

Tratamiento de sodas gastadas sulfhídricas

Una solución práctica a un problema de contaminación, en el cual se cumplen más de los objetivos previstos ya que la "soda gastada" se puede reutilizar en varias plantas. Para este fin se realizó una caracterización de las "sodas gastadas sulfhídricas" y tres tratamientos a nivel de laboratorio y planta piloto: neutralización, aireación catalizada y oxidación catalizada.

ALEJANDRO FIERRO FRANCO
 JOSE GUILLERMO LEON FLOREZ
 JAVIER RODRIGUEZ GONZALEZ
 ALFONSO CONDE COTES.
 Ing. Químico, M. Sc., Ph.D. en Ing. Qca.
 Universidad Nacional

La soda cáustica es empleada profusamente en las refinерías de petróleo y otras industrias químicas, ya que es un agente despojador de impurezas tales como el ácido sulfhídrico, mercaptanos, ácidos nafténicos, tiofenoles, tiocresoles, tioxilenoles y algunas otras en menor proporción como carbonatos, amoníaco, fenoles y cianuros, que pueden causar problemas graves de corrosión en los equipos o en la desactivación de los catalizadores propios de estas industrias; además de dañar la calidad del producto final en aspectos tan variados como: olor, color, consistencia, acidez, corrosividad, viscosidad, etc.

Dependiendo de las corrientes a ser tratadas con soda resultan los diferentes tipos de ésta:

Sodas sulfhídricas: ricas en sulfuros, disulfuros y mercáptidos de sodio.

Sodas fenólicas: ricas en fenolatos, cresolatos y xilenolatos de sodio con sus respectivos compuestos de azufre.

Sodas nafténicas: ricas en naftenatos de sodio.

Una vez que la soda cáustica ha cumplido su tarea de retirar los contaminantes, adquiere el nombre de gastada, y es conducida por el sistema de aguas residuales hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, donde dos galones por minuto de "soda gastada" se mezclan con 500 galones por minuto de agua residual, para someterse a los procesos de tratamiento hasta ahora disponibles como son: neutralización, floculación, coagulación, flotación con aire disuelto y estabilización final; esta mezcla causa problemas tales como corrosión de equipos y sistemas de conducción, además del desprendimiento de gases de azufre.

Este proyecto se centra en el estudio de las sodas sulfhídricas gastadas, por ser actualmente las de mayor potencial contaminante ya que carecen de un adecuado pretratamiento, mientras que las fenólicas y las nafténicas ya tienen los suyos propios y su disposición final. La soda también reacciona con los fenoles formando los respectivos fenóxidos.

El trabajo está dividido en cuatro partes:

Investigación bibliográfica

En la que se adquieren los conceptos básicos y la terminología propia de este tópicó poco tratado; se obtienen patentes y artículos de revistas de otros

países. Cabe destacar el libro **AQUEDUS WAS-
TES** de R. Beychok, el cual fué básico en el desarro-
llo de todo el proyecto.

Caracterización

En la que se determinan las corrientes a tratar, concentraciones, parámetros de contaminación y volúmenes vertidos por cada planta.

Tratamientos

Con los datos que arroja la caracterización se hace el diseño, construcción, y puesta en marcha de la planta piloto, para la oxidación de las sodas gastadas y paralelamente se adelantan los trata-
mientos de neutralización y aireación catalizada a nivel de laboratorio.

Conclusiones y recomendaciones

Elaboración de un informe final y exposición dando a conocer los resultados obtenidos.

DESARROLLO

Caracterización (Ref. 2, 9)

Los volúmenes de soda gastada disponibles se encuentran en la Tabla I, mostrándose el promedio mensual producido por cada planta. El total promedio es aproximadamente de 2.100 barriles/mes.

TABLA I

Planta	BPM	%
Ruptura catalítica Nº 1	690	33.0
Ruptura catalítica Nº 2	460	21.9
Etileno Nº 2	55	2.6
Ruptura catalítica Nº 3	130	6.2
Tratamiento con soda y planta de disolventes	550	26.3
Planta de alquilbenceno 12	150	7.1
Aromáticos (unid. hidrogenación)	60	2.9

A todos los efluentes se les hizo cuatro muestreos en diferentes vías y en el momento de hacer el

cambio correspondiente de soda.

A continuación se enumeran los análisis de laboratorio que conforman la caracterización, los cuales fueron hechos por duplicado.

- Densidad (picnómetro)
- Porcentaje de gastado (titulación doble indicador)
- Alcalinidad total (titulación)
- Bases débiles (titulación)
- Bases fuertes (titulación)
- Sulfuros y mercaptanos (potenciómetro)
- Demanda química de oxígeno (dicromato de potasio)
- Fenoles, tiofenoles totales (espectrofotometría UV)
- pH (potenciómetro)
- Hidrocarburos (espectrofotometría infrarrojo)
- Sólidos suspendidos y sedimentables (gravimetría)
- Sólidos totales (gravimetría)
- Nitrógeno amoniacal (destilación y titulación)

Los resultados de la caracterización se recopilan en la Tabla II, de la cual se puede destacar lo siguiente:

1. El contenido de sulfuros y mercaptanos, expresados como porcentaje en peso de azufre, es en promedio 2%; siendo apreciable el alto contenido en las muestras de la Planta de Tratamiento del Hidrógeno de Carga en la Planta de Aromáticos y en el Tratamiento de Propano (Ruptura catalítica) que sobrepasan el 8%.
2. La demanda química de oxígeno DQO de todas las corrientes superan el valor de 25.000 partes por millón (ppm); alcanzando valores tan altos como 250.000 ppm. en la corriente de prelavado de la nafta de la Unidad de Viscorreducción, aunque este efluente representa sólo el 6.2% del volumen total.
3. El contenido de fenoles y tiofenoles totales alcanzan valores de 15.000 y 25.000 ppm. en las muestras del tratamiento de naftas vírgenes

TABLA II
Caracterización

Parámetros	Alcal. 7 %wNaOH	Bas. F %wNaOH	Bas. Deb %wNaOH	DQO ppm	Dens. gr/cc	Fenotl T ppm	Hidrol. ppm	Marcapt %wS	N. Amon. ppm	pH	S. SF. SD %w	Sol. Tot. %w	Sulfur. %w S	
Efluentes														
Etileno	19.8	13.2	6.6	25088	1.22	896	33.5	975	1.03	0	13.4	1.04	23.4	1.10
Etileno Nº 1	19.9	9.3	10.5	46913	1.26	400	53.3	926	0.37	0	11.2	1.50	27.4	0.90
GLP Ruptura														
Catalítica Nº 2	20.1	17.2	2.9	61098	1.20	4440	14.3	2677	0.89	0	13.3	1.24	26.8	1.36
Naftas-virgenes	12.2	8.3	3.9	127213	1.13	13490	31.9	75962	0.78	0	13.2	1.36	19.5	1.18
Olefinas Rupt.														
Catalítica Nº 1	21.0	11.6	9.6	148168	1.21	4329	45.4	15087	4.30	0	13.5	1.98	37.3	2.00
Propano Rupt														
Catalítica Nº 1	17.9	8.8	9.1	134229	1.13	4280	52.8	681	1.41	159	13.1	1.36	22.7	9.08
Naftas de														
Viscorreducción	5.3	1.8	3.5	249542	1.04	26995	65.6	161100	0.36	0	11.9	0.81	15.6	0.36
Planta														
Alquil-benceno A	11.8	9.3	2.6	633796	1.11	1417	19.9	466	2.13	0	13.0	1.01	16.5	1.77
Planta														
Alquil-benceno B	10.5	8.5	2.0	28864	1.10	1126	18.9	1560	1.20	0	13.3	0.90	11.8	1.35
Planta														
Alquil-benceno C	9.4	7.2	2.2	35134	1.10	1318	23.2	1195	1.33	0	13.4	1.37	12.7	1.07
Aromáticos	10.1	3.8	6.3	107320	1.08	1053	61.8	1434	2.33	0	13.0	1.05	17.0	6.22

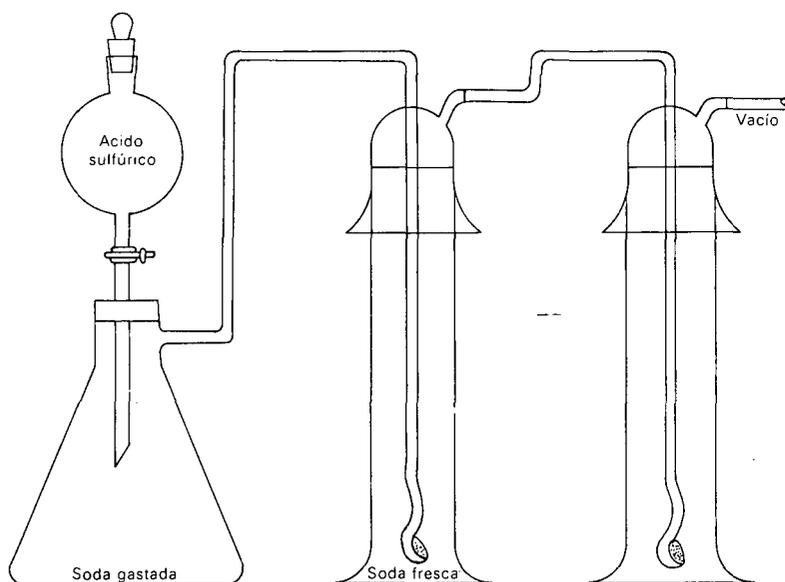


FIGURA 1. Equipo de neutralización.

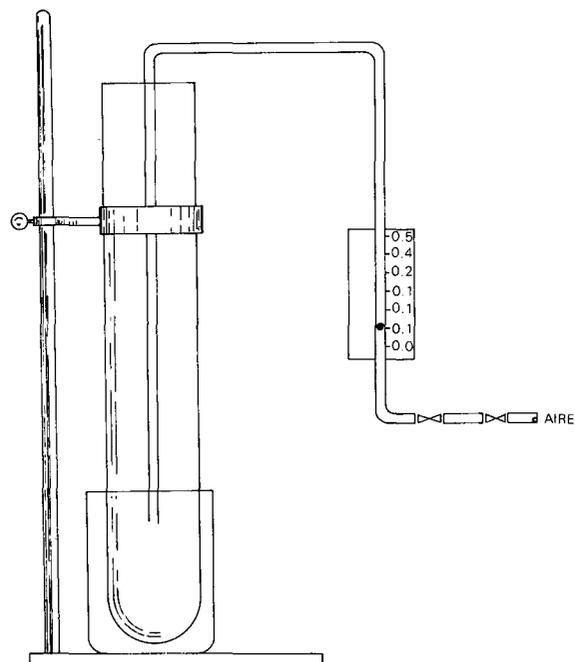


FIGURA 2. Equipo de aireación.

de la Planta de Tratamiento con Soda y en la de Nafta de Unidad de Viscosreducción.

- El contenido de fenoles es proporcional al de hidrocarburos; las corrientes con mayor cantidad de hidrocarburos son: Tratamiento de la Nafta de la Unidad de Viscosreducción con 161.000 ppm. y en la de Naftas Vírgenes con 76.000 ppm. La primera de éstas presenta hidrocarburos pesados separables por decantación, en las demás sólo hay hidrocarburos livianos y solubles en la soda.
- En lo que hace referencia al porcentaje de gastado se puede observar un amplio rango en los valores de las diferentes muestras: 60% o más en la muestra de soda de la Unidad de Ruptura Catalítica N° 3 y en la Planta de Aromáticos; 30 a 50% en la mayoría; y 20% o menos en el tratamiento del gas licuado del petróleo (GLP) de la Planta de Ruptura Catalítica N° 2 y tratamiento de GLP de la Planta de Alquilbencenos.
- La única muestra que presenta nitrógeno amoniacal es la soda de tratamiento de propano en la Planta de Ruptura Catalítica N° 1.

Neutralización (Ref. 1, 2)

El objetivo de este tratamiento es la remoción del sulfuro de sodio, al reaccionar con el ácido sulfúrico concentrado, produciendo la liberación de ácido sulfhídrico gaseoso al cual es necesario determinar la calidad, para poder recomendar su disposición final, que puede ser el envío a la Planta de Recuperación de Azufre o a la de Producción de Acido Sulfúrico.

Este es un tratamiento muy utilizado en refinerías de USA que poseen los medios adecuados para la disposición de los gases que se liberan.

Este tratamiento se llevó a cabo a nivel de laboratorio, en un sistema cerrado, consistente en un frasco

de vidrio donde se produce la reacción al ser agregado muy lentamente el ácido sulfúrico concentrado, éste se conecta con dos burbujeadores colocados en serie los cuales contienen soda fresca del 30% en peso, con el objeto de retener los gases liberados para su posterior análisis.

El ácido utilizado es de dos calidades: fresco y gastado. El primero es el que alimenta a la planta de alquilación, utilizado como catalizador mientras el segundo es el ácido que ya ha sido utilizado.

Las muestras seleccionadas para este tratamiento son: soda de tratamiento de propano (Ruptura Catalítica N° 1), soda de prelavado de la Nafta de la Unidad de Viscosreducción y la soda de la Planta de Etileno N° 2. El criterio de selección de las muestras se hizo con base en la caracterización, es decir, se tomaron las muestras más representativas en cuanto a la concentración de contaminantes: la de mayor contenido de sulfuros, la de mayor cantidad de fenoles e hidrocarburos y la de menor grado de contaminación.

Una vez terminada la reacción se aprecia la formación de un lodo compuesto por hidrocarburos, fenoles y sólidos, principalmente; este lodo puede separarse muy fácilmente por filtración, ya que se produce en pequeña cantidad de consistencia muy fina.

En la Figura 1, se aprecia un esquema simplificado del montaje hecho para este tratamiento. En la Tabla III, se consignan los resultados obtenidos, de los cuales se destaca:

- La remoción de sulfuros es en todos los casos del 100%, mientras que la de mercaptanos sólo alcanza este porcentaje luego de haber filtrado el efluente final, los pocos mercaptanos que quedan en el lodo son aproximadamente el 6% del removido.
- Las diferencias entre los porcentajes de remo-

TABLA III
Neutralización
Acido sulfúrico gastado

Efluente	Ruptura catalítica Nº 1					Nafta viscorreducción					Etileno Nº 2				
	DQO mgr.	Fenol T mgr.	Hidroc. lit.	Mercap. gr.	Sulfur. gr.	DQO mgr.	Fenol T mgr.	Hidroc. lit.	Mercap. gr.	Sulfur. gr.	DQO mgr.	Fenol T mgr.	Hidroc. lit.	Mercap. gr.	Sulfur. gr.
Soda inicial	55800	1560	699	10.32	28.8	101200	11785	63015	1.95	1.32	6100	85	619	2.22	1.9
Ef. sin filt.	92.5	3.8	62.5	97.3	100	37.8	2.8	1.73	83.3	100	83.0	24.0	75.2	96.9	100
% Remoción															
Ef. filtrado	94.4	93.4	70.1	98.5	100	93.4	99.3	76.4	100	100	84.6	60.3	82.8	100	100
% Remoción															
% Volumen	—	0.05	0.31	19.01	80.63	—	0.64	0.26	56.3	42.7	—	0.53	0.37	56.93	42.2
Gas neutral.															
Acido Sulfúrico fresco															
Soda inicial	55800	1560	195	10.32	28.8	101200	11785	62900	1.95	1.32	6100	85	249	2.22	1.9
Ef. sin filt.	98.8	16.5	40.3	98.3	100	32.9	4.4	3.8	90.5	100	90.0	53.8	36.3	97.2	100
% Remoción															
Ef. filtrado	99.1	88.5	53.4	100	100	93.3	99.4	79.0	100	100	93.0	73.9	59.2	100	100
% Remoción															
% Volumen	—	0.16	0.08	19.42	80.34	—	0.64	0.37	56.9	42.9	—	0.27	0.18	50.4	49.2
Gas neutral.															

TABLA IV
Aireación

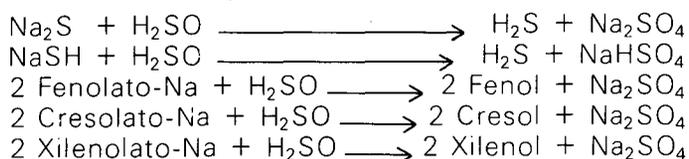
Tiempo	Contenido 0 horas	% Remoción 8 horas	% Remoción 16 horas	% Remoción 24 horas	% Remoción 48 horas	% Remoción 4 días	% Remoción 6 días	% Remoción 8 días	% Remoción 10 días
Parámetros									
DQO mgr	13500/ /13500	48.1/ /37.0	55.2/ /44.4	61.1/ /48.1	72.2/ /55.5	71.5/ /—	70.4/ /—	70.5/ /—	79.4/ /—
Fenoles T. mgr	1891/ /1891	26.7/ /3.2	32.3/ /5.5	32.3/ /11.0	46.8 /22.0	48.3/ /—	49.3/ /—	48.7/ /—	46.7/ /—
Hidrocarb. lit	6000/ /6000	30.0/ /7.5	33.3/ /15.0	35.4/ /18.3	40.8/ /28.3	35.0/ /—	32.5/ /—	32.5/ /—	32.5/ /—
Mercaptanos gr.	0.29/ /0.29	94.2/ /15.0	95.0/ /29.9	95.0/ /73.3	97.2 /73.9	97.6/ /—	97.8/ /—	97.6/ /—	97.6/ /—
Sulfuros gr.	0.33/ /0.33	100/ /80.4	100/ /90.4	100/ /100	100/ /100	100/ /—	100/ /—	100/ /—	100/ /—
NOTAS:	— Catalizador utilizado KMnO en concentraciones de 10/30 ppm. — Flujo de aire: 0.05 lit/min. — Volumen de soda en cada ensayo 449 ml. — Los símbolos — indican la no realización de estos ensayos.								

ción de los efluentes sin filtrar y filtrados son muy marcadas, principalmente en parámetros tales como DQO, cuando la muestra contiene en gran proporción fenoles e hidrocarburos ya que son los que componen el lodo residual.

3. En todos los casos la remoción de fenoles en la muestra filtrada es muy superior comparada con la muestra sin filtrar.

Comentarios

Las reacciones químicas de la neutralización son:



Los balances estequiométricos para calcular la cantidad de ácido necesario que garantice la

completa liberación del H₂S, usualmente da como resultado la adición de más ácido del necesario. Esto se aprecia al ver los valores de pH en el efluente final, oscilando entre 1 y 2. Se sabe que el H₂S es completamente liberado cuando el pH está abajo de 4.0.

El gas producido en la reacción (equivalente a 118.000 pies cúbicos por mes a nivel industrial) si bien es rico en H₂S, contiene cantidades apreciables de hidrocarburos y fenoles livianos que son despojados, lo que hace que las especificaciones estén fuera de las permitidas con respecto a los gases de H₂S que alimentan a la Planta de Producción de Acido Sulfúrico y a la de Recuperación de Azufre. Sin embargo, debido a los pequeños volúmenes producidos comparados con los cargados a estas plantas en la actualidad, es posible que se pueda inyectar a éstos; haciendo mínimo el inconveniente que presentan los compuestos indeseables.

Una parte importante en este tratamiento es el retiro del lodo formado, que se hace por filtración; limpiando apreciablemente el efluente final y removiendo principalmente fenoles y sólidos. En todos los casos el lodo es una pequeña proporción del efluente, lo que hace más viable su retiro, pero implicando su disposición final.

A nivel industrial este sistema requiere condiciones especiales de metalurgia; seguridad, equipos, y un sistema de refrigeración en el reactor.

Aireación (Ref. 1, 2, 3)

Este tratamiento busca oxidar los sulfuros y mercaptanos de sodio a formas más estables y menos contaminantes; a la presión atmosférica y temperatura ambiente. Consiste simplemente en el burbujeo de aire a través de un recipiente que contiene soda gastada, procurando un buen contacto líquido-gas, haciendo que la burbuja sea lo más fina posible.

La reacción de oxidación es efectiva sólo si se agrega un catalizador como el permanganato de potasio o el sulfato de manganeso, en cantidades de partes por millón, (Ref. 3).

Se debe anotar la gran formación de espuma durante el proceso, ésta sin embargo, puede ser eliminada por un antiespumante que no aumente la DQO. Usando silicón y un producto antiespumante se encuentra un aumento muy apreciable en la

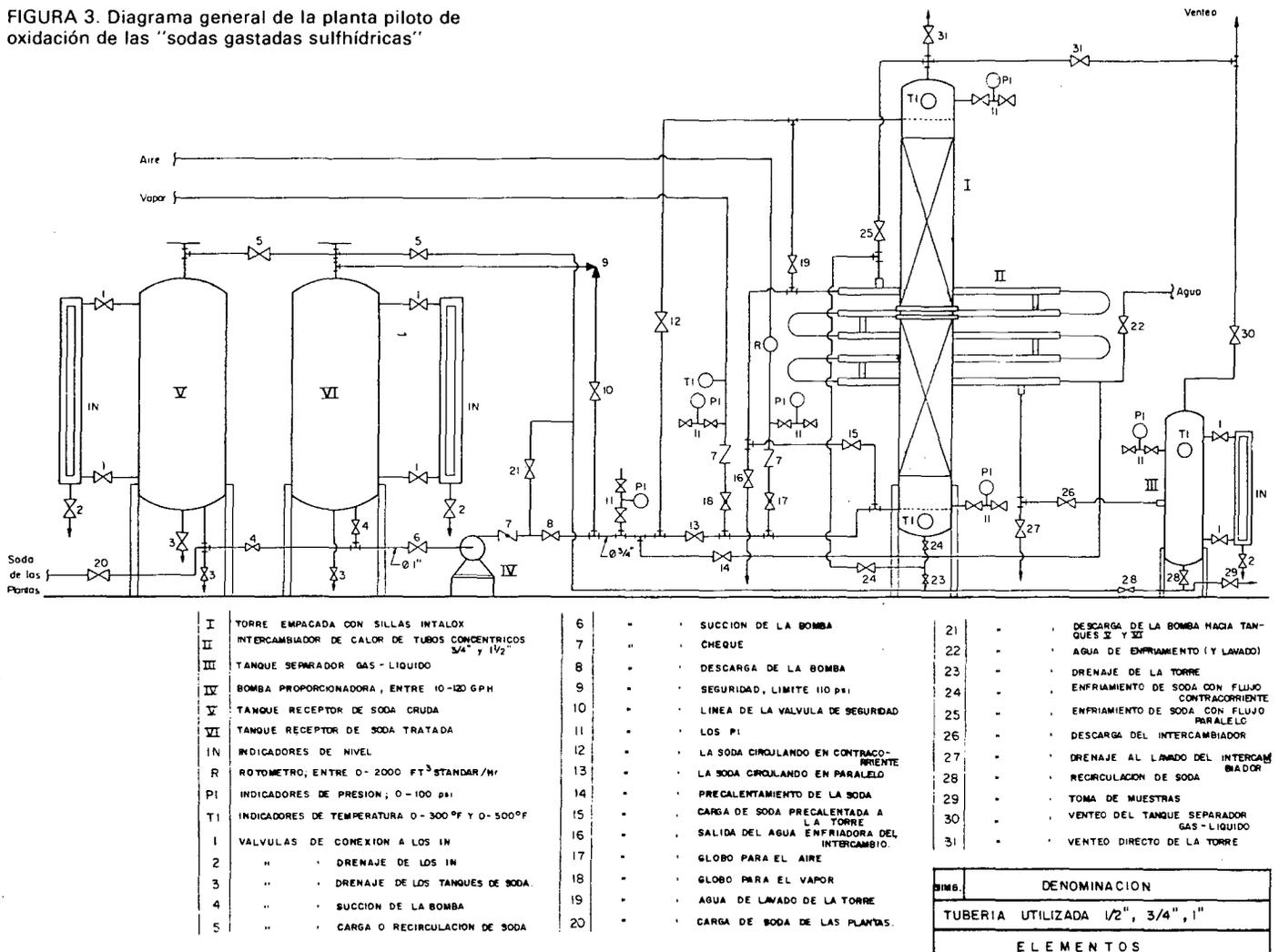
DQO, por esto es preferible la recolección de la espuma desbordada para su posterior adición de nuevo al recipiente donde se hace la aireación; este es un factor importante que debe tenerse en cuenta en el diseño industrial.

El flujo de aire para tratar 400 ml de soda gastada es de 0.05 litros/minuto, estando el sistema a 22°C.

Entre los dos catalizadores utilizados, el de mejores resultados es el $KMnO_4$ en cantidades de 10 ppm. En la Figura 2, se aprecia el montaje de dicho tratamiento. En la Tabla IV, se aprecian los resultados obtenidos y de los cuales se destaca:

1. La remoción de sulfuros es del 100% al cabo de 8 horas de operación, momento en el cual es apreciable el cambio de color de la soda gastada, de negro a amarillo claro, que es signo de tal remoción y con una apreciable disminución en el olor desagradable.
2. La disminución en la DQO es cercana al 50% y la de mercaptanos es del 94% al cabo de 8 horas.
3. El tiempo durante el cual se realizó el tratamiento fue de 10 días observándose que al cabo de dos días no se obtienen mejores resultados. En la Figura 3 se consignan las curvas de remoción de fenoles y DQO con sus respectivas regresiones que tratan de establecer su comportamiento.

FIGURA 3. Diagrama general de la planta piloto de oxidación de las "sodas gastadas sulfhídricas"



Comentarios

Este es un buen tratamiento para las sodas sulfhídricas gastadas debido a su bajo costo, facilidades de operación y a la sencillez de los equipos a usar.

La remoción de los diferentes contaminantes es satisfactoria hasta las 48 horas de operación. A partir de este momento las reacciones no se continúan.

Se realizaron ensayos con diferentes flujos de aire: entre 0.05 y 0.3 litros/minuto, sin obtener diferencias significativas en los rendimientos a lo largo de los diferentes tiempos de operación, por tal razón se escogió el menor.

El volumen de la piscina de oxidación se estima en 27 metros cúbicos y debe estar cubierta para evitar que la alta lluviosidad de la región ocasione derrames.

Se debe procurar que el tamaño de la burbuja sea mínimo. Boquillas de 1/32 de pulgada y la relación de profundidad a diámetro del tanque debe ser de 8.

Oxidación (Ref. 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8)

Es un proceso en el que se somete la soda gastada a una reacción de oxidación, a ciertas condiciones de temperatura y presión, usando aire como medio oxidante y vapor como medio de calentamiento. Una torre empacada para facilitar la transferencia de masa y el uso de un catalizador son parte importante en el tratamiento.

Las etapas seguidas para el desarrollo de este tratamiento fueron:

- Revisión bibliográfica de artículos, libros y patentes.
- Cálculos para los equipos requeridos: diseño de la planta piloto.
- Ingeniería de detalle: diseño de las partes internas de los equipos.
- Construcción y montaje.
- Pruebas de resistencia a la presión y temperatura de diseño.
- Corridas, análisis de laboratorio y resultados.

Los elementos constitutivos de la planta piloto son:

- Torre empacada: construida en acero al carbón capaz de soportar 8 atmósferas de presión y 120°C. Rellena con sillas INTALOX de cerámica química de 3/4". Su altura es de 3.2 m. y tiene aproximadamente 30 cm. de diámetro. Posee sus respectivos distribuidores y redistribuidores para líquido y gas, además de las facilidades para cambio del relleno. Puede trabajar con flujo paralelo o en contracorriente.
- Dos tambores, cada uno con capacidad para 420 litros, en los cuales se almacenan la carga o el producto, con sus respectivos indicadores de nivel y facilidades para drenado y limpieza.
- Una bomba proporcionadora, con capacidad hasta 455 litros/hora, la cual se puede graduar para obtener 68 litros/hora que es el flujo de operación del equipo.
- Un intercambiador de calor de doble tubo de 3/4" el tubo interno y 1 1/2" el externo, con una longitud total de 7.5 metros y 5 pasos.
- Un tambor separador de gas-líquido de 20.3 cm. de diámetro y 90 cm. de alto, construido en acero al carbón.
- Líneas de vapor, agua de enfriamiento, aire industrial, venteos, drenajes y medidores de flujo presión y temperatura.

Los parámetros de operación de la planta son:

- Flujo de la soda de carga: 68 litros/hora.
- Temperatura en el fondo de la torre: 94°C.
- Presión: 4 atmósferas manométricas.
- Tiempo de residencia a este flujo: 2 horas.
- Flujo de aire 6.800 litros standard/hora.

La forma de operar el equipo es la siguiente: la soda es inicialmente cargada a una caneca con capacidad de 210 litros, en forma manual, que pasa luego al tanque V (ver Figura 3) por medio de la bomba, en este punto es donde se agrega el catalizador; de ahí se alimenta a la torre y una vez llena ésta se inyecta el vapor hasta obtener la temperatura de operación en

TABLA V
Oxidación

Parámetros	DQO ppm	Fenol T ppm	Hidroc. ppm	Mercap. %wS	Sulfur. %wS	DQO ppm	Fenol T. ppm	Hidroc. ppm	Mercap. %wS	Sulfur. %wS	DQO ppm	Fenol T ppm	Hidroc. ppm	Mercap. %wS	Sulfur. %wS
Cataliz.	KMnO = 10 ppm paralelo					KMnO = 50 ppm paralelo					KMnO = 50 ppm contracorriente				
Contenido 0 horas	40320	5029	17500	1.65	1.74	33280	3690	19900	1.48	1.26	38720	4210	19000	1.57	13.5
% Remoción 2 horas	29.7	23.2	18.0	59.4	81.0	20.7	24.5	6.3	15.8	81.3	13.9	3.3	1.2	18.7	32.3
% Remoción 4 horas	60.9	31.0	37.0	91.0	100	28.9	26.9	14.3	37.9	100	24.1	9.8	4.6	69.7	100
% Remoción 6 horas	68.6	35.9	39.2	91.5	100	52.5	34.7	16.7	78.7	100	41.6	26.1	27.2	84.8	100
Cataliz.	FeCl = 30 ppm paralelo					FeCl = 60 ppm paralelo					FeCl = 90 ppm paralelo				
Contenido 0 horas	34560	4606	19000	1.46	1.32	41600	3380	18000	1.26	0.97	35200	4890	20100	1.03	1.88
% Remoción 2 horas	7.6	2.7	23.2	36.1	21.4	54.2	3.8	33.0	38.1	90.1	11.2	5.6	3.1	4.8	17.3
% Remoción 4 horas	43.9	4.0	40.9	83.6	92.0	73.4	15.1	59.4	96.7	100	30.6	7.9	3.5	10.3	21.4
% Remoción 6 horas	63.4	7.1	49.8	90.4	100	80.3	21.4	60.6	91.0	100	41.9	10.6	27.1	17.7	39.7

el fondo; momento en el cual se comienza la inyección del aire al flujo indicado. Al cabo de dos horas se obtiene la primera muestra de soda tratada y se sigue almacenando la soda producto, en el tanque VI. Una vez recolectada toda la soda, se procede a repetir la operación con el objeto de someter la soda a otras dos horas de residencia, lo que da como resultado una soda con cuatro horas de tratamiento. Repitiendo esto una vez más se obtiene la llamada soda con 6 horas tiempo de residencia.

Los catalizadores usados son: cloruro férrico en concentraciones de 30, 60 y 90 ppm. y permanganato de potasio de 10 y 50 ppm.

En la Tabla V se presentan los resultados obtenidos, entre los cuales se destacan:

1. La remoción de sulfuros es del 100% al completar 4 horas de tiempo de residencia, utilizando el catalizador de FeCl_3 , con el cual se obtuvieron los mejores resultados.
2. Es notable la disminución de la DQO al cabo de las 6 horas (80,3%) si se compara con los otros tratamientos.
3. Todos los porcentajes de remoción de contaminantes son bastante buenos, aunque el de fenoles es comparable con el obtenido en aireación a las 8 horas.
4. La remoción de mercaptanos es del 90%, de hidrocarburos de 60% y fenoles del 21%.

Comentarios

La soda no afecta el empaque y tampoco presenta ensuciamiento; la torre no presenta taponamiento por presencia de sólidos.

Al cabo de las cuatro horas de tratamiento la soda pierde su color negro y pasa a amarillo claro, eliminándose además su desagradable olor.

El costo aproximado del catalizador por mes es mínimo, (alrededor de \$500/mes).

CONCLUSIONES

1. Con la caracterización se comprobó que todas las sodas analizadas son sulfhídricas. Algunas de las de mayor volumen presentan altos contenidos de fenoles y alta demanda química de oxígeno.
2. Todos los tratamientos realizados son efectivos, pero los más adecuados son: aireación a 48 horas de tratamiento y utilizando como catalizador KMnO_4 en concentración de 10 ppm. Y la oxidación a 6 horas de tratamiento, empleando FeCl_3 como catalizador, en concentración de 60 ppm.
3. La conversión a sulfatos es mayor en la oxidación que en la aireación.
4. La soda tratada y filtrada mezclada con soda fresca se podría reutilizar en varios procesos, dependiendo de las condiciones de calidad requeridas en cada una de las plantas.

Agradecimientos:

A todas las personas que en forma efectiva brindaron su apoyo para el cumplimiento de los objetivos de este proyecto, especialmente al personal de los departamentos de Control de Calidad e Ingeniería de Proceso del Complejo Industrial de Barrancabermeja.

BIBLIOGRAFIA

1. BEYCHOK, Milton R. "Aqueous Wastes From Petroleum and Petrochemical Plants". Edit. John Wiley & Sons. Londres, 1967.
2. "Manual on Disposal of Refinery Wastes", Vol. I Waste Water containing oil, Vol III Chemical Wastes, Vol IV Sampling and Analysis of Waste Water. American Petroleum Institute, N. Y. 1972.
3. PASCHKE, Robert A. y otros. "Catalytic oxidation of sulfide wastewater from a cellulose sponge-making operation". Journal Water Pollution Control Federation. December 1977. pp. 2445-2452.
4. SMITH, A.G. "Ridding Process Waters and Caustic Solutions of Sulfides". The Oil and Gas Journal. July 9, 1956. pp. 95-99.
5. THOMAS, Samuel and Samuel YORK. "Oxidation of Waste Waters". Canadian Patent Office. Nº 601.035. July 5, 1960.
6. THOMAS, Samuel. "Traating Liquid With Gas". U.S. Patent 2 869 884 (Jan. 1959).
7. ABEGG, Von Otto and Johannes ELSTER. "A Plant For the Oxidation of Sulfide-containing Refinery Wastes by Air". Erdol Und Kohle Erdgas Petrochemie. Hamburg. Sept. 1962. pp. 721-722.
8. ABEGG, Von Otto and Johannes ELSTER. "A Plant For the Oxidation of Sulfide-Containing Waste Caustic and Waste Water With Air". Erdol Und Kohle Erdgas Petrochemie. Hamburg. Aug. 1961. pp. 621-626.
9. ECOPETROL. Departamento de Control de Calidad. Analisis químicos de los residuos líquidos del CIB. Barrancabermeja, 1975.