

RESUMEN

El trabajo efectuado sobre la remoción del altamente tóxico gas ácido (H_2S) en crudo guatemalteco de API 36 ha demostrado la importancia mecánica de mejorar el sistema de agitación con hélice motorizada tradicional. La remoción de dicho contaminante es absolutamente necesaria para el transporte y proceso del crudo. El tratamiento del H_2S implica la mezcla del hidrocarburo con agentes químicos que se encuentran disueltos en agua. Aunque el crudo es fácil de bombear y de agitar, el problema de mezclar agua con aceite es evidente, pues ambos se separan y así se dificulta grandemente el contacto de los agentes químicos con el gas H_2S . Quedó demostrado que la simple agitación, la mezcla de crudo con agentes químicos funciona en las etapas iniciales del proceso, pero no se puede llevar a cabo la remoción completa del gas en un tiempo prudencial. Por otro lado, el uso exclusivo

de la bomba de circulación tampoco es recomendable, pues la mezcla total de crudo en su mayor parte queda semi-estancada excluida de agitación. Sin embargo, si se complementa la agitación con la recirculación de la mezcla por medio de una bomba centrífuga, el proceso llega rápidamente a su etapa final con un nivel permisible de H_2S . Entonces, se estableció que la forma más eficiente de mezclar el crudo con agentes químicos en agua es la aplicación combinada de agitación convencional con hélice simultáneamente con la bomba centrífuga de circulación. Dichas técnicas deben implementarse de forma complementaria creando un contacto íntimo en los líquidos.

Palabras clave: Sulfuro de Hidrógeno (H_2S), Agitación, Recirculación, Bomba Centrífuga, Hélice.

ABSTRACT

The work done on the removal of the highly toxic acid gas (H_2S) in Guatemalan crude oil, API 36 has demonstrated the mechanical importance of improving the system of agitation with traditional motorized propeller. The removal of this pollutant is absolutely necessary for the transportation and processing of crude oil. The treatment of H_2S involves the mixture of hydrocarbon with chemical agents dissolved in water. Although crude is easy to pump and agitate, the problem of mixing water with oil is obvious, as both are separate and thus greatly hinders the contact of chemical agents with the gas H_2S . It was demonstrated that the simple agitation, the mixture of crude with chemical agent's works in the initial stages of the process, but it is not possible to carry out the complete removal of the gas in a prudent time. On the other hand, the

exclusive use of the circulation pump is also not advisable, as the total crude mixture is mostly excluded from agitation. However, if agitation is complemented with the recirculation of the mixture by means of a centrifugal pump, the process quickly reaches its final stage with a permissible level of H_2S . It was then established that the most efficient way to mix crude oil with chemical agents in water is the combined application of conventional agitation with propeller simultaneously with the circulating centrifugal pump. These agitation techniques should be used in a complementary way, creating intimate contact between both liquids.

Key words: Hydrogen Sulfide (H_2S), agitation, recirculation, centrifugal pump, propeller

INTRODUCCIÓN

Anteriormente, el petróleo crudo era utilizado únicamente en refineras, sin embargo, actualmente es pre purificado sin ser formalmente

refinado en su más baja formación y vendido por los productores como bunker. El mismo es usado en calderas, diversos quemadores, flotillas

¹ Ingeniero mecánico de la Universidad de San Carlos de Guatemala, especializado en logística y producción de procesos industriales, triving.v@gmail.com

² Ingeniero mecánico de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Master en Ingeniería Mecánica/Nanocompuestos de la Universidad de Kyung Hee University, Corea del Sur, consultor en energías renovables, ha escrito varios artículos técnicos, researchnano20@gmail.com, jorgeivan41@yahoo.com

Métodos Eficientes De Purificación De Petróleo Liviano De 36 Grados API

Fecha de recepción: 8 enero 2023

Fecha de corrección: 12 marzo 2023

marítimas, entre otros. Debido a su proceso de destilación (bajas temperaturas y costo barato) y su baja viscosidad, se ha convertido en una opción económica para la industria. (Perry, J. H, 2010)

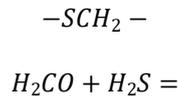
El petróleo crudo tiene un serio problema ambiental de toxicidad inmediata, en el sentido que contiene una cantidad excesivamente alta de gas H_2S disuelto en el mismo, y esto genera restricciones en el transporte. Existen varias metodologías establecidas para tratar el problema del H_2S , y todas funcionan relativamente bien, sin embargo,

persiste aún hoy en día un problema con la agitación en los reactores de tratamiento en los campos petroleros. El petróleo puede ser transportado por oleoducto o por camión cisterna, siempre y cuando su nivel de H_2S lo permita.

La industria en general permite hasta 20 ppm de H_2S , aunque en condiciones limitadas es permisible 50 ppm. El presente artículo trata sobre el procedimiento mecánico de la agitación, indistinto de la metodología y proceso que involucra la parte de ingeniería química y petrolera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplica 0.5% de formaldehído (H_2CO) el cual no se mezcla fácilmente con el petróleo y más bien se genera una micro emulsión que ataca al H_2S según la ecuación indicada:



Ambos productos resultantes quedan dispersos en el crudo y mantienen una micro emulsión que no es separable por drene (parte inferior del reactor) ni por decantación (parte superior del reactor). (Perry, J. H, 2010)

Se empleó un reactor de acero inoxidable en la sección cilíndrica (altura de 35 cm y diámetro de 39 cm) de tapadera y fondo cóncavo y convexo (profundidad interna de platos 3 cm) equipado con un motor de 1/10 HP girando a 1750 RPM con juego de poleas que reducen la velocidad del agitador a 350 rpm. La circulación se produjo con una bomba centrífuga con unión magnética (Iwaki, sin sello) de 1/16 HP) con agitador y carcasa de

fibra de carbono (Caudal 3.2 GPM y máxima elevación de cabeza 25.6 pies).

En un reactor piloto con capacidad de 38L, se cargaron 10L de crudo Atzam (36 API) seguidos de 50mL de formalina. Esta mezcla al someterse a agitación forma una micro emulsión. Se hacen muestreos periódicos de la masa de petróleo en un recipiente hermético y en cada caso se determina la concentración de H_2S con un detector cuya lectura es en partes por millón (ppm).

En el presente estudio la agitación fue hecha en tres formas distintas, tomando en cuenta que las tres pruebas fueron realizadas en un ambiente controlado con los mismos tiempos de medición. Así mismo, la misma cantidad de Crudo y Formalina, la única variable fue el bombeo y la agitación dados a continuación: (American Petroleum Institute, 2007)

1. Agitación con agitador (hélice) y bombeo de circulación simultaneo
2. Únicamente agitación con agitador (hélice)
3. Únicamente Bombeo de circulación

RESULTADOS

Para poder realizar un buen análisis de datos, se tuvieron que realizar tres pruebas diferentes. Las tres fueron con duración de una hora y crudo con 800 ppm de H_2S . La primera prueba fue el tanque a escala únicamente con sistema de bombeo circulatorio (Cuadro 3, Figura 3). Estas tres modalidades se efectuaron con el fin de comparar datos y comprobar la eficiencia del sistema dual planteado en la presente tesis. En el transcurso de

una hora, el sistema de bombeo pudo bajar de 800ppm a 188ppm. A simple vista se creería que ese sistema es eficiente, pero al ver los resultados de la agitación (bajo las mismas condiciones) llegó a 77ppm. Por último, realizando la tercera prueba que era el fin inicial se logró ver que llegaba a 22 ppm. Siendo ese la combinación ideal para una purificación perfecta con los aditivos correctos.

Métodos Eficientes De Purificación De Petróleo Liviano De 36 Grados API

Fecha de recepción: 8 enero 2023

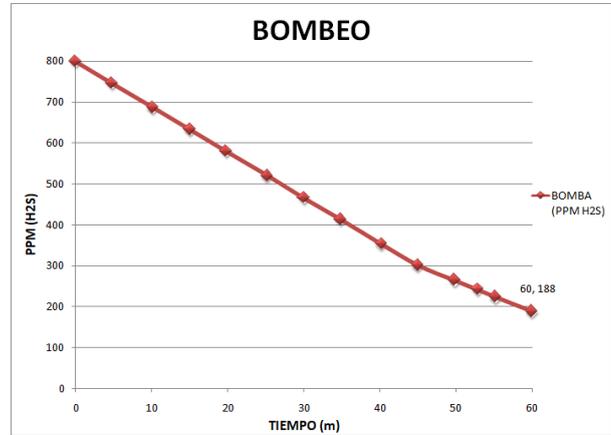
Fecha de corrección: 12 marzo 2023

Cuadro 1 Resultados del Bombeo de Crudo a 36 Grados API

BOMBEO CRUDO 36 API	
T (m)	BOMBA (PPM H2S)
0	800
4.8	746
10.2	686
15	633
19.8	580
25.2	520
30	466
34.8	413
40.2	353
45	300
49.8	264
52.8	242
55.2	223
60	188

Fuente:Elaboración propia

Figura 1 Resultados del Bombeo de Crudo a 36 Grados API



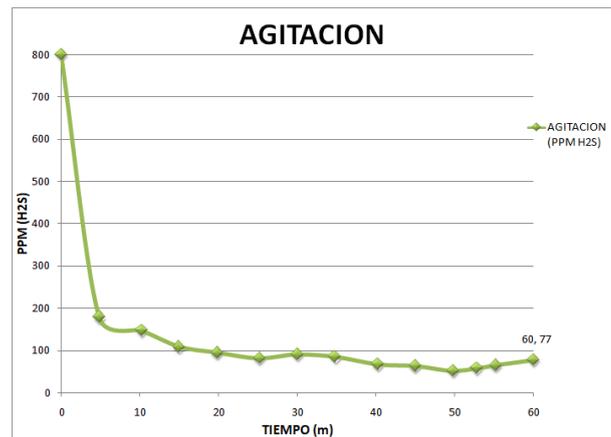
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2 Resultados de la Agitación del Rotor con Crudo a 36 Grados API

AGITACION ROTOR 36 API	
T (m)	AGITACION (PPM H2S)
0	800
4.8	178
10.2	147
15	108
19.8	94
25.2	81
30	90
34.8	84
40.2	66
45	62
49.8	51
52.8	57
55.2	64
60	77

Fuente: Elaboración propia

Figura 2 Resultados de la Agitación del Rotor con Crudo a 36 Grados API



Fuente: Elaboración propia

Métodos Eficientes De Purificación De Petróleo Liviano De 36 Grados API

Fecha de recepción: 8 enero 2023

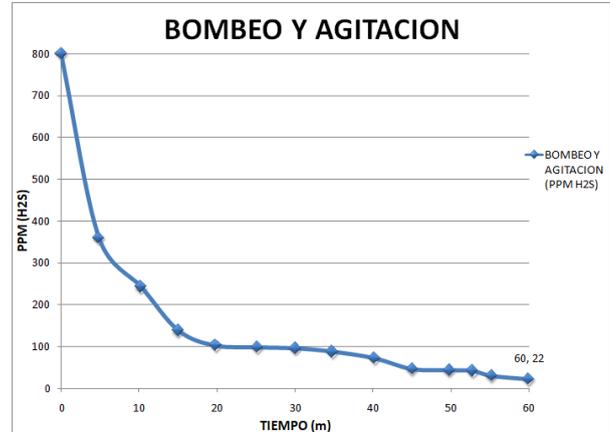
Fecha de corrección: 12 marzo 2023

Cuadro 3 Resultados del Bombeo con Agitación con Crudo a 36 Grados API

BOMBEO CON AGITACION	
T (m)	BOMBEO Y AGITACION (PPM H2S)
0	800
4.8	360
10.2	242
15	138
19.8	102
25.2	98
30	95
34.8	87
40.2	72
45	46
49.8	43
52.8	41
55.2	30
60	22

Fuente: Elaboración propia

Figura 3 Resultados del Bombeo con Agitación con Crudo a 36 Grados API



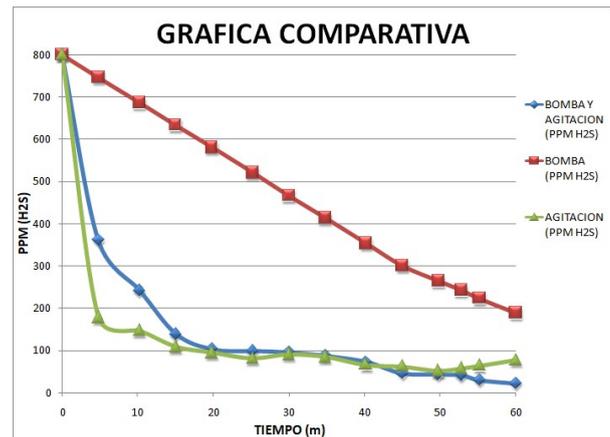
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4 Comparación de resultados de pruebas con Crudo a 36 Grados API

T (m)	BOMBA Y AGITACION (PPM H2S)	BOMBA (PPM H2S)	AGITACION (PPM H2S)
0	800	800	800
4.8	360	746	178
10.2	242	686	147
15	138	633	108
19.8	102	580	94
25.2	98	520	81
30	95	466	90
34.8	87	413	84
40.2	72	353	66
45	46	300	62
49.8	43	264	51
52.8	41	242	57
55.2	30	223	64
60	22	188	77

Fuente: Elaboración propia

Figura 4 Comparación de resultados de pruebas con Crudo a 36 Grados API



Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Las gráficas muestran la acción dominante del sistema de agitación, pues crea movimiento constante en la masa entera del petróleo API 36. Sin embargo, no es del todo eficiente, y es necesario que haya una contribución auxiliar para que haya mejor contacto a nivel de “gotas” entre el petróleo y los agentes que atacan al H₂S. En el presente trabajo se ha hecho una mejora al promover agitación adicional por medio de una bomba centrífuga que a la vez recircula el petróleo en su retorno. La mezcla que se agita es tipo “agua y aceite”, en el sentido que no se mezclan en forma íntima, y es por ello que es importante el complemento de bomba centrífuga al agitador.

Si únicamente se bombea recirculando la masa del petróleo, el resultado es realmente lento, retardado, y altamente ineficiente, pues no se está moviendo el mismo producto en su totalidad. Sin embargo, debe notarse que aun así se obtienen ciertos resultados, como lo demuestra la gráfica. Esto se debe a que, dentro de la masa mayor de petróleo, existe una pequeña cantidad que si llega a mezclarse íntima y gradualmente, se logra acumular como resultado del retorno de la bomba. Por otro lado, si se emplea únicamente la agitación con un agitador adecuado, se mueve la masa total de petróleo, y en efecto, empieza a reaccionar de forma muy rápida. Sin embargo, a medida que avanza la reacción de desulfurización, se observa

Métodos Eficientes De Purificación De Petróleo Liviano De 36 Grados API

Fecha de recepción: 8 enero 2023

Fecha de corrección: 12 marzo 2023

cierto rezago, particularmente en las etapas finales del proceso. (Mitzakis, M.1990)

Cuando se emplean conjuntamente el agitador y la bomba centrífuga de recirculación, se observa una clara mejora en el desempeño del proceso, particularmente en las etapas finales del mismo. Esto se debe a que la masa total de petróleo llega a mezclarse muy íntimamente por la acción de la

bomba centrífuga, y en las etapas finales es muy importante que se haya mezclado todo muy bien, íntimamente, siendo un sistema de “agua y aceite”, y por lo tanto se cumple con dicho objetivo. La bomba centrífuga “captura” en forma continua cantidades pequeñas de la mezcla procesada, y las revuelve en forma íntima, llegándose a reaccionar en su totalidad.

CONCLUSIONES

De los 3 sistemas probados durante un ciclo de 60 minutos para la reducción de H₂S en el petróleo crudo API 36 producido en Guatemala como se muestra en la tabla número 4. Se determina que el sistema de bombeo con agitación combinado es el más eficiente y que obtiene los mejores resultados, logrando una reducción de 800 ppm a 22 ppm de H₂S. Demostrando que con método mecánicos sin

utilizar químicos o agentes externos es posible reducir los contaminantes dañinos al ambiente y equipos de sustancias como el petróleo crudo.

AGRADECIMIENTOS

A empresa Río Oeste, por haber abierto las puertas y poder investigar métodos para purificar el petróleo crudo nacional en sus instalaciones. A la Unidad de Investigación de la Escuela de Ingeniería

Mecánica, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. A la Comisión Técnica Multisectorial de Energía de CONCYT.

BIBLIOGRAFÍA

American Petroleum Institute. (2002). *Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks API 620*. Washington, D.C.: API Publishing Services.

American Petroleum Institute. (2007). *Welded Tanks for Oil Storage API 650*. Washington, D.C.: API Publishing Services.

Bouton, J. N. (1978). *Polymerization Reactors and Processes*. Ohio: American Chemical Society.

Kalichevsky, V. A. (1942). *Chemical Refining of Petroleum: American Chemical Society Monograph Series*. New York: Reinhold Publ. Corp.

Kirk, R. E., & Othmer, D. F. (1985). *Concise Encyclopedia of Chemical Technology* (3rd. ed.). New York: Wiley-Interscience Publication.

Mitzakis, M. (1990). *The Oil Encyclopedia*. London: Chapman & Hall, LTD.

Perry, J. H. (2010). *Chemical Engineer's Handbook* (8th. ed.). McGraw-Hill Book Company.

United States Department of Labor. (s.f.). *Hydrogen Sulfide*. Obtenido de Occupational Safety and Health Administration: <https://www.osha.gov/SLTC/hydrogensulfide/standards.html>