

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

DIRECCION DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

GERENCIA DE PROCESOS QUIMICOS

Departamento de Química

ABSORCION DE H_2S GASEOSO MEDIANTE SUSPENSIONES
ACUOSAS DE CAL

Por: Pablo BRUZZONI, Juan COLLET, M.A. MOLINARI

ABSORCION DE H_2S GASEOSO MEDIANTE
SUSPENSIONES ACUOSAS DE CAL

Por: Pablo BRUZZONI, Juan COLLET y M.A. MOLINARI

RESUMEN

Se estudió el comportamiento de suspensiones de $Ca(OH)_2$ en agua en relación a la retención de H_2S gaseoso circulado a través de las mismas. Se ensayaron distintas calidades de cal, determinándose la eficiencia de retención en cada caso. Se encontró que la medición del pH es un mecanismo adecuado para controlar el proceso. Se evalúa la aptitud de este sistema químico para la eliminación en operación normal del H_2S en el Lazo experimental de circulación de sulfuro de hidrógeno instalado en el Centro Atómico Ezeiza.

División Fisicoquímica

- Junio 1979 -

I N D I C E

	Pág.
1.- INTRODUCCION	1
2.- FUNDAMENTO DEL METODO	3
3.- PARTE EXPERIMENTAL	4
3.1. Absorción de H_2S con suspensiones de $Ca(OH)_2$	4
3.1.1. Reactivos	4
3.1.2. Aparato	5
3.1.3. Descripción de una experiencia típica	5
3.1.4. Método de análisis	7
3.1.5. Resultados	10
3.2. Medición del pH del sistema $Ca(OH)_2/H_2S$	12
3.3. Curvas de titulación de las cales con ácido	14
4.- EVALUACION DE LOS RESULTADOS	15
4.1. Influencia del tipo de cal	15
4.2. Influencia del aparato usado	17
4.3. Influencia de la altura del líquido para un aparato dado	19
5.- CONSIDERACIONES SOBRE EL EQUIPO PARA ELIMINACION DE H_2S A INSTALAR EN EL LECS	20
5.1. Absorbedor con suspensión de $Ca(OH)_2$	20
5.2. Comparación entre los agentes químicos propuestos para la eliminación de H_2S (en operación normal) en el Lazo Experimental (LECS)	23
6.- CONCLUSIONES	24
7.- BIBLIOGRAFIA	25
FIGURAS: N° 1 al N° 9	26-34
ANEXO I: Tratamiento de los datos experimentales	35
ANEXO II: Cálculo teórico de la evolución del pH en función de la cantidad de H_2S absorbido en la trampa de $Ca(OH)_2$	38

1.- INTRODUCCION

La operación de un equipo para manipular cantidades considerables de sulfuro de hidrógeno implica la necesidad de contar con un sistema de eliminación de dicho gas, dada la toxicidad e inflamabilidad del mismo. Tal es el caso del Lazo experimental de circulación de sulfuro de hidrógeno (LECS) instalado en el Centro Atómico Ezeiza (3), el cual contendrá durante su operación unos 3,5 kg de H_2S gaseoso a una presión de 20 atm y una temperatura de $30^{\circ}C$.

Se prevén para el mismo, dos sistemas de eliminación: Uno, de emergencia, para actuar en caso de escapes imprevistos, eliminando en forma rápida altas cantidades de H_2S , y el segundo, de operación normal, es decir para evacuar el H_2S contenido en el equipo en forma controlada.

Nos ocupa en este informe el segundo caso, para el cual se usará un sistema de eliminación basado en uno de estos tres agentes químicos: hipoclorito de sodio, hidróxido de sodio o hidróxido de calcio. Sobre los dos primeros, se dispone de abundante información en bibliografía y trabajos previos (4), no así sobre el hidróxido de calcio.

Por ello, se estudiaron los siguientes aspectos:

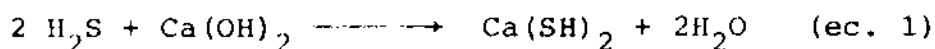
- a) Determinación de la eficiencia de retención y rendimiento de absorción de sulfuro de hidrógeno con distintas cales y en distintas condiciones.
- b) Estudio de la evolución del pH durante el proceso de absorción, y su dependencia con la concentración de sulfuros.
- c) Curvas de titulación con HCl de las distintas cales y correlación con su comportamiento frente al H_2S .

En base a los resultados experimentales se determi-

naron las dimensiones y condiciones de operación que debería tener el equipo absorbedor a instalarse en el Centro Atómico Ezeiza, si se adopta el hidróxido de calcio como agente químico.

2.- FUNDAMENTO DEL METODO

La utilización de suspensiones acuosas de Ca(OH)_2 para la eliminación de H_2S , se basa en la siguiente reacción ácido-base:

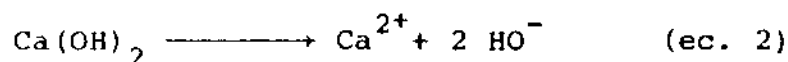


El Ca(OH)_2 , debido a su escasa solubilidad en agua (0,022 mol/l a 20°C), se mantiene en suspensión, con un pH teórico de 12,8. Este valor está dentro del rango de pH en que predominan las especies HS^- y S^{2-} , por lo tanto es factible la absorción de H_2S que burbujee a través del medio.

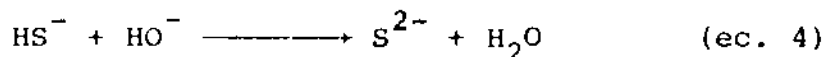
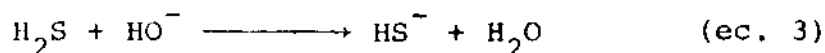
De acuerdo con cálculos realizados en base a constantes de acidez y productos de solubilidad (Anexo II), los agregados sucesivos de H_2S modifican levemente el pH hasta llegar a la saturación. En este punto se completa la disolución del Ca(OH)_2 presente y el pH desciende bruscamente (Fig. 8, curva teórica).

Los pasos que tienen lugar en el proceso de absorción son:

1) Disolución del Ca(OH)_2 :



2) Reacción del H_2S con los HO^- producidos:



fijándose el H_2S en forma de las especies iónicas HS^- y S^{2-} .

La reacción (4) se desplaza hacia la derecha a pH altos, pero se revierte a medida que avanza el proceso y disminuye el pH. Los HO^- consumidos por las reacciones (3) y (4) permiten la disolución de más Ca(OH)_2 por desplazamiento del equilibrio en la ec. 2.

El resultado global del proceso es la reacción (1).

3.- PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Absorción de H_2S con suspensiones de Ca(OH)_2

3.1.1. Reactivos

H_2S : Marca "Air Products"; Pureza: 99,7%; trasvasado por destilación del cilindro original al cilindro de laboratorio.

Ca(OH)_2 : las experiencias realizadas se llevaron a cabo con cuatro tipos distintos de cal:

1. Ca(OH)_2 p.a. marca "Mallinckrodt"
2. Cal pulverizada para blanqueo, marca "Jeep"
3. Cal para construcción, marca "Milagro"
4. Cal viva

La División Química Analítica realizó análisis sobre las cales empleadas, cuyos resultados son los siguientes:

Tipo de cal	Consumo de HCl (equiv/g)	Ca expresado como Ca(OH)_2 (%p/p)
Ca(OH)_2 p.a.	0,0265	98,70
Cal "Jeep"	0,0253	96,20
Cal "Milagro"	0,0270	64,08
Cal viva	0,0254	92,30 (*)

(*) referido a la masa equivalente de Ca(OH)_2

3.1.2. Aparato

El sistema usado para los ensayos se esquematiza en la Fig. 1. En dicho sistema, el gas circulante pasa sucesivamente a través de un rotámetro, un frasco lavador conteniendo cantidades variables de suspensión 10% p/p de Ca(OH)_2 (llamado trampa de cal, Figs. 1 y 2) y un segundo frasco lavador con 150 g de solución 10% p/p de NaOH (o trampa de NaOH).

En el apartado 4.2. se detallan las variantes empleadas y su influencia sobre la eficiencia.

3.1.3. Descripción de una experiencia típica

Se llenan ambas trampas con las sustancias correspondientes y se agitan con agitador magnético. En el caso de la trampa de cal, la agitación es imprescindible para mantener al Ca(OH)_2 en suspensión. Se hace circular nitrógeno, verificando la ausencia de fugas. Una vez purgado el equipo, se inicia el pasaje de H_2S por medio de la válvula de dos vías. Se mantiene la circulación de H_2S durante 30 minutos con un caudal nominal de 0,3 litros por minuto (ver Nota 1). A intervalos fijados, se extraen muestras por los robinetes de las trampas, desechando la primera porción del material a fin de realizar un barrido en el conducto de toma de muestra. Además periódicamente se controla la ausencia de H_2S a la salida de la segunda trampa mediante un papel de filtro embebido en solución de acetato de plomo. Cuando la trampa de cal llega a la saturación, se interrumpe el pasaje de H_2S y se vuelve a pasar nitrógeno a fin de evitar reabsorciones. (ver Nota 2).

Notas:

- (1) El caudal nominal (leído en el rotámetro) fue de 0,3 litros por minuto en todas las experiencias. Sin em-

bargo, en base a la pérdida de peso del cilindro de H_2S , se calculó un caudal 30-60% mayor, esto es, aproximadamente, 0,4-0,45 litros por minuto.

<u>EXPERIENCIA</u> <u>Nº</u>	<u>FECHA</u>	<u>RELACION CAUDAL POR</u> <u>PERDIDA DE PESO : CAU-</u> <u>DAL LEIDO</u>
3	31/10/78	1,6
4	16/11/78	1,5
5	29/11/78	1,3
6	15/12/78	1,4
7	19/12/78	1,4
8	26/ 1/79	1,3
9	23/ 3/79	1,3

Asimismo, la masa de H_2S determinada por diferencia de peso del cilindro resultó superior al valor calculado en base a los análisis del H_2S presente en ambas trampas al final de la experiencia (diferencia máxima: 23%, exp. Nº 3; diferencia mínima: 1,5%, exp. Nº 8). No se ha determinado fehacientemente la causa de estas diferencias.

Con el valor fijado para el caudal, se consiguió un burbujeo adecuado a la vez que pudo alcanzarse la saturación en un tiempo conveniente (30-40 minutos).

El caudal se reguló mediante la válvula-aguja del cilindro de H_2S registrándose variaciones de $\pm 20\%$ aproximadamente en el mismo, a lo largo de una experiencia.

- (2) A medida que la trampa de cal se saturaba, se observó en ella la aparición de un color verdoso de intensidad creciente. Cuando la saturación se completó, quedó en la trampa un precipitado color verde oscuro. Se decidió estudiar este precipitado, dado su aspecto voluminoso y por lo tanto su posible influencia en el manipuleo en mayor escala del efluente. Para ello, al final de una de las experiencias se filtró el pre-

precipitado, se lavó y colocó en desecador durante 90 horas a una temperatura de 25°C y una presión absoluta de 10 Torr. Después de este tratamiento el peso del precipitado no era significativo (sólo un 0,2% del peso inicial de la cal empleada en la experiencia). Por espectrografía de chispa se determinó que los componentes catiónicos mayoritarios del precipitado verde eran Ca, Mg, Al y Si.

3.1.4. Método de análisis

En todas las experiencias se determinó por iodometría la suma de concentraciones de S^{2-} , HS^- y H_2S , en ambas trampas y a distintos tiempos. Los resultados se expresaron como H_2S , % p/p.

3.1.4.1. Reactivos utilizados

Soluciones de: I_2 0,1 N
 $Na_2S_2O_3$ 0,1N
 $K_2Cr_2O_7$ 0,1N
Acido acético 10%
Almidón 1%

3.1.4.2. Técnicas para preparación y valoración de las soluciones

Se tomaron de ref. 2, pág. 457 en adelante.

El dicromato de potasio se utilizó como patrón primario para la valoración de tiosulfato de sodio.

3.1.4.3. Método de toma de muestra

Esta operación se realizó mediante los robinetes u-

bicados en la parte inferior de ambas trampas (ver Fig. 1 y 2) (ver nota).

Las muestras fueron tomadas en recipientes (vasos o matraces) previamente tarados, determinando su masa por diferencia de peso.

Generalmente, en cada experiencia se extrajeron cuatro muestras de la trampa de cal y ocho de la de NaOH, tomándose las muestras de cal simultáneamente a las muestras pares de NaOH.

Los intervalos de tiempo entre sucesivas tomas de muestra se fijaron de manera de cubrir uniformemente la evolución de la trampa hasta su saturación.

Nota:

Dado que la trampa de cal contenía una suspensión, existía la posibilidad de que la distribución de sólidos no fuera uniforme y, por lo tanto, las muestras tomadas no fueran representativas. A fin de aclarar este punto, se absorbieron ciertas cantidades de H_2S en dos trampas, que contenían respectivamente solución 10% de NaOH, y suspensión 10% de $Ca(OH)_2$. De cada trampa se extrajeron seis muestras, determinando en ellas la concentración de H_2S . Con esos datos se calcularon el promedio y la desviación standard absoluta y relativa para ambas trampas:

<u>NaOH</u>	<u>$Ca(OH)_2$</u>
n = 6	n = 6
$\bar{X} = 45.682$ ppm	$\bar{X} = 39.553$ ppm
$\sigma = 97$ ppm	$\sigma = 222$ ppm
$\frac{100\sigma}{\bar{X}} = 0,21\%$	$\frac{100\sigma}{\bar{X}} = 0,56\%$

La reproducibilidad obtenida -si bien parece ser inferior cuando se trabaja con la suspensión- es completamente satisfactoria a los efectos del presente trabajo.

3.1.4.4. Técnica para determinación de H_2S

La cantidad de H_2S a titular por esta técnica es de 10-20 mg. Si se espera que la muestra tomada contenga una cantidad superior, debe realizarse una dilución y posterior toma de alícuota.

Se colocan en un erlenmeyer 20,00 ml de I_2 ; luego se agregan 2 ml de solución 10% de ácido acético, se mezcla y se vierte la solución de H_2S o sulfuro. Es importante respetar el orden de estas operaciones.

Se valora el iodo remanente con solución 0,1 N de tiosulfato de sodio, agregando 2 ml de solución de almidón en las proximidades del punto final; éste está dado por la desaparición del color azul. Se realiza un blanco, omitiendo el agregado de solución de sulfuro.

$$\text{Cálculos: } \%H_2S = \frac{1,7041 (V_b - V_x) N_t}{g} \frac{(V \text{ dilución})}{(V \text{ alícuota})}$$

donde V_b = mililitros de solución de tiosulfato gastados en el blanco

V_x = mililitros de solución de tiosulfato gastados en la muestra

N_t = normalidad de la solución de tiosulfato

g = gramos de muestra

V dilución = volumen (ml) a que se llevó la muestra al diluir

V alícuota = volumen (ml) de la alícuota tomada de la muestra diluída

Nota: el factor $(V \text{ dilución}) / (V \text{ alícuota})$ se emplea únicamente si hubo dilución y toma de alícuota.

3.1.5. Resultados

3.1.5.1. Evolución de la concentración de H_2S a lo largo de la absorción: Con los datos de concentración obtenidos por iodometría, se construyeron las curvas correspondientes en función del tiempo, para ambas trampas. Algunas de esas curvas se muestran en las Fig. 3, 4, 5 y 6.

3.1.5.2. Eficiencia promedio

Se calculó de acuerdo al Anexo I. Su dependencia con el grado de saturación se muestra en la Fig. 7, para las distintas cales usadas.

///...

3.1.5.3. Cuadro de resultados

Exp. N°	Fecha	Aparato (trampa de cal) (a)	Cal usada	Masa de suspensión gr	Eficiencia promedio % (f)	Rend. de la cal % (f)	Observ.
1	15/3/78	N° 1	Ca(OH) ₂ p.a.	150	88-91	-	(c) (e)
2	31/10/78	N° 2	Ca(OH) ₂ p.a.	150	96-98	-	(c)
3	16/11/78	(b)	Ca(OH) ₂ p.a.	370	-	-	(d)
4	29/11/78	N° 3	Ca(OH) ₂ p.a.	155	81-87	100	(d)
5	15/12/78	N° 3	Ca(OH) ₂ p.a.	200	88-91	95	(d)
6	19/12/78	N° 3	Cal "Jeep"	150	70-80	82	(d)
7	26/1/79	N° 3	Cal "Milagro"	150	48-68	50	(d)
8	23/3/79	N° 3	Cal viva	150	60-70	95	(d)

Notas:

- (a) Ver Figs. 1 y 2
- (b) Aparato tentativo para posibilitar la medición de pH-luego se reemplazó por el N° 3
- (c) No se llegó a saturación
- (d) Se registró el pH
- (e) Las muestras no se diluyeron
- (f) Ver Fig. 7

3.2. Medición del pH del sistema $\text{Ca(OH)}_2/\text{H}_2\text{S}$

Las mediciones del pH se llevaron a cabo mediante el dispositivo que indica la Fig. N° 2. Se utilizó un pH-metro marca ALTRONIX y un registrador VARIAN G-1000 en el rango de 0-20 mV.

De esta forma se obtuvieron curvas que muestran la evolución del pH a lo largo del proceso de absorción en la suspensión de cal (Ver Figs. 3, 4, 5, 6).

Estos ensayos tuvieron la siguiente finalidad:

- a) para una cal dada, conocer la concentración aproximada de H_2S por medio del pH, previa realización de una curva de calibración. Una curva teórica elaborada previamente (cuyo cálculo se detalla en el Anexo II) indica que esto es factible y el método sería sensible especialmente en la primera etapa de la absorción, es decir con poca cantidad de H_2S absorbido.
- b) Proveer un sistema de control, para: 1) conocer el momento en que la trampa está próxima a agotarse; 2) verificar la existencia de condiciones alcalinas en el sistema.

Resultados

- a) Se utilizó para este fin, Ca(OH)_2 p.a., representando las curvas de concentración de H_2S en función del pH, correspondientes a las experiencias N° 3, 4 y 5 (Fig. 8). Las curvas experimentales coincidieron apreciablemente, especialmente las N° 3 y 4, produciéndose una diferencia máxima del 20% en la concentración de H_2S con la curva teórica.
Esta diferencia es atribuible a la relativa validez de las suposiciones hechas para el cálculo (ver Anexo II), y a que el sistema no llega al equilibrio en

las condiciones de flujo empleadas (Ver también apartados 4.1. y 3.3.).

En la Fig. 8 se representan también las curvas obtenidas para las demás cales ensayadas.

En conclusión, la medición del pH como método para determinar la concentración de H_2S , tiene las siguientes ventajas y desventajas comparado con la iodometría:

Ventajas

- Registro continuo del pH con la posibilidad de conocer la concentración de H_2S en cualquier instante, sin necesidad de extraer muestra.
- Ahorro de tiempo y materiales al no tener que realizar titulaciones.

Desventajas

- El dato de concentración obtenido es sólo aproximado.
 - Debe prestarse especial atención a la calibración del pH-metro.
 - Una curva de calibración sirve sólo para una determinada calidad de cal.
- b) Poco antes de la saturación completa, se observa una brusca caída del pH (aproximadamente desde 11 hasta 8,5) que corresponde presumiblemente a la disolución completa de la cal o de la porción activa del material lo cual constituye una buena indicación del agotamiento de la trampa (ver Figs. 3, 4, 5, 6).
- c) Mientras la trampa es eficaz, el pH se mantiene siempre superior a 11. Para este valor del pH, las especies predominantes deben ser HS^- y S^{2-} , permitiendo la retención del H_2S .

3.3. Curvas de titulación de las cales con ácido

En realidad, los datos del análisis cuantitativo (3.1.1.) dan una idea de las propiedades alcalinas, pero no de la cinética de disolución de cada cal, que es en principio el factor que regula las eficiencias de cada trampa desde el punto de vista químico.

Para tener una idea de la cinética de disolución de las distintas cales se llevó a cabo, con cada una de ellas, la siguiente experiencia (Fig. 9):

En un erlenmeyer se colocaron 1,5 g de cal. Se agregó agua para formar la suspensión y se valoró con HCl 1N, de la siguiente manera: A la suspensión agitada se le agrega un volumen fijo de solución de HCl, y se espera que el pH se estabilice. Se tabula el valor y luego se vuelve a agregar HCl, y así sucesivamente hasta sobrepasar el punto final y llegar a la zona en que el pH se mantiene prácticamente constante con el agregado de HCl.

De la observación de las curvas resultantes (Fig. 9) se desprende que, especialmente en el caso de la cal "Milagro", el consumo de ácido por este método es sustancialmente inferior al que puede esperarse de acuerdo al dato de análisis. Esto prueba que la cinética de disolución es un factor muy importante en el proceso de neutralización de la cal. Algo similar, aunque en menor medida, sucede con la cal viva y con la cal "Jeep".

También se verifica cierta relación entre estos datos y los valores de eficiencia y rendimiento obtenidos en las experiencias con H_2S , según el cuadro que sigue:

///...

Tipo de Cal	Consumo de HCL		Pto. final titul. eq/g (III)	III I (%)	Rendimiento (%)	Eficiencia promedio (%)
	Teórico equiv/g (I)	Real equiv/g (II)				
p.a.	0,027	0,0265	0,0261	96,7	100	81-87
Jeep	0,027	0,0253	0,0222	82,2	82	70-80
Milagro	0,027	0,0270	0,0140	52,0	50	48-68
Viva	0,027	0,0254	0,0211	78,1	95	60-70

4.- EVALUACION DE LOS RESULTADOS

4.1. Influencia del tipo de cal

Se compararon cuatro tipos de cal diferentes. En los apartados 3.1.1. y 3.3. se tabulan los datos de análisis de las cales usadas, así como los resultados de ensayos adicionales realizados.

4.1.1. Condiciones usadas

- Aparato: N° 3
- Masa de suspensión: 150 g
- Masa de cal: 15 g (En el caso de la cal viva:

$$15 \text{ g} \times \frac{\text{P.M. CaO}}{\text{P.M. Ca(OH)}_2} = 11,34 \text{ g.})$$
- Caudal: 0,3 litros por minuto de H₂S puro (nominal)

4.1.2. Resultados

Exp. N°	Fecha	Tipo de cal	Eficiencia promedio	Rendi- miento
4	29/11/78	Hidróxido de calcio p.a. marca "Mallindkrodt"	81-87%	100%
6	19/12/78	Cal para blanqueo pulverizada marca "Jeep"	70-80%	82%
7	26/1/79	Cal para construcción marca "Milagro"	48-68%	50%
8	23/3/79	Cal viva	60-70%	95%

4.1.3. Comentarios

Las cales comerciales estudiadas tienen propiedades inferiores que las del Ca(OH)_2 p.a.

De acuerdo al cuadro anterior, las cales usadas se ordenan de la siguiente forma:

a) En orden decreciente de eficiencia (o sea, H_2S retenido en relación al total circulado):

- 1° Ca(OH)_2 p.a.
- 2° Cal "Jeep"
- 3° Cal viva
- 4° Cal "Milagro"

b) En orden decreciente de rendimiento (o capacidad experimental de retención de H_2S en relación al valor estequiométrico):

- 1° Ca(OH)_2 p.a.
- 2° Cal viva
- 3° Cal "Jeep"
- 4° Cal "Milagro"

Debe tenerse en cuenta que la cal viva usada presentaba material inerte en forma de piedras que fueron separadas antes de realizar la experiencia.

El resultado poco satisfactorio de la cal "Milagro" confirma que una porción del material es inerte, o bien se comporta como tal debido a una muy baja velocidad de disolución en relación al caudal de H_2S . Esta conclusión se ve reforzada por el resultado del análisis químico: solamente un 62% de $Ca(OH)_2$ en la cal mencionada.

La cal viva tiene un rendimiento elevado, pero no es aconsejable por la dificultad inherente a las operaciones a realizar (separación de trozos inertes y posterior apagado), y por su baja eficiencia.

La cal "Jeep" es la cal comercial que mejor se comporta, aunque de todos modos resultó ser muy inferior al hidróxido de calcio para análisis.

4.2. Influencia del aparato usado

En las experiencias se usaron tres tipos distintos de absorbedor:

Aparato N° 1 (Fig. 1): Era un frasco lavador convencional, con una salida lateral con robinete para toma de muestras. El único elemento que penetraba en la suspensión era un tubo de burbujeo. Para mejorar la dispersión del gas se usó una placa filtrante soldada al extremo del tubo de burbujeo.

Aparato N° 2 (Fig. 1): Similar al N° 1, salvo que se eliminó la placa filtrante; la dispersión del gas se efectuaba por medio de pequeños agujeros laterales en el extremo del tubo de burbujeo.

Aparato N° 3 (Fig. 2): En este aparato penetraban dos elementos en la suspensión: un electrodo de vidrio por la parte superior, y el tubo de burbujeo (provisto de pe-

queños agujeros) en forma lateral.

Entre los tres aparatos existían diferencias: 1) geométricas; 2) en el sistema de dispersión del gas; 3) en la agitación, influenciada por la presencia de objetos sumergidos en la suspensión.

4.2.1. Condiciones usadas

Masa de la suspensión: variable, de manera tal de
fijar la misma altura de líquido en los tres aparatos.
Masa de cal: 10% en peso
Cal usada: Ca(OH)_2 p.a.
Caudal: 0,3 litros por minuto de
 H_2S puro (nominal)

4.2.2. Resultados

Experiencia	Fecha	Masa de suspensión	Aparato usado	Eficiencia promedio
1	10/3/78	150 g	Nº 1	88-91%
2	31/10/78	150 g	Nº 2	96-98%
5	15/12/78	200 g	Nº 3	88-91%

4.2.3. Comentarios

La disminución de la eficiencia en el aparato Nº 3 se atribuye a la presencia del electrodo y el tubo de burbujeo en forma horizontal, que impiden obtener una agitación tan intensa como en los aparatos Nº 1 y Nº 2.

De la comparación entre estos dos últimos aparatos, se concluye que el sistema de dispersión por medio de