implica que la fracción de superficie disponible para la adsorción sea  $(1 - \theta)$ ; por otra parte la velocidad de adsorción  $r_a$  será igual al número de colisiones de las moléculas del gas con la superficie por segundo, multiplicada por un factor  $F$  que representa la fracción de moléculas que chocan y que se adhieren. A una temperatura fija, el número de colisiones  $r_c$  será proporcional a la presión  $P$  del gas y la fracción  $F$  será constante; por lo tanto la velocidad de adsorción por unidad de superficie limpia o disponible será:

$$r_a = r_c F$$

lo cual es igual a  $kP$ , donde  $k$  es una constante que involucra a la fracción  $F$  y la proporcionalidad entre  $r_c$  y  $P$ .

Puesto que la adsorción se limita a capas monomoleculares y que solamente pueden adsorberse las moléculas que golpean sobre la superficie no cubierta, la velocidad de adsorción por unidad de superficie total será proporcional a  $(1 - \theta)$  y se puede representar como:

$$r_a = k P (1 - \theta)$$

Donde

$r_a$  Velocidad de adsorción

$P$  Presión del gas

$(1 - \theta)$  Fracción de superficie disponible

Por otro lado la velocidad de desorción será proporcional a la fracción  $\theta$  de superficie cubierta y está dada por la expresión:

$$r_d = k' \theta$$

Donde:

$r_d$  Velocidad de desorción

$k'$  Constante de proporcionalidad

$\theta$  Fracción de superficie cubierta

La relación de equilibrio entre la superficie cubierta y la presión del gas se obtiene igualando las relaciones reducidas para la velocidad de adsorción y la velocidad de desorción, esto es:

$$k P (1 - \theta) = k' \theta$$

rearrreglando para  $\theta$ , fracción de superficie cubierta tenemos:

$$kP - k P \theta = k' \theta$$

$$kP = k' \theta + k P \theta$$

$$kP = \theta (k' + kP)$$

$$\theta = \frac{kP}{k' + k P}$$

Definiendo:

$$b = k/k' \text{ y } k = b k'$$

y sustituyendo:

$$\theta = \frac{kP}{k' + b k' P}$$

$$\theta = \frac{kP}{k' (1 + b P)} \quad \text{multiplicando por } K$$

$$\theta = \frac{bP}{(1 + b P)}$$

$$K\theta = \frac{K b P}{1 + b P}$$

$$Y = K \cdot \theta = \frac{K b P}{1 + b P}$$

La cantidad de gas adsorbido por unidad de área o por unidad de masa de adsorbente "Y" es proporcional a la fracción de superficie cubierta, con lo que:

$$Y = \frac{K b P}{1 + b P}$$

Finalmente, definiendo  $a = Kb$  y sustituyéndola en la ecuación anterior llegamos a la ecuación de Langmuir:

$$Y = \frac{a P}{1 + b P}$$

Donde  $a$  y  $b$ , son constantes características del sistema en cuestión evaluándose a partir de datos experimentales y su valor depende también de la temperatura.

Los resultados experimentales se comparan mejor con los de la teoría de Langmuir si la ecuación se divide en ambos miembros por  $P$  y tomando los recíprocos, de la siguiente forma:

$$\frac{Y}{P} = \frac{a P}{(1+bP) P}$$

$$\frac{Y}{P} = \frac{a}{(1 + bP)}$$

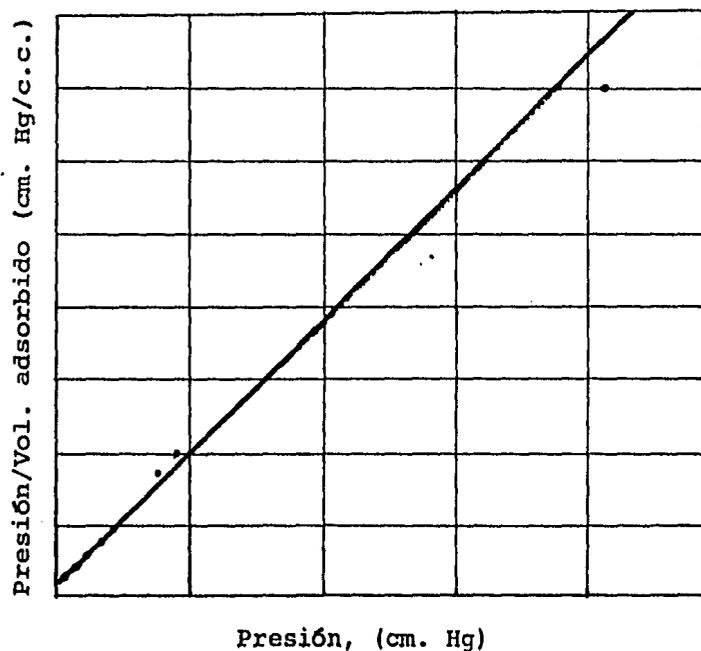
$$\frac{P}{Y} = \frac{1 + bP}{a}$$

$$\frac{P}{Y} = \frac{1}{a} + \frac{b}{a} P$$

Si los resultados experimentales están de acuerdo con la teoría de Langmuir, el trazo de  $\frac{P}{y}$  ante P genera una línea recta en donde la ordenada al origen se identifica con el valor  $1/a$  y la pendiente con la constante  $b/a$ .

La Gráfica 4 muestra la validez de la ecuación de Langmuir para la adsorción de Hidrógeno sobre cobre en polvo a 25°C. (18)

GRAFICA 4.- ADSORCION DE HIDROGENO SOBRE COBRE EN POLVO.



ECUACION DE B.E.T. (Generalización de la teoría de Langmuir a la adsorción de capas múltiples).

Se han desarrollado otras teorías para explicar de forma más completa el proceso que conduce a la formación de multicapas. La más importante es la que fue propuesta por S. Brunauer, P. H. Emmet y E. Teller, esta teoría lo mismo que la de Langmuir conduce a una expresión matemática de la isoterma que se conoce como ecuación de B.E.T. <sup>(21)</sup>

Con base en la ecuación de Langmuir y algunas expresiones simplificadas, es posible derivar la ecuación de la isoterma para la adsorción de multicapas. Las ecuaciones obtenidas, además de representar la forma general de las isotermas, proporcionan también valores razonables para el calor de adsorción promedio en la primera capa, y para el volumen de gas requerido para formar una capa de espesor molecular sobre el adsorbente.

Para llevar a cabo la derivación, representaremos el área superficial por  $s_0, s_1, s_2, \dots, s_i, \dots$  la cual está cubierta por  $0, 1, 2, \dots, i, \dots$  capas adsorbidas con espesor molecular.

Ya que en el equilibrio  $s_0$  es constante, la velocidad de condensación en la superficie disponible para la adsor

ción es igual a la velocidad de evaporación de la primera capa, con lo cual:

$$a_1 P s_0 = b_1 s_1 e^{-E_1/RT} \text{-----} (1)$$

Donde:

- P      Presión
- $E_1$     Calor de adsorción de la primera capa
- $a_1$     Constante
- $b_1$     Constante

Esta ecuación (1) representa en esencia la ecuación de Langmuir para la adsorción de una capa de espesor molecular e involucra la suposición de que  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $E_1$ , son independientes del número de moles adsorbidos presentes en la primera capa.

En el equilibrio  $s_1$  debe permanecer constante también pero puede variar conforme a:

- ~ La condensación en la superficie.
- ~ La evaporación de la primera capa.
- ~ La condensación sobre la primera capa.
- ~ La evaporación de la segunda capa.

Con ésto se obtiene que:

$$a_2 P s_1 + b_1 s_1 e^{-E_1/RT} = b_2 S_2 e^{-E_2/RT} + a_1 P s_0 \text{----} (2)$$

en la que las constantes  $a_2, b_2, E_2$ , presentan la misma definición que  $a_1, b_1, E_1$ . De la ecuación (1) y (2) obtenemos:

$$a_2 P S_1 = b_2 S_2 e^{-E_2/RT} \text{ ----- (3)}$$

La ecuación (3) indica que la velocidad de condensación en la parte superior de la primera capa, es igual a la velocidad de evaporación de la segunda capa y en forma general, utilizando el mismo argumento para la segunda, y capas sucesivas, tenemos:

$$\begin{aligned}
 a_3 P S_2 &= b_3 S_3 e^{-E_3/RT} \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 a_i P S_{i-1} &= b_i S_i e^{-E_i/RT} \text{ ----- (4)}
 \end{aligned}$$

Por otro lado, el área superficial total está dada por:

$$A = \sum_{i=0}^{\infty} S_i \text{ ----- (5)}$$

y el volumen total adsorbido es igual a:

$$V = V_0 \sum_{i=0}^{\infty} i S_i \text{ ----- (6)}$$

$V_0$  Volumen de gas adsorbido en un centímetro cuadrado de superficie adsorbente.

Quando la superficie disponible esta cubierta con una capa completa de espesor molecular de gas adsorbido, se infiere que:

$$\frac{V}{AV_0} = \frac{V}{V_m} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} iS_i}{\sum_{i=1}^{\infty} S_i} \quad \text{----- (7)}$$

Donde

$V_m$  es el volumen de gas adsorbido cuando la superficie disponible del adsorbente está cubierta por una capa completa de espesor molecular.

La suma expresada en la ecuación (7) puede resolverse al hacer las siguientes consideraciones:

$$E_2 = E_3 = \dots = E_i = E_L \quad \text{----- (8)}$$

siendo  $E_L$  el calor de licuefacción, además:

$$\frac{b_2}{a_2} = \frac{b_3}{a_3} = \dots = \frac{b_i}{a_i} = g \quad \text{----- (9)}$$

Donde  $g$  es una constante.

De lo contrario se puede decir que las propiedades de evaporación y de condensación de las moléculas de la segunda capa y demás capas superiores adsorbidas, son las mismas que las del estado líquido.

Expresando  $s_1, s_2, \dots, s_i$  en términos de  $s_0$  se tiene:

$$s_1 = y s_0 \text{ Donde } y = (a_1/b_1) p e^{E_1/RT} \text{ ----- (10)}$$

$$s_2 = x s_1 \text{ Donde } x = (P/g) e^{E_L/RT} \text{ ----- (11)}$$

$$s_3 = x s_2 = x^2 s_1 \text{ ----- (12)}$$

$$s_i = x s_{i-1} = x^{i-1} s_1 = y x^{i-1} s_0 = C x^i s_0 \text{ -- (13)}$$

$$\text{Donde } C = y/x = [a_1 g/b_1] e^{E_1 - E_L/RT} \text{ ----- (14)}$$

Sustituyendo en la ecuación (7) tenemos:

$$\frac{V}{V_m} = \frac{C s_0 \sum_{i=1}^{\infty} i x^i}{s_0 (1 + C \sum_{i=1}^{\infty} x^i)} \text{ ----- (15)}$$

La suma del denominador de la ecuación (15) es una progresión geométrica infinita que se puede expresar como:

$$\sum_{i=1}^{\infty} x^i = \frac{x}{1-x} \text{ ----- (16)}$$

Por otra parte, en la suma del numerador podemos notar que:

$$\sum_{i=1}^{\infty} i x^i = x \frac{d}{dx} \sum_{i=1}^{\infty} x^i = \frac{x}{(1-x)^2} \text{ ---- (17)}$$

Sustituyendo (16) y (17) en (15) llegamos a:

$$\frac{V}{V_m} = \frac{Cx}{(1-x)(1-x+Cx)} \quad \text{-----} \quad (18)$$

Si se supone que el fenómeno de adsorción se efectúa sobre una superficie totalmente cubierta, cuando se llega a la presión  $P_o$  de saturación, se habrá adsorbido sobre la superficie un número infinito de capas de espesor molecular, basándose en la ecuación (4) cuando  $P = P_o$  entonces  $i = \infty$ , por lo tanto:

$$a P_o S_{\infty} = b S_{\infty}^{-1} e^{-E/RT}$$

Que puede expresarse como:

$$(a/b) P_o e^{+E/RT} = \frac{S_{\infty}-1}{S_{\infty}} \cong 1$$

Pero prácticamente la relación  $\frac{S_{\infty}-1}{S_{\infty}} \cong 1$  y además la ecuación (9) se sabe que  $g = b/a$ , con lo cual:

$$\frac{P_o}{g} e^{+E_L/RT} = 1 \quad \text{-----} \quad (19)$$

utilizando la ecuación (11) y dividiendo miembro a miembro está entre la ecuación (19) y se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{P}{P_o} = x \quad \text{-----} \quad (20)$$

$$\text{Si } P \longrightarrow P_0 \quad x \longrightarrow 1$$

Sustituyendo (20) en (18) se obtiene la ecuación de la isoterma

$$V = \frac{V_m C P}{(P_0 - P) [1 + (C-1) (P/P_0)]} \text{----- (21)}$$

Las siguientes consideraciones muestran que la ecuación (21) es en verdad una isoterma en forma de "S", la constante C tendrá un valor muy grande comparado con la unidad lo cual implica que la isoterma presente dos regiones, la región de baja presión en la cual el trazo será cóncavo hacia el eje de las presiones ( eje x) y cuando  $P \ll P_0$  la ecuación se reduce a:

$$V = \left( \frac{V_m C}{P_0} P \right) / \left( 1 + \frac{C}{P_0} P \right) \text{----- (22)}$$

que presenta una forma especial de la ecuación Langmuir.

En consecuencia, para altas presiones cuando P tiene al valor de  $P_0$ , V crece y la curva se hace convexa al eje x.

Para fines prácticos la ecuación (22) se puede escribir de la siguiente manera:

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C - 1}{V_m C} \frac{P}{P_0}$$

dicha ecuación se conoce como ecuación de B.E.T. para la adsorción de multicapas, en donde se puede observar que al trazar  $P/V (P_0 - P)$  ante  $P/P_0$ , dará una línea recta - con una ordenada en el origen igual a  $1/VmC$  y una pendiente igual a  $(C-1)/VmC$ . Con estos datos se pueden calcular los valores de  $Vm$ , volumen de gas requerido para formar una capa de espesor molecular y  $C$ , que es aproximadamente igual a:

$$e^{E_1 - E_L/RT}$$
 que es función de la temperatura y del sistema gas-sólido en cuestión.

Resulta también muy significativo que dicha línea recta puede extrapolarse con seguridad hasta  $P/P_0 = 0$ .<sup>(16)</sup>

## III. PARTE EXPERIMENTAL.

Como ya se mencionó antes se debe tener un método específico en la elaboración de carbón activado de acuerdo con la materia prima a utilizar, por lo tanto se deben considerar todas las variables que intervienen en su elaboración, tales como:

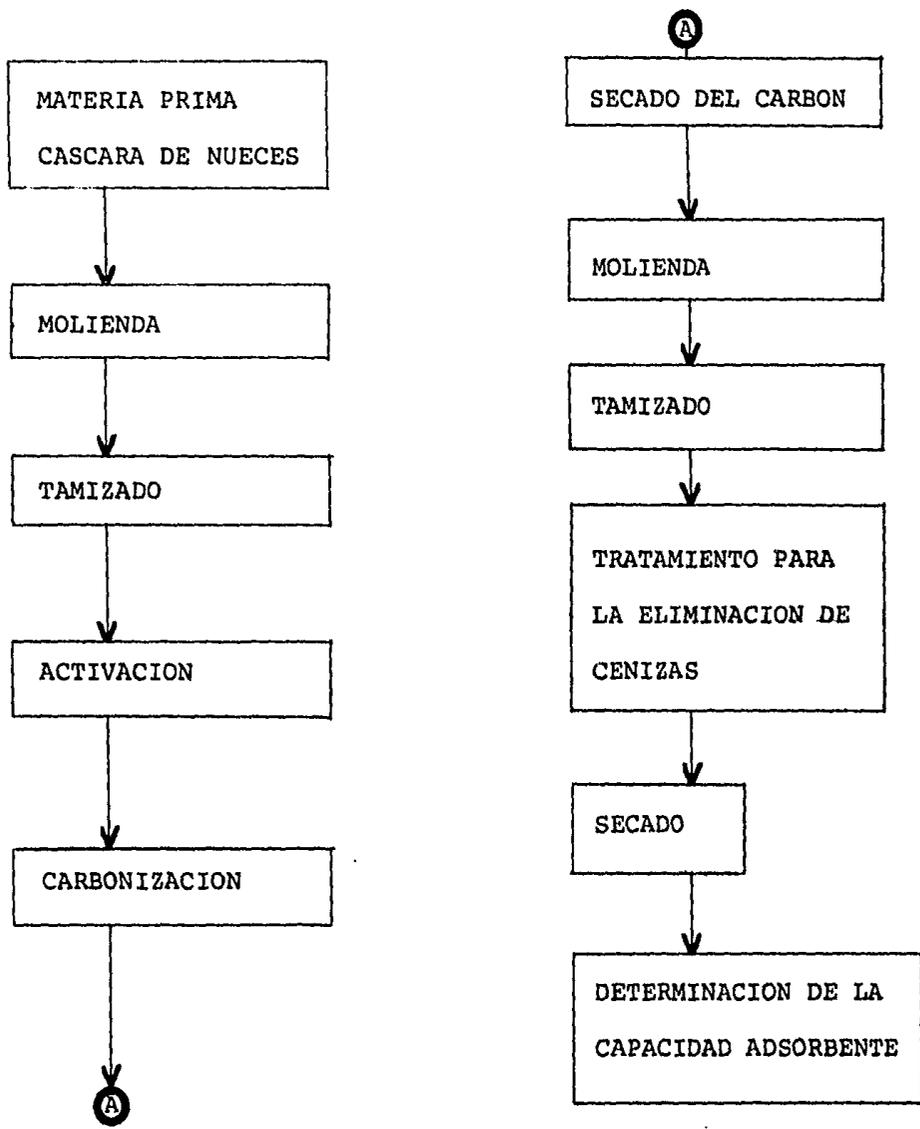
- Tamaño de partícula a carbonizar.
- Sustancias activantes.
- Tiempo de contacto Materia Prima-Activante.
- Tiempo de carbonización.
- Temperatura de carbonización.
- Tipo de carbón activado seleccionado (polvo o granular).
- Tiempo de secado.

entre otras.

Como se puede observar, para definir el método se requiere determinar cada una de las variables, en este caso, para facilitar el obtener las condiciones óptimas y de acuerdo a otros trabajos realizados en la obtención de carbón activado, se procederá a fijar algunas variables, las que serán: (1,9,13,22)

- Temperatura de carbonización.  
700°C.
- Tiempo de contacto Materia Prima-Activante.  
3 hrs. Baño de vapor a 90°C.
- Tipo de carbón activado seleccionado; Polvo.  
Tomando la parte que pasa malla # 200.
- Tiempo de secado.  
4 hrs. a una temperatura de 110 - 135°C.  
Quedando por determinar las variables:
- Tamaño de partícula a carbonizar.
- Sustancia activante.
- Tiempo de carbonización.
- Tratamiento para eliminar cenizas.

DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA ELABORACION DE CARBON ACTIVADO  
A PARTIR DE LA CASCARA DE NUECES.



## PROCEDIMIENTO.

### FRAGMENTACION Y TAMIZADO.

Las materias primas utilizadas en esta parte experimental son la cáscara de coco, (parte dura leñosa) la cual se deja secar a temperatura ambiente para su posterior manejo y de otras nueces tales como piñón, nuez de castilla y -- nuez cáscara de papel.

Una vez seca, la cáscara de la nuez es fragmentada manualmente, haciéndose pasar por una serie de tamices (malla #4, malla #6 y malla #8). Esto se hace para tener uniformidad en el tamaño de partícula a carbonizar, en este trabajo se utilizaron las partes retenidas en los tamices de malla #6 y malla #8.

### ACTIVACION.

Una vez definidas las partes a utilizar de acuerdo al tamaño de partícula se efectúa la activación de la materia prima, para lo cual se utilizó:

- $H_3 PO_4$  Diluido 1: 1
- $ZnCl_2$  (23)

ACTIVACION CON  $H_3PO_4$ .

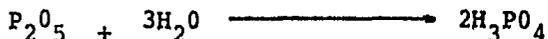
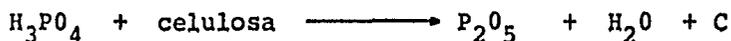
Pesar 10 g. de materia prima ya tamizada y mezclar con 10 ml. de  $H_3PO_4$  diluido, calentando en baño de vapor por un tiempo de 3 hrs. agitando periódicamente.

Reacciones Químicas en el proceso de activación con  $H_3PO_4$  (24)

El ácido fosfórico ataca a la celulosa produciendo  $P_2O_5$ ,  $H_2O$  y carbón activado. Este carbón es utilizado para decolorar en fase líquida.

Actualmente en la industria para la fabricación de carbón activado no se recupera el  $P_2O_5$  siendo ésta una pérdida económica cuantiosa.

El  $P_2O_5$  se puede recuperar para posteriormente tratarlo con agua y volver a obtener el ácido fosfórico, las reacciones que indican el proceso de activación y el de regeneración del ácido fosfórico son las siguientes:



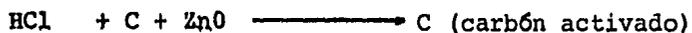
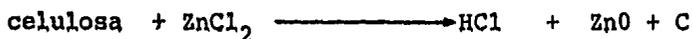
...

ACTIVACION CON  $ZnCl_2$ .

Para este caso se necesitan 10 g de materia prima a los que se adicionan 6.5 g de  $ZnCl_2$  y 10 ml. de agua, esta mezcla se lleva a calentamiento en baño de vapor por -- tiempo de 3 hrs. agitando periódicamente a una temperatura de  $90^{\circ}C$ .

Reacciones químicas en el proceso de activación con  $ZnCl_2$ . (24)

La activación con  $ZnCl_2$  presenta un fuerte efecto deshidratante y hace que en el calentamiento se verifique una carbonización completa de las sustancias orgánicas, en la reacción se forma óxido de zinc que se introduce a la red molecular del carbón al llegar a su punto de fusión, - por tanto la reacción que explica el proceso es la siguiente:



## CARBONIZACION.

Para efectuar la carbonización se utiliza un horno tipo tubo LINDERBERGH, que se calibra con la ayuda de un pirómetro para tener una temperatura de aproximadamente 700°C que corresponde a 550 grados del SET-POINT de la escala del horno.

El horno se complementa con unos recipientes especiales denominados navecillas, de material cerámico, éstos se llenan con la materia prima ya activada y se hacen pasar por el tubo del horno con el fin de carbonizar.

## TIEMPO DE CARBONIZACION.

Las carbonizaciones se realizaron utilizando diversos tiempos dentro del intervalo de 2-11 min., con el fin de determinar el tiempo óptimo de carbonización.

## LAVADO.

Concluida la carbonización la navecilla y su contenido, son colectados en un recipiente con agua destilada.

El carbón obtenido en forma de grano es lavado con el propósito de eliminar la mayor cantidad de cenizas posibles.

#### MOLIENDA Y TAMIZADO.

El carbón activado obtenido se somete a un secado a una temperatura de 130°C por un tiempo de 20 min.

El carbón se muele manualmente y se tamiza, colectando en este caso la parte que pasó por malla # 200 que representa un tamaño de partícula aproximadamente de .074 mm ó 74 micrones.

#### ELIMINACION DE CENIZAS.

De la cantidad de carbón obtenido que pasó por malla # 200, se divide en dos porciones con el fin de someterlas a diferentes tratamientos para la eliminación de cenizas.

##### a) Eliminación de cenizas con HCl 10%.

A cierta cantidad de carbón se le adicionan 20 ml de HCl 10%, la mezcla se calienta durante 20 min. en baño - de vapor al término de este tiempo y por decantación se elimina el líquido, después se lava el carbón con agua destilada hasta obtener un pH de 7.

b) eliminación de cenizas lavando con agua destilada.

La otra porción de carbón es lavada con agua destilada hasta obtener un pH neutro.

SECADO.

El secado se efectúa en una estufa eléctrica a una temperatura de 110 - 135°C, asegurando que después de este tiempo el carbón no tenga contacto con el medio ambiente.

ADSORCION DEL COLORANTE EN SOLUCION.

Con el fin de determinar la capacidad de adsorción del carbón activado, se utilizó como adsorbato el azul de metileno que es un colorante catiónico (básico). Este colorante cuando se ioniza en solución acuosa lleva una carga positiva. Por lo tanto, cualquier interacción con grupos ácidos negativos, es atractiva y la cantidad de colorante -

adsorbida en la primera monocapa, puede considerarse, en ausencia de otros factores, como la medida de la superficie total físicamente accesible o de la superficie limitada por el tamaño de poro solamente. <sup>(13)</sup>

#### CUANTIFICACION DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE.

Para determinar la capacidad adsorbente se utiliza una solución de azul de metileno, la que es decolorada al contacto con el carbón activado con ciertas condiciones de temperatura.

La preparación de la solución de azul de metileno se efectúa de la siguiente manera:

Se pesan 0.6 g de azul de metileno, los que se depositan en un matraz aforado de 1000 ml., el cual contiene un volumen de 50 ml. de ácido acético glacial agitando para disolver el azul de metileno, finalmente se afora con agua destilada obteniéndose con esto una solución de azul de metileno con una concentración de  $6 \times 10^{-4}$  g/ml.

## PREPARACION DE LA CURVA DE CALIBRACION.

La finalidad de esta curva de calibración, es de obtener una ecuación para calcular la concentración remanente de una solución de azul de metileno que ha sido decolorada por el carbón activado, dicha curva se obtiene de la siguiente manera:

De la solución de azul de metileno de concentración  $6 \times 10^{-4}$  se toma una alícuota de 1 ml en un matraz aforado de 100 ml aforando con agua destilada, obteniendo así una solución de azul de metileno con una concentración de  $6 \times 10^{-6}$  g/ml, de esta solución se toman volúmenes 1,2,3, 10 ml llevando cada uno de estos volúmenes a un matraz aforado de 10 ml completando el aforo con agua destilada, de esto se obtienen 10 soluciones de diferente concentración y cuya absorbencia se mide en un espectrofotómetro. (Se usó un espectrofotómetro Perkin-Elmer 202 UV/VIS).

Con los datos obtenidos de absorbencia y concentración en un sistema de coordenadas cartesianas se trazan los valores de la absorbencia en el eje " X " ante la concentración en el eje " Y ", y haciendo un ajuste por el método -

de los mínimos cuadrados obtenemos:

- Coeficiente de correlación.
- Pendiente.
- Ordenada al origen.

de tal manera que nuestra ecuación para determinar la concentración remanente, se formula de la siguiente manera:

$$C_f = [(Pendiente \times absorbencia) + (ordenada \text{ al origen})] \times 10^{-6}$$

.... (1)

#### PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE.

0.2 g de carbón activado en un matraz erlenmeyer - se ponen en contacto con un volumen ( $V_0$ ) de la solución de azul de metileno preparada de concentración  $6 \times 10^{-4}$  g/ml. - llevándose a calentamiento en una parrilla eléctrica a ebullición, manteniendo ésta por un tiempo de 15 min. y con agitación turbulenta por medio de un agitador magnético integrado a la parrilla, pasado este tiempo se filtra la solución tomando del filtrado una alícuota del ml. la que se afora a un volumen de 100 ml. en un matraz aforado con agua destilada;

con esto se efectúan 100 diluciones. Se determina la absor**u**bencia de la solución así obtenida en un espectrofotómetro y con la ecuación (1) se determina la concentración final de la solución, finalmente utilizando la ecuación (2) se calcula la capacidad adsorbente del carbón activado.

$$C_{ad} = \frac{V_0 [ C_i - D [(pendiente \times A) - (ordenada \text{ al origen})] \times 10^{-6} ]}{P}$$

... (2)

Donde:

$C_{ad}$  Cantidad de mg. de A. de M. ads/g. de C.A.

$V_0$  Vol. de la sol. de A. de M. en contacto con el carbón activado, sometido a decoloración.

$C_i$  Concentración inicial de la sol. de A.M.

D Número de diluciones.

P Peso del carbón activado sometido a prueba.

A Absorbencia.

## EJEMPLO.

El procedimiento para la determinación de la capacidad adsorbente se puede ejemplificar con datos obtenidos experimentalmente, de la siguiente manera:

Preparación de la curva de calibración, la tabla V muestra cada una de las 10 soluciones con sus respectivas adsorbencias y concentraciones.

TABLA V.

DATOS PARA DETERMINAR LA CURVA DE  
CALIBRACION

MATRAZ No.	CONCENTRACION $\times 10^{-6}$ g/ml.	ABSORBENCIA
1	0.6	0.1275
2	1.2	0.2337
3	1.8	0.3542
4	2.4	0.5155
5	3.0	0.6099
6	3.6	0.7177
7	4.2	0.8437
8	4.8	0.9546
9	5.4	1.0727
10	6.0	1.1907

En un sistema de coordenadas cartesianas se trazan los valores de ABSORBENCIA ante CONCENTRACION como se muestra en la Gráfica No. 5 y ajustando los datos por el método de los mínimos cuadrados se obtiene:

Ordenada al origen.	$-1.7644 \times 10^{-8}$
Coeficiente de	
Correlación.	0.99986
Pendiente.	$5.0385 \times 10^{-6}$

Con estos datos se establece la ecuación para -- calcular la concentración remanente de la solución de azul de metileno que ha sido decolorada por un carbón activado.

$$C_f = ( 5.0385 A - 0.017644 ) \times 10^{-6} \dots (1')$$

Una vez realizada la prueba de azul de metileno a un carbón activado se obtiene el dato de;

Absorbencia	0.0118
-------------	--------

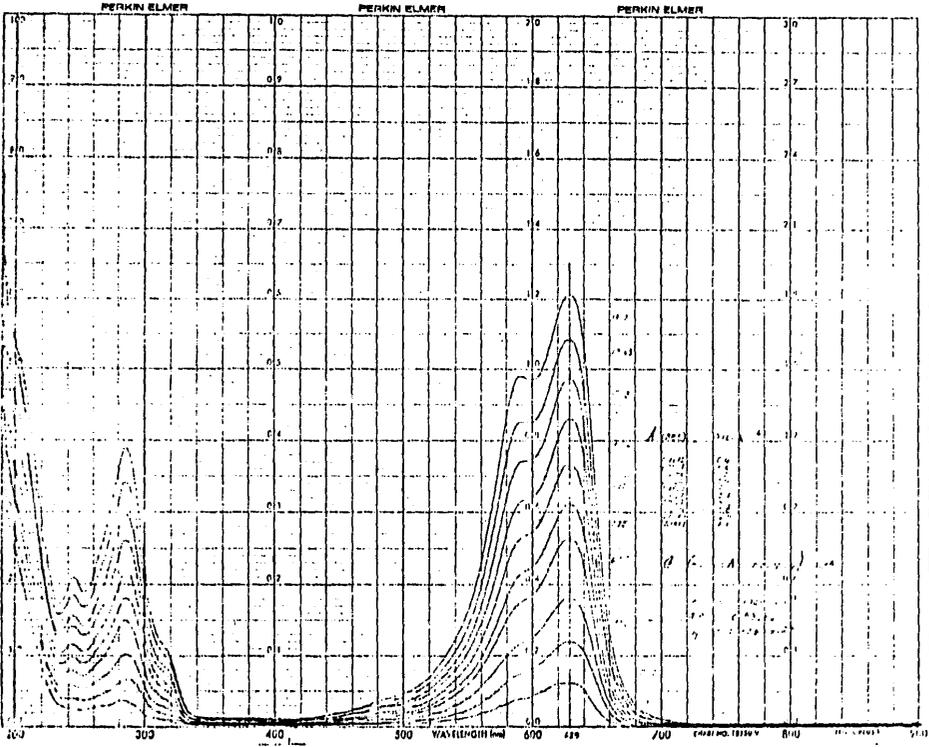
Sustituyendo este dato en la ecuación (1') se -- calcula la concentración final de la solución de azul de metileno cuyo valor es:

$$C_f = 4.1835 \times 10^{-8}$$

Utilizando la ecuación (2) se obtiene entonces - la cantidad de miligramos adsorbidos de azul de metileno - por gramo de carbón activado o sea la capacidad adsorbente del carbón.

$$C_{ad} = \frac{100 (6 \times 10^{-4} - 100) (4.1835 \times 10^{-8})}{0.2}$$

$$C_{ad} = 297.91 \text{ mg de A.M. ads. / g de C.A.}$$

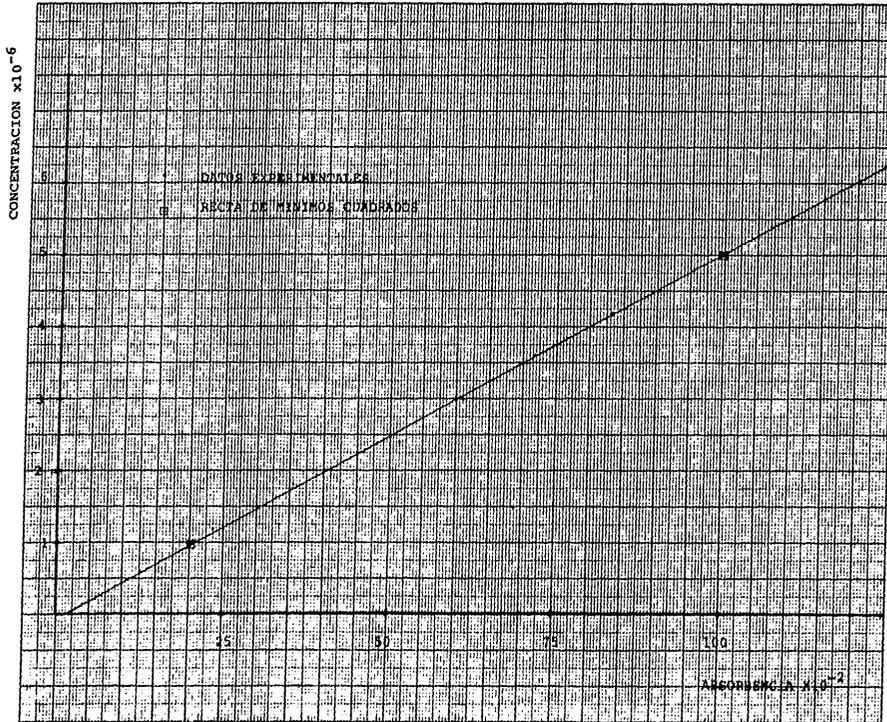


**PERKIN ELMER**

INSTRUMENT NO.   
 SAMPLE:   
 CONCENTRATION   
 PATHLENGTH IN CM   
 SCHEMATIC   
 ANALYSIS   
 COMMENTS   
 DATE

TOLUENE #11  
 FIG 112

GRAFICA 5.- CUERVA DE CALIBRACION.



PERKIN ELMER

PERKIN ELMER

PERKIN ELMER

PERKIN ELMER



SPECTRUM NO. 210

SAMPLE: 2101

CONCENTRATION: 1.0

PATHLENGTH (CM): 1.0

CELL TYPE: 1.0

ACFT: 200

REFERENCE: 1.0

REMARKS: 2101 210

DATE: 10/1/73

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION.

Siguiendo el procedimiento, para la elaboración de carbón activado, descrito en la parte experimental, se efectuaron las siguientes pruebas (variando, tiempo de -- carbonización, tamaño de partícula y sustancia activante):

1. Activación con  $ZnCl_2$ .

Tamaño de partícula: retenido en malla #6.

2. Activación con  $ZnCl_2$ .

Tamaño de partícula: retenido en malla #8.

3. Activación con  $H_3PO_4$ .

Tamaño de partícula: retenido en malla #6.

4. Activación con  $H_3PO_4$ .

Tamaño de partícula: retenido en malla #8.

Los mejores resultados obtenidos en las pruebas anteriores se indican a continuación:

## EXPERIMENTO No. 1

ACTIVANTE:  $ZnCl_2$ ; R M #6.

TIEMPO DE CARBONIZACION. (min.)	TRATAMIENTO PARA ELIMINAR CENIZAS.	CAPACIDAD ADSORBENTE. mg. AZUL DE METILE NO ADSORBIDOS. <hr/> g. CARBON ACTIVADO.
3	HCL 10%	126.33
5	HCL 10%	114.75

## EXPERIMENTO No. 2

ACTIVANTE:  $H_3PO_4$ ; R M #8.

TIEMPO DE CARBONIZACION. (min.)	TRATAMIENTO PARA ELIMINAR CENIZAS.	CAPACIDAD ADSORBENTE mg. AZUL DE METILENO ADSORBIDOS.
		g. CARBON ACTIVADO.

5	HCl 10%	121.144
---	---------	---------

## EXPERIMENTO No. 3

ACTIVANTE:  $ZnCl_2$ ; R M #8.

5	HCl 10%	157.32
5	$H_2O$	130.86
7	HCl 10%	168.25
9	HCl 10%	164.34
11	HCl 10%	139.55
11	$H_2O$	122.45

## EXPERIMENTO No. 4

ACTIVANTE:  $H_3PO_4$ ; R M #8.

5	HCl 10%	216.41
5	$H_2O$	220.06
7	HCl 10%	219.10
7	$H_2O$	217.09
9	HCl 10%	218.08
9	$H_2O$	212.30

TIEMPO DE CARBONIZACION. (min.)	TRATAMIENTO PARA ELIMINAR CENIZAS.	CAPACIDAD ADSORBENTE mg. AZUL DE METILENO ADSORBIDOS.
		g. CARBON ACTIVADO.

11	HCl 10%	221.22
11	H <sub>2</sub> O	217.42

## EXPERIMENTO No. 5

ACTIVANTE: ZnCl<sub>2</sub>; R M #6.

6	H <sub>2</sub> O	121.41
---	------------------	--------

## EXPERIMENTO No. 6

ACTIVANTE: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; R M #6

2	HCl 10%	120.95
4	HCl 10%	256.80
4	H <sub>2</sub> O	258.01
6	HCl 10%	227.34
6	H <sub>2</sub> O	228.36

## EXPERIMENTO No. 7

ACTIVANTE: ZnCl<sub>2</sub>; R M #6

3	HCl 10%	205.44
3	H <sub>2</sub> O	202.88
4	HCl 10%	213.14
4	H <sub>2</sub> O	208.91
5	HCl 10%	214.19
5	H <sub>2</sub> O	212.83

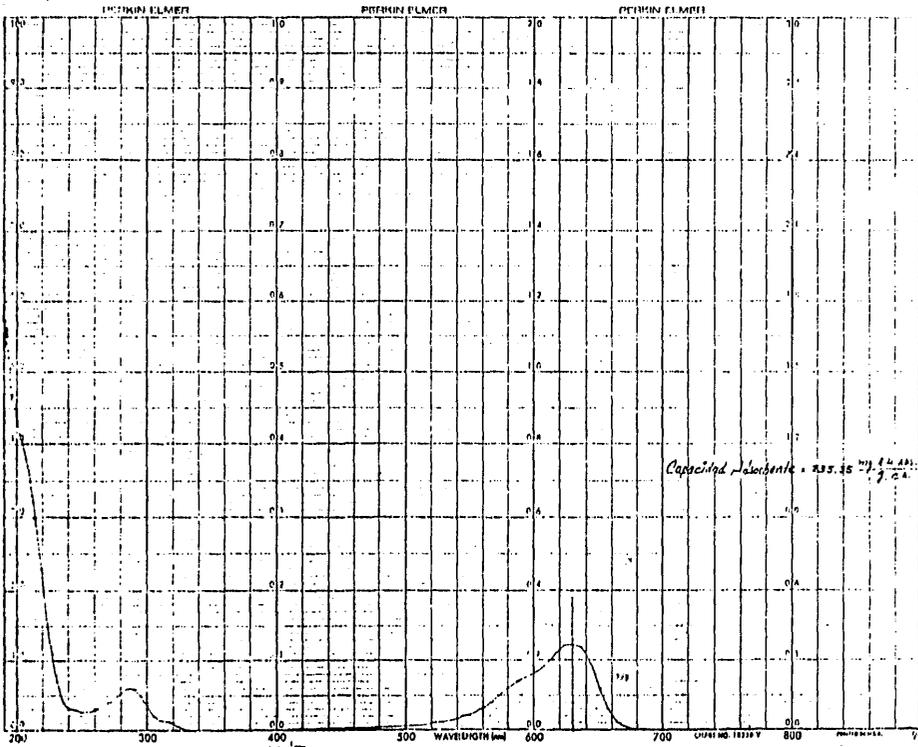
## EXPERIMENTO No. 8

TIEMPO DE CARBONIZACION, (min.)	TRATAMIENTO PARA ELIMINAR CENIZAS.	CAPACIDAD ADSORBENTE mg. AZUL DE METILENO ADSORBIDOS.
g. CARBON ACTIVADO.		
ACTIVANTE: $H_3PO_4$ ; R M # 6		
3	HCl 10%	209.68
3	$H_2O$	204.94
4	HCl 10%	203.90
4	$H_2O$	198.57
6	HCl 10%	204.64
6	$H_2O$	200.79
Carbón Merck	---	235.35

## EXPERIMENTO No. 9

ACTIVANTE:  $ZnCl_2$ ; R M # 8.

2	HCl 10%	209.15
2	$H_2O$	207.76
4	HCl 10%	225.76
4	$H_2O$	223.16
6	HCl 10%	222.57
6	$H_2O$	145.12
8	HCl 10%	255.33
8	$H_2O$	226.63



PERKIN ELMER

SERIAL NO. 10000  
 MODEL NO. 521  
 INSTRUMENT TYPE  
 DATE 2/20/55

## EXPERIMENTO No. 10

TIEMPO DE CARBONIZACION. (min.)	TRATAMIENTO PARA ELIMINAR CENIZAS.	CAPACIDAD ADSORBENTE mg. AZUL DE METILENO ADSORBIDOS. <u>g. CARBON ACTIVADO.</u>
---------------------------------	------------------------------------	---

ACTIVANTE:  $H_3PO_4$ ; R M # 8.

2	HCl 10%	216.00
2	$H_2O$	228.52
4	HCl 10%	288.57
4	$H_2O$	287.99
6	HCl 10%	294.54
6	$H_2O$	288.79
8	HCl 10%	297.91
8	$H_2O$	293.94

## EXPERIMENTO No. 11

ACTIVANTE:  $ZnCl_2$ ; R M # 8

3	HCl 10%	202.79
3	$H_2O$	205.99
6	HCl 10%	246.67
6	$H_2O$	212.37
9	HCl 10%	206.58
9	$H_2O$	203.85
12	HCl 10%	201.16
12	$H_2O$	182.65

## EXPERIMENTO No. 12

TIEMPO DE CARBONIZACION. (min.)	TRATAMIENTO PARA ELIMINAR CENIZAS.	CAPACIDAD ADSORBENTE mg. AZUL DE METILENO ADSORBIDOS.
		<u>g. CARBON ACTIVADO.</u>

ACTIVANTE:  $H_3PO_4$ ; R M # 8.

3	HCl 10%	221.44
3	H <sub>2</sub> O	223.39
6	HCl 10%	258.82
6	H <sub>2</sub> O	254.81
9	HCl 10%	252.81
9	H <sub>2</sub> O	253.81
12	HCl 10%	260.82
12	H <sub>2</sub> O	255.41

De los resultados descritos anteriormente, se observa que el tratamiento con solución de ácido clorhídrico al 10% para la eliminación de cenizas, mejora notablemente la capacidad adsorbente del carbón en relación al tratamiento con agua destilada utilizado para el mismo fin.

También se puede observar que en el experimento No. 10 se obtienen los mejores resultados, con un valor máximo para la capacidad adsorbente del 297.91 mg. de A. de M. adsorbidos por gramo de carbón activado, este resultado está muy por arriba del obtenido para el carbón activado comer-

cial MERCK, cuya capacidad adsorbente determinada es de 235.35 mg. de A. de M. adsorbido por gramo de carbón activado.

NOTA: Para determinar la capacidad adsorbente del carbón comercial, el único tratamiento aplicado fue el proceso de secado de tres horas a una temperatura de 110-135°C.

Tomando como base los mejores valores en cuanto a la capacidad adsorbente (experimento No. 10) de cada una de las muestras, se define un procedimiento con las condiciones óptimas para la elaboración de carbón activado. Este procedimiento se resume a continuación:

CONDICIONES OPTIMAS PARA LA ELABORACION DE CARBON ACTIVADO  
A PARTIR DE LA CASCARA DE COCO.

Tamaño de partícula:	Retenido en malla # 8
Substancia activante:	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> diluido 1:1
Tiempo de contacto (materia prima activante):	3 hrs. a una temperatura de 90°C en baño de vapor.
Tiempo de carbonización:	De 6 a 8 min.
Temperatura de carbonización:	700°C (550 del set-point- de la escala del horno).
Tratamiento para eliminar cenizas:	Solución de HCl al 10%, calentando 15 min. en baño de vapor a una temperatura de 90°C.
Tiempo de secado:	3 hrs.
Temperatura de secado:	De 119-143°C
Tipo de carbón seleccionado:	Polvo, tomando la parte que pasa por malla # 200.

Con base en las condiciones precitadas se elaboró carbón activado a partir de la cáscara de las siguientes nueces;

- Nuez cáscara de papel
- Nuez de castilla
- Piñón.

El tiempo de carbonización para este tipo de materia prima fue de 6 min.

Obtenido el carbón activado se procedió a determinar la capacidad adsorbente de cada uno de ellos, la cual se indica a continuación.

MATERIA PRIMA.	CAPACIDAD ADSORBENTE.
Nuez cáscara de papel.	219.07
Nuez de castilla.	215.63
Piñón.	141.62

NOTA: Utilizando agua para la eliminación de cenizas.

Nuez cáscara de papel.	217.78
Nuez de castilla.	215.48
Piñón.	167.15

NOTA: Utilizando ácido clorhídrico al 10% para eliminar cenizas.

## DETERMINACION DEL AREA ESPECIFICA.

Tomando en consideración los datos reportados de (25) capacidad adsorbente y área específica en la literatura, - , se estimó el área específica para los carbones activados obtenidos a partir de la cáscara de nueces en la siguiente forma.

## DATOS REPORTADOS:

CAPACIDAD ADSORBENTE	AREA ESPECIFICA
<u>mg. de A. de M. Adsorbido</u> g. de Carbón Act.	m <sup>2</sup> /g.
137	547
146	616
178	853

1. Ajuste de los datos reportados de capacidad adsorbente por el método de Mínimos Cuadrados. (Graf. No. 6).
2. Ecuación de la recta:  

$$\text{Area Especifica} = 7.44831 \text{ (C.A.)} - 472.557$$
3. Sustitución en la ecuación de los datos de Capacidad Adsorbente (C.A.), correspondiente a los carbones activados a partir de la cáscara de nueces, con los cuales se obtiene el área específica, estos datos se indican en la Tabla VI.

GRAFICA 6.- DETERMINACION DEL AREA ESPECIFICA .

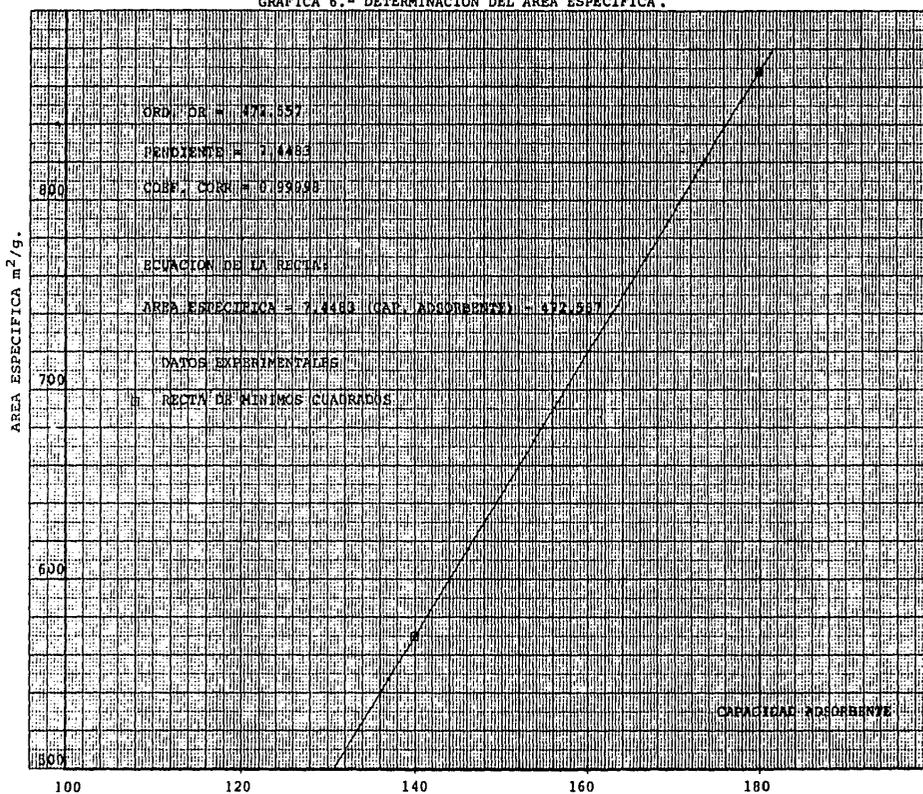


TABLA VI.

DATOS DE CAPACIDAD ADSORBENTE Y AREAS ESPECIFICAS  
PARA LAS DIFERENTES MUESTRAS DE CARBON ACTIVADO.

CARBON ACTIVADO OBTENIDO DE:	CAPACIDAD ADSORBENTE.	AREA ESPECIFICA.
	<u>mg. de A. de M.</u> g. Carbón Act.	<u>m<sup>2</sup></u> g
	297.91	1746.37
Coco	294.91	1724.02
	288.79	1678.44
Nuez cáscara de papel	217.78	1149.54
Nuez de Castilla	215.48	1132.40
Piñón	167.15	772.43

## V. CONCLUSIONES.

Comúnmente, las cáscaras de las nueces se desechan. En algunos casos se utilizan en zonas fangosas con el fin de reafirmar la estructura del suelo y en otras como combustible principalmente.

En busca de una mejor utilidad para estos materiales, se realizó el presente trabajo, encontrando que - una vez procesado, se obtiene un carbón activado con buenas características de adsorción, aunándose esta propiedad a las numerosas utilidades que presentan las nueces en forma integral. (TABLA I).

Para efectuar la activación se utilizó cloruro de zinc y ácido fosfórico, obteniendo en condiciones similares mejores resultados con este último, esto presenta una ventaja, ya que el ácido fosfórico es producido en nuestro país y puede obtenerse fácilmente.

Por otro lado, el tamaño de partícula es otro - factor determinante en la característica de adsorción del carbón obtenido, pudiéndose constatar que dicha característica mejora cuando es utilizado en tamaño de partícula rete-

nido en malla No. 8 que cuando se utiliza la partícula retenida en malla No. 6.

Durante los diferentes experimentos realizados se determinó que el rendimiento promedio obtenido fue del 33% con lo cual, en base a una tonelada de cáscara de coco, se pueden obtener a grosso modo, 0.33 toneladas de carbón activado o sea 330 kg. del mismo.

Cabe señalar además, que el carbón obtenido puede ser considerado, por su característica de adsorción, dentro de los mejores existentes en el mercado, ya que presenta un área específica que fluctúa entre los 780 y 1750 m<sup>2</sup>/ g., cuyos valores corresponden al carbón obtenido a partir de la cáscara de piñón y de coco respectivamente. (TABLA VII). - Además dicho carbón puede ser utilizado en un gran número de industrias entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- 1) Ingenios azucareros
- 2) Adsorción de gases
- 3) Industria vitivinícola y licorera
- 4) Industria farmacéutica
- 5) Tratamiento y potabilización de agua

TABLA VII

AREA ESPECIFICA DE ALGUNOS CARBONES  
COMERCIALES.

NOMBRE COMERCIAL.	AREA ESPECIFICA . (m <sup>2</sup> /g)
COCHRANEX FCB	800 - 1100
PITTSBURGH PCB	800 - 1100
PICACTIF T.A., T.E.	1000 - 1600
ACTICARBONE NC, WNC	800 - 1100
DARCO KB	600 - 1200
NUCHAR WA	600 - 1200
CARBORAFFIN	1000 - 1500
DARCO GRANULAR	500 - 1200

AREA ESPECIFICA DE ALGUNOS CARBONES OB  
TENIDOS EN EL PRESENTE TRABAJO.

COCO	1746.37
NUEZ CASCARA DE PAPEL	1149.54
NUEZ DE CASTILLA	1132.40

- 6) Recuperación de solventes
- 7) Deodorizante en refrigeradores
- 8) Industrias embotelladoras de bebidas gaseosas.

En conclusión, es factible obtener Carbón Activado a partir de las cáscaras de las nueces, en especial la de coco, para lo cual existe suficiente materia prima disponible. (25).

Al realizar la industrialización de este material, traería consigo o como consecuencia la creación de fuentes de trabajo en los lugares en donde se efectúe el proceso, - además; queda abierta la posibilidad de estudiar de una manera similar las nueces restantes, con la finalidad de tener un panorama más amplio acerca de la utilidad integral - de cada una de ellas.

VI. B I B L I O G R A F I A

1. Cordero Lerma, L. E. "Carbones Activados Elaborados a Partir de Hueso de Dátil".  
Tesis, U. A. Z., Méx. 1979.
2. Kirk, R.E., Othmer, D.F. "Enciclopedia de la Tecnología Química", Vol. I, II y XI. UTHEA, Méx, 1961.
3. "Enciclopedia de México". Vol 2, 2a. Ed. 1977.
4. "Enciclopedia Británica Inc." Vol. 7 15a. Ed. 1974.
5. "La Producción Agrícola en México en los Últimos 10 Años". 1980, Rev. Econotecnia Agrícola, México 4 (8) 26. S.A.R.H.
6. Hassler, John W. "Active Carbon".  
Brooklin, Chem. Publishing. Corp. 1951.
7. Erdos, J., Rev. Soc. Quím., IV (4), 112 (1960).
8. Fornwalt, H. J., Helbig, W.A., Scheffler, G.H.  
Brit. Chem. Eng. 8 (8), 546 (1963).
9. Carrillo Acevedo, A. "Carbones Activados a Partir de Lirio Acuático".  
Tesis, Fac. de Química, U.N.A.M., Méx. 1976.
10. Salvi, G. Tittarelli, P., Zanella, E.  
Riv. Combust, (4) 28, 109 (1974).

11. Charles L. Mantell, "Carbon and Graphite Handbook".  
New York Interscience, 1958.
12. Biscoe, J., Warren, B.E., J. Appl. Phys., 13 (1942) 364
13. Cuervo Martínez, P. L. "Estudio Comparativo del Poder  
Adsorbente de Carbones Obtenidos de la Cachaza".  
Tesis, Universidad Veracruzana, Méx. 1972.
14. Glasstone, S. "Química Física". Editorial Aguilar. 1968.
15. Maron, S. H., Prutton, C.F., "Principles of Physical  
Chemistry", 4th Edition, Collier Mac Millan.  
International Editions (1969).
16. Smith, J. M. "Chemical Engineering Kinetics", 2a.  
Edition, Mc Graw-Hill Book Company, 1970.
17. Brunauer, S., Derming, L. S. Derming, W. E., Teller, E.  
J. Am. Chem. Soc., 62, 1723 (1940).
18. Taylor, H.S., J. Am. Chem. Soc. 53,578 (1931).
19. Barrow, G. M., "Química Física", 2a. Edición.  
Editorial Reverté, S.A., Barcelona 1972.
20. Langmuir, J., J. Am. Chem. Soc., 38,2221 (1916).  
40, 1361 (1918).
21. Brunauer, Emmet and Teller, J. Am. Soc., 60, 309  
(1938).

22. León Maldonado, S.A. "Elaboración de Carbones Activados a Partir de Agave".  
Tesis, Fac. de Química, U.N.A.M., Méx., 1981.
23. Rubio, M., Chao, O., León, S., Cordero, L. E. y Cetina R. (1982). "Carbones Activados Elaborados de Residuos del - Agave". Rev. Soc. Quím. Méx., 26 (2): 69-72.
24. Castañeda Antonio, M. "Diseño de una Planta Piloto para la Obtención de Carbón Activado a Partir de Cáscara de Coco en el Estado de Guerrero".  
Tesis, ESQIE, I.P.N., Méx. 1971.
- 25 Chao, O., Cetina, R., Rubio, M. y Cordero, L. E. (1980). "Elaboración de Carbón Activado a Partir de Hueso de Dátil". Rev. Soc. Quím. Méx., 24 (2): 65-67