

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



ESTUDIO RELATIVO A LA ADSORCION CON CARBON
ACTIVADO PARA ELIMINAR CONTAMINANTES EN
AGUAS RESIDUALES

T E S I S

Que Para Obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO
P r e s e n t a

JOSE GUADALUPE TAPIA VARGAS

México, D. F.

1978



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS 1978
AS. _____
LIB. M.T. 415 Q1078 409
FECHA _____
PROC. _____
% _____



PRESIDENTE	PROF. EDUARDO ROJO Y DE REGIL
VOCAL	PROF. ROBERTO ANDRADE CRUZ
SECRETARIO	PROF. ANTONIO FRIAS MENDOZA
1er. SUPLENTE	PROF. JORGE MENCARINI PENICHE
2do. SUPLENTE	PROF. ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA
FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

NOMBRE DEL SUSTENTANTE

JOSE GUADALUPE TAPIA VARGAS.

DIRECTOR DE TESIS

ANTONIO FRIAS MENDOZA

I N D I C E

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

- I.- GENERALIDADES SOBRE ADSORCION CON CARBON
ACTIVADO EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUA
LES

- II.- CRITERIOS DE DISEÑO

- III.- ECUACIONES DE DISEÑO

- IV.- SISTEMAS DE REGENERACION

- V.- COSTOS

- VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- VII.- APENDICE

- VIII.- BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

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

En la actualidad, uno de los grandes problemas con que se cuenta, es el de la contaminación ambiental, que es causada en su mayoría por el gran desarrollo industrial de los últimos años.

Un punto sobre este caso es el de la contaminación por parte de las aguas residuales de las industrias de proceso.

Para el tratamiento de estas aguas residuales es necesario un proceso que en general consiste de tres etapas: (1)

* 1) Tratamiento Primario. Esta primera fase involucra principalmente filtración de sólidos grandes, eliminación de materia flotante como grasas y aceites, coagulación etc..

* 2) Tratamiento Secundario. Se utiliza comunmente la acción bacteriológica, aeróbica o anaeróbica, para eliminar la materia orgánica.

* 3) Tratamiento Terciario. Está formado por tratamientos de potabilización y procesos para remover sustancias específicas no biodegradables y ciertos compuestos orgánicos.

* Los avances en la tecnología química y la creciente industrialización han provocado un aumento en el número de materiales indeseables en las aguas de desecho, muchos de los cuales ofrecen fuerte resistencia a la biodegradación, que es el tratamiento más usado. Dicho de otra manera, estos compuestos o elementos químicos soportan los tratamientos primario y secundario por lo que resulta necesario incluir un tratamiento terciario que los elimine, y es en éste en el que se incluye el uso de la adsorción con carbón activado.

* La adsorción, tal como el término se utiliza aquí, se

aplica a la transferencia física de un soluto dentro de un fluido hasta la superficie de una superficie sólida en donde se retiene el soluto como resultado de la atracción intermolecular con las moléculas del sólido. El soluto adsorbido no se disuelve en el sólido, sino que permanece en su superficie o dentro de sus poros. El proceso de adsorción es a menudo reversible; así que, cambiando la presión o la temperatura, puede fácilmente retirarse al soluto del sólido. (2)

El uso del carbón activado para adsorción de materiales orgánicos de aguas residuales, ha llegado a ser firmemente demostrado como una práctica confiable para control de contaminación de agua. Es un nuevo instrumento valioso para el cual la Ingeniería Ambiental tiene muchos usos, y hace grandes aplicaciones en preservación de calidad de agua, requerimientos de descargas de efluentes, y producción de agua regenerada libre de color, olor, espuma y otros indicios de presencia de contaminantes orgánicos. (3)

El objetivo de esta tesis es el de reseñar de manera general el método de eliminación de contaminantes de aguas residuales por medio de la adsorción con carbón activado, teniendo como base los estudios que se han llevado a cabo en laboratorios y plantas piloto de las industrias que tienen este problema.

Los temas que se tratan en esta tesis son:

Generalidades, se hace una reseña de los trabajos sobre adsorción con carbón activado que se hicieron anteriormente.

Criterios de Diseño, se comentan los tipos de carbón activado que hay, así como sus ventajas y tamaños. Se comenta el proceso de activación. Se ven las características del pro-

ceso de adsorción. Se comentan los estudios del carbón activo con Isotermas de Adsorción, así como también de Plantas Piloto, y por último se verán los tipos de configuración de los adsorbedores.

Ecuaciones de Diseño, aquí se darán las ecuaciones de diseño que se reportan en la literatura.

Sistemas de Regeneración, en este capítulo se tratarán los diferentes sistemas de regeneración que se utilizan en las regeneraciones del carbón.

Costos, en éste se comentan los tipos de costos que hay en el diseño de estos sistemas.

Conclusiones, se comentarán las ventajas y desventajas que se tienen para este proceso de tratamiento de aguas residuales.

C A P I T U L O I

GENERALIDADES SOBRE ADSORCION CON CARBON
ACTIVADO EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

GENERALIDADES SOBRE ADSORCION CON CARBON ACTIVADO EN
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Durante las primeras décadas del siglo XX se tenía el -- problema de los sabores y olores indeseables en las aguas para el abastecimiento público. La situación se agravó a consecuencia del uso del cloro para la desinfección de las aguas, que a menudo intensifica olores existentes; por otro lado, el enorme desarrollo industrial durante la Primera Guerra Mundial dio como resultado una mayor contaminación de las corrientes de agua. (4)

Investigaciones en conexión con el abastecimiento de agua de Chicago demostraron que carbonos activados son de valor en la eliminación de sabores y olores de aguas potables. En Diciembre de 1927, Chicago padeció probablemente la mayor contaminación en su agua de abastecimiento (debido a fenoles). El daño fue en su mayor parte en productos alimenticios y se estimó en 1.5 millones de dolares. Los alimentos preparados con agua en tal vez 200,000 casas tenían un sabor tan fuerte a clorofenol que no pudieron ser consumidos.

Experimentos extensos demostraron que carbonos activados eliminan eficazmente y económicamente tales sabores y olores indeseables.

En 1930 Spalding usó carbón activado en polvo para tratamiento de agua en New Milford, Nueva Jersey, Ster descubrió en 1929 la efectividad del carbón en polvo para eliminar sabores y olores producidos por microorganismos en Hamburg, N.Y., Trowbridge eliminó el fenol del abastecimiento de agua del sur de Pittsburgh con carbón activado en polvo en 1930. Harrison inició la aplicación del carbón activado granular a esca-

la municipal en este país en City Bay, Michigan en 1930. (5)

En las décadas actuales, el tratamiento de aguas residuales industriales con carbón activado granular se inició en los E. U., Inglaterra y Alemania en el año de 1960. (6)

En Pomona, California, se hicieron investigaciones para encontrar el costo mínimo de tecnología para renovar aguas residuales. La eliminación de disolventes residuales y de materia orgánica suspendida de aguas residuales municipales, es un paso necesario si esta agua va a ser reusada. Se demostraría en Pomona que el uso de una columna de carbón activado granular es un proceso factible para lograr esta eliminación. Para lograr este objetivo el proceso de tratamiento sería evaluado a escala de planta piloto.

De Junio de 1965 hasta Julio de 1969 se trataron 0.3 millones de galones/día en la columna de cuatro etapas de lecho fijo. Las características de calidad promedio del influente y del efluente se ven en la siguiente tabla.

P A R A M E T R O		INFLUENTE	EFLUENTE
Sólidos suspendidos	mg/l	9	0.6
DQO ⁺	mg/l	43	10
DQO Disuelto	mg/l	30	8
CTO ⁺	mg/l	12	3
Nitrato como N	mg/l	8.1	6.6
Turbidez		8.2	1.2
Color		28	3
DBO ⁺	mg/l	3	1

+ Ver definición en anexo del Apéndice.

Como se verá, la demanda química de oxígeno total del efluente, promedia 10 mg/l durante este período con promedios anuales de cerca de 9.3 a 10.5 mg/l. La eliminación de turbidez y sólidos suspendidos es debido a la filtración en el carbón y tendrá lugar en la primera etapa. Una cantidad limitada de nitrato es eliminado en la columna, la concentración del influente es de 8.1 mg/l ($\text{NO}_3\text{-N}$), la cantidad tuvo una reducción de un 19% y es debido a la desnitrificación biológica en el carbón. La demanda bioquímica de oxígeno promedia 1 mg/l.

En otro lugar, la División Chipman de Rhodia Inc., Portland Oregon, tuvo necesidad de hacer una remoción de los niveles tóxicos de fenoles en corrientes de aguas residuales de su planta de herbicidas. (7)

La Chipman de Portland, fabrica herbicidas tales como: ácido 2,4 dicloro fenoxiacético (2,4-D) y componentes similares, o bien como esterés de estos productos: Los procesos de fabricación incluyen la cloración de fenol y de cresol, los cuales resultan dentro de la presencia de componentes clorofenólicos intermedios en las aguas residuales de la planta.

En 1956, estas aguas residuales no tratadas son descargadas en una laguna de 12 acres (48564 M^2) y de ahí fluían al Río Villamette.

En 1966 las Autoridades Sanitarias del Estado de Oregon estableció 15 mg/l de fenoles como límite máximo.

Con las facilidades de la cloración lograron una calidad de 10 mg/l.

En vista de que los componentes fenólicos tienen un efecto dañino en los procesos de tratamiento biológico, municipal, al año siguiente se le notificó a la planta que el límite máximo sería modificado a 1.0 mg/l de fenoles. Este límite sería determinado por la Ciudad de Portland, la cual examinaría

el efluente en una planta piloto (diluyendo 500:1 con aguas residuales de la ciudad), y determinaría si la mezcla sería perjudicial a la acción bacteriológica normal.

Se buscaron nuevos métodos de procesamiento. Mediante estudios se demostró que con los efectos de la cloración no se tendría una reducción menor de 10 mg/l.

Tratamientos con Bromo y Permanganato de Potasio determinaron ser más efectivos que la cloración, pero con un alto costo.

Sóloamente la adsorción con carbón activado satisfizo el límite requerido de 1.0 mg/l.

El tratamiento con carbón activado ofreció importantes beneficios a la planta de Chipman. El alcohol y el ácido fenoxiacético son completamente eliminados del efluente, los sólidos suspendidos son filtrados afuera, y el carbón adsorbe componentes orgánicos disueltos que no responden a las técnicas de clarificación o a la degradación biológica.

Salmueras Contaminadas de Orgánicos

En una planta de fenol de Midland Mich., se trataron - 144,000 gal/día de residuos de salmuera. (8)

Los efluentes de la planta de fenol contienen Cloruro de Sodio (18%), acetato de Sodio (2000 ppm) y fenol (150-200 ppm). En el proceso un lecho de carbón activado es usado para eliminar el fenol. La salmuera es entonces acidificada. Esto convierte el acetato de sodio a ácido acético, el cual es eliminado en un segundo lecho de carbón. La salmuera purificada es recirculada al proceso.

Otro caso:

La Asociación Nacional Cannery (ANC), en contrato con la Administración Federal de Calidad de Agua, pilotearían un sistema de carbón activado para limpiar una salmuera de la elaboración de alimentos. (9)

En el proceso de la ANC, la salmuera usada es acumulada en un estanque de plástico de 1500 gal. que sirve como tanque asentador para remover algunos de los sólidos. La salmuera es transferida del tanque a la velocidad de 0.5 a 3 gal/min. por el fondo de una columna de carbón activado (24 pies de altura, 16 pulg. de diámetro). La salmuera recobrada por arriba de la columna es limpiada en un 60 a 70% de orgánicos medidos por Demanda Química de Oxígeno.

La Unión Carbide hizo aplicaciones de adsorción con carbón activado para tratar aguas residuales petroquímicas.

En una de sus plantas se producen una variedad de monómeros y resinas plásticas, Las aguas residuales de ésta tienen un flujo de 10,500 gal/hr. con una Demanda Química de Oxígeno, de 8,900 mg/l.

Tratando 1.9 gal. de aguas residuales por libra de carbón, producen un efluente conteniendo 2000 mg/l de DQO residual. Estas aguas residuales contienen algunos de los orgánicos oxigenados de bajo peso molecular los cuales no son eficazmente adsorbidos.

En otra planta, la corriente de aguas residuales contienen metil-etil-piridina (MEP), y polieters bio-resistentes, y otros constituyentes, y presenta una alta espumación.

Después del tratamiento con carbón activado los datos de la siguiente tabla muestran una excelente eliminación de estos compuestos.

C O N C E N T R A C I O N

CARACTERISTICAS	EN LA ALIMENTACION	DESPUES DEL TRATAMIENTO TO 10 GAL. AGUAS RESIDUALES/LB CARBON
DQO	mg/l	6600
MEP	mg/l	550
Polieters	mg/l	120
Espumación	ml/50ml	52
		500
		0
		3
		0

En Julio de 1969 se fundó un programa en conjunto por St. Regis Paper Co., y la Agencia de Protección Ambiental en Pensacola, Florida. Este programa proporcionaría nueva tecnología en la industria de pulpa y papel para solucionar el problema de contaminación industrial. El objetivo último de esta tecnología sería para concluir el ciclo del agua de la planta de pulpa kraft y papel mill.

El efluente Kraft-Mill se trataría en una planta piloto para obtener un efluente de una calidad adecuada para reuso, usando carbón activado en el tratamiento.

Por los resultados de la planta piloto se confirmó que la técnica de usar carbón activado es parte de una secuencia de tratamiento para producir agua reusable del efluente total Kraft-mill. (10)

Para el caso de aguas residuales de la industria Petroquímica y de Refinería. (11)

Los resultados de estudios piloto recientemente dirigidos por D. L. Ford aplicando carbón como un proceso total para tratamiento de aguas residuales petroquímicas y de refinería son algo desalentadores.

Estos estudios indican que hay una gran dispersión de orgánicos (DBO y DQO) que no pueden ser eliminados de estas aguas residuales.

Este autor llegó a la conclusión por sus estudios que el tratamiento con carbón, es un paso en la secuencia de tratamiento de aguas residuales.

Adicionando a los estudios de aguas residuales, se hicieron un selecto número de análisis de isotermas de adsorción que fueron dirigidos a muestras de aguas sintéticas que contienen tóxicos químicos tales como ALDRIN, DIELDRIN, ENDRIN, TOXAFENO, D.D.T., D.D.D., D.D.E. y DIFENILOS POLICLORADOS. (12)

Los resultados fueron los siguientes:

COMPONENTE	PH	CONC. INICIAL Mg/l	CONC. TRATADA CON CARBON ALT. Mg/l	% REDUCCION DE ORGANICOS
ALDRIN	7.0	48	< 1.0	+ 99
DIELDRIN	7.0	19	0.05	+ 99
ENDRIN	7.0	62	0.05	+ 99
D.D.T.	7.0	41	0.1	+ 99
D.D.D.	7.0	56	0.1	+ 99
D.D.E.	7.0	38	< 1.0	+ 99
TOXAFENO	7.0	155	< 1.0	+ 99
AROCOLOR 1242 (PCB)	7.0	45	< 0.5	+ 99
AROCOLOR 1254 (PCB)	7.0	49	0.5	+ 99

Los datos indican que en las muestras, los tóxicos químicos son reducidos a más del 99% tratados con carbón activado.

Después de los análisis de las isotermas de adsorción dirigidas en los estudios iniciales, varias plantas eligieron

una complementación con estudios piloto para determinar los datos de diseño del sistema. Siguiendo los estudios piloto, 15 plantas instalaron sistemas de adsorción.

C A P I T U L O I I

CRITERIOS DE DISEÑO

CRITERIOS DE DISEÑO

Los sistemas de adsorción con carbón activado generalmente se usaron en industrias de procesos químicos por algunas décadas. Ahora juegan un papel importante en la limpieza de efluentes de plantas y aguas residuales municipales. Sin embargo, el diseño de sistemas con carbón granular puede ser difícil y en algunos casos con mucho consumo de tiempo.

Para establecer los criterios de diseño se implica una serie de pasos:

Estudios del carbón con isotermas de adsorción, pruebas en columnas a escala piloto y la configuración de los adsorbedores. (13)

Para esto, primeramente se hará una reseña de los tipos de carbón para estos sistemas. (14)

El carbón activado fue uno de los primeros materiales que fueron extensamente usados en procesos de adsorción. Su estructura porosa y enorme área de superficie acumula y retiene una amplia variedad de sustancias.

Hay dos formas de carbón activado: En polvo y granular. El carbón en polvo es generalmente suspendido dentro del líquido y después separado por filtración en procesos en serie o de contacto. El carbón granular es casi siempre usado en columnas filtradoras, en las cuales el flujo del líquido entra continuamente desde el principio hasta el fin.

La forma granular tiene obvias ventajas:

- 1) El manejo y problemas de limpieza de la forma pulverizada son eliminados;
- 2) Los problemas de mover el carbón en polvo agotado son aliviados;
- 3) El carbón granular es más adaptable para procesos

continuos.

Pero las ventajas decisivas de la forma granular son: el de reducir en gran parte el consumo de carbón y bajar el costo del tratamiento del carbón por unidad de líquido procesado.

Hay dos razones por qué esto es así:

Primera, la forma granular puede ser usado más eficientemente porque puede ser agotado más completamente.

Segunda, es que el carbón granular agotado puede ser conveniente y económicamente regenerado y reusado.

Tamaños de malla de los carbonos

Los carbonos activados granulares están dados en varios tamaños de malla estándar:

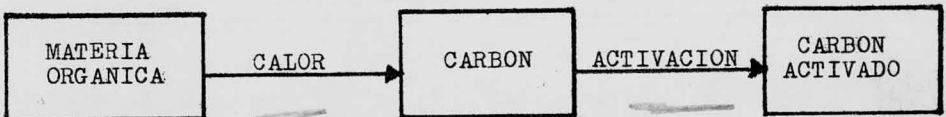
8X30 (0.13 pulg. X 0.28 pulg.), 4X12 (0.19 pulg. X 0.07 pulg.), 12X20 (0.07 pulg.X 0.03 pulg.), 12X40 (0.07 pulg.X0.017 pulg.), 20X40 (0.03 pulg.X 0.017 pulg.)

La selección del tamaño es generalmente dictada por la viscosidad y velocidad de flujo del líquido que será tratado.

Proceso de Activación

La materia prima para el carbón activado proviene de materia orgánica tal como madera, hulla, cáscaras de coco, carbón bituminoso, lignito, etc. (1)

En general, el proceso de producción se puede representar como sigue:



Las partículas de carbón consisten de microcristales unidos por grupos funcionales, los cuales están colocados en los bordes del cristal.

Los carbonos son activados por oxidación a alta temperatura o por deshidratación química a temperaturas más bajas; vapor, aire y CO_2 son usados comunmente para la oxidación. Cuando ellos son hechos de lignito es oxidado con vapor a temperaturas altas en una atmósfera controlada. (14)

Esta oxidación se inicia con el ataque a los grupos funcionales, formándose así los macroporos. En seguida el ataque se concentra en los planos de los cristales, formando los microporos. Cuando existe materia inorgánica en el carbón ésta produce esfuerzos estructurales en el sólido, lo cual vuelve más susceptible de ataque y más activo este lugar de la superficie. Así, la superficie de un carbón activado está formada en parte por grupos funcionales de intercambio iónico y grupos funcionales con electrones residuales, ligados entre sí por sistemas de enlaces químicos. (1)

Para algunos casos estos componentes inorgánicos (tales como hierro, calcio, azufre, silice, magnesio, aluminio), pueden contaminar el líquido que se va a tratar, para evitar esto, los carbonos se lavarán con ácido y agua para minimizar éstos. (14)

La naturaleza de estos grupos funcionales depende del tipo de materia prima que se utilice, del método de activación y de las impurezas que existan en la materia prima. Después de la activación el carbón tiene una forma de polímero-complejo en vez de una estructura tipo grafito. (1)

Unos autores dan especificaciones sugeridas de carbón activado granular para uso en tratamiento de aguas residuales, se ven en la siguiente tabla: (3)

Area de superficie total (M ² /g)-----	950-1500
Densidad aparente (lb/ft ³)-----	26
Densidad de partícula, humedecida en agua (g/cc)-----	1.3-1.4
Tamaño efectivo (mm)-----	0.8-0.9
Coefficiente de uniformidad-----	1.9 o menor
Serie Estandar de U. S., Tamaño de Tamiz	
más grande que el No. 8-----	máximo 8%
más pequeño que el No. 30-----	máximo 5%
Diámetro promedio de partícula (mm)-----	1.5-1.7
Ceniza-----	máximo 8%
Humedad-----	máximo 2%

➔ Características del Proceso de Adsorción

(1) Para tener un proceso de adsorción eficiente, son necesarias una eliminación rápida de los compuestos en solución y una gran capacidad para la adsorción. Es decir, en el proceso de adsorción hay dos aspectos que tenemos que considerar; la cinética y el equilibrio. El primero nos da idea del tiempo de contacto necesario entre adsorbente y solución; y el segundo, la capacidad adsorbente, que es una medida de la vida útil del carbón activado.

El mecanismo que limita la velocidad de adsorción es generalmente la resistencia en la película exterior o la difusión intrapartícula, dependiendo de las características hidrodinámicas del sistema. Por otro lado, la posición final del equilibrio depende de las fuerzas de adsorción ya sean de naturaleza física o química. De hecho la velocidad de adsorción es controlada, en la mayoría de los casos, por la difusión interna, tomando en cuenta el hecho de que existe una ve

locidad relativa entre el fluido y el sólido, abajo de la cual el mecanismo controlante es la difusión en la partícula externa.

Entonces el tamaño de las partículas no afecta a la capacidad de adsorción sino únicamente a la velocidad, de tal manera que se espera una dependencia de la velocidad de adsorción y el tamaño de la partícula cuando el sistema está alejado del equilibrio.

De acuerdo a estas consideraciones, desde el punto de vista de la eficiencia de adsorción, es mejor utilizar partículas pequeñas, sin embargo, desde el punto de vista económico, resulta más conveniente utilizar partículas grandes debido al costo de reposición de carbón al utilizar partículas pequeñas.

—▶ Selectividad en Adsorción

(15) Generalmente las moléculas orgánicas de alto peso molecular son preferentemente adsorbidas que las de bajo peso molecular. Esto se aplica especialmente a componentes orgánicos que tienen tres o más átomos de carbono.

Si la molécula es no polar, así mismo la adsorción es favorecida. Entonces los contaminantes no polares aromáticos de alto peso molecular tales como benceno, pueden ser fácilmente eliminados de soluciones acuosas; orgánicos polares de bajo peso molecular tales como metanol no son eficazmente eliminados.

Hay sin embargo un peso molecular máximo sobre el cual la adsorción es afectada desfavorablemente, particularmente a medida que la molécula orgánica disuelta se aproxima al tamaño del polímero. La molécula puede llegar a ser tan grande

que el poro de difusión dentro de la vasta área de superficie interna del carbón activado sería inhibido. Si este fenómeno es sospechado, las pruebas de laboratorio serán manejadas para evaluar la posibilidad de éxito para el tratamiento de adsorción.

En la siguiente tabla se verán en general las influen-
cias de la estructura molecular y otros factores sobre la ad-
sorbabilidad. (11)

- 1.- Los componentes aromáticos son generalmente más adsorbibles que los componentes alifáticos de similar tamaño molecular.
- 2.- Las cadenas ramificadas son usualmente más adsorbibles que las cadenas sencillas.
- 3.- Grupos sustituyentes que afectan la adsorbabilidad:

Grupo Sustituyente	Naturaleza de Influencia
Oxhidrilo	Generalmente reduce la adsorbilidad; el grado de reducción depende de la estructura de la molécula principal.
Amino	Efecto similar que el oxhidrilo pero un poco mayor. Muchos ácidos amino no son adsorbidos para cualquier grado apreciable.
Carbonilo	Efectos varios según la molécula principal; el ácido glioxálico es más adsorbible que el acético, pero semejante incremento no ocurre cuando lo introducimos dentro de ácidos grasos más altos.

Doble Ligadura	Efectos variables.
Halógenos	Efectos variables.
Sulfuros	Usualmente disminuye la adsorbabilidad.
Nitro	Muchas veces incrementa la adsorbabilidad.

- 4.- Un incremento en la solubilidad del soluto en el líquido transportador disminuye la adsorbabilidad.
- 5.- Generalmente, soluciones altamente ionizadas no son adsorbibles como unas débilmente ionizadas; es decir moléculas no disociadas son en general preferentemente adsorbidas.
- 6.- La cantidad de adsorción hidrolítica depende de la capacidad de la hidrólisis para formar un ácido o base adsorbible.

ESTUDIO DE CARBONOS ACTIVADOS CON ISOTERMAS DE ADSORCION

Anteriormente se mencionó que el carbón activado es un polímero complejo formado por microcristales unidos por sus extremos en los cuales existen dos posibles lugares donde un soluto pueda adsorberse; sobre los planos o en los bordes de los microcristales. (1)

Estos dos sitios tienen diferentes propiedades; las superficies planas son probablemente de naturaleza más uniforme, con poca posibilidad de grupos funcionales debido a que los electrones en los átomos de carbón están compartidos por los enlaces covalentes entre ellos. De esto se puede predecir que la adsorción se lleva a cabo por fuerzas débiles tipo Van der Waals.

Los bordes o extremos de los cristales son más heterogéneos que las superficies planas, debido a la existencia de los grupos funcionales. Estos grupos tienden a participar en enlaces con intercambio de electrones, característicos de la quimisorción.

Para evaluar y seleccionar los carbonos activados granulares en una aplicación industrial específica, se recomienda el procedimiento de pruebas en serie con muestras pulverizadas para ayudar a seleccionar el carbón más prometedor en base a las isotermas de Langmuir o de Freundlich. (14)

Si bien los carbonos granulares pueden ser comparados en su forma granular original por medio de pruebas en serie, ellos son generalmente evaluados en forma pulverizada porque alcanza más rápidamente el equilibrio.

(15) Los datos para una isoterma son obtenidos por tratamiento de volúmenes fijos del líquido contaminante con una serie de pesos de carbón conocidos. La mezcla carbón líquido es agi

tada a una temperatura constante. Después que el carbón y el líquido alcanzan el equilibrio de adsorción, el carbón es removido y la contaminación residual en el líquido es medida por un método analítico apropiado.

La concentración del contaminante residual, C, de la solución es medida directamente. La cantidad de impurezas adsorbidas en el carbón, X, es la diferencia entre la concentración de contaminantes no tratados, C₀, y la concentración de contaminantes residuales, C.

Dividiendo X por M, el peso de carbón usado en la prueba, dá la cantidad de contaminantes adsorbidos por unidad de peso de carbón.

Isoterma de Langmuir.

Esta ecuación supone que la superficie es homogénea, por lo cual la energía de adsorción es constante. Supone también que existe una capacidad máxima de adsorción que es la cobertura de una monocapa y que las moléculas adsorbidas no interactúan. La expresión es:

$$\frac{X}{M} = \frac{abC}{1+bC} \quad (21)$$

en donde

X/M = cantidad adsorbida por unidad de peso de adsorbente (carbón).

a, b = constantes empíricas.

C = concentración al equilibrio del contaminante de la solución.

Una isoterma de Langmuir se muestra en la figura NO. 1 del apéndice.

Las constantes en la ecuación de Langmuir se pueden de--

terminar graficando: $C/(X/M)$ vs C , y usando la ecuación

$$\frac{C}{(X/M)} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} C$$

La correspondencia de datos experimentales para la ecuación de Langmuir no significa que las suposiciones indicadas son válidas para el sistema particular que sería estudiado, porque partiendo de las suposiciones se puede tener un efecto nulo.

Isoterma de Freundlich.

Esta considera una superficie heterogénea.

La ecuación de la isoterma de Freundlich relaciona empíricamente los datos de la isoterma, y son establecidos para acceso a un gran número de adsorciones en soluciones diluídas. La ecuación es de la forma:

$$\frac{X}{M} = KC \quad 1/n \quad (15)$$

en donde K y n son constantes. Una isoterma de Freundlich en la figura No. 2 del apéndice.

Tomando el logaritmo de ambos lados producirá una ecuación lineal cuya pendiente es $1/n$ y cuya intercepción es $--$
 $K a C = 1$

$$\text{Log. } \frac{X}{M} = \text{log. } K + \frac{1}{n} \text{ log. } C \dots\dots(1)$$

Cuando los datos de la prueba de laboratorio son graficados en un papel log-log, la línea recta que une los puntos es la relación isotermal entre la concentración del contaminante y la capacidad del carbón en equilibrio.

De una prueba de isoterma se puede determinar si una pu-

rificación particular puede ser efectuada o no. También se de
mostrará la aproximada capacidad del carbón para la aplica---
ción y proporcionará una estimación aproximada de la dosis re
querida del carbón. Las pruebas de adsorción también darán un
medio conveniente para estudiar los efectos de PH y temperatu
ra sobre la adsorción. Las isothermas obtenidas bajo condicio-
nes idénticas, usando el mismo líquido contaminante para dos
carbonos a prueba, pueden ser rápida y convenientemente compa
radas para revelar los rendimientos de los carbonos.

INTERPRETACION DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION

En la figura No. 3 del apéndice se ven típicas isothermas de adsorción. (3)

La isoterma para el carbón A está en un nivel alto y tiene una leve pendiente. Esto significa que la adsorción es grande.

El hecho de que la isoterma para el carbón B está en un nivel bajo, indica proporcionalmente baja adsorción.

Sin embargo, la isoterma de Freundlich es limitada en ciertos casos, como se muestra en la figura No. 4 del apéndice. Esto ocurre cuando las aguas residuales son complejas y concentradas, y están implicadas con una porción significativa de impurezas orgánicas no tratables por adsorción, resultando dentro unos residuales constantes insensibles a la dosis de carbón. (11)

La ecuacion (1) hace explícito los límites del equilibrio de una agua residual, las cantidades son particularmente sensibles a la naturaleza de los constituyentes. Generalmente "n" y "K" disminuyen con aumentos en complejidad de las aguas residuales. Valores altos de "n" y "K" indican alta adsorción en todo el rango de concentración estudiada. A bajo "K" y alto "n" se indica una baja adsorción en todo el rango de concentración estudiada. A bajo valor de "n" o fuerte pendiente, indica alta adsorción en fuertes concentraciones y baja adsorción en concentraciones bajas.

PRUEBAS PILOTO EN COLUMNAS DE CARBON

Las pruebas en columnas de carbón en plantas piloto se hacen con el propósito de obtener datos de diseño para construcción de una planta de gran escala. (3)

Las pruebas piloto de columnas hacen posible los siguientes objetivos:

- 1.- Comparar el desempeño de dos o más carbonos bajo las mismas condiciones dinámicas de flujo.
- 2.- Determinan el tiempo de contacto óptimo requerido para producir la cantidad deseada del efluente en la columna de carbón de los cuales es el más importante de todos los factores de diseño.
- 3.- Comprueba los datos del fabricante para principales pérdidas a varias velocidades de flujo a través de diferentes tamaños de lechos.
- 4.- Comprueba la velocidad de flujo de agua de limpiado.
- 5.- Establece la dosis de carbón requerida, la cual determinará la capacidad necesaria de los hornos de regeneración de carbón y auxiliares.

La capacidad de operación óptima y el tiempo de contacto serán determinadas en orden para fijar las dimensiones de la columna y el número de unidades que se necesitan para tratamiento continuo.

El tiempo de contacto óptimo depende de la velocidad a la cual el contaminante es adsorbido por el carbón.

Estas pruebas son dirigidas en las columnas de carbón cuyos rangos de tiempo de contacto van de 15-60 minutos o mayores.

La velocidad de flujo por unidad de área a través de una columna de adsorción, carga limitada de superficie, no es sus

ceptible en la mayoría de las aplicaciones de aguas residuales. Sin embargo, es conveniente hacer al menos dos corridas dinámicas de columna a diferentes cargas antes de eliminar esta variable. (15)

El alcance general de estas variables son estudiadas con velocidades de flujo de 2-10 gpm/ft² de área de sección transversal de columna, y tamaños de lechos de 10-30 ft. El diámetro de las columnas de carbón pueden ser de 2-8in.

En estas pruebas tendrán que ser observados el PH y la temperatura para estar seguros que ellos corresponden a los valores para la operación de planta a gran escala. (3)

En la figura No. 5 del apéndice se muestran los tipos de arreglos de columnas de carbón piloto de flujo ascendente y descendente.

El agua residual es bombeada a través de las columnas de carbón y muestras del efluente son tomadas a intervalos apropiados para cada una de las columnas. La cantidad de impurezas que quedan en las muestras es graficada como una función de la cantidad de volumen para cada columna. El resultado es una serie de curvas que varían en forma, dependiendo de la dinámica del sistema. En la figura No. 6 del apéndice se observan este tipo de curvas.

El punto en el cual las impurezas en un efluente de columna rebasa el objetivo del tratamiento es llamado el punto límite.

Durante la adsorción, la sección superior de una columna es saturada con impurezas, mientras que la sección inferior queda relativamente virgen. Entre estos dos extremos está la zona de adsorción en donde la separación de las impurezas es efectivamente buen sitio. Como la columna queda saturada, el movimiento en la zona de adsorción es descendente a través

del lecho. El tiempo requerido para la aparición del punto límite en el efluente, así como la pendiente del avance de la curva, provee un índice del tamaño relativo de la zona de adsorción.

De el avance de la curva, se puede leer directamente el volumen de efluente aceptable acumulado para cada tiempo de contacto. De las curvas isotermas, la velocidad del carbón - (lb de carbón usado por unidad de volumen de aguas residuales tratadas) puede ser también calculado.

Con estos datos se puede graficar una curva de tiempo de contacto contra velocidad de agotamiento, como se muestra en la figura No. 7 del apéndice.

Esta curva revela si hay algo provechoso de largos tiempos de contacto. En los puntos en donde la curva se hace - asintótica, no hay ventaja en crecientes volúmenes adsorbidos para alargar tiempo de contacto.. (15)

CONFIGURACION DE LOS SISTEMAS ADSORBEDORES

Después que el tiempo de contacto fue establecido se debe de seleccionar la configuración del adsorbedor entre un lecho fijo individual o a contracorriente. Las curvas obtenidas ayudan en la decisión. Las curvas que son muy inclinadas están a favor de lechos fijos, sistemas no por etapas mientras las curvas graduales en la pendiente indican el uso del carbón en contracorriente para lograr la mayor economía, prácticamente alcanzable con velocidades de agotamiento.

Las varias configuraciones de adsorbedores se buscan para explotar el carbón tanto como sea posible al tiempo que evitar problemas hidráulicos. Los más comunes se ven en la figura No. 8 del apéndice y se describen a continuación:

Lechos Fijos en Serie.

En este diseño de contacto, el flujo es descendente a través de adsorbedores conectados en serie. Cada lecho de carbón es colocado en una unidad completa, empezando con la primera unidad, el lecho que se volverá a cargar será entonces movido a la posición de pulimiento.

El carbón así se moverá en contracorriente hacia el flujo de agua residual.

Este diseño es apto para sistemas que usen pequeñas cantidades de carbón, pero requiere de una eficiente contracorriente. Si el agua de limpiado es suministrada con una cantidad limitada de material suspendido puede ser directamente manejada en los primeros adsorbedores.

Lechos Movibles.

Esta técnica es un perfeccionamiento de los principios

de operación a contracorriente. Los flujos de aguas residuales van hacia arriba a través del lecho, la sección del lecho será removido periódicamente por los fondos de la unidad. El carbón fresco entrara por arriba del recipiente. Este diseño es más útil para sistemas que requieren grandes cantidades de carbón y eficiencia en contracorriente.

La materia suspendida debe generalmente ser removida antes del lecho movibles para prevenir dificultades hidráulicas tales como taponamiento y obstrucción.

Lechos Fijos en Paralelo.

Estas unidades son operadas con el flujo en paralelo, y cada lecho de carbón es reemplazado como una sola parte. Este diseño es favorable para plantas de gran volumen, en donde la mezcla del efluente decidirá encontrar el tratamiento estándar.

Lechos Extendidos con Flujo Ascendente.

Con esta configuración los adsorbedores operan con flujo ascendente en serie o en paralelo, en superficies con velocidad de carga de casi 7-8 gpm/pie².

La operación de los lechos extendidos con flujo ascendente es casi cerca de un 10% de su volumen empacado. Las unidades agotadas son reactivadas en serie como están, y son rotadas de acuerdo a la secuencia similar que se usó en unidades de flujo descendente en serie u operación en paralelo.

Las ventajas de este tipo de sistemas es la habilidad para pasar sólidos suspendidos sin desarrollar excesiva caída de presión.

C A P I T U L O I I I

ECUACIONES DE DISEÑO

ECUACIONES DE DISEÑO

En la literatura, los autores que escriben sobre el tratamiento de aguas residuales con carbón activado no reportan en concreto ecuaciones para el diseño de sistemas de adsorción.

Para el diseño de estos sistemas, se han basado en los trabajos de laboratorio a nivel piloto. (15)

H. J. Fornwalt y R. A. Hutchins son los autores que reportan un método para el diseño de estos sistemas. Este método está basado en el aumento de escala de los datos obtenidos en las columnas de carbón piloto.

Aún así, la aplicación directa de una fórmula para aumentar a escala los datos obtenidos en estas pruebas no pueden predecir con precisión qué dimensiones de la columna de producción serán. Esto es así, porque cada incremento de altura de columna, aumenta para el efecto de contracorriente, que es el que usa más eficientemente el carbón.

Estos autores citan un estudio en el cual la altura de una columna sería variado; un carbón particular decolorizará 61.6 ml. de un jarabe de azúcar por gramo de carbón en un lecho de 18 pulgadas, y 77.4 ml/g en un lecho de 72 pulgs. Incrementando la altura cuatro veces aumenta la eficiencia 26%. Como la eficiencia va aumentando la altura de la columna es usualmente determinada empíricamente.

Las primeras recomendaciones acentúan el valor de las pruebas conducidas en columnas a la altura del lecho esperado en la planta.

La relación de las áreas de sección transversal de las columnas piloto y de la planta será igual a la relación de la velocidad de flujo de las columnas piloto y la velocidad de

flujo de la planta.

El aumento a escala y diseño del sistema de la planta está basado en dos valores determinados en las pruebas de las columnas piloto: V_b y V_a .

V_b , que es la cantidad de volumen, en volúmenes de lecho por hora, basado en volumen de carbón y volumen vacío.

Estos autores asumen que el volumen vacío es 0.50 porque el rango para carbonos granulares empacados es de 0.40 a 0.55. Con esto tenemos que:

$$(16) \quad V_b = \frac{0.50}{Tr}$$

en donde Tr es el tiempo de contacto o de residencia.

De acuerdo con esto la cantidad de volumen varía de 0.2 a 2.0 volúmenes de lecho por hora para Tr de 15 minutos a 2.5 horas.

Esta cantidad de volumen se comprobará satisfactoriamente y el cual producirá la curva de agotamiento de la columna que caracteriza el proceso.

V_b , se mantendrá constante en el aumento de escala.

Tr , también se mantendrá constante en el aumento de escala.

V_a , es el volumen de aguas residuales tratadas en la curva de avance, está en galones/libra de carbón.

Otros valores que se toman en consideración son:

Ca, concentración de impurezas máxima permisibles del efluente.

y

V, el flujo de aguas residuales que será tratado en la planta, en galones/hora.

El volumen (B) del lecho de carbón en pies cúbicos es obtenido por la siguiente fórmula:

$$(16) \quad B = \frac{V}{(7.48)(Vb)} \quad (1)$$

en donde $\frac{1}{7.48}$ es el factor para convertir galones a pies cúbicos.

Multiplicando este volumen del lecho por la densidad aparente (D) del carbón activado, lb/pie cúbico, dá el peso de carbón (W) requerido en la columna de la planta.

$$(16) \quad W = BD \quad (2)$$

La vida (T) de este peso de carbón (W), antes que la concentración permisible de impurezas (Ca) es alcanzada, es calculada en dos pasos.

Primero: el peso de carbón requerido por hora (Wh) es establecido por:

$$(16) \quad Wh = \frac{V}{V_a} \text{ en libras de carbón/hr} \quad (3)$$

y segundo, la vida total de servicio (T) en horas es obtenida por:

$$(16) \quad T = \frac{W}{Wh} \quad (4)$$

La vida total de servicio del lecho es independiente del tamaño de la columna, será una función del carbón, de la forma de la curva de agotamiento de la columna y el tiempo de contacto.

La vida del lecho en la planta será algo mayor que en las columnas de prueba.

Al determinar el número de lechos en serie para operación a contracorriente se asume que cada curva sucesiva es recorrida a la derecha por una distancia, V_a

N , es el número de lechos.

$$\frac{W}{N} = \text{Peso de carbón en cada lecho.} \quad (9)$$

$$\frac{T}{N} = \text{Intervalo para cambiado de lecho.}$$

Los lechos de carbón en columnas de producción pueden ser de altura hasta de 35 pies, con diámetros variando hasta 12 pies.

Obviamente, cuando las columnas son conectadas en serie la altura del lecho de carbón total puede ser mucho mayor. (14)

Habiéndose determinado las dimensiones del lecho de carbón y el arreglo de las columnas, se deberá establecer los detalles de la construcción de la columna, accesorios, y suministros para el manejo hidráulico del carbón granular.

Las columnas de plantas de adsorción generalmente tienen relaciones de altura a diámetro no menores de 2 a 1. Esta relación es dictada por la práctica antes que de consideraciones teóricas. Por ejemplo, columnas demasiado grandes causan

excesiva caída de presión y no pueden ser acomodadas fácilmente dentro de el espacio disponible de la planta; mientras las columnas serán demasiado cortas y con baja ineficacia de adsorción, particularmente cuando la altura de la zona de adsorción es mayor que la altura de la columna.

Las columnas son generalmente construídas de acero templado. Hay casos en que el líquido que será procesado es muy corrosivo. También se tiene que el carbón seco no es corrosivo, pero mojado es extremadamente corrosivo y hará hoyos en el acero templado por corrosión electrolítica de un tamaño de hasta 1/4 de pulg. en un año.

Para evitar este problema se tendrá que usar un revestimiento adecuado.

Se pueden usar columnas de acero inoxidable que es un buen material, aunque más costoso.

Las columnas son diseñadas con fondos planos o cónicos. Estas de fondos cónicos facilitan la descarga del carbón.

Las mamparas serán diseñadas para una retención mínima de carbón de 60 a 80 mallas.

Se diseñarán varios dispositivos para distribuir el flujo de agua uniformemente en el lecho de carbón.

Caída de Presión.

La caída de presión será calculada en cada columna para establecer la cabeza de presión a la cual la bomba debe trabajar.

En columnas grandes se podrá calcular por la siguiente ecuación:

$$(16) \quad AP = K (h u V) / (dp)^2 (dc)^2$$

en donde:

AP = caída de presión, lb/pulgada cuadrada.
 h = altura en la columna de la planta, en pies.
 V = flujo de agua a través del lecho, gal/hora.
 dp = diámetro promedio de partícula, mm.

El dp para el carbón granular es:

Para 4 X 12 mallas es 2.25 mm.

12 X 20 " " 1.20 mm.

12 X 40 " " 0.85 mm.

20 X 40 " " 0.65 mm.

dc = diámetro de la columna de planta, en pies.

u = viscosidad del líquido, en centipoises, cp.

K = una constante teniendo las dimensiones.

$$(\text{Psi}) (\text{mm})^2 (\text{ft})^2 / (\text{ft}) (\text{cp}) (\text{gph})$$

Se determinó en laboratorio un valor de $K = 0.000538$

Si las pruebas se hacen en columnas piloto, los datos de caída de presión pueden ser aumentados a escala por medio de la siguiente relación:

$$(16) \quad \frac{AP'}{K h' u V'} = \frac{K h' u V' / (dp)^2 (dc')^2}{K h u V / (dp)^2 (dc)^2} = \frac{h' V_s'}{h V_s}$$

$$AP' = AP \left(\frac{h'}{h} \right) \left(\frac{V_s'}{V_s} \right)$$

en donde $V_s = V / (dc)^2 =$ velocidad superficial en (gal/hr)/ft² de área de sección transversal. Las señas primas distinguen a la columna de la planta de las columnas piloto.

Para calcular la caída de presión total a través de un sistema de columnas en serie, simplemente se considera la al-

tura del lecho (h') como la suma de las alturas del lecho de las columnas en servicio a un tiempo.

Para un sistema de columnas en paralelo dividimos el flujo total entre las columnas en servicio a un tiempo, el cual formará la velocidad superficial (V_s') en fracciones apropiadas.

C A P I T U L O I V

SISTEMAS DE REGENERACION.

SISTEMAS DE REGENERACION

A través de los años desde que el carbón activado granular y en polvo llegó a ser más ampliamente aplicado en unidades de proceso, una gran variedad de procesos de regeneración fueron probados. (17)

Estos procesos de regeneración incluyen:

Térmicos, químicos, por solventes, por gases calientes, y por procesos biológicos. La regeneración térmica es el método más extensamente usado.

El objetivo de la regeneración de carbón, es el de eliminar de la estructura porosa de éste los materiales adsorbidos previamente, proporcionándole así la capacidad para adsorber impurezas adicionales.

Se describirá cada uno de estos procesos:

A) REGENERACION QUIMICA.

Una variedad de procesos químicos son usados y evaluados para regeneración. El objeto básico en estos procesos es para modificar la naturaleza de los orgánicos adsorbidos a través de reacciones ácido-base o redox para modificar el equilibrio de adsorción o para efectivamente efectuar descomposición química. De este tipo tenemos:

1.- Extracción Acido-Base.

La adsorción de ácidos y bases orgánicas débiles de soluciones acuosas es altamente dependiente del PH. La causa de esto es la ionización, la cual toma lugar con ácidos orgánicos bajo condiciones básicas y bases orgánicas bajo condiciones ácidas.

Substancias fuertemente ionizadas generalmente son pobremente adsorbidas. Este efecto de PH condiciona el fundamento para un muy efectivo proceso de regeneración bajo las circunstanCIAS convenientes.

Ejemplos de materiales los cuales tienen que ser efectivamente eliminados durante regeneración ácido o base incluye fenol, cresol, ácido acético y una variedad de otros materiales en la industria química y farmacéutica.

2.- Oxidación Húmeda.

Este proceso se usa para los carbonos en polvo. Una suspensión de carbón agotado es calentado a 300-400°F en una vasija de presión con cantidades controladas de aire. Este proceso fue demostrado a escala de planta piloto y al parecer fue exitoso. En la figura No. 9 del apéndice se ilustra este proceso.

3.- Oxidación Química.

Una variedad de agentes oxidantes químicos fueron probados en escala de laboratorio. Estos incluyen cloro, permanganato de Potasio, dicromato de Sodio, ozono, peróxido de hidrógeno y otros. Una mínima restauración parcial de la capacidad de adsorción fue demostrada; Estos procesos no se demostraron técnicamente para operaciones continuas.

B) REGENERACION POR SOLVENTES.

La regeneración por solventes implica el paso de un solvente apropiado a través del carbón agotado para disolver el material adsorbido. (18)

Por una elección adecuada del solvente, la separación de

éste y los componentes desorbidos puede hacerse por destilación, extracción, decantación o precipitación.

El solvente puede ser reciclado hasta que deba ser descargado o purificado por destilación para reusarlo.

La regeneración por solventes serán demostradas por estudios de laboratorio y a escala piloto.

Será factible para algunas corrientes residuales incluyendo éstas que contienen ácido acético, ácidos aromáticos, aromáticos clorados, fenoles, alcoholes y esterés. (20)

C) REGENERACION POR GASES CALIENTES.

La regeneración con gases calientes puede ser usada cuando el carbón tiene adsorbido un material orgánico de baja ebullición. Vapor (a 250°F), CO₂ caliente, aire, nitrógeno, etc. pasando a través del carbón causará que el material de baja ebullición sea vaporizado. El material orgánico es entonces removido de el regenerador por condensación y decantación. (18)

S

D) REGENERACION BIOLOGICA.

En la regeneración biológica el carbón agotado conteniendo orgánicos biodegradables adsorbidos es colocado en contacto con un cultivo de microorganismos tales como aeróbicos, anaeróbicos, o ambos tipos de ambientes para eliminar este material biodegradable.

E) REGENERACION TERMICA

Generalmente otros métodos de regeneración que el térmico, no son adecuadamente efectivos si una mezcla de orgánicos

son adsorbidos. Sólomente una porción de los materiales adsorbidos pueden ser eliminados por un solvente o un gas caliente dado, o un procedimiento de regeneración química o biológica. Por lo tanto, el desempeño del carbón consecuentemente decrecerá en sucesivas regeneraciones y después de pocas regeneraciones el carbón tendrá que ser descargado. La regeneración térmica entonces es el más versátil de los procesos de reacción porque los sistemas de tratamiento con carbón activado eliminan mejor una mezcla compleja de orgánicos, por ello es con mucho, el más extensamente usado.

Los tipos de carbonos activados granulares más comunmente usados, apropiados para regeneración térmica son hechos de carbón bituminoso y lignito.

Efectos de la regeneración; cuando el carbón activado granular es regenerado térmicamente, el área total de superficie, el volumen de poro y el área de superficie en los pequeños poros, y el área de superficie aprovechable para adsorción, son reducidos significativamente. Esto es atribuido al taponamiento con ceniza o a una eliminación inadecuada de impurezas de los pequeños poros. En casos cuando los pequeños poros son usados para adsorción, el desempeño disminuirá con el número de regeneraciones aumentando.)

(17) La regeneración térmica se refiere al proceso de secado, desorción térmica y tratamiento con calor a altas temperaturas (1200° a 1800°F) en la presencia de una cantidad limitada de gases oxidantes tales como vapor de agua, gas de chimenea y oxígeno. Tiene que ser usado una variedad de equipo de tratamiento de altas temperaturas incluyendo hornos de hogar múltiple, hornos giratorios y hornos de lecho fluidizado.

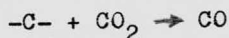
Los procesos de regeneración no solamente envuelven desorción térmica sino también varias reacciones químicas.

Casi siempre el carbón agotado que es regenerado contiene orgánicos adsorbidos volátiles y no volátiles. Usualmente el carbón tendrá que ser secado del exceso de agua pero las partículas estarán aún saturadas con mezcla.

En la siguiente tabla se ve la secuencia de pasos en la regeneración térmica:

ETAPA	TEMPERATURAS APROXIMADAS (OF)	PROCESOS
1.- Secado	Ambiente 212	Evaporación de Agua
2.- Desorción Térmica	212 a 500	Desorción física de orgánicos volátiles adsorbidos
3.- Pirolisis y Carbonización	400 a 1200	Pirolisis de orgánicos no volátiles y carbonización de los residuos de pirolisis
4.- Gasificación	1200 a 1800	Gasificación de residuos pirolíticos a través de una reacción química controlada de vapor de agua, dióxido de carbono y oxígeno

Las reacciones de gasificación del carbón incluye las siguientes reacciones:



Las dos primeras reacciones son las que por lo general predominan en el proceso y ambas son endotérmicas. La tercera reacción es exotérmica.

Como los procesos de regeneración térmica de carbón es en dotérmica en naturaleza por eso requieren de una adición neta de calor.

El calor es por lo general suministrado por gas natural o petróleo combustible, pero la cantidad auxiliar requerido depende de un número de factores adicionales.

La regeneración térmica es por lo general acompañada por la adición de vapor a la velocidad de cerca de una libra de va por por libra de carbón.

Una cantidad limitada de oxígeno es suministrado de vez en cuando para proveer de un 5 a un 10% de exceso de aire.

Los hornos para este tipo de sistema son:

1.- Hornos de Hogar Múltiple.

El horno de hogar múltiple es el sistema más comúnmente usado para regeneración de carbón granular, en la figura No. 10 del apéndice se muestra este tipo.

El carbón agotado húmedo es alimentado a una velocidad controlada por la superficie del horno y el carbón cae de hogar en hogar siendo rastrillado de principio a fin por el brazo de agitación hasta que finalmente cae fuera del fondo en un tanque apagador.

Los agujeros de caída están alternados en su posición, hacia el interior y hacia el exterior de los hogares.

Las temperaturas de exposición para los varios hogares son las temperaturas del gas de operación típicas para la regeneración de carbón granular.

El avance del carbón a través de las varias etapas de regeneración puede verse por el aumento en temperaturas bajando en el horno.

Mezcla y materiales volátiles adsorbidos son eliminados del carbón agotado en los hogares superiores. (18)

El primer hogar es operado con un gas de temperatura de zona de 400-600°F - la temperatura del lecho de carbón es probablemente de 212°F en el primer hogar debido a la evaporación de la mezcla.

Así; en los próximos hogares 2 y 3, la temperatura es aumentada a cerca de 800°F y el material volátil adsorbido es llevado fuera por destilación destructiva. Sólomente el carbón orgánico y los residuos de cenizas quedan en los poros del carbón.

En los hogares del fondo, el calor es suministrado interiormente por quemadores que operan con gas o petróleo, y es inyectado vapor de agua. Esta es la zona de activación. Las temperaturas tienen rangos de 1200 a 1900°F dependiendo de la cantidad de material adsorbido en el carbón, el tiempo de residencia y el tipo de carbón usado.

El contenido de oxígeno en el horno debe ser cuidadosamente controlado porque si no ocurrirán excesivas pérdidas de carbón.

Ya que la reacción de oxidación ($-C- + O_2 \rightarrow CO_2$) es exotérmica, ésto favorece la reacción que ocurre en la superficie externa y en los poros más grandes cerca del exterior de la partícula de carbón. Y como se sabe la reacción ($-C- + H_2O \rightarrow CO + H_2$) es endotérmica.

Estas resultan dentro de un gradiente muy bajo de temperaturas entre las superficies exterior e interior de las partículas de carbón. Por eso el desarrollo de pequeños poros internos es favorecido por una atmósfera de vapor.

(17) Las pérdidas de carbón granular durante la regeneración en hogar múltiple son en gran parte debidas al agotamiento de

partículas y la formación de partículas finas las cuales son completamente quemadas.

La aplicación de hornos de hogar múltiple para regeneración de carbón en polvo no ha sido demostrado en escala comercial.

2.- Hornos de Tubo Giratorio.

Los hornos giratorios fueron extensamente usados en la regeneración de carbón de hueso agotado en las industrias de refinación de azúcar, e inicialmente en la regeneración de carbón granular.

Los hornos giratorios son raramente instalados estos días en plantas nuevas, aunque un buen número están aún en uso.

Estos hornos compiten en costo capital con los hornos de hogar múltiple pero es requerido un espacio mayor.

En la figura No. 11 del apéndice se muestra un esquema de éstos.

El tubo giratorio está inclinado en tal forma que el carbón encuentre gradualmente su camino desde el punto de carga hasta la terminal de salida, al que pondrá en contacto con los gases calientes. Hay dos tipos básicos de hornos de tubo giratorio: De fuego interno y fuego externo. Las unidades de fuego interno por lo general tienen el quemador en la descarga del carbón al final del tubo. Esta es la zona de activación del horno. El flujo de la fase gaseosa está en contracorriente con el flujo de carbón. Vapor y un exceso de aire de 0 a 10% es algunas veces inyectado dentro de la zona de activación. El combustible que comunmente se usa es gas natural o petróleo.

Los costos de mantenimiento de hornos giratorios pueden ser altos debido a problemas de refractario.

3.- Hornos de Lecho Fluidizado.

La regeneración de carbón en polvo por lecho fluidizado fue evaluado en una planta a escala piloto y presente un gran porvenir.

En este proceso un lecho de material granular inerte tal como arena es fluidizado por el flujo ascendente de los gases calientes y el carbón agotado húmedo es inyectado directamente dentro del lecho. Las partículas del lecho inerte proporcionan un depósito de calor el cual es transferido rápidamente a las partículas de carbón agotado. Un buen control de temperatura y otras condiciones son posibles.

En la figura No. 12 del apéndice se muestra este sistema; en este sistema se muestra que el carbón regenerado es recogido por los gases de escape como una suspensión en el depurador venturi el cual puede ser bombeado al punto de reuso.

La economía de calor del horno del lecho fluidizado es menos favorable que el horno de hogar múltiple o el horno giratorio, si se usa un pos-quemador esta diferencia desaparece.

4.- Reactor Transportador.

El reactor transportador es un nuevo proceso aplicado solamente para carbón en polvo. En la figura No. 13 del apéndice se muestra este sistema.

En este sistema el carbón agotado es inyectado dentro de la corriente del flujo de gases calientes combustibles permitiendo que la regeneración ocurra durante el período de entra

da al reactor. Los gases calientes conteniendo el carbón rege
nerado son enfriados por un enfriador evaporativo y el carbón
es recogido, si está humedo por un depurador venturi o si es-
tá seco por un filtro de bolsa. (17)

C A P I T U L O V

C O S T O S

C O S T O S

Los costos para adsorción se pueden clasificar dentro de tres categorías. (15)

1.- Costo capital del sistema de contacto.

Este incluye adsorbedores, tanques de almacenamiento de agua residual, tuberías, revestimientos, bombas, ingeniería e instalación, y un inventario inicial de carbón.

2.- Costo capital de reactivación.

Se incluye hornos de reactivación, tanques de almacenamiento de carbón agotado y reactivado, tanque apagador, desawador de rosca, posquemador, depurador, sistema motriz de carbón, ingeniería e instalación.

3.- Costos de operación.

Incluyen labor, servicios y naturaleza del carbón.

En la literatura no se reporta ningún método para estimar el costo del sistema de contacto, ya que éste depende de las necesidades de cada industria.

(19) Para el caso del sistema de regeneración se reporta una estimación de costos de equipo, instalación y costo total instalado para sistemas de hornos de hogar múltiple de varias capacidades. Se muestran en la tabla No. 1 del apéndice. Los costos están dados en dólares en marzo de 1974. Los costos del equipo incluyen un desawador de rosca, tanque apagador,

posquemador, depurador y controles adicionados dentro del horario.

Una nota para la tabla No. 1 es que los sistemas de 2000 a 3000 lb/día son transportados ya montados. Por lo tanto los costos de transporte e instalación son estimados alrededor del 12 y 10.9% respectivamente del costo del equipo.

Costos de Operación.

La industria usa frecuentemente métodos diferentes para calcular las facilidades de operación, gastos generales, laboratorio y supervisión, seguro y amortización o depreciación para los costos totales de operación.

Los factores y parámetros para el cálculo de estos costos para regeneración de hogar múltiple en sistemas industriales y municipales se ven en la tabla No. 2 del apéndice. La industria usa también factores para estimar el retorno de la inversión a los costos totales de operación.

Estos factores y parámetros no son propuestos para ser de aplicación universal, pero son proposiciones razonables para propósitos de estimación de costos.

Los costos de una instalación real serán recalculados con factores que son apropiados a las circunstancias de ese caso.

Estos factores y parámetros son para hornos comercialmente aprovechables operando a capacidad.

Para regenerar a velocidades menores de 2000 lb/día los pequeños hornos comercialmente aprovechables tendrán que ser operados continuamente a baja capacidad o discontinuamente a la capacidad o cercano a la capacidad. En la tabla No. 3 del apéndice se dan los factores para el cálculo de costos para

pequeños hornos de hogar múltiple operando a intervalos en capacidad a diferentes días por base mes.

Los costos de regeneración, en dólares por libra de carbón regenerado, para sistemas industriales y municipales se ven en la tabla No. 4 del apéndice.

(7) Un autor reporta los costos de capital y operación para un sistema de tratamiento de aguas residuales que se encuentra en operación. Estos se muestran en la tabla No. 5 del apéndice. El costo total del proyecto incluyendo materiales y labor es de \$300,000.00 El costo para el sistema de adsorción y de reactivación es de \$230,000.00, para el sistema de neutralización \$40,000.00 y para el equipo de almacenamiento de agua de proceso \$30,000.00

Los costos directos anuales de operación de la planta incluyendo labor, servicios y naturaleza del carbón son de - - \$19,000.00

Usando estas cantidades el costo por 1000 galones de agua tratada es de 35.6 centavos. -

Las cifras están dadas en dólares.

C A P I T U L O V I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

Por los trabajos que se hicieron anteriormente, se demostró que el uso de la adsorción con carbón activado para eliminar contaminantes específicos de aguas residuales es un proceso efectivo, no así para aguas residuales complejas.

De las dos formas de carbón que hay, en polvo y granular, la segunda tiene mayores ventajas ya que se eliminan los problemas de manejo, es más adaptable para procesos continuos, puede ser agotado completamente y puede ser regenerado y reusado.

De las pruebas con isotermas de adsorción se determinará si una purificación se puede efectuar o no. Estas pruebas son restringidas para el caso de aguas residuales complejas.

Los datos de diseño para la construcción de una planta se obtienen en base a los datos obtenidos en pruebas con columnas piloto.

El tiempo de contacto es el más importante de todos los factores de diseño y se puede determinar en las pruebas con columnas piloto.

La aplicación directa de una fórmula para aumentar a escala los datos obtenidos en las pruebas piloto no pueden predecir con precisión las dimensiones de las columnas de producción.

Uno de los principales problemas que se tienen en las columnas es el de la corrosión, por eso se debe de hacer una

efectiva selección del material para construirlas..

El sistema de regeneración de carbón es seleccionado en función del proceso de tratamiento de aguas residuales. El sistema más efectivo es el de la regeneración térmica, ya que éste elimina mejor una mezcla de contaminantes.

Los factores y parámetros usados en los costos de operación de los hornos de reactivación no son propuestos para ser de aplicación universal, pero son proposiciones razonables pa ra propósitos de estimación de costos.

- - -

RECOMENDACIONES

Por las conclusiones anteriores se recomienda este tipo de proceso de tratamiento a las plantas industriales que -- tienen los diferentes tipos de contaminantes específicos en sus aguas residuales y que pueden ser tratados por este.

Con esto se lograría minimizar uno de los grandes problemas a que se enfrenta la humanidad.

C A P I T U L O V I I

A P E N D I C E

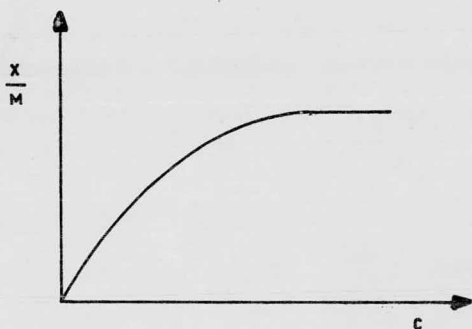


FIGURA No 1

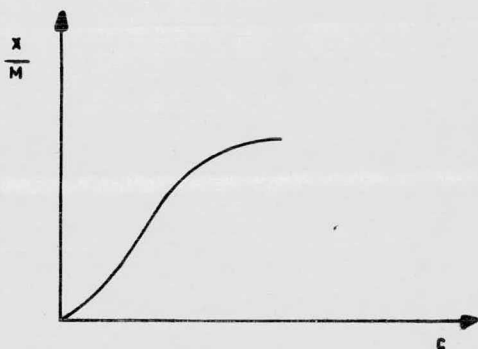


FIGURA No 2

TESIS PROFESIONAL

FACULTAD DE QUIMICA

UNAM

FIGURA No 1 ISOTERMA DE LANGMUIR

FIGURA No 2 ISOTERMA DE FREUNDLICH

JOSE GUADALUPE TAPIA VARGAS

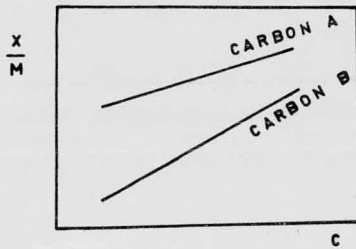


FIGURA No 3

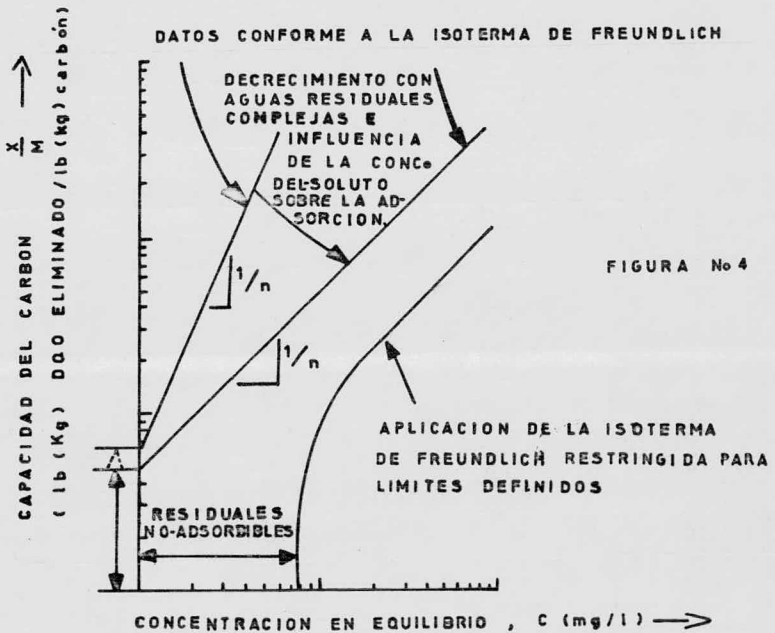


FIGURA No 4

TESIS PROFESIONAL

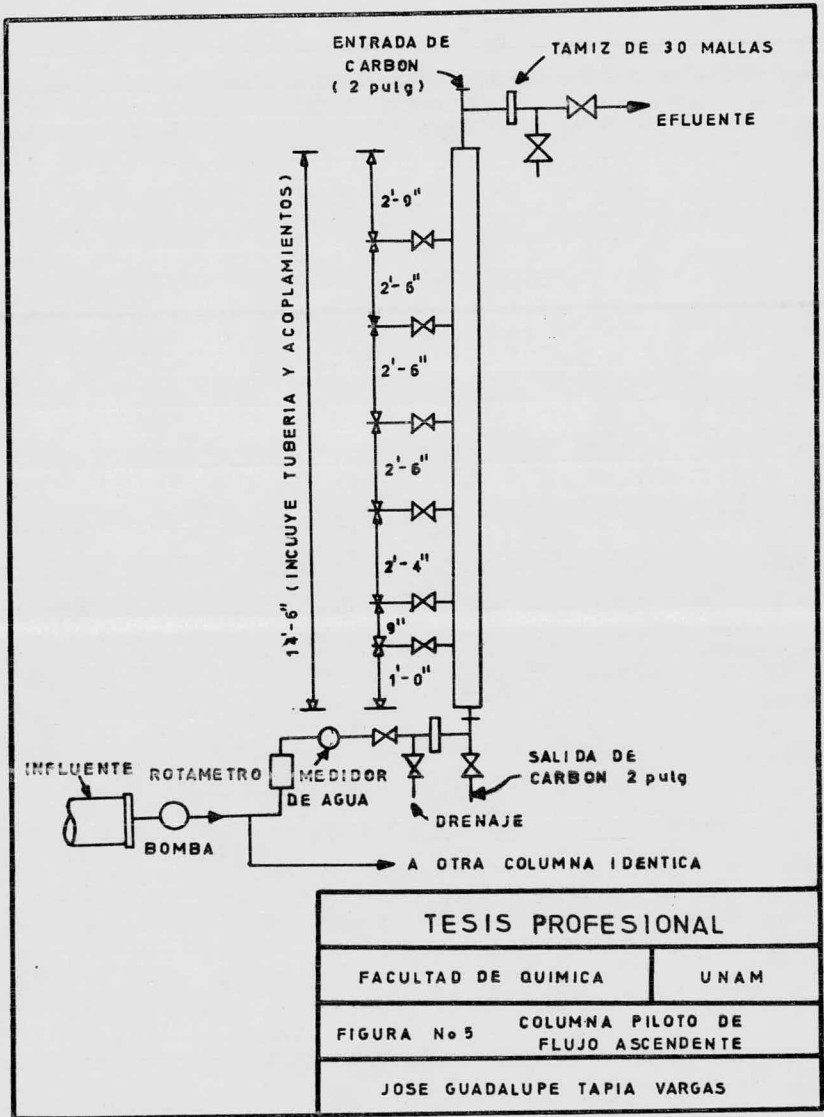
FACULTAD DE QUIMICA

UNAM

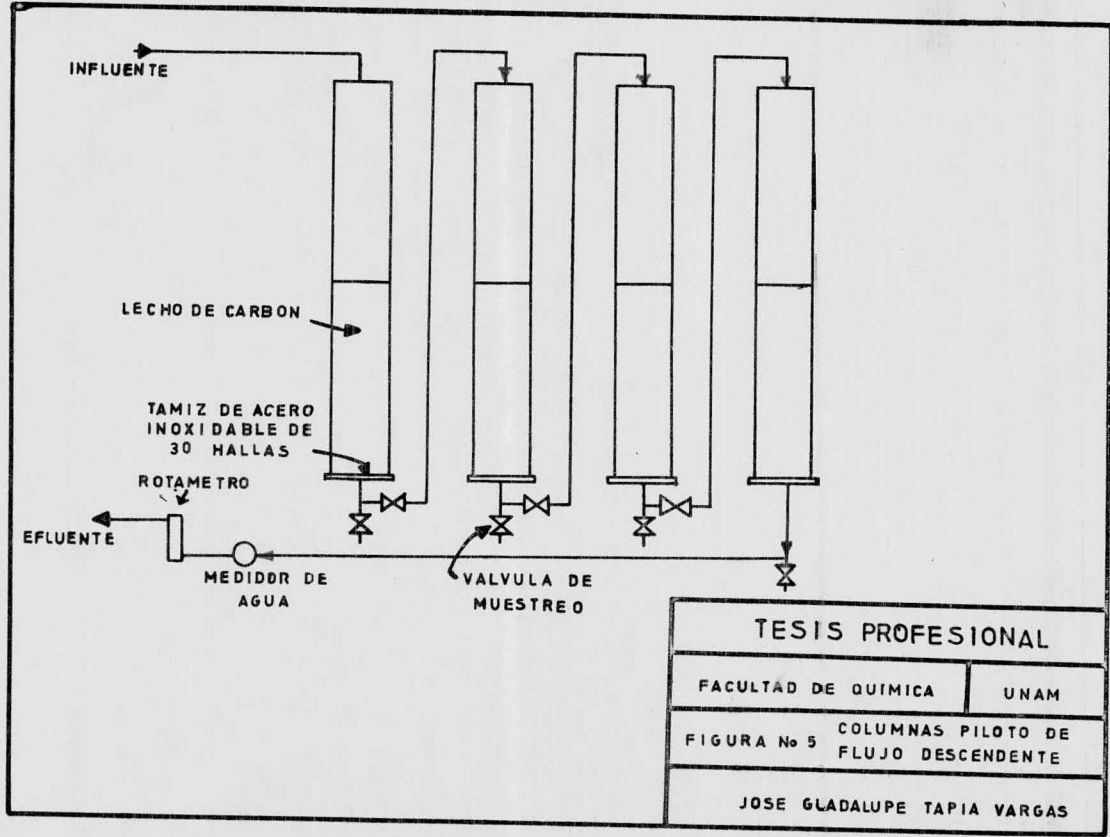
FIGURA No 3 ISOTERMA DE ADSORCION

FIGURA No 4 ISOTERMA DE FREUNDLICH

JOSE GUADALUPE TAPIA VARGAS

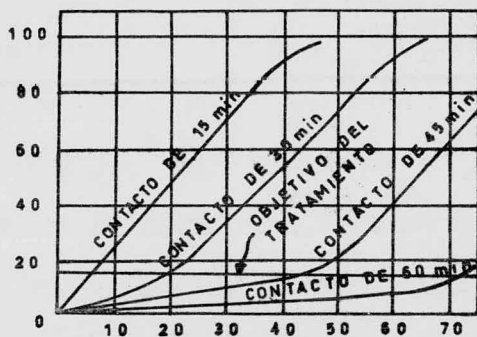


TESIS PROFESIONAL	
FACULTAD DE QUIMICA	UNAM
FIGURA No 5	COLUMNA PILOTO DE FLUJO ASCENDENTE
JOSE GUADALUPE TAPIA VARGAS	



TESIS PROFESIONAL	
FACULTAD DE QUIMICA	UNAM
COLUMNAS PILOTO DE FIGURA No 5 FLUJO DESCENDENTE	
JOSE GLADALUPE TAPIA VARGAS	

PORCENTAJE DE IMPUREZAS QUE QUEDAN



CANTIDAD DE VOLUMEN, gpm

TESIS PROFESIONAL

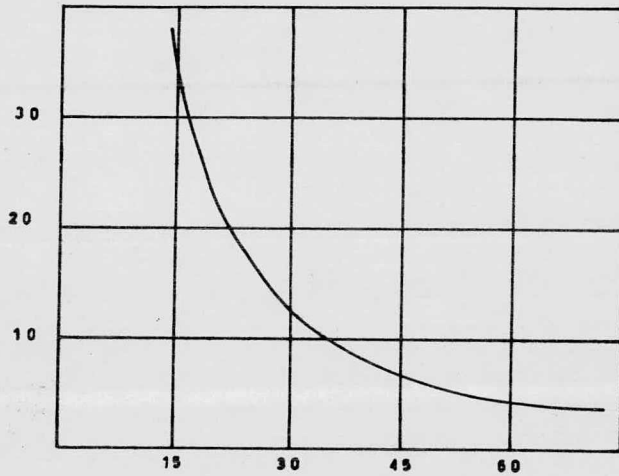
FACULTAD DE QUIMICA

UNAM

FIGURA No 6

JOSE GUADALUPE TAPIA VARGAS

VELOCIDAD DE AGOTAMIENTO, Lb/GALS.



TIEMPO DE CONTACTO, MIN

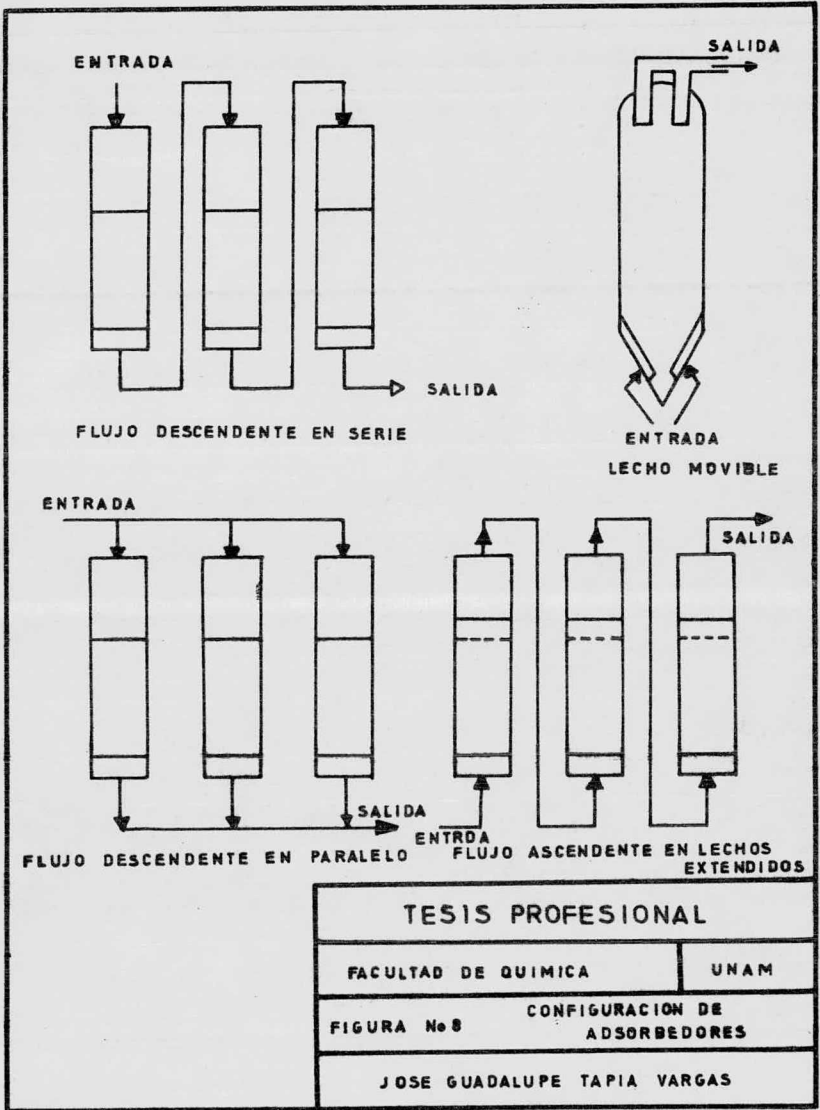
TESIS PROFESIONAL

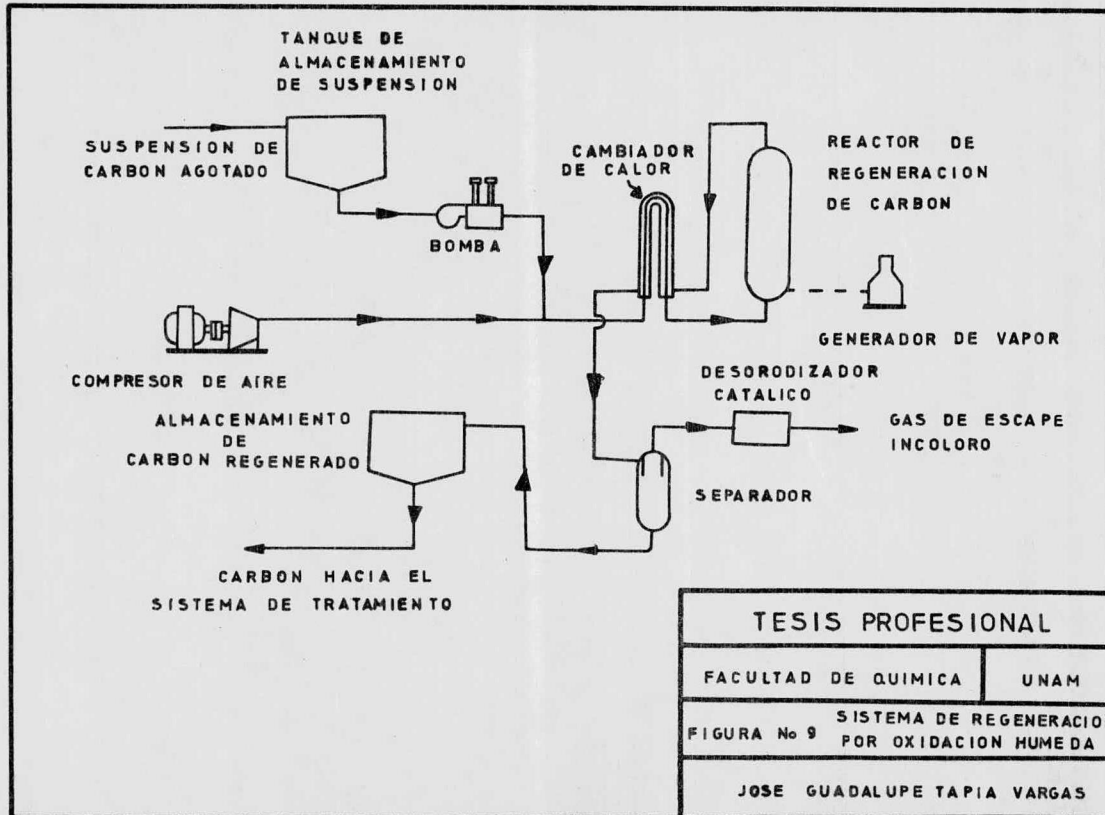
FACULTAD DE QUIMICA

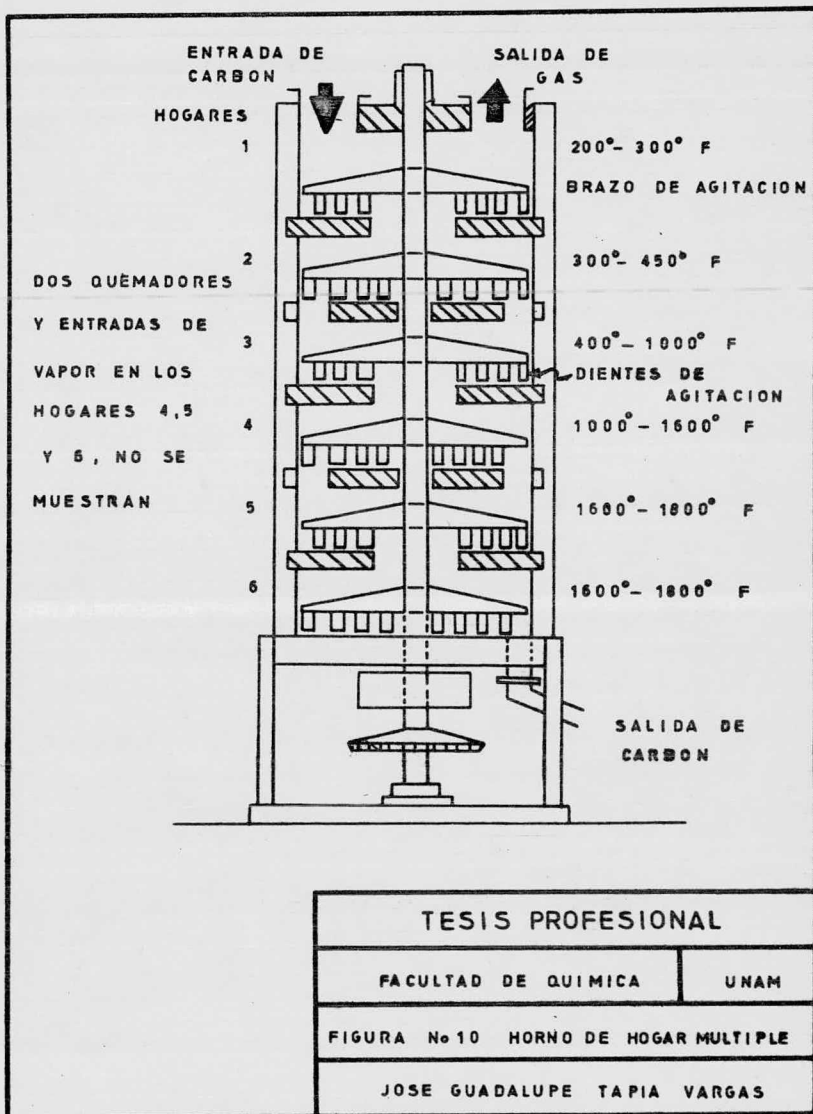
UNAM

FIGURA N° 7

JOSE GUADALUPE TAPIA VARGAS







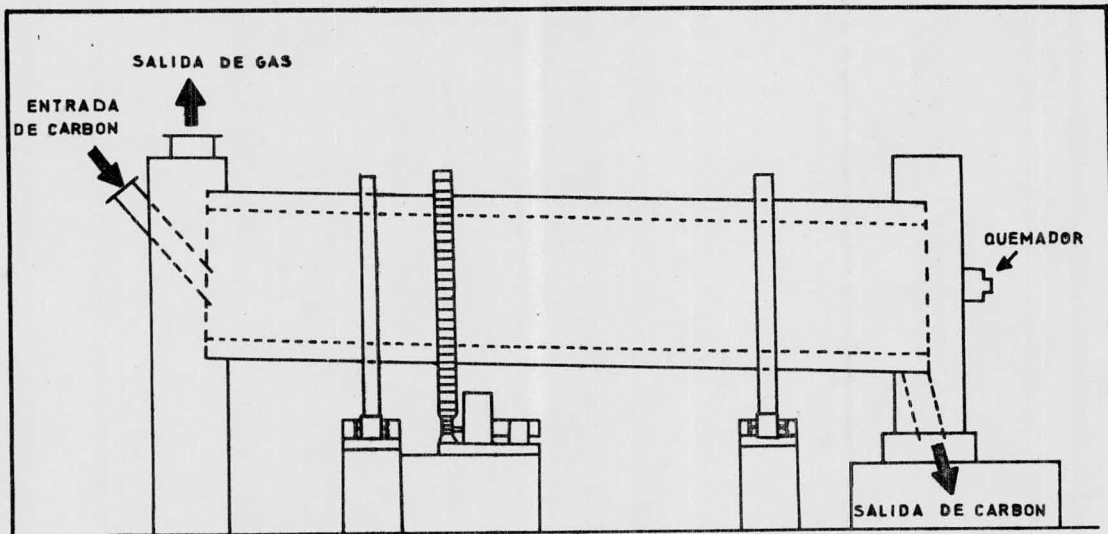
TESIS PROFESIONAL

FACULTAD DE QUIMICA

UNAM

FIGURA No 10 HORNO DE HOGAR MULTIPLE

JOSE GUADALUPE TAPIA VARGAS



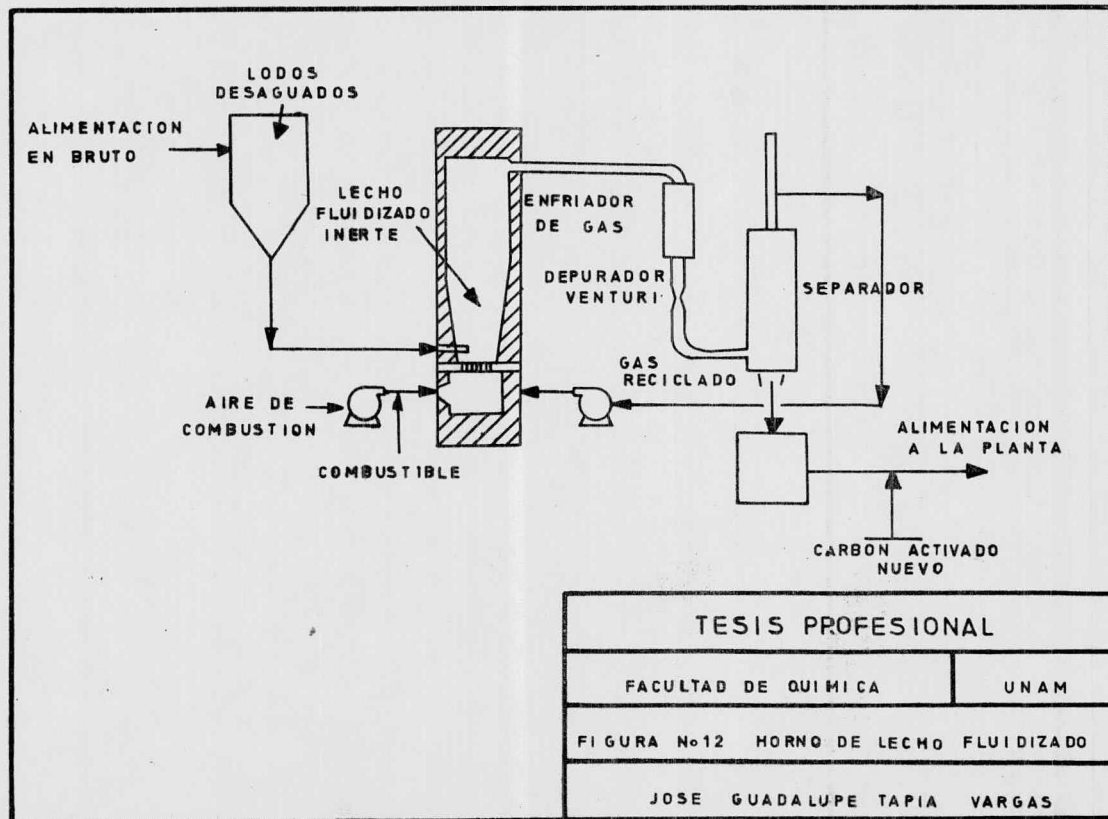
TESIS PROFESIONAL

FACULTAD DE QUIMICA

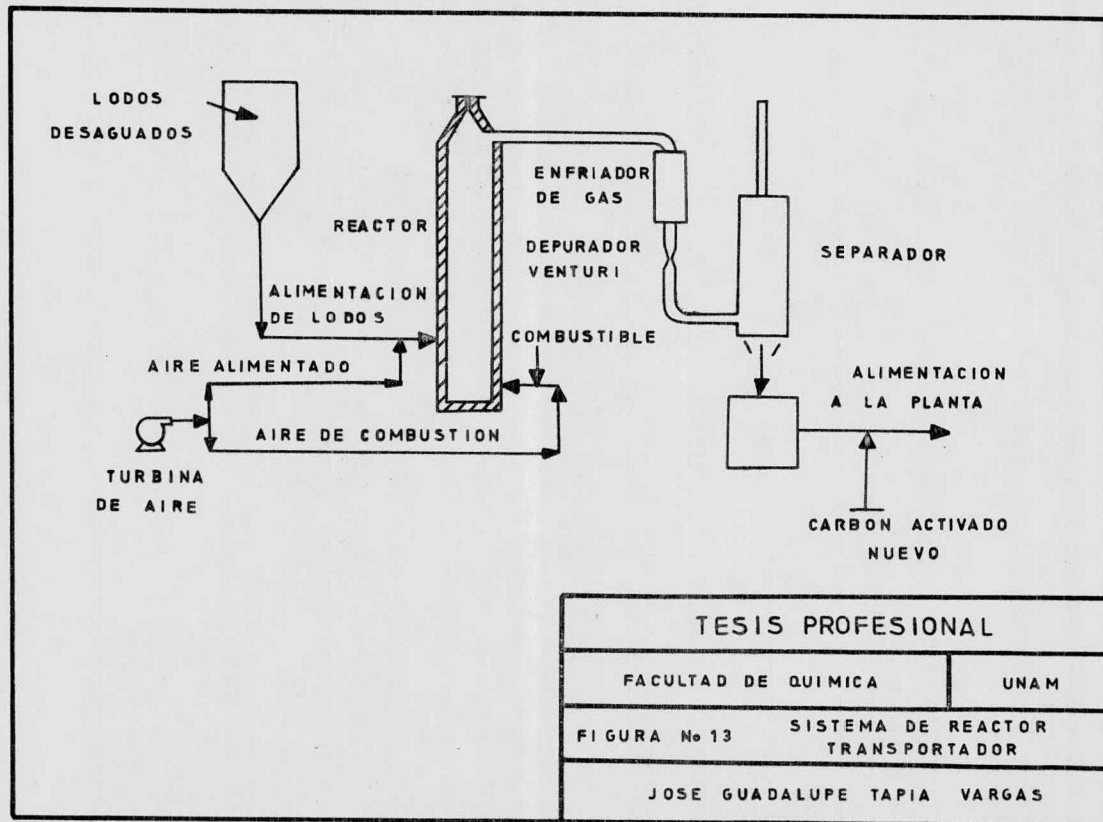
UNAM

FIGURA No 11 HORNO DE TUBO GIRATORIO

JOSE GUADALUPE TAPIA VARGAS



TESIS PROFESIONAL	
FACULTAD DE QUIMICA	UNAM
FIGURA N°12 HORNO DE LECHO FLUIDIZADO	
JOSE GUADALUPE TAPIA VARGAS	



TESIS PROFESIONAL

FACULTAD DE QUIMICA

UNAM

FIGURA No 13

SISTEMA DE REACTOR
TRANSPORTADOR

JOSE GUADALUPE TAPIA VARGAS

2-86-85-59

TABLA No. 1: Estimación de Costos de Equipo, Instalación e Instalado Total para Hornos de Hogar Múltiple, en Marzo de 1974, en dólares

Tipo de costo	Capacidad de Hogar Múltiple, lb/día				
	2,000 ⁺	3,000 ⁺	7,000 ⁺⁺	16,000 ⁺⁺	70,000 ⁺⁺
Equipo	125,000	147,000	160,000	250,000	510,000
Transporte e Instalación	15,000 (12%)	16,000 (10.9%)	218,000 (136%)	260,000 (104%)	490,000 (96%)
Instalado Tot.	140,000	163,000	378,000	510,000	1,000,000

+ Unidades transportadas ya montadas

++ Unidades erigidas verticales

TABLA No. 2 : Estimación de Factores y Parámetros para Regeneración en Hornos de Hogar Múltiple.

	Capacidades (lb/día)				
	2,000	3,000	7,000	16,000	70,000
Para sistemas municipal e industrial					
Servicio					
Vapor (lb/día)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Electricidad (KWH/lb)*	0.046	0.035	0.020	0.011	0.004
Combustible (BTU/lb)**	5,200	5,000	4,700	4,300	3,700
Labor de Operación (LO)					
Hrs-hombre/lb	0.0060	0.0040	0.0017	0.00075	0.00017
Naturaleza del carbón, (lb/lb)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Labor de mantenimiento y materiales (LMM)	5% de Inversión Fija (IF)				

Para sistemas municipales

Facilidades de Operación -----	10%	(LMM)
Gastos generales, Labora torio y Supervisión -----	45%	(LO) + 2% (LMM)
Amortización -----	20 años de vida al 8% de interés/año ó 10.2% (IF)/año	
Seguro-----	1%	(IF)/año

Para sistemas industriales

Facilidades de operación-----	4%	(LO)
Gastos generales, Labora torio y Supervisor -----	105%	(LO)

TABLA No. 2 : Estimación de Factores y Parámetros para Regeneración en Hornos de Hogar Múltiple.

Servicio	Capacidades (lb/día)				
	2,000	3,000	7,000	16,000	70,000
	Para sistemas municipal e industrial				
Vapor (lb/día)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Electricidad (KWH/lb)*	0.046	0.035	0.020	0.011	0.004
Combustible (BTU/lb) ^{††}	5,200	5,000	4,700	4,300	3,700
Labor de Operación (LO) Hrs-hombre/lb	0.0060	0.0040	0.0017	0.00075	0.00017
Naturaleza del carbón, (lb/lb)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Labor de mantenimiento y materiales (LMM)	5% de Inversión Fija (IF)				

Para sistemas municipales

Facilidades de Operación -----	10% (LMM)
Gastos generales, Labora torio y Supervisión -----	45% (LO) + 2% (LMM)
Amortización -----	20 años de vida al 8% de interés/año ó 10.2% (IF)/año
Seguro-----	1% (IF)/año

Para sistemas industriales

Facilidades de operación-----	4% (LO)
Gastos generales, Labora torio y Supervisor -----	105% (LO)

Depreciación-----11 años por la línea
recta ó 9.1% (IF)año

Seguro de la Planta y
Contribución del local-----0.5% (IF)/año

+ Requerimientos de Electricidad = $0.015 \left(\frac{C}{10,000} \right)^{-0.6847}$ En
donde C es la capacidad de regeneración en lb/día.

++ Requerimientos de combustible (BTU/lb) = $4,500 \left(\frac{C}{10,000} \right)^{-0.1092}$
En donde C es la capacidad de regeneración en lb/día.

Combustible adecuado para operación de regeneración (67%) y -
posquemador (33%).

TABLA No. 3 ESTIMACION DE FACTORES DE REGENERACION PARA HORNOS DE HOGAR MULTIPLE OPERANDO A BAJA CAPACIDAD[†]

Servicio	Velocidad de Regeneración, (lb/día)	
	125	500
Vapor, lb/lb para todo	0.6	0.6
Electricidad ⁺⁺ KWH/lb	0.078	0.052
Combustible , BTU/lb	8,400	5,900
Labor de Operación (LO), Horas-hombre/lb	0.0186	0.0089
Naturaleza del carbón, lb/lb	0.10	0.10
Labor de Mantenimiento y Materiales (MLM), así como % de Inversión Fija/año	7	7
Otros factores igual como en la tabla 2		

[†] Idénticos sistemas de hogar múltiple son requeridos para capacidades de regeneración de 2000 lb/día. Para 125 lb y 500 lb/día de carbón regenerado, el horno es operado 2 días/mes y 7.5 días/mes respectivamente.

⁺⁺ Incluye el uso de electricidad en el arranque y paro del - horno a 0.015 KWH/lb de velocidad de capacidad a 2000lb/día para el hogar múltiple para calentamiento y enfriamiento en cada dos días.

Incluye uso de combustible en el arranque del horno a 3,000 BTU/lb de velocidad de capacidad del horno para calentamiento inicial del horno (asumiendo el tiempo de dos días para calentar).

La Mano de Obra incluye $\frac{1}{2}$ hombre/turno para dos días empezando y terminando.

TABLA N° 4: Costos de Regeneración en Hogar Múltiple*

Velocidades de Regeneración ó Capacidades (lb/día)

Costos de Operación, \$/lb	125**	500**	2000*	3000	7000	16,000	70,000
Costos de operación comunes para sistemas industrial y municipal							
<u>Servicios</u>							
Vapor \$ 1.40/1000 lb	0.00084	0.00084	0.00074	0.00074	0.00074	0.00084	0.00084
Electricidad \$0.015/kwh	0.00117	0.00078	0.00069	0.00052	0.00030	0.00016	0.00006
Aceite Combustible N°2 0.35/gal (141,000 BTU/gal)	0.02085	0.01464	0.01291	0.01241	0.01167	0.01067	0.00918
Subtotal	0.02286	0.01626	0.01444	0.01377	0.01281	0.01167	0.01008
Labor de Operación (LO) (\$5.00/hr)	0.09300	0.04450	0.03000	0.02000	0.00850	0.00375	0.00085
Naturaleza del Carbón \$0.34/lb †	0.03400	0.03400	0.02380	0.02380	0.01960	0.01960	0.01960
Labor de Mantenimiento y Materiales (LMM) (50% (IF)/año)	0.22400	0.05600	0.03000	0.00776	0.00771	0.00453	0.00204
Subtotal	0.35100	0.13450	0.06380	0.05156	0.03581	0.02790	0.02249
TOTALES	0.37386	0.15076	0.07824	0.06537	0.04962	0.03953	0.03257
Otros costos de operación para sistemas industriales							
Facilidades de Operación 4% (LO)	0.00372	0.00718	0.00120	0.00080	0.00034	0.00015	0.00003
Gastos generales, Laboratorio y Supervisión 105% (LO)	0.09765	0.04672	0.03150	0.02100	0.00892	0.00394	0.00089
Depreciación 9.1% (IF)/año	0.29120	0.07280	0.01820	0.01413	0.01404	0.00614	0.00371
Seguro de la Planta y Contribución del local 0.5% (IF)/año	0.01600	0.00400	0.00100	0.00076	0.00076	0.00037	0.00020
TOTAL	0.40857	0.12530	0.05190	0.03669	0.02466	0.01056	0.00483

- * Usando los factores dados en las tablas 2 y 3 y 350 días de operación/año.
- ** Sistemas idénticos para sistemas de 125 y 500 lb/día. El Horno es operado a 2 y 7 días/mes, respectivamente, factores dados en la tabla 3.
- † \$0.28/lb a más de 6000 lb/día, por que el carbón probablemente sera comprado en carga de furgón o volumen de embarque.

TABLA No. 5: COSTO CAPITAL
SISTEMA DE CARBON ACTIVADO

2 Adsorbedores	\$ 13,300
2 Tanques de almacenamiento de carbón	\$ 10,400
Tanque de almacenamiento de agua reciclada	\$ 3,500
Tanque apagador	\$ 500
Bombas y eductores	\$ 5,900
Horno de reactivación ⁺	\$ 35,400
Posquemador y Chimenea	\$ 6,300
Depurador de gas de Chimenea	\$ 10,000
Desawador de rosca	\$ 6,900
Tubería y material diverso	\$ 26,500
Eléctrico	\$ 11,000
Instrumentos	\$ 5,800
Bases y Estructuras	\$ 22,800
Inventario de carbón	\$ 18,500
Labor de construcción	\$ 31,400
Ingeniería	\$ 21,800
	<hr/>
Sub-total	\$230,000
Sistema de Neutralización	40,000
Sistema de almacenamiento de agua de proceso	<hr/> 30,000
Total	<hr/> \$300,000

⁺ Excluyendo instalación

ANEXO DEL APENDICE

METODOS DE LABORATORIO PARA MEDIR EL CONTENIDO ORGANICO EN AGUAS RESIDUALES

- DBO. Demanda Bioquímica de Oxígeno.- Es el parámetro más comúnmente usado aplicado a contaminación orgánica en aguas residuales y aguas de superficie. Esta determinación implica la medida del oxígeno disuelto usado por microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. La medición de la DBO es importante en el tratamiento de aguas residuales y manejo de agua de calidad porque es usado para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que será requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
- DQO. La prueba de la demanda química de oxígeno es usada para medir el contenido de materia orgánica de aguas residuales y aguas naturales. El oxígeno equivalente de la materia orgánica que puede ser oxidada es medido usando un fuerte agente químico oxidante en medio ácido.
- CTO. La prueba del Carbón Orgánico total es otro medio para medir la materia orgánica presente en el agua, es especialmente aplicable para pequeñas concentraciones de materia orgánica.

C A P I T U L O V I I I

BIBLIOGRAFIA

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

- (1) García J.H. "Tratamiento Terciario de Aguas por -- Adsorción con Carbón Activado". IMIQ P. 72-74 Nov.- Dic. -- (1976)
- (2) Foust A.S., L.A. Wenzel. "Principios de Operaciones Unitarias". 5a Edición, P.363 C.E.C.S.A. México (1972)
- (3) Culp R.L., G.L. Culp. "Advanced Wastewater Treat -- ment". P.136,138-143,150 . Van Nostrand R.E. (1972)
- (4) Kirk-Othmer. "Carbón Activo". Enciclopedia de Tec -- nología Química. Vol. 3, P. 586 , UTHEA (1961)
- (5) Mantel C.L. "Adsorption". 2a Edición , P.490 Mc Graw-Hill Book Company Inc. Nueva York y Londres (1951)
- (6) English J.N., A.N. Masse, Ch.W. Carry, J.B. Pitkin, -- J.E. Haskins. "Removal of Organics from Wastewater by Activa -- ted Carbon". Chemical Engineering Progress Symposium Series. Water. Vol. 67 , No 107 , P.147-152 , (1970)
- (7) Henshaw T.B. " Adsorption/ Filtration Plant Cuts - Phenols from Effluents" . Chemical Engineering , P. 47-49 --- May 31, (1971)

(8) News Features "Activated Carbon Bids for Wastewater Treatment Jobs". Chemical Engineering, P. 32-33, September 7 - (1970)

(9) Lawson C.T. and J.A. Fisher. "Limitations of Activated Carbon Adsorption for Upgrading Petrochemical Effluents". AICHE Symposium Series, Water. Vol. 70, No 136, P. 577-580, 582, 584. (1973)

(10) Timpe W.G. and E.W. Lang. "Activated Carbon Treatment of Kraft-Mill Effluent for Reuse". AICHE Symposium Series, Water. Vol. 70, No 136, (1973)

(11) Ford D.L. "The Applicability of Carbon Adsorption in the Treatment of Petrochemical Wastewater: Applications of New Concepts of Physical-Chemical Wastewater Treatment". P. 133-135, 138. Sept. 18-22, (1972)

(12) Hager D.G. "Wastewater Treatment Via Activated Carbon". Chemical Engineering Progress, P. 58, 59, Oct. (1976)

(13) Hutchins R.A. "Activated Carbon Systems". Chemical Engineering, P. 133, August 20, (1973)

(14) Fornwalt H.J. and R.A. Hutchins. "Purifying Liquids with Activated Carbon". Chemical Engineering, P. 179 - 183, April 11, (1966)

(15) Rizzo J.L. and A.R. Shepherd. "Treating Industrial-Wastewater with Activated Carbon". Chemical Engineering, --- P.95-100, January 3, (1977)

(16) Fornwalt H.J. and R.A. Hutchins. "Purifying Liquids with Activated Carbon". Chemical Engineering, P. 155-157,159. May 9 , (1966)

(17) Loven A.W. "Activated Carbon Regeneration Perspectives". AICHE Symposium Series, Water. Vol.70, No 144 ,P.285-290,293,294. (1974)

(18) Hutchins R.A. "Costs of Thermal Regeneration". AICHE Symposium Series, Water. Vol. 71, No 151, P.423-430, (1975)

(19) Hutchins R.A. "Thermal Regeneration Costs". Chemical Engineering Progress, Vol.71, No 5, P.80-86, May (1975)

(20) Himmelstein K.J., R.D.Fox, T.H.Winter. "In place. -- Regeneration of ACTIVATED Carbon Used in Industrial Waste -- Treatment". AICHE Symposium Series, Water. Vol.70, No 144 . -- P.311 (1974)

(21) Metcalf & Eddy, Inc. "Wastewater Engineering". -- P.346-348. Mc Graw-Hill Book Company (1972)