

5

REACTOR ELECROLITICO PARA PULIMENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN

CAMPO DE LA INVENCION

Este desarrollo está relacionado con un equipo de electrocoagulación para realizar el pulimento del agua de producción en campos petroleros mediante un proceso electrolítico en el que se produce un burbujeo favoreciendo la floculación para hacer que las impurezas de trazas y aceites presentes en el fluido se separen mediante la eliminación de contaminantes por flotación y se obtenga agua en condiciones de calidad para disposición final.

15

ESTADO DE LA TÉCNICA

El proceso de tratamiento electrolítico de líquidos es conocido para realizar la separación de una amplia gama de contaminantes, incluidos metales, sólidos, patógenos, coloides y otras sustancias que se desean retirar de los fluidos de interés. El tratamiento electrolítico involucra el uso de un campo eléctrico que se aplica a un líquido contenido en un recipiente para coagular y permitir la eliminación de impurezas, como por ejemplo en el dispositivo para el tratamiento electrolítico que se describe en la publicación (Estados Unidos Patente nº WO96/40591, 1996). Según esta invención se aplica corriente a través de un medio polarizador que tiene un potencial eléctrico diferente al potencial de tierra, y que luego pasa a través de una cámara de electrocoagulación que incluye varios electrodos alargados o cuchillas de electrocoagulación que tienen potenciales eléctricos diferentes entre sí. Estas cuchillas cuentan con diferentes orificios en los electrodos para causar burbujeo en la corriente de residuos que, a su vez, aumenta la eficiencia de la electrocoagulación. Aunque este dispositivo pueda cumplir su función específica, posee una desventaja y es que en su diseño se definió una ruta tortuosa para el flujo de la corriente de desechos a medida que pasa a través del equipo lo que hace necesario que el material de las cuchillas o electrodos de coagulación sea de alta resistencia para soportar la alta presión del agua, que debe usarse para evitar que el flujo de los desechos se obstruya. Además, estos electrodos requieren voltajes más altos para obtener el campo eléctrico deseado porque el área de superficie está limitada por la alta presión. Por lo que se debe utilizar una bomba de alta

- 5 potencia para sobrepasar la tendencia de la corriente de desechos a obstaculizar dentro de la cámara.

Otros ejemplos de dispositivos de tratamiento son por ejemplo el presentado por (Denver Patente nº 5043050, 1991) en el que se describen electrodos planos usados dentro de un recipiente de coagulación, sin embargo, para que se use el equipo, los bordes de la cámara
10 de coagulación deben sellarse herméticamente. Después de periodos largos de uso, los sellos no mantienen fácilmente la cámara hermética.

En el trabajo (Englewood Patente nº 5302273, 1993) describe un dispositivo de reacción iónica que incluye una carcasa tubular con múltiples placas de electrodos circulares para el tratamiento de un fluido que describen una ruta tortuosa para generar la electrolisis. Debido
15 a la tortuosa ruta utilizada en la cámara de reacción de este dispositivo, se requieren altas presiones para mover el líquido a través del dispositivo, y el dispositivo parece susceptible a la obstrucción y a la acumulación excesiva de gas.

El trabajo (Houston Patente nº WO2002044092A1, 2002) se relaciona con un método para desestabilizar agua residual, ya sea doméstica o industrial. Los contaminantes suspendidos, emulsificados o disueltos en los cuerpos de agua se desestabilizan y
20 precipitan por la incorporación de corriente eléctrica en el medio acuoso. El flujo de agua pasa en contacto con la celda y los electrodos para la electrocoagulación de contaminantes. La invención se basa en un set de placas de electrodos insertados en una carcasa hecha de material no conductor. Las placas del centro del conjunto de los electrodos son más anchas que las placas que están alejadas del centro.
25

En el trabajo (Colombia Patente nº WO2011159195A1, 2002) se describe un proceso que permite la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO), Carbón orgánico total (COT), al igual que el contenido de sólidos totales presentes en diferentes tipos de aguas residuales industriales o servidas dentro de las que se incluyen las aguas de producción de
30 pozos de petróleo.

El tratamiento descrito comprende el arreglo de tres procesos: electrodisolución de electrodos, floculación química y oxidación avanzada.

- 5 Este proceso lleva a cabo la etapa de floculación de manera separada, de este modo se controla la formación de los flóculos mediante la adición de agentes coadyuvantes y control apropiado de pH. El tratamiento que se propuso aplica la oxidación como tratamiento final para eliminar la carga orgánica e inorgánica residual, reduciendo el consumo de agentes oxidantes al mínimo.
- 10 Otro inconveniente en anteriores desarrollos es que se deben asegurar las cuchillas de la electrocoagulación con precisión para permitir que las juntas se atornillen y resistan la presión que se genera por la ruta que debe seguir el fluido. Además, las cuchillas deben cortarse con láser con extrema precisión para mantener la ruta exacta deseada. La desviación de una ruta predeterminada puede provocar la obstrucción debido a la
- 15 acumulación de sólidos coagulados que se unen entre las cuchillas desalineadas. Estos requisitos de fabricación aumentan considerablemente el costo de construir un dispositivo de electrocoagulación.

- Cada una de las desventajas anteriores se supera con el equipo de esta invención. Además, el aparato y el método de esta invención logran otras ventajas que se
- 20 analizan más detalladamente a continuación

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS DIBUJOS

- Figura 1.** Diseño secciones externas del equipo electrocoagulador, entrada de fluidos o inlet (1), motor de agitación de 100 a 180 rpm con su eje (2), válvulas motorizadas de salida
- 25 de fluido outlet y válvula PSV de seguridad (3), salida de agua clarificada outlet (4), salida de fluido drenaje del equipo (5), sello hermético mediante pernos en la tapa del equipo (6), facilidad para medidor de presión (7), facilidad para medidor de temperatura (8), toma muestras (9).

- Figura 2.** Diseño interno Electrocoagulador: zona del tanque denominada de desarrollo del
- 30 proceso (10), deflectores (11), agitador de paleta plana a 45° (12), soporte para los electrodos (13), paquete de electrodos concéntricos de aluminio (14), tapa superior semielíptica (15).

5

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La búsqueda de procesos para el tratamiento de agua de una forma autosustentable, ha estimulado el interés en la electrocoagulación como una de las alternativas con mayor potencial. Esta tecnología dispone del coagulante/floculante en sitio a medida que el ánodo en el circuito se desgasta, debido a un diferencial de potencia aplicado mientras que la producción simultanea de hidrogeno en el cátodo permite la eliminación de contaminantes por flotación. En este caso, se dosifica mediante la potencia aplicada al circuito el floculante necesario para que el burbujeo producido retire las trazas de grasas y aceites en el agua.

El tanque electrocoagulador es un recipiente presurizado con tapa y fondo elíptico y por el cual fluye una corriente de alimentación que ingresa por la parte lateral superior (1), posee un agitador moto-reductor de paleta plana inclinada que varía velocidades entre 90 y 180 rpm (agitación lenta) (2). En el interior del tanque en una zona de reacción se ubican un soporte para los electrodos (13), un paquete de electrodos concéntricos de aluminio con una separación específica según el criterio de diseño para evitar el taponamiento (14) y un agitador con paletas a 45° de un material no conductor (12), en un tramo superior denominada zona de desarrollo del proceso (10), es un espacio libre en el que resultado del proceso de electrolisis en los electrodos, se genera el coagulante/floculante hidróxido de aluminio que favorece la separación de fases, el floculante se libera y a través del burbujeo y la agitación, se promueve la floculación de las gotas de crudo remanente (trazas de grasas de aceite) y por el proceso de flotación se separa la capa emulsionada OIW. De esta manera, se obtienen dos corrientes de salida, una por la parte superior (nata) en la que se ubican válvulas motorizadas y una válvula PSV de seguridad (3) y otra por la parte lateral (agua clarificada) (4), y por la parte inferior una salida dispuesta para realizar la limpieza y drenaje en caso de realizarse un proceso de mantenimiento al equipo (5).

El soporte de los electrodos (13) se ancla al fondo del tanque de electrocoagulación entre la unión del cuerpo cilíndrico del tanque con la tapa superior (15) , de tal manera que esté sujetado con cuadrantes. Además, los anillos electrodos tendrán un soporte polimérico en HPPE (no conductor), el equipo cuenta con un mecanismo que permite levantar y abrir fácilmente el tanque dado el caso en que se necesite hacer mantenimiento o cambiar el arreglo de electrodos del equipo y que sella herméticamente mediante pernos ajustados dispuestos en la tapa (6), también posee un sistema de deflectores ubicados a 90° dentro del cilindro del tanque encargados de evitar la formación de vórtices que se puedan generar

- 5 por el movimiento de las paletas y que afecten la generación del floculante (11), el equipo cuenta con una facilidad para un sensor de presión (7) y otro de temperatura (8), así como también una salida para la toma de muestras y evaluación de la eficiencia del equipo (9).

Tanque electro-coagulador

Tipo	Vertical con agitación	
Moto-reductor	1HP - 2HP	
Potencia (HP)		
Rpm mezclado	(90 – 180)	
Dimensiones (mm)	Diámetro (ID): (641- 1282) Altura (LT): (982- 1964)	
Volumen	(2.4- 4.8) bbls	
Caudal	(170 – 720) BFPD	
	Presión (psig)	Temperatura (°F)
Operación	(50-200)	(155-255)
Diseño	(100-300)	(160-260)

10

- La especie química desencadenante de la clarificación del agua es el Al^{3+} . Este es formado como resultado del proceso de electroquímico utilizando un ánodo de aluminio. En el ánodo ocurre la oxidación, donde el aluminio metálico es convertido a su forma catiónica. Por otro lado, en el cátodo se presenta la reducción del agua, generándose hidrógeno gaseoso e iones hidroxilo. Las burbujas de H_2 generadas ayudan a homogenizar el medio para que ocurra el encuentro entre los iones Al^{3+} y OH^- que dan origen a las distintas especies de hidróxido de aluminio, predominantemente policatiónicas, responsables directas de la clarificación del agua, por medio de la floculación y de la separación gravitacional de sólidos suspendidos.

20

El proceso de operación de un reactor electrolítico para pulimento de agua de producción comprende las siguientes etapas:

25

- Aplicar un voltaje a las placas de reacción para crear un campo eléctrico dentro de la zona de reacción;

25

30

35

5

EJEMPLOS

Con el fin de recrear y monitorear mediante prototipado rápido se construyó un sistema de electrocoagulación bajo condiciones controladas de laboratorio, donde se configuró un sistema para realizar pruebas empleando diferentes tiempos de operación, como parte fundamental del desarrollo tecnológico. La configuración proporcionó los medios para analizar y evaluar la eficiencia y el desempeño con el objetivo de validar el diseño de la tecnología, para obtener agua en condiciones de calidad para libre disposición y así disminuir costos operativos asociados a la abundante producción de agua en campo petroleros.

15



Gráfica 1. Configuración experimental de laboratorio

Se realizó una marca de tiempo de 5 min y 10 min y aplicando una potencia de 80 W (11.1V - 7.2A), La potencia requerida por unidad de volumen de fluido depende de que sea suficiente para que se produzca el fenómeno electroquímico sin llegar al punto de reducir el efecto de la reacción y sin aumentar el riesgo de taponamiento de los anillos concéntricos.

20

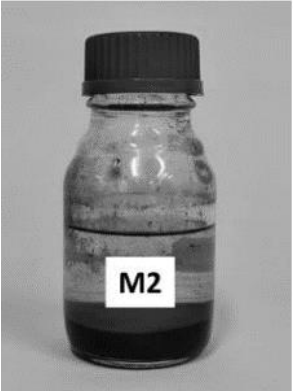
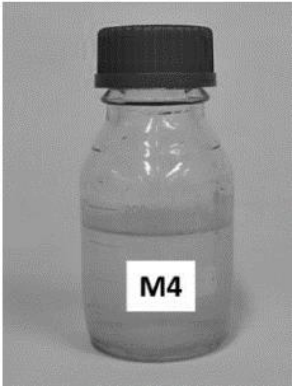
5

Ejemplo 1: Prueba de laboratorio utilizando fluido de campo Rubiales

El objetivo principal del análisis era representar las condiciones del proceso para un fluido oleoso en concentraciones conocidas para las muestras antes y después de realizar la prueba de electrocoagulación utilizando fluidos de campo Rubiales.

15

Tabla 1. Descripción muestras

Muestra			
Descripción	Muestra original, previa al tratamiento electroquímico	Muestra extraída de la parte superior de la celda electroquímica después de concluido el proceso de clarificación.	Muestra extraída de la fase acuosa intermedia después de concluido el proceso de clarificación.

20

Tratamiento de M1: Como esta corresponde a la mezcla antes del tratamiento electroquímico, el análisis se enfocó en extraer el material orgánico libre y analizar la naturaleza del material disperso. Así, se tomó una alícuota de 15 mL de M1 y se depositó en un vial de 30 mL. Luego se adicionó tolueno (2 x 5 mL) y se agitó de forma manual. La fase rica en material orgánico libre fue colectada y rotulada como M1F1 y llevada a sequedad en estufa a 60 °C durante 24 h para ser analizada posteriormente. La fase inferior

- 5 que corresponde a la dispersión coloidal, sin material orgánico libre, fue tratada con 10 mL de tolueno y NaCl a saturación (aprox. 3.0 g). La mezcla fue dejada en reposo hasta observar la obtención de dos fases. La fase superior fue retirada y rotulada como M1F2, y secada en estufa a 60 °C durante 24 h.
- 10 Tratamiento de M2: El tratamiento de esta muestra fue enfocado a separar el sedimento oscuro para analizar su naturaleza y la del material adsorbido. De este modo, con la ayuda de una pipeta Pasteur, se tomó una alícuota de 15 mL del fondo del recipiente y se depositó en un vial de 30 mL. Enseguida, se adicionó tolueno (2 x 5 mL) y se agitó moderadamente de forma manual con el fin de extraer el material orgánico adsorbido en el
- 15 sedimento. La fase superior correspondiente al extracto orgánico, rotulada como M2F1, fue secada en estufa a 60 °C durante 24 h. El sedimento resultante, fue fraccionado en dos porciones. La primera porción, rotulada como M2S, se llevó a sequedad para realizar análisis por FTIR-ATR, mientras que la segunda fue tratada con tolueno/metanol (1:1, 2 x 50 mL) con la intención de extraer el material orgánico más polar adsorbido en el sedimento.
- 20 El extracto orgánico retirado, rotulado como M2F2, fue secado en estufa a 60 °C durante 24 h y reservado para análisis.

Tratamiento de M4: El tratamiento de esta muestra se limitó a la separación del sedimento claro con el propósito de caracterizarlo. Para esto, con la ayuda de una pipeta

25 Pasteur se retiró una alícuota de 5 mL del fondo del recipiente. El sedimento rotulado como M4S fue llevado a sequedad en estufa a 60 °C durante 24 h.

Como procedimiento adicional de separación, se llevaron a cabo filtraciones para medir el pH de las muestras.

30

En la Gráfica 2 se presenta una comparación de los espectros de FTIR-ATR obtenidos para los sedimentos de las muestras M2 y M4. El espectro del sedimento M4S exhibe con claridad bandas de adsorción características de los modos de deformación axial de Al-O-H en 3654, 3547, 3456 y 3422 cm⁻¹. También se destacan las bandas en 974 cm⁻¹ con

35 hombro en 1015 cm⁻¹, y en 712 cm⁻¹ con hombro en 759 cm⁻¹, atribuidas a los modos de deformación angular de Al-O-H y deformación axial del grupo Al-O, respectivamente. Las atribuciones realizadas son consistentes con información reportada en la literatura [2,3]. Las bandas destacadas en los recuadros de color azul alrededor de 3000-2700 cm⁻¹ y

5 1750-1250 cm^{-1} , como será discutido más adelante, se atribuyen a material orgánico sedimentado junto con al hidróxido de aluminio generado. Estas señales fueron más intensas en M2S que en M4S. En general, los resultados mostraron que el sedimento formado en el proceso electroquímico corresponde a hidróxido de aluminio.

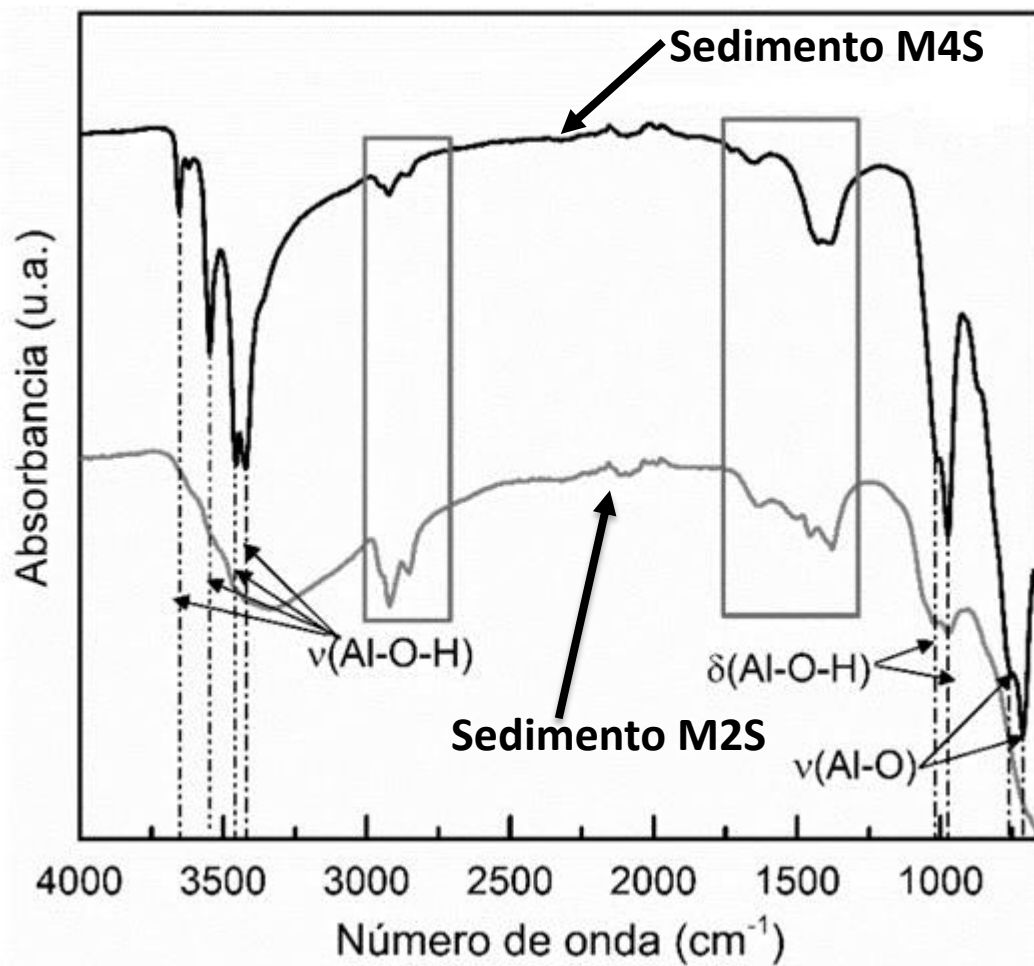
10

15

20

25

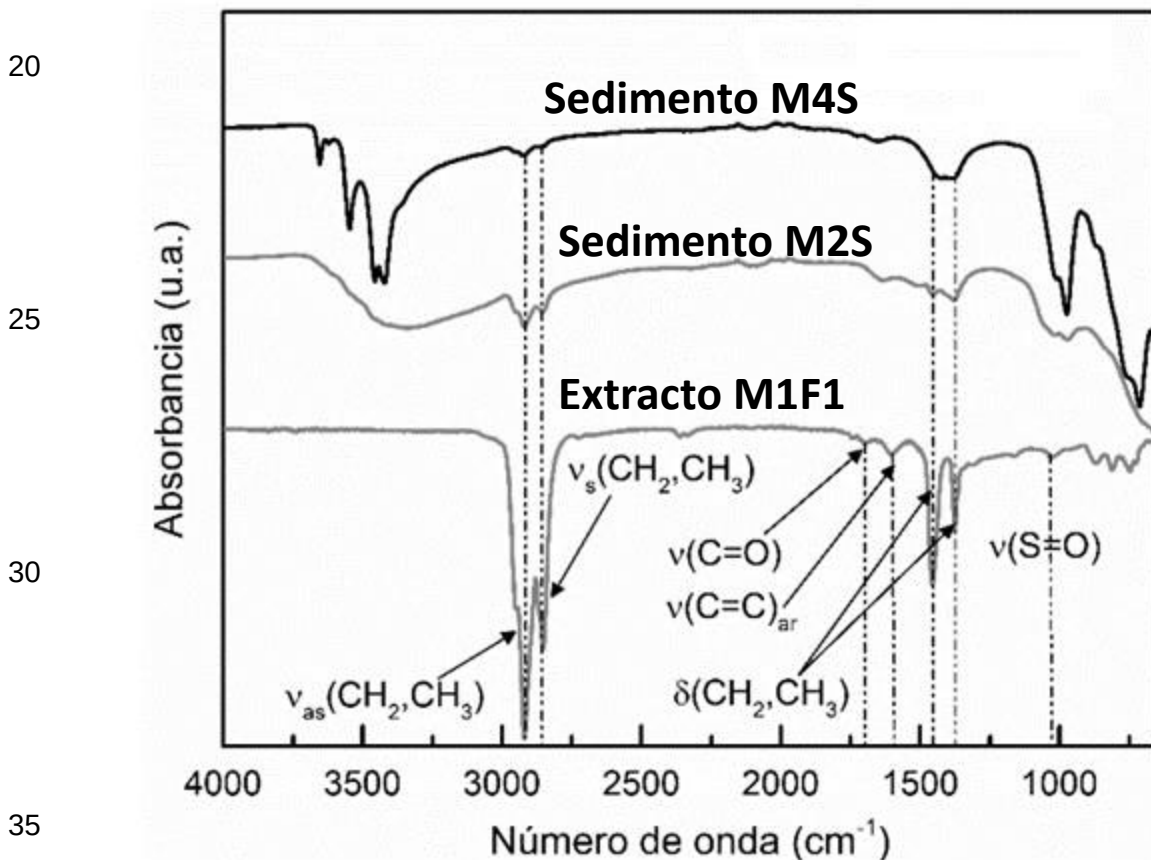
30



Gráfica 2. Espectros de FTIR-ATR de los sedimentos M2S y M4S

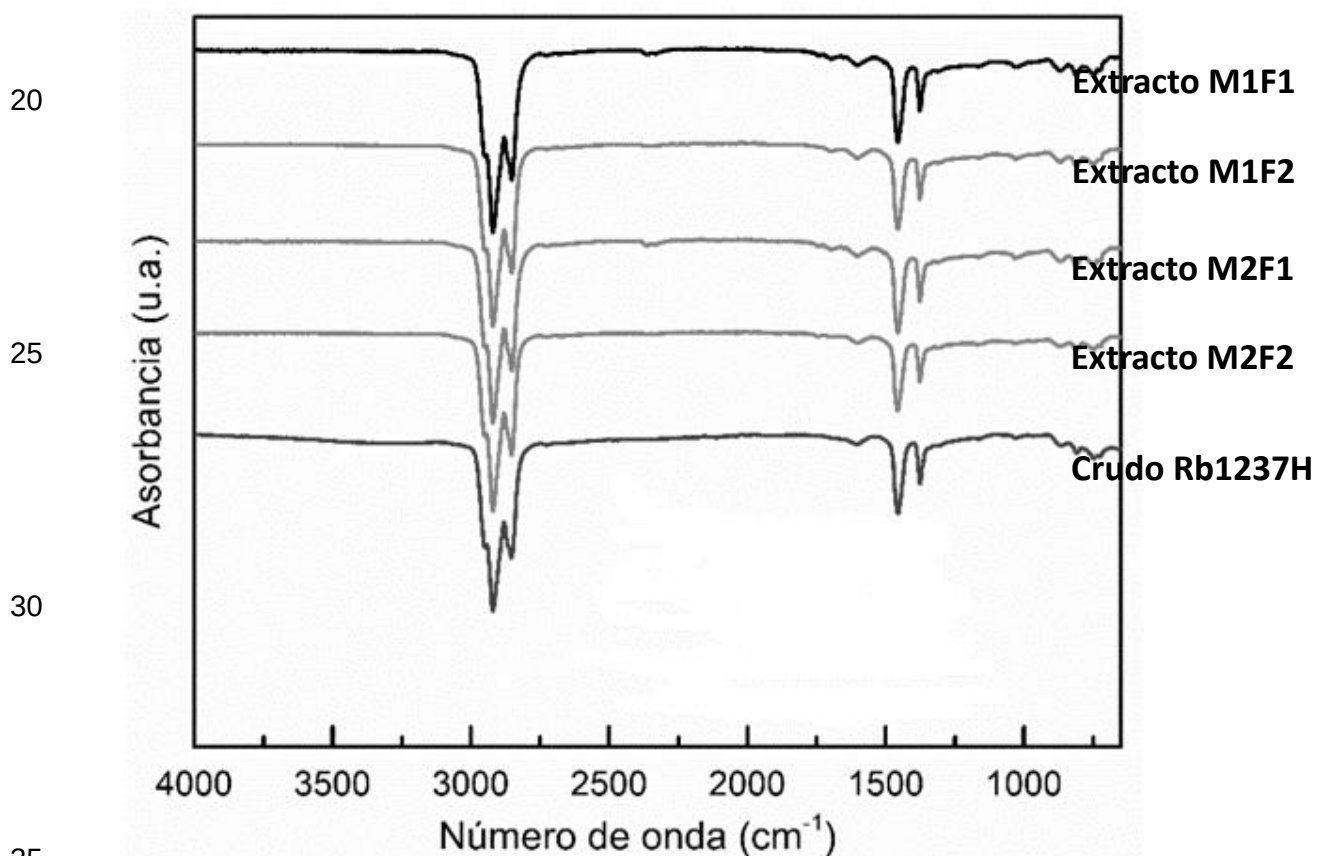
35

- 5 La comparación de los espectros FTIR-ATR de los sedimentos M4S y M2S con el del extracto M1F1, revela claramente que las bandas destacadas en los recuadros corresponden a modos de vibración característicos de compuestos orgánicos presentes en
- 10 crudos Gráfica 2. Bandas en 2923 y 2858 cm^{-1} fueron atribuidas a los modos de deformación axial asimétrico y simétrico, respectivamente, de los grupos CH_2 y CH_3 .
- 15 Bandas asociadas a estos mismos grupos para los modos de deformación angular fueron detectadas en 1433 y 1384 cm^{-1} . También se observaron bandas de baja intensidad en 1701, 1604, 1033 cm^{-1} asignadas a la vibración de tensión axial de los enlaces $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}=\text{C}$ aromático y $\text{S}=\text{O}$, respectivamente. Estas atribuciones fueron realizadas con base en los estudios realizados por (Permayer, Doui, Lanchini, Lamontagne, & Kister, 2001) (Akmaz, Iscan, Gurkaynak, & Yasar, 2012).



Gráfica 3. Comparación de los espectros FTIR-ATR de los sedimentos M4S y M2S, y con el del extracto M1F1.

5 La comparación entre los espectros de FTIR-ATR de todos los extractos obtenidos y el del
crudo Rubiales Rb1237H se presenta en la Gráfica 4. Todas las bandas anteriormente
identificadas para los compuestos orgánicos están presentes en cada uno de los espectros
comparados. La gran similitud encontrada en todos los espectros revela que la naturaleza
del material obtenido en cada uno de los extractos coincide con la del crudo que acompaña
10 el agua de producción. Vale anotar que el tratamiento de M1 (muestra previa al tratamiento
electroquímico) con tolueno y NaCl resultó en la obtención de dos fases. Una fase superior
de color oscuro, que fue rotulada como M1F2, y una fase inferior acuosa traslúcida, con
NaCl depositado en el fondo. Teniendo esto en mente, los resultados muestran que el
material disperso, que le confiere el color café oscuro a M1, no corresponde a material
15 mineral tipo limo, sino a crudo. Así, las características de M1 son consistentes con la
presencia de crudo emulsionado.

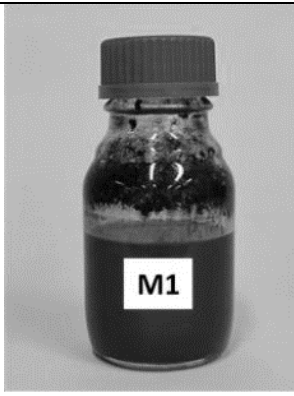
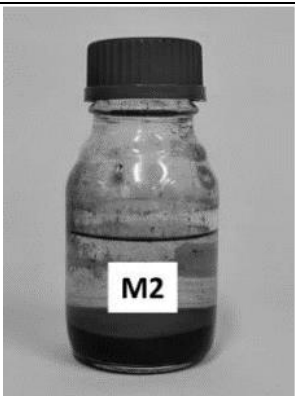
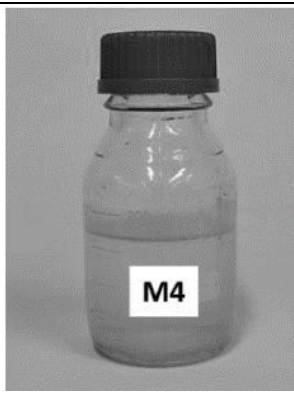


Gráfica 4. Comparación de los espectros de FTIR-ATR del crudo Rubiales Rb1237H con el de los extractos

5 De otro lado, el pH juega un papel importante en la coagulación química y electroquímica, ya que bajo un rango óptimo se forman los compuestos a quienes propiamente se atribuye la clarificación del agua. El estudio realizado, muestra que la fase acuosa de la muestra original es de carácter básico (8,49) (**Tabla 2**), el cual se considera apropiado como valor inicial, según estudios consultados en la literatura [1,3]. Sin embargo, se observa que el pH incrementó en hasta dos unidades con el tratamiento electroquímico efectuado. Distinto a lo observado por (Cañizares, Martínez, Lobato, & Rodrigo, 2006) (Abdel-Aziz & El-Ashtoukhy, 2016), el valor de pH final (o de estado estacionario) de la solución sólo debe variar ligeramente, respecto al inicial.

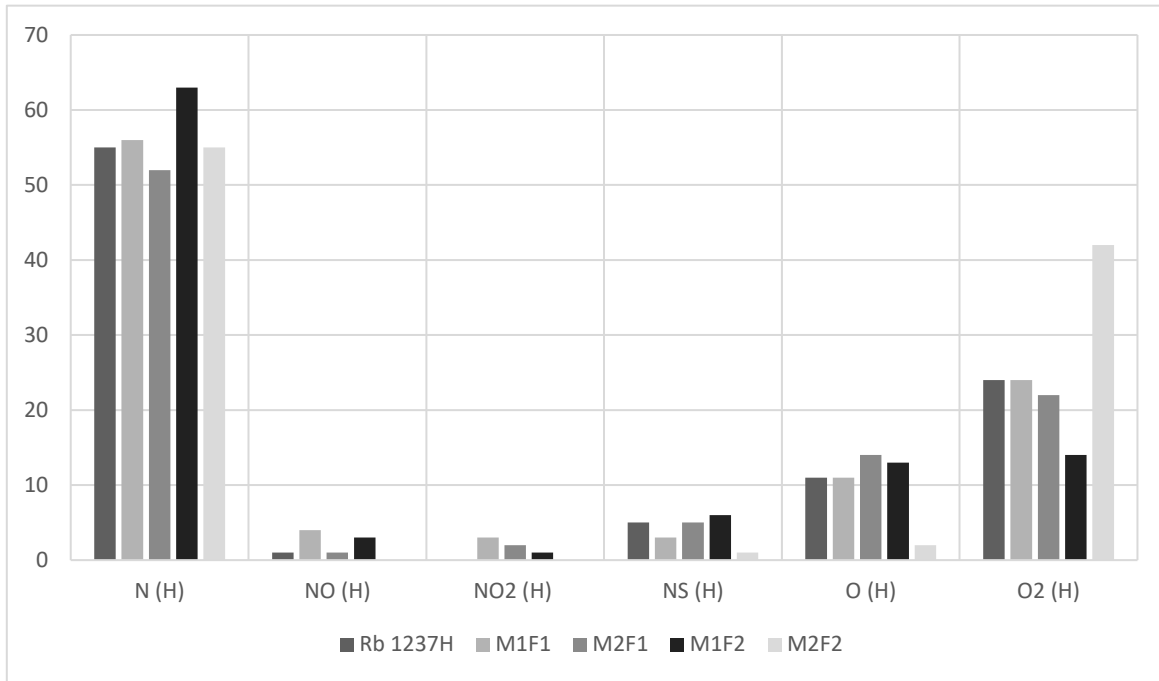
15 Esto estaría sugiriendo una sobre producción de hidróxido de aluminio que podría estar afectando la eficiencia del proceso, además de mejorar la calidad del agua producida para reinyección o vertimiento.

Tabla 2. Resultados de pH

Muestra			
pH (23°C)	8,49	9,10	10,50

20 Finalmente, la Gráfica 5 presenta la distribución de abundancias relativas de las clases detectadas por ESI (-) FT-ICR MS. A partir de estos resultados es posible observar que las fracciones solubles en tolueno (M1F1 y M2F1) presentan composiciones semejantes a la del crudo Rb1237H empleado como referencia. Por su parte, el extracto obtenido luego de saturar con NaCl la fase acuosa de M1 (M1F2) presentó menor abundancia relativa de la clase O2 (12%) respecto al crudo y los extractos M1F1 y M2F1 (aprox. 24% O2), mientras que la fase M2F2 obtenida por extracción con tolueno-metanol 50:50 del sedimento libre de aceite presentó mayor abundancia relativa de compuestos O2 (> 40 %).

5



Gráfica 5. Distribución de abundancias relativas de las clases detectadas por ESI (-) FT-ICR MS.

Los resultados mostraron que la turbidez de la muestra M1 (**Tabla 1**), color oscuro, asociada al agua de producción, se

10

debe principalmente a la presencia de crudo emulsionado. Además, que el sólido sedimentado en el proceso electroquímico corresponde a hidróxido de aluminio. Esta especie inorgánica, la cual es formada in situ, es la responsable del rompimiento de la emulsión y consecuente clarificación del agua.

15 Ejemplo 2: Prueba en campo Castilla

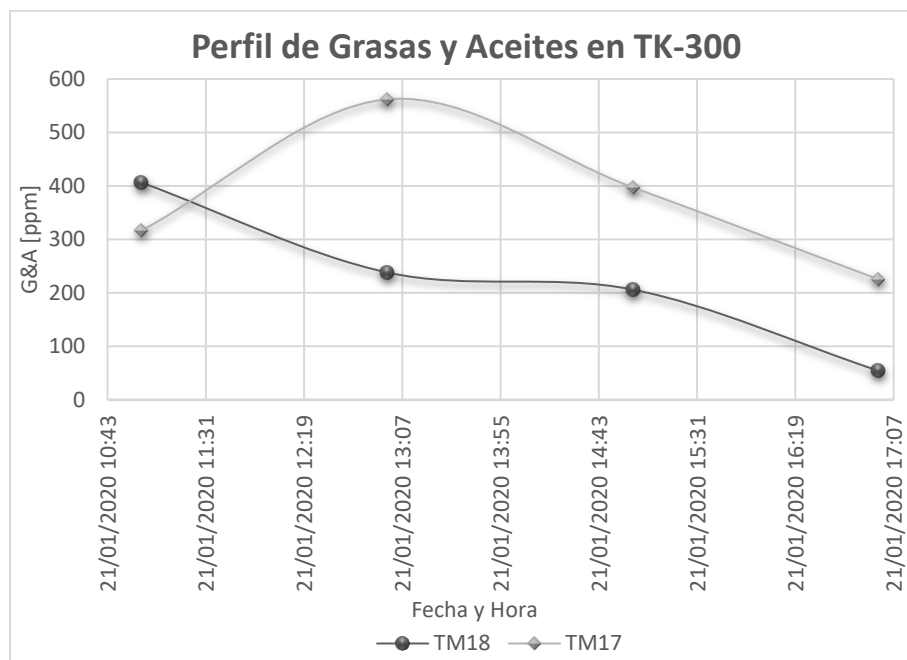
El objetivo de esta prueba demostrativa consistió en ensayar en condiciones operativas de campo, el equipo descrito en el presente documento para una capacidad de operación entre 170 BFPD y 720 BFPD

20

La prueba se inicia sin encender los electrodos, con el fin de tomar muestras y realizar seguimiento al comportamiento del tanque por su efecto de tiempo de residencia en el fluido que ingresa al reactor; la operación se mantiene de esta manera durante 7 horas. Durante este proceso se identificó la necesidad de mantener el agitador encendido para homogenizar el fluido con el coagulante y favorecer la formación de flóculos. Transcurridas

5 7 horas, se enciende el agitador y la fuente del electro coagulador a una potencia de 20W aproximadamente, con el fin de homogenizar el fluido dentro del TK-300 y generar coagulante (hidróxido de aluminio) para que se dé una clarificación efectiva del fluido. Se toman muestras para inspección visual cada media hora con el fin de identificar el punto de estabilización que sea adecuado para iniciar recolección de muestras para análisis de laboratorio.

Se tomaron muestras para análisis de laboratorio en campo para los parámetros de GyA [ppm] y SST [ppm] a la entrada y salida del electrocoagulador. El comportamiento de estos parámetros se presenta en las siguientes gráficas.

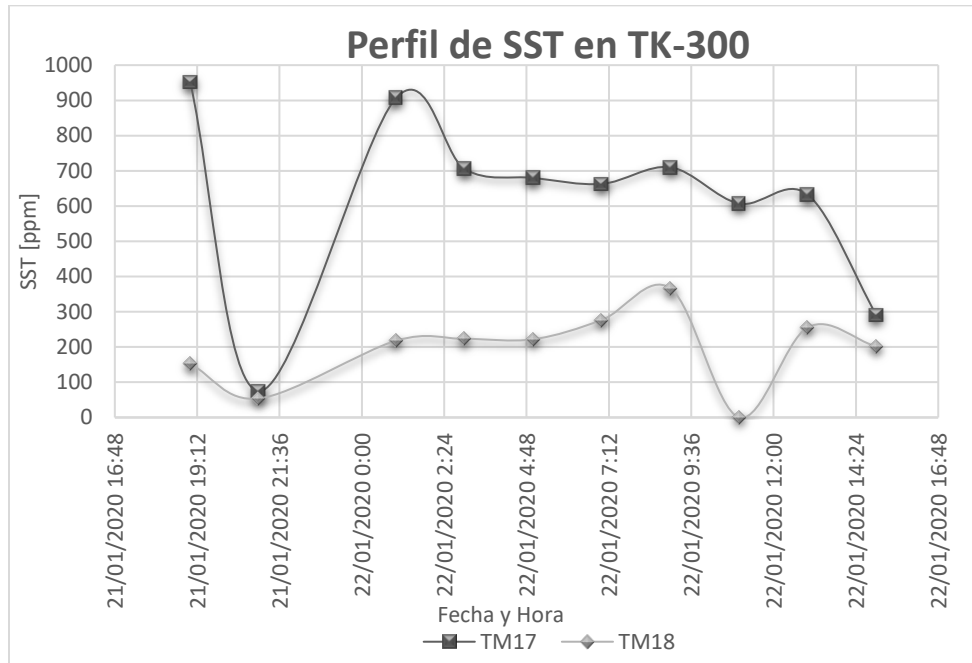


15 Gráfica 6. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 el día 21/01/20

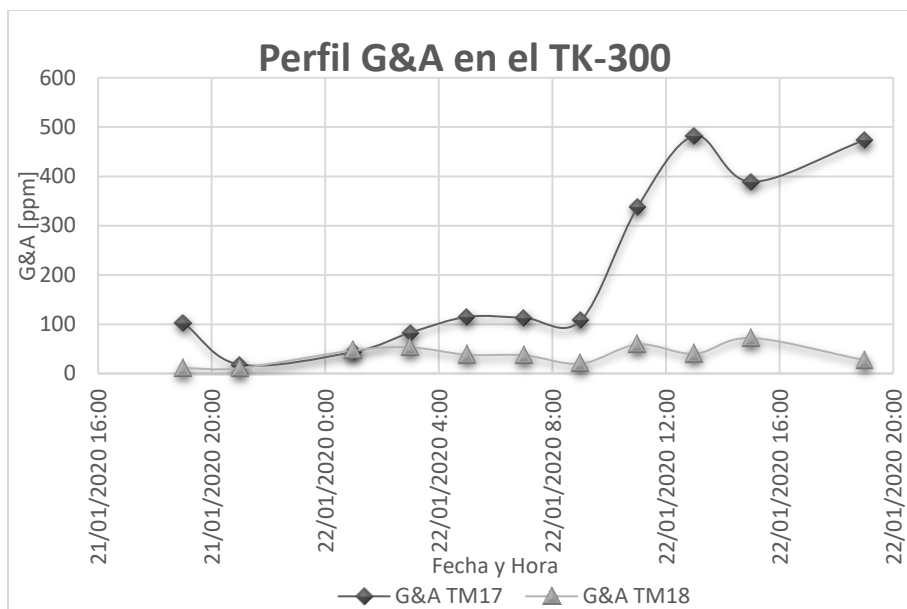
Se realiza en análisis de los datos reportados de la prueba anterior, la cual fue llevada a cabo en condición de overflow cerrado, los datos obtenidos muestran que al estabilizarse las condiciones del fluido de entrada del equipo TK-300, se logra una reducción considerable en la presencia de SST y G&A a la salida del equipo. Esto se debe al equilibrio entre la concentración de SST y G&A respecto a la cantidad de coagulante generado por los electrodos. Adicionalmente, esta porción de SST y G&A removido durante esta etapa de la prueba se juntó en la parte superior del TK-300 junto a las trazas de hidrocarburo aún presentes en el fluido de entrada,

- 5 Se continuaron las pruebas haciendo apertura de la línea overflow del equipo por lazo de control automático, con el fin de evacuar hidrocarburo y natas acumulados en el TK-300 por diferencia de presión. A continuación, se activa el agitador AG-300 para homogenizar el contenido del tanque, además se incrementó la presión del tanque a partir del ajuste de la válvula PV-300 hasta alcanzar 8,4 psig. También se ajustaron el intervalo de activación de la fuente ON/OFF cada 30 minutos y el intervalo de apertura/cierre para las válvulas SOV-300 y SOV-301 (línea de aceite de rechazo) en apertura durante 8 s y cierre durante 15 s, Por último, se realiza seguimiento, monitoreo y toma de muestras a la entrada y salidas underflow y overflow del TK-300 para esta configuración con intervalos de 2 horas.

Los resultados se representan en las siguientes gráficas.

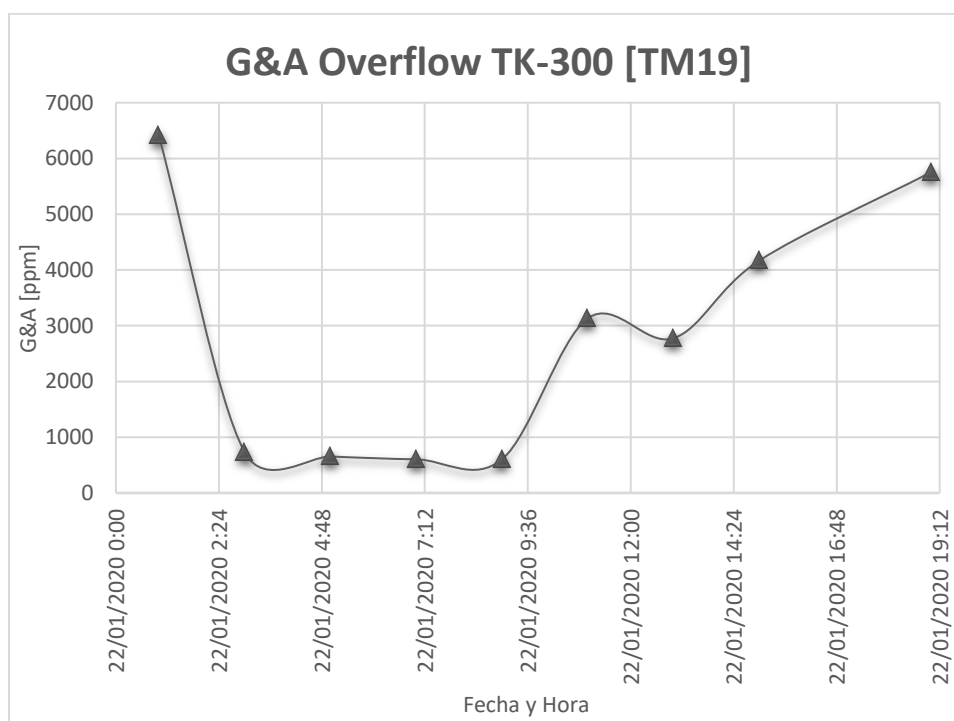


Gráfica 7. Comportamiento del perfil de SST en el TK-300 del día 21/01/20 al 22/01/20



5

Gráfica 8. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 del día 21/01/20 al 22/01/20



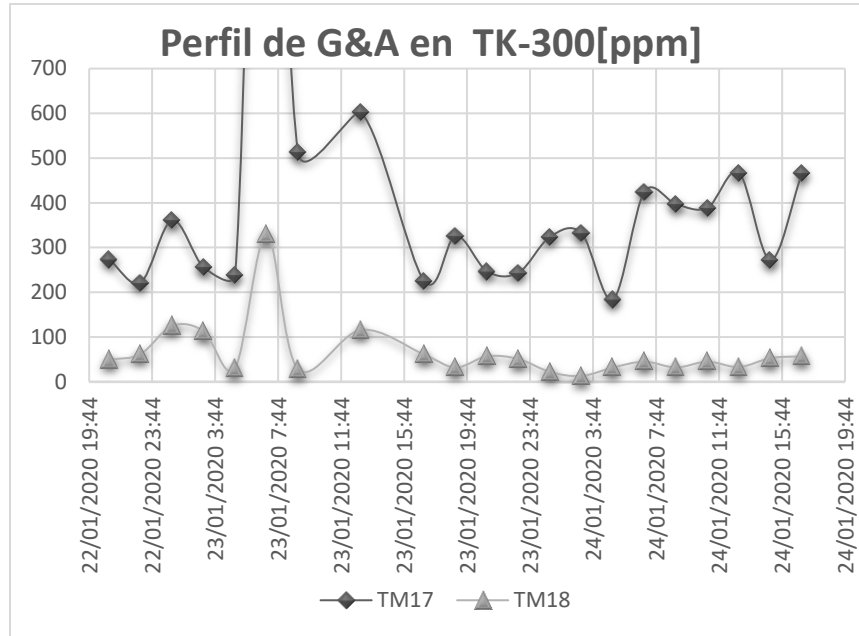
Gráfica 9. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 por overflow del día 22/01/20.

10

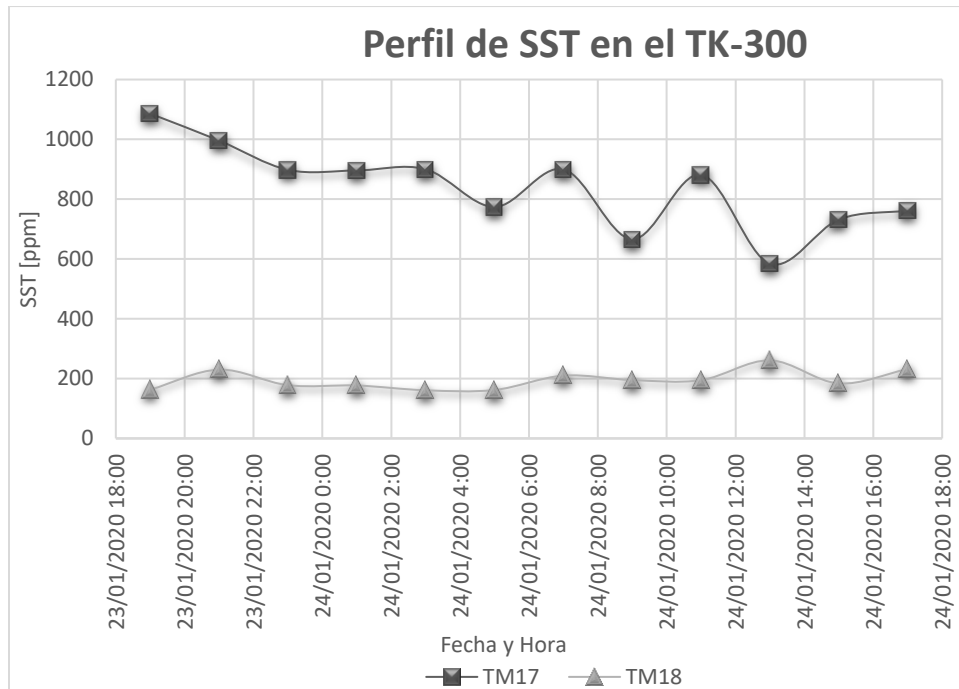
Después de superadas las 72 horas de actividad continua en los equipos de las etapas anteriores o de pretratamiento en los que se lograron resultados que demuestran operación

- 5 estable con resultados repetibles, se procedió a ajustar la configuración de potencia para la fuente de energía en el electro-coagulador del tanque TK-300 pasando de una potencia de 23,8 W a 15W y al mismo tiempo se ajustó el intervalo de activación de la fuente ON/OFF, con ciclos de 30 minutos a activación continua.

- Posteriormente, pasadas 96 horas de operación continua y con resultados repetibles se
10 mantiene operación continua de la fuente a 15W.



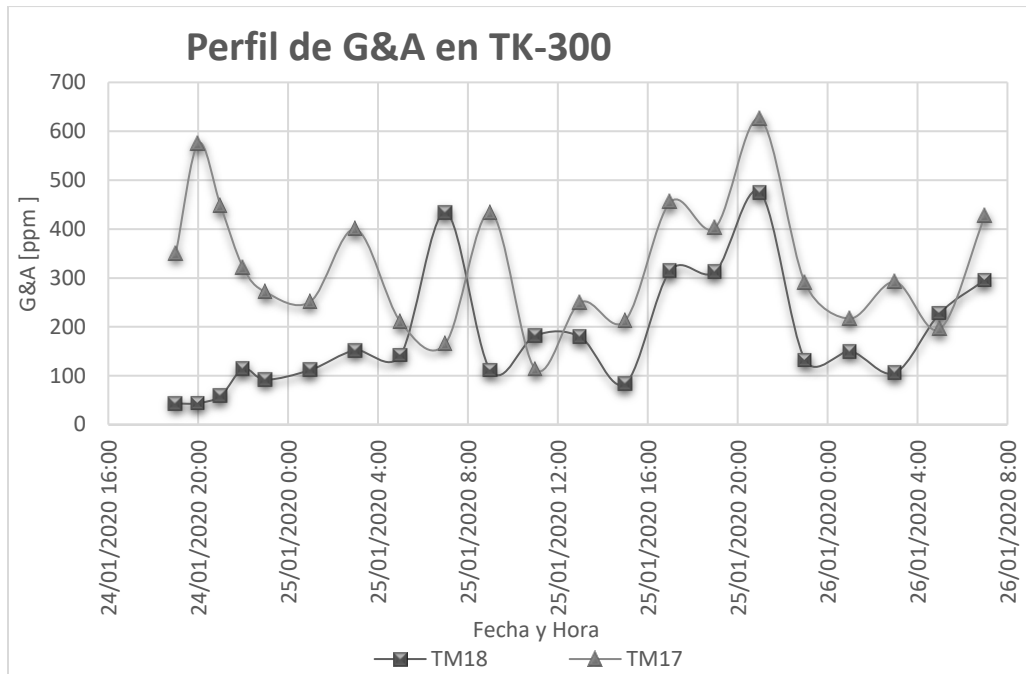
Gráfica 10. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 del día 22/01/20 al 23/01/20



5

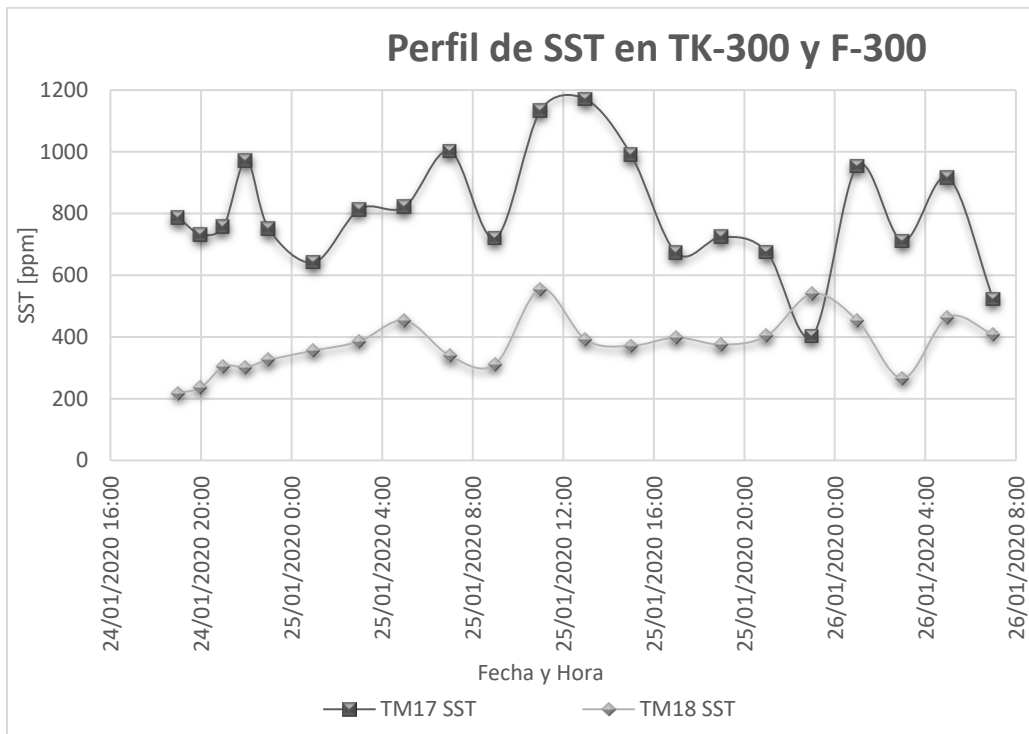
Gráfica 11. Comportamiento del perfil de SST en el TK-300 del día 23/01/20 al 24/01/20

- Al realizar la inspección de la potencia suministrada por la fuente al electro-coagulador del TK-300, se observa un fenómeno de saturación de los electrodos por los procesos de oxidación – reducción, por lo cual se invierte la polaridad para monitorear el cambio e identificar posible desgaste, saturación o falla en contacto de los electrodos. Se hace modificación de la potencia manteniendo limitantes de voltaje para 8v y 12v a una corriente de 5A, Se realiza seguimiento de potencia para la fuente de energía en el electro-coagulador del tanque TK-300 en 40W de alimentación constante.
- Con el monitoreo de la potencia suministrada por la fuente del TK-300, se sigue observando reducción progresiva en la potencia, que podría ser causada por la acumulación de residuos en las placas por lo cual se llevó el equipo a mantenimiento y limpieza.



5

Gráfica 12. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 del día 24/01/20 al 26/01/20



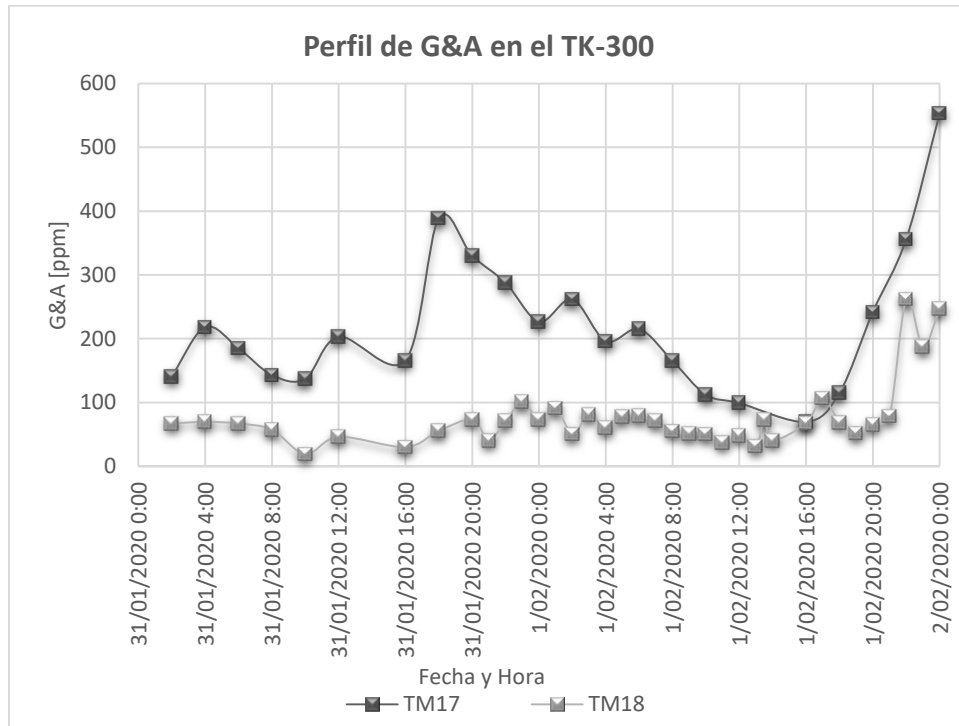
Gráfica 13. Comportamiento del perfil de SST en el TK-300 del día 24/01/20 al 26/01/20

10

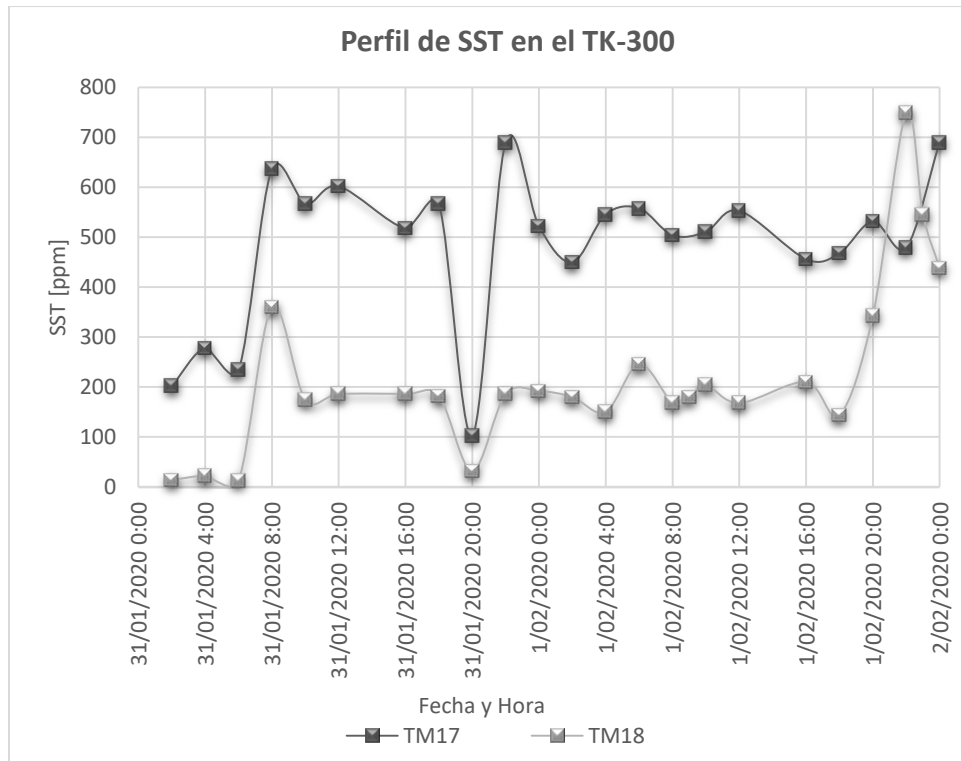
- 5 Después de realizado el mantenimiento, se volvió a hacer el montaje y alineación del equipo para realizar el seguimiento de 36 horas de operación continua, en los que la operación se mantuvo estable y se obtuvieron eficiencias estables por encima del 65%.

El comportamiento de los parámetros de GyA y SST durante esas 36 horas de operación continuas del equipo se presentan en los siguientes gráficos.

10



Gráfica 14. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 del día 31/01/20 al 02/02/20, Prueba 36 horas de operación continua



5

Gráfica 15. Comportamiento del perfil de SST en el TK-300 del día 31/01/20 al 02/02/20,
Prueba 36 horas de operación continua

5

Lista de Gráficas

	Gráfica 1. Configuración experimental de laboratorio.....	8
	Gráfica 2. Espectros de FTIR-ATR de los sedimentos M2S y M4S.....	11
10	Gráfica 3. Comparación de los espectros FTIR-ATR de los sedimentos M4S y M2S, y con el del extracto M1F1.	12
	Gráfica 4. Comparación de los espectros de FTIR-ATR del crudo Rubiales Rb1237H con el de los extractos.....	13
15	Gráfica 5. Distribución de abundancias relativas de las clases detectadas por ESI (-) FT-ICR MS.	15
	Gráfica 6. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 el día 21/01/20.....	16
	Gráfica 7. Comportamiento del perfil de SST en el TK-300 del día 21/01/20 al 22/01/20 .	17
	Gráfica 8. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 del día 21/01/20 al 22/01/20	18
20	Gráfica 9. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 por overflow del día 22/01/20.	18
	Gráfica 10. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 del día 22/01/20 al 23/01/20	19
	Gráfica 11. Comportamiento del perfil de SST en el TK-300 del día 23/01/20 al 24/01/2020	
25	Gráfica 12. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 del día 24/01/20 al 26/01/20	21
	Gráfica 13. Comportamiento del perfil de SST en el TK-300 del día 24/01/20 al 26/01/2021	
	Gráfica 14. Comportamiento del perfil de G&A en el TK-300 del día 31/01/20 al 02/02/20, Prueba 36 horas de operación continua.....	22
30	Gráfica 15. Comportamiento del perfil de SST en el TK-300 del día 31/01/20 al 02/02/20, Prueba 36 horas de operación continua.....	23

35

40

45

5

REFERENCIAS

- 10 Abdel-Aziz, M. H., & El-Ashtoukhy, E. S. (2016). Oil-in-water Emulsion Breaking by Electrocoagulation in a Modified Electrochemical Cell. *International Journal of Electrochemical science*, 9634 – 9643.
- Akmaz, S., Iscan, O., Gurkaynak, M. A., & Yasar, M. (2012). The Structural Characterization of saturate, Aromatic, Resin, and Asphaltene Fracciones of Batiraman. *Petroleum Science and Technology*, 160-171.
- 15 Balan, E., Lazzeri, M., Morin, G., & Mauri, F. (2006). First-principles study of the OH-stretching modes of gibbsite. *American Mineralogist*, 115-119.
- Cañizares, P., Martínez, F., Lobato, J., & Rodrigo, M. A. (2006). Break-up of oil-in-water emulsions by electrochemical techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 233-240.
- 20 Herbs, R. J. (1991). *Denver Patente n° 5043050*.
- J., H. R. (1996). *Estados Unidos Patente n° WO96/40591*.
- Kemmerer, T. L. (1993). *Englewood Patente n° 5302273*.
- Machucha-Martínez, F., Cabrales, N. d., & Palomino, C. E. (2002). *Colombia Patente n° WO2011159195A1*.
- 25 Permanyer, A., Doui, L., Lanchini, A., Lamontagne, J., & Kister, J. (2001). FTIR and SUVF spectroscopy applied to reservoir compartmentalization: a comparative study with gas chromatography fingerprints results. *Fuel*, 861-866.
- Tipton, G. A., Slack, H. M., & Juarez, B. (2002). *Houston Patente n° WO2002044092A1*.
- 30 Usoltseva, N., Korobochkin, V., Balmashnov, M., & Dolinina, A. (2015). Solution transformation of the products of AC electrochemical metal oxidation. *Procedia chemistry*, 84-89.

35

40