

1 cuadro dobl. d. d. t.  
2 diagrs. . . . .  
1 grif. . . . .

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS.

PRUEBAS DE LA BAUXITA COMO CATALIZADOR  
EN LA PLANTA RECUPERADORA DE  
AZUFRE DE POZA RICA, VER.



QUIMICA

TESIS

QUE PARA SU EXAMEN PROFESIONAL DE  
QUIMICO METALURGICO  
PRESENTA

LEOPOLDO RODRIGUEZ ORTIZ

MEXICO  
1951



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

a mis queridos padres.

a mi adorada esposa.

a mi querida tía  
Elisa E. Rodríguez  
y demás tíos.

a mis maestros.

a mis amigos.

**"PRUEBAS DE LA BAUXITA COMO CATALIZADOR EN LA PLANTA  
RECUPERADORA DE AZUFRE DE POZA RICA, VER."**

**CAPITULO I  
INTRODUCCION**

**CAPITULO II  
EL AZUFRE COMO UN SUPRODUCTO EN LA INDUSTRIA  
PETROLERA DE NUESTRO PAIS.**

- a).—Consideraciones generales.
- b).—Planta de obtención de Azufre.
  - 1).—materia prima.
  - 2).—química del proceso.
  - 3).—el producto.
  - 4).—Descripción del Proceso de la Planta de azufre.
- c).—La Bauxita como Catalizador.
  - 1).—Concepto de catálisis química.
  - 2).—Teoría de la catálisis.
  - 3).—la bauxita como catalizador.

**CAPITULO III  
OBJETO DE LA PRUEBA DE LA BAUXITA COMO CATALIZADOR.**

- a).—Factores que afectan la conversión catalítica.

**CAPITULO IV  
DESCRIPCION DEL METODO SEGUIDO.**

- a).—Diagrama de flujo del procedimiento de prueba.
- b).—Descripción del aparato.
- c).—Procedimiento.
- d).—Procedimiento analítico.
- e).—Cálculos.
- f).—Preparación de soluciones tipo.

**CAPITULO V  
DATOS EXPERIMENTALES**

**CAPITULO VI  
CONCLUSIONES.**

**CAPITULO VII  
BIBLIOGRAFIA.**

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

Hasta el comienzo del presente siglo, la mayor fuente de obtención de azufre lo eran las rocas volcánicas, la mayor parte era de Sicilia. Todavía actualmente existe otra fuente de obtención de S la cual no tiene importancia industrial, se obtiene el S como un sub-producto en el Proceso Leblanc en la fabricación del carbonato de sodio.

Recientemente los Estados Unidos de América han estado produciendo durante varios años el mayor porcentaje de azufre de la producción mundial. Prácticamente todo el azufre americano ha sido extraído de los depósitos que se encuentran localizados en la costa del Golfo de México en Lousiana y Texas. Se le beneficia por el proceso descubierto por Herman Frasch que desde 1902 ha venido siendo usado; consiste esencialmente en fundir el S en el mismo lugar donde se encuentra, para lo cual se introduce en el suelo una sonda que penetra en el yacimiento y luego extraída aquélla se introduce un sistema de tres tubos concéntricos hasta llegar a ponerse en contacto con el yacimiento de azufre. Se introduce por el espacio anular exterior, vapor de agua recalentado que funde el azufre el cual penetra por los orificios de la base. Entonces se envía por el tubo central una corriente de aire caliente a presión que obliga al azufre a elevarse por el tubo saliendo en grueso chorro por la parte superior de la instalación, recogién dose en enormes cajas de madera donde se va solidificando. Lleno el depósito se deja enfriar el azufre recogido para llevarlo a moler o directamente al mercado, ya que el azufre así obtenido es de un alto grado de pureza (99.5 %). Este azufre así obtenido es relativamente bajo de precio.

Con este procedimiento se llega a liquidar el azufre en un círculo de unos 15 m. de radio, por lo cual deben montarse nuevas torres de perforación distanciadas entre sí, unos 50 m. El proceso de Frasch para la obtención de azufre, implica tener combustible muy barato,

para la producción de vapor recalentado, cuyo consumo es muy considerable; como los yacimientos de azufre en Texas se encuentran en regiones petrolíferas, tienen perfectamente solucionado este problema.

Se incrementa la producción de azufre, recuperándolo del H<sub>2</sub>S obtenido expreso o del contenido en el gas natural, así como también el obtenido a partir del SO<sub>2</sub>.

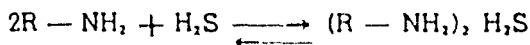
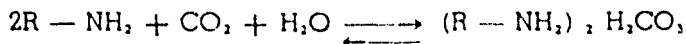
El gas natural es tratado con una variedad de soluciones, que tienen la propiedad de absorber los "gases ácidos" (H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>), de las cuales el H<sub>2</sub>S puede ser recuperado para subsecuente conversión a azufre, para la cual el elemento es liberado directamente mediante aire y la presencia de un agente catalítico.

El CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S contenidos en el gas natural son ácidos y químicamente activos, muy solubles en agua; por tales características se ha hecho relativamente fácil eliminarlos de los otros gases.

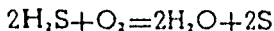
Entre los primeros métodos de purificación se empleó la lechada de cal, como medio absorbente a través de la cual se pasaban los gases y la cual se desechaba después de agotada.

Estudiando el problema para eliminar en forma económica los gases ácidos (H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>) al gas natural, R.R. Bottons descubrió el uso de una clase de compuestos que ha probado que son altamente eficientes para remover el CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S de los gases. En su estudio abarcó prácticamente todo el estudio de las bases orgánicas del nitrógeno y vió que ciertas aminas y compuestos de aminas tienen la propiedad de absorber H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> formando compuestos poco estables que calentados arriba de 50°C se descomponen y liberan los "gases ácidos" quedando la solución original.

Reacciones:

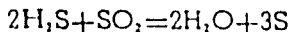


El azufre es liberado al hacer pasar la corriente de H<sub>2</sub>S con aire sobre un catalizador a una temperatura moderadamente alta. La reacción es:



Este método es antiguo, originalmente empleado en la obtención de azufre de los desechos del proceso de Leblanc. Un proceso más moderno, consiste en la oxidación de una tercera parte del H<sub>2</sub>S a SO<sub>2</sub>, procediendo la reacción de estos dos en presencia de un catalizador a una temperatura moderada.

La reacción es:



Grandes cantidades de gas natural "amargo" en los campos petroleros de Arkansas, algunos de los cuales contienen un porcentaje elevado de  $H_2S$ , constituyen una fuente importante de S.

En grandes plantas de fundición del Canada se tiene otra fuente importante de S, que es como ya dijimos a partir del  $SO_2$ , que generalmente es convertido a  $H_2SO_4$ , pero algunas veces es más costoso convertirlo a azufre.

El azufre elemental es usado en las industrias del caucho sintético, fabricación de explosivos, en la industria del teñido, insecticidas, en la industria de fertilizantes y otras numerosísimas aplicaciones no menos importantes, que nos ponen de manifiesto el papel tan importante que este elemento desempeña en la Industria.

Nuestro caso particular comprende la recuperación del azufre a partir de gases conteniendo  $H_2S$ , obtenidos como un subproducto en la depuración del gas natural de pora Rica, Veracruz.

El  $H_2S$  es oxidado parcialmente a  $SO_2$ , con el oxígeno del aire y éste  $SO_2$  se hace reaccionar con el exceso de  $H_2S$  a través de una capa de Benxita usada como catalizador.

La tendencia principal de este estudio es precisamente valuar la eficiencia de este catalizador usado en la Planta, mediante una serie de pruebas corridas en el laboratorio.





## CAPITULO II

### EL AZUFRE COMO UN SUBPRODUCTO EN LA INDUSTRIA PETROLERA DE NUESTRO PAIS.

a) —CONSIDERACIONES GENERALES—El petróleo crudo que producen los Pozos de Poza Rica tiene una alta relación de gas-aceite, aproximadamente 140 metros cúbicos por cada metro cúbico de aceite.

Este gas se encuentra saturando el aceite crudo de tal forma que puede ser separado reduciendo la presión, para lo cual se tienen instalaciones especiales de Separadores que tienen presiones descendentes donde se va separando dicho gas del aceite.

Este gas llamado "gas húmedo" por su contenido de gasolina se hace pasar por un sistema de absorbedores de donde sale ya "seco" por habérsele eliminado la gasolina.

Un análisis tipo de este gas es el siguiente:

|                               |   | % Vol. Liq. | % Molecular  |
|-------------------------------|---|-------------|--------------|
| CH <sub>4</sub>               | — | 82.221      | 86.32        |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | — | 8.101       | 6.90         |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | — | 9.618       | 6.78         |
|                               |   | -----       | -----        |
|                               |   | 100.000     | 100.00       |
| CO <sub>2</sub>               |   | 16.2 % Vol. |              |
| H <sub>2</sub> S              |   | 37 % Vol.   | 759.4 mm.Hg. |

El H<sub>2</sub>S y el CO<sub>2</sub> que impurifican el gas se les llama "gases ácidos".

**GAS AMARGO Y GAS DULCE.**—Cuando un gas tiene un alto contenido de H<sub>2</sub>S (más de 690 mg./M<sup>3</sup>) se le denomina "gas amargo" y cuando su contenido es bajo en H<sub>2</sub>S (menos de 690 mg./M<sup>3</sup>) se le denomina "gas dulce".

El gas natural tal como sale de los Pozos puede ser amargo o

dulce, ocurriendo generalmente lo primero.

Como es de comprenderse el gas natural con un alto contenido de  $H_2S$  y de  $CO_2$ , como lo es el de los Campos Petroleros de nuestro país (Poza Rica, Ver.) no pueden ser utilizados industrialmente ni para usos domésticos por las graves consecuencias lógicas que originarían su uso, como combustible sería pésimo ya que el contenido del  $CO_2$  sirve como diluyente haciendo bajar considerablemente el poder calorífico del gas que sería además por el alto contenido de  $H_2S$  peligrosamente corrosivo a las instalaciones. El  $H_2S$  es un gas excesivamente venenoso de acción rápida en el organismo, así que la presencia de pequeñas cantidades de este en el gas que fuera a ser utilizado para el consumo doméstico traería graves consecuencias.

El alto contenido de  $H_2S$  y  $CO_2$  en el gas de Poza Rica (promedio: 21% de gases ácidos, y 50,000 mg/ $M^3$  de  $H_2S$ ) trajo como consecuencia la instalación de una Planta de "endulzamiento" del gas natural "amarargo", que tiene por objeto eliminar los gases ácidos como el  $H_2S$  y el  $CO_2$ . El proceso en teoría es esencialmente el siguiente: Los gases son depurados con una variedad de soluciones de aminas (bases orgánicas), fenolato de sodio o fosfato de potasa las cuales absorben el  $H_2S$  y  $CO_2$  del gas frío y los dejan en libertad cuando son calentadas las soluciones. El "absorbente" empleado en el proceso que emplea PETROLEOS MEXICANOS en Poza Rica, Ver. para la eliminación de los gases ácidos del gas natural es una solución acuosa de monoetanolamina o trietanolamina.

El gas natural con sulfhídrico y carbónico a unos  $43^{\circ}C$  y 23 Kg/ $cm^2$  de presión entra a la Planta a unas Torres llamadas "absorvedoras" en contra corriente con la solución de amina (monoetanolamina) que desciende. La solución rica de amina que ha absorbido sulfhídrico y carbónico del gas amargo entra cayendo a los platos de otras torres llamadas "reactivadoras" donde es calentada hasta su punto de ebullición a medida que desciende por una mezcla de gases calientes y vapor que van hacia arriba. A esta temperatura el sulfhídrico y carbónico se desprenden y la solución cae por gravedad al plato inferior regenerándose en esta forma la solución de amina con desprendimiento de  $H_2S$  y  $CO_2$ .

El gas purificado libre de gases ácidos sale mediante este proceso con menos de 230 mg/ $M^3$  de  $H_2S$  y menos de 0.1 % de carbónico.

b).—PLANTA DE OBTENCION DE AZUFRE.—La Planta de azufre diseñada para Petróleos Mexicanos en Poza Rica, Ver., produce 124 toneladas de azufre elemental sólido por día a partir de gases conteniendo ácido sulfhídrico obtenidos como subproducto en el endulzamiento del gas natural, proceso ya descrito anteriormente.

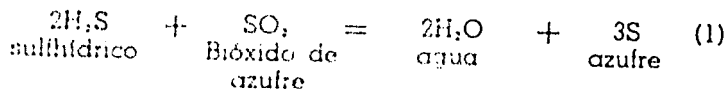
1.—MATERIA PRIMA.—La materia prima  $H_2S$  está contenida en dos corrientes gaseosas obtenidas de la Planta adyacente de endulzamiento del gas natural. Dicha Planta produce una corriente "po-

bre" y otra corriente "rica".

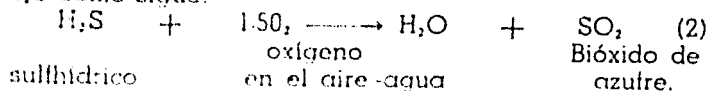
| Comp. de la corriente pobre.   |                |        | Comp. de la corriente rica. |        |
|--------------------------------|----------------|--------|-----------------------------|--------|
| MATERIA                        | Kg. por día.   | MOL. % | Kg. por día.                | MOL. % |
| CH <sub>4</sub>                | 0.6387         | 0.17   | 108.8                       | 0.17   |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | 1.1975         | 0.17   | 204.1                       | 0.17   |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | 2.6135         | 0.25   | 439.1                       | 0.25   |
| C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 4.6040         | 0.34   | 762.9                       | 0.34   |
| C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | 5.7153         | 0.34   | 979.8                       | 0.34   |
| C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> | 8.5431         | 0.43   | 1443.3                      | 0.43   |
| H <sub>2</sub> S               | 99.1197        | 12.80  | 49552.1                     | 37.90  |
| CO <sub>2</sub>                | 823.8648       | 92.00  | 96199.0                     | 56.90  |
| H <sub>2</sub> O               | 14.4517        | 3.50   | 2432.0                      | 3.50   |
|                                | <hr/> 950.7643 | 100.00 | <hr/> 152121.1              | 100.00 |

El H<sub>2</sub>S es un gas incoloro de un olor característico a huevos podridos. — Es 1.189 veces más pesado que el aire y se disuelve en agua hasta 2.9 veces su volumen de agua a 760 mm. de Hg. de presión y 2°C. Los polvaros presentes al manejar H<sub>2</sub>S son considerables debido tanto a su toxicidad como a su naturaleza explosiva cuando se encuentra mezclado con aire.

2) — QUIMICA DEL PROCESO. — El H<sub>2</sub>S y el SO<sub>2</sub> reaccionan en presencia de un Catalizador de acuerdo con la siguiente ecuación:



El SO<sub>2</sub> necesario para el proceso se obtiene quemando una parte del H<sub>2</sub>S como sigue:



Con objeto de obtener los rendimientos necesarios se necesita suministrar la cantidad de aire suficiente para tener la ecuación estequiométrica de los reactivos como lo muestra la ecuación (1). — Esto requiere que un 1/3 del total del H<sub>2</sub>S se convierta en SO<sub>2</sub> como en la ecuación (2).

3). EL PRODUCTO. — El azufre es un sólido amarillo limón que existe principalmente en la forma rómbica. La forma rómbica cambia lentamente a monoclinica a la temperatura de transición de 95°C. con la absorción de calor. El azufre rómbico funde a 112.7°C. con la absorción de calor y el monoclinico funde a 118.8°C. Una tercera forma sólida, comunmente llamada "azufre plástico" se obtiene del en-

enfriamiento de S líquido calentado al rededor de 393.3°C. Esta forma es inestable y gradualmente se transforma a r6mbico a la temperatura ambiente. El S se obtiene cuando menos en tres diferentes formas alotr6picas en la fase l6quida (S<sub>2</sub>, S<sub>8</sub> y S<sub>12</sub>) las proporciones presentes de cada una dependen de la temperatura. El S<sub>2</sub> l6quido hierve a 444.4°C a la presi6n atmosf6rica. El vapor de S puede existir como S<sub>2</sub>, S<sub>8</sub>, S<sub>12</sub> y S<sub>n</sub>, dependiendo las proporciones de cada forma de la temperatura y presi6n. A temperatura de 537.7°C. las principales formas alotr6picas son S<sub>2</sub> y S<sub>8</sub>, el S monoat6mico no se encuentra en cantidades apreciables a temperaturas menores de 1093°C.

4).—DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO DE LA PLANTA DE AZUFRE HORNO.—La carga para el horno viene de dos l6neas de gases 6cidos obtenidos de la Planta que opera fundamentalmente para el endulzamiento del gas natural. Estas corrientes consisten de un flujo "rico" y otro "pobre".

El horno consiste de dos partes: un hornillo (Dutch) en el que la corriente rica se quema, y el horno propiamente dicho en el cual entra la corriente d6bil. En los puntos de entrada se mezcla aire a ambas corrientes de gas.

El horno desempeña las siguientes cuatro funciones:

a).—Una tercera parte del H<sub>2</sub>S contenido en la corriente de gas 6cido se oxida a SO<sub>2</sub> y agua.

b).—Todos los hidrocarburos contenidos en la corriente de gas 6cido se oxidan a CO<sub>2</sub> y agua.

c).—Los mercaptanos reaccionan a CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, agua y S.

d).—Parte del S producido en la Planta se forma en el horno por la reacci6n del H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub>.

Los productos de la combusti6n de la corriente rica y pobre combinados pasan por una contra-puerta de panel y luego a trav6s de una capa de catalizador situada en la parte posterior del horno. La capa de material catal6tico sirve para efectuar la combusti6n completa de los hidrocarburos y mercaptanos contenidos en los gases y adem6s aumentan la conversi6n del H<sub>2</sub>S a azufre.

La inyecci6n de aire debe ser suficiente para mantener una relaci6n de dos a un volumen de H<sub>2</sub>S a SO<sub>2</sub>, los gases de salida en la chimenea.

Salen los gases del horno a 965°C. cuando est6 presente de 1 a 2% de hidrocarburos. Una pequeña corriente de unos 7.25% de los gases que salen del horno se usan para recalentar el gas de salida del condensador a la temperatura de reacci6n. El resto de los gases entran a un economizador y se enfrían a cerca de 260°C. El calor sensible del gas m6s el calor de reacci6n se usa para generar vapor. Un mayor enfriamiento de los gases hasta 232°C se consigue pulverizando agua y vapor en la corriente de gas. A esta temperatura salen los gases de la Caldera y entra entonces un extremo del "convertidor" No. 1, pasa hacia abajo a trav6s de una cama de ca-

talizador de 125 m y salen en el extremo opuesto. La conversión promedio total en este punto debe ser de 88.5%. Los gases fluyen por tubos inclinados (para facilitar el escurrimiento) a los "condensadores".

Los gases de salida del convertidor No. 1 se dividen y alimentan dos condensadores que trabajan en paralelo en los que la totalidad de la corriente de gas se enfría a su temperatura de salida o sea 120-130°C. El enfriamiento se obtiene bombeando S líquido de la presa colectora de S a través de cambiadores y luego al demo de los condensadores. El S líquido cae en contra-corriente con los vapores de S y el gas que van hacia arriba.

Una ventaja del uso del azufre líquido como agente enfriador estriba en el hecho de que una porción de la neblina de S es fácilmente retenida por el reflujo líquido. Mayor retención de neblina se obtiene haciendo pasar el gas a través de una capa de coke.

Mientras está en contacto con el empaque de la Torre los gases se enfrían y se condensa el vapor de S. El cambio directo del calor resulta así en una corriente de salida de S a unos 140°C. temperatura a la cual el S regresará fácilmente por gravedad a la presa colectora para volver a ser enfriado y recirculado.

Los gases que salen de los condensadores No. 1 a 120-130°C. se recalientan a 254°C. a cuya temperatura entran al convertidor No. 2, el calentamiento se obtiene agregando a la salida del condensador No. 1 una pequeña corriente de gas de salida del horno a 965.5°C. En este convertidor se debe tener un rendimiento de 94.1%. Los gases que salen del convertidor No. 2 fluyen hacia los condensadores No. 2 donde son enfriados a 120-130°C. Los gases de salida de los Condensadores No. 2 entran a la parte superior de dos Separadores de líquido conectados en paralelo. Una capa de coke retiene las gotas de S disminuyendo las pérdidas. Los gases que salen por el fondo fluyen a la chimenea y salen a la atmósfera. El S separado fluye por gravedad a la presa colectora central.

La presa colectora de S está construida de concreto reforzado, calentada con vapor y colocada debajo del nivel del suelo para tener una elevación mínima en el equipo de la Planta.

La solidificación final del S se logra bombeando una corriente de S a un tanque de nivel constante el cual alimenta un transportador de banda de acero inoxidable enfriado con agua y aire. El S sólido cae de la banda en extremo frío del transportador y es molido a un tamaño conveniente para su manejo posterior.

El rendimiento de la Planta es de un 90.4% basado en los gases de entrada y S producido.

(C). La Bauxita como Catalizador.

#### 1) CONCEPTO DE CATALISIS Y QUIMICA.

A mediados del siglo pasado Berzelius observó que ciertas sustancias tenían la propiedad de actuar en determinados fenómenos

químicos, cuya aceleración provocaban por la sola acción de contacto o de presencia, como si en ellos existiera una fuerza oculta que determinase la reacción. El nombre de "catalíticas" con que se distingue esta fuerza, procede del griego, y significa acción de disolver o desligar, puesto que el cuerpo catalítico se encuentra en el mismo estado al principio que al final de la reacción y actúa de un modo semejante al calor en las reacciones químicas.

Claro está que en la actualidad no puede entenderse la catálisis como una fuerza oculta y misteriosa como creía Berzelius, sino que debe considerarse con Ostwald. Como la aceleración producida en un fenómeno que por sí solo se realizaría lentamente, provocada por la presencia de una sustancia extraña. Por consiguiente, llamaremos "Catalizadores o sustancias de contacto" a aquellos cuerpos que aceleran la velocidad de una reacción y que no intervienen en la ecuación que resume finalmente el proceso químico, o cuya modificación, experimentada en el transcurso de la reacción, no está ligada estequiométricamente a los cambios experimentados por las demás sustancias que en ella intervienen". Generalmente las transformaciones catalíticas también se verifican de igual modo sin el concurso del Catalizador, pero entonces se cumple con mucha mayor lentitud.

Al principio se creyó que las reacciones catalíticas eran relativamente raras; pero con el perfeccionamiento de los métodos científicos, y a medida que la química se ha ido desarrollando, a podido comprobarse que estas reacciones son frequentísimas, hasta el punto de creerse actualmente que no existe reacción química que no pueda ser catalizada, puesto que si no se conocen todos los Catalizadores posibles para las diferentes reacciones, únicamente se debe a nuestra insuficiencia para saber determinar el Catalizador que conviene a una reacción. Dada a la extensión que en la actualidad tienen las reacciones catalíticas y las grandes aplicaciones de las mismas, hasta el punto de que constituyen la base de importantísimas Industrias químicas se comprende el interés extraordinario que revisten para la química desde el punto de vista teórico e industrial.

2).—TEORIA DE LA CATALISIS.—No obstante ser conocido el fenómeno catalítico tanto en las reacciones orgánicas como inorgánicas desde hace más de cien años todavía actualmente a pesar de los muchos estudios realizados y de los progresos de la química moderna, se sabe muy poco acerca del verdadero mecanismo de la acción catalítica, pudiéndose clasificar las distintas teorías que intentan explicarlo en dos grandes grupos: "Teorías físicas" y "Teorías químicas".

Las teorías químicas para explicar la acción de los Catalizadores, llamadas así mismo "teorías de los compuestos intermedios", suponen que la acción de un Catalizador se debe a la formación y luego a la destrucción inmediata de compuestos inestables intermedios los

cuales en el ciclo de reacciones regeneran el cuerpo primitivo. Las teorías físicas, llamadas también "teorías de absorción", explican la catálisis por la condensación superficial de los cuerpos reaccionantes en la superficie del catalizador, resultando de este modo un aumento extraordinario de la concentración de los cuerpos en los poros del mismo, por lo cual la reacción puede tener lugar con mayor facilidad. Entonces, al encontrarse las moléculas de los cuerpos reaccionantes en la superficie del catalizador, serían absorbidos con mucha energía, quedando en cierto modo retenidos por las fuerzas capilares de los poros del agente catalizador; puestos en contacto íntimo por este procedimiento, se produciría la reacción entre ellos, y en la atracción del catalizador respecto de los cuerpos o productos resultantes fuese menor que respecto a los componentes, la superficie del mismo quedaría libre, al menos en parte, quedando dispuestas nuevamente para repetir los efectos.

**CLASIFICACION DE CATALISIS** - La catálisis se ha clasificado con respecto al tipo de reacción catalítica y así tenemos que pueden ser de

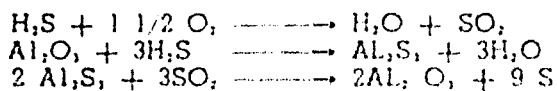
- 1) Hidrogenación.
- 2) - Deshidrogenación.
- 3) - Síntesis
- 4) - Descomposición
- 5) - Hidratación
- 6) - Deshidratación.
- 7) - Reducción.
- 8) - Oxidación
- 9) - Halogenación: Clorinación.
- 10) - Sulfurización.
- 11) - Desulfurización
- 12) - Alquilación.
- 13) - Condensación
- 14) - Polimerización

3). - **LA BAUXITA COMO CATALIZADOR.** - La Bauxita es un mineral de aluminio, consistente en una mezcla de alúmina hidratada y óxido férrico. Su composición es muy variable; la alúmina oscila entre 35 a 75%, el  $Fe_2O_3$  de 2 a 38% y el agua de 10 a 30% mientras la sílice se halla en cantidades variables del 1 al 15%.

Este mineral es el que ha sido seleccionado para ser usado como catalizador en la obtención del S a partir del  $H_2S$  y el  $SO_2$ .

El carbón de madera activado es también otro agente catalítico de la reacción de desulfurización de la mezcla de gas, el coque tiene mayor actividad que la bauxita, la sílica-gel permite una mayor conversión. Mineral de hierro con 14.1% de  $Al_2O_3$  y 80% de  $Fe_2O_3$ , constituye también un agente catalítico

El papel que desempeña la bauxita como catalizador queda manifestado en las siguientes reacciones hipotéticas



Las especificaciones que se requieren para el catalizador usado son las siguientes:

Análisis químico típico (Libre de volátiles):

|  |       |
|--|-------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ..... | 75.4% |
| SiO <sub>2</sub> , .....               | 7.8%  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ..... | 14.7% |
| TiO <sub>2</sub> , .....               | 4.1%  |

Pérdida por calcinación 4.6% materia volátil 6%.

Especificaciones de Tamis:

|                |            |
|----------------|------------|
| Tamis de + 3   | 3% máximo  |
| Tamis de + 4   | 28% máximo |
| Tamis de -- 8  | 10% máximo |
| Tamis de -- 10 | 2% máximo  |

Eficiencia de la conversión: 70%.



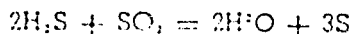
## CAPITULO III

### OBJETO DE LA PRUEBA DE LA BAUXITA COMO CATALIZADOR.—

Las pruebas que se describen a continuación tienen como finalidad suministrar el conjunto de condiciones tipo, bajo las cuales se puede valorar un catalizador nuevo o ya usado en la Planta.

#### a).—FACTORES QUE AFECTAN LA CONVERSION CATALITICA.

Conversión es una medida de la habilidad de un catalizador para que en condiciones específicas promueva la siguiente reacción:



Se expresa como un porcentaje del total de los reactivos que se convierten en azufre.

Con respecto a los reactivos, el grado de conversión es esencialmente influenciada por la temperatura o concentración de sulfhídrico y  $\text{SO}_2$ , y el contenido de humedad del flujo del gas que entra. Las mezclas de gas ricas en azufre sufren una mayor conversión que las mezclas diluidas, el alto contenido de humedad en el gas tiende a disminuir el grado de conversión.

Por lo tanto las comparaciones de conversión se hacen con mezclas de gas húmedo similar al que se encuentra presente durante la operación normal de la Planta. Respecto al efecto del catalizador y su influencia a la conversión, hay factores tales como el uso previo acondicionamiento y el tamaño de las partículas originan cambios en la obtención.

## CAPITULO IV

### DESCRIPCION DEL METODO SEGUIDO

a).--DIAGRAMA DEL FLUJO DEL PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.--El flujo de gas a través del equipo de prueba se demuestra esquemáticamente en la fig. No 1. El  $N_2$  del cilindro pasa por un medidor y burbujea en un humidificador que contiene agua a temperatura constante. El gas húmedo se mezcla con  $SO_2$  obtenido del 2o. cilindro, entonces la mezcla de gas fluye a la parte superior del convertidor experimental, donde se mezcla con el gas sulfhídrico igualmente de otro cilindro.

La mezcla compuesta que contiene  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $H_2O$  y  $N_2$ , pasa a través de una sección corta del convertidor en donde es precalentada a la temperatura deseada que sale del convertidor, burbujea continuamente en un baño de S fundido. Se toma intermitentemente una muestra del gas de salida para analizarle usando una botella y un depurador.

El equipo para analizar el gas de salida se muestra en la fig. No 2.

b).--DESCRIPCION DEL APARATO.-- Línea de gas.-- En todas las pruebas se usan  $H_2S$ ,  $SO_2$  y  $N_2$ . Se conectan dos cilindros de nitrógeno de modo que se obtenga un flujo continuo de gas aunque se cambie cilindro para llenarse.

MEDIDORES DE FLUJO -- Para medir los flujos se usan los Rotámetros del Laboratorio, cada uno de ellos está calibrado para el gas apropiado contra un medidor previamente checado. Los flujos se expresan en términos de pies  $3/min.$  a temperaturas y presión normales ( $0^\circ C$  y  $760$  mm. Hg.)

HUMEDECIMIENTO CON AGUA --Se usa un matraz de filtración al vacío de 4 lt. de capacidad sumergido en un baño de temperatura constante, sirve de entrada un tubo de vidrio que se introduce 1.5 cm. del fondo y que termina en cola de pato para dispersar el gas. La salida del gas es el tubo lateral del matraz, el baño de tempera-

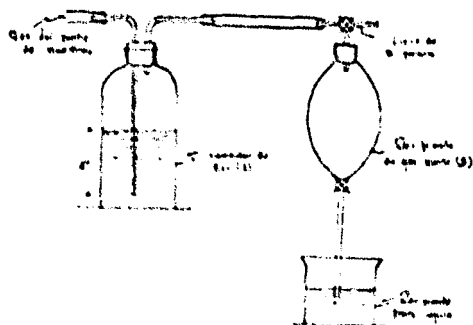


TABLA N.º. MUESTRA DE MUESTRA DE GAS EN UN  
 SISTEMA CERRADO A 1000  
 (A) 1000 ml. volumen nominal con el tubo de  
 salida cerrado a 1000

EQUIPO PARA ANALISIS DEL GAS DE  
 SALIDA

FIG. 2

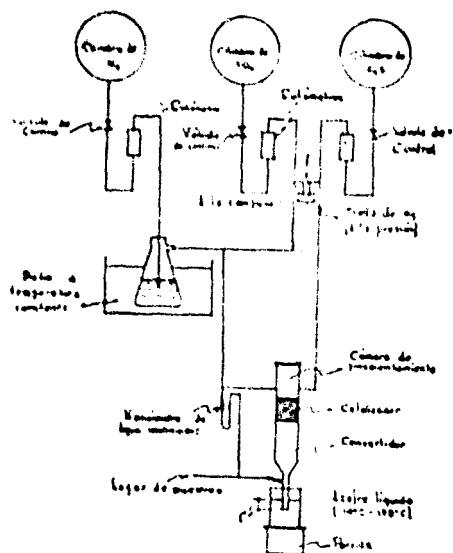
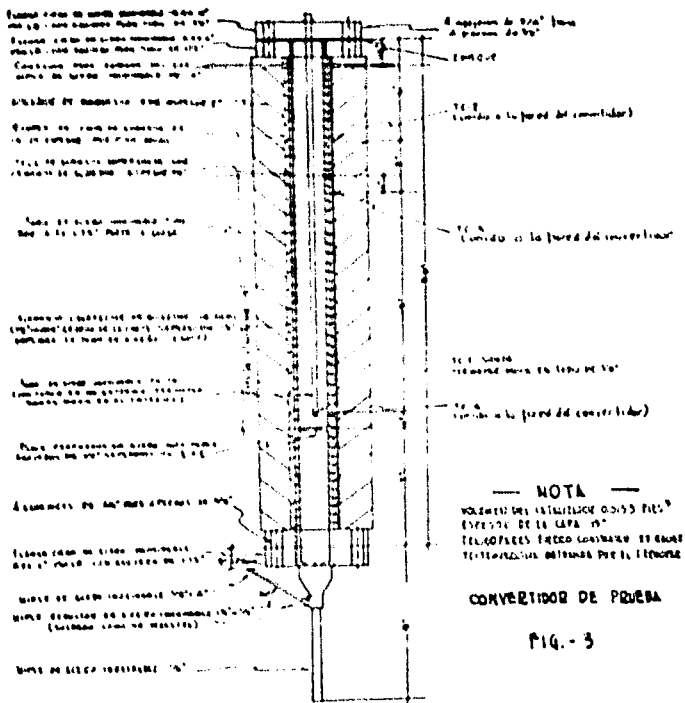


DIAGRAMA DE FLUJO DEL APARATO  
 PARA PRUEBA DEL CATALIZADOR  
 FIG. 1





tura constante que se calienta con aire se calienta con una parrilla metálica de 250 watts y se controla con un termo regulador de Khetinekg. El baño se mantiene a la temperatura que corresponde a la presión del vapor del agua que produce la cantidad deseada de vapor en la mezcla final del gas.

**CONVERTIDOR** - El convertidor está construido de acuerdo con el plano de la fig. No. 2.

**VALVULA DE SEGURIDAD** - En el caso de que la presión aumente en el aparato si se tapa la salida, se tienen medios para que ésta escape. Consiste esta valvula en un vaso parcialmente lleno de mercurio en que está sumergido un tubo inclinado. Cuando se forma un exceso de presión en el sistema, el gas burbujea a través del sello de mercurio y escapa a una campana.

**QUIPO PARA ANALIZAR EL GAS RESIDUAL** - El quipo para analizar el gas residual demostrado en la figura, consiste en un depurador que puede ser una botella Drechsel (forma alta) o un burbujeador y un embudo de separación de 1000 ml. equipado con el tapón de hule y un llave de tres pasos.

**MANÓMETROS Y CONEXIONES** - Para todas las conexiones y manómetros se usa tubo de vidrio y tubo de hule negro. En los medidores se usan manómetros verticales de tubo en U. La caída de presión a través de la capa de catalizador, es medida convenientemente con un manómetro de tubo en U inclinado y que tenga un factor de 2.

**VOLUMEN DEL CATALIZADOR** - Se usa un volumen superficial de catalizador de 0.0433 cm<sup>3</sup> correspondiente a una capa de 38.4 cm. de profundidad.

#### COMPOSICION DEL GAS

|                  |            |
|------------------|------------|
| H <sub>2</sub> S | 10% Vol.   |
| SO <sub>2</sub>  | 0.5% Vol.  |
| N <sub>2</sub>   | 80.4% Vol. |
| H <sub>2</sub> O | 18.1% Vol. |

**FLUJO DEL GAS** - Se indican los siguientes flujos de gas para la velocidad de 283.17 m<sup>3</sup>. m<sup>3</sup>/hora por .028317 m<sup>3</sup>. de catalizador recomendado.

|                  |                            |
|------------------|----------------------------|
| H <sub>2</sub> S | 74 cm <sup>3</sup> /min.   |
| SO <sub>2</sub>  | 37 cm <sup>3</sup> /min.   |
| N <sub>2</sub>   | 5805 cm <sup>3</sup> /min. |
| H <sub>2</sub> O | 1305 cm <sup>3</sup> /min. |

La temperatura de 58.6°C corresponde a agua del humidificador.

**TEMPERATURA** - Las pruebas de conversión se llevan a cabo a tres temperaturas tipo que se fijan en el termocople TC - 2 Fig. 3.

Estas temperaturas son:

|       |     |       |
|-------|-----|-------|
| 350°F | --- | 173°C |
| 400°F | --- | 204°C |
| 450°F | --- | 232°C |

Se trazan curvas representativas de las conversiones obtenidas de las tres temperaturas y la curva de 204°C se usa con propósitos comparativos.

El porocel ordinario de tamaz 4 x 8 deberá dar una conversión aproximadamente de 70% a 204°C de temperatura a la entrada (T-C2) cuando la prueba se hace en las condiciones descritas antes.

#### c) - PROCEDIMIENTO

**PREPARACION DEL EQUIPO** La varapa del convertidor se carga con catalizador hasta una profundidad de 38.4 cm. El conjunto se sacude para permitir la inserción del peso del termocople y atornillar la tapa del convertidor. Esto es golpeado varias veces para asentar uniformemente el catalizador. En seguida, el equipo auxiliar, conexiones de líneas, etc., se instalan de acuerdo con el diagrama de flujo, fig. 1. La salida del convertidor se sumerge en el azufre líquido como se indica, con objeto de producir un sello durante el análisis del gas residual.

**ACONDICIONAMIENTO DEL CATALIZADOR** Con objeto de dar una temperatura de 204°C aproximadamente en el catalizador, se aplica suficiente corriente al elemento térmico del convertidor. Cuando se alcanza esa temperatura se inicia el flujo del gas. Después de operar dos horas se empiezan a tomar muestras cada hora y se analizan siguiendo el procedimiento que se da mas adelante. Estas pruebas de salida cada hora se continúan hasta que se obtienen 4 ó 5 resultados sensiblemente iguales.

Los resultados dentro de más o menos de 1% de conversión pueden considerarse como duplicados. En este momento puede considerarse el catalizador acondicionado y se pueden efectuar otras pruebas de conversión. Se necesita aproximadamente de 6 a 18 hs. de operación para obtener resultados consecuentes.

**PRUEBAS DE CONVERSION.** - Se puede obtener una variedad de temperaturas controlando la entrada de corriente al elemento térmico del convertidor.

La corriente se ajusta por lo tanto, a una temperatura constante tipo como lo indica el T C - 2, por un tiempo suficiente para obtener lo menos cuatro análisis duplicados se necesita por lo menos tres horas para obtener equilibrio, condición que se manifiesta por la constancia de temperaturas a través del equipo con flujo de gas y alimentación de corriente constante. Las pruebas de conversión se verifican a: 173°C, 204°C y 232° y los resultados se anotan de acuerdo con la temperatura. Se dibuja una curva uniendo los puntos experimentales y la conversión que se lee a 232°C constituye la eficiencia del catalizador.

d).—PROCEDIMIENTO ANALITICO. ANALISIS DEL GAS RESIDUAL.—Pipeteese 50 ml. de solución de Iodo 0.1N a la botella lavadora de gas (fig. 2) y llévese hasta la marca con agua destilada. Llénese el recipiente de gas con agua a la temperatura ambiente

aplicando succión y sacando agua del recipiente y bulbo. Cuando esté lleno conéctese la botella muestreadora al punto de muestreo y al recipiente de gas. Permítase aspirar el gas a través de la solución de yodo, abriendo la válvula "a" y permitiendo gotear el agua del recipiente al recibidor.

Se necesitan diez minutos para drenar el agua del recipiente por la llave (el agua se recupera en el recibidor y se guarda para pruebas subsiguientes ya que está a la temperatura ambiente).

Se para la solución de yodo a un matraz Erlenmeyer de 250 ml. y se lava el tubo de entrada y el interior de la botella muestreadora con pequeñas porciones de agua destilada. Se titula el contenido del matraz con solución 0.1N de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  usando almidón como indicador. Se apuntan los ml. de solución consumidos. La titulación medida es equivalente a  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{SO}_2$  en la muestra.

Al contenido del matraz se agregan 6 a 8 gotas de indicador púrpura de metilo y se continúa la titulación con solución de  $\text{NaOH}$  0.1N. La masa consumida es equivalente a  $\text{SO}_2$  en la muestra original, más el ácido formado en la titulación de Iodo.

a) - CALCULOS. Tanto para el  $\text{H}_2\text{S}$  como el  $\text{SO}_2$ , un miliequivalente es igual a 0.5 milimols. Luego si se asume la Ley de los gases perfectos, un miliequivalente ocupará 0.5 v 22.4 mol. por milimols a 11.2 ml. a NTP. Sin embargo si se usan las verdaderas densidades del  $\text{H}_2\text{S}$  y el  $\text{SO}_2$  y se para cada uno para una mezcla de dos partes de  $\text{H}_2\text{S}$  y una parte de  $\text{SO}_2$ , un miliequivalente de los gases mezclados es igual a 11.0 ml. de gas a NTP.

sea a) =(ml de solución de yodo por normalidad) ml. de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  x normalidad)

b) =(ml de  $\text{NaOH}$  x normalidad)

c) =gas inerte recogido en el recipiente (corregido a base de seco y volumen NTP)

$$\% \text{ de S en el gas } (\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2) = \frac{11 \times a \times 100}{11 \times a \times C} \text{ considerado seco}$$

$$\text{Relación de } \frac{\text{H}_2\text{S}}{\text{SO}_2} \text{ en el gas} = \frac{2a - b}{b - a}$$

$$\% \text{ de conversión} = 1 - \frac{11 \times a}{C} \times \frac{\text{pies } 3/\text{min. } \text{N}_2}{\text{pies } 3/\text{min } \text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2} \times 100$$

### CALIBRACION DEL RECIPIENTE DE GAS INERTE.

f).—**Calibración del recipiente de gas inerte.**—Fijándose en la Fig. 2, se cierra la llave "a" y se llena el recipiente de gas inerte con agua hasta el cuello. Se mide el volumen de agua "v" en ml.

Se hace una marca en la botella depuradora de gas 10.2 cm. arriba de la punta del tubo de entrada hasta la cual se llenará la botella. (La columna de agua de 10.2 cm. es igual a 75 mm. Hg.)

Se determina el promedio de presión absoluta. La presión en el punto de muestreo P, del Convertidor en mm. de Hg. está dado por:

P = presión atmosférica + sello de azufre de la salida del Convertidor (El sello de azufre de la salida del Convertidor es de 51 cm. de agua).

Se determina la presión de vapor del agua p, a la temperatura media del Laboratorio, T C.

La presión total dentro del recipiente de gas al final de la prueba será igual a la presión del punto de muestreo menos aquella debida a la inmersión del tubo de entrada al Depurador. Para obtener el volumen de gas seco, esta presión debe corregirse para la presión de vapor del agua sobre la cual se recogió el gas inerte. Luego el volumen de gas inerte aspirado a través de la botella depuradora a NTP, se calcula como sigue:

$$\text{Volumen de gas inerte} = V \times \frac{(P - 75 - p)}{760} \times \frac{273}{273 + T}$$

### g).—Preparación de soluciones tipo.

1.—**Solución de Iodo 0.1 N.**—Disuélvase 25 g. de K I puro en 200 ml. de agua destilada, agréguese 12.7 de Iodo resublimado y disuélvase completamente. Dilúyase a un litro y guárdese en botella ámbar.

**ESTANDARIZACION.**—Pésense 5 g. de  $As_2O_3$ .—Disuélvase en 40 ml. de 4N de NaOH, dilúyase a 400 - 500 ml. y neutralícese al litmus con HCl IN. Agréguese 2.3 g. de bicarbonato de sodio y dilúyase a 1 litro.

$$\text{Normalidad de la solución de } As_2O_3 = \frac{\text{peso de } As_2O_3 \times \text{factor de}}{49.455 \quad \text{pureza.}}$$

Titúlense 5 Oml. de la solución de arsénico con el Iodo usando almidón como indicador.

$$\text{Normalidad de la solución de Iodo} = \frac{\text{normalidad de la sol. de arsénico}}{\text{ml. de sol. de Iodo.}}$$

2.—**Solución indicadora de almidón.**—Muélase un gramo de almidón soluble con un poco de agua fría hasta que se haga pasta. Agrégue-



se a 100 ml. de agua hirviendo con agitación y hiérvase por dos minutos. Cuando se ha enfriado añádanse 2 g. de KI como preservativo.

**3.—Solución de TIO sulfato O.IN.**—Disuélvanse 25 g. de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  con agua y dilúyase a un litro. Agréguese 1 a. de bicarbonato de sodio par evitar descomposición.

**Estandarización.** Títúlese 50 ml. de lodo O.IN con lo anterior.

$$\text{Normalidad } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{50 \times \text{normalidad de la sol. de lodo}}{\text{ml de sol. } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

**4.—Solución de sosa O.IN.**—Disuélvanse 41 g. de sosa (libre de carbonatos) en una pequeña cantidad de agua destilada hervida. Dilúyase a un litro con agua previamente destilada y hervida y consérvase en vidrio Pyrex protegido de la atmósfera con un tubo lleno de cal.

**Standardización.**—Pésese aproximadamente 5.5 g. pero con toda precisión de ftalato ácido de potasio de pureza conocida; previamente secado a 110 C. Disuélvase en agua y dilúyase a 250 ml.

Títúlese 50 ml. de solución de ftalato con sosa usando púrpura de metilo como indicador.

Normalidad de la solución de ftalato:

Peso de la muestra x pureza x 4

-----  
204.14

Normalidad de la sosa.

50 x normalidad de la solución de ftalato

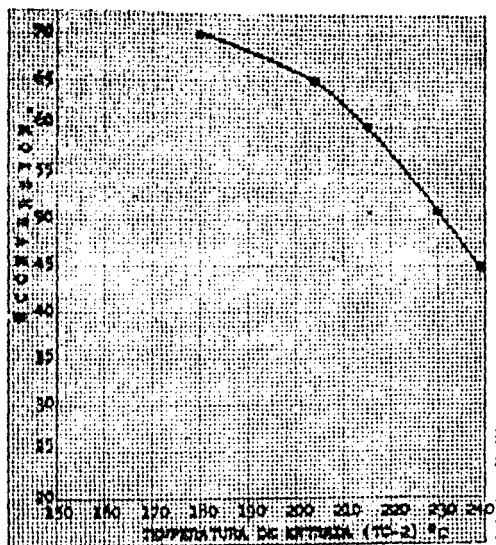
-----  
ml. de solución de sosa.

| Prueba No. | Lectura<br>H <sub>2</sub> S N <sub>1</sub><br>SO <sub>2</sub> | ml.<br>Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | a     | ml.<br>NaOH | b     | T<br>Temp.<br>Amb.<br>C | Relación<br>según<br>Rotámetro. | Volumen<br>a PTN | P-7.5-px273 |     | Temp.<br>Catalizador<br>TC-2<br>°C. | Gases ácidos<br>H <sub>2</sub> S y SO <sub>2</sub><br>11a x 100<br>11a + C | Relación<br>H <sub>2</sub> S/SO <sub>2</sub><br>$\frac{2a-b}{b-a} = \frac{11a}{CVSO}$ | %C |
|------------|---|--|-------|-------------|-------|-------------------------|---------------------------------|------------------|-------------|-----|-------------------------------------|--|---|----|
|            |   |  |       |             |       |                         |                                 |                  | C           | T   |                                     |  |   |    |
| 1          | 90  | 48.1   | 0.376 | 7.2         | 0.705 | 25                      | 2.57                            | 82.8             | 763         | 883 | ---                                 | ---  | 1.36  |    |
|            | 6.200   |  |       |             |       |                         |                                 | 5518             |             |     |                                     |  |   |    |
| 2          | 35  | 24.1   | 0.178 | 3.4         | 0.333 | 22                      | 2.04                            | 32.1             | 763         | 902 | 240                                 | ---  | 0.149   |    |
|            | 92  |  |       |             |       |                         |                                 | 85.5             |             |     |                                     |  |   |    |
| 3          | 6000  | 20.1   | 0.558 | 10.7        | 1.045 | 22                      | 1.81                            | 5570             | 763         | 902 | 232                                 | ---  | 0.146   |    |
|            | 45  |  |       |             |       |                         |                                 | 41.8             |             |     |                                     |  |   |    |
| 4          | 95  | 44.8   | 0.52  | 6.9         | 0.69  | 28                      | 2.04                            | 83.7             | 762         | 866 | 178                                 | 0.65%  | 1.95  |    |
|            | 6000  |  |       |             |       |                         |                                 | 40.8             |             |     |                                     |  |   |    |
| 5          | 22.5  | 45.5   | 0.558 | 7.4         | 0.74  | 29                      | 2.0                             | 5455             | 762         | 859 | 178                                 | 0.69%  | 1.9   |    |
|            | 92  |  |       |             |       |                         |                                 | 72.5             |             |     |                                     |  |   |    |
| 6          | 6000  | 45.6   | 0.44  | 5.9         | 0.59  | 29                      | 2.0                             | 5438             | 762         | 859 | 176                                 | 0.55   | 1.85  |    |
|            | 45  |  |       |             |       |                         |                                 | 36.3             |             |     |                                     |  |   |    |
| 7          | 40  | 45.2   | 0.48  | 6.4         | 0.64  | 29                      | 2.05                            | 72.5             | 762         | 859 | 177                                 | 0.61   | 2.0   |    |
|            | 80  |  |       |             |       |                         |                                 | 5440             |             |     |                                     |  |   |    |
| 8          | 6000  | 44.2   | 0.58  | 7.4         | 0.74  | 25                      | 2.57                            | 36.3             | 763         | 886 | 204                                 | 0.71   | 2.55  |    |
|            | 82  |  |       |             |       |                         |                                 | 82.8             |             |     |                                     |  |   |    |
| 9          | 40  | 44.1   | 0.59  | 7.5         | 0.75  | 24                      | 2.57                            | 5702             | 763         | 887 | 206                                 | 0.71   | 2.56  |    |
|            | 90  |  |       |             |       |                         |                                 | 32.1             |             |     |                                     |  |   |    |
| 10         | 6000  | 44.0   | 0.6   | 7.7         | 0.77  | 23                      | 2.57                            | 82.8             | 763         | 892 | 206                                 | 0.73   | 2.54  |    |
|            | 35  |  |       |             |       |                         |                                 | 5518             |             |     |                                     |  |   |    |
| 11         | 90  | 43.5   | 0.65  | 8.7         | 0.87  | 22                      | 2.04                            | 32.1             | 763         | 902 | 208                                 | 0.78%  | 1.9   |    |
|            | 670   |  |       |             |       |                         |                                 | 82.8             |             |     |                                     |  |   |    |
| 12         | 35  | 44.4   | 0.56  | 7.2         | 0.72  | 22                      | 2.57                            | 6204             | 763         | 902 | 206                                 | 0.67   | 2.54  |    |
|            | 92  |  |       |             |       |                         |                                 | 32.1             |             |     |                                     |  |   |    |
| 13         | 6000  | 41.09  | 0.81  | 10.2        | 1.02  | 22                      | 2.57                            | 85.5             | 763         | 902 | 230                                 | 0.88   | 2.56  |    |
|            | 35  |  |       |             |       |                         |                                 | 5752             |             |     |                                     |  |   |    |
| 14         | 90  | 40.7   | 0.93  | 12.4        | 1.24  | 22                      | 2.04                            | 32.5             | 763         | 902 | 230                                 | 1.02   | 2.0   |    |
|            | 6200  |  |       |             |       |                         |                                 | 83.6             |             |     |                                     |  |   |    |
| 15         | 35  | 42.1   | 0.79  | 10.5        | 1.05  | 22                      | 2.0                             | 5752             | 762         | 902 | 232                                 | 0.86   | 2.0   |    |
|            | 92  |  |       |             |       |                         |                                 | 41.8             |             |     |                                     |  |   |    |
| 16         | 6000  | 42.6   | 0.74  | 9.9         | 0.99  | 22                      | 2.0                             | 74.2             | 162         | 902 | 230                                 | 0.80   | 1.95  |    |
|            | 45  |  |       |             |       |                         |                                 | 5752             |             |     |                                     |  |   |    |
| 17         | 80  | 41.5   | 0.85  | 11.4        | 1.14  | 22                      | 2.0                             | 37.1             | 762         | 902 | 238                                 | 0.92   | 1.9   |    |
|            | 6000  |  |       |             |       |                         |                                 | 74.2             |             |     |                                     |  |   |    |
| 18         | 40  | 41.5   | 0.85  | 11.2        | 1.12  | 22                      | 2.3                             | 5752             | 762         | 902 | 240                                 | 0.92   | 2.1   |    |
|            | 80  |  |       |             |       |                         |                                 | 37.1             |             |     |                                     |  |   |    |
| 19         | 6200  | 41.3   | 0.87  | 11.9        | 1.19  | 22                      | 1.8                             | 76.1             | 763         | 900 | 214                                 | 1.05   | 1.7   |    |
|            | 40  |  |       |             |       |                         |                                 | 5844             |             |     |                                     |  |   |    |
| 20         | 82  | 41.9   | 0.81  | 10.9        | 1.09  | 22                      | 1.9                             | 32.5             | 763         | 900 | 216                                 | 0.97   | 1.85  |    |
|            | 6300  |  |       |             |       |                         |                                 | 88.5             |             |     |                                     |  |   |    |
| 21         | 35  | 41.5   | 0.85  | 11.5        | 1.15  | 22                      | 1.9                             | 5750             | 763         | 900 | 214                                 | 1.02   | 1.8   |    |
|            | 95  |  |       |             |       |                         |                                 | 48.3             |             |     |                                     |  |   |    |
|            | 6200  | 48   |       |             |       |                         |                                 | 88.3             |             |     |                                     |  |   |    |
|            | 52  |  |       |             |       |                         |                                 | 5750             |             |     |                                     |  |   |    |
|            | 95  |  |       |             |       |                         |                                 | 46.4             |             |     |                                     |  |   |    |
|            | 6200  |  |       |             |       |                         |                                 | 85.0             |             |     |                                     |  |   |    |
|            | 50  |  |       |             |       |                         |                                 | 5750             |             |     |                                     |  |   |    |
|            | 92  |  |       |             |       |                         |                                 | 44.6             |             |     |                                     |  |   |    |

| ml.<br>Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | a     | ml.<br>NaOH | b     | T<br>Temp.<br>Amb.<br>C | Rela-<br>ción<br>segun<br>Rotá-<br>metro. | Volumen<br>a P1N     | P<br>C=<br>Total | P-7.5-px273<br>760 T | Temp.<br>Catali-<br>zador<br>TC-2<br>°C. | Gases ácidos<br>H <sub>2</sub> S y SO <sub>2</sub><br>11a x 100<br>11a + C | Relación<br>H <sub>2</sub> S/SO <sub>2</sub><br>2 a-b<br>b - a | %Conversión<br>11a x VN <sub>2</sub><br>C VSO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> S |
|--|-------|-------------|-------|-------------------------|---|----------------------|------------------|----------------------|--|--|--|--|
| 48.1   | 0.376 | 7.2         | 0.705 | 25                      | 2.57                                      | 82.8<br>5518<br>32.1 | 763              | 883                  | ---                                      | ---  | 1.36   | ---  |
| 24.1   | 0.178 | 3.4         | 0.353 | 22                      | 2.04                                      | 85.5<br>5570<br>41.8 | 763              | 902                  | 240                                      | ---  | 0.149  | ---  |
| 20.1   | 0.558 | 10.7        | 1.045 | 22                      | 1.81                                      |                      | 763              | 902                  | 232                                      | ---  | 0.146  | ---  |
| 44.8   | 0.52  | 6.9         | 0.69  | 28                      | 2.04                                      | 83.7<br>40.8<br>5455 | 762              | 866                  | 178                                      | 0.65%  | 1.95   | 71%  |
| 45.5   | 0.558 | 7.4         | 0.74  | 29                      | 2.0                                       | 72.5<br>5438<br>36.3 | 762              | 859                  | 178                                      | 0.69%  | 1.9  | 70%  |
| 45.6   | 0.44  | 5.9         | 0.59  | 29                      | 2.0                                       | 72.5<br>5440<br>36.3 | 762              | 859                  | 176                                      | 0.55   | 1.85   | 72%  |
| 45.2   | 0.48  | 6.4         | 0.64  | 29                      | 2.05                                      | 74.3<br>5440<br>36.3 | 762              | 859                  | 177                                      | 0.61   | 2.0  | 70%  |
| 44.2   | 0.58  | 7.4         | 0.74  | 25                      | 2.57                                      | 82.8<br>5702<br>32.1 | 763              | 886                  | 204                                      | 0.71   | 2.55   | 64%  |
| 44.1   | 0.59  | 7.5         | 0.75  | 24                      | 2.57                                      | 82.8<br>5518<br>32.1 | 763              | 887                  | 206                                      | 0.71   | 2.56   | 65%  |
| 44.0   | 0.6   | 7.7         | 0.77  | 23                      | 2.57                                      | 82.8<br>6204<br>32.1 | 763              | 892                  | 206                                      | 0.73   | 2.54   | 60%  |
| 43.5   | 0.65  | 8.7         | 0.87  | 22                      | 2.04                                      | 85.5<br>5570<br>41.8 | 763              | 902                  | 208                                      | 0.78%  | 1.9  | 65%  |
| 44.4   | 0.56  | 7.2         | 0.72  | 22                      | 2.57                                      | 83.6<br>5752<br>32.5 | 763              | 902                  | 206                                      | 0.67   | 2.54   | 66%  |
| 41.09  | 0.81  | 10.2        | 1.02  | 22                      | 2.57                                      | 83.6<br>5752<br>32.5 | 763              | 902                  | 230                                      | 0.88   | 2.56   | 51%  |
| 40.7   | 0.93  | 12.4        | 1.24  | 22                      | 2.04                                      | 85.5<br>5574<br>41.8 | 763              | 902                  | 230                                      | 1.02   | 2.0  | 50%  |
| 42.1   | 0.79  | 10.5        | 1.05  | 22                      | 2.0                                       | 74.2<br>5752<br>37.1 | 762              | 902                  | 232                                      | 0.86   | 2.0  | 50%  |
| 42.6   | 0.74  | 9.9         | 0.99  | 22                      | 2.0                                       | 74.2<br>5752<br>37.1 | 162              | 902                  | 230                                      | 0.80   | 1.95   | 53%  |
| 41.5   | 0.85  | 11.4        | 1.14  | 22                      | 2.0                                       | 74.2<br>5752<br>37.1 | 762              | 902                  | 238                                      | 0.92   | 1.9  | 46%  |
| 41.5   | 0.85  | 11.2        | 1.12  | 22                      | 2.3                                       | 76.1<br>5844<br>32.5 | 762              | 902                  | 240                                      | 0.92   | 2.1  | 44%  |
| 41.3   | 0.87  | 11.9        | 1.19  | 22                      | 1.8                                       | 88.5<br>5750<br>48.3 | 763              | 900                  | 214                                      | 1.05   | 1.7  | 58%  |
| 41.9   | 0.81  | 10.9        | 1.09  | 22                      | 1.9                                       | 88.3<br>5750<br>46.4 | 763              | 900                  | 216                                      | 0.97   | 1.85   | 58%  |
| 41.5   | 0.85  | 11.5        | 1.15  | 22                      | 1.9                                       | 85.9<br>5750<br>44.6 | 763              | 900                  | 214                                      | 1.02   | 1.8  | 56%  |

7

conversión de  $H_2S + SO_2$  a Azufre



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO NACIONAL DE QUÍMICA  
MEXICO

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES

Las primeras pruebas no dieron resultados satisfactorias como puede verse en las tres primeras pruebas en las que vemos que la relación  $H_2S/SO_2$  en el análisis de los gases residuales, no corresponde a la relación que nos dan los rotámetros.

Se ajustaron perfectamente las conexiones para evitar fugas en las líneas de gas del aparato, se checaron perfectamente el título de las soluciones, se dejó pasar varias horas el flujo de gases a través del convertidor hasta saturación; el proceso analítico se llevó a cabo con el máximo cuidado posible par eliminar toda causa de error personal hasta llegar a obtener resultados aceptables.

La Relación  $H_2S/SO_2$  en la entrada de estos gases al aparato debe procurarse que sea 2 porque de acuerdo con la estequiometría de la reacción química que se verifica no haya exceso o pérdida de uno de los reactivos.

Se analizaron los gases residuales con intervalos de una hora manteniendo las condiciones de operación constantes, hasta obtener 3 ó 4 resultados sensiblemente iguales y fueron los que se tomaron como aceptables.

Este método es de bastante utilidad para catalogar la eficiencia de un catalizador nuevo que vaya a ser usado en la Planta o del que ya esté en uso.

## CAPITULO VII

### BIBLIOGRAFIA

- 1.—Read, W. T. "Industrial Chemistry", 3a. Ed. Pag 154, John Wiley & Sons, Inc. New York. (1943).
- 2.—Nelson, W. L. "Petroleum Refinery Engineering". Mc. Graw Hill Co Inc. New York, pág. 719, 639 y 760. (1949).
- 3.—Berkman, S. Morrel, J. C. & Eggloff, G. "Catalysis" pág. 654 771 y 931. Reinhold Publishing Co 330 West forty-second Street, New York, U S A (1949).
- 4.—Bottoms, R. R. "Industrial Eng. Chem. pág. 23-501 (1931).
- 5.—Calvet, E. "Química General aplicada a la Industria" 1a. Ed. Tomo I. Pág. 613-634. Salvat Editores, S. A. Barcelona (1934).
- 6.—Rhead, E. L. "Metalurgia" Trad. de la 9a. Ed. Inglesa por Argila J. S. Pág. 79 Editorial Labor, S. A. Barcelona, 1938.
- 7.—"Servicio de Información de Petróleos Mexicanos" Revista No. 68 Talleres Continente. Pág. 19. Abril de 1949.
- 8.—Holleman, A. F. "Tratado de Química Inorgánica" 1a. Ed. Pág. 107 Manuel Marín, Provenza 273. Barcelona (1924).
- 9.—"The Oil and Gas Journal" Mayo 4 de 1950. Pág. 138. Editorial Staff. Co. O. Wilson Editor. Vol. 48 No. 52.