

Estudio del efecto de tensoactivos etoxilados utilizados para la dispersión de microesferas poliméricas en lechadas cementantes

Study of the effect of etoxilated surfactant used for the dispersion of polymer microspheres in cementing drums

Meleán, Ramses^{1*}; Pereira Fedymar¹; Quintero Franklin¹; Mas Manuel¹

¹Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo, Los Teques 1070, Venezuela.

*rameasesmelean@gmail.com

Resumen

El uso de polímeros como aditivos para lechadas cementantes es ampliamente utilizado en la industria petrolera por su versatilidad en mejorar las propiedades del cemento. Esta investigación centró su estudio en el efecto que tienen las microesferas poliméricas como aditivo para disminuir la densidad de la lechada cementante y el uso de tensoactivos sobre las propiedades morfológicas del cemento petroero Pórtland clase H usado en la cementación de pozos productores de hidrocarburos. Las microesferas poliméricas son utilizadas como un aditivo extendedor, capaz de disminuir la densidad de una lechada cementante hasta un máximo de 11,5 lb/gal a una concentración de 22%. Este estudio propuso incrementar la concentración de aplicabilidad del polímero a un 30%, consiguiendo con el uso de dos tensoactivos A y B para una dispersión homogénea y estable de las microesferas en la matriz de cemento, sin afectar las propiedades físicas del mismo, aportando mejoras en la dispersión de microesferas poliméricas en la formulación de lechadas livianas en el proceso de construcción de pozos petroleros y optimizando así el proceso de producción de crudo.

Palabras claves: Microesferas poliméricas, polímeros, tensoactivo, cemento petroero, lechadas livianas.

Abstract

The use of polymers as additives for cement grouts is widely used in the oil industry due to its versatility in improving cement properties. This research focused its study on the effect that polymeric microspheres have as an additive to decrease the density of the cement slurry and the use of surfactants on the morphological properties of the H-type Portland cement used in the cementing of hydrocarbon producing wells. The polymeric microspheres are used as an extender additive, capable of decreasing the density of cementitious slurry up to a maximum of 11.5 lb/gal at a concentration of 22%. This study proposed to increase the concentration of applicability of the polymer to 30%, achieving with the use of two surfactants A and B for a homogeneous and stable dispersion of the microspheres in the cement matrix, without affecting the physical properties thereof, providing improvements in the dispersion of polymeric microspheres in the formulation of light slurries in the process of construction of oil wells and thus optimizing the process of crude production.

Keywords: Polymeric microspheres, polymers, surfactant, petroleum cement, lightweight slurries.

1. Introducción

En los últimos años se ha hecho más evidente que la cementación es una operación de vital importancia para la construcción de un pozo productor de petróleo, debido a que debe lograr un aislamiento zonal entre las zonas perforadas y el revestidor o tubería de producción, evitar su contaminación, asegurar la productividad, así como resistir las diversas condiciones de fondo de pozo (temperatura, presión, salinidad del medio, entre otras)

(Erick y col, 2006, Taylor 1990, Arrieta 2006, Robles y col, 2003). Por esta razón la lechada cementante debe cumplir con una serie de requisitos que dependerán de las características del pozo, entre ellos se encuentran la densidad, la resistencia a la compresión, la permeabilidad, entre otros (API 2002, API 1997, FONDONORMA 2005) (ISO, 2008) (ISO, 2003). Por lo tanto, para alcanzar los requerimientos exigidos se deben añadir una serie de aditivos al cemento que permitan modificar las

características de la lechada cementante ajustando sus propiedades físicas y mecánicas.

Entre los aditivos utilizados se encuentran los polímeros, el uso de estos se ha convertido en una práctica común en la preparación de lechadas cementantes, abriendo una ventana operacional de gran importancia en la industria petrolera y obligándola a estudiar con precisión la relación existente entre las fases hidratadas del cemento y estos compuestos (Mas y col, 2008, Chandra y col, 2000, Beltrán y col, 2012, Bower 2002, Fernández 2003, Glass 1992, Salager 2002, Antón y col., 1990, Salager 1992, Holmberg y col, 2003, Myers 2006, Rivas y col, 1999, Salager 1991). El uso excesivo de aditivos, además de incrementar los costos de operación, puede tanto incrementar como disminuir las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de las lechadas, por tanto es necesario realizar una serie de ensayos para comprender los mecanismos que ocurren entre el cemento y los aditivos de tipo polimérico (Giraldo 2006., Preece y col., 2001, Thomas y col., 2003, Emanuelson y col., 2003, Emanuelson y . 2003).

En el caso de la formulación de lechadas livianas, el uso de un polímero denominado microesferas poliméricas presenta la particularidad de tener una menor densidad y alta tensión superficial con el agua lo cual dificulta un mezclado homogéneo de las partículas del polímero con el cemento, dando como resultado un cemento con dispersión heterogénea de las microesferas (Pardey 1997, Pardey 1999, Ramírez y col., 2000, Pereira y col., 2006, Pereira y col, 2006, Carruyo y col., 2008, Pereira 2010, Pereira, 2012).

Esta investigación se centró en estudiar el efecto que tienen dos tensoactivos en la dispersión de las microesferas poliméricas y sobre las propiedades físicas del cemento, a fin de determinar cuál surfactante etoxilado genera la mejor propagación homogénea de las microesferas, provocando a su vez una disminución de la densidad de la lechada de cemento (Hernández 2012, Vásquez y col., 2006, López 2008).

Comprender la interacción de los polímeros y tensoactivos dentro de la dinámica de los mecanismos de reacción que ocurren durante la hidratación del cemento, aportará la información necesaria para lograr optimizar la calidad de las lechadas cementantes y el tiempo de vida del cemento endurecido, y por ende la productividad del pozo.

2. Marco metodológico

2.1. Materiales

La Tabla 1 presenta las principales características de los reactivos empleados en el estudio.

Las microesferas poliméricas son empleadas como aditivo extendedor a una concentración aproximada entre 14-22 % en lechadas cementantes con densidades comprendidas entre 11,5-13,5 lb/gal, y utilizadas en condiciones de pozo con una presión máxima de 2500 psi y una temperatura máxima de 180 °F.

El tensoactivo A fue suministrado por Clariant S.A, el tensoactivo B por Oxiteno, el dispersante, antiespumante y el cemento por CPVEN y las microesferas poliméricas por PDVSA-Intevep.

Tabla 1. Especificaciones de los reactivos empleados

Tabla 1. Especificaciones de los reactivos empleados				
Muestras	Compuesto activo		Pureza (%)	
Mezcla de Tensoactivos. (Tensoactivo A “T.A”)	No Iónico con 15 Óxidos de Etileno		13	
	No Iónico con 3 Óxidos de Etileno			
	Aniónico con 3 Óxidos de Etileno			
Tensoactivo No Iónico. (Tensoactivo B “T.B”)	No Iónico con 15 Óxidos de Etileno		98	
Microesferas poliméricas “Mic. Pol.”	Poliestireno		99	
Dispersante “Disp.”	Lignosulfonato de sodio		99	
Antiespumante “Ant.”	Mezcla de tensoactivos, solventes alifáticos, aceites, glicoles, entre otros compuestos inertes		99	
Cemento, clase H. “Lote 178”	SiO ₂	22%	C ₃ S	53
	Al ₂ O ₃	5%	C ₂ S	22
	Fe ₂ O ₃	5%	C ₃ A	5
	CaO	65%	C ₄ AF	14
	SO ₃	3%	CaSO ₄	6

2.2. Metodología desarrollada

Para evaluar la dispersión de microesferas poliméricas en lechadas cementantes de baja densidad y proponer un mecanismo de interacción entre los aditivos y el cemento se procedió a formular las siguientes lechadas bases en donde la concentración de microesferas fue de 30%, la de antiespumante de 0,01 gal/sx y la de dispersante de 0,45% (ver Tabla 2).

Las lechadas mencionadas en la Tabla 2 fueron sometidas a 160 °F de temperatura y 2000 psi de presión por un tiempo de curado de 24 horas, y se prepararon de la siguiente manera, los aditivos sólidos (microesferas poliméricas y dispersante) se agregaron al cemento H, luego de ello se añadió la mezcla seca en la mezcladora la cual contenía la cantidad de agua a utilizar, esta adición duró aproximadamente 45 seg en un mezclador (modo manual) de 2000 r.p.m., y a medida que se añadía la mezcla seca se subían progresivamente los r.p.m. de la mezcladora hasta un máximo de 7000 r.p.m. Luego de adicionar toda la mezcla seca se procedió a agregar el tensoactivo y antiespumante, y se mezcló por 1 min con 45 seg, para garantizar la homogeneidad de la lechada; las propiedades a evaluadas fueron densidad de la lechada en una balanza presurizada, resistencia a la compresión destructiva, permeabilidad al agua, estabilidad y sedimentación donde la muestra se coloca en un recipiente en cilíndrico y se mide la altura del cemento fraguado y la densidad en tres secciones de la columna, para garantizar la homogeneidad de la lechada en todo el cilindro.

Tabla 2. Lechadas bases formuladas

Lechada	Componentes
1	Cemento H + Agua + Mic. Pol.
2	Cemento H + Agua + Mic. Pol. + T. A
3	Cemento H + Agua + Mic. Pol. + T. B
4	Cemento H + Agua + Mic. Pol. + T. A + Ant.
5	Cemento H + Agua + Mic. Pol. + T. B + Ant.
6	Cemento H + Agua + Mic. Pol. + T. A + Ant. + Disp.
7	Cemento H + Agua + Mic. Pol. + T. B + Ant. + Disp.

3. Resultados experimentales y discusiones

3.1. Estudio del efecto de las tensoactivos A y B para evaluar la dispersión de microesferas poliméricas sobre las propiedades físicas en lechadas cementantes de baja densidad

En la Tabla 3 y Tabla 4 se presentan los valores obtenidos de la densidad en fase semilíquida, medida con la balanza presurizada y medida por estabilidad de sedimentación cuando la lechada ha fraguado a condiciones de pozo. Los valores de densidad son importantes debido a que verifican la homogeneidad de la lechada con un error de 20 %, valor que se encuentra en el rango estimado para las operaciones de campo (ISO 2003, API 1997). Posteriormente, se comparan ambas densidades con el fin de verificar si hubo incremento o disminución de la densidad de la lechada al fraguar y ser sometida a las condiciones experimentales.

La Tabla 3 expone los valores de densidad de las lechadas antes de ser sometidas a condiciones de fondo de pozo, estas densidades muestran que los sólidos mezclados para cada formulación poseen la densidad deseada como referencia para los ensayos posteriores, además que los

tensoactivos ayudan a dispersar las microesferas poliméricas en la matriz provocando una disminución en la densidad de la lechada.

Así mismo, en la Tabla 4 se puede observar un aumento de la densidad y disminución de la altura por compactación de las lechadas formuladas luego de fraguadas. Seguido de esto, se observa que la cantidad óptima de tensoactivo añadido, para dispersar homogéneamente las microesferas poliméricas a lo largo de la lechada, afecta considerablemente el aire entrampado ya que, mientras mayor sea la cantidad añadida del mismo mayor será el aire contenido en las muestras. Si bien el aire disminuye la densidad del cemento esto afecta negativamente sus propiedades físicas porque disminuye la resistencia a la compresión.

Tabla 3. Densidad de las lechadas antes del fraguado

Lechada	Densidad (Lb/gal) (± 0,1)
Cemento + Mic. Pol.	10,8
Cemento + Mic. Pol. + T. A (0,65 gal/sx)	10,2
Cemento + Mic. Pol. + T. B (0,01 gal/sx)	10,3
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + T. A (0,65 gal/sx)	10,0
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + T. B (0,01 gal/sx)	10,6
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + Disp. + T. A (0,65 gal/sx)	10,5
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + Disp. + T. B (0,01 gal/sx)	10,7

Tabla 4. Estabilidad y sedimentación de lechadas luego de 24 horas de fraguado

Lechada	Altura Prom. (cm)	Densidad Prom. (Lb/gal)
Cemento + Mic. Pol.	18,3	13,2 ± 0,1
Cemento + Mic. Pol. + T. A (0,65 gal/sx)	14,2	11,6 ± 0,1
Cemento + Mic. Pol. + T. B (0,01 gal/sx)	17,4	12,9 ± 0,3
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + T. A (0,65 gal/sx)	14,8	12,1 ± 0,2
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + T. B (0,01 gal/sx)	17,8	12,8 ± 0,1
Cemento + Mic. Pol. +	15,8	12,4 ± 0,3

Ant. + Disp. + T. A (0,65 gal/sx)		
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + Disp. + T. B (0,01 gal/sx)		
	14,1	12,4 ± 0,4

Cuando se comparan los valores de densidad de las lechadas aditivadas con el tensoactivo A y B, se observa un incremento en la propiedad cuando se emplea el tensoactivo B, lo que indica que este no afecta el empaquetamiento de las partículas de cemento, generando un incremento en la densidad de la misma, debido a que no se dispersan homogéneamente las microesferas en la matriz. Esto se debe a que el tensoactivo B tiene menor masa adsorbida y menor eficiencia en el cambio de mojabilidad tanto en las microesferas poliméricas como en el cemento; este tensoactivo no retrasa la hidratación del cemento, por lo tanto no produce una distribución homogénea de las microesferas en la matriz. Caso contrario ocurre con el tensoactivo A, ya que este se adsorbe en mayor cantidad tanto en las microesferas poliméricas como en el cemento, retrasando la hidratación del mismo y aumentando la afinidad entre ambas partículas en la matriz, lo que mantiene una baja densidad (Meleán y col., 2018).

La adición del tensoactivo posterior a la adición de las microesferas mezcladas con el cemento produce una competencia de ambas partículas por los tensoactivos lo que afecta la mojabilidad final de las microesferas (Meleán y col., 2018).

Posteriormente, las lechadas se sometieron a una prueba de resistencia a la compresión destructiva, empleada para determinar la presión que es capaz de soportar la matriz de cemento en estudio. Esta prueba consiste en someter las lechadas a un esfuerzo mínimo de 500 psi de presión a 24 horas de fraguado (ISO 2003, AP1997).

La Tabla 5 presenta los resultados de resistencia a la compresión destructiva, encontrándose que el cemento al estar mezclado con las microesferas sin tensoactivos presentan una resistencia de 636 psi; comparando esta resistencia con las presentadas por las matrices donde se adicionó tensoactivo, se observó una disminución para el tensoactivo A y un incremento para el tensoactivo B, lo que puede deberse a que el tensoactivo B al no permitir una buena dispersión de las microesferas en la lechada dio un aumento de densidad de un cemento más compactado después de fraguar evitando el colapso de la matriz. No obstante, la concentración de los tensoactivos A de 0,65 gal/sx, afectó la mojabilidad del cemento cambiándola a hidrofóbica, afectando negativamente la hidratación del cemento y por ende sus propiedades físicas (Meleán y col., 2018). Además, se observó mayor entrapamiento de aire en la lechada al añadir el tensoactivo A que al utilizar el

tensoactivo B, lo que promueve la formación de cavernas en la matriz de cemento, por el entrapamiento de aire.

También se observa que al añadir una menor concentración de tensoactivo A en la lechada la resistencia a la compresión incrementa, esto se debe a que al disminuir la concentración del tensoactivo A, disminuye la cantidad del mismo para cambiar la mojabilidad de las microesferas, más aún por la adsorción de parte del surfactante en la superficie de las partículas de cemento, lo que produce un mejor empaquetamiento del cemento, disminuyendo la cantidad de aire entrapado e incrementando la resistencia. Esto evidencia que la concentración máxima de tensoactivo A afecta a ambas partículas y con ello la hidratación del cemento, (Meleán y col., 2018) indicando la conveniencia de estudiar la mejor forma de agregar el tensoactivo para que reaccione mayoritariamente con las microesferas.

Tabla 5. Resistencia a la compresión destructiva “R.C” a las 24 horas de fraguado

Lechada	R.C Prom. (psi)
Cemento + Mic. Pol.	636,19 ± 36,75
Cemento + Mic. Pol. + T. A (0,11 gal/sx)	395,31 ± 64,63
Cemento + Mic. Pol. + T. A (0,65 gal/sx)	193,00 ± 27,71
Cemento + Mic. Pol. + T. B (0,01 gal/sx)	1010,06 ± 40,05
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + T. A (0,11 gal/sx)	861,38 ± 21,18
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + T. A (0,65 gal/sx)	216,00 ± 74,76
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + T. B (0,01 gal/sx)	834,06 ± 42,80
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + Disp. + T. A (0,11 gal/sx)	1059,13 ± 72,96
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + Disp. + T. A (0,65 gal/sx)	431,75 ± 76,51
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + Disp. + T. B (0,01 gal/sx)	1310,44 ± 79,03

Por otra parte, las lechadas con antiespumante mostraron un incremento de la resistencia a la compresión. Este comportamiento se debe a que el antiespumante impide la funcionalidad del tensoactivo de generar espuma, evitando así la formación de cavernas en la matriz las cuales debilitan la estructura.

Posterior a la resistencia a la compresión destructiva, se procedió a medir la permeabilidad al agua de las lechadas aditivadas con microesferas poliméricas y aditivos comerciales, encontrándose los siguientes resultados (ver Tabla 6),

Para que una lechada pueda ser empleada en operaciones de campo esta debe poseer una permeabilidad al agua

menor o igual a 0,1 mD (ISO 2003 ,API 1997). Los resultados mostrados en la Tabla 6 indican que ninguna de las lechadas estudiadas cumple con los requerimientos operacionales necesarios para su aplicación. Sin embargo, al aplicar los tensoactivos las lechadas presentaron problemas de adherencia entre la matriz cementante y las paredes del equipo donde se midió la permeabilidad, lo que favoreció el paso del agua a través de las paredes, evitando así una medición fiable de la propiedad.

Al disminuir la concentración de los tensoactivos y mantener constante la repartición entre ambas partículas, el cemento logró una mayor adhesión a la celda, evitando el paso de agua entre ambos. Esto implica que las concentraciones de ambos tensoactivos para lograr una mayor eficiencia en la homogeneidad de la mezcla cemento-polímero deben actuar principalmente con las microesferas para lograr su óptima mojabilidad sin afectar al cemento.

Tabla 6. Permeabilidad al agua a las 24 horas de fraguado

Lechada	Permeabilidad prom. (mD)
Cemento + Mic. Pol.	168,44 ± 0,00
Cemento + Mic. Pol. + T. A (0,11 gal/sx)	48,66 ± 2,97
Cemento + Mic. Pol. + T. A (0,65 gal/sx)	56,15 ± 4,83
Cemento + Mic. Pol. + T. B (0,01 gal/sx)	131,01 ± 4,83
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + T. A (0,11 gal/sx)	78,60 ± 7,80
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + T. A (0,65 gal/sx)	168,44 ± 0,00
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + T. B (0,01 gal/sx)	168,44 ± 0,00
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + Disp. + T. A (0,11 gal/sx)	0,11 ± 0,01
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + Disp. + T. A (0,65 gal/sx)	0,88 ± 0,35
Cemento + Mic. Pol. + Ant. + Disp. + T. B (0,01 gal/sx)	1,33 ± 0,62

La determinación de la concentración óptima de tensoactivo tanto A como B, que posteriormente se añadió a la matriz de cemento, permitió una dispersión homogénea de un 30 % de microesferas poliméricas en la matriz, generando una resistencia a la compresión con los valores mínimos para su aplicación, debido a que los tensoactivos se adsorben sobre las microesferas generando un cambio de mojabilidad en su superficie permitiéndole al polímero distribuirse en la matriz.

4. Conclusiones

El uso de tensoactivos logra incrementar la ventana operacional de microesferas poliméricas en un 30% en comparación a cuando no se usan estos aditivos en la lechada.

Los tensoactivos A y B en su concentración óptima de 0,11 gal/sx y 0,01 gal/sx respectivamente dispersan y empaquetan homogéneamente un 30 % de microesferas poliméricas en la matriz de cemento, retardando las reacciones de hidratación y favoreciendo la interacción entre las partículas de cemento y el polímero.

El Tensoactivo A muestra un mayor empaquetamiento por unidad de superficie que el tensoactivo B, generando un cambio de mojabilidad eficiente.

El uso de tensoactivos genera espuma en la lechada que disminuye su resistencia a la compresión, por lo que es necesaria la adición de un antiespumante.

El Tensoactivo A partiendo de una concentración de 0,65 gal/sx interfiere negativamente en la hidratación del cemento, debido a que la retarda afectando la resistencia a la compresión de la lechada.

Referencias

- American Petroleum Institute "API", 1997, Recommended Practice for Testing Well Cements, API 10B, Estados Unidos, American Petroleum Institute.
- American Petroleum Institute "API", 2002, Specification for cements and materials for well cementing, API 10A, Estados Unidos, American Petroleum Institute.
- Antón R, Salager JL, 1990, Surfactantes, Cuaderno FIRP 300, Mérida-Venezuela, Universidad de Los Andes.
- Arrieta M, 2006, Cementación y revestimiento de pozos (Tesis Pregrado), UNEFA, Caracas-Venezuela.
- Beltrán M, Marcilla A, 2012, Tecnología de polímeros, Valencia-España, Universidad de Alicante.
- Bower D, 2002, An introduction to polymer physics, New York-Estados Unidos, Cambridge University Press.
- Carruyo JF, y Parra O, 2008, Avances de aplicación de la tecnología microesferas poliméricas para pozos de baja presión y térmicos en PDVSA Occidente, Los Teques-Venezuela, PDVSA- Intevep, NTE-0339, Informe Confidencial.
- Chandra S, Ohama Y, 2000, Polymer in Concrete, Boca Raton-Estados Unidos, CRC Press Corporate Bivd.
- Emanuelson A, Hansen S, y Viggh EA, 2003, A comparative study of ordinary and mineralised Portland cement clinker from two different production units. Part I: Composition and hydration of the clinkers, Cement and Concrete Research, Vol. 33, N° 10, pp. 1613-1621.
- Emanuelson A, Hansen S, Viggh EA, 2003, A comparative study of ordinary and mineralised Portland cement clinker from two different production units. Part II: Characteristics of the calcium silicates, Cement and Concrete Research, Vol. 33, N° 10, pp. 1623-1630.
- Erick N, y Dominique G, 2006, Well Cementing, Texas-Estados Unidos, Schlumberger.
- Fernández I, 2003, Polímeros en solución y aplicación de los polímeros en la industria petrolera, Visión Tecnológica PDVSA-Intevep, pp. 1-14.

- FONDONORMA, 2005, Cemento y materiales para la cementación de pozos petroleros. Requisitos, Venezuela: Fondonorma 3866:2005.
- Giraldo M, Tobón J, 2006, Evolución mineralógica del cemento portland durante el proceso de hidratación, Dyna, Vol. 73, N° 148, pp. 69-81.
- Glass E, 1992, Polymers in aqueous media, New Orleans-Estados Unidos, The American Chemical Society.
- Hernández R, 2012, Evaluación de surfactantes como agente dispersante de las microesferas poliméricas en lechadas de cemento de baja densidad bajo condiciones operacionales del campo Tía Juana (Tesis Pregrado), Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.
- Holmberg K, Jonsson B, Kronberg B, Lindman B, 2003, Surfactants and polymers in aqueous solution, Chichester-Inglaterra, Jhon Wiley & Sons Inc.
- International Standard "ISO", 2003, Petroleum and natural gas industries-cement materials for well cementing Part 2, ISO 10426-2, Estados Unidos, International Standard, pp. 1-170.
- International Standard "ISO", 2008, Petroleum and natural gas industries, Cements and materials for well cementing, ISO 10426-6, Estados Unidos, International Standard.
- López E, 2008, Evaluación de las propiedades interfaciales de los surfactantes del producto tecnológico Tensoactivo A y sus mezclas, Los Teques-Venezuela, PDVSA-Intevep, INT-11724, Informe Confidencial.
- Mas M, Bastos V, Colina A, Corona O, 2008, Aditivos poliméricos como mejoradores de las propiedades de las lechadas de cemento, Los Teques-Venezuela. PDVSA-Intevep, SEA-0087, Informe Confidencial.
- Meleán R, Quintero F, Pereira F, Gonzalez JM, Mas M, 2018, Estudio de propiedades interfaciales de dos tensoactivos etoxilados en partículas de cemento y microesferas poliméricas para lechadas de baja densidad "Artículo por publicar", Revista de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.
- Myers D, 2006, Surfactant science and technology, New Jersey-Estados Unidos, John Wiley & Sons Inc.
- Pardey R, 1997, Diseño y prueba de la lechada de cemento liviano con microesferas poliméricas, Los Teques-Venezuela, PDVSA-Intevep, INT-3514, Informe Confidencial.
- Pardey R, 1999, Evaluación de la tecnología microesferas poliméricas en la celda anular (CEPRO), Los Teques-Venezuela, PDVSA-Intevep, INT-6557, Informe Confidencial.
- Pereira F, Mosquera A, 2006, Caracterización mecánica de sistemas cementantes con microesferas poliméricas, Los Teques-Venezuela, PDVSA-Intevep, INT-11121, Informe Confidencial.
- Pereira F, Buccellato V, 2006, Protocolo de aplicación del producto tecnológico microesferas poliméricas, Los Teques-Venezuela, PDVSA-Intevep, M-0448, Informe Confidencial.
- Pereira F, 2010, Experiencias de aplicación en campo de la tecnología microesferas poliméricas en PDVSA, división occidente, Seminario Internacional de Fluidos de Perforación, Completación y Cementación de Pozos (SEFLU CEMPO), Octavo SEFLU CEMPO, Vol. 8, pp. 1-22.
- Pereira F, 2012, Factibilidad de uso de microesferas de polímero en la formulación de lechadas de cemento para pozos a ser sometidos a procesos de inyección alterna de vapor (Tesis Maestría), Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.
- Preece S, Billingham J, King A, 2001, On the initial stages of cement hydration, Kluwer Academic Publishers, Cemtex, Journal of engineering mathematic, Vol. 40, N° 1, pp. 43-58.
- Ramirez C, 2000, Evaluación de la lechada de cemento de baja densidad con microesferas poliméricas de PDVSA-Intevep en el área de LIC Lagomar, pozo VLA-1348 localizado AQM-2, Los Teques-Venezuela, PDVSA-Intevep, INT-7414, Informe Confidencial.
- Rivas H, Gutiérrez X, 1999, Los surfactantes: comportamiento y algunas de sus aplicaciones en la industria petrolera, Acta Científica Venezolana, Vol. 50, N° 1, pp. 54-65.
- Robles J, Pestana D, 2003, Tecnologías PDVSA en la construcción de pozos, Visión Tecnológica PDVSA Intevep, Vol. 10, N° 2, pp. 85-98.
- Salager JL, 2002, Surfactantes Tipos y usos, Cuaderno FIRP S300-A, Mérida-Venezuela, Universidad de Los Andes.
- Salager JL, 1992, El mundo de los surfactantes, Cuaderno FIRP S311-A, Mérida-Venezuela, Universidad de Los Andes.
- Salager JL, 1991, Uso de surfactantes en la industria petrolera, Cuaderno FIRP S350-A, Mérida-Venezuela, Universidad de Los Andes.
- Taylor H, 1990, Cement Chemistry, Londres-Inglaterra, Academic Press Limited.
- Thomas J, Rothstein D, Jennings H, Christensen B, 2003, Effect of hydration on the solubility behavior of Ca-, S-, Al-, and Si-bearing solid phases in Portland cement pastes, Cement and Concrete Research, Vol. 33, N° 12, pp. 2037-2047.
- Vásquez G, Buccellato V, 2006, Manual de manufactura del producto tecnológico Tensoactivo A, Los Teques-Venezuela, PDVSA-Intevep, M-0486, Informe Confidencial.

Recibido: 10 de julio de 2018

Aceptado: 15 de febrero de 2019

Meleán, Ramses: Magister en Química Aplicada, mención Polímeros, Universidad de Los Andes 2016. Licenciada en Química, Universidad de Los Andes 2013. Gerencia General de Producción PDVSA-Intevep, Los Teques 1070, Venezuela.

Pereira, Fedymar: Magister en Ingeniería Química, Universidad Central de Venezuela 2012. Ingeniera Química, Universidad Central de Venezuela 2003.

Gerencia General de Producción PDVSA-Intevep, Los Teques 1070, Venezuela, Correo electrónico: fedymarpereira@gmail.com.

Quintero, Franklin: Magister en Análisis de Procesos Químicos, Instituto Universitario de Tecnología "Dr. Federico Rivero Palacio" 2014. Ingeniero en Procesos Químicos, Instituto Universitario de Tecnología "Dr. Federico Rivero Palacio" 2011. Gerencia General de Producción PDVSA-Intevep, Los Teques 1070, Venezuela, Correo electrónico: franmkqg1977@gmail.com

Mas, Manuel: Magister en BioQuímica, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas 1982. Licenciada en Química, Universidad Simón Bolívar 1978. Gerencia General de Producción PDVSA-Intevep, Los Teques 1070, Venezuela, Correo electrónico: masm@pdvsa.com.

