

Artículo Original

**PROCEDIMIENTO PARA LA INTRODUCCIÓN DE ADITIVOS EN
LA COMBUSTIÓN DE PETRÓLEO CRUDO EN CENTRALES
TERMOELÉCTRICAS**

**PROCEDURE FOR THE INTRODUCTION OF ADDITIVES IN THE
COMBUSTION OF CRUDE OIL IN THERMOELECTRIC PLANTS**

Yosvany González Díaz^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-9735-9137>

Isnel Benítez Cortés² <https://orcid.org/0000-0003-2427-640X>

Francisco García Reina³ <https://orcid.org/0000-0001-5721-3363>

Grety Márquez Pañamaría¹ <https://orcid.org/0000-0001-7678-7274>

Pablo Ángel Galindo Llanes² <https://orcid.org/0000-0003-1738-8761>

Luis Fernando Prieto Montenegro⁴ <https://orcid.org/0009-0006-6348-0090>

¹ Departamento de Química. Facultad Ciencias Aplicadas. Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba.

² Departamento de Ingeniería Química. Facultad Ciencias Aplicadas. Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba.

³ Departamento de Mecánica Aplicada. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Ciego de Ávila, Cuba.

⁴ Pentol GmbH, Nuevitas, Camagüey, Cuba.

Recibido: Abril 16, 2024; Revisado: Abril 27, 2024; Aceptado: Mayo 3, 2024

RESUMEN

Introducción:

El petróleo crudo cubano tiene un alto contenido de cenizas, azufre, asfaltenos y una alta viscosidad, entre otros, que, al someterse al proceso de combustión, trae como consecuencia efectos corrosivos en las zonas de transferencia de calor, disminuyendo la vida útil de los equipos.

Objetivo:

Diseñar un procedimiento para la introducción de aditivos, que permitan aumentar la vida útil de los equipos a partir de la mejora de la eficiencia energética del proceso de combustión.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Yosvany González, Email: yosvany.gonzalez@reduc.edu.cu



Materiales y Métodos:

Se parte del análisis de la composición y las propiedades físico-químicas del petróleo crudo cubano y la caracterización del aditivo. Se evalúa la efectividad del aditivo a escala de laboratorio, piloto e industrial. Se ajustan los parámetros de la combustión y se analiza la eficiencia del generador de vapor, con el objetivo de establecer la dosificación requerida. Se realiza el análisis beneficio/costo correspondiente. Por último, el procedimiento tiene concebido la comparación con otro aditivo en caso de que exista.

Resultados y Discusión:

El procedimiento incluye la determinación de la composición química y las propiedades físico-químicas del petróleo crudo utilizado, el efecto del aditivo y la eficiencia de la combustión. Contempla, no solo el análisis de la utilización de un aditivo en uso, si no también, la introducción de uno nuevo y la comparación con éste. Puede ser implementado en cualquier industria que emplee el petróleo crudo como combustible en el proceso de combustión.

Conclusiones:

El procedimiento brinda las indicaciones metodológicas para la introducción de aditivos que permitan la mejora del proceso de combustión del generador de vapor.

Palabras claves: aditivo; central termoeléctrica; eficiencia; generador de vapor; petróleo crudo; procedimiento.

ABSTRACT

Introduction:

Cuban crude oil has a high content of ash, sulfur, asphaltenes and a high viscosity, among others, which, when subjected to the combustion process, results in corrosive effects in the heat transfer zones, reducing the useful life of the equipment.

Objective:

To design a procedure for the introduction of additives, which will increase the useful life of the equipment by improving the energy efficiency of the combustion process.

Materials and Methods:

It starts from the analysis of the composition and physical-chemical properties of Cuban crude oil and the characterization of the additive. The effectiveness of the additive is evaluated on a laboratory, pilot and industrial scale. The combustion parameters are adjusted and the efficiency of the steam generator is analyzed, with the aim of establishing the required dosage. The corresponding profit/economic cost analysis is carried out. Finally, the procedure is designed to compare with another additive if it exists.

Results and Discussion:

The procedure includes the determination of the chemical composition and physical-chemical properties of the crude oil used, the effect of the additive and the combustion efficiency. It contemplates not only the analysis of the use of an additive in use, but also the introduction of a new one and the comparison with it. It can be implemented in any industry that uses crude oil as fuel in the combustion process.

Conclusions:

The procedure provides the methodological indications for the introduction of additives that allow the improvement of the steam generator combustion process.

Keywords: additive; Thermal Power Plant; efficiency; steam generator; raw oil; procedure.

1. INTRODUCCIÓN

En Cuba, según el Ministerio de Energía y Minas, la producción de más del 95 % de la energía (eléctrica) se obtiene a partir de la combustión de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas (Tamayo, 2024, Corrodeguas, 2022, Saunders y col., 2022). Debido al cambio en la matriz energética, se sustituyó el combustible de importación por el petróleo crudo cubano mezclado con combustibles de importación (Rodríguez y Rosabal, 2023).

El uso de combustibles fósiles en fuentes fijas en diferentes esferas de la producción trae como consecuencias afectaciones al medio ambiente por las emisiones de gases contaminantes producto de la combustión (Peña y Hernández-Garces, 2020).

Cuba utiliza, en la generación de energía eléctrica, petróleos crudos cubanos, que pueden ser mezclados con combustibles importados y con diluentes apropiados para reducir la viscosidad cinemática, que son denominados, Petróleo Crudo Nacional Mejorado (PCNM). Sin embargo, estos combustibles son de baja calidad, tienen en su composición un elevado contenido de azufre, nitrógeno, asfaltenos, elementos trazas como sodio, aluminio, silicio, vanadio, entre otros (Frías, 2018), (Arias, 2023), que tienen una incidencia directa en las propiedades físico-químicas del mismo, lo cual a su vez, es obligatorio tener en cuenta por el efecto que tienen en el proceso de combustión del generador de vapor (Rodríguez y Rosabal, 2023).

Para un mejor uso del petróleo crudo cubano se requiere un control riguroso del proceso de combustión, unido al uso de aditivos (Rodríguez y Rosabal, 2023). El empleo de aditivos permite modificar la composición y propiedades físico-químicas del combustible, tales como asfaltenos y viscosidad (Kholmurodov y col., 2023), para reducir las emisiones de contaminantes de los motores de combustión interna (Jeevahan y col., 2017), para eliminar los golpes en los motores de gasolina (Nadim y col., 2001), así como modificadores de la combustión, antioxidantes, inhibidores de la corrosión y detergentes (Ershov y col., 2022). De igual forma, se reportan su uso como dispersante de ceras en el combustible (Hussain y col., 2023), para reducir la viscosidad de petróleos crudos pesados (Remolina y col., 2019), como solventes catalíticos (Kholmurodov y col., 2023) y como dispersantes y disolventes asfálticos (Piedra y col., 2020) y los que reducen la corrosión o la formación de incrustaciones en las tuberías y equipos, entre otros usos.

Sin embargo, no existe un procedimiento establecido para la introducción de aditivo que tenga en cuenta: las características del combustible, el sistema de contacto aditivo-combustible, el efecto del aditivo en las propiedades físico-químicas de las mezclas, la influencia en la eficiencia del generador de vapor a partir del análisis de los gases de la combustión, el impacto medioambiental y económico. Es por ello, que este trabajo tiene como objetivo, diseñar un procedimiento para la introducción de aditivos, que permitan

umentar la vida útil de los equipos a partir de la mejora de la eficiencia energética del proceso de combustión.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Consideraciones metodológicas

Para la implementación de aditivos a evaluar con el procedimiento, hay que tener en cuenta una serie de aspectos técnicos, económicos y medioambientales que son importantes en el proceso de generación y que se deben cumplir con respecto al combustible puro (CFE, 2014). Dentro de estos se destacan:

- ✓ Veracidad que el aditivo cumpla con las especificaciones del proveedor. Esto incluye, tanto las propiedades físico-químicas emitidas por el certificado de calidad del fabricante, como la función para la cual se adquiere.
- ✓ Disminuir el potencial de corrosión de baja temperatura manteniendo el pH (acuoso) de la ceniza a la salida del calentador de aire regenerativo (CAR) en niveles bajos.
- ✓ Proteger la caldera de la corrosión por alta temperatura.
- ✓ Disminuir el oxígeno libre en los gases de combustión.
- ✓ Reducir la acidez mineral libre en las cenizas de la combustión.
- ✓ Durante el tratamiento se deben mantener los parámetros de operación de la caldera.
- ✓ Reducción de las emisiones de partículas suspendidas totales.
- ✓ El contenido de carbón en cenizas, debe ser menor.
- ✓ La eficiencia del generador de vapor medida durante los dos primeros meses de dosificación, debe ser igual o mayor.
- ✓ Proveer en esta sección suficiente grado de detalle para reproducir el trabajo.

Para la definición del procedimiento de introducción de aditivos para la combustión de petróleo crudo en centrales termoeléctricas se definen las herramientas a emplear.

2.2 Caracterización del petróleo crudo cubano o la mezclas con petróleos importados que se encuentren en uso

Para la caracterización del combustible se pueden emplear dos métodos, uno que tenga como punto de partida la realización de la estadística descriptiva de una serie histórica de combustibles utilizados, obtenidas de los registros del laboratorio de la central termoeléctrica donde se aplica, y el otro método es la determinación de las propiedades físico-químicas del combustible en uso. El propósito es para definir las propiedades que están fuera de norma y que son las que se deben modificar con el aditivo.

2.3 Determinación de las propiedades físico - químicas

Los estudios a escala de laboratorio de densidad, grados API, viscosidad, punto de inflamación, agua por destilación, contenido de asfaltenos, cenizas y poder calórico, ya sean del petróleo crudo o aditivado, con o sin emulsión, se deben realizar según las normas ASTM-D establecidas (ASTM, 2022).

2.4 Medición de los gases de la combustión

La medición de los gases de combustión se debe realizar con un analizador de gases

TESTO-350 a la salida del CAR, tanto en el izquierdo como en el derecho. Las mediciones se deben hacer por la parte superior donde se toman tres réplicas con cinco minutos de diferencia y se determinan los valores promedios, desviación estándar y coeficiente de variación.

2.5 Medición de las cenizas de la combustión

La acidez mineral libre y pH de las cenizas se deben realizar diariamente y se determinan por la norma ASTM-D establecida (ASTM, 2022). Se deben coleccionar a la salida y entrada a los CAR utilizando un pequeño ciclón acoplado a una sonda que se introduce hasta el centro del conducto de gases.

2.6 Determinación de la eficiencia del generador de vapor

La determinación de la eficiencia del generador de vapor se realiza por el método indirecto (Pérez, 1986).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra el procedimiento elaborado, el cual cuenta con cinco fases.

3.1 Fase 1: Caracterización del combustible e identificación del aditivo

El objetivo de esta fase es caracterizar el combustible en uso, ya sea a muestras del petróleo, a un compuesto en caso de insuficiente capacidad de almacenamiento en la planta, o a través del análisis de una serie histórica del combustible. Se deben realizar análisis de la composición, las propiedades físico-químicas y las propiedades dieléctricas siguiendo las normas ASTM-D (ASTM, 2022). Se realizará un estudio de identificación de posibles aditivos en el mercado que modifiquen la propiedad que se desea transformar, siendo este el principal criterio de selección. Una vez adquirido, se realizará la comprobación de las propiedades físico-químicas reportadas por los suministradores en la ficha técnica, mediante estudios de laboratorio. En caso de que existan diferencias significativas entre los resultados de los análisis con los que reportan los suministradores del aditivo, se realiza un proceso de reclamación. En caso de concordar, se pasa a la fase 2.

3.2 Fase 2: Evaluación de la efectividad de los aditivos seleccionados

En esta fase se persigue demostrar si el aditivo, luego de ponerse en contacto con el petróleo crudo, ya sea en forma directa o en emulsión, modifica las propiedades que están fuera de norma y que, de transformarse, mejoraría la eficiencia del generador de vapor. Para esto se debe realizar un estudio del comportamiento de estas propiedades para diferentes valores de concentración del aditivo alrededor de la dosis sugerida por el proveedor. Se sugieren evaluar cinco valores por encima y por debajo de esta concentración, hasta un 10 % alrededor de la concentración sugerida y, si no hay diferencias significativas, en las propiedades que se desean modificar, se recomienda aumentar el intervalo de experimentación.

Estos resultados permitirán obtener los modelos empíricos que describen este comportamiento, para determinar o establecer cuál es la dosis adecuada para cada propiedad físico-química, en dependencia de su modificación y comparación con la

norma establecida.

En esta fase se deben realizar estudios a escala piloto e industrial donde se pueda determinar la dosificación del aditivo que garantice los niveles más favorables de acidez mineral libre y pH de las cenizas, los niveles de dióxido de azufre y monóxido de carbono en los gases de combustión, nivel de oxígeno en los gases de combustión, entre otros, según los manuales de procedimiento de la central termoeléctrica. Estas pruebas permitirán establecer la dosificación del aditivo en un intervalo de operación, teniendo en cuenta la variabilidad de las propiedades físico-químicas del petróleo crudo.

Se deben realizar estudios para la aceptación del aditivo a partir de la verificación total del funcionamiento del aditivo, mediante las cuales se comprueba que las características, tecnología y funcionalidad del mismo, están conformes a las necesidades del petróleo crudo cubano. Estos estudios incluyen las propiedades físico químicas que se desean modificar con el aditivo seleccionado. Por ejemplo, si es un surfactante, se deben realizar mediciones de tensión superficial, índice de refracción y constante dieléctrica, además de la viscosidad. Si es un inhibidor de la corrosión en la zona de bajas temperaturas, deben realizarse estudios de acidez mineral libre y pH de las cenizas. En caso de ser un reductor de viscosidad, es importante hacer el estudio reológico de los combustibles con la incorporación del aditivo. Se indica un estudio de la estabilidad de la emulsión en caso de utilizarse un aditivo para esta función. En caso de que las relaciones de dosificación sean diferentes, se debe justificar técnica y económicamente la nueva dosificación.

3.3. Fase 3: Optimización del sistema de inyección

En esta fase se requiere, necesariamente, los estudios previos de las pruebas de laboratorio o piloto realizados en la fase 2. Esta fase consta de cuatro etapas fundamentales. Estas son: definición de los criterios de optimización, análisis de las variables de operación, construcción del modelo matemático y solución del modelo matemático.

Esta etapa se debe tener en cuenta las variables de operación que más inciden en la combustión y eficiencia del generador de vapor, y su relación con la dosis de aditivo. Dentro de ellas se encuentran las asociadas al sistema de atomización, como temperatura del combustible, presión de atomización, oxígeno en exceso, consumo de vapor de atomización, entre otras, que inciden directamente, en la reducción del consumo específico de las unidades (Rodríguez y Rosabal, 2023).

Se debe tener en cuenta el costo del aditivo en relación con los beneficios que ofrece en términos de eficiencia energética. Se debe evaluar, también, la dosis de aplicación del aditivo, teniendo en cuenta la recomendada por el proveedor y los resultados del estudio de sensibilidad.

En esta etapa, se debe correlacionar los resultados de la fase 2 donde se obtienen los modelos del comportamiento de las propiedades que se desean modificar con el aditivo y su relación con el consumo de combustible, consumo de aditivo, potencia de generación y el costo asociado de aditivo.

Teniendo en cuenta la variabilidad en los tipos de combustibles, que conllevan a una dispersión de sus propiedades físicas, es probable que no se pueda encontrar un valor óptimo de dosificación, sino que se recomiende un intervalo de aplicación para cada

tipo de combustible en específico.

En esta fase, se recomienda monitorear regularmente los resultados de la combustión después de la introducción de aditivos en la dosis determinada, para evaluar su efectividad y realizar ajustes según sea necesario. Mantener un seguimiento de los beneficios obtenidos con la introducción del aditivo, como la reducción de emisiones, el aumento de la eficiencia energética, incremento en la acidez de las cenizas, entre otros, traerán como consecuencia un incremento en la vida útil de los equipos de transferencia de calor, tanto en el horno del generador de vapor, como en el eje conectivo, economizador y CAR.

3.4 Fase 4: Proceso previo a la inversión

En las negociaciones para la compra de aditivos, las partes tienen que dejar claro si los proveedores donan o no, la planta dosificadora de aditivos, ya sea en inyección directa o en emulsión, con sus características y agregados. En caso de que se tenga que realizar un proceso de inversión, se recomienda estimar los costos de inversión siguiendo el procedimiento propuesto por Peter y Timmerhaus, (1991). Estos aspectos incluyen el equipamiento, la obra civil, el sistema de bombeo del aditivo ya que, generalmente, las dosificaciones de los aditivos están en el orden de los miligramos por litros. Además, es importante tener en cuenta el almacenamiento del aditivo, sistemas de tuberías de alimentación, calentamiento del petróleo crudo con el aditivo, sistema de control automático requerido para la operación confiable de la planta, entre otros. Se recomienda hacer un estudio de beneficio/costo que tenga en cuenta el costo de inversión con todas sus partidas, los costos operacionales y los posibles ingresos o beneficios.

Dentro de los egresos se incluyen los pagos anuales de la inversión, que incluyen la amortización del equipamiento y el interés bancario. Los costos asociados al mantenimiento y al costo operativo de la administración, los cuales no están directamente relacionados con la operación de la planta.

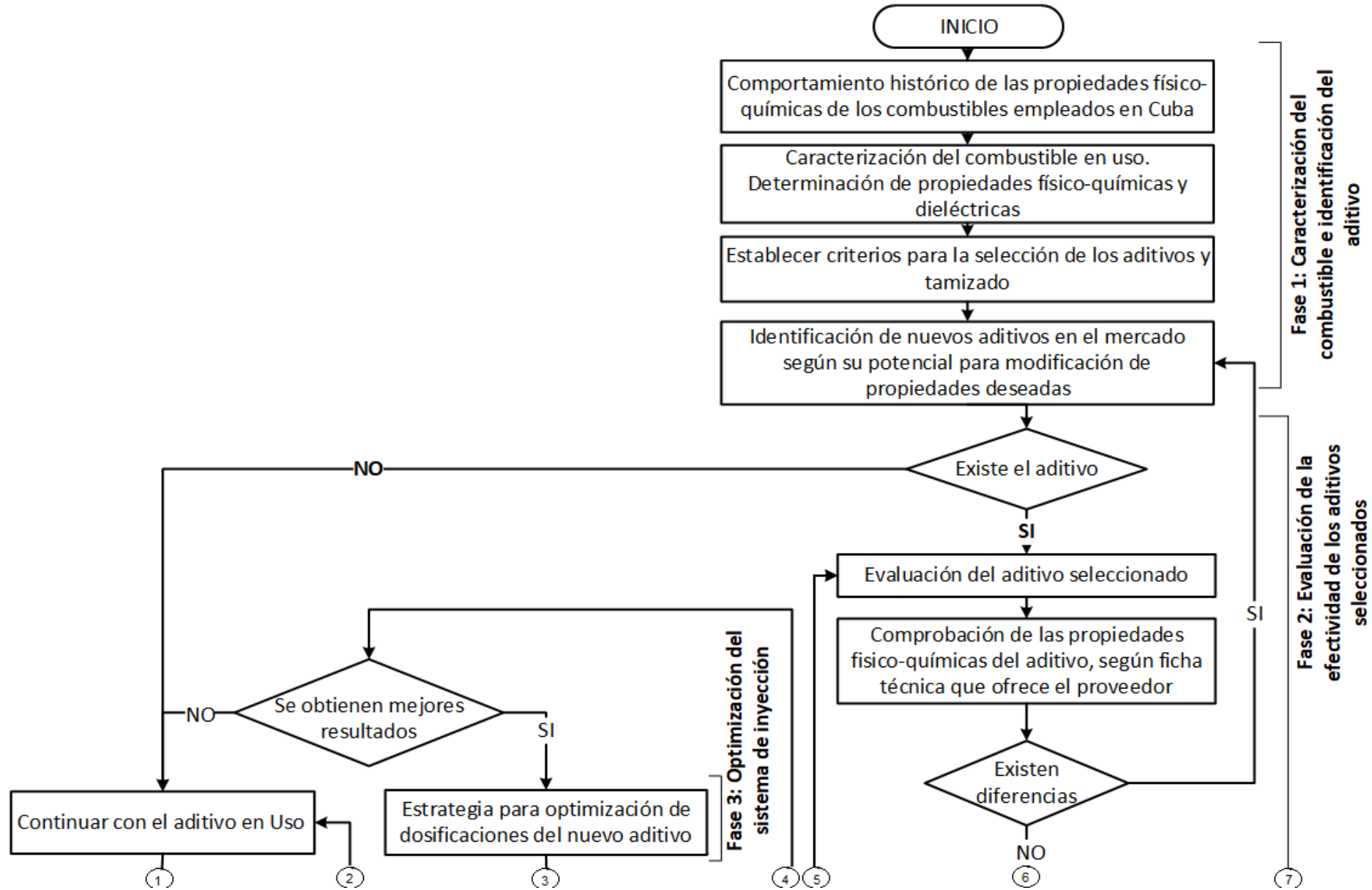
En cuanto a los costos variables, hay que tener en cuenta los costos de aditivos, según la dosificación recomendada por el proveedor o por los resultados obtenidos en la fase anterior. Se tiene en cuenta el consumo de electricidad en la planta, así como los gastos de salarios asociados a la mano de obra necesaria en la operación de la planta.

Los ingresos vienen asociados a la disminución de los costos de mantenimiento de los equipos de transferencia de calor en el eje convectivo (calentadores y recalentadores), así como el economizador y los CAR, por concepto del efecto del aditivo en la protección de estos agregados, al aumentar el período de explotación de los mismos.

La introducción de aditivos para modificar las propiedades físico-químicas de los combustibles traería un incremento de la eficiencia del generador de vapor, a partir de la mejora de la combustión o por reducir las pérdidas de calor. Este aspecto está asociado a reducir o eliminar las incrustaciones en el eje convectivo, economizador y los CAR, lo que incide en el aumento de la vida útil de las unidades de generación. Como consecuencia, se logra un incremento en la generación por disminución de los tiempos de indisponibilidad de la unidad. De aplicarse el aditivo, estas pérdidas se convertirían en ingresos.

3.5 Fase 5: Comparación con un aditivo existente

En esta fase se analiza si el aditivo en estudio supera los resultados de la prueba en blanco (combustible puro) y la prueba con el aditivo y la comparación con otros aditivos que ya se encuentre en uso, en caso de existir. Es importante tener en cuenta el precio del aditivo en estudio, así como la seriedad, prestigio, sistemas de comercialización, reconocimiento en el mercado de ambos aditivos, que permitan seleccionar la mejor opción en las condiciones del uso y consumo de petróleo crudo.



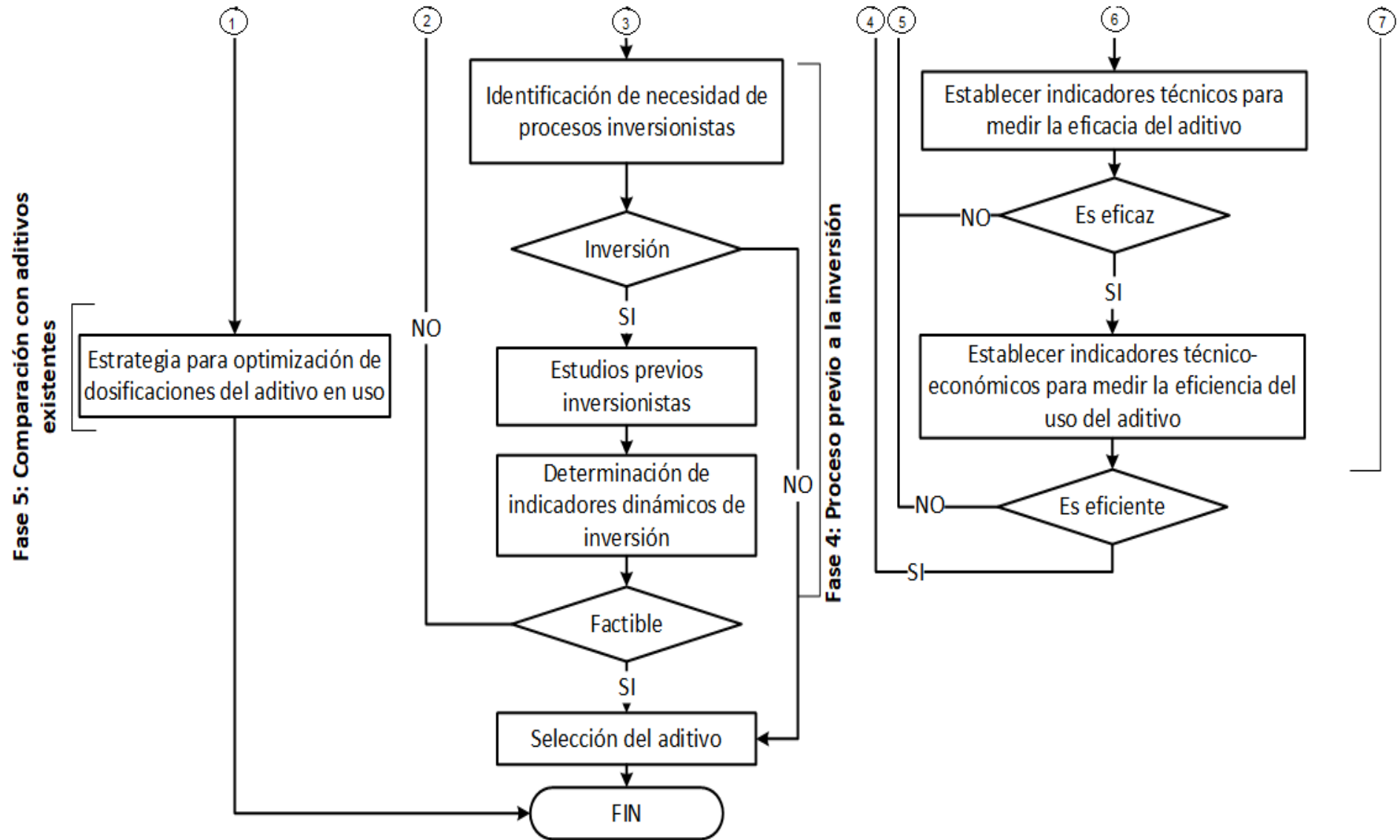


Figura 1. Procedimiento para la introducción de aditivos para la mejora del funcionamiento del generador de vapor en centrales termoeléctricas

4. CONCLUSIONES

1. El procedimiento propuesto se puede implementar en cualquier unidad de generación que utilice petróleo crudo cubano, independientemente de su capacidad de generación y del tipo de aditivo a emplear.
2. Para validar si la introducción de un aditivo para la mejora o modificación de las propiedades físico químicas del combustible en uso y de la eficiencia de la combustión del generador de vapor, es necesario la determinación de estas propiedades a escala de laboratorio y la implementación del mismo a escala piloto e industrial.
3. El análisis de las propiedades físico-químicas del combustible aditivado permite conocer las que son modificadas y en qué medida.
4. La incorporación al procedimiento de los análisis de las propiedades dieléctricas del combustible aditivado permite corroborar la efectividad del aditivo como dispersante, catalizador, detergente y tensoactivo, según sea el caso.

AGRADECIMIENTOS

A la central termoeléctrica 10 de Octubre de Nuevitás, Cuba, y a la firma Pentol GmbH.

REFERENCIAS

- Arias, H.M., Determinación del contenido de sales totales en petróleo crudo por el método electrométrico para ser procesado en Refinería Estatal Esmeraldas., *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, Vol. 3, No. 2, 2023, pp. 12-25. <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v3i2.628>
- ASTM International., *American Petroleum Test Material.*, 2022. <https://www.astm.org/catalogsearch/result/index/?q=Normas+del+petr%C3%B3leo>
- Carrodegua, N., *Centrales Termoeléctricas y generación eléctrica en Cuba.*, 2022. <https://norfipc.com/cuba/centrales-termoelectricas-generacion-electrica-en-cuba.php>
- CFE., Comisión Federal de Electricidad. Aditivos para la combustión. Especificación DU100-05, 2014, pp. 1-55. <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/v/DU100-05.pdf>
- Ershov, M.A., Savelenko, V.D., Makhova, U.A., Kapustin, V.M., Potanin, D.A., Habibullin, I.F., & Olabi, A.G., New insights on introducing modern multifunctional additives into motor gasoline., *Science of the Total Environment*, Vol. 808, 2022, 152034. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152034>
- Frías, J., Determinaciones físico-químicas de petróleo, derivado combustible pesado y nanopartículas de combustiones., *INFOMIN*, Vol. 10, No. 1, 2018, pp. 38-45. <https://www.infomin.co.cu/index.php/i/article/view/5>
- Hussain, H.H., Sulaiman, S.A., Chala, G.T., & Husin, H., Effect of crude oil and nitrogen gas flow rates on the time taken for flow initiation of waxy crude oil., *Processes*, Vol. 11, No. 5, 2023, pp. 2-11. <https://doi.org/10.3390/pr11051414>
- Jeevahan, J., Mageshwaran, G., Joseph, G.B., Raj, R.B.D., & Kannan, R.T., Various strategies for reducing NO_x emissions of biodiesel fuel used in conventional diesel engines: A review., *Chemical Engineering Communications*, Vol. 204, No. 10, 2017, pp. 1202–1223. <https://doi.org/10.1080/00986445.2017.1353500>
-

- Kholmurodov, T., Mirzaev, O., Affane, B., Tajik, A., Romanova, K., Galyametdinov, Y., Dengae, A., & Vakhin, A., Thermochemical upgrading of heavy crude oil in reservoir conditions., *Processes*, Vol. 11, No. 7, 2023, pp. 1-12. <https://doi.org/10.3390/pr11072156>
- Nadim, F., Zack, P., Hoag, G.E., & Liu, S., United States experience with gasoline additives., *Energy Policy*, Vol. 29, No. 1, 2001, pp. 1-5. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00099-9](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00099-9)
- Peña, R., y Hernández-Garcés, A., Inventario de las fuentes fijas que producen contaminantes atmosféricos en la bahía de La Habana., *Revista Cubana de Ingeniería*, Vol. 11, No. 1, 2020, pp. 31-37. <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/736>
- Peter M.S., & Timmerhaus, P., *Plant Design and Economics for Chemical Engineering.*, McGraw Hill International Edition, 4th Edition, 1991, pp. 1-992. <https://www.davuniversity.org/images/files/study-material/PLANT%20DESIGN%20AND%20ECONOMICS%20FOR%20CHEMICAL%20ENGINEERS.pdf>
- Pérez, L., *Generadores de vapor.*, Editorial Pueblo y Educación, Cuba, 1986, pp. 1-447.
- Piedra, V., Salvador, M., Guzmán, L., Santos, R., y Chango, J.I., Estudio de la Viscosidad en un crudo aditivado con dispersantes y disolventes asfálticos., *Revista Politécnica*, Vol. 46, No. 2, 2020, pp. 7-20. <https://doi:10.33333/rp.vol46n2.01>
- Remolina, S.A., Espitia, J., Luna, C.A., y Patiño, E.J., Una mirada al desarrollo de aditivos reductores de viscosidad y sus aplicaciones en el transporte de crudos pesados., *Revista ION*, Vol. 32, No. 1, 2019, pp. 35-48. <https://doi:10.18273/revion.v32n1-2019003>
- Rodríguez, A.D., y Rosabal, L.B., Aspectos esenciales para lograr el uso eficiente del combustible nacional, en las centrales termoeléctricas cubanas., *Universidad y Sociedad*, Vol. 15, No. 4, 2023, pp. 65-75. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3953>
- Saunders, A., Luukkanen, J., Santos, A., Majanne, Y., Filgueiras, M.L., y Laitinen, J., Centre|, *Desarrollo del sistema energético cubano - desafíos y posibilidades tecnológicas.*, (FFRC eBooks 5). Writers & Finland Futures Research Centre, University of Turku., 2022, pp. 1-273. <https://www.utupub.fi/handle/10024/154409>
- Tamayo, R., *Transición energética y empresas cubanas que empiezan a asumir protagonismo.*, Cubadebate. <http://www.cubadebate.cu/noticias/2024/02/03/transicion-energetica-y-empresas-cubanas-que-empiezan-a-asumir-protagonismo/>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Yosvany González Díaz. Análisis formal, conceptualización, investigación, metodología, redacción - primera redacción, validación, visualización.
 - Dr.C. Isnel Benítez Cortés. Análisis formal, conceptualización, investigación, metodología, redacción - primera redacción, validación, visualización.
 - Dr.C. Francisco García Reina. Gestión de proyectos, obtención de financiación.
 - M.Sc. Greta Márquez Pañamaría. Análisis formal, conceptualización.
 - Dr.C. Pablo Ángel Galindo Llanes. Análisis formal, conceptualización.
 - M.Sc. Luis Fernando Prieto Montenegro. Análisis formal, conceptualización. Conservación de datos. Metodología, supervisión, validación.
-