



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



**EXAMEN ESPECIAL
FAC. DE QUIMICA**

"CARBON ACTIVADO, USOS Y APLICACIONES EN SISTEMAS LIQUIDOS"

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

PRESENTA:

HILDA OFELIA VALDES OLGUIN

CARRERA: INGENIERO QUIMICO

MEXICO, D. F., 1981

**TEXES DONADA POR
D. G. B. - UNAM**



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 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.

CAPITULO	I.- INTRODUCCION	1
	1.- Adsorción	
	2.- Naturaleza del carbón activado, tipos y usos	
	3.- Fabricación del carbón activado	
	4.- Tipos de carbón activado, fabricados en México.	
CAPITULO	II.- VARIACIONES DE LA OPERACION UNITARIA RELACIONADA A LA ADSORCION POR CARBON ACTIVADO.	8
	1.- Introducción	
	2.- Operación Unitaria en Contacto Discontinuo	
	3.- Aplicación a Contracorriente.	
	4.- Percolación continua a través de carbón granular.	
	5.- Almacenamiento y Manejo,	
CAPITULO	III.- APLICACIONES INDUSTRIALES TIPICAS DEL CARBON - ACTIVADO.	16
	1.- Introducción	
	2.- Azúcar	
	3.- Azúcares y Jarabes de la conversión de Almidón	
	4.- Grasas y Aceites	
	5.- Bebidas Alcohólicas	
	6.- Purificación de Aguas Potables de Suministro	
	7.- Coloides Orgánicos	

- 9.- Químicos Orgánicos
- 10.- Químicos Inorgánicos y Metales.
- 11.- Solventes de lavado en seco
- 12.- Aplicaciones Analíticas.

CAPITULO IV.- PURIFICACION DE AGUA - DOMESTICA E INDUSTRIAL

- 1.- Introducción.
- 2.- Tratamiento Secundario.
- 3.- Eutroficación.
- 4.- Tratamiento terciario.
- 5.- Tratamiento fisicoquímico de aguas de desecho.
- 6.- Nutrientes Vegetales Inorgánicos.
- 7.- Regeneración.
- 8.- Carbón en Polvo.

**CAPITULO V.- DETERMINACION DEL TRATAMIENTO, TIPO DE CARBON -
ACTIVADO Y DOSIFICACION EN SISTEMAS LIQUIDOS.**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

- 8.- Productos Alimenticios diferentes.
- 9.- Químicos Orgánicos
- 10.- Químicos Inorgánicos y Metales.
- 11.- Solventes de lavado en seco
- 12.- Aplicaciones Analíticas.

CAPITULO	IV.- PURIFICACION DE AGUA - DOMESTICA E INDUSTRIAL	41
	1.- Introducción.	
	2.- Tratamiento Secundario.	
	3.- Eutroficación.	
	4.- Tratamiento terciario.	
	5.- Tratamiento fisicoquímico de aguas de desecho.	
	6.- Nutrientes Vegetales Inorgánicos.	
	7.- Regeneración.	
	8.- Carbón en Polvo.	
CAPITULO	V.- DETERMINACION DEL TRATAMIENTO, TIPO DE CARBON ACTIVADO Y DOSIFICACION EN SISTEMAS LIQUIDOS.	49
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFIA	98

RESUMEN

La purificación es una operación que consiste en quitar cualquier impureza a una sustancia dada, la cual queremos de una cierta calidad; en otras palabras separar una sustancia de otra no requerida, de tal forma que la primera nos quede aislada de la segunda, para un determinado uso.

La purificación es una operación que nos es absolutamente necesaria, tanto a nivel industrial como de laboratorio, doméstico, etc.

Esta purificación se logra a través de diversas operaciones, tales como: coagulación, filtración, precipitación, adsorción, etc.

En la mayoría de las aplicaciones industriales estudiadas, lo más efectivo es usar una combinación de ellas.

La adsorción ha sido lograda muy satisfactoriamente por medio del carbón activado, llegando a ser en algunas operaciones, la purificación única.

Es decir, la adsorción proporcionada por el carbón activado, algunas veces es suficiente, pero en la mayoría de los casos se usa en conjunto con otros métodos de purificación.

El carbón activado tiene un amplio campo de aplicaciones en los diversos pasos para llevar a cabo la purificación total en diferentes industrias, como son:

- 1).- La refinación del azúcar de caña, después de la clarificación
- 2).- La decoloración y adsorción de otras impurezas, para la refinación de azúcar de betabel.
- 3).- La reducción del contenido de protefna y materias colorantes en la manufactura de glucosa.
- 4).- La decoloración involucrada en el procedimiento convencional de 3 pasos para remover impurezas en la producción de aceites y grasas.
- 5).- La contribución al desarrollo del bouquet en el añejamiento - de algunas bebidas alcohólicas, como whiskies, rones, brandies, etc.
- 6).- La remoción de impurezas residuales en la purificación de las aguas potables. Es de gran importancia la intervención del - carbón activado en la purificación misma del agua, tanto a nivel doméstico como industrial, tan es así, que se ha dedicado un capítulo entero en este trabajo para tratar el tema.
- 7).- Aplicación en operaciones donde los coloides son contaminantes.
- 8).- Es parte integral del proceso de muchos productos alimenticios.
- 9).- Tratamiento de productos químicos inorgánicos para mejorar propiedades físicas.
- 10).- Algunas veces los productos químicos inorgánicos se purifican con carbón activado.
- 11).- Combinado con la destilación, se utiliza el carbón activado - para la purificación de solventes de lavado en seco, para poder ser reutilizados.
- 12).- Ocasionalmente se utiliza en procedimientos analíticos.

Ahora bien, cómo se emplea, qué tipo de carbón y en qué cantidades es algo que se debe obtener siguiendo un determinado método en cada tipo de aplicación.

Lo primero será determinar las características del sistema a purificar, después de lo cual una selección tentativa del método o métodos se realizará. Por ejemplo se utiliza la conducta de las propiedades no

deseadas para diagnosticar una situación; este es el caso de la eliminación de un color no deseado a través de dosis de carbón activado, a porciones de líquido hasta encontrar las proporciones adecuadas que después se aplicarán a nivel industrial. Aquí se determinó de antemano que el método de purificación era por medio del carbón activado.

La temperatura, el tiempo y el pH son factores que influyen la adsorción, los cuales se deben tomar en cuenta para las determinaciones del carbón activado a emplear.

Una vez que se ha determinado el tiempo y la temperatura, la variable a fijar en cualquier operación es la dosis mínima de carbón. Lo más usual para determinar esta dosis mínima de carbón activado es la utilización de la llamada Isoterma de Adsorción de Freundlich.

En el primer capítulo se trata la adsorción por medio del carbón activado como un método de purificación, los tipos y usos de carbón - activado, fabricación del mismo y los tipos de carbón activado fabricados en México.

En el segundo capítulo se describen diferentes operaciones unitarias en donde se utiliza el carbón activado. Se mencionan operaciones en contacto discontinuo, aplicación a contracorriente, percolación continua con carbón granular, almacenamiento y manejo.

En el capítulo tercero se describen algunas aplicaciones industriales típicas del carbón activado, como son: en el proceso del azúcar, azúcares y jarabes en la conservación del almidón, grasas y aceites, tratamiento de bebidas alcohólicas, purificación de aguas, eliminación de coloides orgánicos, tratamiento de productos alimenticios, previo tratamiento con carbón a productos químicos orgánicos, tratamiento de productos químicos inorgánicos, proceso de solventes de lavado en seco y otras aplicaciones analíticas.

En el capítulo cuarto se trata con más detalle la purificación de agua doméstica e industrial.

En el capítulo quinto se describe el método para encontrar las dosis de carbón necesarias, utilizando la isoterma de adsorción de Freundlich, involucrando el tipo de muestreo que se realiza, cálculos y gráficas de operación basados en la isoterma de Freundlich, agitación, filtración y percolación a nivel planta.

TABLA I.- Propiedades de Varios Carbones Granulares Comerciales Utilizados.

	ICI America Hydrodarco 3000	Calgon Filtrisorb 300 (8 x 30)	Westvaco Nuchar W-L (8 x 30)	Witco 517 (12 x 30)
Propiedades Físicas				
Area Superficial m ² /gm (BET)	600-650	950-1050	1000	1050
Densidad aparente g/cc	0.43	0.48	0.48	0.48
Densidad lavado y escurrido lb/ft ³	22	26	26	30
Densidad real g/cc	2.0	2.1	2.1	2.1
Densidad por partícula g/cc	1.4-1.5	1.3-1.4	1.4	0.92
Tamaño efectivo mm	0.8-0.9	0.8-0.9	0.85-1.05	0.89
Coefficiente de uniformidad	1.7	≤ 1.9	≤ 1.8	1.44
Volumen de poro cc/g	0.95	0.85	0.85	0.60
Diámetro medio de partícula mm	1.6	1.5-1.7	1.5-1.7	1.2
Especificaciones				
Tamaño de Malla (Series U.S. estandar)				
Mayor que No. 8 Max. %	8	8	8	b
Mayor que No. 12, Max. %	b	b	b	5
Menor que No. 30, Max. %	5	5	5	5
Menor que No. 40, Max. %	b	b	b	b
No. de Iodos	650	900	950	1000
No. abrasión, min.	c	70	70	85
Cenizas	c	8	7.5	0.5
Humedad al empacar, max. %	c	2	2	1

a) Otros tamaños de carbón están disponibles, pedidos directamente al fabricante.

b) No se aplica en este tamaño de carbón

c) No se disponen de datos del productor

Tipos de Carbón utilizado por segmento y selectividad.

Segmento/Tipo de Carbón

Refinación de Fármacos

Azúcar

Glucosa

Anticontaminante
(Automóviles)

Tratamiento de Agua

Destufador de Alcohol

Refinador de Caprolactama

Refinador de Solventes

Aceites y Parafinas

Cerveza

Glicerina

Purificación de Gases

	1	2	3	4	5	6	7	8
	8	9	10					
Refinación de Fármacos	X	X	X					
Azúcar	X	9	9	9			X	9
Glucosa	X	6	9	X	10		X	X
Anticontaminante (Automóviles)				X	10	X	10	9
Tratamiento de Agua					9	9	9	8
Destufador de Alcohol	X	8	9	10				8
Refinador de Caprolactama	X	8	X	8	9			
Refinador de Solventes	X	8	X	8	8	X	7	7
Aceites y Parafinas	X	9	X	9	7			
Cerveza	X	9	X	7	8		X	7
Glicerina	X	6	X	8	X	9	X	6
Purificación de Gases				X	9	X	X	8
							X	9
								X
								7

1.- Polvo vegetal activado con fosfórico.

2.- Polvo vegetal activado con Cloruro de Zinc.

3.- Polvo Vegetal activado con vapor.

4.- Granular Vegetal activado con vapor.

5.- Granular Vegetal activado con fosfórico.

6.- Granular Vegetal activado con Cloruro de Zinc.

7.- Granular Mineral activado con vapor.

8.- Granular Animal activado con vapor.

NOTA: Número contenido en cuadro pequeño indica selectividad a impurezas (calif. 1-10) - obtenida con carbón utilizado
Fuente: Recopilación de los autores.

Fuente: "Estudio de Factibilidad de una Planta Productora de Carbón Activado"

Autores: Ramón Arnaud H., Javier Barrón, Guillermo Gutiérrez, José Luis Lobera, Tomás Weber.

Universidad de las Américas. Marzo 1980.

TABLA III

Segmentación del Mercado (Matriz de Mercado)

Segmento/Caract.	Decolorante.	Deodorizante.	Desabozante	Retenedor de Gases no - - deseables.	Catalizador	Calidad Requerida		
						Exc.	Bue.	Reg.
Refinación Fármacos	.	.				.		
Azúcar	.							.
Glucosa	.					.		
Anticontaminantes (Automóviles)				.		.		.
Tratamiento de Agua				.	.		.	
Destufador de Alcohol		.	.				.	
Refinador de Caprolactama	.					.		
Refinador de Solventes	.					.		
Aceites y Parafina	.							
Fabricación Cerveza	.	.		.				
Glicerina	.					.		
Purificador de Agua				.				.

Calidad - Exc. - Excelente: Bue. - Buena: Reg. - Regular

Fuente: "Estudio de Factibilidad de una Planta Productora de Carbón Activado"

Autores: Ramón Arnaud H., Javier Barrón, Guillermo Gutiérrez, José Luis Lobera, Tomás Weber.

Universidad de las Américas. Marzo 1980.

TABLA IV

**Precios Promedio Históricos por tonelada de carbón activado
en forma Granular y Polvo en el período 1978-1980 (m.n.):**

<u>Año</u>	<u>Polvo \$ (000)</u>	<u>△</u>	<u>Granular \$ (000)</u>	<u>△</u>
1978	18.90	-	28.0	-
1979	21.30	13.0%	32.25	15%
1980	24.50	15.0%	37.20	15%

Fuente: "Estudio de Factibilidad de una Planta Productora de Carbón Activado".

Autores: Ramón Arnaud H., Javier Barrón, Guillermo Gutiérrez,
José Luis Lebera, Tomás Weber.

Universidad de las Américas. Marzo 1980

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

1.- ADSORCION

La purificación es una operación practicada en casi todos los tipos de industria, laboratorio, etc., e incluso a nivel doméstico. Dependiendo del sistema de que se está hablando, hay sustancias nocivas que se requiere separar de aquéllas que queremos utilizar y obtener prácticamente solas, o en un porcentaje deseado. Al obtener esta separación, estamos hablando de la PURIFICACION de una sustancia dada.

Existen muchos métodos para lograr esta separación. Uno de ellos es la llamada adsorción que es la habilidad de un sólido para retener en su superficie las moléculas de un fluido. Para lograrla, ciertas características son necesarias como una gran área superficial, porque sólo una pequeña cantidad de moléculas se adhieren a cada metro cuadrado de superficie. Una sustancia porosa proveerá mayor área superficial. Además, como es de suponerse, la adsorción debe ser selectiva, es decir que el adsorbente debe preferir a un tipo de moléculas que a otras, y al mismo tiempo no alterar el resto de las moléculas componentes del sistema a purificar.

Las propiedades adsorbentes del carbón han sido conocidas desde hace mucho tiempo, y fue hasta épocas recientes que al carbón tratado con ciertos procesos para fines específicos se le ha llamado CARBON ACTIVADO.

Los carbones activados son capaces de cubrir varias de las necesidades para una mejor adsorción. Se habla de carbones activados ya que existen diversos tipos, según las características logradas en los diferentes procesos de producción. O sea que el término carbón activado engloba una familia de adsorbentes.

2.- NATURALEZA DEL CARBÓN ACTIVADO, TIPOS Y USOS.

En términos de granulometría hay dos tipos de carbones activados: Granular y en polvo. Los carbones en polvo son utilizados en tratamientos discontinuos; en este método la sustancia a ser tratada y el carbón son mezclados y separados posteriormente por filtración. Con carbones granulares el gas o líquido a ser tratados son pasados continuamente a través de una cama o lecho de carbón.

Clasificación del carbón activado respecto al tipo de materia prima utilizada en su producción.

El carbón activado se puede dividir de acuerdo a su procedencia en carbones de origen animal comúnmente designados como, carbón de hueso, carbones de origen vegetal y carbones de origen mineral.

Carbón de Hueso.

Se usa primordialmente en la refinación del azúcar, habiendo sido usado por esta industria desde las primeras épocas del siglo XIX; - consiste aproximadamente de un 90% de materia mineral principalmente fosfato de calcio y aproximadamente 10% de carbón. Es de estructura granular.

Carbones Vegetales.

Este tipo de carbones se obtienen a partir de madera, cáscara de coco, etc., se aplican generalmente con baja agitación al líquido que se va a tratar, en un período de 10 a 30 minutos y posteriormente su remoción por filtración. La dosis requerida depende de la naturaleza y cantidad de las impurezas que se desean remover.

Las principales aplicaciones en las fases vapor y gas son para el carbón granular. Los compuestos de azufre se remueven de corrientes de hidrógeno y de acetileno, la piridina se puede adsorber del amoníaco. El dióxido de carbono se deodoriza para producir hielo seco y bebidas carbonatadas.

Se utiliza también este carbón granular para la recuperación de solventes orgánicos. Para purificar el aire del interior de los cuartos, por recirculación a través de una cama de carbón.

El uso más amplio dado al carbón activado es en fase líquida, y es el principal objetivo que tiene esta tesis, por lo que se dedicará el capítulo siguiente a la revisión de estos procesos.

El carbón activado se puede visualizar como una espuma sólida, esto es una gran superficie dentro de un gránulo rígido.

Carbón Mineral.

Con los nombres de carbón de piedra o carbón mineral se suelen designar todos los carbones fósiles. Es un material suave con lustre sedoso.

Los combustibles minerales sólidos se hallan incompletamente car-

bonizados; son los lignitos con más de 40% de materias volátiles, - excesivamente húmedos y ricos en oxígeno, cuyo poder calorífico es inferior al de la hulla. Más reciente aún, puesto que su formación se prosigue actualmente, es la turba, que contiene, al estado seco, 35% de oxígeno, y recién extraída, cuatro quintas partes de agua.

La elaboración de carbón activado a partir de la turba, se hace cal cinando ésta con ácido fosfórico a 1200°F, se obtiene así carbón ac tivado y ácido fosfórico.

3.- FABRICACION DEL CARBON ACTIVADO

Existen muchas publicaciones sobre la activación de carbón y Méto dos de fabricación. Sin embargo, la mayoría de ellos son variación de un Método operacional básico. Este consiste de la carbonización de la materia prima bajo condiciones apropiadas, después de la cual el carbón resultante es frecuentemente sujeto a oxidación en un me dio ambiente controlado.

La carbonización generalmente se realiza en ausencia de aire. Algu nos Autores reportan que las temperaturas deben ser menores de 600° c, para producir carbones activables con vapor. Sin embargo, esto no es definitivo. La presencia de compuestos oxigenados en las ma terias primas ayudan a la formación de una estructura porosa.

La presencia de algunos constituyentes inorgánicos específicos pue de hacer posible preparar un carbón activado de amplio espectro por la carbonización sin la etapa implementaria de oxidación.

Los carbones preparados bajo ciertas condiciones de carbonización - apropiados pueden ser utilizados tal cual para muchos procesos. Sin embargo, en el caso de carbones preparados por procesos de carboni-

zación que no confieren capacidad adsorbente adecuada, son subsecuentemente sujetos a alguna forma de oxidación controlada.

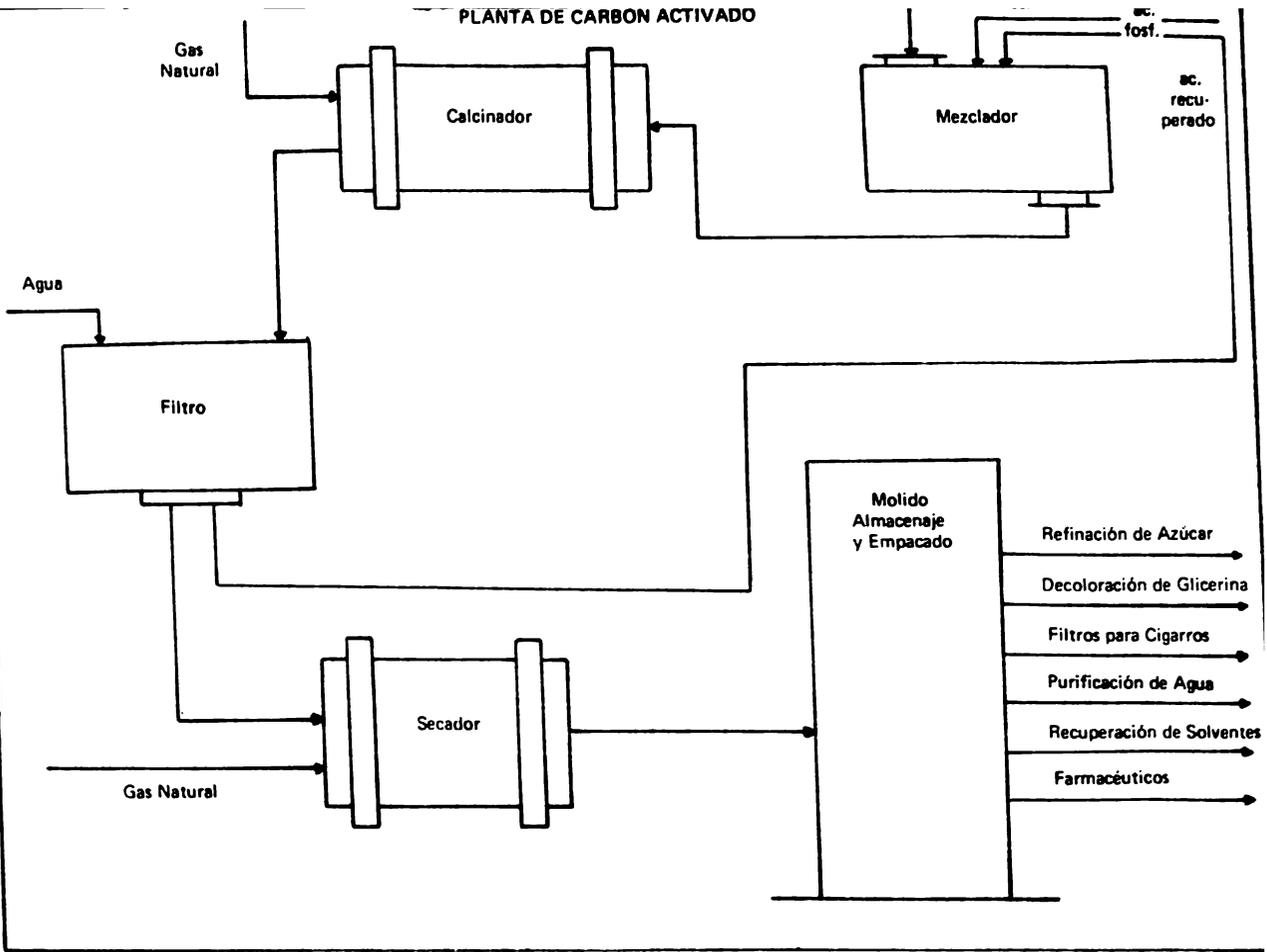
En la activación por oxidación, el poder adsorbente desarrollado es determinado por:

- 1).- La naturaleza química y concentración del gas oxidante.
- 2).- La temperatura de la reacción.
- 3).- La cantidad y clase de ingredientes minerales en el carbón.

La activación por medio de calor es esencialmente un proceso de destilación destructiva, dado que una porción del material sólido se extrae en forma de productos volátiles, dejando un residuo carbonáceo con un gran volumen de espacios internos. La activación química ordinariamente se lleva a cabo con cloruros de zinc o ácido fosfórico y usualmente se ayuda de un tratamiento térmico para obtener un resultado óptimo.

Las condiciones específicas bajo las cuales la carbonización y activación se llevan a cabo, pueden tener mucha influencia en el tipo de capacidad adsorbente que se puede obtener. Este aspecto es importante para algunas aplicaciones pero no para todas. El carbón se prepara especialmente para la refinación del azúcar, mientras que otros se obtienen en forma diferente para otros procesos, haciéndolos efectivos para adsorción de iodo o fenol. Algunas materias primas son deseables inherentemente para ciertas aplicaciones; la cubierta o cáscara del coco se encoge en la carbonización para dar un carbón deseable para la adsorción de gases y vapores, mientras que los huesos se convierten a un carbón utilizado en la refinación del azúcar. Sin embargo las características se pueden modular utilizando un proceso adecuado.

PLANTA DE CARBON ACTIVADO



.. EL CARBÓN ACTIVADO VEGETAL EN MÉXICO:

En México la principal utilización es para la purificación de soluciones:

La mayoría del carbón activado vegetal se fabrica en México; en cambio el carbón granular mineral es totalmente importado:

Cabe hacer notar que el carbón granular vegetal es totalmente mexicano:

Casi todos los carbones activados pueden retener indefinidamente su actividad; si son almacenados libres de vapores de productos químicos y humedad:

CAPITULO II

OPERACION UNITARIA RELACIONADA A LA ADSORCION POR CARBÓN ACTIVADO.

1.- INTRODUCCION

Por muchos años se utilizó el carbón de hueso en la decoloración del licor de azúcar.

Para la forma en polvo del carbón activado, lo que se utiliza es la operación discontinua. Esta operación se adoptó a muchas y muy variadas operaciones industriales.

Más tarde se produjo el carbón activado granular duro que se utilizó para el tratamiento de gases y vapores. Después se extendió al tratamiento de ciertos líquidos que así lo requerían y se generalizó con este tipo de carbón el tratamiento CONTINUO.

Se utilizó equipo similar para el uso de ambos tipos de carbón - activado y granular y en polvo.

La elección del tipo de carbón dependerá de la situación individual en cada caso.

Una ventaja de operar con el carbón granular es que éste acarrea muchas impurezas que el carbón en polvo deja en las operaciones

discontinuas. Por esta razón el tratamiento CONTINUO es catalogado por algunos como más fácil de operar que el DISCONTINUO.

Para operaciones en las que los requerimientos de carbón diarios son grandes, los carbones granulares ofrecen la ventaja de establecer métodos de regeneración los cuales reducen grandemente el costo del carbón. Sin embargo, esta ganancia puede no serlo si la investigación actual desarrolla un método satisfactorio de regeneración del carbón en polvo.

Los carbones en polvo ofrecen ventajas en muchas aplicaciones corrientes ya que su bajo costo por libra cuando los requerimientos diarios son bajos, evitan la instalación del equipo de regeneración.

La utilización del carbón en polvo se lleva a cabo en productos que pueden ser deteriorados química o biológicamente.

Otra ventaja de la utilización del carbón en polvo es que como el tratamiento es discontinuo, el equipo se puede utilizar de vez en cuando para otra producción diferente.

El tratamiento discontinuo ofrece también la ventaja de remover selectivamente una propiedad no deseada (como un olor) sin remover simultáneamente otros constituyentes adsorbibles que deben permanecer en la solución.

2.- OPERACION UNITARIA EN CONTACTO DISCONTINUO.

El equipo debe ser construido de materiales adecuados, dependiendo del líquido a ser tratado. Acero al carbón para los no corrosivos, nuevos recubrimientos protectores orgánicos en acero suave para sustancias ligeramente corrosivas, acero vidriado o acero con hule son materiales resistentes.

La capacidad del tanque dependerá de la cantidad de líquido a ser procesado, del tiempo de tratamiento incluyendo tiempo de llenado y vaciado. Debe tener un agitador pero es importante evitar excesiva turbulencia lo cual aerea el líquido.

Cuando el líquido contiene elementos sensitivos a la oxidación el tratamiento con carbón debe hacerse bajo vacío parcial o atmósfera inerte.

Es necesaria una bomba para filtrar la mezcla líquido-carbón.

Se han usado muchos tipos de filtros, y en realidad sólo son un soporte para formar la cama de depósito de sólidos.

Asimismo, los tubos deben ser convenientes para el líquido a manejar,

Los datos del laboratorio dan una pauta para saber más o menos que cantidades usar en la planta, y la experiencia establecerá un factor de relación entre el laboratorio y la planta.

Una filtración satisfactoria requiere una regulación cuidadosa de la velocidad a la cual la mezcla de carbón-líquido es llevada.

3.- APLICACION A CONTRACORRIENTE

El procedimiento normal de contacto discontinuo en un solo paso es efectivo para muchas purificaciones. Sin embargo, cuando las impurezas a remover se encuentran en grandes cantidades se necesitará utilizar gran cantidad de carbón para hacer un solo paso, lo cual no es práctico. Sanders en 1923 desarrolló la aplicación a contracorriente, la cual reduce la cantidad de carbón para completar la purificación. Los beneficios no sólo reducen los costos del carbón en muchas aplicaciones existentes, sino que facilitan entrar en nuevos mercados.

4.- PERCOLACION CONTINUA A TRAVES DE CARBON GRANULAR

En el sistema de percolación continua el líquido es pasado a través de una cama de suficiente espesor para obtener un licor terminado de la pureza requerida. La adsorción en una columna es un proceso continuo pero por conveniencia de presentación se desarrolla en varios pasos. La decoloración toma lugar en diferentes capas y a esta zona se le conoce como zona de transferencia de masa MTZ.

El flujo del líquido a través de la columna de carbón granular queda en el rango entre 41 y 410 lt/min. por m² de sección transversal de la cama. El grosor de la cama puede estar entre 3 y 12 m. Las longitudes de las profundidades de las camas usualmente son

divididas en 2 o más secciones, con cada sección tomar lugar una columna de adsorción separada.

Es posible hacer uso del principio de contracorriente por colocación flexible del arreglo de las columnas, de tal manera que la columna A recibe el líquido, continúa en la B y pasa finalmente a la C. Cuando la A se satura de impurezas el comienzo será en la B luego la C y finalmente la A que ya habrá sido rellenada con carbón fresco. Así se puede obtener una producción continua de la pureza requerida.

La relación mínima recomendada entre la altura y el diámetro de una columna es 2 a 1 ya que las relaciones más grandes mejoran los resultados.

Las columnas de fondo cónico son recomendadas para una descarga completa y rápida del carbón.

Las columnas de carbón granular son diseñadas para una económica y conveniente presión de trabajo. La presión de operación actual rara vez rebasa 1.5 Kg/m. de profundidad de cama con un líquido de 10 cps. de viscosidad. Un buen diseño da margen a un exceso de presión.

Sistemas de cama móvil.

Una cama móvil incorpora una efectiva operación a contracorriente con una columna sencilla. Los sistemas son aplicables especialmente a operaciones de escaso tamaño.

....., el flujo del líquido es ascendente a través de la cama de carbón, mientras el carbón avanza periódicamente hacia abajo a través de la columna. A intervalos de tiempo definidos, una pequeña cantidad de carbón gastado es removido de la cama para ser regenerado, y una cantidad equivalente de carbón regenerado es adicionado a la parte superior de la columna. La pureza final es asegurada ya que el líquido pasa a través de carbón fresco antes de salir de la cama.

Proceso de adsorción continuo.

Las irregularidades en el tamaño y forma de las partículas de carbón causan un empaque no uniforme de una columna. A causa de esto la resistencia al flujo del líquido no es uniforme en toda la cama, y en las regiones donde la resistencia sea menor el líquido pasará más rápido y no se purificará como es debido, por eso la cama tendrá que cambiarse antes que haya sido totalmente utilizada.

En el proceso de adsorción continuo con cama expandida se reporta que la conducta anterior no sucede. Se dice esto porque la corriente de líquido fluyendo hacia arriba provoca un estado expandido. En este estado las partículas son separadas muy ligeramente una de otra por una película de líquido móvil. Cada partícula de carbón, sin embargo, mantiene su posición relativa del conjunto y la cama expandida se mueve hacia abajo.

La velocidad de flujo requerida para mantener una cama expandida depende de la velocidad del líquido.

5.- ALMACENAMIENTO Y MANEJO

El carbón activado es comunmente empacado en bolsas, tanques y car-tones. Es también utilizado por algunos proveedores a granel.

Su almacenamiento en cuartos libres de vapores y productos químicos dará una actividad indefinida.

Los empaques no deben de ser apilados contra tubos de vapor o alam-bres eléctricos. Los focos de luz eléctrica calientes no deben de estar cerca de las bolsas. El carbón activado en forma seca no de-be de ser nunca mezclado con hipocloritos, permanganatos, ácido ní-trico o algún otro fuerte oxidante químico.

Cuando suceda un incendio, se debe utilizar una espuma tipo de la - del extinguidor o por un fino rociado de agua. NUNCA se use una - fuerte corriente de agua porque esto esparcirá las partículas de - carbón.

Muchos tipos de carbón activado tienen una alta conductividad eléc-trica, además los motores y encendedores a prueba de polvo deben - instalarse en cuartos donde el polvo de carbón esté presente.

En el caso de carbón en polvo, los problemas provenientes del polvo y la suciedad pueden ser minimizados observando unas cuantas precau-ciones:

- 1).- Cuando un embarque es recibido, remover el polvo de los empa-ques con cepillo o limpiador de vacío.

- 2).- Cuando se mueva en el almacén, acomodar los empaques en su lugar (no se les deje caer o arrojar).
- 3).- Cuando se alimente carbón en polvo, evitar las corrientes de aire y cuidar al máximo que no caiga el polvo.

CAPITULO III

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS DEL CARBÓN ACTIVADO

1.- INTRODUCCION

Se describen en esta parte diversos métodos para cumplir diferentes objetivos, los cuales tienen utilidad potencial.

El carbón activado por sí solo, provee purificación efectiva, pero en la mayoría de los casos se utiliza en operaciones combinadas.

Cuando se unen diferentes métodos de separación para llevar a cabo una purificación completa, rara vez actúan independientemente uno de otro, y la efectividad de cada paso seguido depende en el rearrreglo total.

2.- AZUCAR

Caña de Azúcar.-

El jugo de azúcar es formado durante el crecimiento de la planta, el cual antes de ser colado es clarificado.

La cal el agente de clarificación básico, convierte muchos ácidos orgánicos en sales de calcio insolubles y también remueve muchas impurezas coloidales. El jugo clarificado, es concentrado por evaporación a un jarabe (50% a 60% de azúcar) el cual es hervido en -

recipientes al vacío hasta que se forman cristales y se separen del jarabe. Estos cristales son conocidos como azúcar cruda.

Una parte del azúcar cruda es vendida para consumo directo, sin embargo, la gran mayoría es mandada a las refinerías para hacer azúcar blanca.

El primer paso de la refinación es conocido como "afinación" y consiste en lavar el cristal en una centrifuga para remover y adherir la capa de melasas. Para esto, es usado un jarabe de azúcar saturado.

Los cristales lavados, ahora con 99% de pureza son disueltos para formar un jarabe del 50 al 60% el cual es además clarificado con cal (seguido en conjunto con ácido fosfórico). La acción combinada causa coprecipitación de muchas impurezas residuales, y el jarabe filtrado está listo para la etapa de adsorción.

ETAPA DE ADSORCION

a) Carbón de Hueso.

En muchas refinerías el jarabe de azúcar clarificado caliente es percolado a través de camas de carbón de hueso el cual adsorbe y remueve color y otras sustancias orgánicas junto con sustancias inorgánicas. El carbón comienza a ser menos efectivo a medida que la percolación continúa. Cuando finalmente se satura, el flujo de licor se termina y el carbón es endulzado por adición de agua para desplazar el jarabe remanente. El carbón es reactivo por quemado de impurezas adsorbidas y es retornado para repetir el ciclo.

b) Carbón activado en polvo.-

Comparado con el carbón de hueso, el carbón activado en polvo es un - decolorante más potente. Debido a su presentación en polvo, no puede ser aplicado en refinerías de carbón de hueso. Por ejemplo, la refinación con carbón activado es para los procesos discontinuos como las operaciones a contracorriente de 2 pasos.

c) Carbón activado granular.-

El carbón activado granular ha sido utilizado por varios años tanto - para la refinación de la caña como de betabel.

En Europa se ha extendido la sustitución de carbón de hueso por fil-- tros de carbón que se usan 26 días comparados con los 4 o 6 días que dura el carbón de hueso. El carbón es satisfactoriamente reactivado en las retortas de carbón. El carbón granular es menos efectivo para remover cenizas del jarabe. La mejor operación es dada por la adición de 30 a 40% de carbón granular al carbón de hueso.

Instalaciones específicamente diseñadas para refinación del azúcar - con carbón granular activado han dado operaciones exitosas. Lo siguiente es una descripción de una cama fija en la refinación: El jarabe - de azúcar clarificado caliente es percolado a través de carbón granular colocado en columnas de fondo cónico de 2.7 m. de diámetro y de - 6-7.2 m. de altura. Cada columna es cargada con 15,900 Kg. de carbón granular junto con 1,135 Kg. de magnesita para prevenir una caída del pH. Con azúcar Louisiana coloreada ligeramente, las columnas filtran- tes trabajan continuamente por 20 - 30 días. En azúcares oscuros, -

las corridas son acortadas 16-24 días.

La cama móvil ha sido bien adaptada a la refinación del azúcar.

Azúcar de Betabel,-

El azúcar de betabel ha sido verdaderamente más purificada que la de caña, y el azúcar de betabel refinada ha sido producida sin una separación de la etapa de azúcar cruda. En los EE.UU, la carbonatación es comúnmente empleada para clarificación.

Algunos autores fundan que la aplicación de carbón activado a jugos diluidos es muy efectiva para remover color; también remueve sustancias con nitrógeno, calcio, fierro y coloides que en esta etapa es una importante ventaja. Una desventaja es que se necesita una aplicación subsecuente del carbón cuando ocurre la caramelización apreciable durante la evaporación.

Efectos del tratamiento del carbón,-

Aunque remover el color es el objetivo primordial del carbón en el proceso del azúcar, se obtienen otros beneficios, tales como remover sustancias nitrogenadas y coloides biofilicos de los jugos y licores de azúcar. El remover coloides da cambios favorables en muchas propiedades del licor como mejor filtrabilidad, resulta menos espuma en los evaporadores e incrementa la velocidad de cristalización.

Aunque no son tan efectivos como el carbón de hueso para remover cenizas, algunos carbonos activados remueven apreciables cantidades de cenizas sobre todo de fierro, calcio, alúmina y magnesia.

Se ha observado también que el tratamiento con carbón ha removido algunos microorganismos del jugo de caña,

Es deseable para operaciones de azúcar, tener una suspensión de carbón en agua, cuyo pH esté entre 6 y 8 o sea lo más cercano al 7 como sea posible. Muchos datos muestran que un carbón neutral no causará inversión.

3.- AZUCARES Y JARABES DE LA CONVERSION DE ALMIDON.

El maíz es la principal fuente de producción de almidón en América. El almidón es hidrolizado para simplificar las sustancias químicas a través de la acción de ácidos diluidos bajo calor y presión en un convertidor. Los productos de la hidrólisis son dextrina, maltosa y dextrosa. Como la hidrólisis progresa, el contenido de dextrosa se incrementa a expensas de los otros. Las condiciones de la conversión son reguladas de acuerdo a la cantidad de dextrosa requerida en el producto a ser producido.

Glucosa.-

La aplicación más extensa de carbón activado en este campo es en la manufactura de la así llamada glucosa (una mezcla de dextrina, maltosa y dextrosa en partes iguales aproximadamente). El tratamiento con carbón activado reduce el contenido de proteína, hidroximetilfurfural incoloro estable el cual no se oscurece con el tiempo.

Para la purificación de la glucosa, se recomienda utilizar el c.a., a contracorriente. El carbón activado es adicionado al jugo espeso de la glucosa en cantidades que van desde 0.6 a 7% en base al material seco. Una vez es utilizado el carbón para decolorar el jugo ligero de glucosa, mientras el carbón utilizado 2 veces es adicionado (en cantidades requeridas) al jugo convertido.

Muchas fábricas de glucosa usan el carbón activado solo 2 veces, - Por la adición del carbón utilizado 2 veces al jugo convertido neutralizado, es posible ahorrar cantidades considerables de medio filtrante. En suma, aproximadamente 30% de las materias colorantes y proteínas son removidas, mientras que el carbón después de la decoloración del jugo ligero, no está todavía totalmente saturado con materia colorante. De acuerdo a la fórmula de FREUNDLICH la adsorción se lleva a cabo aún con altas concentraciones finales.

Se necesitan temperaturas entre 70 a 80°C para cualquier tipo de proceso de carbón; el tiempo de contacto deberá ser al menos de 20 a 30 min.

Con el propósito de evaluar la eficiencia de los carbones activados, se recomienda utilizar el siguiente Método, por medio del cual es posible determinar la eficiencia de cualquier carbón dado para clarificar jugos de glucosa.

Para convertir jugo neutralizado y clarificado-filtrado o jugo ligero se adicionan varios porcentajes de carbón activado (entre 0.25 y 2%).

Después de un tiempo de contacto de unos 30 min. a 80°C el carbón es removido por filtración y se determina el porcentaje de color residual. El color puede ser medido por medio de un colorímetro fotoeléctrico. En ausencia de equipo similar, las soluciones pueden ser comparadas con soluciones diluidas del jugo original, usando tubos colorimétricos largos de unos 40 cm. Para este fin del jugo original se preparan soluciones con agua de 60, 40, 30, 10, 7.5, 5 y 2.5% en volúmen.

Eliminación de Proteínas.

Con el objeto de estimar las cantidades de proteína eliminadas con varios tipos de carbón, se han hecho pruebas, determinándose el contenido total de proteínas en jugos de glucosa tratados con varios porcentajes de carbón activado así como de aminoácidos, péptidos y peptonas. De acuerdo a los resultados que se obtuvieron se puede ver que cuando se usaron pequeñas cantidades de carbón activado-ZnCl₂ se adsorbieron más proteínas, mientras que para el caso del carbón activado por medio de gas se obtuvieron mejores resultados aplicándolo desde luego en grandes cantidades. Sólo se obtuvieron resultados desfavorables en el caso del carbón activado-ácido fosfórico.

Las cantidades de aminoácidos eliminados por carbón activado-ZnCl₂ y carbón activado por medio de gas resultaron iguales.

Por lo que se refiere a la eliminación de los aminoácidos por medio del carbón activado-ácido fosfórico no es factible.

Se concluye de los estudios, que varios tipos de carbón activado eliminan proteínas en porcentajes que van de 65 a 75%, mientras que los aminoácidos son eliminados en un 30% aproximadamente.

4.- GRASAS Y ACEITES

Los triglicéridos son los principales ingredientes de grasas y aceites de fuentes vegetales y animales. Los aceites crudos contienen menor cantidad de ácidos grasos libres que otras sustancias.

El procedimiento convencional para remover las impurezas involucra 3 pasos: neutralización, decoloración y deodorización.

El método más importante de refinación es por una solución acuosa de hidróxido de sodio. El aceite y la solución alcalina son mezclados entre 20-24°C por 10-45 min., dependiendo de las características del aceite. En la operación los ácidos grasos libres forman jabones insolubles aceitosos los cuales van al fondo del tanque de tratamiento, junto con otras impurezas precipitadas. Se remueve considerable color por el tratamiento con álcali. Se emplean métodos químicos, pero el uso de adsorbentes, es más general. Un importante adsorbente para grasas y aceites es el carbón activado. Se utiliza éste sólo para ciertos aceites, por ejem. el de coco. Para aceites como el de soya y algodón, el carbón activado se usa en conjunto con otros adsorbentes más específicos y más baratos.

La decoloración es conducida como un proceso discontinuo.

Aunque primariamente los adsorbentes son usados para remover el color, sirven también para otro propósito, como es remover jabones y otras sustancias, las cuales tienen una actuación negativa cuando el aceite es subsecuentemente hidrogenado.

El remover antioxidantes es una desventaja, pero esta desventaja ha sido subsanada por el desarrollo de antioxidantes que pueden ser adicionados subsecuentemente al aceite.

Para seleccionar un carbón, hay que recordar que ciertos métodos de activación son más efectivos para proveer una potencia adsorbente específica deseada para un aceite. El pH del carbón debe estar entre 5 y 8; los carbonos que son tanto alcalinos como ácidos pueden causar cambios destructivos en el aceite.

5.- BEBIDAS ALCOHOLICAS

Whisky.

El whisky destilado fresco tiene un olor y sabor desagradables. Durante su añejamiento, ese olor y ese sabor desaparecen y se desarrolla un bouquet característico. Ciertos ingredientes en el whisky crudo contribuyen al desarrollo del bouquet. Los aldehidos son oxidados a ácidos y éstos junto con los ácidos orgánicos originalmente presentes, combinados con los más altos alcoholes forman ésteres. Este proceso es acelerado por la presencia de carbón activado.

El carbón activado remueve sustancias que causan las trazas de mal olor y da un whisky joven que mostrará una más rápida y más grande mejora en el almacenamiento. Las características de madurez normal aparecen en el whisky que ha sido tratado con carbón activado. El tratamiento es aplicable a todos los tipos de whisky crudo, y también a ronones y brandys.

El carbón es utilizado desde hace mucho tiempo para purificar y el procedimiento es mezclar el whisky con una pequeña cantidad de carbón activado en polvo por 1 hora. Usualmente 0.1 a 0.2% de carbón es suficiente excepto para whiskys provenientes de mezclas amargas, las cuales pueden requerir de 0.3 a 0.5%. Después de la filtración, el whisky es puesto en barricas y manejado de la manera usual.

Existen muchos cambios a causa del carbón activado, que no están perfectamente definidos pero el cambio más importante es en el sabor. La mayoría de los observadores están de acuerdo en que el carbón activado mejora el sabor de todos los tipos de whiskys. Es también de similar beneficio para brandys, ronones y vodkas.

Aunque el carbón es generalmente empleado para el tratamiento de licor crudo, puede ser usado en maduración de whiskys y brandys. Cuando se aplica a un licor maduro, el carbón debe ser empleado en una pequeña cantidad ya que el sabor natural puede ser alterado.

Se ha descrito un método de transferencia de sustancia de un licor a otro. El carbón es usado para adsorber un sabor deseado de un whisky

y este carbón es transferido a otro whisky.

Vino

El uso de carbón activado para cambiar un vino en otro no está permitido, pero es empleado para mantener la calidad estandar.

La cantidad de carbón a ser adicionado varfa de 1-23 Kg. por 3800 - lt., dependiendo de las condiciones del citado vino.

Cerveza.

Cuando la cerveza es refrigerada hay algunas proteínas que precipitan causando turbieza. El carbón activado es utilizado como un purificador suplementario para remover protefnas indeseables. Una cantidad adecuada es 2.27-2.72 Kg. de carbón por 100 barriles de cerveza.

6.- PURIFICACION DE AGUAS POTABLES

El suministrar agua potable a ciertas regiones no es tarea fácil, ya que muchas veces proviene el agua de ríos contaminados con desechos industriales y municipales. Algunas formas de contaminación se remueven por los procesos unitarios de plantas de aguas municipales como son: coagulación, sedimentación, filtración. Para remover las impurezas residuales se han hecho numerosos estudios. La acción de varios agentes químicos ha sido estudiada con bastante éxito, pero con algunas restricciones. Sin embargo, el carbón activado, ha tenido un éxito total. Es insoluble, una sobre dosis no -

causa daño y lo que es más importante la contaminación es removida del agua y no se requiere ninguna práctica especial para su uso.

Carbón Activado en Polvo.

A causa de las pequeñas dosis requeridas (tan pequeñas como 0.5 partes por millón) el carbón debe ser finamente pulverizado para proveer el - contacto necesario a todas las moléculas de olor y sabor. La buena - distribución del carbón es ayudada por la adición del mismo donde haya suficiente turbulencia para distribuir las partículas de carbón a través del flujo de agua.

La aplicación de carbón en polvo a agua de suministro tiene los mismos principios que para otros usos comunes.

En la mayoría de las plantas de purificación de agua, el carbón en polvo puede ser adicionado en cualquier punto. El punto más efectivo depende de varios factores como son: intensidad del olor y la facilidad de adsorción, la influencia de agentes químicos que hayan sido usados y los efectos de unidades de planta tales como recipientes de sedimentación y filtración.

Dosificación del Carbón en Polvo.

En el Capítulo V se indica la forma de conocer con exactitud la dosis de carbón requerida.

Carbón Activado Granular.

El carbón granular fue utilizado desde hace muchísimo tiempo para la - purificación del agua, más o menos desde 1916. Después fue sustituido por el carbón activado en polvo que purifica el agua a menor costo.

Sin embargo, a vuelto a resurgir el interés por el carbón activado granular para el tratamiento de aguas contaminadas con sustancias orgánicas en la operación NITRO, ya que no fue posible con el equipo existente suministrar suficiente carbón en polvo para obtener un agua terminada aceptable.

La reactivación del carbón gastado baja mucho el costo del carbón granular y aún más al evitar el depositarlo.

La elección de uno u otro tipo de carbón dependerá de las cantidades de carbón a utilizar para que sea más conveniente alguno en cada caso.

Un nuevo factor entrará en juego cuando sea posible la reactivación del carbón en polvo.

Mercado Potencial,

El mercado del carbón activado para tratamiento de aguas está en expansión y no tiene aparentemente sustitutos.

7.- COLOIDES ORGANICOS.

El carbón activado ha sido aplicado en operaciones donde los coloides son contaminantes y así de este modo mejorar la calidad del producto.

En otras aplicaciones el coloide es el constituyente principal.

Un COLOIDE describe una manera característica en la cual una sustancia puede dispersarse en otra. El interés principal es en coloides orgánicos.

De muchos puntos de vista un sistema coloidal puede ser visto como un tipo de solución especial.

Una clasificación describe a los coloides orgánicos como grandes moléculas de al menos unos 1000 átomos.

Cuando tales sustancias como gelatina, glucógeno, albúmina, hule, son colocadas en un solvente determinado, se solubilizan como una consecuencia de afinidades específicas.

Las grandes moléculas del estado coloidal tienen diferentes formas - siendo la linear o forma de hebra la que más dificultades puede causar ya que puede formar una red, atrapando a las moléculas coloreadas y a partículas finas de carbón. Esta acción es minimizada cuando existe - un bajo número de moléculas, es decir, baja concentración. Otra alternativa es usar un solvente diferente. Por ejemplo, una laca sintética que no puede ser tratada satisfactoriamente en una solución acuosa, - puede ser tratada con un solvente consistente de partes iguales de metanol y agua.

Generalmente se utiliza el carbón finamente pulverizado para remover - completamente las trazas de coloides de un producto cristalino tal como el azúcar; pero cuando el ingrediente principal es un coloide, no se -

utiliza este tipo de carbón mencionado. Para evitar la peptización se utiliza un carbón grueso; algunas veces es necesario el uso de carbón granular duro.

Otra forma de coloide orgánico está formado por moléculas relativamente pequeñas, tales como jabón y detergentes, que pueden agruparse para formar grandes conglomerados conocidos como micelas. La habilidad para formar micelas depende de las relaciones específicas existentes entre el solvente y el soluto. Muchos detergentes forman micelas en solución acuosa, pero cuando son mezclados con otros solventes, las moléculas de detergentes permanecerán separadas como moléculas individuales.

A causa de lo anterior, algunos detergentes no pueden ser tratados con carbón para desodorizarlos o decolorarlos en solución acuosa, sino que tienen que ser tratados en un solvente en el cual no haya formación de coloide.

Resinas Sintéticas.

En el proceso de manufactura de resinas alquídicas y tipo poliéster, hay formación de cuerpos coloreados no deseables, mismos que pueden ser adsorbidos por el carbón en las primeras etapas del proceso, ya que de otro modo pueden quedar atrapadas al formarse la molécula compleja. El carbón por lo tanto después de adsorber los cuerpos coloreados tiene que ser filtrado.

Otro método en el procesamiento líquido, es recircular a través de

una columna corta carbón granular duro.

8.- PRODUCTOS ALIMENTICIOS DIFERENTES.

El uso de carbón activado constituye una parte integral del proceso de muchos productos alimenticios. No debe de ser aplicado a alimentos tales como: la leche, mayonesa, mantequilla, en los cuales el estado coloidal debe ser preservado.

Quando se quiere obtener un sabor neutro, al producto alimenticio - se le adiciona carbón suficiente para remover olor y otros contaminantes. Pero cuando un sabor natural se debe conservar se presentan grandes dificultades, ya que no siempre se pueden adsorber impurezas sin afectar simultáneamente constituyentes deseados, aunque - en otros casos si se puede lograr.

Gelatina.

El carbón activado se utiliza en la gelatina cruda para remover - olor y color. Se remueven también impurezas que causan opacamiento. El tratamiento consiste en adicionar el carbón a un 6 a 10% de solución de gelatina manteniendo la mezcla de 60 a 65°C por 30 min. y - filtrar.

Pectina.

La apariencia oscura y opaca y las características de olor son removidas tratando una solución al 1% con carbón activado por 1 hr. a - 50°C. Para prevenir la peptización se desarrolló una unidad de per

colación consistente de una parte de pulpa de celulosa íntimamente mezclada con 1 a 3 partes de carbón activado en polvo, y una capa de 2 a 4 pulgadas se coloca en la unidad filtrante. Una solución al 1% de pectina se percola a través de la unidad.

Jugos de Frutas.

El carbón debe permanecer con el jugo un número variable de horas dependiendo de qué jugo se trate de decolorar. No es el mismo tiempo por ejemplo, para el jugo de manzana que para el jugo de cereza. La decoloración del jugo de cereza no debe ser muy larga porque se puede alterar el sabor.

9.- QUIMICOS ORGANICOS.

Compuestos Orgánicos Cristalinos

Algunos Autores reportan que el uso de carbón para remover impurezas adsorbibles antes de la cristalización, da como resultado una mejor forma y un punto de fusión más alto que los cristales formados de licores no tratados. El remover impurezas adsorbibles también da como resultado una mayor eficiencia en el desarrollo de la cristalización.

Glicerina.

La destilación mejora la calidad de la glicerina, pero aún un producto destilado dos veces, seguido presente color y olor que sólo puede ser removidos por carbón activado. La destilación favorece la decoloración con carbón activado. Una glicerina doblemente des

tilada es aún más fácil de decolorar. Cenizas de baja solubilidad son requeridas en carbones para ser usados en glicerinas farmacéuticas. El tratamiento de glicerina con carbón activado es llevado a cabo a 60 u 80°C.

Lactatos y ácido láctico.

El ácido láctico es obtenido de la lactosa y otros azúcares por fermentación. Como la acción bacteriana cesa a bajo pH, el ácido es neutralizado como se forma por la adición de carbonato de calcio o hidróxido. Además el lactato de calcio es el producto final de la reacción. Cuando la fermentación se completa, la albúmina y otras proteínas en la solución son precipitadas por calentamiento a 90°C y separadas por decantación y filtración.

Varios procedimientos han sido usados para la purificación de lactato de calcio, y para la conversión a otros lactatos o a ácido láctico. En un procedimiento, el carbón activado es adicionado al licor filtrado para remover la mayoría del color. Después de la filtración la solución es hecha ligeramente ácida y tratada con otra porción de carbón. El filtrado es concentrado a 15°baumé y entonces enfriado para cristalizar el lactato de calcio. Los cristales son disueltos en una pequeña cantidad de agua a 65°C y finalmente purificados con carbón.

10.- QUIMICOS INORGANICOS Y METALES.

Algunas veces los químicos inorgánicos son purificados con carbón

arriba de 250°C para remover impurezas orgánicas. Los ioduros - pueden así ser recuperados en una forma pura y menos agua es requerida para la extracción. Más aún, el tratamiento de calentamiento ayuda en la regeneración del carbón para reusarlo.

Oro.

En el proceso de cianuro convencional, el oro es pulverizado y mezclado con una solución de cianuro de sodio para disolver el oro. La solución después de la separación por decantación y filtración, es tratada con zinc para precipitar el oro. En un método alternativo, el oro puede ser precipitado (adsorbido) pasando la solución a través de una cama de carbón activado el cual es - subsecuentemente fundido para recuperar el oro.

Otros iones metálicos.

La mayoría de los tipos de iones metálicos no son apreciablemente adsorbidos por el carbón activado, a menos que sean sometidos a condiciones especiales. Frecuentemente son utilizados coadsorbatos.

Generalmente el carbón es impregnado con el coadsorbato antes de su uso, pero en algunos casos el coadsorbato puede ser adicionado directamente en la solución. Un control apropiado de pH es - frecuentemente necesario para completar una adsorción selectiva y proveer una desorción subsecuente.

11.- SOLVENTES DE LAVADO EN SECO

En las lavanderías en las cuales se lava con agua, esta agua es -
descargada después de una simple lavada y reemplazada con una nue-
va carga. En contraste los solventes de lavado en seco tal como
el percloroetileno y solventes del petróleo, son reusados indefi-
nidamente y a menos que haya purificación para extraer la suciedad
que van dejando las prendas de vestir, ésta se depositará en las
últimas cargas.

Todas las impurezas son removidas por destilación, pero como la -
destilación resulta costosa a causa del detergente que se utiliza
para la mejor purificación, el cual dura solamente una vez, se es-
tá usando una purificación combinada. Para entenderla se va a -
describir la suciedad. Esta puede ser clasificada en tres grandes
grupos:

- a).- Suciedad insoluble
- b).- Suciedad soluble en solvente
- c).- Suciedad soluble en agua

- a).- La "suciedad insoluble" consiste en polvo, arena y otras sus-
tancias sólidas, y es removida por filtros o tubos cubiertos
con alambre de fino tamiz. Para prevenir el taponeamiento -
del filtro se emplea una precubierta de tierras diatomáceas.
- b).- La "suciedad soluble en solvente" consiste de varias sustan-
cias aceitosas, compuestos olorosos, tintas provenientes de
las telas, y otra contaminación. Esta suciedad causa un su-

cio color oscuro que es retenido por las prendas de vestir y que da muy mal aspecto.

El carbón activado es efectivo para retener muchos tipos de suciedad soluble en solvente. Dos métodos de aplicación son usados:

Un método consiste en reutilizar el solvente hasta un cierto grado, para después purificarlo enteramente con la cantidad necesaria de carbón.

Mucho mejor es el tratamiento preventivo que consiste en no dejar acumular la suciedad y mantener el solvente continuamente en condición de buen uso. El método preventivo es conocido como "después de la precubierta", a causa de la capa de carbón activado que es colocada después de las tierras diatómicas.

- c).- La "suciedad soluble en agua" es una consecuencia de la habilidad del detergente para solubilizar agua en solventes orgánicos y entonces extraer sustancias solubles en agua, ejemplo: caramelo de las prendas.

12.- APLICACIONES ANALITICAS.

El carbón activado encuentra uso ocasional en procedimientos analíticos. En algunos casos el ingrediente a ser medido es selectivamente adsorbido de la mezcla y subsecuentemente extraído en un es-

contenido de ácido nicotínico de los productos alimenticios, el ácido nicotínico es adsorbido por el carbón y subsecuentemente extraído con una solución de hidróxido de sodio en alcohol. Otros autores sugieren el uso de carbón para determinar la concentración de barbitúricos, el compuesto adsorbido es extraído con éter.

En otro tipo general de aplicación, el carbón es empleado para remover color y otras sustancias interferentes de tal manera que la solución pueda ser convenientemente analizada por los métodos convencionales.

Existen también otras aplicaciones en análisis clínicos.

Análisis Cromatográficos.

Como ordinariamente se usa, los adsorbentes separan una mezcla en 2 - fracciones, una conteniendo el ingrediente más adsorbible y otra el - menos adsorbible. El análisis cromatográfico toma ventaja del hecho de que la relativa adsorbabilidad de un número de sustancias en un - adsorbente cualquiera es susceptible a finas graduaciones.

El término C r o m a t o g r á f i c o se ha identificado con la - técnica que es utilizada para el proceso de la separación de sustan- - cias coloreadas, también cuando es utilizado un adsorbente tal como - el carbón que previene la observación del color. Cuando no se obser- van las separaciones del color, es necesario emplear otras formas pa- ra localizar la posición de las zonas individuales. El líquido o cro- matograma flotante es seguido utilizado cuando el carbón es el adsor- bente. En este método la columna, todavía en su lugar, es lavada con un solvente apropiado y el percolado es examinado ocasionalmente.

Métodos de adsorción de carbón para análisis de contaminación orgánica en aguas de suministro.

En los últimos años la calidad de muchas aguas de suministro han sido adversamente afectadas por factores asociados con el tremendo crecimiento en la producción de químicos industriales,

La mayoría de los contaminantes son compuestos orgánicos altamente estabilizados que no son destruidos por tratamiento químico o biológico,

La contaminación orgánica no es apreciablemente removida por los pasos de coagulación, clorinación y filtración empleados en las plantas de purificación de aguas. El carbón activado es utilizado en cantidades suficientes para hacer el agua potable y eliminar la espuma.

Se ha encontrado que la adsorción-desorción con carbón activado es una manera efectiva de concentrar la contaminación. En un equipo especialmente instalado, el agua a ser estudiada pasa a través de una cama de carbón activado granular colocada en un tubo filtro de 7,62 cm. de diámetro por 45,72 cm. de longitud. La velocidad es de 0,95 lt/min. Después de que han sido pasados de 3000 a 5000 galones de agua a través del filtro, el carbón es removido y extraído con cloroformo. El cloroformo es entonces separado por destilación dejando un residuo conocido como el "extracto carbón-cloroformo". El proceso es generalmente finalizado con la extracción ya sea con cloroformo o alcohol.

A causa de que el carbón toma muchas sustancias adsorbidas muy tenazmente, no toda la contaminación es desorbida y recuperada para su examen. No siempre es fácil identificar los ingredientes separados, pero así ha sido llevado a cabo con éxito la localización de orígenes de contaminación y establecer la causa del daño.

CAPITULO IV

PURIFICACION DE AGUA - DOMESTICA E INDUSTRIAL

1.- INTRODUCCION

En un ciclo normal de vida, una planta verde usa la luz solar para convertir el dióxido de carbono y agua en oxígeno y compuestos orgánicos complejos tales como carbohidratos en los cuales la energía es almacenada. Cuando los animales comen plantas, parte de la comida forma el tejido estructural para el crecimiento y parte proporciona la energía funcional.

La energía almacenada es utilizada para realizar las actividades de los seres vivientes cuando las sustancias tales como los carbohidratos son oxidados durante la respiración. Algunas porciones son totalmente oxidadas a dióxido de carbono y agua, pero otras porciones de comida vegetal son sólo parcialmente oxidadas y son descargadas por el animal en forma líquida o sólida como suciedad. Así microorganismos aeróbicos completan la oxidación a dióxido de carbono y agua, nutrientes para la vida vegetal.

En una sociedad rústica, la vida continúa de esta manera.

El incremento de vida urbana y por lo tanto de desechos, a causa de que no sea suficiente el oxígeno para oxidar todos éstos y los ha convertido en una corriente de contaminación muy evidente.

2.- TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Un obvio remedio fue emplear caminos y medios naturales ejem, oxidación por la ayuda de microorganismos aeróbicos. Para completar esto, filtros por goteo y recipientes de "Arcilla" activada fueron desarrollados para utilizar la potencia de oxidación de microorganismos en una escala masiva, una operación conocida como; "Tratamiento secundario" y también "convencional secundario"

3.- EUTROFICACION

Viene del griego eutrofos que significa bien nutrido. Como es usado hoy en día se refiere a la sobrealimentación de caminos de agua con nutrientes de inorgánicos vegetales (amoníaco, nitratos y fosfatos). Cuando la vida vegetal acuática es sobrenutrida, el crecimiento viene muy prolífico y muy abundante. Entonces las capas superiores de vida vegetal guardan la luz solar de las capas inferiores las cuales mueren como resultado. Una carencia de suficiente oxígeno disuelto en el agua previene a los microorganismos aeróbicos de oxidar a las plantas muertas. En cambio, un pantano en pudrición forma una masa y se hunde al fondo.

4.- TRATAMIENTO TERCARIO

El tratamiento terciario incluye muchos patrones para condiciones específicas, pero la mayoría incluye adsorción por carbón activado usualmente precedido por clarificación química. Ambas formas,

de carbón activado granular y en polvo han sido y siguen siendo estudiadas.

Clarificación.

Los coagulantes estudiados incluyen alúmina, cloruro, férrico, cal y polielectrolitos orgánicos. Todos forman conjuntos que coleccionan - sólidos suspendidos y coloides orgánicos. Los coagulantes inorgánicos también insolubilizan y coleccionan fosfatos.

La cal puede ser adicionada en concentraciones adecuadas para aumentar el pH, nivel que facilita remover el amoníaco por agotamiento con aire.

La formación del conglomerado requiere 15 min., entonces el agua va a un clarificador en donde se agrupan los conjuntos aglomerados generalmente una hora.

Filtros adsorbentes de carbón.

El clarificado de agua de desecho es bombeado a presión suficiente para proveer un flujo de 205 a 410 lt/min-m². La velocidad óptima depende de las circunstancias locales. Entre más lenta una velocidad, necesita un equipo de mayor tamaño, y al ser más rápida necesitará un tiempo de residencia suficiente para realizar una adsorción adecuada. El rango del tiempo de residencia va entre 15 y 50 min.

Camas expandidas contra fijadas.

El flujo en los adsorbedores puede ser hacia adelante o hacia atrás a

través de camas en las cuales los gránulos de carbón permanecen estacionarios en posición fija, "camas fijas". Las camas fijas remueven material en partículas cuando está presente en el agua de desecho clarificada. La acumulación de partículas son removidas de la cama por retrolavado.

Con flujo ascendente, la velocidad de flujo puede ser incrementada suficientemente para separar ligeramente los gránulos de carbón y formar una cama expandida'. Las camas expandidas y fijas remueven equivalentemente los constituyentes orgánicos disueltos, pero las diferencias son observadas en otros aspectos operacionales. Las ventajas reportadas para camas expandidas son las siguientes:

- a).- Requieren menos presión de bombeo
- b).- La aereación es más eficaz.
- c).- Menos tiempo para el regreso.

Arreglos en serie.

Las camas expandidas y también las fijas son arregladas en serie consistente de 2, 3 o más adsorbedores. Dos unidades se considera un arreglo económicamente óptimo.

Arreglo en paralelo.

Este arreglo puede ser usado cuando la remoción parcial de la contaminación es requerida. (Fig. 4.1)

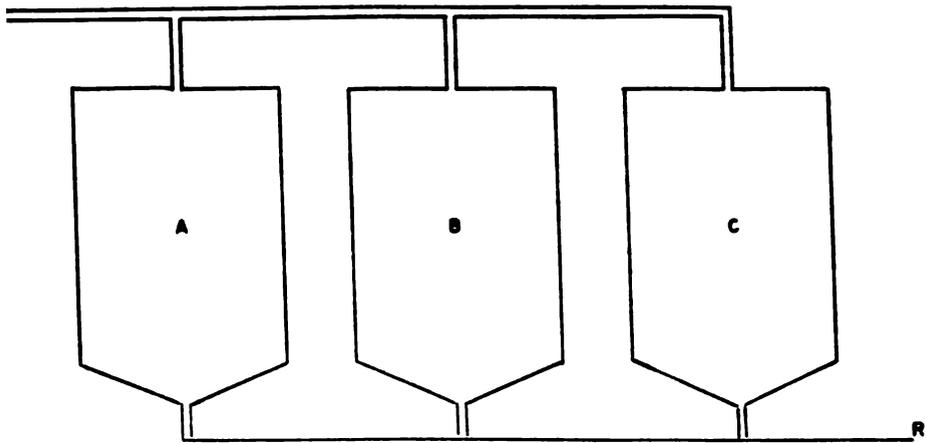


FIG 4-1 Arreglo en paralelo para columna de percolacion: A,B,C con-
 teniendo carbón regular, en el flujo descendente, el liquido entra
 al sistema en L y sale en R. En el flujo ascendente, el liquido en-
 tra al sistema en R y sale en L.

Camu Móvil o Pulsante

El patrón de flujo ascendente desarrolla una camu móvil, o como es gene-
 ralmente llamada "camu pulsante". En ésta el flujo del agua de desecho
 asciende a contracorriente a través de una caja fija descendente.

de carbón. Cuando el poder adsorbente del carbón de la sección - del fondo de la cama está exhausto, esta porción del carbón es re- movida para regeneración. El adsorbente es rellenado por una can- tidad equivalente de carbón virgen o regenerado en la parte supe- rior de la cama. Este método de operación ha tenido mucho éxito.

Limitaciones del tratamiento terciario.

Aunque la eficacia del tratamiento terciario para aguas de desecho de la industria ligera y agua doméstica ha sido bien probada, exis- ten limitaciones para este tratamiento, ejem: cuando el tratamien- to secundario no da un efluente de calidad uniforme ya que es afec- tado por cambios de temperatura, pH u otras.

5.- TRATAMIENTO FISICOQUIMICO DE AGUAS DE DESECHO.

La aplicación es hecha, al agua de desecho cruda después de la se- paración primaria de sólidos visibles.

El tratamiento fisicoquímico nos da mayor remoción de contamina- ción orgánica que aquél llevado a cabo por el tratamiento secunda- rio tradicional y los resultados frecuentemente están a la par - con el sistema terciario.

El éxito tecnológico ha hecho investigar el aspecto económico y - otros. En comparación con el tratamiento secundario convencional, el tratamiento fisicoquímico requiere mucho menos tierra e inver- sión de capital, causa menos olor y forma menos 'arcilla'. La in-

versión de capital es mucho menor que para el tratamiento terciario, excepto donde un secundario convencional ya está instalado.

6.- NUTRIENTES VEGETALES INORGANICOS.

Compuestos de fósforo.

Usualmente están presentes en el drenaje doméstico como fosfatos, - son efectivamente insolubilizados y removidos por los coagulantes - inorgánicos (alúmina, cloruro, férrico, cal) usados en la clarificación del tratamiento terciario. La remoción es generalmente mayor del 90%

Compuestos nitrogenados.

No han sido desarrollados métodos seguros para la remoción consistente de compuestos nitrogenados bajo diversas condiciones. El nitrógeno en el desague doméstico crudo está presente principalmente como amoníaco y nitrógeno orgánico. Parte del nitrógeno orgánico es convertido a amoníaco durante el tratamiento secundario; otra parte es removida por clarificación química y otra parte más por carbón. El amoníaco no es removido ni por clarificación química - ni por carbón.

En climas templados, el agotamiento con aire es exitosamente usado para remover aproximadamente 90% de amoníaco de efluentes secundarios teniendo un alto pH. Sin embargo, el agotamiento con aire no es efectivo a bajas temperaturas.

El amoniaco ha sido exitosamente removido por intercambio iónico, pero el costo es considerable.

7.- REGENERACION.

La regeneración efectiva es esencial para el uso económico de carbón. La regeneración exitosa del carbón granular en una fracción del costo del carbón virgen es ahora una práctica rutinaria. Cubre un rango del 90 al 95%. El carbón regenerado nos da una agua terminada igual en calidad que la obtenida con carbón virgen. La capacidad de adsorción puede ser ligeramente menor que la del virgen.

8.- CARBON EN POLVO.

En general no ha progresado la aplicación del carbón activado en polvo para purificación de agua, debido a que no existen métodos bien desarrollados para la regeneración del mismo.

CAPITULO V

DETERMINACION DEL TRATAMIENTO, TIPO DE CARBON ACTIVADO Y DOSIFICACION EN SISTEMAS LIQUIDOS.

El primer paso en el estudio de una purificación es delinear las características del sistema en estudio después de lo cual una selección tentativa del método o métodos puede ser hecha.

La cristalización, destilación, precipitación, agentes químicos, son algunos de los métodos a ser considerados. Ningún método de separación es universalmente aplicable; la utilización de cada uno es relativa al sistema a ser tratado. Con algunas operaciones hay poca o ninguna dificultad en decidir que método de separación se debe usar, pero frecuentemente encontramos situaciones donde varios métodos pueden ser usados. Además hay sistemas que requieren una combinación de varios métodos.

Quando tenemos carencia de datos analíticos como en general es el caso, es necesario utilizar la conducta de las propiedades no deseadas para diagnosticar una situación. Como cualquier propiedad medible puede servir para describir el "modus operandi", consideramos una situación hipotética en la cual un color no deseado va a ser removido. El primer paso será agregar una cierta dosis de carbones activados apropiados a porciones del líquido a ser decolorado y mantener contacto bajo condiciones que pueden ser empleadas en una operación industrial. Si no hay decoloración (asumiendo que el color no es una propiedad del producto mismo) esto indica que los cuerpos coloreados no son adsorbibles y tenemos que buscar otras formas.

Sin embargo, si el líquido es decolorado suficientemente, esto indica que la contaminación es adsorbible y está presente en pequeñas concentraciones en donde un pequeño estudio puede ser suficiente para encontrar condiciones de operación óptimas.

Otra posibilidad es que el examen preliminar puede mostrar una apreciable decoloración, pero no suficiente para los promedios de calidad del producto. Los resultados pueden ser interpretados para mostrar la presencia de:

- a).- Cuerpos coloreados que son adsorbibles pero presentes en concentraciones muy grandes para ser satisfactoriamente adsorbidos para la dosificación de carbón usado.
- b).- Una pequeña concentración de un cuerpo coloreado débilmente adsorbido.

Una u otra conclusión sugerirá la posibilidad de buscar otros métodos de separación a ser usados, ya sea en conjunto con el carbón activado o sustituyéndolo completamente. Antes de buscar otros métodos es bueno explorar la posibilidad de que condiciones experimentales más adecuadas pueden dar la decoloración necesitada adicional.

Probablemente el factor más grandemente contribuyente para la decoloración efectiva es la selección del carbón apropiado. Un carbón no es el mejor para todas las aplicaciones. Esto lo podemos ver en la Fig. 5-1,

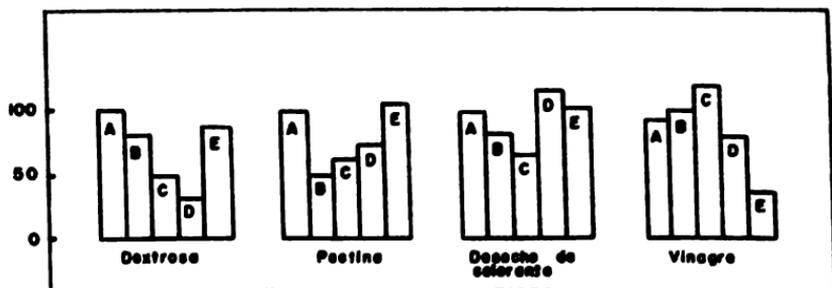


FIG.- 5-1 Poder relativo decolorante de cinco diferentes grados de carbón.

El carbón E en promedio es el mejor, pero sin embargo, para el vinagre es el peor.

La habilidad de un carbón depende de la muestra a ser tratada, consecuentemente el examen de un nuevo riesgo debería incluir varios tipos de carbón activado. En la selección deben considerarse aspectos como filtración y densidad las cuales pueden influenciar la actuación en la operación de una planta. La selección de carbones estará gobernada por el hecho de que el tratamiento será conducido a granel con carbón en polvo, o por percolación a través de una cama de carbón granular. Propiedades tales como pH y cenizas pueden necesitar examen; un bajo pH puede ser usado para caña de azúcar y alto contenido de ceniza soluble no es aceptable para la glicerina.

De los carbones seleccionados cantidades apropiadas de cada uno son adicionadas para medir porciones del líquido a ser tratado bajo condiciones que se juzguen adecuadas para operación a nivel de planta, des-

pues de lo cual el carbon es separado por filtración. Estas mezclas de carbón razonablemente aceptables deben ser incluidas en todas las pruebas subsecuentes involucrando variaciones en condiciones experimentales. Se puntualiza que no todos los tipos de carbón responden similarmente a los cambios en condiciones de operación, consecuentemente el carbón que muestra las mejores cualidades en la prueba inicial, puede no ser el mejor bajo condiciones de operación finalmente adoptadas.

Las variaciones en las condiciones experimentales deben de quedar dentro de los límites que pueden ser tolerados por el producto y deben ser tales que puedan adaptarse a escala de planta. Los cambios experimentales en el pH, temperatura y otras condiciones deben ser hechos en pequeños pasos, de tal manera un óptimo beneficio es encontrado en un estrecho rango.

El desarrollo de una gran área de contacto por unidad de peso, es tan solo una parte del proceso total de activación. El área se puede considerar como un factor de capacidad de la energía involucrada en la adsorción en la superficie del carbón. El factor de intensidad correspondiente parece ser derivado de la naturaleza de la tensión interfacial, como se sugiere por la forma de ecuación diferencial de la ecuación de Gibbs para adsorción en soluciones:

$$\frac{RT}{C} dC = -wda$$

en donde C es la concentración del soluto, a es el área interfacial, σ es la tensión interfacial, $-wda$ es el cambio diferencial en la energía interfacial asociada al cambio diferencial en la concentración de soluto dC.

Si aceptamos la premisa fundamental de que la adsorción ocurre únicamente en la interfase sólido-líquido, esto es, que la reducción de la concentración en la solución es totalmente controlada por la transferencia de soluto a la interfase, deducimos que la cantidad en exceso de soluto por unidad de área de interfase es una función de la tensión interfasial. Esto por supuesto a su vez se puede ver influido por algunas propiedades de superficie, como por ejemplo la configuración de la superficie de los átomos de carbón, ligaduras, valencia, etc., y tales propiedades del soluto adsorbido como la orientación molecular, polaridad, etc., concierne a lo mucho que se ha escrito en la literatura sobre carbón activado.

El acondicionamiento de la superficie se ve afectado por el control de la temperatura de activación, el tiempo, la atmósfera de activación, - que puede ser modificada con el uso de oxidantes ligeros tales como el vapor o el bióxido de carbono. La materia prima usada también influye el carácter superficial del producto terminado.

La temperatura como factor de adsorción.

La temperatura del tratamiento se determina por la naturaleza de los líquidos a los que se les debe dar tratamiento. En general es ventajoso tratar a altas temperaturas tanto como lo permita la naturaleza del líquido. Esto es en apariencia una contradicción a las consideraciones teóricas, de acuerdo con la ecuación de Gibbs:

$$a = - \frac{C}{RT} \frac{d\sigma}{dC}$$

a: moles adsorbidas por cm^2 de interfase.

La ecuación indica que a un aumento de temperatura corresponde un decremento en adsorción. En la realidad el factor gobernante del proceso parece ser la viscosidad; dado que ésta disminuye con el incremento de la temperatura y aumenta la penetración del líquido dentro de la estructura capilar submicroscópica del carbón.

En el caso del azúcar y otras soluciones orgánicas, se tiene un límite superior en la temperatura del tratamiento por el efecto del calor sobre el soluto que se va a purificar. Por ello las soluciones de azúcar, dependiendo del tipo, se tratan aproximadamente entre 68 y 85°C. En soluciones donde el calentamiento no ocasiona oscurecimiento o descomposición el tratamiento con carbón se lleva a cabo lo más cercano posible al punto de ebullición.

Con ceras y otras sustancias licuables la temperatura de tratamiento debe estar lo suficientemente por encima del punto de fusión, para asegurar que no haya solidificación en los tanques de tratamiento, bombas o filtros. Los filtros enchaquetados se usan con alguna frecuencia en el manejo de estos materiales. No hay ninguna regla general que se pueda establecer, en muchos casos es satisfactoria una temperatura de 10 a 15°C. por arriba del punto de fusión pero puede ser necesaria la aplicación de temperaturas superiores para reducir la viscosidad hasta un punto en el cual se haga posible el manejo adecuado del material.

La temperatura tiene un efecto definitivo sobre la adsorción de sustancias volátiles, el equilibrio de adsorción se desplaza en dirección de desorción con el incremento de la temperatura. Con adsorbatos volátiles,

especialmente cuando el líquido tiene baja viscosidad, se lleva mejor a temperatura ambiente, o aún menor si es posible. En tales casos se recomienda un tiempo de contacto superior a lo usual en 10 a 30 minutos.

El tiempo como factor en la adsorción.

Con frecuencia se establece que la adsorción es un proceso instantáneo. Cuando se añade carbón activado en polvo a un líquido se requiere de algún tiempo para alcanzar el equilibrio de adsorción. Aunque el carbón activado tiene una partícula cuya área de contacto es sumamente pequeña, a cada partícula suspendida se le debe de considerar como una esfera de adsorción definida, muchas veces mayor en volumen que la partícula en sí misma, y que debe "barrer" esta esfera bajo el impulso de la agitación para llevar a cabo la reducción total en concentración de la cual la extensión y naturaleza de su área sean capaces.

El tiempo de contacto requerido para alcanzar el equilibrio de adsorción es inversamente proporcional a la dosis de carbón usado. Esto queda -- ilustrado en el caso de los carbones usados para remover sabores y olores del agua. Las dosis empleadas se encuentran en el orden de uno a cinco partes por millón, y un tiempo de contacto de 90 a 120 minutos o más, con agitación efectiva, con objeto de alcanzar el equilibrio. Por la misma razón, se requiere de mayor tiempo de contacto cuando se usan carbones de alta capacidad de adsorción que con aquéllos de menor capacidad.

Menores dosis se requerirán para alcanzar una cantidad dada de adsorción y con ello se deberá usar un mayor tiempo de contacto para permitir a las partículas barrer el líquido completamente y consumir así la máxima reducción posible del adsorbato.

El efecto de la viscosidad en la penetración del líquido dentro de la estructura capilar del carbón ya se ha mencionado; ésta y el efecto de la viscosidad al detener el movimiento de la partícula durante la agitación, son factores que afectan el tiempo de contacto para alcanzar el equilibrio.

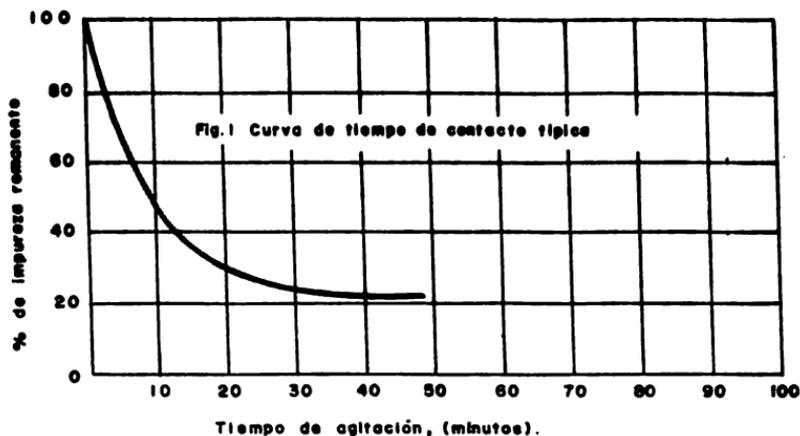


FIG. 5-2

Un tercer factor que no se encuentra comúnmente es la cantidad de materia suspendida diferente al carbón. Si esta cantidad es considerable, se reducirá el "camino libre promedio" de la partícula de carbón al barrer su "esfera de adsorción" y aumentará el tiempo de contacto necesario.

El curso seguido por la adsorción con el tiempo, y el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio, se puede mostrar, graficándose una curva de tiempo de contacto. Esto se hace tratando una serie de muestras de la solución a diferentes períodos y a dosis constantes de carbón. El color residual o la concentración de adsorbato se grafican contra el correspondiente tiempo de contacto. En general, la concentración residual cae rápidamente en los primeros diez minutos, y a partir de entonces se hace más lenta. Es parte de la curva tiene la apariencia de una asíntota siguiendo el eje del tiempo. En aplicaciones prácticas, el tiempo de contacto se escoge antes de la formación de la asíntota.

El pH como factor en la adsorción.

Se establece con cierta frecuencia que el carbón adsorbe con mayor eficacia en soluciones ácidas que en soluciones alcalinas. Sucede que esta generalización es correcta en muchas aplicaciones industriales, pero no se puede utilizar como criterio base. El efecto principal del pH sobre la adsorción del carbón parece ser indirecto, a través de su influencia sobre la solubilidad del adsorbato. A manera de regla, se asocia la máxima adsorbabilidad con la mínima solubilidad, y esto ocurre frecuentemente en el rango del pH alcalino. Los alcaloides, por ejemplo, se adsorben más fuertemente en este rango que en solución ácida, donde su solubilidad es usualmente mayor, también, si el adsorbato es coloidal y tiene un punto isoeléctrico o un rango del lado alcalino se adsorberá más fuertemente en ese punto que en solución ácida.

Los iones metálicos en solución no se adsorben fuertemente por carbones decolorantes, pero si se ajusta el pH en dirección alcalina se --

empieza a formar un hidróxido coloidal y otro compuesto dispersado coloidalmente, y se hace posible una buena adsorción.

La impresión de que los carbones adsorben mejor en soluciones ácidas - que en soluciones alcalinas probablemente nació del hecho de que en un pH de 9.5 a 10, muchas sustancias son susceptibles de hidrólisis, con la consecuente simplificación de la estructura física y química, y por lo tanto baja su adsorbabilidad.

También se entiende que a mayor rango alcalino, la parte que juega la alcalinidad al determinar la tensión interfasial entre la superficie - del carbón es la dominante: las curvas σ_c de las soluciones alcalinas, ordinariamente tienen pendiente positiva, mientras que para la adsorción el prerequisite es una curva σ_c de pendiente negativa. Entonces se debe esperar que en términos de tensión interfasial, los - álcalis que tengan una curva σ_c con pendiente positiva efectuarán el equilibrio en dirección de la adsorción.

El equilibrio de desorción en la alcalinidad, tanto con hidrólisis como sin ella, se indica por el hecho de que es posible con cierta frecuencia efectuar cierta regeneración del carbón que ha adsorbido una - sustancia en un rango de pH bajo, sujetándolo a un lavado alcalino. - El adsorbato se puede recuperar sin un cambio sustancial en alcalinidad moderadas, pero cuando éstas son elevadas el material recuperado - puede encontrarse parcial o totalmente hidrolizado.

DOSIFICACION DEL CARBON

La isoterma de adsorción de Freundlich.

Una vez que se ha establecido la temperatura y el tiempo de contacto la tercera variable que se debe fijar en cualquier aplicación es la dosis mínima de carbón. Para ésto, es sumamente usual la ecuación empírica de Freundlich para adsorción, y su gráfica en papel logarítmico, comúnmente conocida como la isoterma de adsorción de Freundlich.

La ecuación de Freundlich se expresa normalmente como $X/M = KC^{1/n}$. Donde, X son unidades de adsorbato mantenidas por el carbón, y M es el peso de carbón con el que tal adsorción se efectuó. C es la concentración de la sustancia remanente no adsorbida en el equilibrio. Las dos constantes K y $1/n$ son particulares del sistema tanto por el tipo de carbón usado como por la naturaleza del adsorbato. La ecuación correlaciona la capacidad de adsorción por peso unitario de carbón, X/M, con la concentración de adsorbato remanente en la solución en equilibrio.

La ecuación en forma logarítmica es:

$$\log \frac{X}{M} = \log K + 1/n \log C$$

que es la ecuación de la línea recta con una pendiente de $1/n$ y una intercepción en K cuando $C = 1$. El valor numérico de K depende de las unidades empleadas para expresar C.

Los datos se grafican como X/M contra C en papel logarítmico, y dará generalmente una línea recta en un rango de concentración considerable.

El problema de determinar la dosis de carbón en usos industriales se puede establecer como sigue: ¿ Qué dosis es necesaria para alcanzar una concentración residual permisible de impureza ? El procedimiento de laboratorio consiste en tratar una serie de muestras de la solución líquida en cuestión con diferentes cantidades de carbón, junto con una muestra testigo en la que no se use carbón, por un período y a una temperatura indicada por pruebas preliminares de estos dos factores. Si no se sabe nada acerca de la respuesta de la impureza a la adsorción es recomendable una prueba amplia, con dosis bien diferentes y espaciadas, por ejemplo 0.5, 1.0, 2.0 y 3.0 %, y una segunda serie más estrecha, por ejemplo 0.1, 0.3, 0.5, 0.8 y 1.2 %.

Al completarse el tratamiento se filtra el carbón y se determina la impureza residual a cada filtrado, incluyendo el blanco. Se tabulan los resultados sobre ácido benzoico.

Tabla 5-1. Datos de adsorción de ácido benzoico
(Pruebas en muestras de 50 cm³ de solución, C₀ = 0.15 gr.)

M (gr. dosis de carbón.)	C (gr./50 cm ³ ácido benzoico residual)	X (gr. ácido adsorbido) C ₀ - C	X/M (gr. ácido adsorbido de - 50 cm ³ /gr. de carbón).
0.0	0.1500	- - - -	- - - - -
0.2	0.0900	0.0600	0.3000
0.4	0.0560	0.0940	0.2350
0.7	0.0256	0.1244	0.1791

1.0	0.0136	0.1364	0.1364
1.5	0.0070	0.1430	0.0953
2.0	0.0040	0.1460	0.0730

C_0 es la concentración de la muestra testigo

Supongamos que buscamos la dosis que alcance una concentración de 0.01 g/50 cc. De la isoterma se lee el valor de 0.113 para X/M . El valor de $X = 0.15 = 0.01 = 0.14$; entonces $0.14/M = 0.113$, $M = 1.24$ g/50 cc.

Se desearía saber quizá, porqué no se sigue el procedimiento de graficar M contra C y leer directamente M . La razón es que en general una gráfica M vs. C es curvilínea en cualquier rango y tipo común de coordenadas; la linealidad de la gráfica X/M vs. C en coordenadas logarítmicas es muy útil para verificar alguna anomalía en la adsorción, que no es detectable en una gráfica M vs. C . Aún más, la constante $1/n$, no se le puede dar un valor numérico en tal gráfica, y como se va a discutir en una sección posterior, esta constante es necesaria para el cálculo de dosis a contracorriente en el caso de que la dosis simple se encuentre muy elevada desde el punto de vista del costo de operación. En la gráfica X/M vs. C , $1/n$ es numéricamente igual a la pendiente de la línea recta y como tal se determina en forma muy simple.

Es posible determinar tanto M como $1/n$ gráficamente de la isoterma y graficarla nuevamente sin computar ni X ni X/M , si C se expresa como porcentaje de C_0 . Esto se efectúa usando un papel logarítmico en el que se ha especificado X y C en unidades de porcentaje, y una regla dividida logarítmicamente como se muestra en la gráfica. (Fig. 5 - 4) X vs. C .

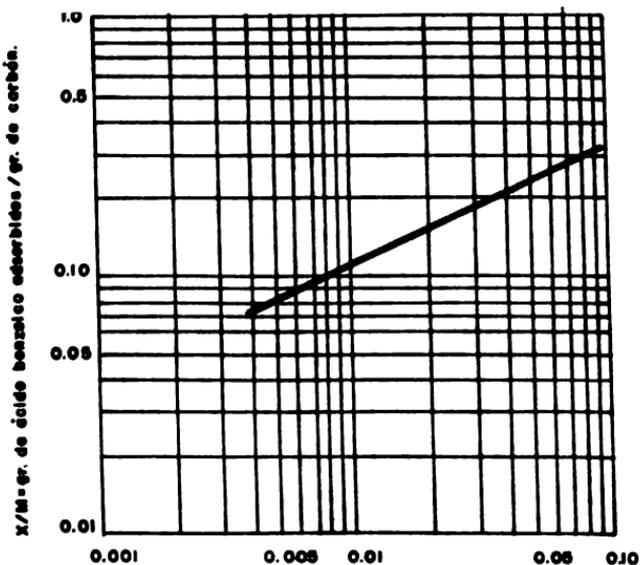
se usa como curva guía, para encontrar un punto en particular (M, C), se sobrepone en la gráfica la escala M en la línea C en cuestión el 1 de la escala M se coloca en la curva guía impresa. El punto se grafica haciendo una marca sobre la gráfica en la escala M en cuestión.

Matemáticamente esta es una operación de regla de cálculo, la curva - guía se hace apuntar en el 1 de la regla M. Al valor de las X se sustrae $\log M$ de $\log X$, dando los (X/M) , la ordenada buscada para la abscisa correspondiente C. Entonces X/M se grafica contra C directamente de los datos de laboratorio M y C.

La solución de M para alcanzar la Cf deseada (concentración residual permisible), se lleva a cabo gráficamente colocando la regla M como - se indicó con el 1 en la curva guía y la orilla de la regla M en la - línea Cf. El valor de M buscado se lee en el punto donde la línea isoterma corta la regla M.

La conveniencia de este método de graficar es que hace posible la solución de la ecuación de Freundlich para C cuando se da M. Esto no - se puede hacer algebraicamente. Gráficamente, se lleva a cabo usando la curva guía como una base en la que el 1 de la regla M, que se mueve sobre el papel hasta que se corte la isoterma graficada en el valor dado de M.

La línea de C en la cual ocurre, es el valor buscado.



C = ácido benzóico remanente en solución, gr./50 ml.

FIG. 5-3 Isotherma de adsorción de ácido benzóico.

En el reverso de la regla M se encuentra la escala $1/n$, dividida aritméticamente por medio de la cual la pendiente de la isoterma se puede medir rápidamente.

Esta gráfica es útil particularmente para calcular dosis de carbón a contracorriente, tema tratado en detalle posteriormente.

LA ECUACION DE FREUNDLICH SE APLICA CUANDO LA CONCENTRACION C SE EXPRESA EN UNIDADES DE INTENSIDAD DE COLOR U OLO, TENIENDO CUIDADO QUE DE LAS UNIDADES EMPLEADAS SEAN LINEALMENTE PROPORCIONALES A LA CONCENTRACION REAL AL COLOR U OLO DE LAS SUSTANCIAS ADSORBIDAS. DE HECHO, ES MUY EXTRAÑO EN TRABAJOS INDUSTRIALES DETERMINAR LA COMPOSICION O LA CONCENTRACION GRAVIMETRICA DE UN ADSORBATO COLORIDO O CONSTANTE DE OLO. ESTE HECHO SE DEBE TENER MUY CLARO AL CONSIDERAR LA CAPACIDAD DE DECOLORACION O LA DEODORIZACION DE LOS CARBONES ACTIVADOS. EL COLOR O EL OLO SE PUEDE ADSORBER CON UNA DOSIS RELATIVAMENTE PEQUEÑA DE CARBÓN DE UN TIPO DE SOLUCION QUE DE OTRA, EXCLUSIVAMENTE DEBIDO A UNA CANTIDAD GRAVIMETRICA MENOR DE ADSORBATO INVOLUCRADO, AUN CUANDO PUEDA TENER MÁS COLOR U OLO POR UNIDAD DE PESO. INVERSAMENTE, UN COLOR U OLO MUY TENUES PUEDEN REQUERIR UNA DOSIS ELEVADA DE CARBÓN DEBIDO A SU ASOCIACION CON UNA CONCENTRACION GRAVIMETRICA ELEVADA DE ADSORBATO.

LA PENDIENTE $1/n$ DE LA ECUACION DE FREUNDLICH ES UN INDICE DE LA FACILIDAD O DIFICULTAD CON LA CUAL SE ADSORBE UN COLOR O UN OLO. EN VISTA DEL AMPLIO RANGO DE PROPORCIONALIDAD POSIBLE ENTRE ÉSTAS Y LAS CONCENTRACIONES REALES DE ADSORBATOS, TALES ISOTERMAS TIENEN UN RANGO DE PENDIENTES QUE VA DESDE 0.1 O MENOS A VALORES TAN ALTOS COMO 2.0 O AUN 3.0, $1/n$ SIEMPRE ES MAYOR DE CERO.

DESVIACIONES DE LA ECUACION DE FREUNDLICH

HAY DOS TIPOS DE CASOS EN LOS CUALES NO SE OBTIENE UNA LINEA RECTA CONTINUA. EN UNO DE ELLOS FRECUENTEMENTE ENCONTRADO EN LA DECOLORACION DEL ACEITE VEGETAL Y OCASIONALMENTE EN OTROS LIQUIDOS ES UNA DISCONTINUIDAD ABRUPTA EN LA ADSORCION.

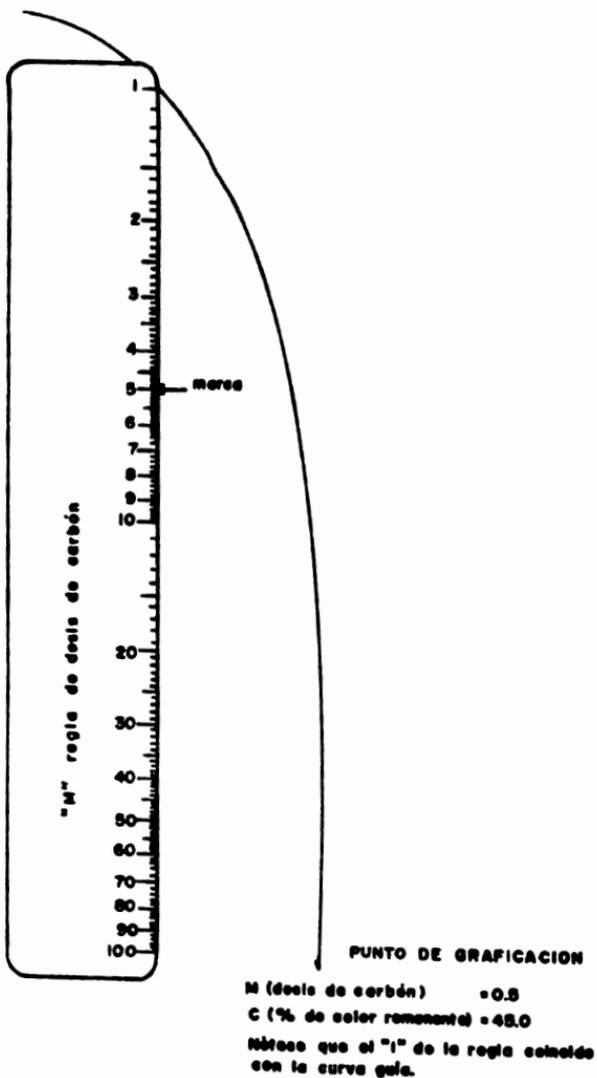
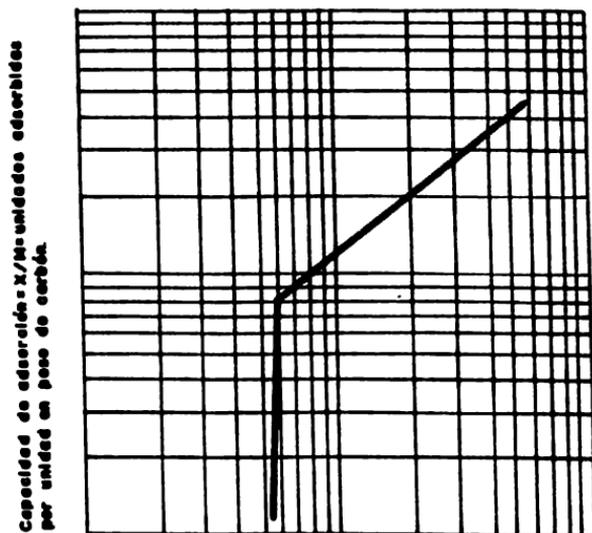


FIG. 5-4



C = color residual en el equilibrio de adsorción

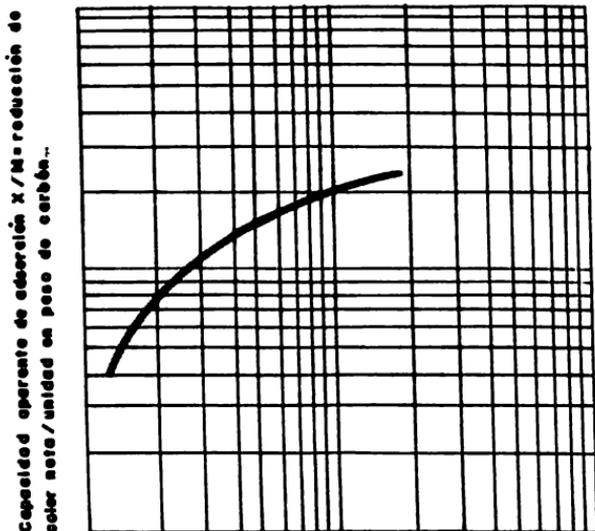
FIG. 5-5 Isotherma con punto final aparente

Esto queda evidenciado por un claro rompimiento conocido como "punto final aparente" al lado de la baja concentración de la isoterma; si se aplican dosis superiores de carbón a la indicada, no se tendrá un efecto significativo en mayores decoloraciones del producto a la indicada. La gráfica logarítmica de X/M vs. C en tales dosis es una línea que se cae rápidamente a partir del punto final, C y X permanecen sustancialmente iguales, y el cociente X/M cada vez es más pequeño a medida que aumenta M .

La explicación más razonable de éste fenómeno es que el color residual por abajo del punto final se asocia con un material que no se adsorbe apreciablemente por el carbón en cuestión. El punto final para un líquido en particular que tenga esta característica no es necesariamente en el mismo color para todos los carbones; aún más, un punto final no se encontrará necesariamente en todos los tipos de carbón probados en ese líquido.

El segundo tipo de caso en el cual los datos de adsorción no originan una línea recta continua, ocurre, cuando el carbón contiene materia extraíble que a su vez imparte color al líquido. Los provocadores de color más frecuentes son fierro extraíble, álcalis y sulfuros.

El fierro es capaz de causar un oscurecimiento apreciable cuando el carbón que lo contiene se usa sobre ácidos, o con líquidos que contienen tanatos o sustancias relacionadas. Los álcalis causarán oscurecimiento de muchos de los cuerpos coloridos en licores de azúcar y soluciones de otros compuestos orgánicos crudos, y los sulfuros pueden causar oscurecimiento por su reacción con trazas de compuestos metálicos presentes en la solución tratada.

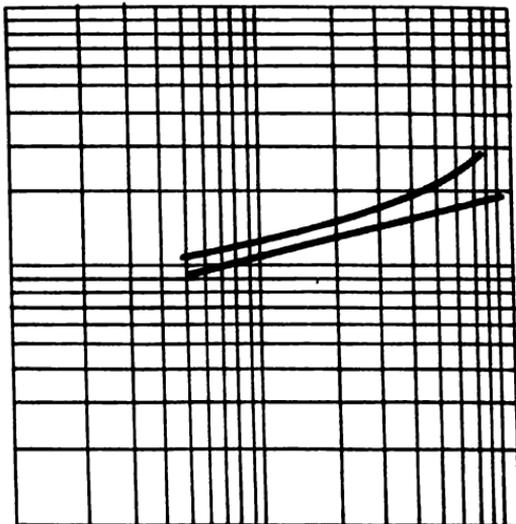


C = color residual en el equilibrio de adsorción

FIG. 5-6 Curvatura de la isoterma causada por hierro soluble en el carbón (decoloración de ácido tartárico)

El color residual medido en los filtrados del tratamiento con carbón, en casos como los mencionados en el párrafo anterior será el resultado - del color real adsorbido y del color desarrollado en la solución por - la materia soluble extraída. El efecto se ve más pronunciado a dosis elevadas de carbón, los colores leídos correspondientes a estas dosis serán demasiado altos, y la reducción de color por unidad de peso erróneamente bajos, de tal forma que la isoterma se doble hacia abajo incrementando su curvatura a valores bajos de C (alto M).

Capacidad de adsorción = X/M = reducción de color / unidad
 en peso de carbón.



C = color residual en el equilibrio de adsorción

FIG. 5-7 Curvatura de la isoterma causada por un valor erróneo muy elevado C_0 (la isoterma recta que se grafica es con un valor concreto de C_0)

A estos dos tipos de desviación de una línea recta se le debe añadir un tercero, que se origina en un error en las medidas de colorimetría y que no es extraño. El cociente X/M que se grafica contra C se calcula como sigue: para cada dosis usada de M , el color residual correspondiente de C se sustrae de C_0 . El color del líquido sin tratamiento con carbón (medido sobre una muestra blanca que se ha manejado exacta-

... curvaturas con carbón, excepto que no se le añadió carbón activado). El color original menos el final da X, color removido, que se divide entonces entre M para obtener X/M.

Ahora, C_0 en muchos casos es un color muy oscuro, la medida de tal, en muchos colorímetros es susceptible de un error considerable. Si se obtiene un valor erróneamente alto, todos los valores X/M de la serie de pruebas serán erróneamente altos, y el efecto de este error será proporcionalmente mayor a valores bajos de X (altos de C). La isoterma se curvará hacia arriba en esta región; inversamente, se curvará hacia abajo si la medida de C_0 es erróneamente baja. Cuando se encuentran tales curvaturas se debe sospechar un error en C_0 y debe reconfirmarse cuidadosamente.

La discontinuidad involucrada en el fenómeno del punto final aparente, y la curvatura de la isoterma resultante de solubles del carbón o por error en C_0 , se cita a veces como invalidante de la utilidad de la isoterma de Freundlich. No se debe tomar tan estrictamente una decisión de este tipo, dado que en la gran mayoría de los casos las gráficas satisfacen una línea recta en todo el rango de concentración de adsorbato en aplicaciones industriales. De hecho, encontrar una falla de este tipo es tan excepcional que se puede considerar como una indicación de alguna anomalía.

Por ejemplo, el hecho de importancia de que exista un punto final aparente se puede establecer sin lugar a dudas únicamente por una gráfica de la isoterma de Freundlich, que la curvatura de la isoterma se debe a solubles en el carbón en comparación con la linealidad de isoterma -

y la curva característica debida a un error en C_0 sirve como un aviso para verificar su valor.

CALCULOS Y GRAFICAS DE OPERACION BASADOS EN LA ISOTERMA DE FREUNDLICH.

El uso real de la ecuación de Freundlich y de su isoterma se encuentra en los cálculos y cartas que se pueden derivar de ella.

Eficiencia relativa de los carbones.

Las capacidades de adsorción de una serie de carbones en una aplicación particular se puede comparar directamente de sus líneas isotermas. La ecuación indica la capacidad de adsorción, por ejemplo X/M , es una función de equilibrio de la concentración del adsorbato; para una serie de carbones la comparación de su capacidad de adsorción se puede efectuar a un valor de C común, (a menos que las isotermas en cuestión sean paralelas, las relaciones X/M a un valor de C serán diferentes de aquéllas a diferentes C). Como medida práctica, el valor de C en los que se hace la comparación comunmente, es C_f , o concentración residual permisible de impureza.

Las relaciones X/M en valores C normales son la realidad de las relaciones recíprocas de las dosis de carbón requeridas para alcanzar el valor de C en cuestión, ya que C es común, X también lo es.

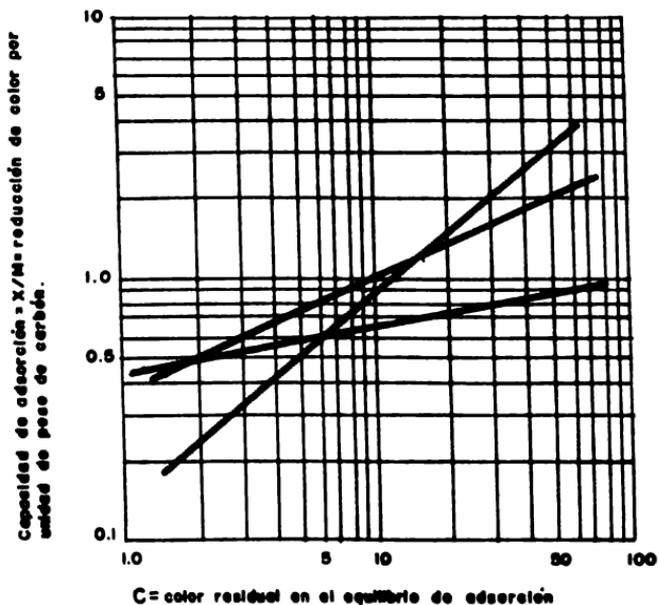


FIG. 5-8 Uso de la isoterma para comparar las eficiencias relativas de diferentes carbones.

La cantidad en la cual estas relaciones pueden discrepar a diferentes valores de C se indica en la figura 5-8 y la tabla 5-2 muestra un tipo común de ocurrencia. El carbón A se usa como referencia.

Tabla 5-2

Concentración	Ma/Mb	Ma/Mc
5	1.35	1.55
10	1.58	1.19
20	1.87	0.91

El carbón B se ve consistente, pero menos eficiente que el carbón A en este rango de concentración; pero a medida que la concentración disminuye el B se aproxima al A, y como muestran las isoterms, llegan a igualarse a $C = 1.6$. Por otro lado, el C es más pobre que el A a concentraciones 5 y 10 pero mejor en 20, donde el A tiene únicamente 91% de eficiencia respecto al C. Las relaciones X/M dan las eficiencias relativas de los carbones, también llamados valores ER.

Cartas de dosis de carbón.

En el control diario del uso del carbón activado en una planta, especialmente en aplicaciones de decoloración, sucede con frecuencia que el color de lotes sucesivos de solución que debe ser tratada varía de alguna manera. Si se debe de asegurar la uniformidad del tratamiento con carbón, la dosis de carbón M requerida en cada lote deberá originar la misma impureza residual permisible (Cf) que deberá variar en proporción al color del lote tratado (Co). Una forma de encontrar esta dosis de carbón es correr una prueba de laboratorio para cada lote, y determinar M, para llegar al Cf deseado.

El tiempo y esfuerzo que se requieren se pueden evitar, debido al -

uso de la ecuación de Freundlich. Si en lugar de X usamos $C_o - C_f$, la ecuación queda:

$$\frac{C_o - C_f}{M} = KC_f^{1/n}$$

En el problema que estamos considerando, tomamos C_f como constante y C_o y M , como variables, la ecuación rearrreglada sería:

$$C_o = KM C_f^{1/n} + C_f$$

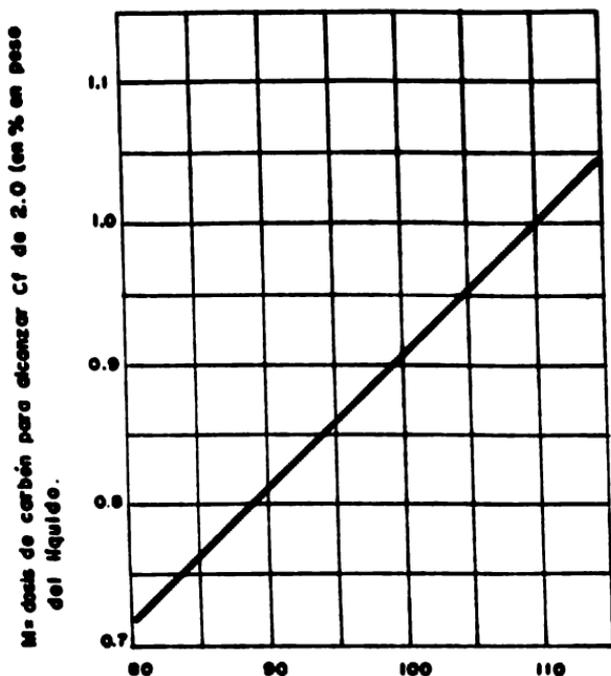
ya que es de la forma $y = ab^{1/n}z + b$, se ve que es lineal, si se grafica M contra C_o en coordenadas cartesianas.

Para obtener esta gráfica se determina una serie de isotermas de adsorción siendo cada una de ellas el resultado de una prueba a una solución con diferente color original C_o . De estas isotermas en cada caso se obtiene, las dosis requeridas para obtener la misma C_f y se grafican contra C_o como se ve en la figura 5-9 en la siguiente página.

Esta gráfica constituye una carta de dosificación de carbón, para usarla en control de planta, sólo es necesario determinar C_o de un lote en particular y leer la dosis correspondiente requerida. Debe tenerse en mente que la carta puede fallar si los lotes varían no sólo en el color sino también en la naturaleza del mismo, para tal variación se requiere de variar K y $1/n$ de la ecuación lineal que deja de serlo para convertirse en curva.

TRATAMIENTO A CONTRACORRIENTE.

Frecuentemente se tiene la situación en usos industriales, que la dosis requerida para alcanzar la impureza residual permisible excede el límite impuesto por consideraciones de costo o por capacidad del equipo de filtración. Este puede ser el caso cuando se debe alcanzar un residual muy bajo (Cf), o cuando la pendiente de la isoterma es pronunciada, es decir, la dosis de carbón aumenta con rapidéz al disminuir los valores de C.



C_0 = valor del lote que se pretende desulfurar

FIG. 5-9 Gráficas de desulfuración de carbón típica, para el control de decoloración en la operación a escala de planta.

Quando se aplica el carbón a contracorriente, una Cf dada se puede alcanzar con una dosis apreciablemente menor que en un tratamiento de un solo paso. Por ejemplo, si la Cf que se debe alcanzar es 1% de C_0 y la pendiente de la isoterma $1/n$ es 0.42, la dosis en el tratamiento a contracorriente es sólo de una cuarta parte de la dosis en un solo paso. En un caso extremo, tal como $C_f = 0.1\%$ de C_0 y $1/n = 0.75$, la relación es tan baja como de 1:20.

El tratamiento en dos pasos a contracorriente se lleva a cabo de la siguiente forma. El líquido que se va a purificar se le da un primer tratamiento con carbón que ha sido usado ya una vez. Después de la agitación y filtración en la forma usual, el carbón usado ya dos veces se descarta, y al líquido se le da un segundo tratamiento con una carga de carbón nuevo, igual a la usada en el primer paso. El segundo tratamiento da al líquido la Cf deseada, y el carbón filtrado se usa en el primer tratamiento del siguiente lote de líquido.

Aparentemente se guarda un balance de lote a lote. De tal forma, que se hace necesario conocer con cierto grado de exactitud la dosis usada de carbón en la forma mencionada, de tal manera que no haya necesidad de agregar carbón en ningún paso de los descritos, porque provocaría un desbalanceo en el siguiente lote de líquido tratado, requiriéndose con ello una dosis de ajuste posterior, y así sucesivamente.

Las ecuaciones para determinar la dosis a contracorriente se han derivado por Sanders, a partir de la ecuación de Freundlich. Las ecuaciones de dos pasos son:

$$\frac{M_{cc}}{M_s} = \frac{C_i - C_f}{C_o - C_f} \quad (1)$$

$$\frac{M_{cc}}{M_s} = \left(\frac{C_f}{C_i} \right)^{1/n} \quad (2)$$

M_{cc} = dosis a contracorriente

M_s = dosis en tratamiento sencillo

C_f = dosis final requerida

C_i = concentración intermedia

C_o = concentración inicial

$1/n$ = pendiente de la isoterma en tratamiento sencillo

Estas ecuaciones parecen ser independientes de K de la ecuación de Freundlich y para involucrar seis variables, de las que se conocen M_s y $1/n$ de la isoterma, y , C_o y C_f se conocen porque así se dan originalmente. Las variables desconocidas son C_i y M_{cc} , de ellas debe encontrarse C_i para determinar M_{cc} de cualquiera de las dos ecuaciones.

La relación entre C_o , C_i , C_f y $1/n$ se encuentra involucrando las dos ecuaciones:

$$C_i^{1/n + 1} - (C_f) C_i^{1/n} = (C_o - C_f) C_f^{1/n} \quad (3)$$

La ecuación 3 no se puede resolver algebraicamente para obtener C_i . Sanders ha obtenido un monograma para determinar C_i y M_{cc} en un rango

de 0.1 a 1.0 y un rango de Cr de 7 a 91 por ciento expresado como porcentaje de C_0 .

Debido al amplio uso del tratamiento a contracorriente se ha construido la Fig.5-10 en la cual se puede leer directamente M_{cc}/M_s , con valores de $1/n$ desde 0.1 hasta 1.6, y valores de C_f de 0.1 a 25%. La relación M_{cc}/M_s está dada en términos de porciento de dosis en uso sencillo, requerido en un tratamiento a contracorriente, haciendo referencia a esta gráfica, se ve inmediatamente el ahorro posible por el tratamiento en dos pasos a contracorriente, para una isoterma en particular.

La fig5-11 es una gráfica similar, dando M_{cc}/M_s para una aplicación en tres pasos a contracorriente.

Por comparación de las Figs. 10 y 11 que aparecen en las dos siguientes páginas, se verá que el ahorro en la dosis de carbón bajo condiciones comparables es mayor entre el paso sencillo y el doble respecto al triple. Y el decremento entre el triple y el cuádruple es todavía menor. Ya que la contracorriente involucra más mano de obra y tiempo de filtración, el ahorro neto está dado por la diferencia del costo de estos y el costo de carbón ahorrado. A medida que aumentan el número de pasos a contracorriente el ahorro neto disminuye rápidamente. Por esta razón el tratamiento en tres pasos se usa mucho menos que el de dos pasos y de cuatro casi nunca. El tratamiento en tres etapas se justifica sólo cuando la pendiente de la isoterma está muy inclinada y cuando se deben alcanzar C_f muy bajas.

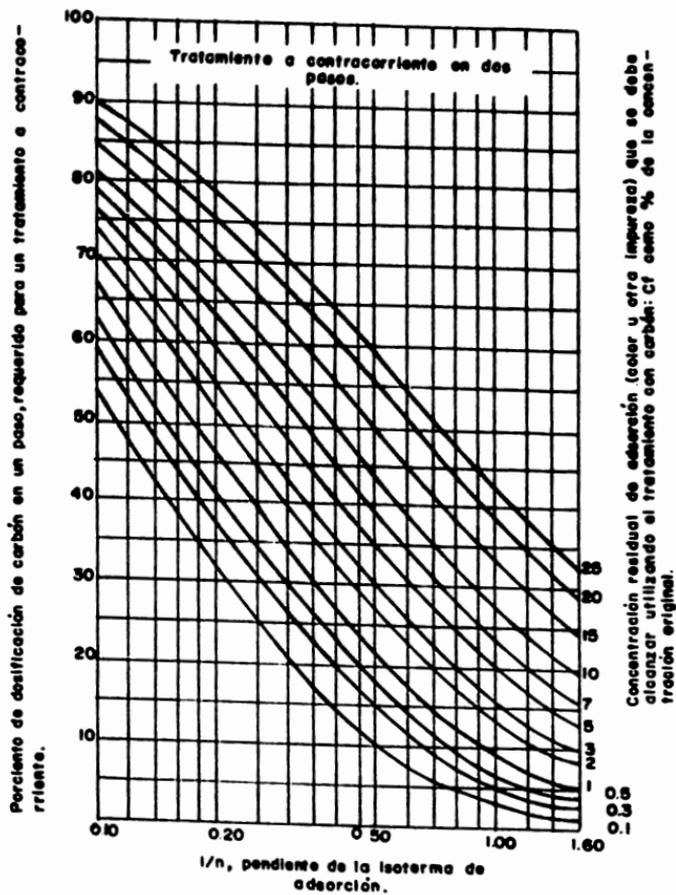


FIG. 5-10

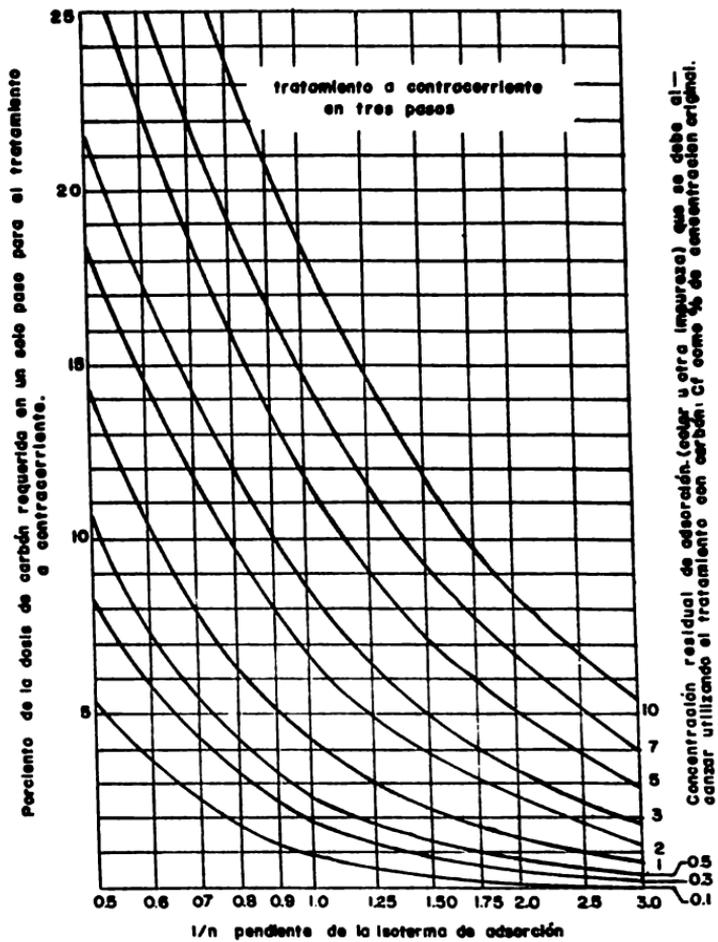


FIG. 5-11

AGITACION Y FILTRACION EN LA OPERACION EN PLANTA.

Como se señaló al discutir el tiempo de contacto, el carbón activado se debe agitar en el líquido que se vaya a tratar, para que cada partícula pueda barrer completamente la materia con posibilidad de ser adsorbida dentro de su "esfera de adsorción". La técnica de agitación debe por lo tanto ser tal que al movimiento turbulento del líquido resulte movimiento de las partículas de carbón relativo al de las partículas del líquido. La agitación que cause únicamente un movimiento circular sin agitación real, es totalmente deficiente debido a que las partículas de carbón se limitan a viajar junto con las partículas del líquido.

La agitación turbulenta no necesariamente significa agitación rápida, sino una selección y colocación juiciosa del mecanismo, y por el uso de deflectores colocados adecuadamente en el tanque de tratamiento.

Una agitación excesivamente rápida, y también turbulenta excesiva puede incluso ser dañina debido al aire que se puede introducir en el líquido en tales condiciones; no porque el aire interfiera con la adsorción sino porque puede oxidar la impureza y por lo tanto cambiar su respuesta a la adsorción, u oxidar el soluto que se va a purificar. En casos donde la sensibilidad a la oxidación es un factor importante, puede ser necesario llevar a cabo el tratamiento con carbón, al vacío, o en atmósfera inerte, por ejemplo nitrógeno.

En algunas ocasiones, aún el aire contenido en el carbón puede tener un efecto adverso en el líquido. Este aire se puede desplazar hir-

Como se señaló al discutir el tiempo de contacto, el carbón activado se debe agitar en el líquido que se vaya a tratar, para que cada partícula pueda barrer completamente la materia con posibilidad de ser adsorbida dentro de su "esfera de adsorción". La técnica de agitación debe por lo tanto ser tal que al movimiento turbulento del líquido resulte movimiento de las partículas de carbón relativo al de las partículas del líquido. La agitación que cause únicamente un movimiento circular sin agitación real, es totalmente deficiente debido a que las partículas de carbón se limitan a viajar junto con las partículas del líquido.

La agitación turbulenta no necesariamente significa agitación rápida, sino una selección y colocación juiciosa del mecanismo, y por el uso de deflectores colocados adecuadamente en el tanque de tratamiento.

Una agitación excesivamente rápida, y también turbulenta excesiva puede incluso ser dañina debido al aire que se puede introducir en el líquido en tales condiciones; no porque el aire interfiera con la adsorción sino porque puede oxidar la impureza y por lo tanto cambiar su respuesta a la adsorción, u oxidar el soluto que se va a purificar. En casos donde la sensibilidad a la oxidación es un factor importante, puede ser necesario llevar a cabo el tratamiento con carbón, al vacío, o en atmósfera inerte, por ejemplo nitrógeno.

En algunas ocasiones, aún el aire contenido en el carbón puede tener un efecto adverso en el líquido. Este aire se puede desplazar hir-

viendo el carbón en agua 20 ó 30 minutos antes de usarlo. Si el carbón se va a usar en un líquido no acuoso, incompatible con el agua se podrá usar otro líquido para la operación de ebullición. El desplazamiento del aire adsorbido por agua u otro solvente quizá no sea completo, pero hay suficiente desplazamiento para permitir su uso en todos los casos encontrados hasta ahora.

El tiempo de agitación necesario para alcanzar el equilibrio de adsorción en la operación a escala de planta no es, en general, el mismo que el tiempo requerido en las pruebas de laboratorio, porque las condiciones de agitación no son las mismas. El tiempo de contacto obtenido en laboratorio se puede usar como primera aproximación para el cálculo del tiempo en planta, mediante muestras que se toman del tanque de tratamiento a intervalos razonables.

La filtración debe comenzar cuando se alcanza el equilibrio de adsorción sin embargo, no se debe de detener la agitación, porque la filtración requiere de algún tiempo, y el carbón remanente en el tanque de tratamiento se debe mantener uniformemente suspendido durante este lapso. La razón, es que los carbones que se utilizan en usos industriales se tamizan en una distribución de tamaño de partícula que imparta máxima capacidad de filtración, si se permite la sedimentación de una porción de carbón en el tanque durante la filtración, la distribución del tamaño de partícula del carbón que permanece suspendido es algo diferente del correspondiente a una suspensión uniforme de todo el carbón.

En la filtración el carbón se puede clasificar con los sólidos incompresibles en la torta del filtrado, mientras no cambie la densidad total de ésta en los rangos de presión que se encuentran ordinariamente en filtraciones industriales. Las densidades de las tortas que forman los carbones comerciales se encuentran en un rango de 0.240 a 0.400 Kgs. de carbón seco por litro de torta; en casos normales son iguales a la densidad total máxima del carbón seco, como se determina por taponeamiento, hasta que no haya posterior disminución de volumen. Un método rápido para determinar este valor consiste en colocar una cantidad pesada de carbón seco en una probeta graduada, y se coloca en una superficie resiliente hasta que se obtenga un volumen constante.

Hay una relación directa entre la densidad máxima total del carbón y la cantidad de líquido que solamente lo saturará; a menor densidad total (mayor volumen) mayor es la cantidad de líquido mantenido en la saturación.

La Fig. 12 muestra esta relación en aceite de algodón, determinada experimentalmente en catorce muestras. Los valores de saturación se obtuvieron añadiendo el aceite de una bureta gota a gota, a una muestra de carbón seco en un recipiente de porcelana; el carbón se agitó perfectamente antes de cada adición, teniendo cuidado que todas las trazas de aceite desaparecieran antes de añadir más. El punto final se indica por la primera traza en la superficie de porcelana.

Los valores en la saturación son un índice de la cantidad de líquido re

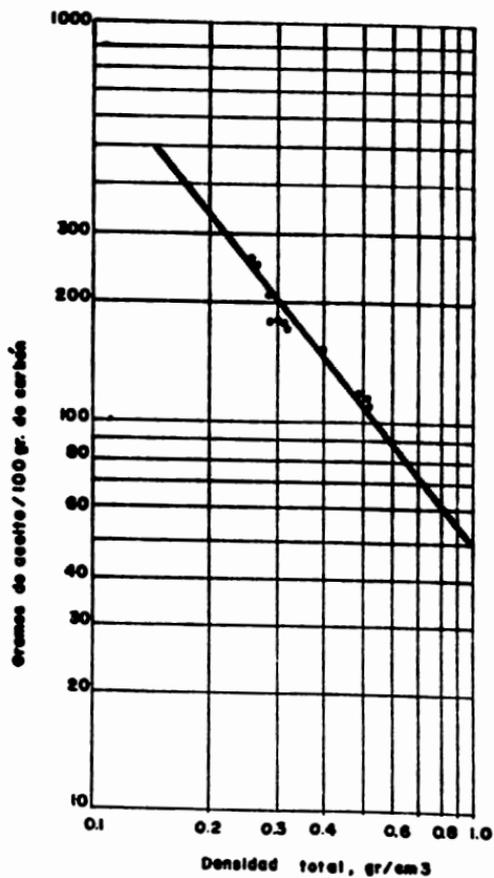


FIG. 5-12 Efecto de la densidad total sobre la retencion de aceite.

... una vez que finaliza la filtración, que puede ser un factor significativo en los costos de tratamiento con líquidos caros, o en casos en que se tienen que usar grandes dosis de carbón.

Las características de filtración de los carbones activados se determinan por su distribución de tamaño de partícula, como ya se han mencionado, y también por la forma de las partículas. Las partículas irregulares ofrecen menor resistencia al flujo del líquido que las partículas planas. En términos absolutos, el tamaño de partícula es de importancia secundaria por ejemplo, un carbón con 90 % + 300 pueden filtrar mejor que aquellos de sólo 70 % - 300. La filtrabilidad del carbón se puede determinar por el método desarrollado por Sanders y descrito por Harris, y expresado en términos de segundos por ml. de agua filtrada a 20°C por cm. de espesor de torta de carbón por cm^2 de área de filtración. En estas unidades, los carbones comerciales están en un rango de 0.2 a 1.5. Las velocidades de filtración obtenidas con agua bajo presión de filtración constante, como éstas, no se pueden traducir directamente a velocidades de otros líquidos pero los valores dan cierta información de su comportamiento bajo condiciones de filtración en la planta industrial.

Aunque el carbón activado en si mismo se comporte como un sólido incompresible en una torta de filtrado, sucede con cierta frecuencia que el líquido del que se está filtrando el carbón contiene sólidos compresibles, como materiales floculentos. Para minimizar la resistencia al -

... de la presión en la bomba que introduce el líquido al filtro. Al principio de la filtración, la presión de la bomba se debe regular al valor más bajo posible que origine un flujo razonable de líquido a la salida del filtro, y se debe aumentar la presión gradualmente a medida que se forma la torta, para mantener este flujo. Una presión excesiva temprana en la filtración comprimirá los sólidos no rígidos ya presentes en la torta y causará una resistencia anormalmente elevada al flujo; y una vez que tal compresión se ha provocado no se puede remediar por reducción en la presión. La velocidad de flujo para el resto de la filtración será baja y un incremento posterior de presión sólo agravará las condiciones.

En la purificación de productos que son coloidales como la pectina o la gelatina los problemas de filtración se pueden agravar. Sucede un caso extremo cuando se filtra carbón con soluciones acuosas de jabón: las partículas coloidales o más probablemente los agregados de éstas acarrearán los finos de carbón aún a través de filtros muy retentivos. (Las soluciones jabonosas en alcohol no presentan este problema). Las soluciones de pectina y gelatina presentan en menor proporción el mismo fenómeno que las soluciones de jabón acuosas, sin embargo se pueden manejar, con un precubierto del filtro de 1/16 a 1/8 de pulgada de filtro ayuda del tipo de tierra de diatomáceas, y adicionando en algún porcentaje en peso de más filtro ayuda de flujo libre al tanque de tratamiento de carbón antes de que empiece la filtración. El filtro ayuda añadido en el tratamiento asegura la porosidad de la torta a medida que se forma.

flujo, se debe mantener una regulación cuidadosa de la presión en la bomba que introduce el líquido al filtro. Al principio de la filtración, la presión de la bomba se debe regular al valor más bajo posible que origine un flujo razonable de líquido a la salida del filtro, y se debe aumentar la presión gradualmente a medida que se forma la torta, para mantener este flujo. Una presión excesiva temprana en la filtración comprimirá los sólidos no rígidos ya presentes en la torta y causará una resistencia anormalmente elevada al flujo; y una vez que tal compresión se ha provocado no se puede remediar por reducción en la presión. La velocidad de flujo para el resto de la filtración será baja y un incremento posterior de presión sólo agravará las condiciones.

En la purificación de productos que son coloidales como la pectina o la gelatina los problemas de filtración se pueden agravar. Sucede un caso extremo cuando se filtra carbón con soluciones acuosas de jabón: las partículas coloidales o más probablemente los agregados de éstas acarrean los finos de carbón aún a través de filtros muy retentivos. (Las soluciones jabonosas en alcohol no presentan este problema). Las soluciones de pectina y gelatina presentan en menor proporción el mismo fenómeno que las soluciones de jabón acuosas, sin embargo se pueden manejar, con un precubierto del filtro de 1/16 a 1/8 de pulgada de filtro ayuda del tipo de tierra de diatomeas, y adicionando en algún porcentaje en peso de más filtro ayuda de flujo libre al tanque de tratamiento de carbón antes de que empiece la filtración. El filtro ayuda añadido en el tratamiento asegura la porosidad de la torta a medida que se forma.

Las velocidades de flujo a escala de planta se expresan en unidades consistentes, por ejemplo, $m^3/hr. m^2$. Las velocidades obtenidas de 0.00323 a 0.00430 g/cm^2 hr. en soluciones de azúcar de 60°Brix, a 0.323 a 0.43 g/cm^2 hr. o más en líquidos de baja viscosidad tal como soluciones de electrodepósito. Estas velocidades se refieren al promedio de las corridas de filtración.

MÉTODOS DE PERCOLACION DEL CARBÓN.

Carbón en Polvo.

Existen algunas condiciones bajo las cuales el mejor método de aplicación de carbón en polvo es, su depósito como torta en el filtro y luego pasar el líquido que se va a purificar a través de ella.

En general, éste es un método excelente cuando un líquido en uso constante se debe guardar a bajo nivel de contenido de impurezas, como en el caso de solventes de limpieza en seco o soluciones de electrodepósito. En ambos casos el líquido se recircula constantemente a través de un filtro con torta de carbón activado, luego a su ciclo de uso y nuevamente al filtro. Las impurezas que adquiere el líquido al ser usado, color, olor y ácidos grasos en las ropas, en el caso de solventes de lavado en seco; grasa, aceite, coloides, lama anódica, etc., en el caso de soluciones de electrodepósito, de tal manera que no se permite una acumulación en la concentración de impurezas en la cual la utilidad del líquido se encuentre fuera de balance.

Desde luego el carbón del filtro se debe renovar periódicamente a intervalos bien definidos determinados por la experiencia bajo las condiciones de operación en cuestión. El depósito de la torta de carbón se efectúa haciendo lodo de carbón en un líquido adecuado en una proporción aproximada de 0.132 kg/lt del líquido. El líquido se succiona por la bomba del filtro pasado a través de él y enviado nuevamente a su recipiente. Se continúa este proceso hasta que sólo permanezca líquido claro en el recipiente del líquido. La cantidad de carbón usado para el predepósito se debe calcular para dar una torta de un grosor de 1.5 a 2.5 cm. en toda el área de filtración. El peso de carbón ocupará tal volumen que se puede calcular de la densidad aparente del carbón.

Se debe señalar que este método de uso del carbón en polvo se limita a casos en los que sólo se manejan concentraciones bajas de impurezas. El método permite un muy bajo tiempo de contacto que no es efectivo en operaciones de purificación extremas cuando el líquido a tratar contiene una concentración apreciable de impureza y se debe alcanzar una C_f muy baja. En tales casos el tiempo de contacto necesario se debe proporcionar en el tanque de tratamiento de carbón con una agitación apropiada en un buen intervalo.

Carbón Granular

Los carbones granulares de origen vegetal difieren del carbón de hueso granular en que su contenido de carbón es mucho mayor, entre 75 y 90%. Los grados elaborados para adsorción de soluciones son más sua-

... que es carbon de hueso y de menor densidad aparente (240 a 320 Kg/m³ vs. 800 a 970 kg/m³ en el carbón de hueso). No se puede usar en ciclos de regeneración como el carbón de hueso porque se rompe la partícula muy fácilmente en el manejo mecánico.

Sin embargo, este tipo de carbón encuentra aplicación cuando se requiere purificar grandes cantidades de líquido con relativa baja impureza. Su uso más amplio es en purificación de agua para remoción de sustancias que causan color u olor. Sin embargo las concentraciones de olor y de las sustancias que causan sabor que se manejan ordinariamente no se pueden medir con exactitud, el orden de magnitud normalmente es en partes por millón. Debido a que se imponen cargas muy bajas, los filtros de agua con carbón activado granular dan un servicio efectivo por periodos de seis meses a uno o dos años antes de que se agote.

En general las camas de carbón granular en los filtros para tratamiento de agua son de 50 a 80 cm. de profundidad, y se soportan por arena que a su vez descansa en camas de grava de mayor tamaño cada vez. El flujo puede ser hacia arriba o hacia abajo a través de la cama, una ventaja del flujo hacia arriba es que virtualmente se elimina la formación de canales en la cama. La velocidad de flujo del agua se regula a 1.49 a 2.22 lts./m³ de carbón y a esta velocidad, el área de la sección transversal de la cama se determina por la profundidad seleccionada para la cama y por el flujo en GPM a que se desea el agua tratada.

Una precaución que se debe señalar en la operación de filtros de car-

... y que cubren los granulos de carbón y por lo tanto evitaría el acceso de líquido a su superficie de adsorción interna; se han visto casos como el de un filtro que habiendo estado en operación efectiva por un año fue ineficiente después de dieciocho horas, sólo porque el agua que se hizo pasar a través de él contenía una cantidad moderada de materia suspendida. El agua que pase a través de filtros de carbón granular se debe prefiltrar cuidadosamente en arena, con coagulación preliminar si es necesario con aluminio.

Otra precaución que se debe observar nace del hecho de que el carbón activado es electropositivo y por lo tanto puede provocar corrosión cuando se pone en contacto con metales en presencia de un líquido con conductividad eléctrica. La magnitud de la diferencia en potenciales eléctricos es proporcional al grado de activación del carbón, y la actividad de los carbones vegetales es suficiente para causar una corrosión destructiva en un filtro que no tenga protección en condiciones prolongadas de contacto. (Cuando está en contacto el carbón en polvo con el metal de un filtro, el factor tiempo es tan bajo que no es medible la corrosión).

Es necesario por lo tanto, recubrir cualquier superficie metálica que se encuentre en contacto con carbón granular, con algún material inerte aislante. Para filtros de agua son suficientes las preparaciones bituminosas, si no se exceden los $25 \text{ a } 30^{\circ} \text{C}$, con otros líquidos y en otras condiciones se debe usar un recubrimiento resinoso compatible con el líquido que se va a tratar y a la temperatura de tratamiento seleccionada.

..... pequeñas trazas de impurezas que quedan después de la destilación en columnas de destilación a 190 proof. El tratamiento con carbón de tal alcohol no es efectiva a proofs elevados, sin embargo se hace necesario una dilución con agua a no más de 120 proof y preferiblemente a menos de 100 proof. La razón parece ser, que las impurezas incrementan su solubilidad al aumentar la concentración de alcohol con la correspondiente disminución de su adsorbabilidad. Esto se aplica particularmente a alcoholes superiores, y entonces para obtener una adsorción efectiva se requiere una dilución a 70 proof o menos.

Las condiciones de operación y las precauciones que se han mencionado en la filtración de agua con carbón granular se aplica en general a la filtración de alcohol, excepto que las camas usadas son de 90 a 120 cm. También, la vida de una cama de carbón usada para alcohol es más corta y se mide en horas más que en meses o años. Es mayor la carga de adsorción sobre el carbón, y la respuesta a la adsorción es inferior que en la filtración de agua.

Aplicación del carbón por dispersión y sedimentación.

En la aplicación por sedimentación el carbón se añade al líquido que se va a tratar, con poca o ninguna agitación; y la separación se efectúa por sedimentación con algún coagulante. La eficiencia del contacto depende del uso de carbón en polvo finamente dividido, para proporcionar una dispersión amplia en todo el líquido y una velocidad de sedimentación lenta de las partículas de carbón.

... .. y **documentación**
con bentonita. Este procedimiento se ha usado a gran escala en el tra-
tamiento de aguas municipales.

Existen dos tipos de casos donde no se presenta una línea recta continua. El primero se presenta cuando hay una discontinuidad abrupta en la adsorción, dándose como explicación a este fenómeno que el calor residual por abajo del punto final se asocia con un material que no se adsorbe apreciablemente por el carbón en cuestión.

El segundo tipo es aquel en donde el carbón contiene materia extraíble, que a su vez importe calor al líquido. Los provocadores más frecuentes de calor son hierro extraíble, alcalis y sulfuros.

El tratamiento a contracorriente es ventajoso en algunos casos, utilizando menos carbón que en un tratamiento normal.

Debe tomarse en cuenta que la agitación y filtración son pasos importantes en la adsorción, ya que una buena agitación proporcionará un mejor contacto de las partículas de carbón con el líquido a tratar, y la filtración debe llevarse a cabo cuando se alcanza el equilibrio de adsorción. Las características de filtración de los carbones activados se determinan por su distribución de tamaño de partícula y por la forma de las mismas.

El carbón en polvo normalmente se aplica depositado como torta, en el filtro, haciendo pasar el líquido por aquí.

El carbón granular se utiliza en camas de 50 a 80 cm. de profun-

DESVIACIONES DE LA ECUACION DE FREUNDLICH

Existen dos tipos de casos donde no se presenta una línea recta continua. El primero se presenta cuando hay una discontinuidad abrupta en la adsorción, dándose como explicación a este fenómeno que el calor residual por abajo del punto final se asocia con un material que no se adsorbe apreciablemente por el carbón en cuestión.

El segundo tipo es aquel en donde el carbón contiene materia extraíble, que a su vez importe calor al líquido. Los provocadores más frecuentes de calor son fierro extraíble, alcalis y sulfuros.

El tratamiento a contracorriente es ventajoso en algunos casos, utilizando menos carbón que en un tratamiento normal.

Debe tomarse en cuenta que la agitación y filtración son pasos importantes en la adsorción, ya que una buena agitación proporcionará un mejor contacto de las partículas de carbón con el líquido a tratar, y la filtración debe llevarse a cabo cuando se alcanza el equilibrio de adsorción. Las características de filtración de los carbones activados se determinan por su distribución de tamaño de partícula y por la forma de las mismas.

El carbón en polvo normalmente se aplica depositado como torta, en el filtro, haciendo pasar el líquido por aquí.

El carbón granular se utiliza en camas de 50 a 80 cm. de profun-

grava, se soportan por arena, que a su vez descansa en capas de grava de mayor tamaño cada vez. La precaución que debe tomarse aquí, es - que el líquido que entra a estos filtros debe estar libre de materia suspendida. Se debe tomar la precaución también en estos casos de recubrir cualquier superficie metálica que se encuentre en contacto con el carbón, con algún material inerte aislante, ya que el carbón activado es electropositivo y por lo tanto puede provocar corrosión cuando se pone en contacto con metales en presencia de un líquido con conductividad eléctrica.

/

C-O-N-C-L-U-S-I-O-N-E-S

C-O-N-C-L-U-S-I-O-N-E-S

- 1.- La purificación es fundamental, ya que se utiliza en casi todos los procesos de purificación en el mundo. Una forma de purificación es por adsorción; la adsorción se realiza excelentemente con Carbón Activado. La principal utilización para el Carbón Activado es en fase líquida. La principal utilización para el Carbón Activado es en fase líquida.
- 2.- Los diferentes tipos de Carbón Activado, como son granular y polvo, dan origen de utilizarse en muy variados procesos. Hay que observar también los requerimientos diarios de carbón para la elección, ya que el Carbón Granular ofrece métodos de regeneración, los cuales reducen el costo. En cada caso habrá que estudiar cual carbón y tipo de proceso es lo más adecuado.
- 3.- Aunque la fabricación del Carbón Activado tiene algunas variantes, tanto en la forma de calcinar, como en el origen del material calcinado, en general es un proceso sencillo.
- 4.- El Carbón Activado conserva indefinidamente su actividad, con la condición de observar ciertas reglas muy sencillas al almacenarlo.

5.- Se mencionan 12 grandes industrias en donde es utilizado el Carbón Activado en diversos procesos dentro de cada una, mostrándose aquí un amplio campo de aplicación en donde ya es tradicional su utilización y siendo estas aplicaciones solamente una pequeña parte de las aplicaciones tan diversas que puede tener el Carbón Activado.

6.- Un especial interés se muestra para utilizar el Carbón Activado para la purificación de agua doméstica e industrial, con ventajas tan determinantes como que es insoluble, una sobredosis no causa ningún daño y algo muy importante, la contaminación se remueve sin necesidad de alguna práctica especial para su empleo.

El mercado del Carbón Activado para tratamiento de aguas está en expansión y no tiene aparentemente sustitutos.

Normalmente se utiliza el carbón granular, ya que por un lado es un proceso continuo y para éste es mejor este tipo de carbón, y por otro lado este carbón es regenerable, dando un agua igual en calidad a aquella obtenida con carbón virgen.

Cuando se desarrollen métodos para la regeneración del carbón en polvo, un nuevo factor entrará en juego para la elección del carbón más adecuado.

7.- Debe determinarse el método de purificación que se va a usar, conociendo de antemano las características del sistema en estudio. Si se opta por la adsorción con carbón activado como el método más adecuado, ya sea solo o en combinación con otros métodos, el siguiente paso es determinar el tipo de carbón y la dosificación óptima del mismo.

La necesidad de un carbón depende de la muestra a ser tratada, por lo tanto el examen para escoger el carbón más apropiado debe incluir varios tipos de ellos para realizar la mejor elección.

Para determinar la dosis apropiada de carbón, existe un método gráfico perfectamente explicado en el Capítulo V de este trabajo, con el cual de una forma muy sencilla podemos encontrar la cantidad de carbón a usar para un determinado sistema. Básicamente esta determinación es la parte más importante del presente trabajo, ya que - difícilmente se encontrará en la literatura, un método para determinar esta cantidad de carbón que se debe emplear en un sistema dado.

- 1.- A.S.T.M. DESIGNATION: D 2652 - 74
"Standard Definitions of terms Relating to Activated Carbon"

- 2.- BARGALLO, M.
"Tratado de Química Inorgánica"
Editorial Porrúa, S.A. México, D.F. 1962

- 3.- BERNARDIN, F. E. Jr.
"Selecting and Specifying Activated Carbon - Adsorption Systems"
Chemical Engineering/Deskbook Issue/October 18, 1976.

- 4.- FOUST, ALAN S./otros
"Principios de Operaciones Unitarias"
Compañía Editorial Continental, S.A. 1970

- 5.- GITCHEL, W. B./otros
"Activated Carbon Regeneration: Carbon Regeneration by wet Air Oxidation"
Chem. Eng. Progr. Vol. 71 No. 5 P. 90 (Mayo 1975)

- 6.- HASSLER, J. V.
"Purification With Activated Carbon"
1974 Chemical Publishing Co. Inc. New York, N. Y.

- 7.- KIRK, R. E. & OFHMER, D. F.
Encyclopedia of Chemical Technology
Volume 4
The Interscience Encyclopedia, Inc. New York

BIBLIOGRAFIA

- 1.- A.S.T.M. DESIGNATION: D 2652 - 74
"Standard Definitions of terms Relating to Activated Carbon"

- 2.- BARGALLO, M.
"Tratado de Química Inorgánica"
Editorial Porrúa, S.A. México, D.F. 1962

- 3.- BERNARDIN, F. E. Jr.
"Selecting and Specifying Activated Carbon - Adsorption Systems"
Chemical Engineering/Deskbook Issue/October 18, 1976.

- 4.- FOUST. ALAN S./otros
"Principios de Operaciones Unitarias"
Compañía Editorial Continental, S.A. 1970

- 5.- GITCHEL, W. B./otros
"Activated Carbon Regeneration: Carbon Regeneration by wet Air Oxidation"
Chem. Eng. Progr. Vol. 71 No. 5 P. 90 (Mayo 1975)

- 6.- HASSLER, J. V.
"Purification With Activated Carbon"
1974 Chemical Publishing Co. Inc. New York, N. Y.

- 7.- KIRK, R. E. & OTHMER, D. F.
Encyclopedia of Chemical Technology
Volume 4
The Interscience Encyclopedia, Inc. New York

- 8.- MOLLIGAN. T.J. & Fox. R. D.
"Treatment of Industrial Waste Waters"
Chemical Engineering Desbook Issue
October 18, 1976.
- 9.- PERRY R. H./CHILTON, C. H.
"Chemical Engineers' Hand Book"
Fift Edition
McGraw-Hill Book Company
- 10.- RIZZO, J. L. & SCHADE, R. E.
"Secondary Treatment With Granular Activated Carbon"
Water and Sewage Works, Agosto 1969, p. 307
- 11.- SCHERM, M. & Lawson, C. T.
"Activated Carbon adsorption of Organic Chemical Manufacturing
Was tewaters After Extensive Biological Treatment"
Presentado en Third National Conference On Complete Water Reuse
American Institute of Chemical Engineers, Junio 1976
- 12.- SMITH, S. B.
"Activated Carbon Regeneration ; The Thermal Transport Process"
Chemical Engineering Progr. Vol. 71, No. 5, p. 87 (Mayo 1975)
- 13.- RAMON ARNAUD H., JAVIER BARRON, GUILLERMO GUTIERREZ, JOSE LUIS
LOBERA, TOMAS WEBER.
"Estudio de Factibilidad de una Planta Productora de Carbón -
Activado"
Universidad de las Americas. Marzo 1980.
- 14.- CHEREMISINOFF, PAUL H. & ELLERBUSHI, FRED.
" Carbon Adsorption Hand Book"
Ann Arbor Science