

5

DISPOSITIVO DE COALESCENCIA DE GOTAS DE ACEITE DISPERSAS EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES POR CAMPOS MAGNÉTICOS

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a un dispositivo que permite la coalescencia de gotas de
10 aceite dispersas en aguas de producción, industriales o domésticas mediante la
coalescencia por campos magnéticos.

RESUMEN

El dispositivo de coalescencia de gotas de aceite dispersas en aguas residuales industriales
15 por campos magnéticos, se trata del desarrollo de un producto tecnológico para mejorar la
eficiencia de separación de un fluido aceitoso disperso en el agua de producción de un
campo petrolero que generalmente presenta altos cortes de agua, es decir alcanza valores
máximos de BS&W hasta de un 99%. En los sistemas de tratamiento y disposición de agua
para campos petroleros, es de fácil adaptación a los procesos convencionales en líneas de
20 flujo, para ayudar a remover el aceite del agua de tratamiento; el dispositivo desarrollado
opera para bajos tiempos de residencia (< 1 segundo), incrementa el tamaño de las gotas
de aceite mayores o iguales a 10 micrómetros (μm), mejorando la reducción de la
viscosidad del aceite, ya que es una tecnología compacta que no requiere el uso de
productos químicos.

25

ESTADO DE LA TÉCNICA

Es común la coalescencia de gotas de agua dentro de una fase continua aceite para el
tratamiento de crudos en la industria de hidrocarburos, este proceso de deshidratación
30 puede hacerse mediante el uso de químicos, calentamiento o uso de equipos o tratadores
a base de campos eléctricos a nivel general, sin embargo, es muy escasa la tecnología para
el método inverso, es decir, la coalescencia de gotas de aceite dentro de la fase continua
agua para el tratamiento de las aguas de los campos petroleros.

Los campos magnéticos pueden utilizarse para fusionar las gotas de aceite de forma
35 análoga como lo haría un campo eléctrico para la deshidratación de crudos, sin embargo,
este último presenta algunas desventajas, como el consumo eléctrico y el aumento de
temperatura. Por otro lado, la utilización de aditivos químicos presenta altos costos y el
método por calentamiento presenta mayor desventaja debido al gasto energético que
representa, así como la pérdida por liberación de componentes ligeros dentro del fluido.

5 Una de las primeras patentes relacionadas con el tema fue la publicación US 1978509 (A), llamada "*Proceso Para la Separación Magnética de Emulsiones*" del año 1934 refiere a la aplicación de un campo magnético a un sistema de emulsión, con el fin de separarlo en sus fases componentes, este campo magnético es de carácter alterno, unidireccional y unidireccionales superpuestos, puede ser de cualquier frecuencia adecuada para el
10 propósito. El objeto principal de la invención es la separación de emulsiones por la acción de campos magnéticos, en ausencia de campos eléctricos producidos o mantenidos por separado.

La patente relacionada al número **US5868939** (A) publicada en el año 1999 de título "*método y aparato para romper las emulsiones de líquidos inmiscibles por coalescencia magnetostática*", el cual incluye el uso de un aditivo magnético soluble o dispersable en la
15 fase dispersa de la emulsión y un segundo aditivo para promover la coalescencia de las gotas de la fase dispersa cuando actúan sobre un campo magnético, este aparato incluye un coalescedor magnético que opera continuamente y que tiene una pluralidad de elementos magnéticos, orientados verticalmente y que están magnetizados
20 transversalmente para tratar emulsiones que contienen grandes cantidades de fase interna, en esta invención también se incluye un sedimentador asistido por campo magnético para tratar emulsiones con contenido intermedio de agua, además de filtros magnéticos para eliminar las cantidades finales de la fase interna y para recuperar los aditivos magnéticos para su reutilización en el proceso.

25 La patente del año 2014, correspondiente al número **8753436** (B1) de título "*dispositivo magnético para el tratamiento del agua*" corresponde a un dispositivo de fusión de aceite que puede usarse para mantener el aceite mientras permite el flujo de aire. Sin embargo, dentro de los aspectos de esta invención se incluye un adaptador para usar con un respirador desecante con el fin de mantener mejor el aceite dentro de la maquinaria y fuera
30 del aire.

Para el mismo año, se radico una patente de número **US2014034504** (A1) denominada "*separador de agua-aceite coalescente electrostático de alta velocidad*" refiere a un aparato para separar agua de una mezcla de agua en aceite que tiene un recipiente. En esta invención se requiere de al menos un electrodo que se coloca dentro del recipiente de
35 entrada por el cual una mezcla que fluye a través de ella se somete a un campo eléctrico.

De las patentes nacionales, la invención de número **08014335** del 2008 de título "*filtro para el tratamiento de aguas industriales aceitosas*", refiere a una estructura principal cilíndrica metálica adecuada con una serie de tuberías que permiten la entrada del agua a tratar , la salida del agua filtrada y del agua de retrolavado, este sistema de distribución es de tipo
40 regadera que hace que el agua llegue al lecho de filtrado en forma de llovizna y se utiliza un lecho de filtrado de tipo vegetal.

La patente número **11050774** radicada en el año 2011 y negada en el año 2012, denominada "*proceso de obtención de agua magnetizada y aparato*" que consiste en tratar

- 5 el agua potable en un aparato diseñado para tal fin mediante una serie de imanes cada uno de 0.4 T (4000 Gauss) a 0.5 T (5000 Gauss), en este proceso el agua queda expuesta por un periodo máximo de 8 horas donde el agua se magnetiza durante este tiempo.

En el 2013 la patente número **13270642** denominada “*dispositivo para tratamiento de aguas residuales con reactor electroquímico con porta electrodos de electrodos reemplazables y proceso de tratamiento dinámico*”. En esta invención se proporciona un aparato y
 10 procedimiento para la purificación de aguas residuales de todo tipo, empleando un reactor electroquímico que tiene una serie de ánodos y cátodos sujetos a un porta electrodo, donde los ánodos y cátodos reciben corriente continua para realizar una descomposición de los contaminantes por las diferentes reacciones electroquímicas dentro del reactor.

15 En el 2018, la patente titulada “*método de estimulación de tejidos con campos eléctricos y magnéticos por barridos en frecuencia*” de número **NC2018/0001283**, está relacionada con métodos para la estimulación de tejidos con campos electromagnéticos, eléctricos y magnéticos por barrido en frecuencia, dicho barrido en frecuencia se refiere a la variación del vector de campo electromagnético, campo eléctrico o campo magnético.

20 La patente número **92244995** denominada “*proceso y aparato para separar una fase líquida dispersa de una fase líquida continua por medio de coalescencia electrostática*” refiere a un aparato que separa la fase líquida dispersa de una fase líquida continua por coalescencia electrostática y a un procedimiento para deshidratar emulsiones líquidas de hidrocarburos.

A pesar de los avances descritos anteriormente, en cuanto a la coalescencia o rompimiento
 25 de emulsiones, a partir de campos eléctricos o magnéticos, es claro que existía, en el estado de la técnica, la necesidad de coalescer las gotas de crudo dentro de una fase continua (aguas de producción), en el cual se desea optimizar recursos y costos en comparación de los equipos convencionales, por ejemplo, Colombia tiene una de las más altas relaciones agua/petróleo donde por cada barril de crudo se generan en promedio 14 barriles de agua.
 30 Por esta razón dentro de los retos existentes para las compañías operadoras, particularmente Ecopetrol, se encuentra el manejo de las aguas residuales industriales.

A estas aguas se les conocen como aguas de producción y son una mezcla compleja de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos y disueltos en diferentes proporciones que hace que sus propiedades físicas y químicas varíen considerablemente. La calidad del agua
 35 de producción depende de la región, geología de la formación y de los demás fluidos implicados en el proceso de extracción. Inclusive, pueden variar durante la vida productiva del yacimiento y aún más dependiendo de los volúmenes de agua fresca que sea inyectada a la formación.

Estas aguas presentan una gran cantidad de contaminantes que tienen una acción muy
 40 compleja sobre el medio ambiente, afectando el desarrollo natural de los ecosistemas por el cambio de condiciones tales como la toxicidad, olor, color, entre otras. Aunque han sido tradicionalmente tratadas por métodos convencionales, la efectividad de estos procesos se está viendo seriamente limitada en los últimos años principalmente por restricciones cada

5 vez más severas, debidas al mayor conocimiento del impacto de los contaminantes en el ambiente, a la disminución de la disponibilidad de agua fresca, y al aumento de la demanda tanto humana como industrial.

Es por lo que, dentro de las ventajas que presenta esta invención, se utiliza un dispositivo portátil, que no presenta problemas para su mantenimiento ya que no requiere de paradas
10 en la operación, tampoco utiliza aditivos ni electrodos, lo anterior con el fin de tratar el fluido sin necesidad de tener contacto directo con él, que es una de las mayores ventajas que presenta dicha invención en comparación de las descritas anteriormente.

El BW OCD, se instala en líneas de flujo para diferentes diámetros, a la entrada o salida de los sistemas de tratamiento de agua, para diferentes BS&W (1% a 99%), a presión (101.325
15 kPa a 3.447 MPa), temperatura (25°C a 200°C) y caudales ($2.75 \frac{m^3}{h}$ hasta $231.85 \frac{m^3}{h}$) de fluido de la mezcla agua-aceite.

El BW OCD, es una nueva tecnología que aumenta el tamaño de las gotas de crudo que están dispersas en las aguas de producción que son obtenidas en la operación de extracción de crudo en los campos petroleros y ayuda aumentar la eficiencia de los
20 separadores convencionales de la mezcla agua residual-crudo.

Entre otras ventajas de este dispositivo es su fácil construcción, totalmente adaptable para plantas pequeñas o para líneas donde se manejen grandes o pequeños volúmenes de agua, además de su fácil instalación en las líneas de flujo con bridas.

Con relación al tiempo de residencia ($<< 1$ segundo), éste es muy corto, en comparación
25 con las invenciones anteriormente detalladas, además dentro de este proceso de tratamiento no ocurren reacciones químicas que podrían ser no deseables, dentro del estado del arte también cabe resaltar que la mayoría de las invenciones se diseñaron para coalescer gotas de agua dentro de la fase continua aceite, como en el caso de la industria de hidrocarburos que se enfoca directamente al tratamiento de crudos, sin embargo, ha
30 sido el poco estudio del tratamiento de aguas de producción, industriales o domésticas donde se desea separar la fase dispersa aceite, siendo este el principal objeto de esta invención.

El BW OCD, se puede utilizar en la entrada y salida de los equipos como separadores trifásicos, separadores verticales o horizontales de agua libre (FWKO), en los desnatadores,
35 equipos de remoción de sólidos suspendidos, equipos de microfiltración, equipos de remoción de aceites, equipos de remoción de sales y deshidratadores de crudo.

5 DESCRIPCIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general del BWOCD

Figura 2. Caja eléctrica de control analógico del BWOCD

Figura 3. Esquema mecánico del BWOCD

10 **Figura 4.** Imágenes de los resultados de las pruebas experimentales

5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INVENCION

- Se diseña y construye un dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos, el cual está integrado por una base de politetrafluoroetileno, que soporta los núcleos de acero comercial de los electroimanes y fluye la mezcla agua-aceite. El diseño establece la posibilidad de utilizar con el mismo diámetro (0.0254 m hasta 0.0508 m) de entrada, diferentes tamaños de núcleo para aumentar la inducción magnética que está en el rango de 0.01 T a 0.2 T en corriente continua y electromagnético que se encuentra en el intervalo de 0.01 T a 0.1 T en corriente alterna. La base de politetrafluoroetileno tiene un espesor que puede permitir presiones de 101.325 kPa a 3.447 MPa.
- El electroimán tiene la propiedad de adquirir propiedades magnéticas cuando su bobina es atravesada por una corriente eléctrica de 0 A hasta 15 A en continua o alterna. El núcleo del electroimán es de acero comercial, un material ferromagnético cuyo valor de permeabilidad magnética relativa es mayor que uno ($\mu_r > 1$), además cuenta con un circuito magnético. El circuito magnético es análogo a un circuito eléctrico y esta alimentado por una caja de control analógico que permite manipular la variación de voltaje (21.6 V a 29.8 V) en continua y la variación de voltaje (20.40 V a 240 V) en alterna con su frecuencia (0 Hz a 400 Hz). Finalmente, a los extremos de la base de politetrafluoroetileno cuenta con conexiones a la tubería principal por medio de nipples y uniones de politetrafluoroetileno y bridas en acero inoxidable que resisten temperaturas de 25°C a 200°C, presiones de 101.325 kPa a 3.447 MPa y caudales de $2.756 \frac{m^3}{h}$ hasta $231.85 \frac{m^3}{h}$.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

- El dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos es la integración de un sistema eléctrico y un sistema mecánico (ver figura 1). El primero está conformado por una caja eléctrica que alimenta los núcleos que están incorporados al sistema mecánico por donde fluye el fluido. Este dispositivo es un equipo diseñado especialmente para producir campos magnéticos variables medidos en tesla (T) entre un rango de 0.01 T a 0.1 T y campos magnéticos uniformes en un intervalo de 0.01 T a 0.2 T a través de una alimentación de corriente alterna de 220 voltio (V) y una frecuencia de 60 hercios (Hz). Los campos magnéticos generados por el equipo, induce a las gotas de aceite dispersas a fusionarse entre ellas, un fluido continuo, en este caso agua. Las emulsiones de aceite / agua o agua/aceite, son sometidas a un campo magnético haciendo que las gotas de aceite viajen en un solo sentido, estas se aglomeran y luego se coalescen, con el fin de aumentar el tamaño de las gotas de aceite.
- En la **figura 1**, se muestra el esquema general del dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos, el cual se compone de un sistema eléctrico y un sistema mecánico. El sistema eléctrico del BW OCD, es una caja

5 eléctrica de control analógico (1), que se alimenta con corriente alterna a un voltaje de 220 V y una frecuencia de 60 Hz, internamente la caja está integrada con dos fuentes de la serie LRS-200-24, pulsadores abierto (encendido) y cerrado (apagado), relés electromecánicos, interruptores termomagnéticos, pulsadores de parada de emergencia, borneras, un inversor de frecuencia MK 2000T y un ventilador axial para disminuir la temperatura generada por
 10 el funcionamiento de la caja de control (1). El sistema eléctrico se explica en detalle en la figura 2.

Además, en la figura 1 se observa el sistema mecánico (2) y (3) del dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos, ambos con un diámetro interno de 0.0254 m hasta 0.0508 m. El sistema
 15 mecánico esta construido con una base de politetrafluoroetileno, dos electroimanes en forma de U, que están incrustados por la parte externa de la base de politetrafluoroetileno de forma perpendicular a la trayectoria del fluido, los electroimanes tienen como núcleo un acero comercial con permeabilidad magnética relativa de 1000, además, las uniones, niples y bridas están roscadas a la base del politetrafluoroetileno, para su conexión en la línea
 20 principal de flujo de agua industrial o agua de producción. El dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos puede operar a una presión en el rango 101.325 kPa a 3.447 MPa, temperaturas de 25°C a 200°C y caudales de $2.75 \frac{m^3}{h}$ hasta $231.85 \frac{m^3}{h}$. El sistema mecánico se detalla en la figura 3.

El sistema eléctrico se conecta al sistema mecánico del dispositivo de coalescencia de
 25 gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos, por cables de potencia THHN/THWN – 2 TC SR 600V -90°C de calibre 12 (líneas negras) a las borneras las cuales son los números (4), (5), (6) y (7) de la figura 1, que se ubican en la parte inferior de la caja de control (1). Las señales de salidas de las borneras (4), (5), (6) y (7) en corriente alterna son de un voltaje en el rango de 20.40 V a 240 V, en un intervalo de frecuencia de
 30 0 a 400 Hz y un dominio de corriente de 7 a 14 A, además las borneras (4), (5), (6) y (7) también puede permitir el flujo de corriente continua en un rango de voltaje de 21.6 V a 29.8 V y una corriente que va desde 0 hasta 8 A.

En la **figura 2**, se detalla la parte frontal de la caja de control analógico (1) que se observa en la **figura 1**, donde se distribuye las señales de salida de corriente alterna y corriente
 35 continua en las borneras (4), (5), (6) y (7) (ver figura 1) que alimentan el sistema mecánico del dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos (2) y (3) de la figura 1. La caja de control (1) de la figura 1, se distribuye en un circuito primario y un circuito secundario. El circuito primario permite controlar el paso de corriente alterna y corriente continua al circuito secundario. El circuito secundario es
 40 quien controla la señal de salida de corriente continua y corriente alterna hacia los electroimanes que están en el sistema mecánico.

5 La caja de control (1) de la figura 1, tiene dos paradas de emergencia que cierra el circuito primario, el botón número (8) es la parada de emergencia en corriente alterna y el botón número (9) es la parada de emergencia en corriente continua de la **figura 2**, también se cuenta con los pulsadores de encendido y apagado, donde el encendido permite el flujo de corriente y el apagado no permite el paso de corriente que alimenta al circuito eléctrico secundario. El botón (12) es el encendido del circuito en corriente alterna y el botón (13) es el encendido en corriente continua. Al pulsar los botones (12) y (13) se enciende los pilotos (10) y (11), los cuales consiste en una luz de un led de color azul, que indica que por el circuito primario está fluyendo corriente, el piloto (10) es el indicador del circuito corriente alterna y el piloto (11) es el indicador del circuito de corriente continua. Los pulsadores de apagado que no permite el paso de corriente al circuito secundario es el botón (14) para corriente alterna y el botón (15) para corriente continua.

El circuito primario de la caja de control analógico (1) (Ver figura 1), está conformado por los botones (8), (9), (12), (13), (10), (11), (14) y (15) de la **figura 2**. El circuito primario es quien permite la alimentación en corriente alterna y corriente continua al circuito secundario, que son los números 16 hasta el 39 de la **figura 2** y se describe a continuación.

Los indicadores (16), (17), (22), (23), (28), (29), (34) y (35) de la **figura 2**, son los pilotos del circuito secundario, los cuales indican por medio de un led de luz azul, el paso de corriente alterna y corriente continua hacia las borneras (4), (5), (6) y (7) de la **figura 1** que se conectan por medio de cables THHN/THWN – 2 TC SR 600V -90°C de calibre 12 (líneas negras) a las borneras al sistema mecánico (2) y (3) del dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos (ver figura 1). Los botones (18), (24), (30) y (36), son los pulsadores de encendido del circuito secundario en corriente continua de la caja de control (1) del sistema eléctrico. Así mismo, los botones de encendido, del circuito secundario en corriente alterna, son (19), (25), (31) y (37) de la caja de control analógico del sistema eléctrico. Los pulsadores de apagado del circuito secundario en corriente continua, son los botones (20), (26), (32) y (38) los cuales no permiten el flujo de corriente continua hacia las borneras (4), (5), (6) y (7) de la **figura 1**. Además, el apagado del circuito secundario en corriente alterna son los botones (21), (27), (33) y (39) de la caja de control (1).

El circuito primario de la caja de control (1) de la figura 1, permite el flujo de corriente al circuito secundario de la caja de control (1). Además, el circuito secundario permite el flujo de corriente alterna y corriente continua a las borneras (4), (5), (6) y (7) de la **figura 1**, que por medio de cables de potencia THHN/THWN – 2 TC SR 600V -90°C de calibre 12 (líneas negras), se unen al sistema mecánico del dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos (2) y (3) del esquema de la figura 1. A continuación, en la figura 3 se explica el sistema mecánico del dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos.

5 La **figura 3**, se muestra el sistema mecánico del dispositivo de coalescencia de gotas de aceite dispersas en aguas por campos magnéticos y está conformado por dos bridas de acero inoxidable (40) y (50), dos niples de acero inoxidable (41) y (49), dos uniones de politetrafluoroetileno (42) y (48), dos niples de politetrafluoroetileno (43) y (47), dos núcleos de acero comercial de los electroimanes (44) y (46) y una base de politetrafluoroetileno (45).

10 Los dos núcleos de acero de los electroimanes (44) y (46) están incrustados por la parte externa de la base de politetrafluoroetileno (45) de forma perpendicular a la trayectoria del fluido. Además, los dos niples de politetrafluoroetileno (43) y (47) están roscados a la base de politetrafluoroetileno (45), a su vez las dos uniones de politetrafluoroetileno (42) y (48) están roscadas a los dos niples de politetrafluoroetileno (43) y (47), los dos niples de acero inoxidable (41) y (49) están roscados a las dos uniones de politetrafluoroetileno (42) y (48), finalmente las bridas de acero inoxidable (40) y (50) están roscadas a los dos niples de acero inoxidable (41) y (49). Las bridas de acero inoxidable (40) y (50) se conectan a la línea de flujo principal con espárragos o tuercas con arandelas que resistan una presión de 3.447 MPa.

20 La conexión del sistema mecánico con el sistema eléctrico se muestra en la figura 1, por medio de cables de potencia THHN/THWN – 2 TC SR 600V -90°C de calibre 12 (líneas negras) que están conectadas a los núcleos de acero incrustados (44) y (47) a la base de politetrafluoroetileno (45) de la figura 3. Además, el sistema mecánico del dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos, se conecta también a la línea de flujo principal de aguas industriales por medio de las bridas (40) y (50) de la figura 3.

El flujo de la mezcla agua y aceite circula por el diámetro interno del ensamble de todas las piezas del sistema mecánico del BW OCD. El diámetro interno de la base de politetrafluoroetileno (45), es 0,0254 metros (m) hasta 0.0508 m, con una longitud de 0.2 metros (m) hasta 1 m. Las bridas (40) y (50) pueden ser adaptadas a las líneas de tuberías principales. El dispositivo opera en las siguientes condiciones de flujo, con una temperatura de 25°C a 200°C, una presión de 101.325 kPa a 3.447 MPa y caudales de $2.756 \frac{m^3}{h}$ hasta $231.85 \frac{m^3}{h}$.

35 Los núcleos de acero al carbono de los electroimanes (44) y (46) están conectadas a un sistema de control analógico eléctrico (1), que se muestra en el esquema general de la **figura 1**, lo cual permite producir un campo magnético en el rango de 0.01 T a 0.2 T en corriente continua y de 0.01 T a 0.1 T en corriente alterna variando la frecuencia de 0 a 400 Hz.

El método de operación del dispositivo de coalescencia de gotas de aceite dispersas en aguas residuales industriales por campos magnéticos, comprende las siguientes etapas:

- a. Conectar la caja de control (1), a una alimentación de 220 V- 60Hz.

- 5 **b.** Subir los interruptores termomagnéticos de corriente alterna y corriente continua dentro de la caja de control (1).
- c.** Abrir los botones de parada de corriente alterna (8) y corriente continua (9).
- d.** Iniciar el arranque de corriente alterna (12) y corriente continua (13).
- 10 **e.** Si se ha iniciado el arranque en corriente alterna (12), encienda el inversor de frecuencia MK 2000T que se encuentra dentro de la caja de control (1) y configure la frecuencia (0 Hz a 400 Hz).
- f.** Una vez que ya se haya energizado el funcionamiento del circuito primario de la caja de control (1), procede a magnetizar los núcleos (44) y (46) del electroimán.
- 15 **g.** Para magnetizar los núcleos (44) y (46), se inicia el funcionamiento del circuito secundario de la caja de control (1).
- h.** Una vez los electroimanes generen campos magnéticos uniformes y variables, se procede a utilizar la combinación, campo magnético uniforme producido con el núcleo (44) y campo magnético variable con el núcleo (46) o viceversa, combinación campos magnéticos constantes con los núcleos (44) y (46), y
20 finalmente la combinación campos electromagnéticos o campos magnéticos variables con los núcleos (44) y (46).
- i.** Para finalizar, presione todos los botones de parada (20), (21), (26), (27), (32), (33), (38) y (39), luego presione los botones de parada de corriente alterna (14) y corriente continua (15), luego los dos botones de parada de emergencia (8) y
25 (9), baje ambos interruptores termomagnéticos en el interior de la caja de control (1) y desconecte de la fuente de alimentación de 220 V y 60 Hz.

5 EJEMPLO 1.

Se realizó una serie de experimentos para probar la eficiencia del dispositivo de coalescencia de gotas de aceite dispersas en aguas de producción por campos magnéticos en pruebas de laboratorio, en las pruebas se dispuso de una planta piloto de laboratorio (Loop de pruebas), el cual tiene instalado un separador de hidrociclón y el dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos en serie, estas pruebas se realizaron para determinar el aumento de la eficiencia de separación de aceite-agua del hidrociclón utilizando el dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos.

Para todas las pruebas se preparó 2,8 litros de Aceite Klearol, añadiendo suficiente cantidad de Sudan Black B, hasta que el aceite tornara en un color morado uniforme, esto con el fin de distinguir fácilmente el agua del aceite. Una vez preparado el aceite, se agregó 95 litros de agua en el Loop de pruebas y luego se añadió los 2,8 litros de aceite, los volúmenes de los fluidos fueron tomados en referencia a la relación de agua y aceite que se producen en campos petroleros, el cual tiene corte de agua de aproximadamente el 97%; para formar las emulsiones se realizó un mezclado homogéneo en un tanque con agitador a 250 rpm durante 10 minutos que está instalado en el Loop de pruebas.

Los parámetros de operación del dispositivo operando con las diferentes corrientes se muestran en la **Tabla 1.** para corriente directa y en la **Tabla 2.** para corriente alterna:

Tabla 1. *Parámetros de Operación del dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos (Corriente Continua)*

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Temperatura promedio de las bobinas	66	°C
Temperatura promedio núcleo	43	°C
Campo magnético	0.2	T
Corriente eléctrica	15	A
Voltaje	220	V
Potencia eléctrica	550	W

Tabla 2. *Parámetros de Operación de dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos (Corriente Alterna)*

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Temperatura promedio bobina	57	°C
Temperatura promedio núcleo	45	°C

Campo magnético	0.03	T
Corriente eléctrica	2.5	A
Voltaje	30	V
Potencia eléctrica	450	W
Frecuencia	2	Hz

5 **Tabla 3.** *Resultados de prueba experimentales*

TIPO DE PRUEBA	PRUEBA EN BLANCO	PRUEBA CON CORRIENTE ALTERNA	PRUEBA CON CORRIENTE CONTINUA
Volumen de aceite libre [%]	25.56	31.06	38.35
Volumen de agua emulsionada [%]	74.44	68.94	61.65

Los resultados obtenidos en la **Tabla 3**, muestran la eficiencia con campos magnéticos variables y uniformes (corriente alterna, corriente continua y prueba en blanco respectivamente), de las muestras obtenidas en el laboratorio a las condiciones especificadas anteriormente. Se concluye que la corriente continua (campo magnético uniforme), obtiene un porcentaje mayor de aceite “puro” del 38.35% en comparación con la corriente alterna (campo magnético variable), donde se obtiene un porcentaje del 31.06% de aceite “puro” y con la prueba en blanco un porcentaje del 25.56%, demostrando que el dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos aumenta la recuperación de aceite disperso en las aguas de tratamiento.

EJEMPLO 2.

Se realizó una serie de experimentos en un campo petrolero, para determinar el crecimiento de las gotas de crudo dispersas en las aguas de producción con el dispositivo de coalescencia de gotas de aceite dispersas en aguas de producción por campos magnéticos.

La alimentación del dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos, es agua de producción, que contiene un BS&W del 98%, una densidad de $981.77 \frac{kg}{m^3}$ y una viscosidad dinámica de $45 * 10^{-5}$ Pa*s. Las condiciones operacionales se muestran en la **Tabla 4**.

5 **Tabla 4.** *Condiciones operacionales en campo utilizando el dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos en modo de corriente continua (Campo magnético constante).*

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Flujo volumétrico	7.95	$\frac{m^3}{h}$
Presión de operación	0.971	MPa
Temperatura del fluido	52.78	°C
Campo magnético	0.067	T
Voltaje	29.75	V
Potencia eléctrica	550	W

10 Se realizaron varias tomas del agua de producción a la entrada del dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos, luego se tomaron varias imágenes con un microscopio digital para caracterizar el agua de producción en la alimentación. En la **figura 5**, se muestra la micrografía de la distribución de gotas de crudo (color negro), dispersas en las aguas de producción (color blanco) antes de entrar al dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en

15 aguas de producción por campos magnéticos. Se puede apreciar que las trazas de crudo y gotas están muy dispersas en la muestra de alimentación. En la **figura 6**, se muestra la micrografía de la distribución de gotas de crudo (color negro), dispersas en las aguas de producción (color blanco), en la salida del dispositivo de coalescencia de gotas de aceites dispersas en aguas de producción por campos magnéticos.

20 En la **figura 6**, se puede detallar la aglomeración o crecimiento de las gotas de crudo en un solo lugar de la muestra, luego de ser sometida a un campo magnético constante y perpendicular a la dirección de flujo. En este ejemplo, queda demostrado el crecimiento de las gotas de crudo dispersas en las aguas de producción, probado en un ambiente relevante de la industria del petróleo. El aumento de las gotas de crudo es importante para mejorar la

25 eficiencia de separación de la mezcla agua-crudo en los separadores convencionales, además reduce costos operacionales debido a la reducción de la viscosidad del fluido, la cual por haber gotas pequeñas o emulsiones pueden producir gastos energéticos debido a la pérdida de energía cinética del fluido que no es homogénea.