

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**NOMBRE DEL SUB-EVENTO**

**SIQ Comisión I: XII Conferencia "La Ingeniería Química: Desarrollo, potencialidades y sus retos"**

**Título**

**Disminución del impacto ambiental por el consumo de diésel con menor contenido de azufre**

*Title*

*Decrease in Environmental Impact due to the consumption of diesel with a lower sulfur content*

1- Yenisley Acosta Marimón. Refinería Cienfuegos S.A, Cuba. [yacosta@refcfg.cu](mailto:yacosta@refcfg.cu)

**Resumen:**

Los softwares de simulación de procesos constituyen herramientas significativas para la evaluación de plantas de procesos químicos pues permiten estimar en distintos escenarios de estudio, el comportamiento del sistema simulado de manera rápida y sin riesgos. La simulación es realmente efectiva si los resultados logrados son lo más cercano posible a los valores de diseño de la planta o a los valores reales obtenidos. El objetivo de este trabajo consiste en disminuir el impacto ambiental por el consumo de combustible diésel con alto contenido de azufre. En el presente trabajo, se propone una alternativa para disminuir el contenido de azufre del diésel hidrofinado de la refinería, destinado hoy al consumo nacional, que permite una disminución del impacto ambiental. Esta alternativa se evalúa mediante la simulación de proceso.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Se obtienen desviaciones inferiores al 10 % en las variables analizadas lo que permite validar el modelo que se desarrolla. Así como se estudia la sensibilidad del mismo a través de las variables operacionales temperatura, presión y flujo según el esquema de diseño y lo que se refleja en la bibliografía científica consultada. Se propuso recircular un flujo de 21 380 kg/h de la corriente de salida hidrofinada a la corriente de alimentación, obteniéndose un contenido de azufre de 1 600 ppm. Este valor optimizado se obtuvo mediante la simulación del proceso.

**Palabras claves:** diésel hidrofinado-simulación-azufre-impacto ambiental

**Abstract:**

Process simulation software are very significant tools for the assessment of the chemical processes plants, as they allow estimating in very short time, and with no risks, the simulated system behavior in different study scenarios. Simulation is really effective provided the results achieved are the closest possible to the plant design values or to the actual values achieved. The objective of this research is to decrease the environmental impact due to the consumption of diesel fuel having high sulphur content. In the present work, an alternative is proposed to decrease the sulfur content of the hydrofined diesel of the refinery. Such diesel is destined to the national market, which allows a decreasing the impact to the environment. This is evaluated by means of process simulation.

The deviations obtained are under 10 % in the variables analyzed, thus allowing the validation of the model being developed. As well, the simulation sensitivity is studied through the operational variables: temperature, pressure, and flow, as per the design scheme and the bibliography consulted on the topic. It was proposed to recycle a 21 380 kg/h flow of the outlet hydrotreated current to the feed current, getting a sulphur content of 1 600 ppm. This optimized value was obtained by the process simulation

**Keywords:** hydrotreated diesel, simulation, sulphur, environmental impact.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



## **1. Introducción**

La actividad humana ha producido efectos y alteraciones en los sistemas naturales, algunos positivos, otros negativos; unos reversibles, otros irreversibles; unos inmediatos, otros de larga gestación y maduración; visibles a veces, no fácilmente perceptibles en la mayoría de los casos, pero muchas veces catastróficos. El planeta recibe cada año 99 millones de toneladas de óxido de azufre (SOX), 68 millones de toneladas de óxido de nitrógeno (NOX), 177 millones de toneladas de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), así como millones de toneladas de desechos tóxicos. (Lobelles, 2017b)

El manejo por el hombre de los recursos en su beneficio está produciendo modificaciones en el planeta de tal magnitud que hipotecan el futuro. La elevación masiva del consumo, propiciado por la industrialización, ha ido en detrimento de la disponibilidad mundial de algunos recursos naturales. Los desechos liberados por las actividades económicas y domésticas representan un problema permanente para su disposición, en una forma ambientalmente aceptable. (Rodríguez, 2016)

La presencia de contaminantes en la atmósfera, en cantidades y períodos de tiempos largos, resulta nocivo para la salud de las personas, los animales y las plantas, además de causar perjuicios económicos y deterioro del entorno. (Calles Hernández, 2013)

La contaminación del aire puede ser natural y artificial (contaminación producida por el hombre). Dentro de las fuentes artificiales de emisiones contaminantes se encuentran: el transporte, la producción de energía, la industria. (Contreras, García e Icaza, 2013). La gestión del ambiente comprende acciones del hombre desde la sociedad y para la sociedad, con incidencia positiva en su protección y conservación, de forma tal de prever, reducir, controlar y solucionar los problemas ambientales (Rodríguez, 2016). De aquí la importancia de enfocar este trabajo a la industria petrolera, específicamente a la etapa de refinación de petróleo por ser una de las fuentes contaminantes del medio ambiente.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



El desarrollo de los diferentes procesos responde a la necesidad de producir con mayor y mejor calidad los productos sin olvidar las exigencias medioambientales cada vez más restrictivas. (Rodríguez, 2016; Romo, 2016; Perry, 1999 y Wauquier, 2001)

La fracción de diésel procedente de destilación atmosférica presenta un alto contenido de azufre y constituye la carga principal para la planta de hidrodesulfurización. La calidad de los carburantes tiene una incidencia importante sobre las emisiones que genera el parque automovilístico. (Lurgi, 2014; Lluch Urpí, 2015).

La hidrodesulfurización es un proceso químico catalítico que se utiliza para eliminar el azufre del gas natural y de los productos refinados del petróleo, como la nafta, la gasolina, el combustible de aviación, el queroseno, el combustible diésel y los aceites combustibles. La industria cubana de refinación de combustibles se ve y estará en los últimos años presionada para desarrollar nuevos procesos que logren el procesamiento de crudos cada vez más pesados. Por tanto la planta de hidrodesulfurización de diésel (HDS) es la primera que se dispone hacia el camino de obtener 0,2 % de azufre y con ello mejorar el diésel de todo el país.

Se conoce que en la Refinería Cienfuegos S.A. se produce un diésel de 0,8 % en peso de azufre (8 000 ppm de S), aun cuando los principales consumidores son los grupos electrógenos, que exigen un diésel de no más de 0,5 % en peso de azufre. Esto es difícil de alcanzar sin el hidrofinador, que ha permitido disminuir los volúmenes de importaciones de diésel con 0,5 % de azufre para el país. Hay que señalar que el hidrofinador con que cuenta la refinería puede alcanzar según las condiciones de diseño de la planta y para la materia prima que fue diseñada valores de azufre inferiores a 0,5 % (hasta 0,2 % en peso de azufre). Esto permitiría disminuir la contaminación ambiental al utilizar en el país un diésel con menor contenido de azufre, pero para lograrlo se desconocen los parámetros operacionales más adecuados, en tal sentido se ha identificado el siguiente problema científico:

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**Problema científico:** ¿Cómo lograr la reducción del % de azufre en el diésel hidrofinado de la Refinería Cienfuegos S.A. para disminuir la contaminación ambiental?

**Objeto:** Contaminación atmosférica por vertimientos de gases tóxicos.

**Campo de acción:** Contaminación ambiental debido al % de azufre en el diésel hidrofinado de la Refinería Cienfuegos S.A.

**Hipótesis:** Si se recircula parte del flujo de la corriente de salida en el hidrofinador de diésel se lograría disminuir el contenido de azufre en el diésel hidrofinado y consigo la contaminación ambiental provocada por los equipos con motores diésel.

**Objetivo general:** Disminuir el contenido de azufre en el diésel hidrofinado para reducir la contaminación ambiental que provoca los equipos con motores diésel.

**Objetivos específicos**

1. Analizar el estado del arte sobre las diferentes tecnologías para hidrofinación de diésel, así como las herramientas de simulación más usadas para la evaluación de las torres hidrofinadoras.
2. Proponer mejora tecnológica en el proceso de hidrofinación de diésel para disminuir el contenido de azufre y consigo el Impacto ambiental.
3. Confeccionar el modelo de simulación del proceso de hidrofinación de diésel.
4. Validar la propuesta tecnológica mediante la simulación de proceso.

**2. Materiales y métodos.**

En la sección de hidrofinación de diésel se trata la fracción 180-360 °C que se obtiene de la sección 100, primeramente va a tanque intermedio para ser procesada en el HDS. El inyecta (corrientes S1, S2 y S3) a la unidad de hidrofinación de diésel lo constituyen: 0,52 % m/m de nafta, 13,58 % m/m de gases, H<sub>2</sub> y 85,90 % m/m de fracción 180-360 °C proveniente de la sección 100.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Para validar el modelo se simula el proceso de hidrotratamiento de diésel determinándose el error relativo:

$$e_{rel} = \frac{X_{diseño} - X_{calculada}}{X_{diseño}} \quad \text{Ec 2.1}$$

A partir del modelo que se desarrolla se realiza un estudio de sensibilidad de diferentes parámetros de proceso. Con el fin de analizar la mejor variante de modificación tecnológica se plantea realizar una optimización del proceso. (Verru, 2008). Para ello se utiliza la herramienta de optimización del propio programa de simulación (Optimizer). (Aspen Technology, 2015)

### 3. Análisis de los resultados.

Con los datos existentes de las condiciones de diseño de los diferentes equipos de la planta se realiza la simulación, obteniéndose los resultados de los balances de materia y energía realizados por el simulador. Después de comparadas las condiciones de diseño y los resultados arrojados por la simulación de procesos en la corriente de salida del reactor 2 (S14) se observa que los resultados de las composiciones de cada componente y el flujo total son similares. Haciendo un análisis se tiene que de los 10 elementos comparados todos se encuentran dentro del rango de error permitido que es de 10 %, siendo el porcentaje más alto obtenido de 8,3 %. Es importante señalar que para el flujo total de la corriente el error tiene un valor por debajo del 1 %, lo que demuestra la representación adecuada que se realiza de las reacciones de desulfurización, etapa determinante en el proceso que se estudia.

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

**Tabla 3.2.** Parámetros termodinámicos de diseño y simulados

Corriente S6				Corriente S21			
Variables	Diseño	Simulación	% Error	Variables	Diseño	Simulación	% Error
T(°C)	63	67	5,88	T(°C)			
P (kgf/cm <sup>2</sup> )	47	46,9	0,21	P (kgf/cm <sup>2</sup> )	34,5	34,7	0,58
F (kg/h)	96 578	97 500	0,95	F (kg/h)	84 501	85 633	1,34
Corriente S7				Corriente S24			
Variables	Diseño	Simulación	% Error	Variables	Diseño	Simulación	% Error
T(°C)				T(°C)	45	46,16	1,34
P (kgf/cm <sup>2</sup> )	43	43,1	0,23	P (kgf/cm <sup>2</sup> )	8	8,2	2,50
F (kg/h)	96 578	97 500	0,95	F (kg/h)	84 501	85 366	1,02
Corriente S20				Corriente S25			
Variables	Diseño	Simulación	% Error	Variables	Diseño	Simulación	% Error
T(°C)	45	46	1,27	T(°C)	240	248,44	3,52
P (kgf/cm <sup>2</sup> )	34	34,7	2,06	P (kgf/cm <sup>2</sup> )	8	8,2	2,50
F (kg/h)	11 858	11 866	0,13	F (kg/h)	84 501	85 366	1,02

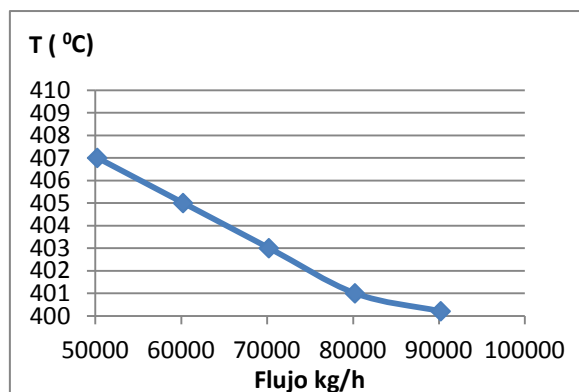
En la Tabla 3.2 se comparan varias corrientes en cuanto a parámetros tecnológicos (temperatura, presión y flujo), en esta tabla se observa que todos los parámetros comparados están dentro del rango de error permisible, siendo el porcentaje más elevado de 5,88 % en la temperatura de la corriente S6. En el caso de las temperaturas de las corrientes S7 y S21 no se comparan por haber sido datos de entrada al modelo de simulación.

Se realiza el análisis de sensibilidad considerando el flujo de inyectado como variable independiente y la temperatura a la salida del segundo reactor como variable dependiente. En la Figura 3.2 se muestra la relación entre ambas variables.

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**Figura 3.2.** Influencia del flujo en la temperatura de salida del R2.

El comportamiento del gráfico arroja el resultado esperado ya que el flujo de alimentación está directamente relacionado con la velocidad espacial (LHSV ( $h^{-1}$ )). La ecuación que representa el cálculo de la velocidad espacial del flujo de alimentación es como sigue:

$$LHSV (h^{-1}) = \frac{\text{Flujo de liquido volumétrico por hora a } 15^{\circ}C (pie^3/h)}{\text{Volumen de catalizador } ((pie^3))} \quad \text{Ec.3.1}$$

La cantidad de catalizador en el reactor es una magnitud determinada para poder garantizar el tiempo de residencia suficiente para que se realicen las reacciones deseadas (reacciones de desulfurización) a un flujo de alimentación.

El tiempo de residencia es igual al inverso de la velocidad espacial:

$$\text{Tiempo de residencia } (\theta) = \frac{1}{LHSV} \quad \text{Ec.3.2}$$

En la medida que disminuye la velocidad espacial con la disminución del flujo de alimentación se favorece la velocidad de reacción de hidrogenación e hidrodesulfurización. Al favorecerse las reacciones de desulfurización que son reacciones exotérmicas (desprenden calor), aumentando la temperatura en el reactor.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)



**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

Con la simulación de la operación de la planta de hidrofinación de diésel, se pudo constatar que existe la posibilidad de recircular parte de la corriente de fondo de la torre T1 (S32) que es la entrada del intercambiador EC1. Se propone la corriente S32 pues presenta menor contenido de H<sub>2</sub>S y de azufre al haber pasado por la etapa de reacción (R1 y R2), haber sido despojada de los gases más ligeros en los tambores separadores de alta y baja presión y en la torre (T1). Su contenido de azufre según la simulación es de 0,20 %.

Al ejecutar el comando de optimización se obtiene un flujo óptimo de recirculación en la corriente S32 de 21 380 kg/h, lo que representa una razón de división de 0,3. Bajo estas condiciones se obtiene un diésel hidrofinado con aproximadamente 0,16 % en peso de azufre, por debajo del 0,20 % en peso que se obtenía sin la recirculación.

**Tabla 3.3.** Comparación del contenido de azufre del esquema existente con el esquema con recirculación.

Variables	Esquema existente		Esquema con recirculación	
	Corrientes			
	Entrada (S6)	Salida (S32)	Entrada (S32 A)	Salida (S32)
Flujo Total(kg/h)	97 500	71 267	99 638	72 825
% peso S	0,3292	0,1991	0,2883	0,1582

Con este nuevo esquema se logran obtener aproximadamente 0,16 % azufre en el diésel hidrofinado, siendo un valor inferior al que tiene por diseño la planta de HDS.

En el país actualmente se comercializan diésel con 0,5 % azufre y con 0,8 % de azufre, con esta propuesta se podría mejorar la calidad del diésel del mercado, siendo el nuevo producto a comercializar 0,16 % azufre.

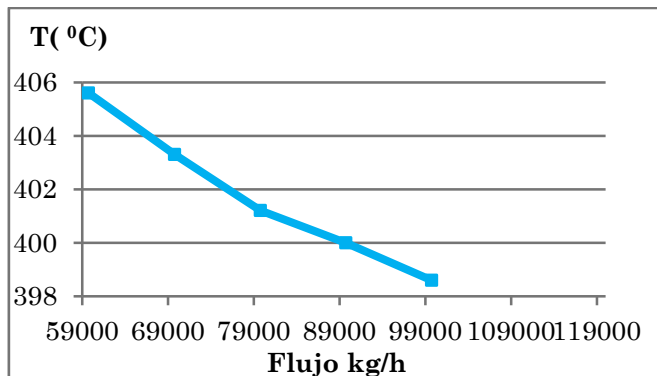
Análisis de sensibilidad del modelo de simulación.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**Figura 3.4.** Influencia del flujo en la temperatura de salida del R2.

Se realiza el análisis de sensibilidad de la propuesta de mejora de esta tesis, donde el comportamiento del gráfico arroja el resultado esperado ya que el flujo de alimentación está directamente relacionado con la velocidad espacial (LHSV (h-1)). El cálculo de la velocidad espacial del flujo de alimentación se realizó por la ecuación 3.1

Para la evaluación del impacto ambiental mediante el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) presentado por Lobelles (2017b), se tomaron varias premisas. En la evaluación del impacto ambiental fue aplicado el software SimaPro 7.1 y el método de evaluación de impacto Eco-Speed. En el análisis de estas variantes se tuvo en cuenta la propuesta realizada en esta tesis. La Figura 3.5 muestran la comparación por categorías de daños entre los procesos de las 3 variantes propuestas y la Figura 3.6 muestra la evaluación del daño ambiental por variantes. Del análisis de la Figura 3.5 se puede apreciar que:

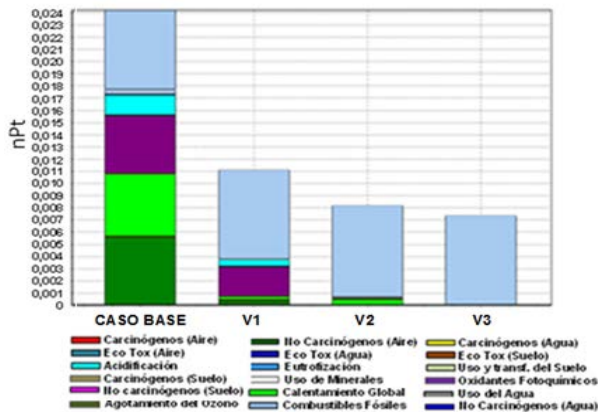
- La mayor contaminación se produce en el caso base. En este caso se logra disminuir todas las emisiones al agua y recuperar esta para usarla nuevamente en el proceso, no obstante, convierte todos los compuestos sulfurosos (H<sub>2</sub>S) presentes en el agua a contaminación del aire, luego del despojamiento, que unido a los gases ácidos que salen de la regeneradora de aminas son enviados al Flare. Se debe señalar que el Flare, diseñado para trabajar con temperatura de 150 °C, no logra los mismos

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

resultados que el Incinerador de la URA, cuya temperatura de trabajo oscila entre 950 y 1 200 °C.



**Figura 3.5.** Evaluación por categoría de daños por variantes tecnológicas. Fuente: elaboración a partir de SimaPro 7.1. Método Eco-Speed 1.0 (2012) V 1.00/ world / puntuación única.

- Por los motivos anteriores se pueden apreciar un valor notable en la afectación a la capa de ozono, en la acidificación tanto del agua como del suelo, en la eutrofización del agua, en la ecotoxicidad del suelo, entre otras.
- La mayor contaminación ambiental de dicha variante provoca daños a la salud humana por las emisiones de gases tóxicos (H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, Metano, Pentano, Amoníaco, etc.) resaltando el sulfuro de hidrógeno, un gas muy tóxico del que se permite como máximo 10 mg/Nm<sup>3</sup> en el aire.
- Debido a la recuperación de azufre de las variantes V1, V2 y V3, se minimiza la contaminación ambiental, lo que indica que estas pueden ser las mejores opciones.

Del análisis de la Figura 3.6 se puede apreciar que estas tres variantes tienen un impacto positivo, pues logran disminuir:

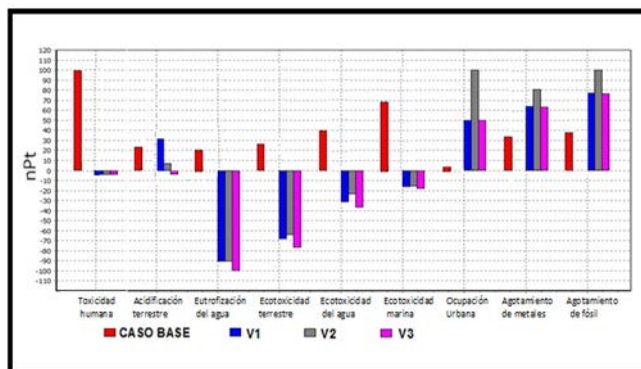
Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**



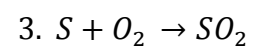
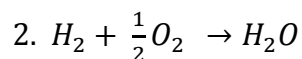
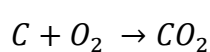
**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

- En más de un 90 % las categorías de daños como eutrofización del agua fresca; en más de un 60 % la eco-toxicidad terrestre; en un 40 % la eco-toxicidad del agua fresca; en un 20 % la eco-toxicidad marina y en más de un 5 % la toxicidad humana.
- Se puede apreciar que la variante V3 presenta poca carga medioambiental, que es motivada por la utilización de recursos para su puesta en marcha. Logra un 99,8 % de recuperación de azufre, superando las variantes V1 y V2 que tienen un 94 % de recobrado. También cabe destacar que esta es la única variante que cumple con las normas de emisiones del Grupo del Banco Mundial.



**Figura 3.6** Evaluación del daño ambiental por variantes tecnológicas. Fuente: Elaboración a partir de SimaPro 7.1. Método Eco-Speed 1.0 (2012) V 1.00/ world / puntuación única.

Reacciones principales que intervienen en la combustión del diésel.



PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

**Tabla 3.4.** Comparación del contenido de azufre del esquema existente con el esquema con recirculación.

Compuestos	diésel 0,5 % azufre	diésel 0,16 % azufre
C	86,9954	86,9943
H <sub>2</sub>	12,5063	12,8475
S	0,4983	0,1582
TOTAL	100	100

Según el balance de combustible de la UNIÓN CUPET, el diésel consumido en un año es:

kg de combustible de diésel consumido en 1 año = 945 946 000; 1 año = 350 días

Al ser el contenido de carbono ligeramente superior en el diésel 0,5 % S que en el diésel 0,16 % S, se obtiene por un kilogramo de diésel 0,16 % S al combustionar se produce la misma cantidad de CO<sub>2</sub>, lo que se traduce en la misma cantidad de CO<sub>2</sub> para ambos productos. Al disminuir el % de azufre en el diésel, disminuye la concentración de SO<sub>2</sub> en 0,007 kg que representa 6 621 t/año de SO<sub>2</sub> que es lo mismo que 19 t/d.

Con los resultados del proceso de mejora de esta tesis la contaminación ambiental por SO<sub>2</sub> disminuiría, por lo que la población se vería favorecida, pues serían menos las personas que enfermarían de problemas respiratorios (pulmonares). Por otro lado con los resultados de la variante 3 los beneficios serían significativos, ya que la contaminación del agua y la contaminación de la bahía mejorarían significativamente, así como la toxicidad humana lo que se evidencia en la Fig. 3.6

De acuerdo con el proceso del caso base, al Flare se envía para su quema la corriente de H<sub>2</sub>S procedente de la planta de Aminas, que aporta 19 t/d de SO<sub>2</sub>, provocando un daño considerable al Medio Ambiente y como agravante adicional no ingresa

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

dividendos económicos, pues no tiene producto final para comercializar. Precio de la tonelada de azufre, 117 CUC; Flujo de H<sub>2</sub>S que se envía al Flare es de 7 257 t/año

En el caso de las variantes donde se integra la unidad Claus (URA) se logra convertir el contaminante mayor H<sub>2</sub>S en azufre elemental como producto final comercializable, lográndose como ventaja adicional un ingreso económico por esta razón. Visto así, para las variantes V1 y V2 que presentan un 94 % de recobrado que equivale a 6 821 t/año de azufre y generaría un ingreso por la venta del azufre elemental de 798 126 CUC/año. Para la variante V3 que presenta un 99,8 % de recobrado se obtendría 7 242 t/año de azufre elemental generándose ingresos por su venta de 847 371 CUC/año.

#### **4. Conclusiones.**

1. El estudio bibliográfico corroboró que la tecnología empleada en la planta de HDS es adecuada, así como el software Petro-SIMTM utilizado se encuentra entre las herramientas más fructíferas para la evaluación de simulación de procesos.
2. La modificación tecnológica propuesta en el trabajo permitió disminuir el contenido de azufre en el diésel hidrofinado por debajo del que se consume actualmente en el país, por consiguiente se logra disminuir la contaminación ambiental provocada por el parque automotor.
3. Al realizar la optimización del proceso se obtiene como propuesta de mejora que el 30 % del diésel hidrofinado (21 380 kg/h) es el reflujo óptimo para el esquema existente.
4. Se desarrolla el modelo de simulación del proceso de hidrofinación de diésel de la Refinería Cienfuegos S.A., lo que permitió predecir el comportamiento de los principales parámetros operacionales, logrando errores por debajo del 10 %, con un valor máximo de 8,3 %.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

5. La evaluación ambiental con el análisis del ciclo de vida y la evaluación económica de las diferentes propuestas permitió demostrar que la mejor opción tecnológica responde a la variante de proceso V3, pues es la única variante que cumple con las normas de emisiones del Banco Mundial.

**6. Referencias bibliográficas**

1. ASPEN TECHNOLOGY, I. (2015). ASPEN TECHNOLOGY, I. HYSYS. Retrieved from <<http://www.aspentech.com>>.
2. CALLES HERNÁNDEZ, J. R. (2013). Estado del Medio Ambiente y perspectivas de sostenibilidad. Colección Investigaciones. In.
3. CONTRERAS, V. A. M., GARCÍA, S. G., & ICAZA, H. B. (2013). Calidad de aire: una práctica de vida. In. Retrieved from <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>
4. LLUCH URPI, J. (2015). Tecnología y Margen del Refino del Petróleo. In. Retrieved from <http://www.diazdesantos.es/ediciones>
5. LOBELLES, S. G. O. (2017b). METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN TECNOLÓGICA INTEGRAL DE AGUAS SULFUROSAS EN LA REFINERÍA DE CIENFUEGOS CON ENFOQUE DE ECONOMÍA ECOLÓGICA. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS, CUBA,
6. LURGI. (2014). Heat & Meterials Balance for the Sulphur Recovery Unit. Frankfurt. Germany : LURGI (2012). The Germany Sulphur Tecnology Provider, 2014.
7. PERRY, R. H., & GREEN, D. W. (1999). Perry’s Chemical Engineers Handbook. (R. H. PERRY & D. W. GREEN Eds. McGraw-Hill International Editions ed.).

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



8. RODRÍGUEZ, H. R. (2016). Contaminacion Atmosferica y Salud en la Zona Metropolitana del Valle de México., 1-58. Retrieved from [http://www.senado.gob.mx/comisiones/distrito\\_federal/reu/docs/presentacion\\_HRR\\_270416.pdf?](http://www.senado.gob.mx/comisiones/distrito_federal/reu/docs/presentacion_HRR_270416.pdf)
9. ROMO, D. (2016). Refinación de petróleo en México y perspectiva de la Reforma Energética. Revista Problemas del Desarrollo, 187 (47), 139-164.
10. VERRU SCHI PIGLIACAMPO, E. M. (2008). Optimización De La Distribución De Catalizadores En Hidrotratamiento de Destilados Medios. Instituto Universitario Politécnico Venezuela, Venezuela.
11. WAUQUIER, J. P. (2001). Petroleum Refining. Separation Processes. Institut Francais du Pétrole Publications. Paris. France. In (pp. 20-26.).

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)