

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**



**“CARBONES ACTIVADOS A PARTIR  
DE LIRIO ACUATICO”**

73

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
PRESENTA  
ALFREDO CARRILLO ACEVEDO**

1976



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

CLAS Tesis  
AÑO 1976  
FECHA 11-78  
PROC 11-78



QUIMICA

H. JURADO.

PRESIDENTE	DR. RAUL CETINA ROSADO.
VOCAL	QUIM. OTHON CHAO BONILLA.
SECRETARIO	DR. ALFREDO ORTEGA HERNANDEZ.
1er. SUPLENTE	DR. MANUEL F. RUBIO.
2o. SUPLENTE	DR. FRANCISCO LARA OCHOA.

ESTA TESIS SE ELABORO EN EL INSTITUTO  
DE QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO, BAJO LA DIRECCION  
DEL QUIMICO OTHON CHAO BONILLA.

SUSTENTANTE:

ALFREDO CARRILLO ACEVEDO.

ASESORES DEL TEMA:

DR. RAUL CETINA ROSADO.

Y

QUIMICO OTHON CHAO BONILLA.

A mis padres:

Alberto Carrillo Ósorio

y

Carmen Acevedo de Carrillo

A mis hermanos:

Cristina

Hipólito

Rosa

Luz María

Cruz

Manuel

Carmen

A mis tíos:

Rafael

Federico

Jacinto

Gudelia

Manuel

A mi esposa

Sabina Sánchez de C.

A mi hijo

Alfredo.

Al Quím. Othón Chao Bonilla  
por su brillante dirección.

Agradezco las valiosas colaboraciones  
de los doctores Manuel F. Rubio, Raúl  
Cetina y del Ing. Quím. Leoncio Cuervo.

## CONTENIDO

### I. - INTRODUCCION.

EL LIRIO ACUATICO COMO PROBLEMA NACIONAL.

### II. - GENERALIDADES SOBRE CARBONES.

CLASIFICACION DE LOS MATERIALES CARBONOSOS.

### III. - GENERALIDADES SOBRE CARBONES ACTIVADOS.

BREVE HISTORIA DE LOS PROCESOS Y PATENTES  
SOBRE LOS CARBONES ACTIVADOS.

ESTRUCTURA DEL CARBON ACTIVADO.

IMPUREZAS EN LOS CARBONES ACTIVADOS.

### IV. - PARTE TEORICA.

ADSORCION.

TIPOS DE ISOTERMAS DE ADSORCION.

ECUACION DE LANGMUIR.

ECUACION DE BRUNAUER-EMMET-TELLER.

### V. - PARTE EXPERIMENTAL.

DESCRIPCION DEL METODO DE TRABAJO.

RESULTADOS.

### VI. - CONCLUSIONES.

### VII. - BIBLIOGRAFIA.

## I. - INTRODUCCION.

### EL LIRIO ACUATICO COMO PROBLEMA NACIONAL

Durante muchos años el lirio acuático (EICHHORNIA - - CRASSIPES) ha sido una plaga en presas, canales de riego, lagos y ríos de la República Mexicana que se incrementa a medida que se - construyen más presas y de mayor capacidad originando con ello se- rios problemas como:

a).- Atascamientos en las turbinas de las plantas hidroeléc- - tricas que implican paros que repercuten económicamente en el era- rio, la industria y en el público usuario de la energía eléctrica.

b).- La extinción de diferentes especies acuáticas animales de valor apreciable como consecuencia de la formación de un espeso ta- piz de lirio evitando la renovación del oxígeno disuelto en el agua, - provocándoles la muerte por asfixia. Esto no solo priva de peces a las comunidades cercanas sino también altera el equilibrio ecológico de los lugares afectados.

c).- Inundaciones causadas por taponamientos de los ríos en los lugares más estrechos, que al desbordarse a las partes bajas - arrasan tierras de cultivo, animales y zonas habitadas, causando - cuantiosos daños a la agricultura, ganadería y males a la salud de - los habitantes.

## SOLUCIONES PLAUSIBLES

1.- INTRODUCCION DE ESPECIES QUE SE ALIMENTAN DE LIRIO ACUATICO. Hasta la fecha se ha intentado la introducción de la carpa <sup>herbívorá</sup> de Israel y del manatí o vaca marina. La primera presenta el problema de su alta veracidad, alimentándose no solo de lirio acuático sino también de otras especies que poseen carne de alta calidad, como el pescado blanco de Pátzcuaro y Chapala, especie a punto de extinguirse, en contraste con la baja calidad de carne de la carpa de Israel. El manatí aminora el problema pero, su hábito de vivir aislado, por una parte, lo hace poco prolífero y por otra su permanencia en aguas poco profundas lo hacen fácil presa de los lugares que lo pescan al margen de las vedas establecidas.

2.- Instalando dragas tanto en las cortinas de las presas como en los estrechamientos de los ríos propensos a los taponamientos, que remueven el lirio de los lugares estratégicos; desgraciadamente su gran capacidad reproductora, obliga a mantener una operación de limpieza permanente y muy costosa acumulando este lirio en muladares en donde no reporta ninguna utilidad.

Como consecuencia del problema que representa como material inútil se ha intentado resolverlo de diferentes maneras: abono para tierras de cultivo, alimento para ganado, fuente de celulosa para las industrias papelera y textil y obtención de carbones activados de

extenso uso industrial (ver conclusiones de esta tesis). La solución propuesta además incluye beneficios económicos y sociales para las zonas afectadas por este problema.

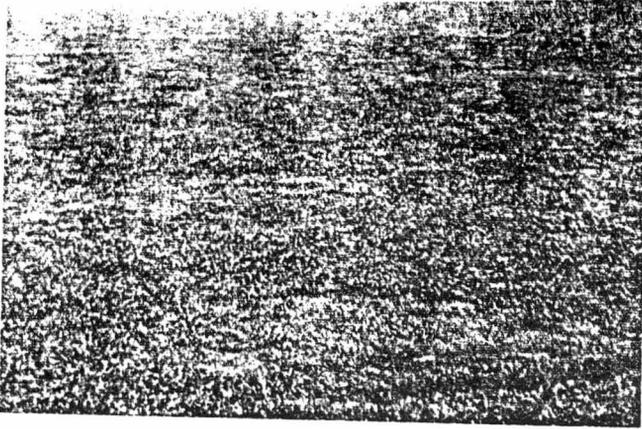


Fig. 1.1-- Aspecto de la Presa Solís (Gto.) invadida por lirio acuático.

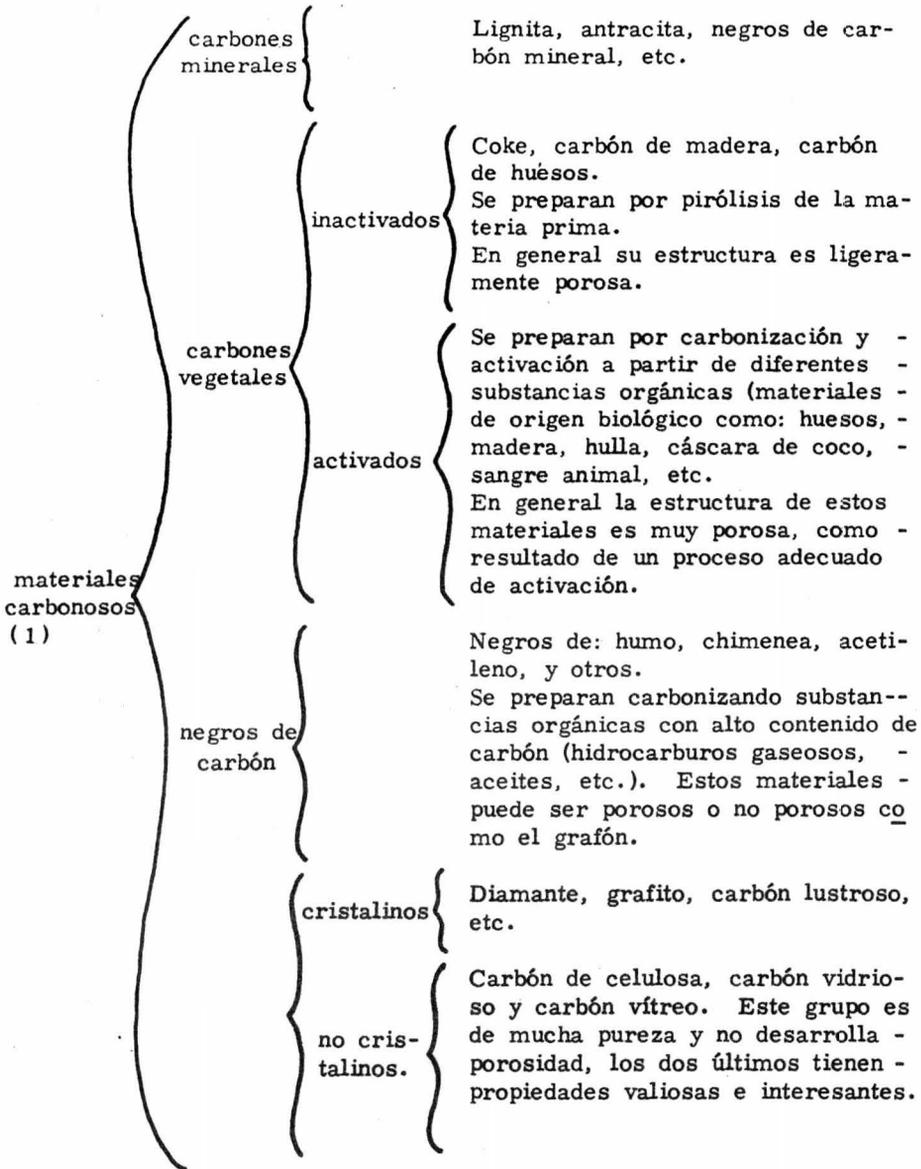


Fig. 1.2 -- Lirio acuático

## II. - GENERALIDADES SOBRE CARBONES.

### CLASIFICACION

Los carbones se clasifican en amorfos y cristalinos. Se ubica dentro de los primeros a los carbones activados, negros de carbón y a los productos de la descomposición térmica de materiales orgánicos tales como: huesos, madera, sangre animal, etc. En los carbones cristalinos quedan incluidos el grafito y el diamante. Esta clasificación no es adecuada porque el carbón activado, los negros de carbón y otros materiales carbonosos, no son amorfos completamente. No existe una clasificación aceptada, de modo que la que se presenta está sujeta a la crítica.



Se incluye al carbón de huesos animales dentro de los materiales carbonosos por la similitud del proceso de obtención (pirólisis de la materia prima) con el resto de carbones preparados.

Con respecto al contenido de carbón, muy variable, también es difícil aplicar el término "carbón animal" a los preparados por pirólisis de tejidos animales, porque tanto se usa para los carbones de huesos animales, con un contenido del 10% de carbón y 80% de fosfatos, como para el de sangre cuyo 80% de carbón, es ligeramente menor que el contenido en los preparados de cáscara de coco o de madera.

Hasta hoy se ha tratado de clasificar a los carbones desde diferentes puntos de vista, pero no se han eliminado aspectos históricos o de tradición en su nomenclatura, de modo que al intentar las clasificaciones, siempre resultan incongruencias, por ejemplo, en la clasificación presentada no encajan los carbones ya clasificados como minerales dentro de los carbones activados vegetales y animales, lo mismo se puede decir de los preparados a partir de aceites e hidrocarburos que no son ni animales ni vegetales.

Si omitimos las impurezas, observaremos en todos los casos la obtención del elemento C, encontrándose la diferencia en la estructura (ver estructura de los carbones). Desde este punto de vista quedarían clasificados en:

Materiales carbonosos	{	Amorfos. Semiamorfos o semicristalinos. cristalinos.
-----------------------	---	--

Asociadas a la estructura están las propiedades como: dureza, porosidad, conductividad eléctrica, capacidad adsorbente, etc.

### III. - GENERALIDADES SOBRE CARBONES ACTIVADOS.

La preparación de diferentes calidades de materiales carbonosos adsorbentes, sus propiedades y sus aplicaciones en la decoloración de soluciones y adsorción de gases, se conoce desde hace cientos de años, pero el establecimiento de las bases para la producción industrial de carbones, a los que se denominaron carbones activados, principia con las patentes británicas números 14224 y 18040 del año 1900 y la alemana 136292 de 1901 de Raphael von Ostrejko que desarrolló la activación con: bióxido de carbono, cloruros metálicos y con vapor de agua. Este método se usó más adelante, en Viena, en la primera producción industrial de carbón activado, a cuyo producto se llamó Eponita.

Wunsch desarrolló el proceso de reactivación de la Eponita (patente austriaca 6 8189, mayo 2 de 1913). A este carbón se le llamó Carboraffn.

Durante la primera guerra mundial se amplió la producción de carbón activado para las máscaras antigas contra la guerra química. También se estudió sobre nuevas materias primas como: cáscara de almendras, cáscara de coco, etc.

En la segunda mitad de la cuarta década se inició la producción de Supersorbón para la recuperación de solventes y el Bensor-

bón para adsorber el benceno de los gases pesados, ambos en pastillas y preparados a partir de serrín de madera.

Los primeros trabajos sobre la dinámica de adsorción sobre carbones activados los realizó Dr. H. Mecklenburg (2).

El Dr. H. Pich introdujo el método de melasas en la evaluación de la eficiencia de los carbones.

La importancia de los carbones activados y la lucha por los mercados incrementaron la investigación, como consecuencia la literatura creció tanto que en 1963 se creó una revista especial.

## ESTRUCTURA DEL CARBON ACTIVADO

ESTRUCTURA ELEMENTAL MICROCRISTALINA.- Al igual que otros carbones, el carbón activado presenta estructura y propiedades similares a las del grafito.

De acuerdo con la concepción de Bernal (3) subsecuentemente confirmada por varios autores, el grafito, una de las dos manifestaciones del carbón puro está estructurado de capas planas formadas por átomos de carbono ordenados en hexágonos regulares similares a los anillos de los compuestos orgánicos aromáticos. La distancia interatómica de los átomos de carbono situados en el mismo plano es de 1.42 Å. Los planos están en arreglos paralelos con una dis-

tancia interplanar de  $3.35 \text{ \AA}$  (ver figuras 2.1). Este ordenamiento es típico, sin embargo en algunos grafitos, una cierta fracción de los planos forman un arreglo rombohédrico.

La estructura del carbón activado es menos ordenada que la del grafito. Con base en sus estudios de rayos X Riley (4) propuso dos tipos de estructuras para los carbones activados (y otros negros de carbón).

El primer tipo consiste en cristalitas elementales que, como en el grafito, están en dos dimensiones y similarmente están compuestos de capas paralelas con ordenamiento hexagonal para los átomos de carbono. Sin embargo, la estructura difiere de la del grafito en cuanto a que los planos no están perfectamente orientados con respecto a un eje común perpendicular, el desplazamiento angular de una capa con respecto a otra es completamente azaroso así como su traslación.

Para este arreglo Biscoe y Warren (5) propusieron el término de estructura turboestrática. La orientación mutua entre cristalitas es completamente al azar, sus dimensiones dependen de la temperatura de carbonización. Los valores más frecuentes son: altura,  $L_c$  de 9 a  $12 \text{ \AA}$ ; espesor (o diámetro si suponemos una sección circular) de 20 a  $30 \text{ \AA}$ . De esto se sigue que los cristalitas elementales están formados de tres capas graffíticas paralelas cuyo diámetro es aproximadamente nueve veces mayor que el ancho de un arreglo -

hexagonal de átomos de carbono.

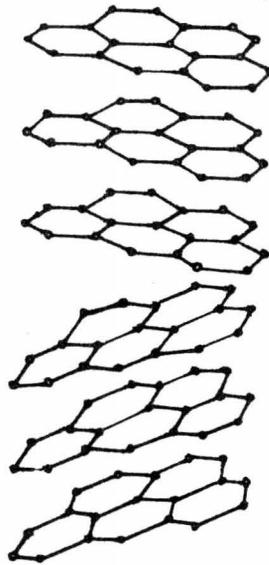
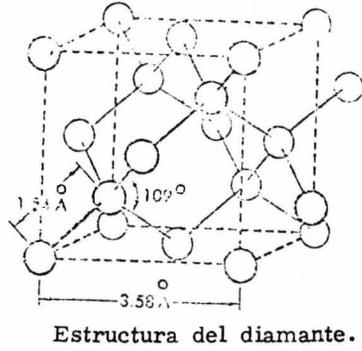
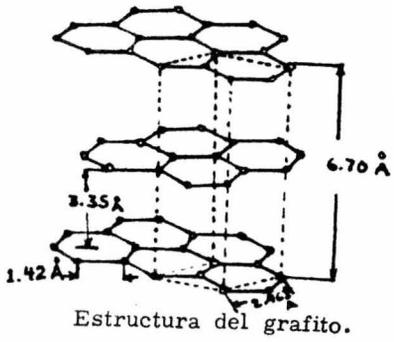
Al segundo tipo de estructura, Riley lo describe como un enrejado de hexágonos regulares de átomos de carbono desordenados pero con ligandos seccionales, que resultan de su deflexión con los planos de las capas graffíticas.

Esta estructura quizás está estabilizada por la presencia de heteroátomos en primer lugar el de oxígeno, como se ha encontrado en los carbones preparados de materiales con alto contenido de oxígeno. De acuerdo con Riley un gran número de carbones presentan ambos tipos de estructuras.

La tabla 3.1 muestra la diferencia entre los carbones preparados a partir de cloruro de polivinilideno (PVDC) que no forman estructuras tridimensionales aún a temperaturas mayores de 3,000° C y los de cloruro de polivinilo (PVC) que, a temperaturas menores, aumentan su número de capas paralelas. Así el PVDC es un ejemplo de material no grafitizable y el PVC de grafitizable.

Franklin (7) explicó la no grafitización del PVDC a través del ángulo de dispersión de los rayos X. Al principio de la carbonización se forman enlaces fuertes entre cristalitos vecinos con orientaciones al azar, como resultado se forma una masa rígida e inmóvil. El carbón que se obtiene es duro y de gran porosidad, que conserva a temperaturas muy elevadas. El diámetro de las capas graffíticas

Fig. 2.1 (6)



Estructura del carbón activado.

orientadas es menor de 70 Å que corresponde a un número máximo de doce capas paralelas. El PVC posee cristalitas móviles que pueden orientarse fácilmente. De acuerdo con Franklin, una vez consumido el carbón no organizado en cristalitas, el crecimiento de estos continúa, probablemente por la adición de capas graffíticas o grupos de capas.

TABLA 3.1 (1)

EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE EL DIAMETRO Y EL NUMERO DE CAPAS GRAFITICAS PARALELAS EN CRISTALITOS ELEMENTALES DE PVC Y PVDC CARBONIZADOS.

	TEMPERATURA DE CARBONIZACION °C.	NUMERO DE CAPAS PARALELAS	DIAMETRO DE LAS CAPAS Å
PVDC	1 000	2.0	16
	2 000	2.4	22
	2 140	3.8	38
	2 160	4.1	35
	2 700	5.6	40
	3 000	7.1	50
PVC	1 000	4.5	18
	1 220	8.8	30
	1 450	15.5	40
	1 720	33.0	63

## POROSIDAD

Durante el proceso de activación se despejan los espacios entre cristallitos elementales, formándose los poros. Una activación adecuada origina una gran cantidad de poros, cuya superficie total es tan grande, que frente a ella el área geométrica del adsorbente (superficie externa) resulta despreciable, por otra parte el área específica (metros cuadrados por gramo de adsorbente) tiene relación estrecha con la capacidad adsorbente de un sólido, de donde se deriva la importancia del estudio de los poros.

Clásicamente los poros se dividían en microporos y macroporos, se estableció entre ellos una frontera de 100 Å de radio completamente arbitraria.

Dado que en la adsorción sobre sólidos porosos ocurre la condensación capilar y con ella la histéresis Dubinin (1), introduce la clasificación aceptada hasta hoy: microporos, poros de transición y macroporos.

**MICROPOROS.** - Son de radio tan pequeño (de 18 a 20 Å) que se llenan a presiones relativas menores que las de la zona de histéresis, por lo que en ellos no es posible la condensación capilar. Su radio es del tamaño de las moléculas, en general su volumen va de 0.15 a 0.50 ml./gramo y su superficie representa casi el 95% de la total.

POROS DE TRANSICION.- El radio de estos poros varía desde 20 hasta 1 000 Å y en ellos la adsorción en multicapas puede formar un menisco en la parte más estrecha del poro, produciendo una condensación capilar que aumenta la capacidad adsorbente y no es reversible, originando el nudo de histéresis. El volumen de estos poros, en general, es de 0.02 a 0.1 ml./gramo y su área es menos del 5% de la total.

MACROPOROS.- De acuerdo con Dubinin se consideran macroporos a todos los de radios mayores de 1 000 Å, en ellos la adsorción en multicapas no llega a formar menisco y no hay condensación capilar.

Cada poro tiene una función específica durante la adsorción, los microporos proporcionan una gran área específica (desde algunos cientos de metros hasta más de 1 000).

La función del poro de transición es doble, primero la captura del adsorbato hasta la condensación capilar y segundo la habilitación de paso del adsorbato hacia los microporos que son de mayor capacidad global.

La distribución es: primero los macroporos directamente abiertos a la superficie de la partícula, en seguida los poros de transición que son ramificaciones de los primeros y finalmente los microporos que son ramificaciones de los poros de transición.

## IMPUREZAS EN LOS CARBONES ACTIVADOS

Los carbones activados poseen impurezas no sólo como partículas aisladas, con origen en la materia prima que se carbonizó o residuos del equipo por el que se procesó, sino también compuestos químicos estables en los que participan los carbones que pertenecen a un cristalito elemental.

CENIZAS. - Son los residuos inorgánicos del material que se carbonizó y que no se volatilizaron durante la misma. El contenido de cenizas varía con el proceso de carbonización y con el tratamiento que se le dé para eliminarlas, así en un carbón de cáscara de coco (8) se encontraron 4.3% de cenizas, después de dos extracciones con agua destilada en un aparato de Soxhlet quedaron 3.1%, lavando con ácido acético y posteriormente con agua destilada se disminuyeron a 1.7%, un lavado de ácido clorhídrico seguido de lavado con agua destilada redujo a 0.2% el contenido de cenizas.

A las impurezas formadas por átomos unidos a otros de carbono se les llama heteroátomos, los más importantes son: el Hidrógeno y el Oxígeno, aparecen cuando se emplea vapor de agua como activante, cuando un carbón ya activado se trata con vapor de agua a temperaturas mayores de 1 000 °C (9) o cuando el contenido de ellos es elevado en la materia prima que se carboniza.

Debido a sus efectos sobre la capacidad adsorbente de: vapor

de agua, electrolitos, gases y vapores polares o polarizables, etc. - se le da más importancia a la presencia de oxígeno como heteroátomo en la superficie de los carbones.

La estabilidad de los compuestos oxígeno - carbón varía con el mecanismo de formación, por otra parte la presencia de estos compuestos es muy frecuente. Se han encontrado dos tipos (10) y se diferencian por:

a).- Su reactividad con ácidos y bases.

b).- La naturaleza de los óxidos de carbono formados cuando se calientan a altas temperaturas.

Los trabajos de Dubinin lo hacen concluir que:

a).- Las reacciones del oxígeno con la superficie del carbón - activado, aún a temperaturas menores de  $100^{\circ}\text{C}$  producen complejos que por hidratación pueden formar grupos básicos como el oxhidrilo que pueden funcionar como intercambiadores de iones.

b).- El oxígeno de la superficie puede desplazarse como óxido de carbón gaseoso por calentamiento del carbón a  $1\ 000^{\circ}\text{C}$ .

c).- El calentamiento del carbón entre  $300$  y  $500^{\circ}\text{C}$  en presencia de oxígeno origina óxidos del segundo tipo (11) que por hidratación dan compuestos ácidos capaces de intercambiar iones, estos óxidos ácidos se descomponen alrededor de los  $1\ 000^{\circ}\text{C}$ .

Finalmente se encontró (12,13) que de la superficie total de un carbón el 2% está cubierta de óxidos básicos y el 20% de óxidos ácidos.

#### IV.- PARTE TEORICA

El término de adsorción, lo introdujo H. Kayser en 1881 y se refiere a la concentración más elevada de un componente (adsorbato) de una fase fluida, sobre una superficie sólida (adsorbente), con respecto a la concentración en el resto del fluido. Con base a las fuerzas que operan en la adsorción, ésta se divide en:

- a).- Fisisorción.
- b).- Quimisorción.

Las diferencias fundamentales entre estos tipos de adsorción son:

1o.- Las energías que mantienen adsorbidas a las moléculas del adsorbato para la fisisorción es semejante a los calores de condensación, por ejemplo para el hidrógeno es de 2 Kcal/mol, en tanto que para la quimisorción es de varias Kcal/mol, por ejemplo para el hidrógeno sobre el carbón activado es de 70 Kcal/mol, energía del orden de un enlace químico (14).

2o.- El número de capas que cubren la superficie del adsorbente, en el caso de la quimisorción está restringido a una capa de espesor monomolecular, pues para que exista enlace químico debe haber contacto íntimo entre las moléculas del adsorbato y las del adsorbente.

Para que el proceso de adsorción se efectúe, las moléculas - que se convertirán en adsorbato deben difundirse hasta el lugar en - donde quedarán adsorbidas (sitios activos), entonces la velocidad de adsorción es una función de la difusión y ésta de la estructura porosa del adsorbente. Cuando la difusión es muy lenta, controla a la - velocidad de adsorción y el equilibrio dinámico tarda más en alcan- - zarse.

La cantidad de adsorbato sobre el adsorbente en el equilibrio dinámico (igualdad de los potenciales químicos entre adsorbato y fase fluida) es una función de la presión, la temperatura y otras propiedades del adsorbente como: el momento dipolar, el número de electrones por molécula, el área de contacto, la porosidad y la naturaleza química de la superficie.

En los estudios de adsorción generalmente se mide:

- 1).- La cantidad adsorbida por gramo de adsorbente.
- 2).- La presión de equilibrio  $P$ , que frecuentemente se expresa como presión relativa  $p/p_0$ , en la cual  $p_0$  es la presión de saturación a la temperatura de trabajo.
- 3).- La temperatura.

Esas medidas pueden correlacionarse de varias formas:

- a).- Si a temperatura constante se correlaciona la cantidad -

adsorbida  $v$ , como función de la presión de equilibrio  $P$ , se obtiene la isoterma de adsorción.

$$v = f(P), T = \text{cte.}$$

2).- Si a presión constante se correlaciona la cantidad adsorbida  $v$ , como función de la temperatura se obtiene la isobara de adsorción.

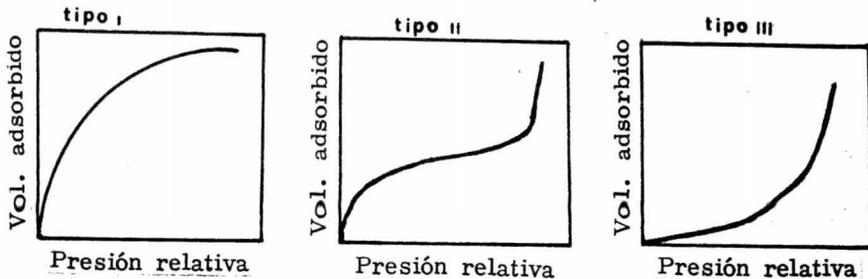
$$v = f(T), P = \text{cte.}$$

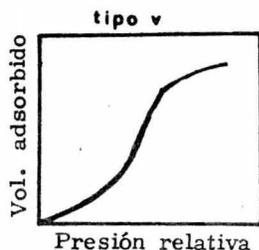
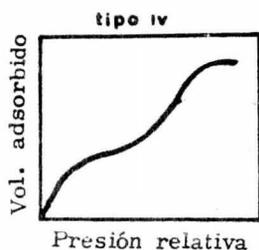
3).- Si a una cantidad adsorbida y constante, se correlaciona la presión de equilibrio  $P$ , como función de la temperatura, se obtiene la isostera de adsorción.

$$P = f(T), v = \text{Constante.}$$

Lo más común es la construcción de isotermas de adsorción y los tipos más frecuentes son los de las figuras (4.1).

Fig. 4.1 TIPOS DE ISOTERMAS (15).





a).- ADSORCION LOCALIZADA.- En este caso las moléculas adsorbidas permanecen un tiempo en sitios preferentes (activos) pero tienen, aunque pocas, algunas probabilidades de emigrar de un sitio activo a otro, para lo cual deben vencer la barrera de energía que es mayor que la energía térmica media  $kT$ .

b).- MOVIL.- En este modelo las moléculas se mueven fácilmente de un sitio activo a otro, la barrera de energía para la movilidad sobre la superficie es menor que la de abandono de la misma y menor que la energía térmica media.

A continuación deduciremos las ecuaciones para las isothermas de Langmuir y de Brunauer-Emmet-Teller en los que se considera una adsorción localizada.

### ECUACION DE LANGMUIR.

Es muy frecuente encontrar una derivación cinética de la ecuación de Langmuir (17) que rige la adsorción de gases ideales. No obstante es posible llegar a ella mediante un modelo de tipo estadístico (18, 19).

En este modelo diseñado por Fowler y Guggenheim se considera a las moléculas adsorbidas, con características diferentes a las demás, o no adsorbidas. El adsorbente tiene ciertos lugares llamados centros activos en los que se localiza la actividad adsorbente. El modelo se plantea así:

a).- Cada centro activo puede contener una molécula del adsorbato y solo una.

b).- Se admite que las moléculas adsorbidas no interaccionan con las adyacentes también adsorbidas, cualquiera que sea el número de ellas, ni con las que fueran a adsorberse en centros activos vecinos.

c).- Adsorbidas las moléculas, se modifica la contribución de la energía de traslación a la energía total, pues quedan localizadas en los centros activos. La consecuencia inmediata de este cambio es la modificación de la función de partición del gas al pasar al adsorbato.

d).- Las moléculas del adsorbato presentan una energía potencial como consecuencia de su interacción con los centros activos del adsorbente. Las fuerzas que generan estas interacciones son muy débiles comparadas con las que mantienen integrado el adsorbente, de tal manera que este puede considerarse imperturbado y constituye únicamente un campo de potencial.

e).- La energía de adsorción es la misma para todas las moléculas del adsorbato, cualquiera que sea el centro activo, por lo que la contribución a la función de partición total sería por cada molécula:

$$Z_i = \text{Exp.} \left( -\frac{E_s}{K_s T} \right) \text{-----} (1)$$

Supongamos ahora que el sistema está constituido por M centros activos en una superficie adsorbente y N moléculas de gas; además supongamos  $M > N$ . Esto trae una degeneración y cada nivel energético tendría:

$$q = \frac{M!}{(M-N)! N!} \text{-----} (2)$$

estados de energía. Puede llegarse a esta fórmula como sigue: la primera molécula puede adsorberse de M maneras diferentes; la segunda, de M-1 maneras; es decir dos moléculas pueden adsorberse de  $M(M-1)$  maneras; la tercera puede adsorberse de M-2 maneras; por lo que tres moléculas pueden adsorberse de  $M(M-1)(M-2)$  maneras y así sucesivamente. Cuando hayan quedado adsorbidas las N moléculas

las, el número de maneras diferentes en que se adsorberían sería un producto de N factores decrecientes a partir de M:

$$\text{Número de maneras} = M(M-1)(M-2)(M-3) \dots (M-N+1)$$

$$= \frac{M(M-1)(M-2)(M-3)\dots(M-N+1)(M-N)(M-N-1)\dots(4)(3)(2)(1)}{(1)(2)(3)(4)\dots(M-N-1)(M-N)}$$

$$\text{Número de maneras} = \frac{M!}{(M-N)!} \text{----- (3)}$$

pero las moléculas no tienen marcas que las distingan es decir, son indistinguibles, por lo que de este total de maneras de ser adsorbidas N! de ellas son indistinguibles entre si de donde:

$$\text{Número de maneras} = \frac{M!}{(M-N)! N!} \text{----- (4)}$$

que es exactamente igual a la ecuación (2).

Con esta expresión, la función de partición total que es el producto de las funciones de partición contribuyentes será:

$$Z_{\text{TOT}} = \frac{M!}{(M-N)! N!} \left[ e^{-\frac{E_s}{K_B T}} Z_i \right]^N = \frac{M!}{(M-N)! N!} Z^N \text{----- (5)}$$

en la que Zi es lo que se acostumbra llamar función de partición interna y con la cual contribuye cada molécula adsorbida. Se hizo:

$$Z = e^{-\frac{E_s}{K_B T}} Z_i$$

La energía libre de Gibbs de la capa de espesor monomolecular adsorbida es:

$$G_{ad} = - K_B T \ln Z_{TOT} \quad (6)$$

$$= - K_B T \ln \frac{M!}{(M-N)! N!} Z^N \quad (7)$$

Si admitimos como válida la aplicación de la fórmula de Sterling resulta:

$$G_{ad} = - K_B T \left[ M \ln M - M - (M-N) \ln (M-N) + M - N - N \ln N + N \ln Z \right]$$

dado que  $\frac{\partial G_{ad}}{\partial N} = \mu_{ad}$  (potencial químico del adsorbato)

$$\begin{aligned} \mu_{ad} &= - K_B T \left[ \ln (M-N) + 1 - \ln N - 1 + \ln Z \right] \\ &= K_B T \ln \left( \frac{N}{M-N} \frac{1}{Z} \right) \quad (8) \end{aligned}$$

ahora bien un gas ideal sólo tiene traslación y su función de partición por molécula es:

$$Z_o = \left( \frac{2 \pi m K_B T}{h^3} \right)^{3/2} V Z_i \quad (9)$$

en la cual V es el volumen del gas. Las moléculas no tienen marcas que las distinga por lo que:

$$Z_{gas} = Z_o^N = \frac{1}{Z} \left( \frac{2 \pi m K_B T}{h^3} \right)^{3N/2} V^N Z_i^N \quad \text{entonces:}$$

$$G_{gas} = -K_B T \left[ -N \ln N + N + N \ln \left( \frac{2 \pi m K_B T}{h^2} \right)^{3/2} + N \ln V + N \ln Z_{i_{do1}_{gas}} \right]$$

$$\mu_{gas} = \left( \frac{\partial G}{\partial N} \right)_{gas} = -K_B T \left[ -\ln N - 1 + \ln \left( \frac{2 \pi m K_B T}{h^2} \right)^{3/2} + \ln V + N \ln Z_{i_{do1}_{gas}} \right]$$

$$= -K_B T \ln \left( \frac{2 \pi m K_B T}{h^2} \right)^{3/2} \frac{V}{Z} Z_{i_{do1}_{gas}}$$

$$= -K_B T \ln \left( \frac{h^2}{2 \pi m K_B T} \right)^{3/2} \frac{N}{V} \frac{1}{Z_{i_{do1}_{gas}}} \text{----- (10)}$$

para un gas ideal  $PV = \frac{N}{N_0} RT = NK_B T$  y  $V = \frac{NK_B T}{P}$

$$\mu_{gas} = K_B T \ln \left( \frac{h^2}{2 \pi m K_B T} \right)^{3/2} \frac{1}{Z_{i_{do1}_{gas}}} \frac{P}{K_B T} \text{----- (11)}$$

Cuando se ha alcanzado el equilibrio, el potencial químico del adsorbato es igual al potencial químico del gas no adsorbido; de modo que igualando (8) y (11) resulta:

$$K_B T \ln \left( \frac{N}{M-N} \frac{1}{Z} \right) = K_B T \ln \left( \frac{h^2}{2 \pi m K_B T} \right)^{3/2} \frac{1}{Z_{i_{do1}_{gas}}} \frac{P}{K_B T}$$

$$\frac{N}{M-N} = \left( \frac{h^2}{2 \pi m K_B T} \right)^{3/2} \frac{Z}{K_B T Z_{i_{do1}_{gas}}} \text{----- (12)}$$

para una temperatura dada:  $\left( \frac{h^2}{2 \pi m K_B T} \right)^{3/2} \frac{Z}{K_B T Z_{i_{do1}_{gas}}} = b = \text{constante}$

debido a que b es sólo función de la temperatura y la ec. (12) queda:

$$\frac{\frac{N}{M}}{1 - \frac{N}{M}} = bp \quad \text{pero } \frac{N}{M} \text{ es la fracción cubierta } \theta \text{ del total de centros activos, por lo que:}$$

$$\frac{\theta}{1 - \theta} = bp \text{----- (13) que es la ecuación de Langmuir.}$$

### ECUACION DE BRUNAUER-EMMET-TELLER (B.E.T.).

El modelo de B.E.T. (20) supone que la adsorción no se efectúa en una sola capa de espesor monomolecular, sino en una superposición de moléculas que origina la formación de multicapas. El tratamiento para la primera capa consiste en considerarla como un gas, para la segunda capa y capas superiores se consideran como un líquido por estimar que en el estado adsorbido las moléculas se acercan tanto entre si que presentan propiedades de líquido.

La deducción de la ecuación de B.E.T. que se presenta, está hecha de consideraciones cinéticas y estadísticas debidas a Terrell L. Hill (19).

La elaboración del modelo requiere de consideraciones como:

a).- Se supone que existen  $M$  centros activos o sitios localizados por unidad de área de adsorbente: que  $X$  de estos centros activos están ocupados por moléculas adsorbidas (formando la primera capa de adsorbato). También se considera que del total de moléculas  $N$ ,  $N-X$  se adsorben sobre las  $X$  moléculas ya adsorbidas

b).- Las moléculas de la primera capa están caracterizadas por un potencial de energía  $E_s$ , y las moléculas de las capas superiores por un potencial de energía  $E_l$  (suponiendo el mismo potencial de energía que en el estado líquido), ambos referidos a una separación infinita como energía cero.

c).- La función de partición para una molécula en la primera capa es:

$$Z_s = j_s \text{ Exp. } \left( \frac{E_s}{K_B T} \right) \text{ ----- (13)}$$

y para una molécula de las capas superiores será:

$$Z_L = j_L \text{ Exp. } \left( \frac{E_L}{K_B T} \right) \text{ ----- (14)}$$

en las cuales es posible reemplazar  $j_s$  y  $j_L$  por aproximación con un oscilador armónico en virtud de que la molécula adsorbida puede vibrar en las tres dimensiones, de modo que:

$$j_s = \left( \frac{K_B T}{h \nu_s} \right)^3 j \text{ ----- (15)}$$

$$j_L = \left( \frac{K_B T}{h \nu_L} \right)^3 j_e \text{ ----- (16)}$$

en donde  $j$  es la función de partición para todos los grados de libertad internos.

Las funciones de partición para las  $X$  moléculas de la primera capa y las  $N-X$  de las capas superiores serán respectivamente:

$$Z_s = \frac{M!}{(M-X)! X!} \left[ j_s \text{ Exp. } \left( \frac{E_s}{K_B T} \right) \right]^X \text{ ----- (17)}$$

$$Z_L = \frac{(N-1)!}{(N-X)! (X-1)!} \left[ j_L \text{ Exp. } \left( \frac{E_L}{K_B T} \right) \right]^{N-X} \text{ ----- (18)}$$

El factor  $\frac{M!}{(M-X)! X!}$  representa el número de maneras en que  $X$  moléculas indistinguibles pueden distribuirse en  $M$  sitios, una por cada sitio.

El factor  $\frac{(N-1)!}{(N-X)! (X-1)!}$  representa el número de maneras diferentes en que se pueden distribuir  $N-X$  moléculas sobre las  $X$  moléculas ya adsorbidas formando la primera capa (esto es, el número de maneras en que se pueden distribuir  $N-X$  objetos indistinguibles en  $X$  cajas, sin restricción en el número de objetos por caja).

En consecuencia la función de partición total será:

$$Z = \sum Z_s, Z_L = \sum \frac{N! B!}{(N-X)! (M-X) (X!)^2} \left[ j_s \text{ Exp. } \left( \frac{E_s}{K_B T} \right) \right]^{N-X} \text{ ----- (19)}$$

en donde aparece  $(X!)^2$  como consecuencia de haber despreciado la unidad frente al número de moléculas adsorbidas en la primera capa, por idéntica razón aparece el factor  $N!$ .

Considerando válida la aproximación de Sterling y haciendo una muy buena aproximación que consiste en considerar que el logaritmo natural de una suma es igual al logaritmo natural del término máximo de la suma. En valor de  $X$  que proporciona este término se encuentra derivando el  $\ln Z$  con respecto a  $X$  e igualando a cero, obteniéndose:

$$\ln Z = N \ln N - N + B \ln B - (N-X) \ln (N-X) + (N-X) \ln (M-X) - (M-X) \ln (M-X) - 2X \ln X + X \ln Y_s + (N-X) \ln Y_L \text{ ----- (20)}$$

donde  $Y_s = j_s \text{ Exp. } \left( \frac{E_s}{K_B T} \right)$  y  $Y_L = j_L \text{ Exp. } \left( \frac{E_L}{K_B T} \right)$

$$\ln Z = N \ln N + B \ln B - (N-X) \ln (N-X) - (M-X) \ln (M-X) - 2X \ln X + X \ln Y_s - (N-X) \ln Y_L$$

$$\frac{\partial \ln Z}{\partial X} = 0 = 1 + \ln(N-X) + 1 + \ln(M-X) - 2 - 2 \ln X + \ln Y_s - \ln Y_L$$

$$\ln(N-X) + \ln(M-X) = \ln Y_L - \ln Y_s + 2 \ln X$$

$$(N-X)(M-X) = \beta X^2 \text{ ----- (21)}$$

para la cual  $\beta = \frac{Y_L}{Y_s}$

Por otra parte el potencial químico de las moléculas adsorbidas es:

$$\frac{\mu_A}{K_B T} = - \frac{\partial \ln Z_s Z_L}{\partial N} \text{ ----- (22)}$$

derivando la ec. (20) con respecto a N y cambiando el signo:

$$- \frac{\partial \ln Z_s Z_L}{\partial N} = \ln(N-X) - \ln N - \ln Y_L$$

substituyendo  $Y_L$  por su valor:

$$- \frac{\partial \ln Z_s Z_L}{\partial N} = \ln \left( \frac{N-X}{N} \right) - \frac{E_L}{K_B T} - \ln j_L \text{ ----- (23)}$$

para la fase gaseosa:

$$\frac{\mu_G}{K_B T} = \frac{a}{K_B T} + \ln P \text{ ----- (24)}$$

en donde a es una constante.

En el equilibrio  $\mu_G = \mu_A$  de donde:

$$\frac{\partial \ln(N-X)}{\partial N} = \left( \frac{E_L}{K_B T} \right) - \ln j_L = \left( \frac{a}{K_B T} \right) + \ln P \text{ ----- (25)}$$

Para las capas superiores (líquido puro)

$$-\frac{E_s}{K_s T} - \ell m j_L = \frac{a}{K_s T} + \ell m P_0 \text{ ----- (26)}$$

y sabemos que  $x = \frac{P}{P_0} = \frac{N - X}{N} \text{ ----- (27)}$

efectuando las operaciones indicadas en la ec. (21)

$$NM - NX - MX + X^2 = \beta X^2 \text{ ----- (21 a)}$$

de la ecuación (27)  $X = N(1-x)$ , substituyendo en la (21 a)

$$NM - N(N(1-x)) - M(1-x) + (N(1-x))^2 = \beta N^2 (1-x)^2$$

$$NM - N^2 + N^2 x - NMx + N^2 - 2N^2 x + N^2 x^2 = \beta N^2 (1 - 2x + x^2)$$

$$NMx + N^2 x^2 - N^2 x = \beta N^2 (1 - 2x + x^2)$$

$$\frac{NMx}{\beta} + \frac{N^2 x^2}{\beta} - \frac{N^2 x}{\beta} = N^2 (1 - 2x + x^2)$$

haciendo  $c = \frac{1}{\beta}$   $cMx + cNx^2 - cNx = N(1 - 2x + x^2)$

dividiendo entre N

$$\frac{M}{N} cx + cx^2 - cx = (1 - 2x + x^2)$$

tomando el inverso y factorizando el denominador:

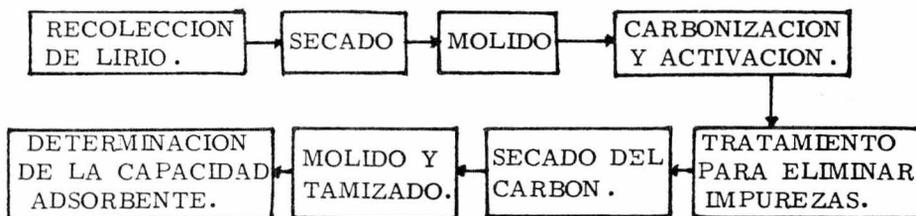
$$\frac{N}{M} = \frac{cx}{(1-x)(1-x+cx)} \text{ ----- (28)}$$

que es la ecuación de B.E.T.

## V.- PARTE EXPERIMENTAL

El diagrama de bloques de la figura (5.1) permite visualizar uno de los procesos más eficientes desarrollados en la obtención de carbones activados a partir de lirio acuático.

FIGURA 5.1



I.- RECOLECCION DE LIRIO.- Se recolectaron lirios de la misma especie (EICHHORNIA CRASSIPES) de Cuauhtitlán (Estado de México), Cuernavaca (Distrito Federal) y de la Presa Solís (Acámbaro, Gto.).

Cabe agregar que la Secretaría de Recursos Hidráulicos cuenta para la recolección con un lanchón que lo eleva por medio de un rodillo con bieldos y una cuchilla que lo corta en tramos de longitud y peso convenientes, se descarga sobre una prensa hidráulica que lo comprime formando una paca que contiene sólo un 15% de agua aproximadamente (22).

II.- SECADO.- Con el objeto de disminuir el tiempo de resi- >

dencia en la etapa de carbonización y activación por evaporación de agua, se efectúa el secado que puede hacerse en una estufa calibrada a 120 °C o bien extendiéndolo al sol durante un tiempo aproximado de 55 horas.

Esta etapa se aprovechó para determinar el contenido de agua del lirio:

Peso de lirio húmedo (escurrido) -----	20.0000 Kg.
Peso de lirio seco -----	<u>0.8400 Kg.</u>
Contenido de agua -----	19.1600 Kg.

$$\% \text{ de agua} = \frac{19.1600 \times 100}{20.0} = 95.8$$

III.- MOLIDO DEL LIRIO.- Con el objeto de uniformizar el tamaño de las partículas así como facilitar su manejo, se efectúa el molido, para el efecto se utilizó un molino MIKRO PULVERIZER tipo 1 W.

IV.- CARBONIZACION Y ACTIVACION.- Se mezcla el lirio con el activante, en este caso se seleccionó de ellos el hidróxido de calcio o el óxido de calcio, después de haber probado una serie de ellos, tanto por sus magníficos resultados como por su bajo costo y su gran disponibilidad en cualquier parte del Territorio Nacional. Se deposita en una retorta como la ilustrada en la fig. 5.2 que esencialmente se forma de un tubo cilíndrico sellado en uno de sus extremos,

en tanto que el otro se cierra con una campana roscada que termina en un tubo de desprendimiento de gases, vapores y productos de pirólisis; el tubo de desprendimiento consta de una llave para gases que se cierra cuando los productos de pirólisis terminan de salir (alrededor de los  $300^{\circ}\text{C}$ ), con esto se evita la entrada de aire cuyo oxígeno a esta temperatura reaccionaría con el carbón para dar bióxido de carbono.

Como medio de calentamiento se empleó una mufla OGAWA - SEIKI CO. LTD. integrada a un transformador tipo A de una fase. Un termopar controla la temperatura dentro de ella y un sistema de cuchillas permite controlar la potencia consumida y con ella la velocidad de calentamiento, un control automático de temperaturas evita que ésta oscile demasiado del punto que se desea controlar en las condiciones de este control se puede trabajar con una oscilación de  $30^{\circ}\text{C}$ . El intervalo de trabajo permisible para este modelo de mufla es desde  $50$  hasta  $1200^{\circ}\text{C}$ . Las limitaciones de precisión en el equipo permitieron trabajar a intervalos de  $100^{\circ}\text{C}$ .

También se trabajaron diferentes tiempos de residencia a la temperatura de carbonización previamente seleccionada. Ambas variables se correlacionaron con el poder adsorbente del azul de metileno por los carbones obtenidos en esas condiciones, como se muestra en las figuras 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8.

La activación se verifica durante la carbonización.

V.- TRATAMIENTO PARA ELIMINAR IMPUREZAS.- Debido a la presencia de residuos inorgánicos de la materia prima, del activante e impurezas por desgaste de las retortas empleadas, es necesaria esta etapa en la que se agrega una solución al 10% de ácido clorhídrico, se hierve durante media hora y se lava hasta que el extracto acuoso tenga un pH neutro.

VI.- SECADO DEL CARBON.- Se realiza en una estufa a 120°C durante cuatro horas aproximadamente con lo que se logra reducir el contenido de agua hasta un 7.5 %.

VII.- MOLIDO Y TAMIZADO.- El carbón ya seco se pasa por una serie de tamices para seleccionarlo de acuerdo con el tamaño de las partículas tomándose como granular desde 8 a 30 mallas y como polvo los que exceden de 200 mallas (23), para aprovechar el intermedio, se pasa por un molino de bolas para pulverizarlo.

VIII.- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE (5).- La capacidad adsorbente se obtuvo por el método del azul de metileno, se tomaron cinco muestras de cada uno de los carbones preparados en el laboratorio bajo condiciones variadas de temperatura y tiempo de residencia, los resultados reportados son un promedio de esas cinco determinaciones y se efectuaron empleando azul de metileno con una concentración de  $6 \times 10^{-4}$  gramos por mililitro preparado de la siguiente manera: se pesan 0.6 gramos de azul de meti-

leno, se depositan en un matraz aforado de 1 000 mililitros que contiene 50 ml. de ácido acético glacial para ayudar a disolver, finalmente se afora con agua destilada, obteniéndose la concentración  $C_i$ .

Se pesan 0.2 gramos de carbón activado en un matraz erlenmeyer de 250 ml. y se le agrega la solución de azul de metileno preparada, agitando durante 15 minutos, tiempo que el método considera suficiente para alcanzar la proximidad del equilibrio, se toma nota del volumen agregado  $V_o$ , se filtra se toma una alícuota para aforarla a un volumen conveniente con lo que se efectúan  $D$  diluciones. La solución así obtenida se corre en un espectrofotómetro Perkin-Elmer UV/vis, modelo 202, mostrando una absorbencia máxima en 650 milimicras (región del visible), con este dato y una curva de calibración elaborada a partir de una solución de azul de metileno con concentración de  $6 \times 10^{-6}$  gr./ml., para evitar errores de preparación en las soluciones se hizo una curva de calibración como la de la fig. 5.3 siempre que se preparaba solución de azul de metileno (no debe exeder de 30 días, según el método seguido), los puntos de una de esas curvas se reportan en la tabla 5.1, con lo que es posible determinar la concentración de la solución  $D$  veces diluida  $C'$ , que multiplicada por el número de diluciones nos proporciona la concentración final  $C_f$ , del filtrado que estuvo en contacto con el carbón activado durante 15 minutos.

ml. de sol. de azul de metileno $6 \times 10^{-6}$ gr./ml.	ml. de agua	Concentración $\times 10^{-6}$	Absorbencia
0	10	0.0	0.000
1	9	0.6	0.097
2	8	1.2	0.154
3	7	1.8	0.208
4	6	2.4	0.264
5	5	3.0	0.317
6	4	3.6	0.362
7	3	4.2	0.411
8	2	4.8	0.458
9	1	5.4	0.510
10	0	6.0	0.550

Los datos se ajustaron a una recta de regresión con coeficiente de correlación = 0.9959683, pendiente = 11.2528276 y ordenada al origen -0.40755577, de donde:

$C' = (-0.40755577 + 11.2528176 A) \times 10^{-6}$  donde A es la absorbencia.

Entonces  $C_r = D (-0.40755577 + 11.2528176 A) \times 10^{-6}$

De modo que los gramos adsorbidos de azul de metileno por gramo de carbón estarán dados por:

$$\frac{\text{gr. de azul de met. ad.}}{\text{gr. de carbón}} = \frac{V_o (C_i - D (-0.40755577 + 11.2528176 A) \times 10^{-6})}{P}$$

donde P es el peso de la muestra de carbón.

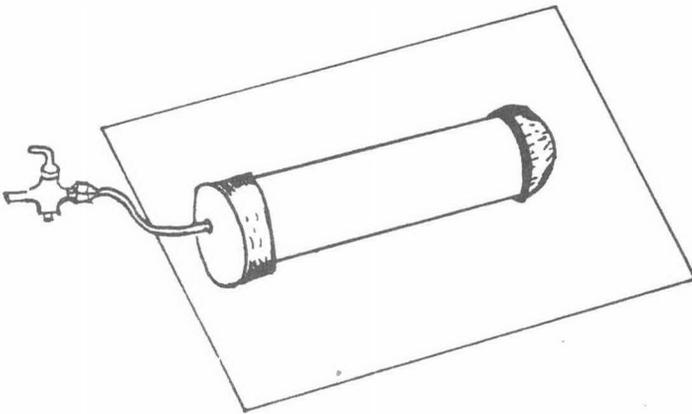


Fig. 5.2 Retorta usada en las  
carbonizaciones.

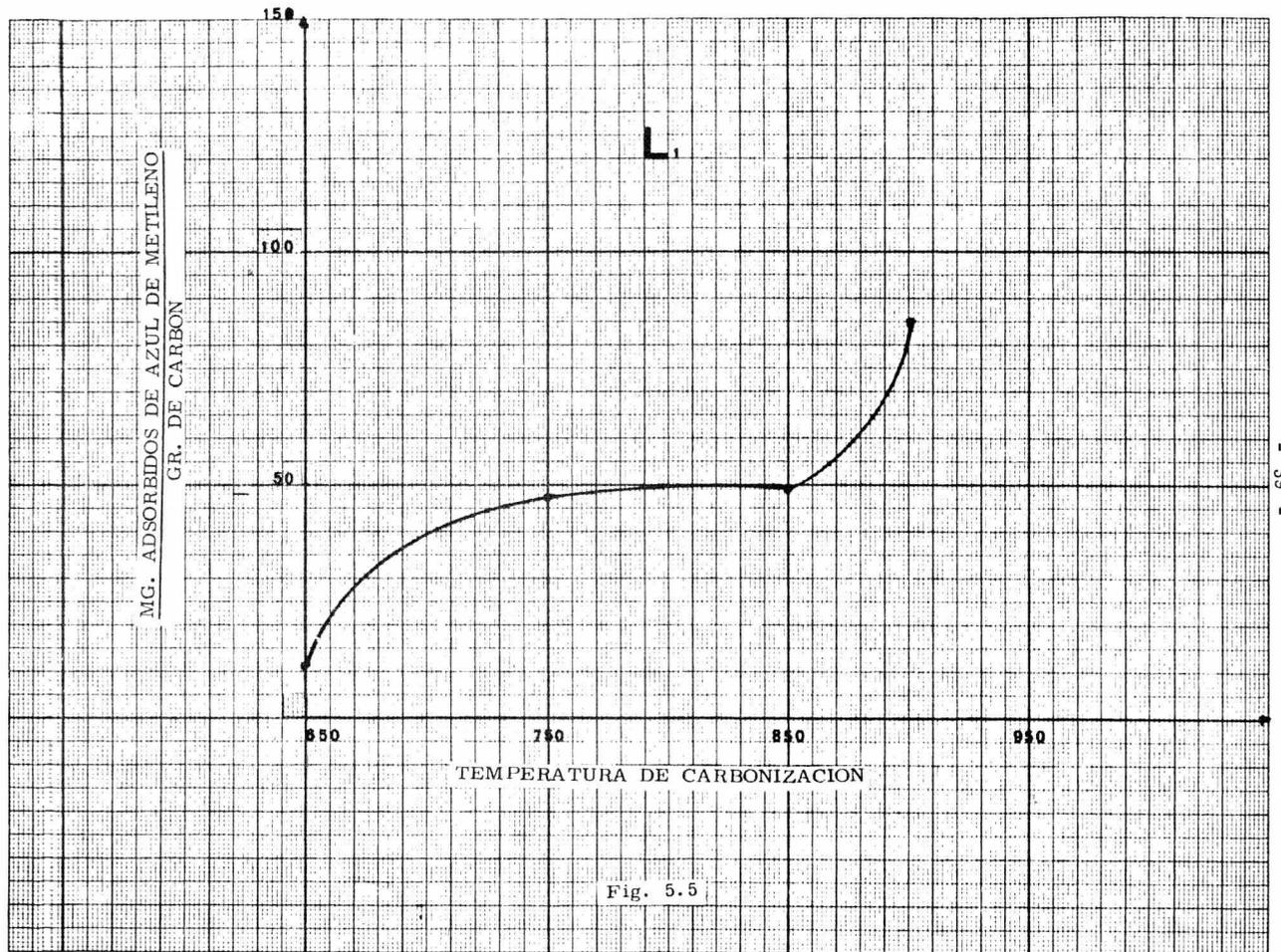


Fig. 5.5

Fig. 5.6

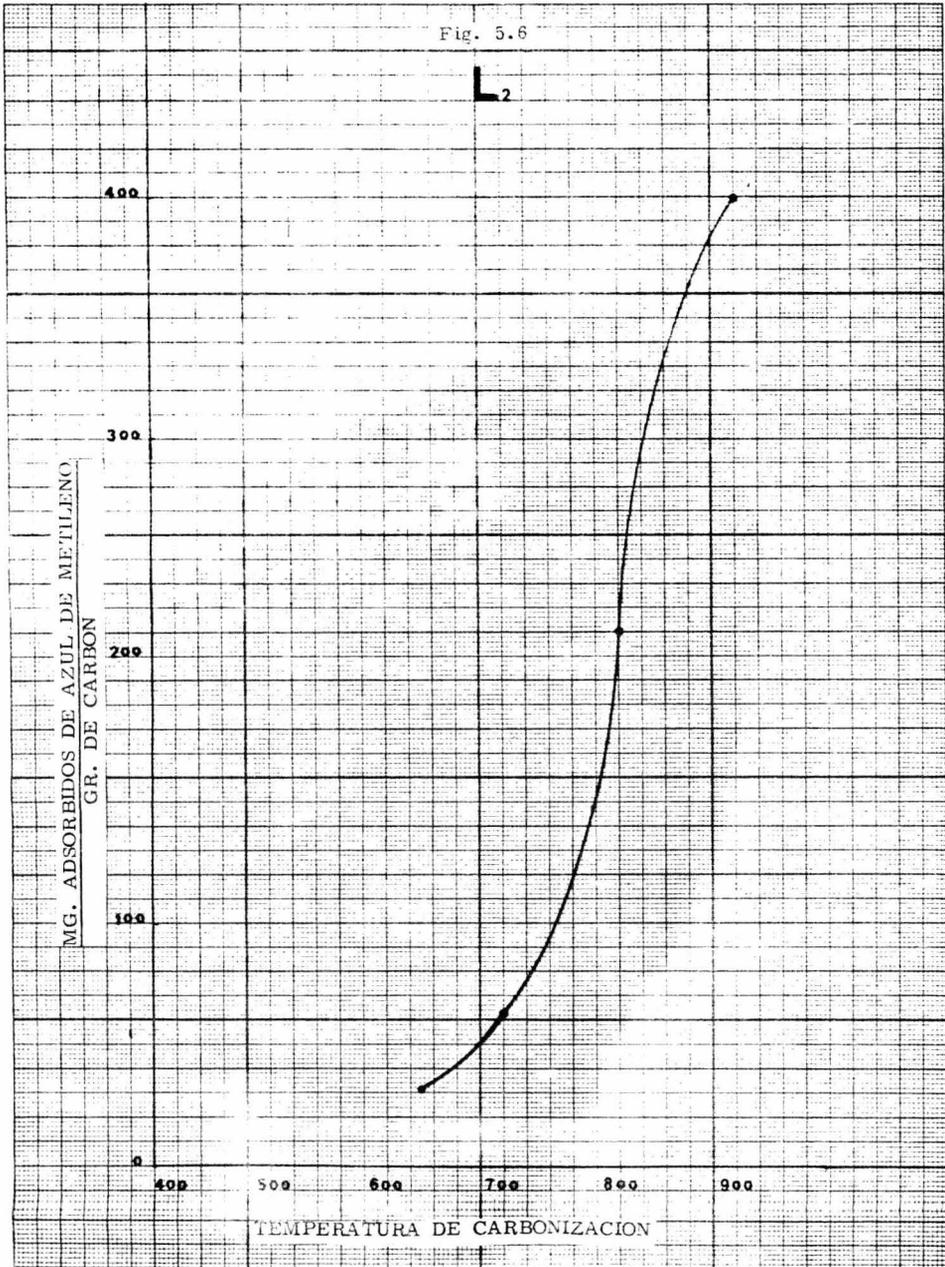


Fig. 5.7

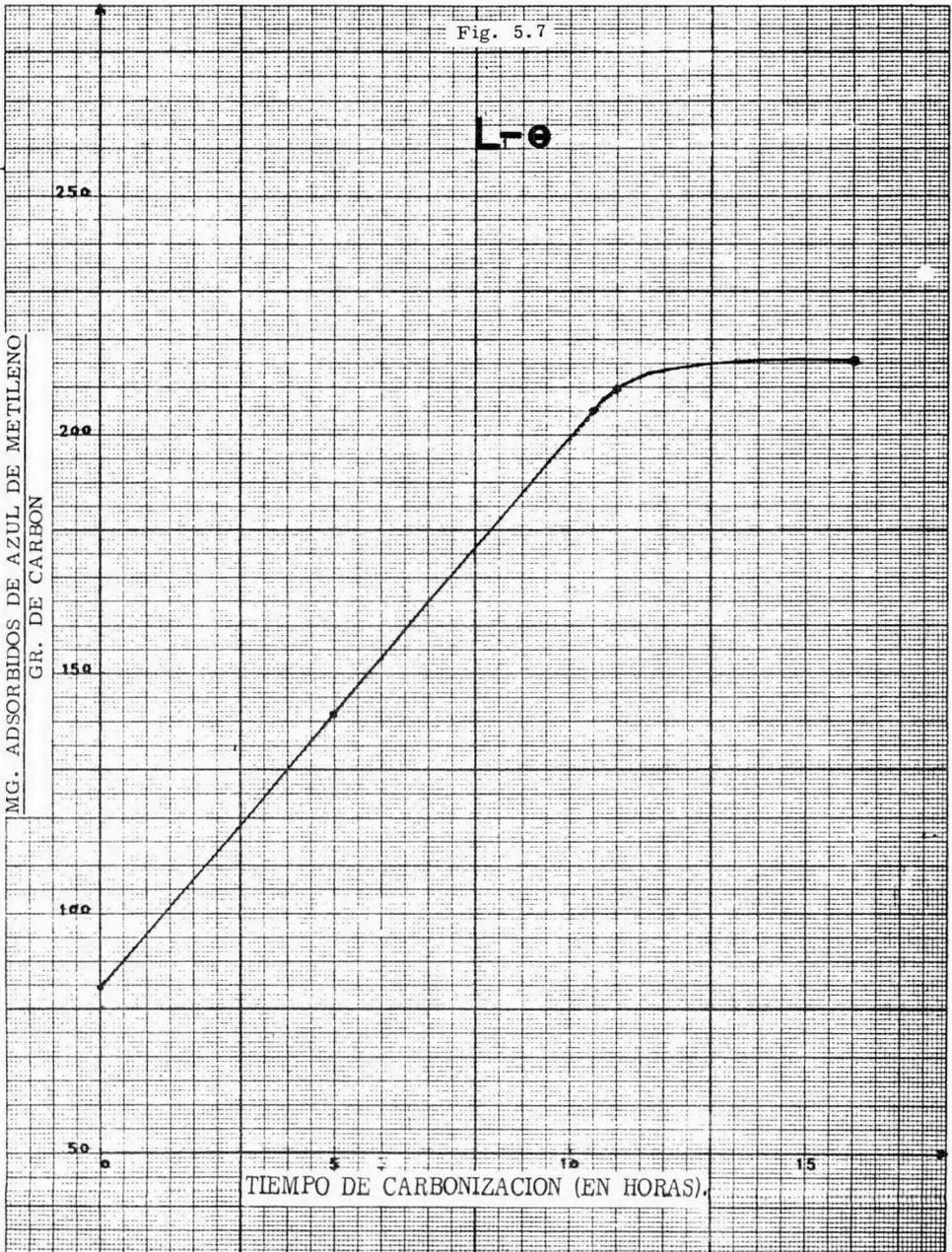
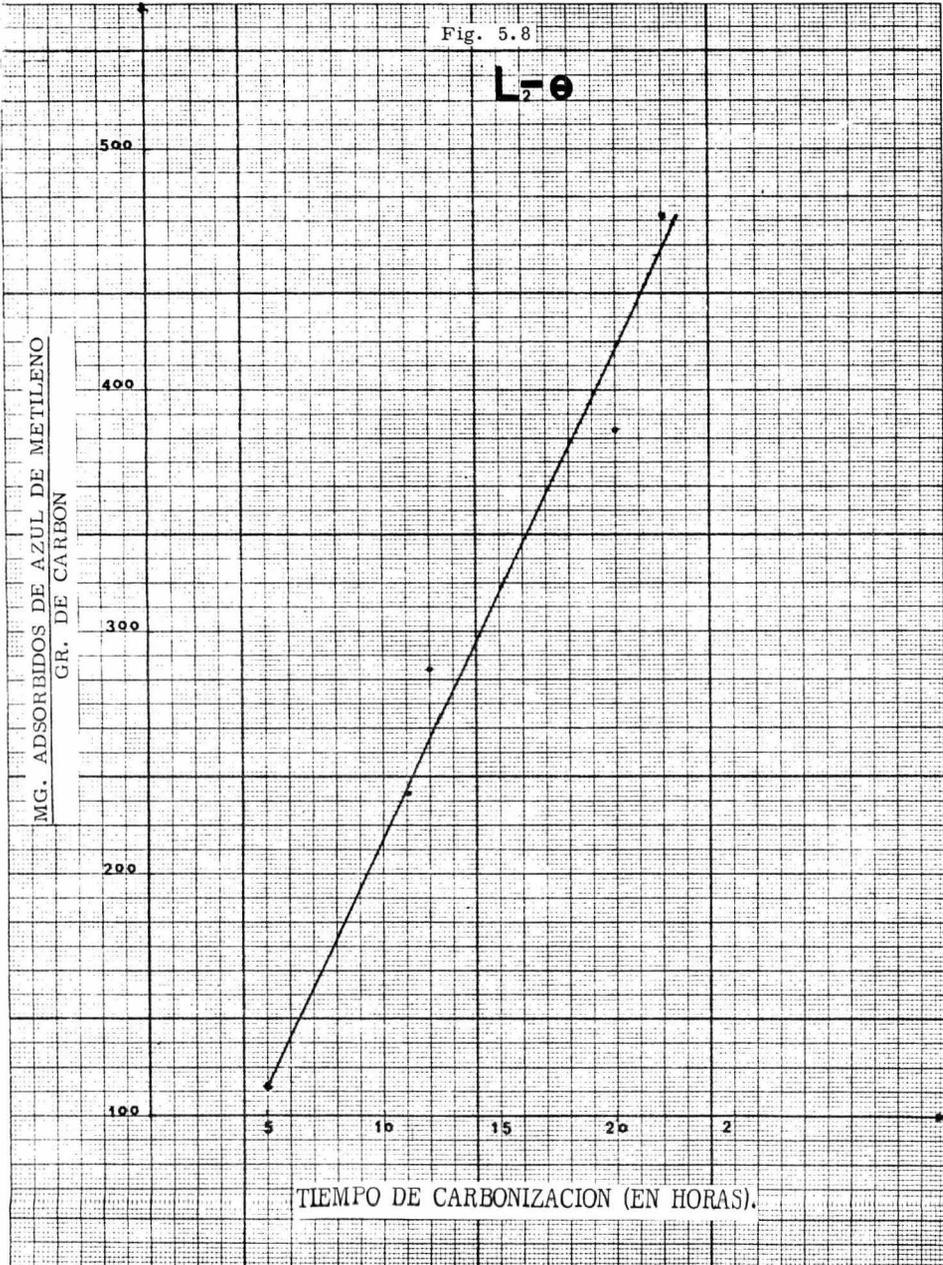


Fig. 5.8

$L_2 - e$



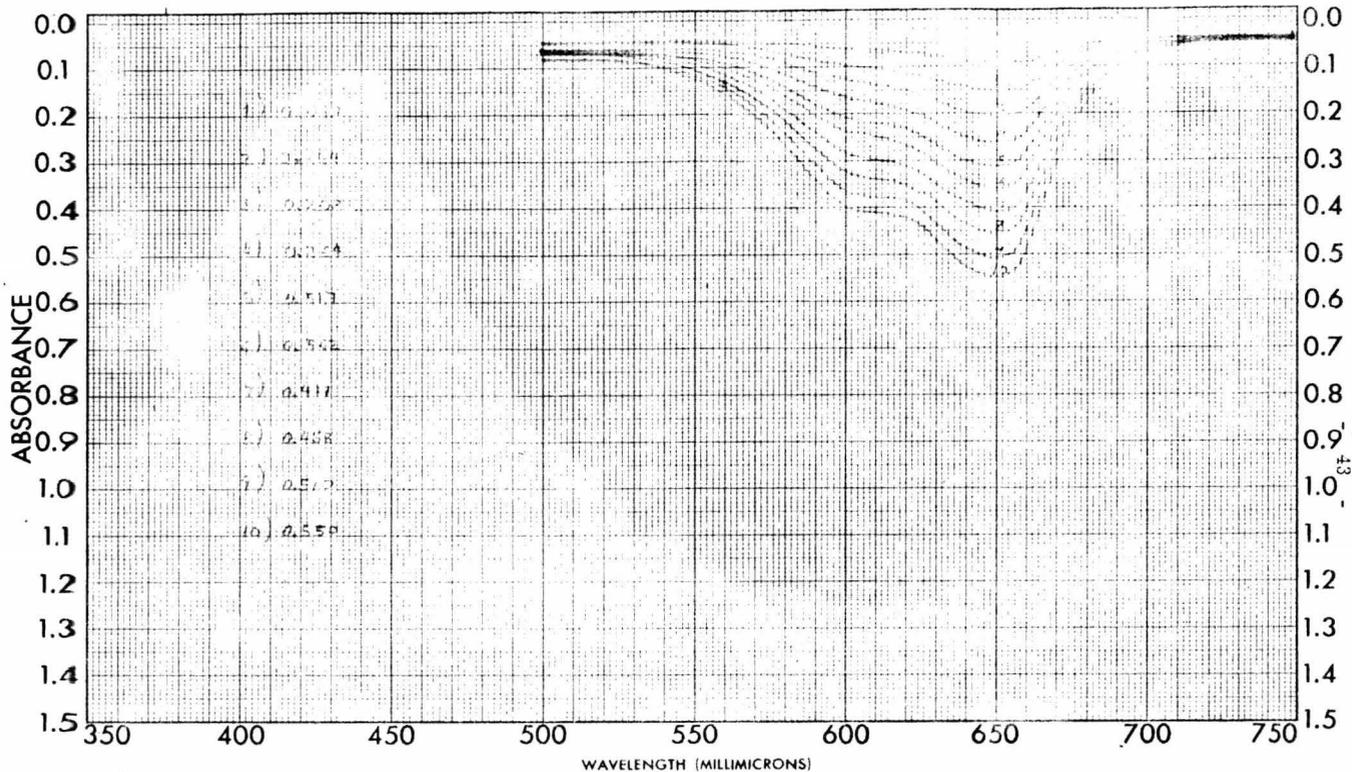


Fig. 5.9

SAMPLE _____	CURVE NO. <u>5.9.7</u>	SCAN SPEED <u>2000</u>	OPERATOR <u>P.O.JAS</u>
_____	CONC. _____	SUIT <u>15-42</u>	DATE <u>16-10-75</u>
ORIGIN <u>CARRILLO</u>	CELL PATH _____	REMARKS _____	
SOLVENT <u>H<sub>2</sub>O</u>	REFERENCE <u>H<sub>2</sub>O</u>	_____	

PART NO. 202-1512

PERKIN-ELMER®

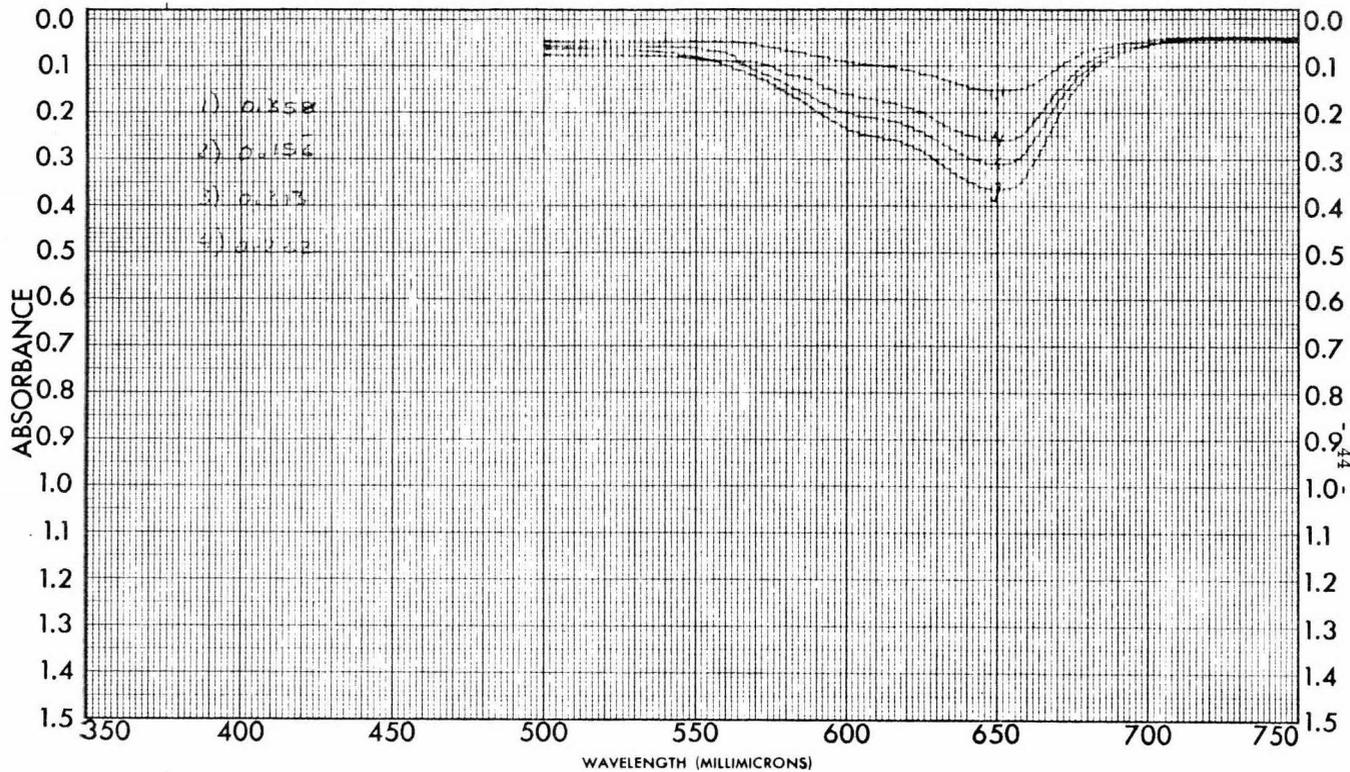


Fig. 5.10

SAMPLE _____	CURVE NO. <u>5003</u>	SCAN SPEED <u>1.00</u>	OPERATOR <u>ROJAS</u>
ORIGIN <u>CARRILLO</u>	CONC. _____	SLIT <u>25-10</u>	DATE <u>10-10-75</u>
SOLVENT <u>H<sub>2</sub>O</u>	CELL PATH _____	REMARKS _____	
	REFERENCE <u>H<sub>2</sub>O</u>		

VI. - CONCLUSIONES.

La calidad de los carbones activados obtenidos de lirio acuático estaría dentro de las mejores existentes en el mercado como puede verse en la tabla 6.1. El área específica que se reporta se obtuvo con un adsortómetro Perkin-Elmer modelo 212 D, acoplado a un mecanismo trazador de gráficas Speedomax G. Curtin, a su vez conectado a un integrador impresor Perkin-Elmer, modelo 194 B.

TABLA 6.1 (5)

CARBON			AREA ESPECIFICA m <sup>2</sup> / g.
PCCL	SGL	Carbón bituminoso	1 000 - 1 200
PCC	BPL	Carbón bituminoso	1 000 - 1 200
PCC	RB	Carbón bituminoso	1 200 - 1 400
PCC	GW	Carbón bituminoso	800 - 1 000
Columbia	CXA/SXA	de cáscara de coco	1 100 - 1 300
Columbia	AC	de cáscara de coco	1 200 - 1 400
Columbia	G	de cáscara de coco	1 100 - 1 150
Darco	S 51	lignito	500 - 550
Darco	G 60	lignito	750 - 800
Darco	KB	Madera	950 - 1 000
Hydrodarco		lignito	550 - 600
Nuchar aqua		residuo de pulpa de molinos	550 - 650
Nuchar C		residuo de pulpa de molinos	1 050 - 1 100
Nuchar (varios)		residuo de pulpa de molinos	300 - 1 400
Norit (varios)		madera	700 - 1 400
L <sub>1</sub>		<u>de lirio acuático</u>	1 500

El problema del lirio acuático actualmente está más agudizado en la región del Bajío donde se tiene (25):

LUGAR	SUPERFICIE EN HECTAREAS
Lago de Pátzcuaro	10 000
Laguna de Yuriria	8 000
Fresa Solís	<u>6 404</u>
TOTAL	24 404

Durante una visita a los lugares señalados se encontró un promedio de 68 Kg de lirio/metro cuadrado invadido. También se averiguó que la invasión corresponde en promedio a la tercera parte de las superficies citadas, por lo que:

$$\frac{(24\ 404\ \text{Hectáreas})}{3} (10^4\ \text{m}^2/\text{Hectáreas}) (68\ \text{Kg./m}^2) (1\ \text{Tonelada}/\ 1\ 000\text{Kg})$$

$$= 5.5315688 \times 10^6\ \text{Toneladas de lirio verde}$$

el contenido de agua es de 95.8% (ver página 33) de donde:

$$5.5315688 \times 10^6\ \text{Ton. de lirio verde} (0.042\ \text{Ton. de lirio seco/ton de lirio verde}) = 2.323259316 \times 10^5\ \text{Toneladas de lirio seco.}$$

Esta cantidad se evitaría emplearla de madera, materia prima utilizada en México para la producción de carbones activados, en perjuicio de los bosques nacionales.

Durante la obtención de carbones activados de lirio acuático se obtuvo un rendimiento promedio del 12%, por lo que:

(2.323259316 X 10<sup>5</sup> Ton. de lirio) (0.12 Ton. de carbón/ton. de lirio)

= 2.7879111792 X 10<sup>4</sup> Toneladas de carbones activados, cuyos usos son tan variados como:

- 1.- Refinación de azúcares de: caña, maíz, etc.
- 2.- Tratamiento y potabilización de aguas.
- 3.- Industrias vitivinícola y licorera.
- 4.- Industria farmacéutica.
- 5.- Recuperación de iodo del petróleo.
- 6.- Decoloración de aceites.
- 7.- Soporte de catalizadores.
- 8.- Recuperación de solventes, etc.

La solución propuesta al problema del lirio generaría fuentes de trabajo en beneficio de las comunidades que ahora lo padecen.

VII. - BIBLIOGRAFIA.

- 1.- M. Smisek/S. Cerny, Active Carbon.  
Elsevier Publishing Co. 1970.
- 2.- W. Mecklenburg and P. Kubelka.  
Z. Elektrochemie, 31 (1925) 488
- 3.- J. D. Bernal, Proc. Roy. Soc. (London), A 106 (1924) -  
749.
- 4.- H. L. Riley, Quart. Revs, 1 (1947) 59.
- 5.- J. Biscoe and B.E. Warren, J. Appl. Phys., 13 (1942) -  
364.
- 6.- Charles L. Mantell, Carbon and Graphite Handbook. -  
New York Interscience, 1958.
- 7.- R. E. Franklin, Proc. Roy. Soc. (London), A 209 (1951)  
196.
- 8.- A. Blackburn and J.L. Kipling, J. Chem. Soc., (1955) -  
4103.
- 9.- R. N. Smith, J. Duffield, R.A. Pierotti and J. Mooi, -  
J. Phys. Chem., 60 (1956) 495.

- 10.- V. A. Garten and Weiss, Revs Pure Appl. Chem., 7 -  
(1957) 69.
- 11.- B. Steenberg, Adsorption and exchange of ions on active -  
Charcoal. Almqvist and Wiksells, Upsala, 1944.
- 12.- R. B. Anderson and P. H. Emmett, J. Phys. Chem., -  
56 (1952) 753, 756.
- 13.- W.V. Loebenstein and V. R. Deitz, J. Phys. Chem., -  
59 (1955) 481.
- 14.- Trapnell, B. M. W. (1955). Chemisorption.  
Butterworth Scientific Publications.
- 15.- S. Brunauer, L.S. Deming and Teller, J. Am. Chem. -  
Soc., 62 (1940) 1723.
- 16.- R. L. Bond, Porous Carbon Solids.  
Academic Press. London and New York. 1957.
- 17.- I. Langmuir, J. Am. Chem. Soc., 38 (1916) 2221; 40 -  
(1918) 1316.
- 18.- Adamson, Arthur W, Physical Chemistry of surfaces. -  
Interscience Publishers. 1960.
- 19.- R. Cetina. Avances en Fisicoquímica 1973.

- 20.- Brunauer, Emmet and Teller, J. Am. Chem. Soc., 60 -  
(1938) 309.
- 21.- Terrel L. Hill, J. Chem. Phys, 14 (1946) 263.
- 22.- Foster, A.G., Trans. Faraday Soc., 28 (1932) 645.
- 23.- McBain, J.W., J. Am. Chem. Soc., 57 (1935) 699.
- 24.- Secretaría de Recursos Hidráulicos, Departamento Piscico-  
la.
- 25.- Hassler, John W. Active Carbon.  
Brooklin, Chem. Publishing Corp. 1951.
- 26.- Secretaría de Recursos Hidráulicos, Departamento de Presas.



QUÍMICA