

**Artículo Original**

**IMPACTO DE VARIAR LA MEZCLA SOBRE LOS RESULTADOS  
DEL PROCESO DE DESTILACIÓN EN LA  
REFINERÍA SERGIO SOTO**

**IMPACT OF CRUDE OIL BLEND VARIATION ON THE RESULTS OF THE  
DISTILLATION PROCESS AT THE SERGIO SOTO REFINERY**

Aelys Angela Medina Crespo<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6093-3430>

Carlos Enrique Díaz Bernal<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7041-248X>

Nancy López Bello<sup>2\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9570-6983>

Erenio González Suárez<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

<sup>1</sup> Refinería Sergio Soto de Cabaiguán, Cabaiguán, Sancti Spíritus, Cuba.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Enero 20, 2023; Revisado: Febrero 1º, 2023; Aceptado: Febrero 20, 2023

**RESUMEN**

**Introducción:**

Es necesario el incremento de calidad y producción de fracción de corte de proceso de destilación de petróleo (R3), materia principal para la producción de aceite dieléctrico en la Refinería de Petróleo Sergio Soto lo que puede estar afectado por la disponibilidad de materias primas.

**Objetivo:**

Evaluar la alternativa de mezcla no probada donde el crudo nacional, específicamente el del yacimiento Pina-Cristales, se mezcle con el petróleo ruso Ural.

**Materiales y Métodos:**

Se analizaron haciendo uso del simulador Aspen Hysys tres mezclas de diferentes petróleos (Pina-Cristales y Ural de este último tres variedades que son las que están entrando al país), que se evalúan variando las proporciones entre ellos a 7 en diferentes proporciones (95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 70:30, 60:40 y 50:50). Con vistas a minimizar la importación del Ural se realizó el análisis experimental manejando en una mayor proporción el petróleo cubano.



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: Nancy López, Email: [nancyl@uclv.edu.cu](mailto:nancyl@uclv.edu.cu)



### **Resultados y Discusión:**

El ajuste de los resultados experimentales reportados para las tres muestras arrojó que una mezcla Pina + UralsexLuga en una proporción de 60 y 40% respectivamente, con valores de acidez del R3 de 1,5 %, rendimiento del 10% y una cantidad total del corte R3 de 4166,66 kg/h es el más recomendable. Para su introducción a escala industrial se realizó el análisis económico con costo beneficio y se seleccionó mediante la derivación del modelo de regresión ajustado la composición óptima de la mezcla seleccionada

### **Conclusiones:**

Para una composición de 62,34 % de Pina y 38,64% de Ural se logró una ganancia máxima de 1 896 220,36 USD/año.

**Palabras clave:** calidad; crudo Pina; ganancia; mezcla de crudos; Ural.

### **ABSTRACT**

#### **Introduction:**

It is necessary to increase the quality and production of R3, the main material for the production of dielectric oil at the Sergio Soto Oil Refinery, which may be affected by the availability of raw materials.

#### **Objective:**

To evaluate the alternative of mixing national crude, specifically that of the Pina-Cristales field, with Russian Ural oil.

#### **Materials and Methods:**

Three blends of different oils were analyzed using the Aspen Hysys simulator (Pina-Cristales and Ural, of the latter three varieties that are entering the country), which are evaluated by varying the ratios between them to 7 in different proportions (95:5, 90:10,85:15,80:20,70:30,60:40 and 50:50). With a view to minimizing the import of Ural, the experimental analysis was carried out with a higher proportion of Cuban oil.

#### **Results and Discussion:**

The adjustment of the experimental results reported for the three samples yielded that a mixture Pina + UralsexLuga in a ratio of 60 and 40% respectively, with R3 acidity values of 1.5 %, yield of 10% and a total amount of R3 cut of 4 166.66 kg/h is the most recommendable. For its introduction on an industrial scale, a cost-benefit economic analysis was carried out and the optimal composition of the selected mixture was selected through the derivation of the adjusted regression model.

#### **Conclusions:**

For a composition of 62.34% Pina and 38.64% Ural, a maximum profit of 1 896 220.36 USD/year was achieved.

**Keywords:** quality; Pina crude; profit; crude mix; Ural.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En Cuba se dispone de un total de cuatro refinerías de petróleo, todas pertenecientes a la empresa Cuba Petróleo (CUPET), dentro de las cuales están, la Níco López, en La Habana, Camilo Cienfuegos ubicada en Cienfuegos, la Hermanos Díaz, en Santiago de

---

Cuba y por último Sergio Soto, en la provincia de Sancti Spíritus, exactamente en el municipio de Cabaiguán. Esta última es la única que se dedica a la refinación del crudo nacional, siendo originario de la cuenca central (Jatibonico, Pina - Cristales y Majagua), además del crudo Varadero, yacimiento localizado en Matanzas, región occidental del país. El petróleo matancero es el que se procesa en mayor cantidad donde se obtienen productos como nafta, queroseno, diésel, los cuales se mezclan para formar solvente reductor de viscosidad, y asfalto de gran calidad. En cuanto al proveniente de Pina, que se procesa en menor volumen, permite entre otros productos, la obtención del corte lateral R3, materia prima principal para la fabricación del aceite dieléctrico.

La producción de aceites para uso en transformadores tiene su antecedente en dicha industria desde 2008, esto sustentada en el procesamiento de crudo cubano procedente de la zona de la provincia de Ciego de Ávila. Tecnológicamente obedece a un esquema orientado al tratamiento de una fracción obtenida de la destilación de crudos adecuados, mediante un tratamiento combinado con ácido y álcalis, seguido del uso de una etapa de adsorción. La referida producción se ha mantenido cumpliendo con las especificaciones de calidad, teniendo como cliente la Fábrica de Transformadores Latino, cuyo destino se orienta a la construcción de transformadores de distribución de hasta 13,8 kV, con una demanda que exige de la garantía del suministro del volumen de crudo necesario.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la alternativa de mezcla no probada donde el crudo nacional específicamente el del yacimiento Pina-Cristales se mezcle con el petróleo ruso Ural.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Partiendo de la caracterización de los crudos disponibles, se analizaron haciendo uso del simulador Aspen Hysys, tres mezclas en diferentes proporciones (95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 70:30, 60:40 y 50:50) (Medina, 2022). En este análisis experimental se emplea tres tipos de Ural que son los que más se emplean en el país por el agotamiento del Pina y con vistas a minimizar la importación del Ural. Del estudio de las tres mezclas se identificó las más influyentes en las propiedades gravedad específica, azufre total, y viscosidad del corte de destilación empleado en aceites (R3).

### ***2.1. Simulación de la mezcla Pina-Ural***

Se hizo uso del simulador ASPEN HYSYS v.10 (Tarifa, 2018), (Cruz-Llerena, y col., 2019), Moncada, (2020) para la realización de la simulación de las diferentes opciones de mezcla crudo Pina donde se hace el análisis de tres muestras del petróleo ruso en diferentes proporciones con el Pina.

- Crudo Pina- Cristales en mezcla con Urals ex Novo.
- Urals ex Primorsk mezclado con Pina- Cristales.
- Pina- Cristales con el crudo Urals ex UstLuga).

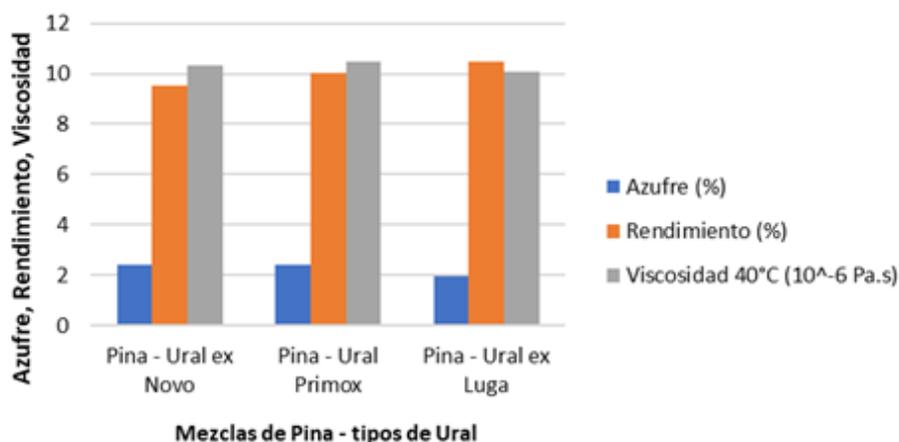
Cada mezcla se corre variando las proporciones de ambos crudos (50-50%, 60-40%, 70-30 %,75-25%,80-20%, 85-15%, 90-10% y 95-5%), de ahí se obtienen diferentes resultados de las variables que caracterizan a la fracción de R3. Mediante la simulación se seleccionará la mezcla que mejor comportamiento en las propiedades de dicho producto posea y se determina la proporción adecuada para alimentar a la torre de

---

destilación atmosférica un flujo de 20,8 t/h, manteniendo las condiciones operacionales de la planta AVT producción

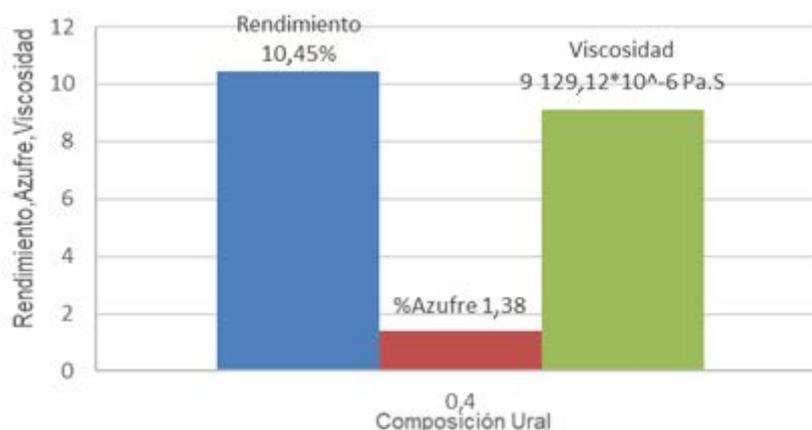
En Medina (2022) se reportan los resultados de la simulación de acuerdo a las variables que caracterizan al corte R3 con un error de validación del modelo de 0,003, al ser procesado con las distintas mezclas (CEINPET, 2020).

De acuerdo a los resultados reportado (Medina, 2022) y obtenidos del programa ASPEN HYSYS v.10 (Moncada 2020), (AEA Technology plc, 2020) se resumen los resultados de los promedios en la figura 1 las principales características de las tres mezclas (%Azufre, % Rendimiento y viscosidad) porque cumplen con los parámetros en la producción de aceite:



**Figura 1.** Resumen promedio del % Azufre, Rendimiento y Viscosidad de las tres mezclas

Se selecciona la mezcla Pina Ural + Uralsex UstLuga en proporción 60-40% como la más factible de acuerdo al control de calidad del R3 como se muestra en la figura 2, según la norma (ASTM D 3487, 2018), mezcla que en promedio presenta mejores índices en los parámetros fundamentales como porcentaje de azufre, rendimiento y viscosidad.



**Figura 2.** Propiedades fundamentales del R3 en la mezcla 60% Pina y 40% Ural

Por las posibilidades que brindan los diseños de experimentos en la Gestión del Conocimiento (Concepción y col., 2021) y siendo estos, una poderosa herramienta en la investigación científica (Mamade y col., 2017), se emplea el método de diseño experimental para mezclas según la simplificación propuesta por González, (2003) para

lograr una función que relacione los parámetros fundamentales de calidad (viscosidad % azufre y rendimiento) de los productos (R3) en dependencia de la fracción (50:50%, 60:60% de Pina y Ural respectivamente) con solo tres puntos experimentales, como se muestra a continuación:

$$\text{Propiedad} = b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_1 * b_2 * X_1 * X_2 \quad (1)$$

Donde:

$$b_1 * b_2 = 4 * y_1 * y_2 - 2 * y_1 - 2 * y_2 \quad (2)$$

Donde  $b_1$  y  $b_2$  se corresponden con  $y_1$  y  $y_2$  siendo (y) las propiedades viscosidad% azufre y rendimiento del R3 analizado con la mezcla Pina y Ural ex Luga y (x) la fracción de las referidas composiciones (50:50%, 60:60%) en que mejores valores de estas se obtienen.

$$\text{Rendimiento} = 10,02X_1 + 9,51 * X_1 * X_2 + 28,34 * X_1 * X_2 \quad (3)$$

$$\% \text{Azufre} = 2,08 * X_1 + 1,59 * X_2 + 5,95 * X_1 * X_2 \quad (4)$$

$$\text{viscosidad} = 12,01 * X_1 + 8,67 * X_2 + 37,51 * X_1 * X_2 \quad (5)$$

Mediante el trabajo experimental se verifican los valores pronosticados con el software Aspen Hysys de una composición 60%:40% de crudo Pina y Ural para la obtención de R3 con error de 0,0055.

## **2.2. Optimización de la ganancia para nuevos volúmenes de producción de acuerdo a la composición de la mezcla.**

La metodología del Modelo de Regresión se empleó para determinar la influencia de la variable independiente: composición de la mezcla Pina-Ural ex UstLuga (X) para una variación de 0,25 al 0,6% de crudo Ural recomendado por Medina (2022) sobre la ganancia de la producción. El cálculo de la ganancia de los productos finales Nafta, Queroseno, Diésel, R3, fue-oíl y Asfalto se determinó mediante la ecuación 6 según la metodología de (Peters y Timmerhaus, 1991), todos expresados en USD/año.

$$\text{Ganancia} = \text{Valor de producción} - \text{Costo de producción} \quad (6)$$

Donde se estudian dos escenarios, en uno se consideran los 180 días de producción de R3 establecido por la fábrica. Mientras que en el segundo se analiza el impacto de esta producción durante 300 días al año.

El valor de la producción se determinó para cada corrida de composición mediante los precios y volúmenes totales de cada producto para un ciclo inversión.

Los costos totales de producción (CTP) se determinaron mediante la ecuación 7, todos expresados en USD/año.

$$\text{CTP} = \text{CostoFabricación} + \text{Gastos Generales} \quad (7)$$

Donde los costos de fabricación y los generales se determinan mediante los costos fijos y variables como se muestra en (Peters y Timmerhaus, 1991).

Los costos variables de la materia prima (Pina + Ural) se obtienen para cada composición de acuerdo a su precio

Siendo la ecuación general del CTP:

$$CTP = \text{Materia prima} + 0,45 * CTP + 0,34 * CFI \quad (8)$$

El Capital fijo de inversión (CFI USD), se determina mediante los costos de equipamiento de la planta (Cupet, 2018) y posee un valor de 5 304 743 USD apreciando las reparaciones realizadas a la planta AVT.

Se procede calculando los costos totales de producción para cada composición de mezcla despejando CTP de la ecuación (8) y posteriormente la ganancia para variación de mezcla mediante la ecuación (6).

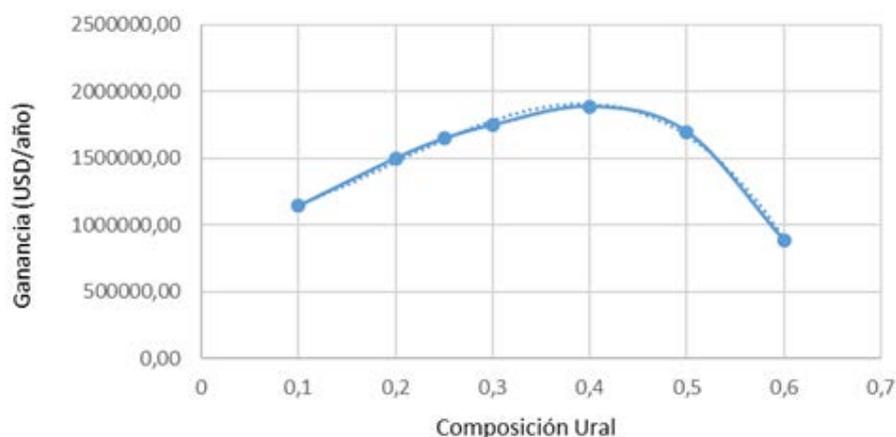
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los valores de ganancia se muestran en la tabla 1:

**Tabla.1.** Valor de la ganancia para cada rango de composición de Ural

<i>Composición Ural (X)</i>	<i>Ganancia de la producción USD/año (180 días)</i>	<i>Ganancia de la producción USD/año (300 días)</i>
0,25	1 646 343,25	1 738 443,25
0,30	1 749 522,23	1 899 432,23
<b>0,40</b>	<b>1 896 208,4</b>	<b>2 160 030,56</b>
0,50	1 699 208,40	1 773 418,40
0,6	886 985	988 985

De acuerdo a los resultados obtenidos que se muestran en la Tabla 1 se grafica el Modelo de Regresión: Composición de Ural (X) vs Ganancia (Y) de la producción, mediante el *Microsoft Excel*. Los resultados se muestran en los gráficos de las figuras 3 y 4:

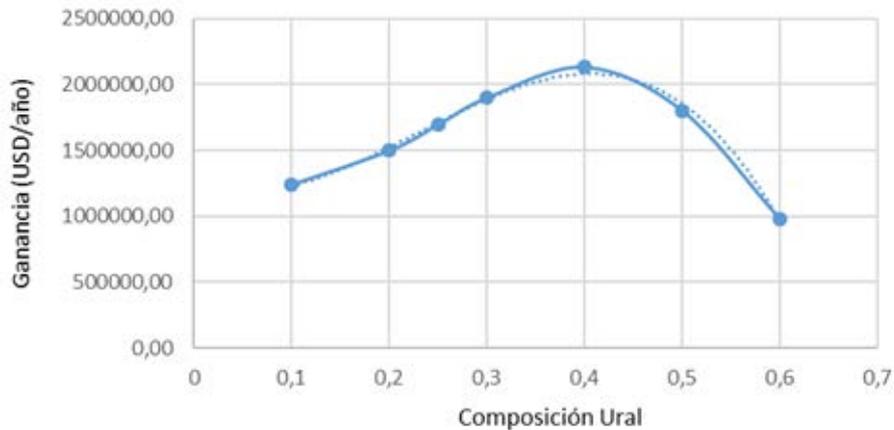


**Figura 3.** Gráfico para el modelo de regresión para 180 días

La gráfica de la Figura 3 muestra el modelo de segundo orden obtenido para Y que sería la siguiente ecuación:

$$Y = -10^7 * x^2 + 9 * 10^6 x + 27353 \quad (9)$$

Con un coeficiente de determinación  $R^2$  del 99 %



**Figura 4.** Gráfico para el modelo de regresión para 300 días

La gráfica de la figura 4 muestra el modelo de segundo orden obtenido para Y que sería la siguiente ecuación:

$$Y = -10^7 * x^2 + 10^7 x + 23943 \quad (10)$$

Con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,989$  %

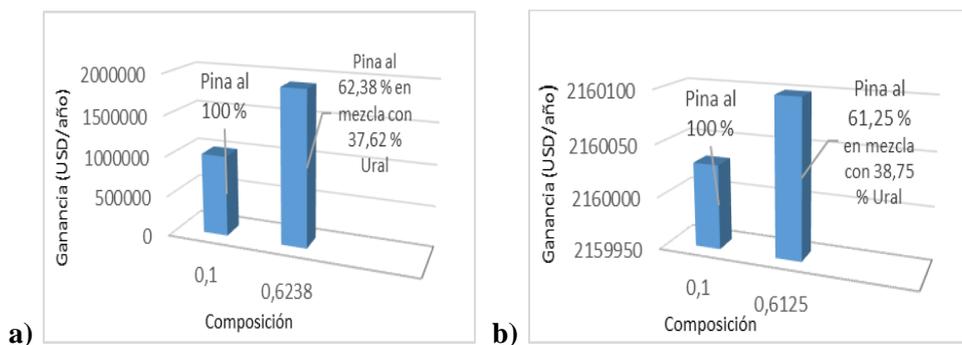
Mediante la derivada de la ecuación de los modelos 9 y 10 se obtienen los resultados óptimos de las variables analizadas con un valor de composición (X) de 0,3762 que sería el 37,62% de crudo Ural y el 62,38% del petróleo cubano para el periodo de 180 días al año con un valor de ganancia (Y) de 1 896 220,36 USD. Análogamente se tiene el valor máximo-óptimo de la composición (X) de Ural y Pina para los 300 días al año siendo de 38,75 % y 61,25% respectivamente y se alcanza una ganancia (Y) de 2160099,56 USD/año. Estos resultados superan al de la condición máxima de ganancia propuesta anteriormente (60 % Pina -40 %Ural) de 1896 208,4 USD (Tabla 1) para 180 días y 2 160 030 USD (Tabla 1) en 300 días de trabajo, aunque no se aleja mucho de este resultado.

En los gráficos de las figuras 1 y 2, se corrobora que la adición del Ural es favorable hasta un punto donde no supere la composición del Pina (Medina, 2022).

Se logra mediante el análisis óptimo – económico el punto donde se consume la menor y mayor cantidad de Pina y Ural respectivamente 62,38-37,62% (180 días) y 38,75 % y 61,25% (300 días) para obtener mayor ganancia.

Esta condición de mayor cantidad de Pina se impone ya que el objetivo principal de la economía cubana es sustituir importaciones, además de que el Ural tiene un precio mucho más caro. Al ser la zona de Pina – Cristales un yacimiento empobrecido debido a los años de explotación se plantea la opción de equilibrar el consumo de este utilizando un producto extranjero, petróleo internacional que además de ayudar a disminuir el consumo del yacimiento, provoca un considerablemente aumento en los volúmenes de los productos finales y posteriormente en la ganancia de producción.

A continuación, se muestra el gráfico comparativo (Figura 5) de la ganancia para la mezcla Pina – Ural a un 62,38 % y 37,62 % y un 100 % de Pina para 180 y 300 días de trabajo.



**Figura 5.** Ganancia vs composición de Pina para 180 días(a) y 300 días(b)

Los valores de ganancia de producción del crudo Pina al 100% se determinaron mediante las ganancias específicas, de acuerdo a las cantidades de los productos obtenidos y sus precios para 180 y 300 días de trabajo respectivamente. Donde para 180 días se tiene una ganancia de 999 540,36 USD/año y 1 223 259,49 USD/año.

#### 4. CONCLUSIONES

1. La evaluación del corte R3 empleando petróleo cubano del pozo Pina, demuestra valores positivos en los índices de calidad principales según la norma (ASTM D 3487, 2018), siendo estos, 2,58 % de azufre y rendimiento del 10 %. Si se procesa solamente el crudo Ural se obtiene un producto con 1,56 % de azufre, pero su rendimiento disminuye en un 5%.
2. Al mezclar crudo Pina y crudo Ural exUstLuga, en proporción de 60% y 40% respectivamente, se obtiene un producto R3 de viscosidad  $9 \cdot 10^{-6}$  Pa.s. y con un 1,38 % de azufre. En igual proporción, empleando petróleo Pina y Ural se logra un aumento de esta corriente 1220 kg/h, en comparación con la cantidad que actualmente se obtiene al refinar solo el hidrocarburo cubano.
3. La composición óptima-económica obtenida para 180 días es de 62,36 % de petróleo Pina y 37,64 % del Ural y para 300 días de producción se logra una composición máxima de 61,25%- 38,75 %.
4. La mezcla del crudo Pina con el Ural alcanza un equilibrio cualitativo, cuantitativo y económico, permitiendo reducir la explotación del yacimiento cubano y una ganancia económica que asciende a 1 896 220 ,36 USD/año y 2160099,56 USD/año para 180 y 300 días de operación respectivamente.

#### REFERENCIAS

- AEA Technology plc., Process Modeling Using HYSYS with Chemical Industry Focus., 2020, pp. 1-232. <https://docer.com.ar/doc/xxx1es5>
- ASTM D 3487., Standard Specification for Mineral Insulating Oil Used in Electrical Apparatus., 2018. <https://www.astm.org/d3487-16e01.html>
- CEINPET., Análisis de posibles alternativas uso crudo Ural para la producción de aceite dieléctrico en la Refinería Sergio Soto., Informe Técnico, 2020, pp. 24-26.
- Concepción, D.N., González, E. López, E.J., y Ramos, F., Gestión del conocimiento en la proyección científica de la industria química mediante diseños experimentales., Revista Universidad y Sociedad, Vol. 13, No. 2, 2021, pp. 446-451.

<https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1984>

- Cupet., Manual de la producción. Reglamento Tecnológico para las Unidades de Destilación Atmosférica y al Vacío., Informe Técnico, 2018, pp. 15-25.
- Cruz-Llerena, A., Pérez-Ones, O., Zumalacárregui-de Cárdenas, L., y Pérez-de los Ríos, J.L., Simulación en Aspen Hysys v10.0 de los procesos de destilación de aguardiente y concentración de vinazas., Revista ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, Vol. 53 No. 3, 2019, pp. 47-51. <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2020/11/articulo-6-cambiado.pdf>
- González, E., Aplicación del análisis de procesos considerando la incertidumbre en la industria de pulpa y papel., Centro Azúcar, Vol. 40, No. 4, 2003, pp. 5-7.
- Mamade, B., González, E., Curbelo, A., Peralta, L.M., y Miño, J.E., Herramientas de investigación para incrementar el impacto de la ciencia en la industria química., Revista Científica de la UCSA, Vol. 4, No. 2, 2017, pp. 58-67. [https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2017.004\(02\)067-077](https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2017.004(02)067-077)
- Medina, A.A., Impacto de variación de mezclas de crudo en los resultados del proceso de destilación en la Refinería Sergio Soto., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2022.
- Moncada, L., Simulación de procesos Aspen Hysys v10.08 (Basico - intermedio), 2020. <https://inprocess.com.bo/simulacion-de-procesos-aspen-hysys-v-10-basico-intermedio/>
- Peters, M.S., & Timmerhaus, K.D., Plant Design y Economics for Chemical Engineers., Chapter 6, 1991, pp. 226-246. <https://www.davuniversity.org/images/files/study-material/PLANT%20DESIGN%20AND%20ECONOMICS%20FOR%20CHEMICAL%20ENGINEERS.pdf>
- Tarifa, E.E, Optimización y Simulación de Procesos., Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Jujuy, Argentina, 2018. <https://docplayer.es/230107283-Optimizacion-y-simulacion-de-procesos-enrique-eduardo-tarifa-facultad-de-ingenieria-universidad-nacional-de-jujuy-modelado-de-equipos.html>

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

## **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

- Ing. Aelys Ángela Medina Crespo. Investigación, metodología, software, redacción - primera redacción y conservación de datos.
  - M.Sc. Carlos Enrique Díaz Bernal. Gestión de proyectos, obtención de financiación, recursos, redacción - primera redacción y conservación de datos.
  - Dra.C. Nancy López Bello. Supervisión, metodología, conceptualización, redacción - revisión y edición
  - Dr.Sc. Erenio González Suárez. Gestión de proyectos, análisis formal, software, redacción - revisión y edición.
-