

7  
205



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**



**MEJORAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE  
ABSORCION DE UN FELDESPATO MEXICANO  
PARA LA CAPTACION DE METALES PESADOS.  
CASO ESPECIFICO DEL PLOMO.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**Q U I M I C O**

P R E S E N T A :

**ROBERTO HERNANDEZ CASTELLANOS**

ASESOR: I. Q. ANA LETICIA FERNANDEZ OSORIO

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1993

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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

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

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

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

I N D I C E

	pag.
OBJETIVOS .....	1
I.- ANTECEDENTES .....	3
II.- INTRODUCCION .....	4
II.1 GENERALIDADES Y CARACTERIZACION DE LOS FELDESPATOS .....	5
II.2 PROPIEDADES DE LAS PARTICULAS DE FELDESPATO .....	10
II.3 PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LOS SOLIDOS .....	15
II.4 FENOMENOS DE SUPERFICIE .....	18
III.- GENERALIDADES .....	30
III.1 ASPECTOS PATOLOGICOS DEL PLOMO .....	31
III.2 CONTAMINACION POR PLOMO EN EL AGUA .....	33
III.3 CONTAMINACION POR PLOMO EN EL AIRE .....	37
III.4 CONVERTIDORES CATALITICOS PARA LOS ESCAPES DE LOS AUTOMOVILES .....	46
IV.- DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	51
V.- RESULTADOS .....	59
VI.- DISCUSION .....	68
VII.- CONCLUSIONES .....	70
A P E N D I C E .....	72
B I B L I O G R A F I A .....	76

O B J E T I V O S

**OBJETIVO GENERAL :**

**MODIFICAR LA CAPACIDAD DE ABSORCION NATURAL DE UNA ARCILLA ESPECIFICA POR MEDIO DE AGENTES QUIMICOS Y FISICOS, PARA CONVERTIRLA Y HACERLA MAS EFICIENTE EN LA CAPTURA DE METALES PESADOS.**

## O B J E T I V O S

## P A R T I C U L A R E S

- AUMENTAR LA CAPACIDAD DE ABSORCION DE UNA ARCILLA MEXICANA CONOCIDA COMO FELDESPATO, PARA HACERLA MAS EFICIENTE EN LA CAPTACION DE METALES PESADOS, EN PARTICULAR PLOMO.
- DETERMINAR Y CUANTIFICAR POR TECNICAS INSTRUMENTALES Y ANALITICAS LA CAPACIDAD DE ABSORCION DE PLOMO EN EL FELDESPATO, UTILIZANDO MUESTRAS ACUOSAS ESTANDARIZADAS DE NITRATO DE PLOMO PARA OBTENER LA ABSORCION ESPECIFICA, Y ASI MISMO LAS AREAS SU PERFICIALES DEL FELDESPATO.
- DETERMINAR LA CAPACIDAD DE ABSORCION DE PLOMO DEL FELDESPATO MEJORADO SOBRE GASOLINA COMERCIAL ( NO VA OXIGENADA) EN FASE LIQUIDA, GENERANDO UN MARCO DE REFERENCIA PARA ESTUDIOS POSTERIORES.

**A N T E C E D E N T E S**

## I.- A N T E C E D E N T E S

En los últimos años ha crecido el interés sobre el estudio de las arcillas naturales en la aplicación de procesos de catálisis, síntesis y en los materiales cerámicos, así como también se han buscado nuevas aplicaciones tecnológicas. Se han reportado estudios en número cada vez más grande de arcillas en diferentes países con nuevos enfoques, de algunos de estos resalta el trabajo de los italianos Colella y Pansini<sup>1</sup>, en el cual reportan haber usado una arcilla conocida como Chabazita, (la cual es de estructura química  $\text{Ca}_6\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) que es la presentación en estado natural de una zeolita, para remover plomo de aguas residuales industriales y estudiar la eficiencia y la dinámica selectiva de esta misma. Encontraron que cuando las concentraciones de NaCl excedían de 1 g/l afectaban la captación de plomo. Para la regeneración de la arcilla se obtuvo un porcentaje de recuperación con respecto a las muestras originales de 80-85%. También, los brasileños Araújo y Dias<sup>2</sup> reportaron que arcillas naturales de composición alta de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se vuelven altamente absorbedoras de metales pesados al someterlas a diferentes tratamientos fisicoquímicos.

Teniendo estas experiencias como base procedimos a elegir de un conjunto amplio de arcillas al feldespato mexicano de -- marca comercial " AHUAZOTEPEC ", debido a que es el que se -- adecua a los análisis de arcillas reportados por los investigadores brasileños e italianos, se procedió a innovar los métodos planteados obteniéndose resultados alentadores.

1 Colella, Carmine; Pansini, Michele, ACS Symp Ser. 1988(368)500.

2 Araújo, N de; Dias Filho, 3 cong. Ib. Am. Q. I., abril 1991, México

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

## II.- I N T R O D U C C I O N

Dentro de los procesos más comunes que involucran manejo de arcillas se encuentra la limpieza y purificación de aguas , en procedimientos bastante variados, lo cual es un índice de - referencia para una investigación más profunda de las arcillas.

Los otros aspectos importantes son los agentes polucio-- nantes que se arrojan a la atmosfera por medio de los automoto res. Una de las facetas más graves de la contaminación ambien tal es la proliferación de hidrocarburos y metales pesados en el aire.

El presente diseño experimental desarrolla una técnica - para modificar la superficie de absorción de arcillas, lo cual conllevaría a diferentes líneas de aplicación de estas mismas. El método utilizado consiste en modificar la estructura en base a temperaturas relativamente altas y ácidos fuertes, estas modificaciones tanto físicas como químicas son suficientes.

El procedimiento realizado sobre la arcilla consiste bá sicamente en las siguientes etapas:

- TRATAMIENTO QUIMICO DEL FELDESPATO
- TRATAMIENTO FISICO DEL FELDESPATO
- PRUEBAS PRELIMINARES DE ABSORCION DE PLOMO EN SOLUCION ACUOSA
- PRUEBAS ESPECIFICAS DE ABSORCION DE PLOMO EN SOLUCION ACUOSA Y OBTENER CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES.
- PRUEBA DE ABSORCION DE PLOMO EN GASOLINA

Estas etapas son descritas con mayor detalle en el capítulo IV del desarrollo experimental. Se consideró que la presentación en esta forma evita el tener que ser ortodoxos en la repetición del experimento y que alguna persona con los conocimientos mínimos de fenómenos de superficie pueda seguir el proyecto.

## II.1 .- GENERALIDADES Y CARACTERIZACION DE LOS FELDESPATOS.

Los feldespatos se formaron, aseguran los geólogos, cuando la tierra tenía una etapa plena de erupciones volcánicas, - la lava arrojada, sufría cambios estructurales conforme avanzaba de su origen a la corteza terrestre. Esto es, a medida que la lava fluida, homogénea y a muy alta temperatura se enfriase aparecerían primero cristales sin silicatos ( o sea sin átomos de silicio). Luego se detectaría la formación de ortosilicato y secuencialmente vendrían los metasilicatos y los feldespatos que son los minerales más corrientes en la corteza terrestre - actual.

El feldespato es el fundente más importante utilizado en las pastas y vidriados cerámicos. El término feldespato cubre un cierto número de silicatos de aluminio alcalinos ó alcalino térreos. Es un mineral ígneo, uno de los más comunes en las rocas primarias, en las que aparece principalmente mezclado - con cuarzo y a menudo con mica.

Los feldespatos naturales son usualmente una mezcla en - proporciones variables de los silicatos de aluminio, de sodio potasio, calcio, litio y ocasionalmente bario y cesio. Una - pequeña cantidad de rubidio se asocia a veces también con el

FORMACION DE FELDESPATO EN LA NATURALEZA

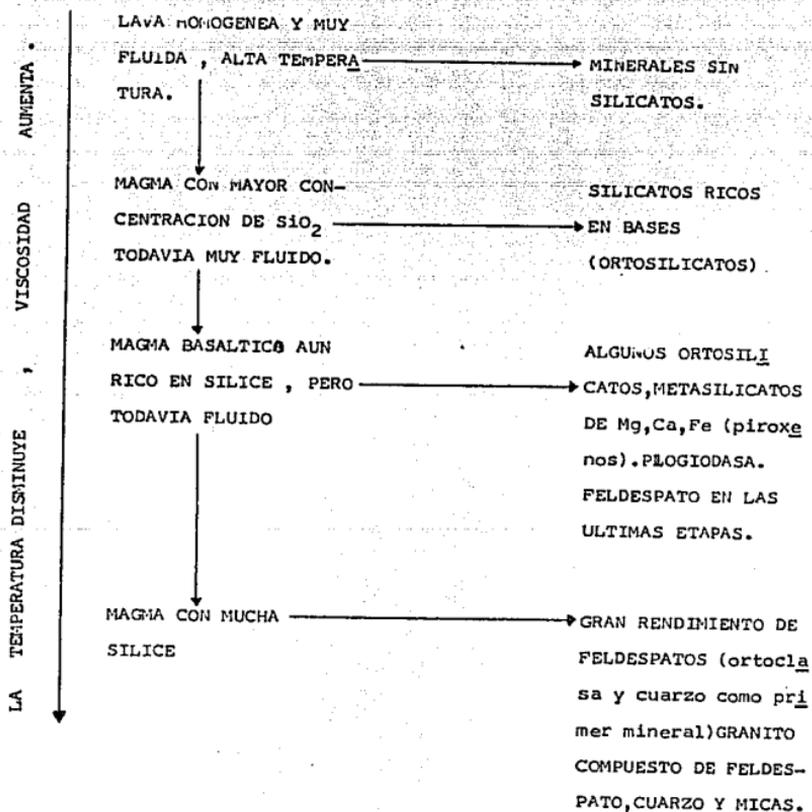
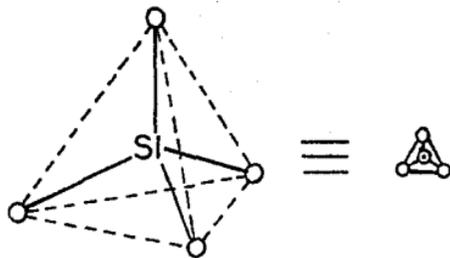


FIGURA 1

potasio en estas rocas cristalinas primarias. El trabajo de V. M. Goldschmidt acerca de las condiciones para la cristalización simultánea aclara que esto se debe a la semejanza química y de volumen entre el potasio y el rubidio; indica también -- que el rubidio no se presenta naturalmente junto con el sodio.

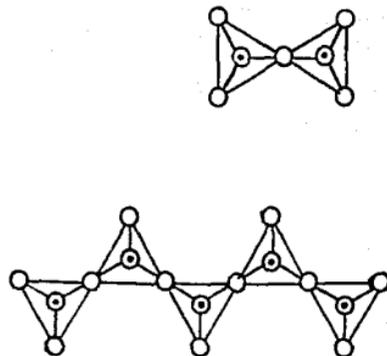
La mayor parte de nuestro conocimiento de la estructura de los silicatos proviene del estudio de los numerosos silicatos naturales (y de algunos sintéticos) de los metales pesados. En estas estructuras, la unidad estructural básica es el tetraedro de  $\text{SiO}_4$  (ver fig. 2). Estos tetraedros se presentan en forma individual, o comparten átomos de oxígeno, o forman pequeños grupos cíclicos, también forman cadenas infinitas o láminas infinitas. El silicio forma un número muy grande de compuestos que contienen aniones heteroencadenados. Estos son de gran importancia en la formación de diversos minerales, puesto que aproximadamente tres cuartas partes de la corteza terrestre está constituida por silicio y oxígeno.

Se encuentran cadenas infinitas de fórmula  $(\text{SiO}_3)_n^{-2n}$  en minerales denominados piroxenos. En estas cadenas los átomos de silicio comparten dos de los cuatro átomos de oxígeno coordinados tetraédricamente con átomos adyacentes de silicio (ver fig. 3). Si sucede una compartición adicional de los átomos de oxígeno por la mitad de los átomos de silicio se produce -- una estructura de doble cadena o banda. Un enlace adicional -- por la compartición total de tres átomos de oxígeno por cada -- uno de silicio (análogo al enlace por las aristas entre muchos



La unidad estructural básica es el tetraedro de  $SiO_4$

FIGURA 2

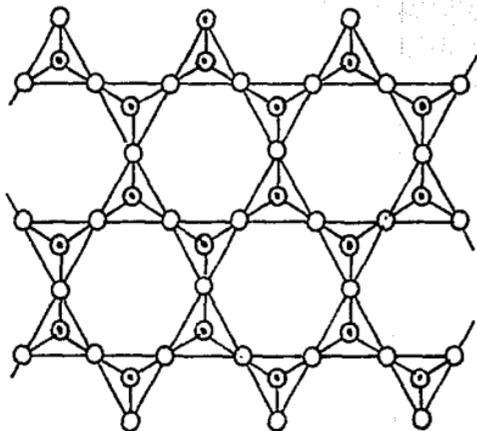


En estas cadenas los átomos de silicio comparten dos de los 4 átomos de oxígeno

FIGURA 3

anfíboles con estructura de bandas -los anfíboles son aquellos minerales que tienen como unidad básica al  $\text{Si}_4\text{O}_{11}^{-6}$ -, conduce a una estructura en capas o en láminas (ver fig. 4). Esto produce una fórmula empírica de  $(\text{Si}_2\text{O}_5)_n^{-2n}$ . Muchos minerales importantes poseen estructuras de silicatos en láminas. La generalización lógica de la progresión que parte de los simples iones  $\text{SiO}_4^{-4}$  para llegar a estructuras cada vez más grandes y más complejas, sería la de una estructura tridimensional en la cual todos los átomos de oxígeno estuviesen compartidos por dos tetraedros. La fórmula empírica de una estructura de este tipo sería  $(\text{SiO}_2)_n$ , es decir, tendríamos sílice. Si en uno de estos retículos tridimensionales se reemplazan algunos átomos de silicio por aluminio, la red resulta negativamente cargada y debe haber otros cationes distribuidos a través de ella. Entre los aluminosilicatos de este tipo se cuentan los feldspatos. Un fenómeno común en los minerales de silicato es el reemplazo de uno o más átomos de silicio por aluminio. Siempre que se mantenga la electroneutralidad mediante el correspondiente ajuste del número o carga de los cationes, las estructuras permanecen perfectamente estables.

El caso extremo de enlazamiento cruzado y compartimiento de los átomos mediante el silicio, es que se comportan los cuatro átomos de oxígeno por el tetraedro de  $\text{SiO}_4$  en una estructura tridimensional. Todos contienen tetraedros de silicato con compartición total, pero con diferentes disposiciones de enlace en los tetraedros. Si átomos de aluminio sustituyen a algu



Estructura en capas o en láminas

FIGURA 4



Estructura tridimensional compartiendo los 4 átomos de oxígeno

FIGURA 5

nos de los átomos de silicio, la estructura ya no es más eléctricamente neutra sino aniónica, y la distribución de cargas - debe estar compensada correspondientemente por cationes. Tienen importancia tres clases de minerales con estructura de aluminosilicatos: los feldespatos, las zeolitas y las ultramarina

Los feldespatos, de fórmula general  $M(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_8$ , son los minerales más importantes en la formación de rocas y comprenden aproximadamente los dos tercios de las rocas ígneas, como el granito, que es una mezcla de cuarzo, feldespato y micas. Aquellos en donde M es un ión voluminoso como  $\text{K}^+$  o  $\text{Ba}^{+2}$  cristalizan en un sistema monoclinico: ortoclasa,  $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$  y celtsiana,  $\text{Ba}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_6)$ . Los feldespatos triclinicos o plagioclasa contienen iones más pequeños como  $\text{Na}^+$  y/o  $\text{Ca}^{+2}$ . Algunos -- ejemplos son la albita,  $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$  y la anortita,  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ . Estos son prácticamente isomorfos y se conocen composiciones intermedias, en donde  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Al}^{\text{III}}$  reemplazan al  $\text{Na}^+$  y al  $\text{Si}^{\text{IV}}$ .

Los feldespatos como sustituyentes principales de las rocas ígneas incluyen minerales como la ortoclasa,  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , que puede escribirse  $\text{K}(\text{AlO}_2)_2(\text{SiO}_2)_3$  para indicar que la cuarta -- parte de los tetraedros de oxígeno están ocupados por átomos -- de Al, y la anortita,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  o  $\text{Ca}(\text{AlO}_2)_2(\text{SiO}_2)_2$ , en la -- cual la mitad de los tetraedros son de  $\text{AlC}_4$  y la otra mitad de  $\text{SiO}_4$ .

Los diferentes feldespatos, aun cuando se encuentren exentos de cuarzo y otras impurezas, tienen lógicamente un cierto intervalo de valores para sus propiedades físicas y químicas:

Con respecto a su composición Química los feldespatos se pueden caracterizar por su contenido en los siguientes compuestos.

COMPUESTO	RANGO DE PORCENTAJE
$\text{SiO}_2$	65.54 - 70.32 %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14.29 - 19.71 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	00.11 - 00.22 %
CaO	00.23 - 1.40 %
MgO	trazas - 00.58 %
$\text{K}_2\text{O}$	4.76 - 12.30 %
$\text{Na}_2\text{O}$	2.10 - 7.89 %
$\text{TiO}_2$	0.03 %

la estructura cristalina del feldespato corresponde a una estructura triclinica.

Dentro de sus propiedades físicas podemos mencionar las siguientes:

Punto de Fusión .....1110 - 1532 °C

Densidad relativa .....2.56 - 2.63

Dureza (Mohs) .....6.0 - 6.5

Los feldespatos tienen un brillo de vítreo a nacarado, variando sus colores del blanco al crema, rosado, pardo de ante, rojo, gris, verde y azulado; pueden ser transparentes o lechosos. La fractura es irregular.

## II.2 .- PROPIEDADES DE LAS PARTICULAS DE FELDESPATO.

Las pequeñísimas partículas de minerales de arcilla exhiben propiedades "coloidales" derivadas de la naturaleza cargada de sus superficies. Una gran parte de las propiedades características de las arcillas, incluyendo al feldespato, están relacionadas con los fenómenos de superficie debidos a estas cargas existentes sobre las partículas. Las cargas aparecen sobre las partículas de arcilla debido a dos causas como mínimo:

1. En los enlaces rotos, debidos a la subdivisión del cristal gigante.
2. Cargas residuales en la red debidas a estructura desordenada que contiene iones de valencia incorrecta.

La primera causa interviene forzosamente en todos los minerales de arcilla, si bien con frecuencia no es la más importante cuantitativamente. La naturaleza continua de las moléculas

las de silicato en los feldespatos se ha descrito en la sección anterior. Se ha mostrado que los minerales de arcilla poseen estructuras por capas con láminas de silicato. La fractura entre láminas no rompe enlaces químicos y es por lo tanto más fácil que la fractura de las láminas propiamente dicha. Predomina la primera, que conduce a partículas en forma de placas. La segunda lleva consigo la ruptura de enlaces y deja a éstos insaturados (ver fig. 6).

En los puntos en que hay enlaces insaturados o cargas eléctricas, pueden absorberse iones de signo contrario. Este efecto sería dependiente del tamaño de partícula, y el hecho de que esto no se haya demostrado concluyentemente prueba que su contribución es relativamente pequeña.

La segunda causa de la existencia de partículas de arcilla cargada es el desorden estructural encontrado en las montmorillonitas y también más recientemente en la livesita, donde tienen lugar sustituciones isomorfas de  $Al^{3+}$ , por  $Si^{4+}$  y de  $Mg^{2+}$  por  $Al^{3+}$ , lo cual da origen a las correspondientes cargas negativas. Este fenómeno es independiente del tamaño de partícula.

Estos efectos superficiales existen a través de toda la arcilla, pero a medida que disminuye el tamaño de una partícula se hace mayor la importancia relativa de las propiedades superficiales, hasta que se alcanza un tamaño para el cual las fuerzas de superficie son las predominantes y no se ven afectadas por fuerza alguna debida a la masa de la partícula. Estas partículas presentan propiedades coloidales y de ellas

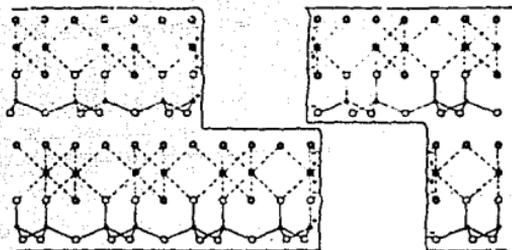


Figura 6  
Cristal fracturado de caolinita mostrando áreas insaturadas debidas a enlaces de valencia mixta (Johnson y Norton, 1949).

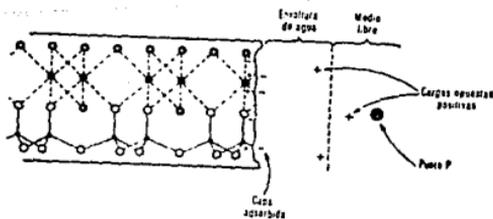


Figura 7  
Micela de un fragmento de caolinita mostrando la posición de las cationes adsorbidas (Johnson y Norton, 1949).

dependen las propiedades de la arcilla considerada en su totalidad. La naturaleza de la arcilla depende en gran parte de la cantidad de partículas coloidales presente. Toda partícula cargada tenderá a absorber otras partículas cargadas, usualmente iones, a fin de neutralizar la carga. Las partículas de arcilla cargadas se consideran siempre en contacto con agua, con o sin materia ionizada disuelta.

En los casos en que la carga superficial es positiva (los menos frecuentes) se cree que se absorben del agua iones hidroxilo para formar una capa interior fija. Como el exceso de carga sobre la partícula existe en unidades de electrón fraccionarias, la absorción de hidroxilos conduce a una carga negativa global que es entonces neutralizada por una capa más externa de cationes (ver fig. 7). Estos cationes son intercambiables, mientras que el hidroxilo generalmente no es intercambiable por otros aniones.

Con mayor frecuencia la partícula de arcilla está cargada negativamente y absorbe cationes directamente. La disposición de los cationes en la envoltura de agua que rodea las partículas de arcilla depende de su tamaño, carga y agua de hidratación y todo ello altera el campo eléctrico que rodea las partículas. La distancia, contada desde la partícula, a la cual se anula el campo eléctrico de ésta para una concentración dada de cationes está regida por el tamaño y la carga de dichos cationes. Los iones pequeños pueden disponerse alrededor más próximos que los de gran tamaño, y neutralizar así el campo más cerca de la superficie. De modo semejante los cationes de

gran carga se requieren en menor número que los de carga pequeña y pueden disponerse de un espacio más reducido. Por lo tanto el tipo de catión puede influir considerablemente en la importancia relativa de las dos fuerzas opuestas que actúan sobre las partículas de arcilla.

1.- Una fuerza mutua de atracción ligada a la densidad, pero que debido al pequeñísimo tamaño actúa solamente cuando las partículas están muy próximas unas de otras.

2.- Una fuerza de repulsión debida a la carga negativa de cada partícula.

De acuerdo con éstas, si dos partículas en una suspensión de arcilla se aproximan una a otra, se repelerán a no ser que puedan llegar a aproximarse suficientemente para que predomine la fuerza atractiva. Si los iones de carga opuesta son grandes por ejemplo,  $K^+$  y  $Na^+$ , se producen repulsiones y puede lograrse una suspensión estable (desfloculación). Si los iones oponentes son pequeños y/o altamente cargados, por ejemplo,  $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , se produce la aglomeración (floculación). La naturaleza de las cargas superficiales sobre las partículas de arcilla y, por lo tanto, sus estados de floculación o desfloculación se ven también afectados por la presencia de aniones en solución y/o la acidez o alcalinidad relativas. Se produce la desfloculación con los iones hidróxido y en la presencia de aquellas sales de sodio y litio de ácidos débiles que den una reacción alcalina, esto es, carbonatos, -

silicatos, pirofosfatos. Por ejemplo, si los iones de signo contrario existentes alrededor de las partículas de arcilla -- son de sodio, como sucede frecuentemente en el caso de las arcillas naturales, y la arcilla se dispersa en agua pura, los iones sodio pueden penetrar en la envoltura de agua lo bastante apretados para que se produzca la ligera atracción.

Las partículas de arcilla tienen sólo cargas superficiales negativas cuando se encuentran en un medio alcalino, mientras que en medios ácidos existen tanto cargas positivas como negativas en puntos diferentes de la superficie. Por lo tanto la primera condición requiere más cationes para alcanzar la neutralidad eléctrica. En el medio ácido, por lo demás, puede producirse la floculación por atracción de aristas y caras de carga opuesta de las partículas, lo que lleva a una condición voluminosa y retentiva de agua. La floculación de una arcilla en condiciones alcalinas, por otra parte, se produce por aplastamiento de las partículas cara a cara, dando lugar a un producto denso.

### II.3 .- PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LOS SOLIDOS.

Desde el punto de vista práctico, las características estructurales de un sólido que revisten mayor interés en el diseño y funcionamiento de equipo son: área específica, volumen de poro total, distribución de diámetro de poro, tamaño promedio de partículas y la densidad. Mencionaremos a continuación las definiciones de estas características, así como también se proporcionaran los métodos más usuales para la determinación experimental de algunas, por otro lado, el fundamento teórico de los métodos experimentales correspondientes, serán expuestos, sólo con el detalle necesario que permitan una mejor interpretación de las definiciones.

- A) AREA ESPECIFICA: Teóricamente, este término se refiere a la área que posee una interfase existente en cierto medio o muestra, medida por gramo de muestra. Se expresa generalmente en  $m^2/g$ . Dada la utilidad que se le da a dicho dato es preferible utilizar una definición operacional, aplicada al caso de la superficie específica de un sólido, y que se puede dar como sigue:

Se determina mediante una isoterma de adsorción, la cantidad de gas necesario para cubrir la superficie del sólido con una monocapa, adsorbida físicamente. Se define la existencia de la monocapa completa al término de la formación de la "rodilla" en la curva isotérmica. Uno de los métodos más reproducibles utiliza la adsorción de  $N_2$  a  $77.3^{\circ}K$ . Se obtiene de esa manera un número  $N$  de moléculas adsorbidas en la monocapa.

Independientemente, se obtiene el área transversal de la molécula del gas empleado. Esta área se determina a partir de la densidad, para el caso de nitrógeno el área transversal promedio que se utiliza en la mayoría de los laboratorios es  $= 16.2 \text{ \AA}^2$ . De esta forma si se utilizan M gramos de muestra para medir la isoterma de adsorción, el área específica A que se obtiene es de:

$$A = \frac{N_g}{M} \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{g}$$

donde  $N_g$  = número de moléculas adsorbidas

M = masa de la muestra en gramos

Es conveniente hacer notar que el área específica que se calcula de esta manera, depende del gas utilizado como adsorbato. Por esta razón existe en la literatura la tendencia a emplear el gas de nitrógeno como gas "estándar" y referir todas las áreas medidas a dicho gas.

- B) VOLUMEN DE PORO TOTAL ESPECIFICO: Es el volumen de vacío interno total por unidad de masa del sólido. Parte de dicho volumen puede estar totalmente rodeado de sólido y por lo tanto, inaccesible a una reacción dada. Por lo tanto, una mejor definición que puede darse operativamente, es: El volumen máximo de un líquido que penetra dentro del sólido, mediante la aplicación de presión. En el caso de un polvo, esta definición incluye el volumen intersticial entre las partículas del polvo

C) VOLUMEN EFECTIVO DE POROS ESPECIFICO: Es igual al volumen anterior disminuido por el volumen intersticial específico entre partículas. Este volumen es el que representa efectivamente el espacio vacío producido por los poros dentro de cada partícula.

El método de penetración de un líquido (generalmente mercurio) por presión proporciona el volumen de poros de tamaño "infinito" hasta un tamaño mínimo especificado -- por la máxima presión aplicada. Con lo cual se puede dar una clasificación de poros dependiendo del tamaño de éstos y cuya nomenclatura más aceptada es la siguiente:

Macroporos: Poros de diámetro mayor que  $500^{\circ}\text{A}$

Mesoporos: Poros de diámetro entre 20 y  $500^{\circ}\text{A}$

Microporos: Poros de diámetro menor que  $20^{\circ}\text{A}$

D) DISTRIBUCION DE DIAMETRO DE PORO: Se refiere, al porcentaje con respecto al volumen total máximo, que ocupan poros de distintos diámetros. Esto se obtiene al aumentar progresivamente la presión del líquido, se puede generar la curva de volumen penetrado contra presión y en base a un modelo de poros cilíndricos, se obtiene el respectivo porcentaje a una presión dada.

Dicho estudio, permite también determinar el volumen intersticial y obtener el volumen efectivo de poros a partir del volumen de poros a partir del volumen de poros total.

#### II.4 FENOMENOS DE SUPERFICIE.

Por lo regular la superficie de un líquido se encuentra - en un estado de tensión, o no saturación, y la de un sólido -- tiene, similarmente, un campo residual de fuerza; habrá, por - consiguiente, una tendencia a la disminución de la energía libre en cualquier superficie, y esta tendencia será la responsa ble final del fenómeno de adsorción. El término adsorción se refiere estrictamente a la existencia de una concentración más elevada de cualquier componente en la superficie de una fase - líquida o sólida que la que hay en el interior de la misma; en teoría debe distinguirse claramente la adsorción de la absor-- ción cuando se aplica a sólidos, ya que ésta se refiere a una penetración más o menos uniforme. En la realidad es práctica-- mente imposible separar los efectos de adsorción que los de ab sorción, y por ello se emplea frecuentemente el término no com prometedor de sorción. La palabra oclusión propuesta por T.-- Graham en 1866, en relación con sus estudios acerca de la re-- tención de hidrógeno por paladio, tiene un significado similar a sorción, pero el primer término se restringe en la actuali-- dad generalmente a la sorción de gases por sólidos, los cuales son la pauta para analizar otros sistemas diferentes a éste y, desde luego, más complejos.

Puesto que la adsorción de gases por sólidos es un fenóme no de superficie, debería determinarse mediante la masa  $m$  ( o el volumen en condiciones normales) de gas  $G$  fijado por unidad de superficie del sólido  $S$ , por ser a menudo difícil de deter-- minar la superficie de una cantidad dada de  $S$ , los valores se

refieren a la unidad de masa. Estas condiciones se enuncian a continuación.

Para un tipo de adsorbente dado, la cantidad  $m$  de  $G$  fijado por  $g$  (gramo) de  $S$  depende de  $P$  y de  $T$ .

- La curva  $m=f(P)$ , a una  $T$  dada, se llama isoterma de adsorción a la temperatura  $T$ . A veces, la curva que se representa es  $m=f\left(\frac{P}{P_0}\right)$  donde  $P_0$  = presión de vapor de saturación de  $G$ , que no depende sino de  $T$ .
- La curva  $m=f(T)$ , a una  $P$  dada, es una isóbara, que es decreciente, ya que la adsorción es exotérmica.
- Finalmente, variando  $T$ , se puede buscar cuál es la presión  $P$  que se debe aplicar para que  $m$  se mantenga en un valor constante. La curva  $P=f(T)$ , a una  $m$  dada es una isóstera; crece con  $T$ , ya que un aumento de  $T$  hace disminuir  $m$ , y es preciso aumentar  $P$  para reestablecerla en su valor primitivo.

En este tipo de fenómenos de superficie se puede considerar que existen dos tipos de adsorción:

• ADSORCION FISICA ( ADSORCION DE VAN DER WAALS ).- Ya que las interacciones entre  $G$  y  $S$  son de la misma naturaleza que las fuerzas intermoleculares de Van der Waals, la adsorción se llama "física"; las energías que intervienen son del mismo orden que los calores de vaporización y no sobrepasan las 10 kcal por mol de  $G$ . La forma de las isotermas es bien conocida incluso para valores muy pequeños de  $\frac{P}{P_0}$ ,  $m$  parece tender hacia una constante; en este momento la superficie de  $S$  se halla re

cubierta completamente por una capa de moléculas de G, y un aumento posterior de P produce poco efecto, porque la superficie está saturada. Sin embargo, en cuanto  $\frac{P}{P_0}$  adquiere un valor -- considerable (aunque menor de 1), ocurre que m crece rápidamente a consecuencia de una nueva acumulación de G sobre la superficie, que no puede hacerse más que por superposición de varias capas de G (capa multimolecular). Las interacciones entre dos capas sucesivas son mucho más parecidas a aquellas que se dan en estado líquido que a las interacciones entre S y la primera capa de G. Cuando  $\frac{P}{P_0}$  tiende a 1, se tiende hacia una verdadera condensación de G en la superficie de S, lo que explica el rápido crecimiento de m; se comprende así por qué los G que son más fácilmente condensables son también los que se adsorben mejor. La adsorción física es, en general reversible al disminuir P se vuelve a alcanzar rápidamente, a lo largo de la isoterma, el valor que tenía para una P inferior.

• ADSORCION QUIMICA ( QUIMISORCION ).- Contrariamente a la anterior, en ésta intervienen fuerzas muy superiores, análogas a las que intervienen en la formación de combinaciones químicas, y las energías correspondientes sobrepasan las 20 kcal por mol de G. Las moléculas así fijadas sobre S están distendidas, o incluso disociadas en fragmentos, que con los átomos de la superficie forman "compuestos" más o menos estables. Por ejemplo se ha comprobado, que el CO adsorbido sobre metales de transición da en el infrarojo las frecuencias de los metalcarbonilos y que las frecuencias del C-H de los hidrocarburos etilénicos

adsorbidos sobre estos metales son las que corresponden a hidrocarburos saturados. La quimisorción raramente es reversible; S debe calentarse a una T más elevada y a vacío para eliminar G, y éste no es siempre idéntico al primitivamente adsorbido. Al igual que para las reacciones químicas, la energía de activación es considerable y la velocidad de adsorción no apreciable sino a T suficientemente elevada. La quimisorción se completa cuando la superficie está recubierta por una capa monomoléculas, y el trazo horizontal obtenido sobre la curva  $m=f(P)$  tiende hacia una horizontal perfecta, después de un crecimiento inicial rápido, causado por la afinidad de G y S.

Se puede considerar que los dos tipos de adsorción intervienen en un mismo sistema; el primer tipo, es decir, la fisisorción, por ser algo análogo a una condensación de G, no aparecerá más que a T notablemente inferiores a la T crítica. -- Mientras que el segundo tipo aparecerá a T bastante elevadas, debido a su fuerte energía de activación, que hace que ha bajas T su velocidad de aparición sea muy pequeña.

Las isoterma conocidas y más usadas son las siguientes:

• Capa monomolecular. Isotherma de Langmuir.-- Aunque se trata de un equilibrio, es más comodo tratarlo a partir de consideraciones cinéticas. Las moléculas de G que chocan con la superficie de S quedan retenidas por la fracción de su superficie que aun queda sin recubrir; por el contrario, a causa de su energía cinética, una cierta porción de moléculas tiende a escaparse; el equilibrio se alcanza cuando las velocidades de es

tos dos procesos son iguales.

Llamemos  $s_0$  a la fracción de superficie no cubierta, ( $1-s_0$  será entonces la fracción recubierta); la velocidad de fijación es proporcional al número de moléculas incidentes, por lo tanto a  $P$ , y al área disponible, y por lo tanto a  $s_0$ , es decir, a  $kPs_0$ , mientras que la velocidad de partida es proporcional al número de moléculas fijadas y al área recubierta, es decir, a  $\bar{k}(1-s_0)$ .

Igualando estas dos expresiones, y poniendo  $b = \frac{\bar{k}}{k}$ , se obtiene:

$$1 - s_0 = \frac{\bar{k}P}{\bar{k} + kP} = \frac{bp}{1 + bp}$$

llamando  $m_0$  a la masa de  $G$  fijada por  $g$  de  $S$  si toda la superficie de  $S$  estuviera recubierta, se tiene, evidentemente,

$$m_0 = m(1 - s_0)$$

de donde, en definitiva:

$$m = m_0 \frac{bp}{1 + bp} \quad (\text{fórmula de Langmuir})$$

Esta fórmula describe adecuadamente la forma de la isoterma: a bajas  $P$ ,  $bp$  es despreciable frente a  $1$  y  $m \rightarrow m_0 bp$  (de ahí la forma casi lineal del comienzo); a  $P$  elevada,  $1$  es despreciable a  $bp$  y en consecuencia  $m \rightarrow m_0$ , de ahí la forma casi horizontal a  $P$  elevada.

• Isoterma de Freundlich.- Se puede admitir que, para valores intermedios entre las bajas  $P$ , para las que  $m$  varía linealmente con  $P$ , y las altas, para que permanezca constante,  $m$  varía

según  $P^n$  (donde  $n$  es menor que 1) con lo que:  $m=KP^n$ , incluso - con  $n$  constante, esta expresión, aunque empírica, describe los hechos de forma satisfactoria en un gran intervalo de  $P$ ; ésta es la isoterma de Freundlich, muy utilizada a causa de su forma simple.

• Capas Polimoléculares. Teoría B.E.T. (Brunauer-Emmett-Teller)

Razonemos sobre la unidad de superficie:

a) sean  $s_0, s_1, s_2, s_3, \dots$  las áreas recubiertas por 0,1,2,3 - capas de moléculas; en el equilibrio, cada una de ellas debe permanecer constante, es decir, al igual que en el razonamiento de Langmuir, las velocidades de adsorción y de desorción son - iguales.

Para la capa de orden 0, se encuentra:

$$\bar{K}_1 P s_0 = \bar{K}_1 s_1 \quad \text{o sea} \quad s_1 = \frac{\bar{K}_1 P s_0}{\bar{K}_1} \dots\dots\dots (1)$$

( $s_1$  no es igual a  $1-s_0$ , a causa de la existencia de  $s_2, s_3, \dots$ ) para la primera, el balance es un poco más complicado:

- $s_1$  puede formarse no sólo por recubrimiento de la superficie desnuda ( $\bar{K}_1 P s_0$ ), sino también por la desorción de  $s_2 (\bar{K}_2 s_2)$ .
- Puede desaparecer no solamente para volver a dar la superficie desnuda ( $\bar{K}_1 s_1$ ), sino también para formar  $s_2 (\bar{K}_2 P s_1)$  de -- forma que, en definitiva:

$$\bar{K}_1 P s_0 + \bar{K}_2 s_2 = \bar{K}_1 s_1 + \bar{K}_2 P s_1$$

comparando con (1) resulta:

$$\bar{K}_2 P s_1 = \bar{K}_2 s_2, \quad \text{es decir:} \quad s_2 = \frac{\bar{K}_2 P s_1}{\bar{K}_2}$$

igualmente se tendrá:

$$\bar{K}_3 P s_2 = \bar{K}_3 s_3, \text{ es decir; } s_3 = \frac{\bar{K}}{K_3} P s_2$$

..... etc,.....

b) Se puede admitir que los valores de  $\frac{\bar{K}}{K}$  son sensiblemente -- iguales para todas las capas a partir de la segunda, ya que -- las moléculas de G vienen a fijarse sobre una capa de G ya adsorbida.

Poniendo:  $\frac{\bar{K}P}{K} = x$

y para la primera capa:  $\frac{\bar{K}P}{K_1} = cx$

para tener en cuenta que el proceso para éstas es diferente, - los valores anteriores de las s quedan:

$$s_1 = c x s_0; \quad s_2 = c x^2 s_0; \quad s_3 = c x^3 s_0 \quad \dots \text{ etc.}$$

c) para evaluar la cantidad de G fijada, llamemos  $m_0$  a la cantidad fijada si S estuviera totalmente recubierta por una capa molecular; se tiene:

$$m = m_0 (0s_0 + 1s_1 + 2s_2 + 3s_3 + \dots)$$

pues la unidad de superficie de rango i fija i veces más de G que una capa de rango 1. Así pues:

$$\frac{m}{m_0} = c x s_0 (1 + 2x + 3x^2 + \dots)$$

de otra parte, la suma de las s es igual a 1 (ya que se razona sobre la unidad de superficie)

$$1 = s_0 (1 + c(x + x^2 + x^3 + \dots))$$

dividiendo miembro a miembro:

$$\frac{m}{m_0} = c x \frac{1 + 2x + 3x^2 + \dots}{1 + c(x + x^2 + x^3 + \dots)}$$

si x es menor que 1 (lo que verificaremos), se puede demostrar

que la fracción del segundo miembro es igual a  $\frac{1}{(1-x)(1+(c-1)x)}$   
de donde:

$$\frac{m}{m_0} = \frac{cx}{(1-x)(1+(c-1)x)} \quad (\text{relación B.E.T.})$$

el significado de  $x$  queda claro en esta relación: si  $x \rightarrow 1$ ,  $-\frac{m}{m_0} \rightarrow \infty$ , lo que practicamente corresponde a una licuefacción de G; entonces  $P \rightarrow P_0$  de donde:

$$\frac{K}{K} = \frac{1}{P_0}, \text{ según la definición de } x;$$

inversamente (según la misma definición),  $x = \frac{P}{P_0}$  (presión reducida).

Al ser  $x$  la que interviene en la expresión de  $m$ , es preferible escogerla como abscisa en lugar de  $P$ . Por ser la cantidad  $c$  mayor que 1 la curva tiende hacia la isoterma de Langmuir cuando  $P$  es pequeña ( $x$  despreciable frente a 1); se obtiene entonces, en efecto:

$$\frac{m}{m_0} = \frac{cx}{1+(c-1)x} = \frac{AP}{1+BP}$$

poniendo

$$A = \frac{c}{P_0} \quad \text{y} \quad B = \frac{c-1}{P_0}$$

Podemos hacer mención aquí de una sorción de carácter enteramente diferente. Se sabe por el examen mediante rayos X que en las zeolitas las moléculas de agua no se encuentran retenidas por enlaces de valencia ordinarios, sino que se hallan sencillamente encajadas en los espacios vacantes de la red atómica del aluminio, silicio y metales. En las deshidrataciones se elimina el agua y los espacios pueden ser ocupados por otras moléculas; las zeolitas deshidratadas son, por tanto, buenos -

agentes sorbentes y en relación con ello se han investigado -- particularmente las propiedades de la chabazita,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . La chabazita parcialmente deshidratada toma fácilmente vapores de agua y de alcoholes metílico y etílico, aunque los de benceno, éter y acetona no son adsorbidos. El diferente comportamiento de las sustancias en estos dos grupos se atribuye a sus dimensiones, ya que la chabazita actúa como un verdadero cedazo molecular permitiendo la entrada sólo a las moléculas de tamaño inferior al de los espacios vacantes en la red ocupados primitivamente por las moléculas del agua. Del estudio de la sorción de un número de sustancias por la chabazita se ha estimado el diámetro de los poros en  $3.5 \text{ \AA}$ . Para distinguir entre este y otros tipos de adsorción J.W. MacBain (1930) ha sugerido el nombre de persorción; ésta difiere de la disolución sólida verdadera sólo en el hecho de que no es completamente uniforme en todo el sólido. Es probable que la persorción se presente en los carbonos muy activos, y quizá en cierto grado en el gel de sílice; la oclusión del hidrógeno por paladio puede ser muy bien un caso extremo de adsorción activa y de persorción combinada.

A partir de los elementos y herramientas enunciadas anteriormente podemos, ahora dirigirnos a enfocar la adsorción sobre un sólido.

Se puede considerar que las moléculas de soluto se fijan sobre S de la misma forma que un gas y por razones parecidas, pero la teoría de este fenómeno, de importancia práctica con-

siderable, aún resulta oscura. Sin embargo, debido a las analogías mencionadas, se le representa ordinariamente por una fórmula del tipo de la de Freundlich:

$$m = Kc^n$$

donde  $c$  = concentración de soluto en la disolución.

Debido a la solvatación de  $S$ , la formación de capas moleculares es imposible generalmente.

Los adsorbentes se agrupan en dos categorías principales: Adsorbentes polares (sílice, alúmina,  $CO_3Ca$ ) y no polares (carbón).

- En el primer caso, las interacciones (y, por consiguiente, la intensidad de la adsorción) dependen de las polaridades relativas de  $S$  y del cuerpo fijado, y hay un paralelismo entre la constante dieléctrica de las sustancias y su capacidad de adsorción.
- En el segundo caso, la adsorción (no polar) está principalmente regida por consideraciones de tamaño o de forma de las moléculas.

Cuando el soluto es un electrólito, uno de los iones es a menudo más adsorbible que el otro; resultará por ello una asimetría de cargas en la disolución o en el sólido, incompatible con la neutralidad eléctrica de forma que debe aparecer un ión de carga opuesta a la del ión en exceso.

Como la función de la superficie se puede considerar desde dos aspectos, el primero mencionado con anterioridad es que se puede apreciar como actuando de la misma manera que en la -

adsorción de gases, esto es, en virtud de atracción molecular o de fuerzas químicas; y el otro aspecto es que se puede analizar como un medio para suministrar una interfase de superficie grande en la cual se pueda acumular un soluto capaz de rebajar la tensión interfacial. Estas dos propiedades están indudablemente relacionadas entre sí, pero el último punto de vista es probablemente más útil, en todo caso pueden estar implicadas también otras propiedades comprendidas con menos claridad. Hay muy poca información utilizable relativa a las tensiones en las interfases sólido-líquido, pero se puede obtener una indicación aproximada acerca de la tendencia de un soluto dado, a ser adsorbido por una interfase de tal tipo, suponiendo que las tensiones marchan paralelamente a las de interfase aire-líquido. No hay justificación teórica para esta suposición, pero a falta de cualquier otra información más definitiva se la puede emplear como la única guía disponible, especialmente porque al parecer las pruebas experimentales apoyan la validez general del paralelismo entre tensiones interfaciales sólido-líquido y aire-líquido.

Con esto podemos decir que el grado de adsorción a partir de una disolución aumenta con la concentración, pero es probable que se alcance un límite en la adsorción por una superficie sólida a partir de una disolución como sucede en la adsorción de un gas por un sólido y de un soluto en la interfase aire-líquido, cualquiera que sea el mecanismo de adsorción a partir de la disolución, es cierto que su magnitud depen

de principalmente de la superficie disponible del adsorbente, aunque a veces son evidentes factores específicos, especialmente con partículas coloidales. El orden en el cual son tomados una serie de solutos de una disolución es, por tanto, en general, casi invariablemente reversible y se alcanza un equilibrio definido en un tiempo breve que depende de la concentración de la disolución y de la cantidad del adsorbente.

El método experimental empleado consiste en agitar un peso definido del adsorbente con un volumen conocido de la disolución problema; puede ser necesario efectuar un vacío parcial para eliminar el aire de los poros del sólido y poder garantizar así una impregnación completa. Después de un breve intervalo se deja depositar el sólido y se analiza el líquido claro el cual da la concentración de equilibrio de la disolución. La cantidad de sustancia adsorbida se calcula a partir de las concentraciones inicial y final y del volumen de disolución empleado. La isoterma clásica de adsorción es en la forma:

$$\frac{x}{m} = kc^{1/n}$$

ó

$$\log \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log c$$

Donde c es la concentración de equilibrio de la disolución; se aplica en muchos casos en un intervalo considerable de concentraciones. Parece que representa la adsorción de una disolución más exactamente que la adsorción de gases.

**G E N E R A L I D A D E S**

### III.- GENERALIDADES

El criterio que actualmente se sigue para establecer si el medio ambiente se encuentra contaminado, se basa en la comparación con valores de "normalidad". Este concepto, del cual no existe un consenso en su definición se establece idealmente midiendo los posibles contaminantes en condiciones típicas, sin la interferencia de circunstancias que puedan modificar sus valores naturales. Esto es, desde luego, más difícil cada día, no tanto por la limitación de encontrar zonas libres de actividades humanas, sino porque las que sí se encuentran no pueden ser consideradas como representativas de los diferentes hábitats que se pueden encontrar en una región. Las opciones para subsanar este problema son: aumentar el tamaño de la región escogida para determinar el nivel de normalidad y establecer este nivel en base a parámetros estadísticos descriptivos. Esto, desde luego permite hacer generalizaciones con el inconveniente de perder precisión en los valores locales o subregionales.

En México, el moderno desarrollo económico y social se inició en la década de los cuarenta, lo que significa medio siglo de explotación de los recursos naturales y degradación del ambiente; en este lapso la producción industrial aumentó 50 veces y la población más de 400 por ciento.

En 1971 se expidió la " Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación ambiental ", en 1976 el gobierno mexicano concreta y formaliza la preocupación nacional por la ruptura del equilibrio entre la naturaleza y desarrollo, al crear la Subsecretaría de Mejoramiento del ambiente, perteneciente al

sector salud y, posteriormente, en 1982, la subsecretaría de Ecología, dependiente de la secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, así como también, de la promulgación, en 1988, de la Ley ambiental vigente.<sup>1</sup> Su finalidad es la de disponer de instrumentos legales para enfrentar los problemas de contaminación ambiental.

Para nuestro estudio nos enfocaremos a enunciar algunas facetas características de la contaminación por plomo en el medio ambiente.

### III.1 ASPECTOS PATOLOGICOS DEL PLOMO

El plomo y el mercurio son los metales cuyo efecto sobre la salud humana ha sido más estudiado, considerandose como los más riesgosos para el hombre. El plomo provoca, entre otras, una enfermedad denominada saturnismo (o plumbismo), descrita por primera vez por el poeta y médico griego Nicandro hace más de 2000 años. Desde aquel entonces se conocen los riesgos que representa el plomo para la salud. El plomo es de utilidad al hombre debido a su ductilidad, su gran resistencia a la erosión y la corrosión, las propiedades que imparte a algunos pigmentos empleados en pintura, cerámica o simplemente en el recubrimiento protectorio de paredes, etc. El sector poblacional más expuesto a los efectos del plomo es el formado por los infantes de menos de seis años, quienes están expuestos a la ad-

<sup>1</sup> Ley general del equil. ecol. y la proc. al amb., Drio.Of.28/I/88

sorción de plomo atmosférico. El plomo por ejemplo, puede inactivar enzimas cuya actividad depende de la presencia de un grupo sulfhídrico libre (SH). Esto conlleva, directamente o indirectamente, a la alteración de la biosíntesis del hemo, el constituyente con hierro y que se combina con ciertas proteínas para formar la hemoglobina, el pigmento acarreador de oxígeno de las células sanguíneas rojas; también es un constituyente esencial de los citocromos, pigmentos respiratorios claves para el metabolismo energético.

El plomo puede desplazar al calcio de la formación de huesos y dientes, en virtud de una gran semejanza en el metabolismo de ambos; una deficiencia de calcio en la dieta también puede dar como resultado que se presente una mayor adsorción de plomo. El plomo así adsorbido permanece "almacenado" en los huesos, de donde pasa a la sangre para unirse principalmente a los eritrocitos; una parte de este plomo migra hacia el cerebro

El plomo metálico no se acumula en demasía en el cerebro, sin embargo, se ha demostrado que el tetraetilo de plomo, aditivo de la gasolina, se acumula preferentemente en dicho órgano. Posteriormente se elimina a través de orina, sudor y heces fecales (por estas últimas se elimina aproximadamente el 90%). También emigra hacia cabello y uñas. El plomo en el cerebro provoca, dependiendo de la edad del enfermo, desde debilidad mental hasta la muerte.

### III.2 CONTAMINACION POR PLOMO EN EL AGUA

Los procesos por los cuales los metales son incorporados al mar, se pueden subdividir en naturales y artificiales. Dentro de los procesos naturales se consideran varios aportes que incluyen arrastre (los cuales a su vez tambien son contaminados) y erosión; remoción de sedimentos debido a actividad volcánica, química y biológica, además de otros factores como el transporte atmosférico de partículas de polvo o vapor, y al material producido por erosión glacial, que es acarreado de las regiones polares hacia el resto de los océanos por medio de corrientes profundas del mar. Los aportes que se consideran artificiales, son todos aquellos productos de la actividad humana, los cuales han incrementado a lo largo del tiempo y en forma más intensa en las últimas décadas, las concentraciones de los metales pesados en las zonas costeras. Dentro de los aportes artificiales se encuentran las actividades de minería, la cual es una de las actividades económicas de mayor tradición en México. La minería y la metalurgia tienden a ocasionar efectos negativos en el ambiente por tratarse de industrias sumamente contaminantes. En varias fases de la actividad minera exploración, explotación, beneficio, industrialización y abandono hay riesgo de afectar al ambiente. Las actividades propias del beneficio generan cambios sustanciales al medio ya que, conjuntamente con la fundición y la refinación, constituyen el proceso industrial de transformación de los recursos minerales. En este caso se produce contaminación de aguas superficiales y subterráneas, y del aire.

La contaminación se presenta de diversas formas, una de ellas en los procesos hidrometalúrgicos cuando los desechos y las sales no son almacenados en depósitos creados para tal efecto; El depósito de basura y desperdicios en el fondo marino, las actividades de quemado, endulzamiento y refinación de combustibles fósiles, el uso de productos metálicos en pesticidas y gasolinas, etc.

El comportamiento del plomo en el medio marino depende de las propiedades particulares del compuesto de plomo en cuestión. El plomo es transportado hacia el mar en forma orgánica como quelantes solubles o como complejos inorgánicos solubles. Estos compuestos son incorporados a los océanos, tanto por acarreo terrestre como por atmosférico. En tiempos preindustriales los ríos constituyeron el principal aporte de plomo a los océanos; en la actualidad dichos aportes se han visto incrementados debido al uso de plomo como antidetonante en las gasolinas. Algunas gasolinas llegan a contener hasta 0.5 g de plomo por litro y aproximadamente un 40% de éste, se convierte en aerosoles inorgánicos que se acumulan en la atmosfera. Cerca del 70% del plomo atmosférico se precipita en los océanos, por lo que alrededor de 100,000 toneladas anuales de plomo son incorporadas a los océanos sólo por su uso en gasolinas.

Cierta cantidad de plomo soluble en agua de mar, es acumulada por los organismos que habitan la zona fótica (zona influida por la luz solar). Sin embargo, estos niveles así como sus efectos biológicos y ecológicos son prácticamente descono-

cidos, aunque por su importancia están siendo estudiados sistemáticamente. Sobre los valores de normalidad, se señala que - el valor máximo permisible para aguas costeras es de 1 ppb. De acuerdo a los datos obtenidos durante los cruceros, el nivel máximo de normalidad es de 8 ppb, con la frecuencia de datos más alta dentro del intervalo de 1.0 a 1.5 ppb (16%) en aguas costeras del océano pacífico. En consecuencia, esta valor es ocho veces superior al permisible señalado.

En México como en muchos países del mundo, las principales fuentes de contaminación del agua se han agrupado de acuerdo - con su procedencia, en tres sectores:

- El social, correspondiente a las descargas de residuos de origen doméstico y público que constituyen las aguas residuales municipales.
- El agropecuario, representado por los efluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado mayor y menor, y por las aguas de retorno de los campos agrícolas.
- El industrial, derivado de las descargas originadas por - las actividades correspondientes a la extracciones y --- transformación de recursos naturales en bienes de consumo y satisfactores para la población.

De las fuentes contaminantes mencionadas anteriormente destaca la contribución del sector industrial en la contaminación por plomo.

Como estos sectores son fuentes contaminantes constantes

Existen en México, para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales 361 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, con una capacidad instalada de 25.10 m<sup>3</sup>/s, y en lo que se refiere a plantas de tratamiento de agua residual industrial, existen 282 con una capacidad aproximada de 20 m<sup>3</sup>/s.

De lo anterior se deriva que de la descarga total de agua residual municipal que es de 105 m<sup>3</sup>/s solo se tiene capacidad para tratar 24%, además de que aproximadamente la mitad del volumen tratado es para reuso y no para el control de la contaminación. Por lo que respecta a las aguas residuales industriales cuyo gasto es de 79 m<sup>3</sup>/s, sólo se trata 25.3%.

Ahora bien, si todos los sistemas de tratamiento estuvieran operando, que no es el caso (se estima que solo 50% opera regularmente), se alcanzaría a eliminar una carga orgánica de aproximadamente 233,680 toneladas anuales, que representan -- 10.5% de la carga orgánica total generada en el país, que es -- de 2,219,643 toneladas anuales.

Aunado a lo anterior, en lo que se refiere a los sistemas de alcantarillado, la población del país cuenta con un nivel -- de servicio de 49%, siendo las localidades rurales las más -- afectadas por la falta de este servicio, por lo cual han recurrido al uso de fosas sépticas, aunque en mínimo porcentaje.

Asimismo se ha determinado que, debido principalmente a -- la falta de autosuficiencia económica y financiera, no ha sido posible ampliar la cobertura del servicio de alcantarillado co

mo sería deseable y menos aún la implantación de sistemas de tratamiento. Otros problemas no menos graves son la falta de personal capacitado para la operación y mantenimiento de las instalaciones de alcantarillado y tratamiento de aguas.

En las plantas municipales existentes predominan los procesos a base de lagunas de estabilización y de lodos activados y en los sistemas industriales de tratamiento, la mayoría se efectúa por medio de procesos de lodos activados con coagulación química.

### III.3 CONTAMINACION POR PLOMO EN EL AIRE

El análisis de la problemática ambiental en el país muestra una marcada relación entre la contaminación y la orografía del medio, la ciudad de México D.F. está ubicada a 2240 metros sobre el nivel del mar, en una cuenca lacustre con barreras -- montañosas al oeste y sur, al este del lecho seco del vaso de Texcoco, desprotegido de cobertura vegetal, con una dominancia de viento en términos de mesoescala del norte y a nivel de microescala con un comportamiento típico de valle y montaña. Por otra parte, las condiciones climáticas favorecen la formación de inversiones térmicas y debido a la latitud y altitud de la zona, adicionalmente se tiene una gran incidencia de radiación solar, la cual está estrechamente relacionada con la formación de algunos contaminantes.

La presión ejercida por el crecimiento demográfico e industrial y la falta de planeación integral del uso del suelo y sus recursos, han dado lugar a un desarrollo ambientalmente de

sequilibrado. La contaminación atmosférica es una consecuencia de ese tipo de desarrollo y a manera de ejemplo de la variable orográfica puede citarse el hecho de que más de 60% de la población se asienta en localidades ubicadas a más de 500 metros sobre el nivel del mar donde las condiciones ambientales son menos favorables.

Otro ejemplo puede ser el de la variable energética. México es un país con poca eficiencia en el uso de energéticos y en la economía mexicana se requiere de mayores cantidades de energía primaria para producir una misma cantidad de bienes y servicios que en otras partes del mundo en donde el desarrollo industrial es superior y los climas menos favorables.

El caso es digno de mención porque existe una relación significativa entre el consumo de energía y los niveles de emisión de contaminantes para las diferentes actividades económicas. Así por ejemplo, el consumo de gasolina en el sector del transporte representa, al mismo tiempo, el mayor gasto relativo de energía y la mayor aportación de contaminantes con respecto al volumen total (CO, NO<sub>x</sub>, HC y Pb principalmente); las mayores emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas suspendidas totales encuentran su contraparte proporcional en aquellas actividades que requieren de combustóleo y diesel, como son precisamente la industria, la generación de electricidad y los servicios. En tres regiones del país se produce 40% del total de los contaminantes emitidos a la atmósfera: en la zona metropolitana de las ciudades de México, Gua-

dalajara y Monterrey. En la primera, la gran concentración ur bano-industrial, el creciente uso de vehículos automotores, la existencia de grandes áreas erosionadas y zonas agrícolas de - temporal y la excesiva demanda de energía, han sido factores - determinantes en el deterioro de la calidad del aire; la situa ción geográfica de esta región no cuenta con condiciones favo- rables de ventilación ya que además de encontrarse ubicada a - más de 2000 metros sobre el nivel del mar, la geomorfología co rresponde a una cuenca cerrada que propicia la acumulación de contaminantes.

La contaminación del aire en la ciudad de México es refle jo de su alta concentración demográfica. Debe tomarse en cuen ta que la zona metropolitana cuenta con con más de 15 millones de habitantes, que producen 36% del producto interno bruto del país y que consumen 17% de la energía generada en él. La pro-- ducción, almacenamiento y distribución de combustibles generan alrededor de 14% de la contaminación provenientes de fuentes - fijas. Casi la tercera parte de esta emisiones están consti-- tuidas por hidrocarburos y alrededor de la sexta parte por -- bióxido de azufre.

Los vapores de gasolinas y combustibles en general son es pecialmente nocivos para la salud. Las principales fuentes de hidrocarburos crudos provienen del control del proceso, distri bución, transporte y almacenamiento.

La extensión del área urbana y la intensa vida económica y social de la ciudad obligan a sus pobladores a transportar-

se grandes distancias para cumplir con sus actividades cotidianas. Se estima que diariamente se realizan 29.5 millones de viajes, que se hacen aproximadamente 2.4 millones en autos privados, en 57,000 taxis, 69,000 combis y microbuses, 10,500 autobuses, el metro, el tren ligero y 450 trolebuses. Se estima además que circulan en la zona metropolitana cerca de 196,000 camiones de gasolina y 60,000 camiones de diesel, de pasajeros las emisiones vehiculares representan 76% del total de contaminantes emitidos a la atmósfera de la ciudad de México.

A partir de esta información se deduce que los principales contaminantes del aire en la ciudad de México son el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, el ozono, las partículas suspendidas y el Plomo. Las normas con las que se cuantifican estos contaminantes fueron establecidos por el sector salud mediante un decreto publicado el 29 de noviembre de 1982, teniéndose para el plomo una norma de  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (prom. de 3 meses) la cual está basada en criterios internacionales.

La presencia de plomo en la atmósfera se debe a la combustión de gasolinas que contienen a este metal. En la ciudad de México sus concentraciones han disminuido como consecuencia del uso de gasolinas mejoradas desde valores de 0.8 ml/l hasta 0.26 ml/l. A partir de tales reducciones, sus concentraciones en el aire han disminuido en más de 50% en comparación con 1982 ya que actualmente el promedio nacional es de 0.21 ml/l. sin embargo, se continúa gestionando con Pemex reducciones fu-

turas de ese compuesto en las gasolinas, hasta llegar a 0.05 - ml/l, lo cual dependera de la tecnología existente.

Este contaminante no cuenta con un criterio nacional de calidad del aire; sin embargo, de acuerdo con la norma Primaria de Estados Unidos, el criterio establecido es de  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio trimestral. De acuerdo con esto se observa una tendencia decreciente entre 1989 y 1990, incluso en el noroeste de la zona metropolitana, caracterizada por presentar las concentraciones más elevadas de este contaminante. Según la evaluación de su comportamiento para este periodo, se observa que en tanto que para 1989 las concentraciones trimestrales de este metal oscilaban por arriba del criterio establecido, en 1990 estas concentraciones se ubicaron por debajo del mismo en lo general, excepto en el caso de Xalostoc, donde los promedios trimestrales fueron iguales o superiores a  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Igualmente, es preciso destacar que este contaminante describe un comportamiento estacional, siendo menores las concentraciones durante el segundo y el tercer trimestres que durante el resto del año.

A consecuencia de todo esto, el plomo es uno de los contaminantes cuyos efectos en la salud han sido más estudiados, sobre todo en trabajadores expuestos ocupacionalmente o en individuos envenenados por la ingestión de bebidas o alimentos que contienen concentraciones elevadas de este metal. Lo anterior llevó a establecer regulaciones para controlar tanto su difusión en el ambiente como la exposición humana, en particular -

en los recintos laborales, y condujo, entre otras, a reducir o eliminar su presencia en la gasolina o en otros productos que pueden exponer a los consumidores. Cabe señalar que en países como Estados Unidos, la disminución de plomo en las gasolinas ocasionó una reducción notable de la concentración de plomo en el aire y en la sangre de la población. Sin embargo a pesar de que actualmente en las gasolinas se han reducido las concentraciones de este metal, aun se presentan concentraciones de plomo en la sangre de alrededor de  $10 \mu\text{g}/100\text{ml}$  en los habitantes de las áreas urbanas, lo que indica que están expuestos a otras fuentes entre las que sobresalen las pinturas y las tuberías de la red hidráulica soldadas con plomo.

Hallazgos recientes, realizados en otros países, han indicado que los niveles de plomo en sangre considerados como causantes de efectos adversos en la salud humana ( $25-30 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$  de sangre), pueden constituir un peligro para los niños cuyo sistema nervioso se encuentra en desarrollo y han dado lugar a medidas más drásticas de control.

En México, se han producido cambios en el contenido de plomo en las gasolinas, al disminuirse paulatinamente la concentración de este metal en la gasolina Nova a partir de 1986 e introducirse la gasolina sin plomo Magna Sin en septiembre de 1990; se espera que esto se acompañe de la reducción de la exposición de la población.

En 1978 se participó, a través de la dirección General de Salud ambiental de la Ssa, en un estudio internacional promovi

do por la OMS, el PNUMA y el Instituto Karolinska de Suecia, para comparar los niveles de plomo en sangre en profesores habitantes de zonas urbanas. En dicho estudio, los profesores residentes de la ciudad de México mostraron las concentraciones más altas de plomo ( $22 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$ ). Más tarde durante 1983-1984, se repitió el estudio evaluando la concentración de plomo en sangre y heces, en aire, agua y polvo intra y extradomiciliario, para calcular la exposición a través de la inhalación e ingestión. En todos los países en los que el estudio se realizó dos veces, incluyendo México, se observó una disminución del contenido de plomo en la sangre de los profesores (los mexicanos tuvieron un promedio de  $159.0 \mu\text{g}/\text{día}$  en heces y  $19.5 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$  en sangre). Las concentraciones promedio de plomo en el aire de la ciudad de México fueron de  $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (con un rango de  $0.6 - 5.7 \text{ g}/\text{m}^3$ ); en el agua de la llave fueron de  $1 \mu\text{g}/\text{l}$ , y en el polvo de  $533 \mu\text{g}/\text{g}$ . A partir de los datos anteriores, se infirió que la contaminación del aire en la ciudad de México contribuyó de 19 a 38% a la exposición de los profesores, lo que indica que el plomo en la gasolina no fue la única fuente de exposición.

El estudio anterior tiene un valor particular porque se estableció un control de calidad analítico en todos los laboratorios que participaron y se adiestró al personal que intervino en los análisis para obtener datos confiables, lo que es indispensable, ya que se sabe que múltiples factores pueden contribuir a obtener resultados imprecisos. La Ssa participó, asimis

mo, en un estudio más reciente realizado de enero a junio de - 1986, en hombres y mujeres entre 25 a 45 años, residentes en - la zona metropolitana, y publicado por investigadores de la Es- cuela de Salud Pública de México, y en el que se encontró un - promedio de 19.5  $\mu\text{g}/\text{ml}$  de plomo en sangre. Las variables que se consideraron para calcular la exposición a la contaminación del aire por plomo, horas utilizadas en el transporte y zona - de residencia, tuvieron mayor influencia en el caso de las mu- jeres; en los hombres la exposición pareció ser mayor por in- gesta.

Por su parte, el instituto Nacional de Perinatología rea- liza un estudio prospectivo para determinar el efecto neuroló- gico derivado de la exposición de niños al plomo desde su eta- pa gestacional y en la primera infancia. En la publicación de los resultados preliminares obtenidos en una muestra de 40 a - 50 pares madre-hijo, se refiere que cerca de 70% de los niños recién nacidos presentan niveles de plomo en sangre del cordón umbilical superiores a 10  $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ . En promedio, las madres mostraron concentraciones de 16  $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$  y los niños de 13  $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$  de plomo en sangre. El tiempo de residencia en la zona metropolitana, mostró ser un buen indicador de la concentra- ción de plomo en las madres e hijos, encontrándose que una po- sible fuente de contaminación es la preparación y el consumo - de alimentos a baja temperatura en loza vidriada que contiene plomo. La exposición de los niños al plomo mostró una rela- ción entre la concentración de ese metal en la sangre y la re-

ducción del peso al nacer, así como alteraciones en diversos - parámetros conductuales.

La Dirección General de Epidemiología, en colaboración -- con otras instituciones, realiza diversos estudios para identificar las posibles fuentes de exposición al plomo en diversos grupos poblacionales considerados de alto riesgo y evalúa el - desempeño escolar de niños en relación con la concentración de plomo que presentan en la sangre. Los hallazgos preliminares de dichos estudios, coinciden con los antes mencionados al indicar que la contaminación del aire por plomo no es la única - fuente de exposición y que en algunos grupos poblacionales -- otras fuentes, como el consumo de alimentos en loza vidriada, - pueden ser más importantes. Asimismo, sugieren que a medida -- que se eleva la concentración de plomo en la sangre de los niños aumentan los problemas de aprendizaje.

### III.4 CONVERTIDORES CATALITICOS PARA LOS ESCAPES DE LOS AUTOMOVILES.

El escape de los automóviles es considerado la principal - fuente contaminante del aire en las áreas urbanas. En el acta Federal del Aire Limpio (Federal Clean Air Act) de 1970, en los Estados Unidos, se demandaba una reducción drástica de estas -- emisiones. Modificaciones en la calibración del motor y la recirculación de una parte del gas del escape dentro de la máquina pueden reducir los niveles de emisión, pero estos medios no son suficientes para obtener los niveles de emisión requeridos. Por lo tanto, en todos los automóviles norteamericanos se utilizan desde 1975 catalizadores para convertir los contaminantes - en gases menos dañinos. En México el uso de convertidores catalíticos empezó a mediados de la década de los ochenta y su uso es opcional.

La prueba para medir los niveles de emisión es la prueba - Periódica Federal Estándar (Federal Test Cycle). Una prueba mecánica que consta de dos partes y simula un patrón típico de -- tránsito urbano. La primera parte de la prueba comprende una - trayectoria de cerca de 23 minutos, desde el arranque en frío, - que cubre 75 millas a una velocidad de 57 millas por hora con - muchas paradas de duración variable. La segunda parte de la -- prueba es similar, con excepción de que comienza 10 minutos después de que finaliza la primera y el catalizador está caliente en el momento del arranque. La mayoría de los contaminantes se emiten durante los primeros minutos del arranque en frío, cuan-

do el catalizador no está todavía caliente para llevar a cabo su función.

Los catalizadores de los automóviles anteriores a 1981, - llamados catalizadores de oxidación, controlan el monóxido de carbono y los hidrocarburos oxidándolos y convirtiéndolos en dióxido de carbono y agua. Sus componentes activos son los metales nobles, platino y paladio, que son depositados sobre un sustrato de gran área, en forma de panal. Los catalizadores - están en forma de monolitos o cápsulas empacados en convertidores ligeros en forma de prisma rectangular. Los metales no--bles están fuertemente envenenados con plomo y fósforo, de ahí la gasolina "sin plomo" requerida en los Estados Unidos para - los automóviles posteriores o más recientes.

Dado los controles estrictos del óxido de nitrógeno y la necesidad de economizar combustible, los catalizadores de oxidación fueron reemplazados al comienzo de 1981 por un proceso de catalizadores de tres direcciones (Three-way catalysts, TWC<sub>3</sub>) que controlan simultáneamente los tres contaminantes mayores. Oxidan monóxido de carbono e hidrocarburos y reducen también - los óxidos de nitrógeno. Para llevar a cabo su función los -- TWC<sub>3</sub> contienen una serie de componentes activos en cantidades variables: platino, rodio, óxido de níquel y cerio.

La figura 8 ilustra los estados de equilibrio de las conversiones del monóxido de carbono (CO), de los hidrocarburos - (HC), y de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) en una TWC típica, en función de las proporciones aire-combustible. Todos los conta

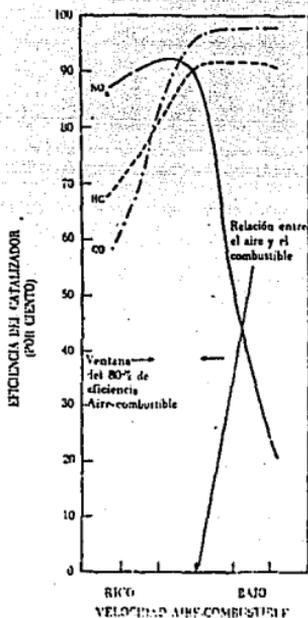


Figura 8. Conversión de Estado de Equilibrio, del monóxido de carbono (CO), de los hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) para la catálisis de tres direcciones.

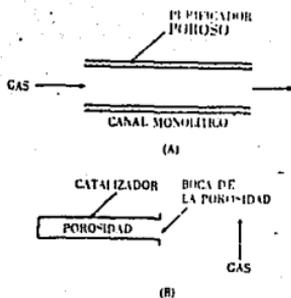


Figura 9. Representación esquemática de un convertidor monolítico en la que se muestra un solo canal del monolítico (A) y un solo poro dentro de la cubierta del canal.

minantes son removidos eficientemente cerca del punto estequiométrico (el punto en el que el motor funciona con suficiente aire para incendiar todo el combustible). Mientras los  $\text{NO}_x$  removidos son reducidos drásticamente durante la operación de empobrecimiento del combustible, las conversiones del monóxido de carbono y de los hidrocarburos disminuyen durante la operación en la que se mezclan el aire y el gas. Entonces, como se muestra en la figura, hay unas ventanas de tres direcciones: la escala de proporciones de aire y de gas en la que más del 75% de los tres contaminantes es removido. La ventana de tres direcciones es bastante limitada, por lo que el potencial REDOX (oxidación y reducción, es decir el enriquecimiento o el empobrecimiento) del gas de escape es medido con un detector de proporciones aire-combustible antes de que el gas entre al convertidor catalítico. El control de la retroalimentación del sistema de bombeo de combustible es utilizado para mantener el punto estequiométrico del gas del escape. Sin embargo, el efecto de control no es detectado hasta que la mezcla modificada de aire-combustible es incendiada en la máquina. La composición del gas del escape oscila, por lo tanto, brutalmente y en forma periódica cerca del punto estequiométrico, a una frecuencia de un hertz aproximadamente.

Hay alguna evidencia de que la variación periódica deliberada de los porcentajes aire-combustible amplía la ventana de las tres direcciones a cambio de una ligera reducción del máximo de las conversiones a la mitad de la ventana. El efecto se

atribuye a dos razones: una es la capacidad de almacenar oxígeno sobre el catalizador; así los componentes redox tales como el óxido de cerio suministran, en una red atmosférica reducida oxígeno al monóxido de carbono y a la oxidación de los hidrocarburos y ellos mismos se reducen sólo al ser reoxidados en una red atmosférica mediante la reacción con oxígeno y la reducción de nitrógeno. La segunda razón es el hecho de que -- ciertas reacciones como la del agua y el gas modifican y vaporizan las reacciones que se activan en la etapa transitoria y que también consumen monóxido de carbono e hidrocarburos que -- son suprimidos en el estado de equilibrio.

Un convertidor monolítico es una estructura en forma de -- panel que contiene muchos canales de paredes delgadas (aproximadamente 300 celdas por pulgada cuadrada) extendidas longitudinalmente. Los gases del escape fluyen a través de los canales. El catalizador es depositado en un compartimento de cerca de 60 micrómetros en las paredes de pequeños poros (cuyo radio es de cerca de 100 Å) que existen en la capa que cubre la superficie de los canales (ver fig. 9). Las reacciones químicas tienen lugar sobre la superficie del catalizador, pero pueden ocurrir antes. Los reactivos deben ser transferidos del -- gas que fluye a las bocas de los poros; se difunde a través de los poros y es absorbido en los lugares activos del cataliza-- dor. Los productos de la reacción siguen la secuencia ante-- rior a la inversa: son liberados de la superficie del cataliza-- dor, difundidos a través de los poros y finalmente transferi--

dos al fluido del gas. Dado que el calor es liberado durante las reacciones químicas, el convertidor debe estar diseñado para responder al calor transferido entre el gas y las fases de los catalizadores sólidos. Como los índices de la reacción dependen mucho de la temperatura, este factor es importante en cualquier diseño de cualquier reactor catalítico.

**DESARROLLO**

**EXPERIMENTAL**

#### IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el presente capítulo, mostramos de manera secuencial cual fué el método en que se procedió a modificar la superficie de absorción del feldespato. Se considero conveniente - presentarlo de esta manera, ya que si se desea repetir esta experiencia, se puede variar el procedimiento experimental, - siguiendo la técnica previamente establecida. El orden en que se llevó a cabo el procedimiento es el siguiente:

- A) MODIFICACION DE LA SUPERFICIE DE ABSORCION.
- B) CUANTIFICACION DE LA ABSORCION DE PLOMO EN LA ARCILLA.
  - B.1 DETERMINACION POR TECNICA VOLUMETRICA.METODO DE CROMATO - DE PLOMO.ANALISIS PRELIMINARES.
  - B.2 DETERMINACION POR TECNICA INSTRUMENTAL.ABSORCION ATOMICA. METODO DE CROMATO DE PLOMO.DE TERMINACION DE DATOS PARA LA ELABORACION DE LA ISOTERMA EXPERIMENTAL.
- C) DETERMINACION DE ABSORCION DE EL TETRAETILO DE PLOMO A PARTIR DE GASOLINA.TECNICA VOLUMETRICA.ANALISIS CUANTITATIVO.

EL equipo utilizado es el que se describe a continuación.

E Q U I P O .

- ESPECTOMETRO DE ABSORCION ATOMICA

- HORNO ELECTRICO  
THERMOLYNE. MODELO 1500

- HORNO ELECTRICO  
MAPSA. MODELO HDP-334

M A T E R I A L .

- MATERIAL COMUN DE LABORATORIO.

R E A C T I V O S . ( TODOS DE GRADO ANALITICO )

- ACIDO SULFURICO

- PERMANGANATO DE POTASIO

- NITRATO DE PLOMO

- ACIDO ACETICO

- CROMATO DE POTASIO

- AGUA DESIONIZADA (GRADO H.P.L.C.)

- CLORATO DE POTASIO

- ACIDO CLORHIDRICO

- CLORURO DE AMONIO

- HIDROXIDO DE AMONIO

- SAL DISODICA DE EDTA

- CIANURO DE POTASIO

- NEGRO DE ERIOCROMO T

A) MODIFICACION DE LA SUPERFICIE DE ABSORCION.

T E C N I C A

Tratamiento químico y físico con variaciones de la arcilla natural. Granulometría entre 70 a 200 mesh.

- a) Baño María por 90 minutos a  $75^{\circ}\text{C}$  con agitación constante de una solución de la arcilla con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  6M. y  $\text{KMnO}_4$  al 10%.
- b) La arcilla permanece 15 horas en la misma solución.
- c) Se repite el tratamiento a) por 5 horas.
- d) Se lava la arcilla repetidamente con agua hasta que el pH sea neutro. Posteriormente se seca en estufa por - 5 horas a  $500^{\circ}\text{C}$ .

Los reactivos usados en este proceso experimental son de - grado analítico.

METODOLOGIA:

LA técnica presentada anteriormente se aplicó a una muestra de 100 gramos de arcilla Mexicana conocida como feldespató. Se añadió en proporciones iguales ácido sulfúrico y permanganato de potasio con agitación constante por 5 horas, a una temperatura -

en baño María que fluctuaba entre 70 y 80<sup>o</sup>C. Posteriormente se procedió a lavarla con agua destilada hasta alcanzar un pH aproximadamente de 7 medido por medio de papel indicador (Merk Universalindikator pH 0-14). En el lavado de la arcilla se -- procedió a neutralizar el pH a través de un número grande de -- diluciones, tardandose aproximadamente 5 días, este tiempo se debió a que no existian las condiciones adecuadas en el laborario, pero prescindiendo de esto la neutralización es rápida. El último lavado se realizó con agua desionizada. Se separó -- la arcilla de la solución a través de filtrado al vacío, lavandose al final la arcilla con agua destilada, llevandose a se-- car al desecador.

La muestra seca se dividió en partes proporcionales, una de las cuales se llevó a calentar por cinco horas en horno -- eléctrico (Thermolyne.tipo 1500) a 500<sup>o</sup>C, dejandola enfriar -- dentro del horno. La otra parte se calentó a temperatura máxima en estufa eléctrica (MAPSA.modelo HDP-334) por cinco horas dejandose enfriar dentro de la misma.

B) CUANTIFICACION DE LA ABSORCION DE PLOMO EN LA ARCILLA.

B.1) DETERMINACION POR TECNICA VOLUMETRICA.METODO DE CROMATO DE PLOMO. ANALISIS PRELIMINARES.

T E C N I C A

Se pesa 0.3 gramos de la sal nitrato de plomo, se disuelve en 150 ml de agua, si la solución es neutra o alcalina, se agrega ácido acético hasta reacción francamente ácida. Si la solución contiene ácido nítrico, se agrega una cantidad sufi--

ciente de acetato de sodio (5-10 g) para neutralizar el ácido nítrico, quedando ácido acético libre. Se lleva a ebullición se agrega con pipeta, solución de cromato de potasio al 4%, en ligero exceso (son suficientes unos 10 ml). Se hace hervir suavemente, durante 5-10 minutos (o hasta que el precipitado sedimente); la solución sobrenadante debe ser de color amarillo débil. Se filtra por crisol filtrante de Gooch, de vidrio sinterizado o de porcelana porosa; se lava a fondo con solución diluida de acetato de sodio o con agua caliente. Se seca a 120°C hasta constancia de peso. Se pesa  $PbCrO_4$

#### M E T O D O L O G I A :

Se tomaron muestras de 3 gramos por triplicado de cada tipo de arcilla del proceso de mejoramiento. Las cuales se enuncian a continuación:

- FELDESPATO (arcilla natural)
- FELDESPATO (muestra con tratamiento Químico.muestra cruda)
- FELDESPATO (arcilla terminada, tratada térmicamente. 500°C/5 horas)

Se depositaron en vasos de precipitados de 150 ml las diferentes muestras de arcillas, agregandoles 10 ml de una solución de Nitrato de plomo al 0.24% de peso en volumen. Posteriormente se adicionaron 30 ml de agua desionizada. Las mues-

tras se dejaron reposar por 5 horas. Se preparó una muestra - testigo tambien. Se filtró la muestra a vacío, analizandose - la solución acuosa residual por el método de cromato de plomo.

B.2) DETERMINACION POR TECNICA INSTRUMENTAL.ABSORCION ATOMICA.  
METODO DE CROMATO DE PLOMO.DETERMINACION DE DATOS PARA LA  
ELABORACION DE LA ISOTERMA EXPERIMENTAL.

Se tomaron 7 muestras de 2 gramos de la arcilla terminada se depositaron en vasos de pp. de 150 ml, etiquetandose del 1 al 7, enseguida se procedió a preparar las concentraciones estandard de plomo a partir de una solución patrón de plomo de - concentración 0.025 g/ml por medio de diluciones, como se muestra a continuación en la siguiente tabla:

MUESTRA	VOL. DE Pb AGREGADO	VOL. DE AGUA AGREGADO
1	100 ml	0 ml
2	50 ml	50 ml
3	25 ml	75 ml
4	15 ml	85 ml
5	10 ml	90 ml
6	5 ml	95 ml
7	1 ml	99 ml

posteriormente se dejaron reposar las muestras prepara-- das por 5 horas. Se filtró a vacío y se realizaron los análisis respectivos por absorción atómica.

C) DETERMINACION DE ABSORCION DE EL TETRAETILO DE PLOMO A PARTIR DE GASOLINA. TECNICA VOLUMETRICA. ANALISIS CUANTITATIVO.

T E C N I C A

Se colocan 100 ml de gasolina en un embudo de separación - de 250 ml junto con 4 gramos de  $KClO_3$ , enseguida se agregan 20- ml de HCl concentrado en pequeñas porciones durante un período de 10 minutos. Finalmente se adicionan 10 ml de agua. La mezcla se agita y la porción acuosa se recoge aparte, se repite -- nuevamente la extracción con 20 ml de agua cada una. Las por-- ciones acuosas se juntan y se evaporan hasta tener un volumen -- pequeño, se recolectan los residuos (por filtración) se adicio-- nan 300 ml de agua y se agregan 10 ml de una solución buffer -- (se prepara con 45 g de  $NH_4Cl$  y 350 ml de  $NH_4OH$  concentrado y -- se afora a 1 litro). Cualquier turbiedad se debe clarificar -- adicionando cualquier sal Seignette.

Si se sospecha de cualquier ión de metal pesado se adicio-- na KCN para enmascararlo.

Preparada la muestra se adiciona Negro de Ericromo T como indicador, la solución se titula con un valorante de 3.721 g de EDTA aforado a 1 litro, con agua; 1 ml de la solución es equi-- valente a 0.002 ml de  $PhEt_4$  (tetraetilplomo).

M E T O D O L O G I A :

Se tomaron muestras por triplicado de 2 gramos cada una -

de la arcilla mejorada y se depositaron en vasos de precipitados de 150 ml, agregandoles 100 ml de gasolina NOVA OXIGENADA, se dejaron reposar por 2 horas. A continuación se extrajo la gasolina filtrando a vacío y se procedió a analizarla por la técnica mencionada anteriormente. Simultáneamente se realizó la prueba a 100 ml de gasolina utilizada como testigo para tener un parámetro de referencia.

**" EL SABER SORPRENDERSE Y PREGUNTAR  
ES EL PRIMER PASO DE LA MENTE HACIA  
EL DESCUBRIMIENTO."**

**LOUIS PASTEUR**

## R E S U L T A D O S

## V. R E S U L T A D O S

En este capítulo mostramos los datos obtenidos del desarrollo experimental, siguiendo la secuencia presentada en este mismo. Procedimos a realizarlo así para facilitar el manejo de los resultados, en el caso de que alguna persona se interese en este proyecto.

LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PROMEDIADOS DEL PROCEDIMIENTO B.1 DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL SE ENCUENTRAN REPORTADOS EN LA SIGUIENTE TABLA.

ARCILLA	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> conc. ini. g/ml X10 <sup>-3</sup>	Pb <sup>++</sup> conc. ini. g/ml X10 <sup>-3</sup>	PbCrO <sub>4</sub> conc. ini. g/ml X10 <sup>-3</sup>	Pb <sup>++</sup> conc. fin. g/ml X10 <sup>-3</sup>
NATURAL	2.4	1.54	2.027	1.3
MUESTRA CRUDA	2.4	1.54	TRAZAS	TRAZAS
MUESTRA TERMINADA	2.4	1.54	TRAZAS FINAS	TRAZAS FINAS
TESTIGO	2.4	1.54	2.18	1.4

LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PROMEDIADOS DEL PROCEDIMIENTO B.2 DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL SE ENCUENTRAN REPORTADOS EN LA SIGUIENTE TABLA.

MUESTRA	$C_i$ $\times 10^{-3}$	$C_e$ $\times 10^{-3}$	$C_s$ $\times 10^{-3}$	$C_s / w$ $\times 10^{-3}$
1	25.0	6.7	18.0	9.1
2	12.5	5.6	6.9	3.5
3	6.3	2.8	3.4	1.7
4	3.8	1.7	2.1	1.0
5	2.5	1.1	1.4	0.7
6	1.3	0.6	0.7	0.3
7	0.25	0.1	0.1	0.07

TERMINOLOGIA:

$C_i$  = concentración inicial de plomo. (g/ml)

$C_e$  = concentración final de plomo. (g/ml)

$C_s = C_i - C_e$        $C_s / w$  = absorción específica.

w = masa de la muestra ( 2 g )

RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DETERMINACION DE TETRAETILO DE PLOMO EN GASOLINA. SE UTILIZA UN VALOR PROMEDIADO DEL PROCEDIMIENTO C).

ml gastados para determinar plomo ( $\text{PbEt}_4$ )  
absorbido en arcilla:

Color antes del vire morado ligero

Color despues del vire Azul marino

ml gastados 0.3 ml

ml gastados para determinar plomo ( $\text{PbEt}_4$ )  
en la muestra testigo:

Color antes del vire morado ligero

Color despues del vire Azul marino

ml gastados 0.8 ml

La densidad del tetraetilo de plomo es de 1.653 g/ml

La cantidad inicial de  $\text{PbEt}_4$   $2.64 \times 10^{-3}$  g

La cantidad final de  $\text{PbEt}_4$   $9.91 \times 10^{-4}$  g

Lo que hace una diferencia de:

$$\text{PbEt}_4^{\text{inicial}} - \text{PbEt}_4^{\text{final}} = 1.65 \times 10^{-3} \text{ g}$$

## TRATAMIENTO DE DATOS

Utilizando los valores obtenidos del procedimiento B.2 para obtener la isoterma de Freundlich, procedemos a analizar dichos datos.

Para obtener la isoterma tipo Freundlich se procedió a graficar  $C_s/w$  contra  $C_e$ , los datos tabulados se presentan a continuación:

$C_s/w$	$C_e$
9.1	6.7
3.5	5.6
1.7	2.8
1.0	1.7
0.7	1.1
0.3	0.6
0.07	0.1

La isoterma se encuentra anexa en la pagina siguiente.

Como se ha planteado en la introducción la ecuación de Freundlich es una ecuación del tipo

$$s = a C_e^{1/n}$$

si obtenemos el logaritmo de esta ecuación

$$\log s = \log a + \frac{1}{n} \log C_e$$

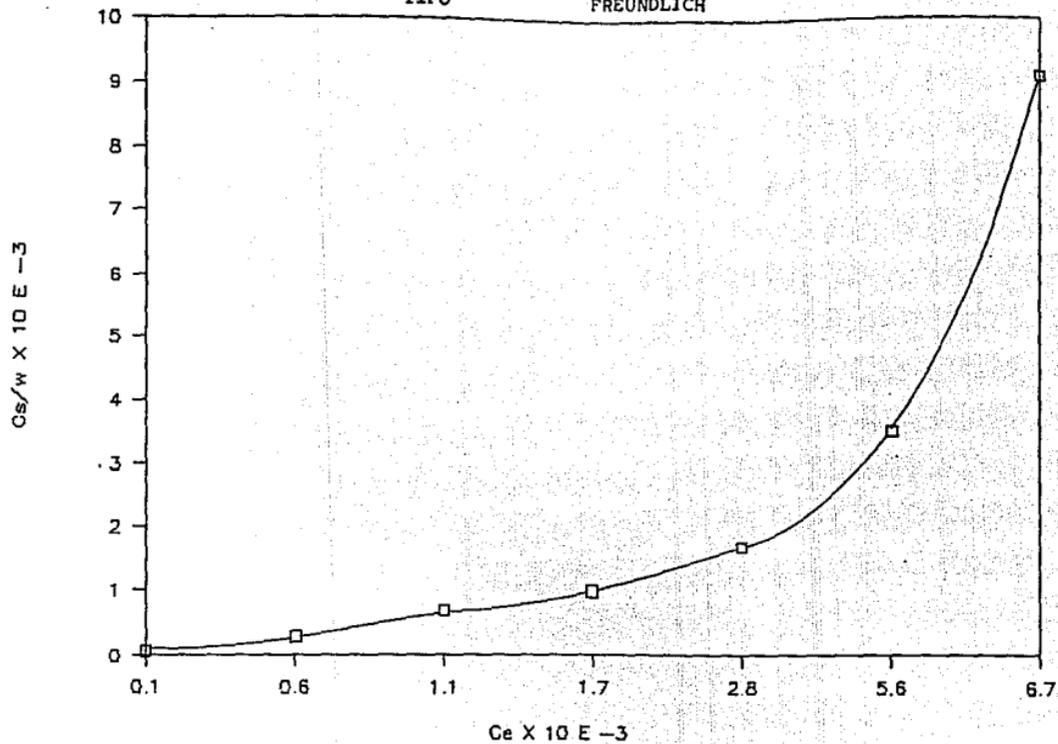
si  $s = \frac{C_s}{w}$  tendremos

$$\log \frac{C_s}{w} = \log a + \frac{1}{n} \log C_e$$

# ISOTERMA DE ABSORCION

TIPO

FREUNDLICH



Esta ecuación implica que la grafica de  $\log s$  contra  $\log C_e$  es una línea recta con pendiente  $1/n$  y ordenada al origen  $\log a$ . los datos utilizados son los siguientes:

$\log \frac{C_s}{w}$	$\log C_e$
0.96	0.83
0.54	0.75
0.23	0.45
0.00	0.23
-0.15	0.04
-0.52	-0.22
-1.15	-1.00

Procedemos a obtener los valores a partir de una regresión lineal.

coeficiente de regresión

lineal ( r ) ..... 0.9824

ordenada al origen

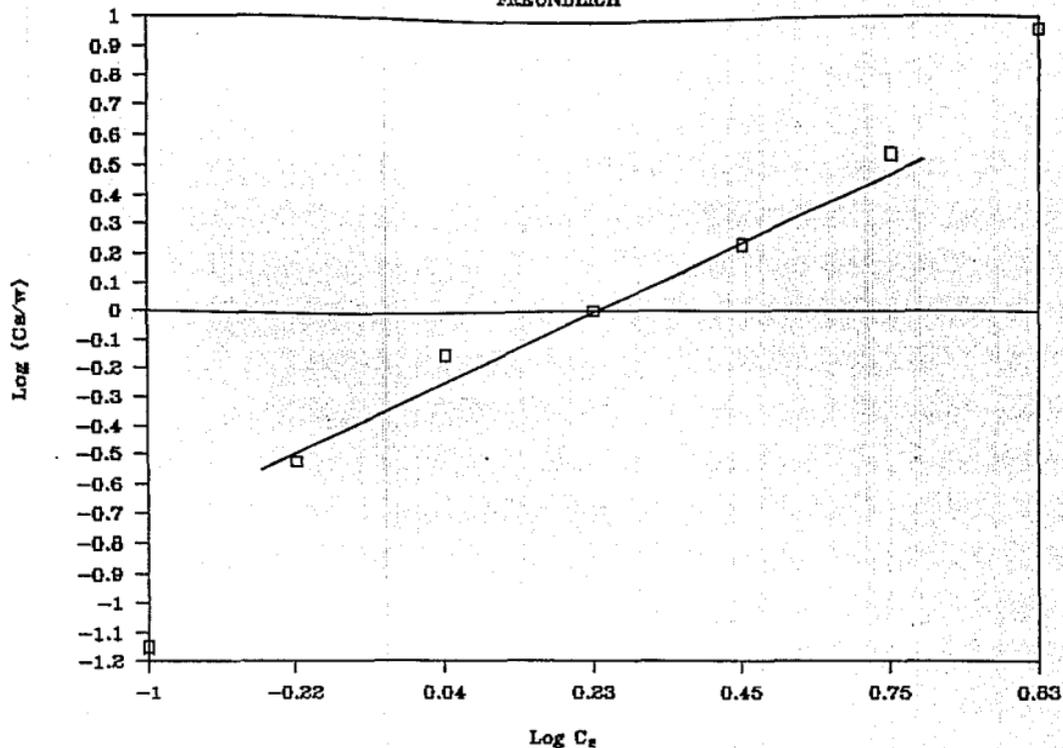
( log a ) ..... 0.1792

Pendiente ( 1/n ) ..... 1.0784

La grafica de  $\log s$  contra  $\log C_e$  se encuentra anexada.

# DATOS PARA LA ISOTERMA DE

FREUNDLICH



EL EJE Y NO ESTA A ESCALA

Continuemos ahora a analizar las propiedades de los datos para la absorción tipo Langmuir. La isoterma de Langmuir se define por la ecuación:

$$\theta = \frac{Kp}{1 + Kp}$$

que reordenada se puede escribir:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{b} + \frac{1}{bKp}$$

donde  $\theta$  es la fracción de superficie cubierta,  $K$  es la constante de equilibrio para la absorción,  $b$  es una constante y  $m$  es la masa de sustancia absorbida. Representando gráficamente  $1/m$  contra  $1/p$  se pueden determinar las constantes  $K$  y  $b$  a partir de la pendiente y la ordenada al origen.

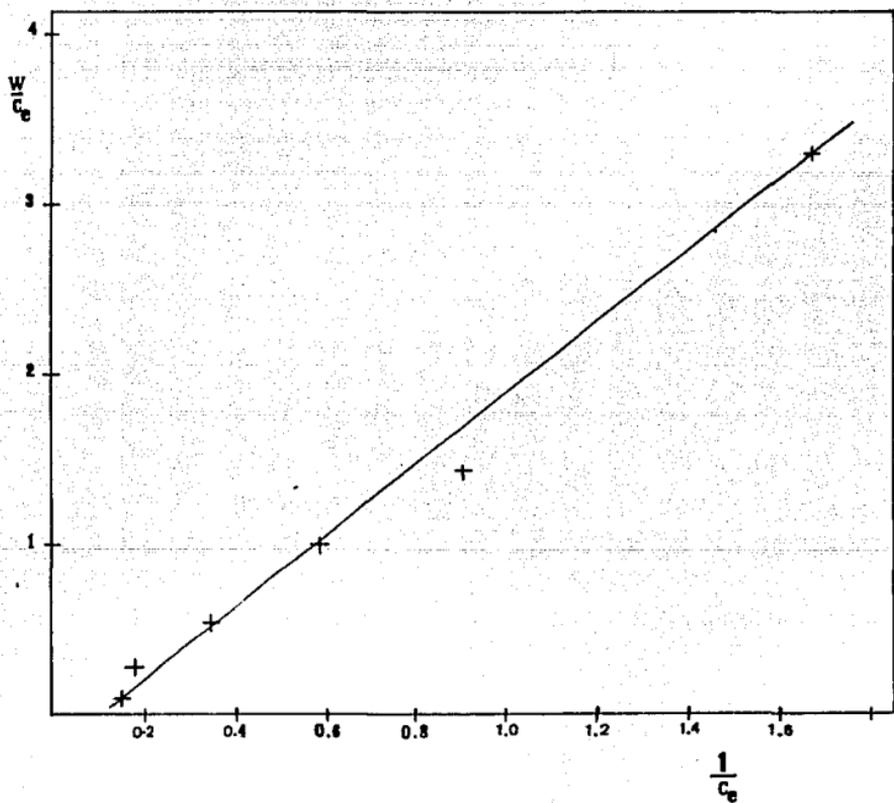
Para nuestro caso la isoterma de Langmuir tiene la siguiente forma:

$$\frac{w}{C_s} = \frac{1}{b} + \frac{1}{bK C_e}$$

Los datos utilizados se encuentran tabulados a continuación:

$\frac{w}{C_s}$	$\frac{1}{C_e}$
0.11	0.15
0.28	0.18
0.59	0.36
1.00	0.59

ISOTERMA DE LANGMUIR



$\frac{w}{C_s}$	$\frac{1}{C_e}$
1.43	0.91
3.33	1.67
14.28	10.00

Para estos datos realizando una regresión lineal obtenemos los siguientes valores:

coeficiente de regresión  
 lineal ( r ) ..... 0.9751  
 Ordenada al origen  
 ( 1/b ) ..... 0.5977  
 Pendiente ( 1/Kb ) ..... 1.3625

los valores para las constantes son: (con sus respectivas unidades)

$$b = 1.6731 \text{ g}^{-1} \quad K = 0.4387$$

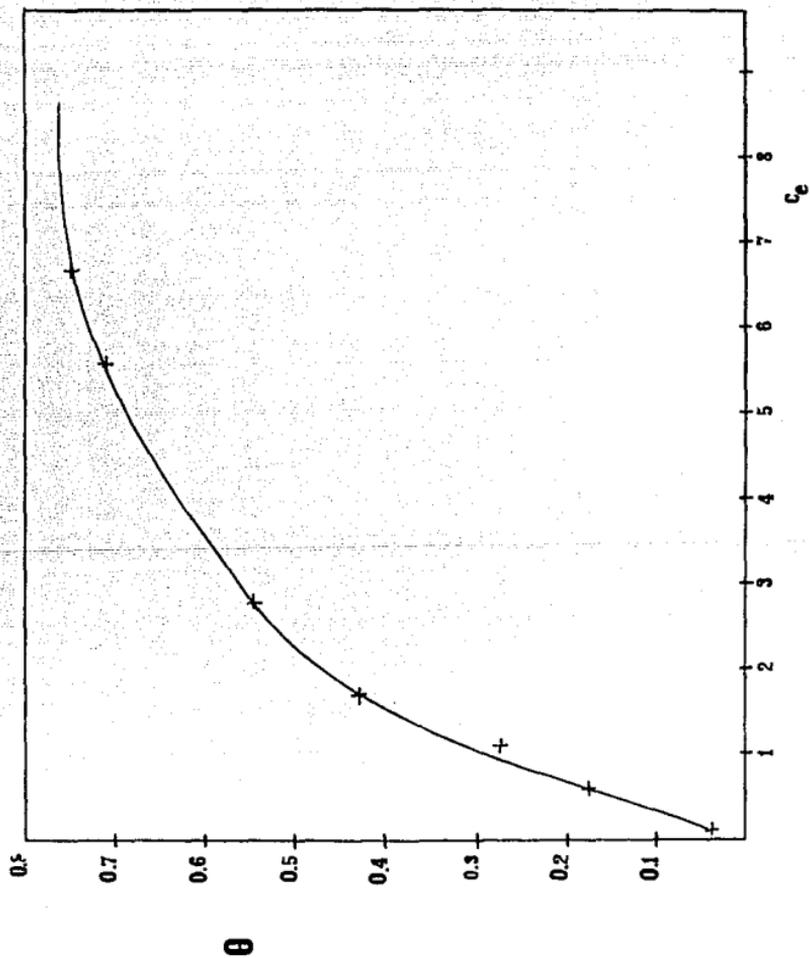
A partir de estos valores podemos encontrar las superficies cubiertas  $\Theta$ , las cuales tabulamos a continuación:

$C_e$	$\Theta$
6.7	0.7462
5.6	0.7107
2.8	0.5512
1.7	0.4272
1.1	0.3255
0.6	0.2084
0.1	0.0420

ISOTERMA

DE

LANGMUIR



Como los datos experimentales se ajustan a sus respectivas ecuaciones de descripción, calculamos la masa absorbida para una concentración de  $1.54 \times 10^{-3}$  g/ml de plomo, que es la que se utilizó para la arcilla en su estado natural (Arcnat), usando la ecuación:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{b} + \frac{1}{bKp}$$

con los valores de las constantes b y K calculadas anteriormente se obtiene:

$$m = 1.1295 \times 10^{-3}$$

Los valores de la masa absorbida tanto de la arcilla tratada (arctra) como de la arcilla natural (arcnat) son respectivamente:

$$\text{Arcnat} = 0.16 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$\text{Arctra} = 1.1295 \times 10^{-3} \text{ g}$$

La relación entre estas arcillas es :

$$\frac{\text{Arctra}}{\text{Arcnat}} = 7.059$$

Como se trabajarán soluciones acuosas de nitrato de plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) entonces se tenía el siguiente equilibrio:



El ión plomo ( $\text{Pb}^{2+}$ ) que es capturado tiene un radio iónico

efectivo aproximado en solución acuosa a 25°C de 4.5 Å (referencia: Lange's handbook of chemistry; J.A. Dean., Mc Graw-hill book company., 30ª ed. tabla 5-2., p. 5-5 )

Suponiendo una forma esférica para el ión; el área ocupada por una esfera de radio 4.5 Å en una superficie dada es  $63.617\text{Å}^2$  utilizando esta área para el ión plomo, podemos en base al modelo de Langmuir el área total de la arcilla ( $A_t$ ) por medio de la siguiente ecuación:

$$A_t = \frac{N_o bA}{M}$$

donde

$N_o$  = número de avogadro

$b$  = cte = 1.6731

$A$  = área ocupada por el ión

$M$  = peso molecular del ión

Por lo que

$$A_t = 3.094 \times 10^7 \text{ cm}^2$$

por lo tanto 1 g de arcilla mejorada tiene un área total de  $1.547 \times 10^7 \text{ cm}^2$ , en consecuencia el área específica de la arcilla tratada es

$$A_{\text{esp.}} = 1547 \text{ m}^2/\text{g}$$

Como la relación de absorción de la arcilla tratada ( $A_{\text{trata}}$ ) a la arcilla natural ( $A_{\text{nat}}$ ) es de 7.059, entonces bajo un cálculo simple podemos conocer el área específica de la arcilla natural, la cual es de

$$A_{\text{esp.}} = 219.15 \text{ m}^2/\text{g}$$

Lo cual hace que el proceso de modificación de la superficie de absorción sea prometedor.

## D I S C U S S I O N

## D I S C U S I O N

A partir de los resultados obtenidos, podemos inferir algunos parámetros de referencia que analizar.

El análisis de las isothermas a través del método matemático de la regresión lineal aportó bastante confianza a los resultados experimentales, ya que la isoterma de Freundlich en su forma logarítmica tuvo una correlación de 0.9824 lo cual le admite un comportamiento bastante bueno. Y en el caso de la isoterma de Langmuir se obtuvo una correlación de 0.9751 lo cual también es bastante aceptable para describir los fenómenos de absorción en este esquema.

Teniendo en cuenta las isothermas de absorción tanto del tipo Freundlich y Langmuir podemos establecer que para el rango de concentraciones utilizadas experimentalmente y que van desde  $2.5 \times 10^{-2}$  g/ml hasta  $2.5 \times 10^{-4}$  g/ml tenemos formación de monocapa sobre la arcilla, esto es interesante porque nos permite en base a ecuaciones relativamente sencillas comprender el comportamiento de la arcilla y poder establecer nuevas condiciones de estudio.

El área específica calculada para la arcilla tratada es de  $1547 \text{ m}^2/\text{g}$  que comparada con la superficie específica natural, que es de  $219.15 \text{ m}^2/\text{g}$  podemos apreciar que es bastante considerable el mejoramiento obtenido a partir del tratamiento físico-químico propuesto.

Los resultados antes mencionados fueron obtenidos a partir

de disoluciones acuosas de plomo. Nos interesó conocer el comportamiento de la arcilla en otro medio que no fuera el acuoso, por lo que se escogió un medio orgánico como la gasolina, que -- contiene plomo en forma de tetraetilo de plomo ( $\text{PbEt}_4$ ), se experimentó solamente con la arcilla tratada y se obtuvo una absorción de  $1.65 \times 10^{-3}$  g de  $\text{PbEt}_4$  a partir de una muestra de 100 ml que contenía  $2.64 \times 10^{-3}$  g de  $\text{PbEt}_4$ . Lo cual da una eficiencia - de absorción del 62.50% con respecto a la muestra original de gasolina. La cantidad de muestra utilizada fue de 2 g.

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

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

Dentro de toda la gama de experimentos que pudieron realizarse a la arcilla ( feldespato ), se escogieron los que mostraban mayor aplicación y utilidad inmediata. En el caso de absorción de plomo en solución acuosa se mostró que era factible utilizarla como aditivo en el tratamiento de aguas residuales, ya que en México el tratamiento de las aguas residuales en las plantas municipales predominan los procesos a base de lagunas de estabilización y de lodos activados, y en los sistemas industriales de tratamiento, la mayoría se efectúa por medio de procesos de lodos activados con coagulación química<sup>1</sup>. Es decir la arcilla vendría a reforzar los métodos de purificación ya existentes conociendo el diseño de estas plantas, ya que debido a las nuevas propiedades fijadas, representan un potencial bastante aceptable de beneficios tanto económicos como de uso, ya que esta arcilla es lo bastante moldeable, que va desde su implantación en forma de piedra hasta la molienda fina de 400 Mesh; además de compartir la propiedad que caracteriza a otros materiales cerámicos e incluso competir con sus congéneres, que son las zeolitas.

Es por esto que puede continuarse un estudio más profundo tanto en la rama de la ciencia básica como la ingeniería, para posibles nuevos resultados. Muestra de ello son las pruebas que se están realizando en Europa sobre los desechos industriales -- utilizando chabazita, un tipo de arcilla bastante parecida a -- nuestro feldespato.

<sup>1</sup>CONADE., Inf. de la sit. Gral. en mat. de equil. Eco. 1989-1990

Con lo que respecta a la absorción de los compuestos orgánicos de plomo, en especial en el tetraetilo de plomo  $PbEt_4$  de la gasolina, se recomienda un estudio más a profundidad en fase gaseosa, ya que debido a las pruebas efectuadas sobre la gasolina líquida, éstas dieron resultados aceptables. En estos días en que la contaminación ambiental de la ciudad de México por emisión de gases es un problema ya de seguridad nacional, en el cual los sistemas de transporte desempeñan un papel importante, debido al alto índice de plomo emitido, proponemos un estudio sobre la absorción del ión plomo emitido por los motores de vehículos, ya que debido a los resultados satisfactorios del laboratorio, consideramos que es factible usar esta arcilla como una parte adicional del convertidor catalítico, lo cual redundaría en beneficio de los materiales usados en este mismo. De tal manera que todavía queda un largo camino por andar.

**A P P E N D I C E**

---

## A P E N D I C E

La muestra de arcilla natural fué sometida a las mismas condiciones descritas en el desarrollo experimental sección B.2, obteniendose los siguientes resultados.

MUESTRA	$C_i$ $\times 10^{-3}$	$C_e$ $\times 10^{-3}$	$C_s$ $\times 10^{-3}$	$C_s / w$ $\times 10^{-3}$
1	25.0	0.95	24.0	12.0
2	12.5	0.80	11.7	5.85
3	6.3	0.40	5.9	2.95
4	3.8	0.20	3.6	1.80
5	2.5	0.15	2.3	1.15
6	1.3	0.10	1.2	0.60
7	0.25	0.01	0.2	0.10

### TERMINOLOGIA:

$C_i$  = concentración inicial de plomo. (g/ml)

$C_e$  = concentración final de plomo. (g/ml)

$C_s = C_i - C_e$        $C_s/w$  = absorción específica.

w = masa de la muestra ( 2 g )

Utilizando los valores obtenidos anteriormente procedemos a obtener la isoterma de Freundlich. Como se ha planteado en la introducción la ecuación de Freundlich es una ecuación del tipo

$$\log \frac{C_s}{w} = \log a + \frac{1}{n} \log C_e$$

Esta ecuación implica que la grafica de  $\log C_s/w$  contra  $\log C_e$  es una línea recta con pendiente  $1/n$  y ordenada al origen  $\log a$ . Los datos utilizados son los siguientes:

$\log \frac{C_s}{w}$	$\log C_e$
1.08	-0.02
0.77	-0.10
0.47	-0.40
0.26	-0.70
0.06	-0.82
-0.22	-1.00
-1.00	-2.00

Procedemos a obtener los valores a partir de una regresión lineal.

Coeficiente de regresión lineal  
 lineal ( r ) ..... 0.9881  
 Ordenada al origen  
 ( log a ) ..... 0.9283  
 Pendiente ( 1/n ) ..... 1.0076

Continuemos ahora a analizar las propiedades de los datos para la absorción tipo langmuir. La isoterma de langmuir se define por la ecuación:

$$\theta = \frac{Kp}{1 + Kp}$$

que reordenada se puede escribir:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{b} + \frac{1}{bKp}$$

Donde  $\theta$  es la fracción de superficie cubierta,  $k$  es la constante de equilibrio para la absorción,  $b$  es una constante y  $m$  es la masa de sustancia absorbida.

Para nuestro caso la isoterma de langmuir tiene la siguiente forma:

$$\frac{w}{C_s} = \frac{1}{b} + \frac{1}{bK C_e}$$

Los datos utilizados se encuentran tabulados a continuación:

$\frac{w}{C_s}$	$\frac{1}{bK C_e}$
0.08	1.05
0.17	1.25
0.34	2.50
0.56	5.00
0.87	6.67
1.67	10.0
10.00	100

Para estos datos realizamos una regresión lineal y obtenemos los siguientes valores:

coeficiente de regresión

lineal ( r ) .....0.9978

Ordenada al origen

( 1/b ) ..... 0.1724

pendiente ( 1/Kb ) ..... 0.0987

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

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

- 1.- ALVAREZ, LARRAURI R., GONZALES M.C., NIVELES ACTUALES DE HIDROCARBUROS Y METALES PESADOS EN AGUAS COSTERAS DEL OCEANO PACIFICO MEXICANO. Revista del I.M.P., vol XVIII, no.3
- 2.- ARAUJO, N. de., MODIFICACION DE SUPERFICIE DE ARGILAS PELA TECNICA DE IMPREGNACION PARA ABSORCION DE METALES PESADOS. MEMORIAS DEL III CONGRESO IBEROAMERICANO DE QUIMICA INORGANICA., ZAC., ZACATECAS., MEXICO, ABRIL DE 1991.
- 3.- BLUMENTHAL, A., DETERMINATION OF TETRAETHYL LEAD IN GASOLINE. CHEMICAL ABSTRAC., 55, 2071 (1961).
- 4.- BOSCH, GIRAL P.; SCHIFTER, SECORA I., CARACTERIZACION DE LA FORMACION DE ZEOLITAS POR DIFRACCION DE RAYOS X Y DISPERSION DE RAYOS X A ANGULOS PEQUEÑOS. REVISTA DEL I.M.P. vol. XIV, no. 4.
- 5.- CARPIO, OBESO M., TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA ACUACULTURA. Revista del IMIQ. año XXX, vol.6.
- 6.- CICERO, FERNANDEZ P., SISTEMA DE EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA CIUDAD DE MEXICO. Revista del IMIQ, año XXX, vol. 4
- 7.- CONADE., INFORME DE LA SITUACION GENERAL EN MATERIA DE EQUIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCION AL AMBIENTE. 1989-1990.
- 8.- COTTON, ALBERT F., QUIMICA INORGANICA AVANZADA, Edit. Limusa México D.F. 1986, 2 Ed.
- 9.- GLASSTONE, SAMUEL., TRATADO DE QUIMICA FISICA. Edit. Aguilar., Madrid, España., 1979, 7ª Ed.
- 10.- GONZALEZ, CAMPOS M., ANALISIS DE CATALIZADORES F.C.C. EN EL I.M.P. Revista del I.M.P., vol. XIV., no.4.

- 11.- GUERASIMOV, YA., et al., CURSO DE QUIMICA FISICA., Edit. MIR Moscú, URSS., 1977., 2 ed.
- 12.- HEWITT, C. NICHOLAS; RASHED M.B., LEAD COMPOUNDS IN VEHICLE EXHAUST., Appl. Organomet. Chem. 1988,2(2)
- 13.- HUHEEY, E. JAMES., QUIMICA INORGANICA: PRINCIPIOS DE ESTRUCTURA Y REACTIVIDAD., Edit. HARLA., México 1981, 2ª ed.
- 14.- JIRGENSONS B.; STRAUMANIS M.E., COMPENDIO DE QUIMICA COLOIDAL., Edit. CECSA, 2ª ed. México D.F. 1965.
- 15.- ROUFFIGNAC, E., PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE SOLIDOS CATALITICOS. Revista del IMP vol. XIV., no. 4. 1982
- 16.- SINGER, FELIX.; SINGER, S.S., CERAMICA INDUSTRIAL., Edit. URMO., Bilbao España.,1979. tomo 9, vol. I.
- 17.- SOCHAY, P., QUIMICAFISICA: TERMODINAMICA QUIMICA.,Edit. Aguilar.,Barcelona España.,1972.
- 18.- SUIB, S.L.; ZERGER R.P., OXIDATION STATES OF EUROPIUM IN ZEOLITES., Inorg. Chem. 19,1858(1980)
- 19.- THE MERCK INDEX., Edit. Merck & co.,INC. Rahway.,N.J.,U.S.A. 1976, 9 ed. p. 1186
- 20.- VOGEL, I. ARTHUR., QUIMICA ANALITICA CUANTITATIVA.,Edit. Kapelusk., Buenos Aires, Argentina.,1969.,2 ed.
- 21.- WARMA ARVIND., CONVERTIDORES CATALITICOS PARA LOS ESCAPES DE LOS AUTOMOVILES., IDEA, I.B.M. I(1) 1986.
- 22.- WEI, JAMES., CATALYSIS FOR MOTOR VEHICLE EMISION.,Advances in Catalysis 24, 1975.
- 23.- YU. E. VOLODIN, et al.,ON THE THEORY OF THE ORIGIN OF SPATIALLY NONUNIFORM STATIONARY STATES (DISSIPATIVE STRUCTURES) IN HETEROGENEUS CATALYTIC SYSTEMS. Advances in Catalysis 24, 1975.

C O D A

( " TOMALO COMO QUIERAS " )

ASI ES ESTO DE LA FES-CUAUTITLÁN  
DE ENSEÑAR SIN EDUCAR  
DE LLEGAR Y RETARDAR  
DE PEDIR SIN RECIBIR  
DE IMPONER Y REPRIMIR  
DE TOMAR Y ARREBATAR  
DE PROMETER Y NO CUMPLIR  
DE ESPERAR Y NO LUCHAR  
ASI ES ESTO DE LA FES-CUAUTITLAN  
DE SOÑAR Y DESPERTAR  
DE VER Y NO OBSERVAR  
DE OIR SIN ESCUCHAR  
DE DIALCGAR SIN CONCERTAR  
ASI ES ESTO DE LA FES-CUAUTITLAN  
DE PENSAR Y NO LOGRAR  
DE HABLAR SIN MEDITAR  
DE PLANTEAR Y NO FORMAR  
DE CREER QUE LO PODEMOS, DE LA GENTE SIN RAZON  
ASI ES ESTO DE LA FES-CUAUTITLAN  
DE VIVIR DE LOS RECUERDOS  
DE EXPLICAR SIN COMPRENDER  
DE AVANZAR SIN SOSTENER  
DE CREER EN UN MAÑANA, SIN ANIMO DE ENTENDER  
QUE LA GENTE QUE GOBIERNA, DESDE SU NICHOS DE MALDAD  
FORMA SIEMPRE GENTE EN LA MEDIOCRIDAD,  
PERO,.....  
ASI ES ESTO DE LA FES-CUAUTITLAN.

