

Evaluación de la dosis de antiespumante a inyectar en el Centro Colector Fraile

Evaluation of the antifoam dose to be injected at the Fraile Collection Center

Dayanis Delgado Matos¹, Lourdes Zumalacárregui-de Cardenas^{1*}, Danelis Llerena Laffita².

¹Grupo de Análisis de Procesos, Facultad de Ingeniería Química Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” CUJAE. 114 No 11901 entre Ciclovía y Rotonda. Marianao, Habana.

²UEB Producción EPEPO, Vía Blanca Km 57, Santa Cruz del Norte, Mayabeque,

*Autor de correspondencia: lourdes@quimica.cujae.edu.cu

Resumen

En el trabajo se evaluó el uso del antiespumante NDAF 100, utilizado en el proceso de separación de petróleo y gas en el Centro Colector Fraile, perteneciente a Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo de Occidente en Santa Cruz del Norte. El objetivo general fue determinar la dosis adecuada de antiespumante a emplear en el proceso de recolección y separación del crudo de esta instalación. Se realizaron pruebas de laboratorio con diferentes concentraciones del antiespumante NDAF 100 (0 a 50 ppm) para observar su efecto en el tiempo de desgasificación. Se realizó la determinación de la dosis a inyectar para distintos flujos a través de un modelo matemático y se estimó el impacto económico del resultado obtenido. Se encontró que la dosis de 10 ppm de NDAF 100 reduce significativamente la espuma, optimizando la separación y disminuyendo costos. Se obtuvo un modelo de regresión simple Square root-X de dosis (ppm) vs flujo y se identificó un ahorro potencial de 2 751 145 CUP si se hubiese aplicado la dosis adecuada desde los inicios de la instalación. La inyección del antiespumante NDAF 100 puede ser evaluada para mejorar la eficiencia en la separación de petróleo-gas y se recomienda ajustar la dosis de antiespumante según las condiciones operativas para reducir costos y mejorar la rentabilidad de la producción.

Palabras clave: petróleo crudo, antiespumante, centro colector, separación gas-líquido.

Abstract

This work focuses on the evaluation of antifoams, specifically NDAF 100, used in the oil and gas separation process at the Fraile Collecting Center, part of the Western oil drilling and extraction company at Santa Cruz del Norte. The overall objective is to determine the appropriate dosage of antifoam to use in the crude oil collection and separation process at this facility. The injection dosage of antifoam at laboratory scale, the injection dosages for different flows using a mathematical model, and the economic impact of the results were evaluated. Laboratory tests were conducted with different concentrations of NDAF 100 (0 to 50 ppm) to observe its effect on degassing time. A dosage of 10 ppm of NDAF 100 was found to significantly reduce foam, optimizing separation and reducing costs. A simple square root-X regression model of dosage (ppm) vs. flow was obtained, and a potential savings of 2,751,145 CUP was identified if the appropriate dosage had been applied from the beginning of the installation. Injection of the NDAF 100 antifoam can be evaluated to improve the efficiency of oil-gas separation, and it is recommended that the antifoam dosage be adjusted according to operating conditions to avoid waste and improve production profitability.

Keywords: crude oil, antifoam, collection center, gas-liquid separation.

1- Introducción

El desarrollo de energías limpias constituye una necesidad para la conservación del planeta, pero en lo que este desarrollo generalizado se alcance, los combustibles fósiles seguirán siendo la fuente fundamental de energía, al menos hasta el 2050 [1]. La eficiencia de la industria petrolera, pilar económico global, depende de la optimización de procesos como la separación de petróleo y gas. En el Centro Colector Fraile, operado por la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo de Occidente (EPEPO), la formación de espuma durante la despresurización del crudo provoca dificultades en el proceso de separación, reduciendo la capacidad de los tanques de almacenamiento y aumentando costos operativos [2]. Las interacciones y el equilibrio termodinámico entre los diferentes grupos de hidrocarburos presentes en el petróleo (hidrocarburos ligeros, medios y pesados) propiciarán la formación de espuma al cambiar de fase algunos de estos componentes por el cambio de presión y temperatura durante el proceso de extracción [3].

Las espumas son dispersiones coloidales de un gas en un líquido, generalmente inestables, donde el líquido forma la fase continua. La espuma es el conjunto de burbujas gaseosas separadas por películas delgadas de líquido que se forman en la superficie de un líquido. Al formarse las burbujas se amontonan una sobre otras, formándose películas entre ellas. Las burbujas de gas dispersas en la fase líquida migran hacia la parte superior, debido a la diferencia de densidades, dividiendo el sistema en dos capas, una líquida y una de espuma [4].

En el control de la espuma se utilizan productos químicos que pueden ser desespumantes o antiespumantes o ambos. Un desespumante (supresor de espuma) puede ser considerado como un agente activo de superficie que incrementa la tensión superficial del líquido. Un antiespumante (inhibidor de espuma) controla el inicio de la nucleación de las burbujas, por tanto, un antiespumante suprime la formación de la espuma en la fase líquida. La mayoría de los antiespumantes son buenos desespumantes, pero algunos desespumantes son pobres antiespumantes [5].

Varios de estos aditivos son compuestos poliméricos de óxido de silicio, como el polidimetilsiloxano (PMDS). Son compuestos apolares, con baja tensión superficial e interfacial petróleo/silicona [6].

El NDAF 100 utilizado en el Centro Colector Fraile es un antiespumante / desespumante soluble en aceite formulado para su uso en sistemas donde se aprueba el uso de desespumantes a base de silicona. NDAF 100 funciona mediante la ruptura rápida de burbujas de espuma generadas en la interfase aceite-aire [7].

Este trabajo tuvo como objetivo determinar la dosis adecuada de NDAF 100 para la separación petróleo-gas en el Centro Colector Fraile, evaluando su impacto técnico y económico, buscando reducir el consumo de antiespumante y mejorar la rentabilidad del proceso.

2- Materiales y métodos

2.1 Determinación del tiempo requerido para el llenado de un tanque de almacenamiento

Conociendo que el porcentaje de espuma máximo permisible en el tanque de almacenamiento es 22,41 %, calculado según la ecuación 1, y que el flujo de crudo que se obtiene en un día del pozo del cual se toman las muestras es 280,37 m³/d, se calcula el flujo total (F_T) a la entrada del *manifold*, utilizando la ecuación 2.

$$\%_{\text{espuma permisible}} = \frac{V_{\text{máx}} - V_{\text{crudo}}}{V_{\text{máx}}} * 100 \quad (1)$$

$$F_T = \frac{F_C}{(1 - \%_{\text{espuma permisible}})} \quad (2)$$

Donde:

$V_{m\acute{a}x}$: Volumen máximo de crudo en el tanque (61,36 m³)

V_{crudo} : Volumen mínimo de crudo en el tanque (47,61 m³)

F_C : flujo de crudo diario

Luego, con el volumen en la línea y el volumen en el tanque se determinó el tiempo que emplea este flujo total en almacenarse en el día (tiempo de residencia) siguiendo las ecuaciones 3 a 5.

$$t_{llenado\ línea} = \frac{V_{línea}}{F_T} \quad (3)$$

$$t_{llenado\ tanque} = \frac{V_{tanque}}{F_T} \quad (4)$$

$$t_{residencia} = t_{llenado\ línea} + t_{llenado\ tanque} \quad (5)$$

Donde:

$V_{línea}$: Volumen en la línea

V_{tanque} : Volumen en el tanque

2.2 Procedimiento experimental para determinar el efecto de la adición de antiespumante

La inyección de antiespumante en el proceso de separación crudo-gas-agua en la instalación Fraile se lleva a cabo mediante dos bombas dosificadoras. Una de ellas dosifica la línea dirigida a los separadores de grupo y la otra al separador de medición. El antiespumante empleado es el NDAF 100, siendo la norma de consumo, según el fabricante, 30 ppm. Actualmente, los índices de consumo promedio se encuentran en el intervalo de 50 y 60 ppm, debido a las condiciones de trabajo de la bomba. Sin embargo, se necesita conocer la dosis adecuada en la inyección. Para ello en este trabajo se realizaron pruebas a escala de laboratorio para evidenciar la cantidad correcta a dosificar.

Para llevar a cabo las pruebas de laboratorio realizadas en la determinación de la dosis de antiespumante adecuada se tomaron seis muestras directamente del pozo FrN-1002 con una probeta de 2 L. El volumen a ensayar se midió en un vaso de precipitado de 100 mL, al que se adicionó la dosis de antiespumante correspondiente, de acuerdo al experimento. Las concentraciones del antiespumante NDAF 100 fueron: 0 ppm (sin antiespumante), 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm y 50 ppm. Una vez añadido el antiespumante se agitó por unos segundos simulando el movimiento del crudo en su paso por la línea y con la ayuda de un cronómetro se tomaron las lecturas del volumen de crudo resultante a intervalos entre uno a cinco minutos hasta que no se percibiera espuma en el volumen de muestra. Los datos se registraron en tablas para su posterior análisis. Las condiciones de trabajo fueron a temperatura ambiente y presión atmosférica, por lo que el escenario simulado fue a la salida de los separadores, que es donde se encuentran esas condiciones en el proceso.

2.3 Desarrollo del modelo matemático

El desarrollo del modelo matemático para determinar la dosis de antiespumante NDAF 100 según el flujo de crudo se realizó mediante un análisis de regresión simple. Para ello se utilizó el software Statgraphics Centurion v.19.

Se elaboró una base de datos de 113 registros, representando flujos de crudo diarios (m³/d) desde el valor mínimo operativo de un pozo (40 m³/d) hasta el máximo teórico de tres pozos en operación simultánea (600 m³/d), según las capacidades del Centro Colector Fraile. Estos valores de flujo corresponden a registros históricos de la producción de los pozos de la instalación desde los inicios de la explotación del yacimiento hasta el mes de febrero del 2025. Para cada flujo se calcularon el

tiempo de llenado del tanque y la dosis de antiespumante, tomando como base los resultados de las pruebas de laboratorio.

Estos valores permiten contar con una base de datos de 113 registros con tres variables a relacionar: (flujo (m^3/d), tiempo de llenado (min) y dosis de antiespumante (ppm)).

2.4 Validación de los resultados

Para validar el modelo de regresión y las dosis determinadas en laboratorio, se realizaron pruebas en la instalación durante el mes de marzo del 2025. Se tomaron los valores de flujos de crudo entrantes durante cinco días representativos de continuidad en la producción. Para cada flujo se calculó la dosis de antiespumante (ppm) a partir del modelo obtenido. Se calculó en L/d la dosis con la ecuación (6), y se ajustó la bomba dosificadora para inyectar el volumen correspondiente.

$$V_{antiesp} = \frac{N_{consumo} * V_{líquido}}{1000} \quad (6)$$

Donde:

$V_{antiesp}$: Volumen de antiespumante a dosificar, L/d

$N_{consumo}$: Norma de consumo, ppm

$V_{líquido}$: Flujo volumétrico del fluido medido en los tanques, m^3/d

Además, se pesaron las pailas de traslado a las plantas de tratamiento para comparar el volumen de crudo con respecto a los registros volumétricos anteriores ($26,78 \text{ m}^3$).

2.5 Análisis económico

Se evaluó el ahorro potencial teniendo en cuenta el consumo real de antiespumante (34 016 L) y el consumo obtenido a partir del modelo desarrollado. Este análisis comprende los registros desde el año que inició la perforación de los pozos en esta instalación (2021) hasta febrero del 2025. Se tienen en cuenta el costo de adquisición del antiespumante (NDAF 100) empleado en la planta (163,88 CUP/litro) y el volumen de crudo procesado durante el período comprendido ($861\,422 \text{ m}^3$).

3- Resultados y discusión

3.1 Cálculo del tiempo de llenado del tanque

En la tabla 1 se presenta el resultado del tiempo de residencia requerido para flujos entre $40 \text{ m}^3/\text{d}$ y $540 \text{ m}^3/\text{d}$.

Flujo (m^3/d)	Tiempo de residencia (min)
540,00	11,26
300,00	36,50
280,37	41,79
200,00	82,12
60,00	912,40
40,00	2 052,90

El pozo estudiado, el FrN-1002, en el período evaluado promediaba 280,37 m³/d, de donde el tiempo de residencia en el tanque corresponde a 41,8 min.

3.2 Efecto de la adición del antiespumante

En la figura 1 se presentan las curvas del volumen resultante en el vaso de precipitado de la muestra de crudo en función del tiempo transcurrido a partir de la adición de la dosis de antiespumante (tiempo de desgasificación) para las diferentes dosis de antiespumante añadido. Se aprecia cómo el tiempo de vida de la espuma, esto es desde su formación (t=0) hasta su total colapso (último punto señalado en el gráfico cambia con la cantidad de antiespumante añadido) ⁽⁸⁾ Como quiera que las tomas de muestras realizadas del pozo tenían diferentes volúmenes (entre 930 y 1040 mL de acuerdo a las posibilidades de recolección directa del pozo) para construir la figura 1 se tomaron los volúmenes en %, con respecto al volumen inicial.

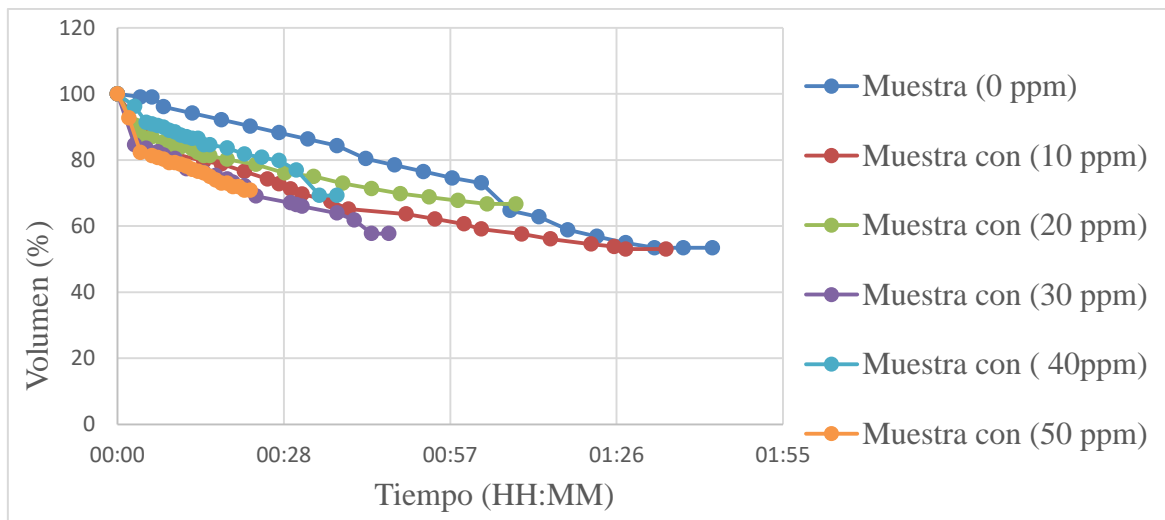


Fig. 1 Comportamiento de las muestras

De la figura 1 se aprecia que 10 ppm de NDAF 100 eliminan la espuma en 42 minutos, lo que cumpliría con el tiempo de residencia para el flujo de 280,37 m³/d. Se aprecia que concentraciones superiores (20-50 ppm) redujeron el tiempo de desgasificación, pero no justifican el costo adicional, ya que 10 ppm fueron suficientes. Para el tiempo de residencia de 42 minutos, en la tabla 2 se presenta el porcentaje de espuma resultante para cada dosis. Como quiera que el porcentaje de espuma recomendado es inferior a 22,4 %, la dosis de 10 ppm cumple con esta restricción.

Tabla 2. Porcentaje de espuma restante en las muestras

Dosificación de antiespumante	% espuma a los 42 min
0 ppm	33,54
10 ppm	18,60
20 ppm	6,57
30 ppm	0
40 ppm	0
50 ppm	0

3.3 Modelo matemático dosis(ppm) vs flujo (m³/d)

Para facilitar el cálculo de la dosis de antiespumante a adicionar se ajustó un modelo de regresión simple *Square root-X* utilizando el software *Statgraphics Centurion v19*. La ecuación (7) es la del modelo ajustado.

$$\text{Dosis(ppm)} = -15,9683 + 1,6404 * (\text{flujo})^{0,5} \quad (7)$$

El modelo se ajustó a datos con un coeficiente de determinación (R^2) del 82,69 %. El análisis de varianza ANOVA realizado con el software *Statgraphics Centurion v19.0* arroja un valor P menor que 0,05 por lo que existe una relación estadísticamente significativa entre flujo (m³/d) y dosis (ppm), con un nivel de confianza del 95,0 %.

El modelo obtenido arrojó la dosis de antiespumante en ppm que le correspondería a cada flujo de entrada. Estos valores estadísticamente corresponden a los resultados obtenidos en la prueba de laboratorio con un error porcentual promedio del 10 %.

3.4 Validación de los resultados

Dada la dificultad presente en la instalación para poder determinar el porcentaje de espuma, una vez colectado el crudo en los tanques, el análisis se llevó a cabo a través de la apreciación y del criterio de los expertos y de la tecnóloga de la instalación. La valoración de los especialistas confirma que los niveles de espuma presentes en el tanque corresponden al permisible para la colección de crudo y luego al llenado de pailas para su transportación a una planta de tratamiento.

A partir de la obtención y utilización del modelo en el mes de marzo se obtuvo como promedio durante los días de prueba en el pesaje de las pailas un volumen de crudo producido equivalente a 26,49 m³, que corresponde numéricamente al promedio de pesaje que existía antes del empleo de este modelo (26,78 m³). Esto demuestra que la reducción de la dosis no afecta la producción.

3.5 Impacto económico

El análisis económico conservador reveló que aplicar una dosis máxima de 20 ppm habría reducido el consumo de NDAF 100 de 34 016 a 17 228 litros entre 2021 y febrero de 2025, con lo que se hubieran dejado de gastar 2 751 145 CUP (55 023 CUP/mes) de aplicarse la dosis adecuada. Este ahorro resalta la importancia de una correcta dosificación para disminuir costos sin comprometer la producción.

4- Conclusiones

La dosis de 10 ppm de NDAF 100 es adecuada para un flujo de 280,37 m³/d, eliminando la espuma en 42 minutos y cumpliendo con el tiempo de residencia y el porcentaje de espuma permisible. El modelo *Square root-X* predice con precisión la dosis según el flujo, con un R^2 de 82,70 %. La validación en la instalación confirmó la efectividad del modelo, manteniendo la producción sin exceso de espuma. Reducir la dosis a un máximo de 20 ppm habría generado un ahorro de 2 751 145 CUP entre 2021 y febrero de 2025, disminuyendo los costos operativos.

Referencias

1. Robles-Hernández, N., Del-Ángel-Avilés, R., Escudero-Díaz, B., *Optimización de producción en pozos ABCD mediante reducción de contrapresión con BECH: un enfoque en la plataforma existente*. RIISDS, 2024. **10** (1): p. 433-450. DOI: 10.63728/riisds.v10i1.57

2. Aparicio- Lauzardo, Y. (2022). Instrucción Puesta en Marcha Centro Colector Fraile (Instrucción de Puesta en Marcha 01; p. 45). Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo de Occidente.
3. Hussein K. et al. *Petroleum and Gas Field Processing*, 2018. 2nd ed., Boca Raton: CRC Press, 2015. ISBN 978-1-4822-5593-5.
4. Carpi, V., *Experimental study of the inhibition/ destabilization of crude oil foams by a polydimethylsiloxane (PDMS) antifoam* Tesis de maestría, 2022. Universidad de Campinas.
6. Cevada, E.; Hernández, E.; Flores, C.; Zavala, G.; Álvarez, F.; Vázquez, F., *Novel silicon free defoaming agents, based on alkylacrylates, for petroleum: Effect of the molecular weight on their efficiency*. Fuel, 2020. **278**: e118401. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118401>
7. NDAF 100. (2025). Product Fact Sheet—NDAF 100 (p. 5) [Página de Datos de la Seguridad del Material]. Innovate Chemical Technologies Canadá Ltd.
8. Olivera, R., *Formulación de antiespumantes en emulsión a partir del parámetro HBL*. Tesis de grado, 2024. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de los autores

Ing. Dayanis Delgado Matos. <http://orcid.org/0009-0006-0417-6611>. Realizó el trabajo de investigación experimental, validó los resultados y redactó el manuscrito.

Dr. C. Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas. <http://orcid.org/0000-0001-6921-737X>. Participó en el diseño de la investigación, supervisión del trabajo, redacción y edición del manuscrito.

Ing. Dianelis Llerena Laffita. <http://orcid.org/0009-0003-6602-9631>. Participó en el diseño de la investigación, supervisión del trabajo, administración de los recursos y validación del resultado.