

ESQUEMA DE MEZCLADO PARA LA GASOLINA POR PARADA DE LAS UNIDADES MHC+HCK DE LA REFINERÍA DE CIENFUEGOS

GASOLINE FOR STOPPING THE MHC + HCK UNITS OF CIENFUEGOS REFINERY MIXING SCHEME

Neily's Alicia Sust Cano¹, Gabriel Orlando Lobelles Sardíñas^{1}
y Mayelín Gutiérrez Brunet¹*

¹ Refinería de petróleo "Camilo Cienfuegos". Finca Carolina, km 3½. Código Postal- 55400. Cienfuegos, Cuba.

Recibido: Abril 19, 2018; Revisado: Junio 18, 2018; Aceptado: Octubre 29, 2018

RESUMEN

La refinería Camilo Cienfuegos se encuentra inmersa en un proceso inversionista con el objetivo de elevar los índices de rentabilidad económica, para ello ha diseñado un esquema de refinación con conversión profunda, donde las corrientes componentes de la mezcla de gasolina a partir de los nuevos procesos implementados, aumentarán en cantidad y calidad. Es de vital importancia una vez diseñado el esquema de la mezcla de gasolina y su calidad, mantenerlo. En tal sentido, ante la parada de las unidades de Hidrocraqueo e Hidrocraqueo Moderado, es objetivo de este trabajo determinar el esquema de mezclado óptimo que garantice los estándares de calidad exigidos. Para esto se realizó una revisión bibliográfica sobre los esquemas de refinación, del proceso de mezclado y de las corrientes que conforman la mezcla. Se empleó como herramienta matemática el Sistema de Modelación de Procesos Industriales: PIMS quien garantiza la factibilidad económica del proceso ante una parada de dichas unidades. El esquema de mezclado de gasolina resultante maximiza los ingresos de la Refinería ante el escenario de trabajo.

Palabras clave: Calidad; gasolina; mezclado; sistema PINS.

ABSTRACT

The Camilo Cienfuegos refinery is immersed in an investment process to raising the economic profitability indexes, for this reason a refining scheme with deep conversion has been designed where the gasoline mixture from the new implemented processes

Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Gabriel O. Lobelles, Email: globelles@refcfg.cu

component streams, will increase in quantity and quality. It is vitally important once the gas mixture scheme and its quality are designed, keep it. In this sense, with Hydrocracking and Moderate Hydrocracking units' stoppage, the objective of this work is to determine the optimal mixing scheme that guarantees the required quality standards. A bibliographic review was made on the refining schemes, the mixing process and the currents that make up the mixture. The Industrial Process Modeling System PIMS was used as a mathematical tool, which guarantees process economic feasibility in shutdown event of these units. Resulting gasoline blending scheme maximizes the refinery's revenues in work scenario.

Key words: Quality; gasoline; blending; PINS system.

1. INTRODUCCIÓN

En Cuba es necesario elevar la capacidad de refinación de crudo hasta volúmenes que permitan reducir la importación de productos derivados. En este esfuerzo las nuevas inversiones en la refinería de petróleo de Cienfuegos, Cuba, juegan un importante papel. El esquema tecnológico de refinación actual de dicha refinería es muy sencillo pues solo posee unidades de destilación atmosférica, hidrofinación y reformación catalítica. De acuerdo con LLuch-Urpí (2008), este esquema no logra una conversión de más del 50 %, salvo el caso de las refinerías que usan como materia prima los crudos ligeros o medios-ligeros, de bajo nivel de azufre. Es por eso, que en la mayoría de los casos aproximadamente la mitad del crudo se convierte en Fuel Oil, un subproducto con bajo valor en el mercado (Teixeira, 2008).

Con el interés de mitigar esta situación la refinería de Cienfuegos se encuentra inmersa en un proceso inversionista que ha sido convenientemente concebido en etapas, en aras de alcanzar resultados económicos a corto plazo. Una de las ideas más atractivas, desde el punto de vista económico, es la implementación de un esquema de refinación con Conversión Profunda, lo que elevaría considerablemente los índices de rentabilidad económica (Gary y Handwerk, 2006). Con este nuevo esquema además de la destilación atmosférica se incorporarían procesos de vacío, craqueo en cualquiera de sus variantes, hidrocaqueo, una unidad de coquificación retardada, tratamiento de productos y almacenamiento asociado. El nuevo esquema reportará un incremento en la producción de gasolina. La calidad de la gasolina, vista como uno de los productos de refinación de mayor valor agregado, depende de las corrientes que conformen la mezcla (Verruschi, 2006) la cual se verá comprometida ante una parada de planta de algunas unidades de proceso.

En tal sentido es objetivo de este trabajo proponer el esquema de mezclado para los componentes de la gasolina, para que cumpla sus especificaciones de calidad ante una parada de las unidades de Hidrocaqueo (HCK) y de Hidrocaqueo Moderado (MHC).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Gasolina, es el resultado de una mezcla de distintos componentes obtenidos en los procesos de refinación (Guanipa, 2012); (Fahim et al., 2010), (Usman, 2016) constituidos por hidrocarburos desde 4 hasta 11 átomos de carbono, que destilan entre

25 - 220 °C (Speight, 2006). Su calidad está definida por una serie de propiedades entre las que se encuentra el número de octanos, Presión de Vapor de Reid (RVP), contenido de azufre, aromáticos y benceno.

- **Número de octanos:** Es la medida de la resistencia de la gasolina a la detonación y es un factor determinante en la calidad del producto (Al-Fahemi et al, 2014), (Pasadakis et al., 2006), (Hunter, 2011).
- **RVP:** Es la presión que alcanza un producto determinado en un volumen de aire cuatro veces superior al del líquido a 38 °C. La prueba RVP indica la tendencia lineal hacia la vaporización, mientras que la prueba de destilación proporciona una medida de la extensión que alcanzará la vaporización de un determinado conjunto de condiciones (ASTM D 323, 2014).
- **El contenido de azufre:** Es indicativo de la posibilidad de formación de óxidos de azufre durante la combustión y a partir de los mismos de ácido sulfúrico, que ataca u oxida a los elementos con los que entra en contacto.

El mercado internacional establece restricciones para estas propiedades que se reflejan en la Tabla 1. El proyecto expansión de la refinería de Cienfuegos pretende producir gasolina DON 87, destinada al mercado europeo, a partir de la instalación de las unidades de proceso que completan el esquema de refinación con Conversión Profunda.

Tabla 1. Especificaciones de la Gasolina DON 87

<i>Gasolina DON 87</i>	<i>Unidad</i>	<i>Límites</i>
Azufre	ppm peso	25 máx.
MON	-	82 mín.
DON = (RON + MON)/2	-	87 mín.
RVP	kg/cm ²	0,63 mín.
Olefinas	% vol.	30 máx.
Aromáticos	% vol.	29 máx.
Benceno	% vol.	0,62 máx.

Para lograr esta gasolina las corrientes que conforman la mezcla son:

- Nafta polimerizada: Proveniente de la unidad de Polinafta donde la reacción fundamental es la oligomerización profunda o lo que es lo mismo la combinación de moléculas similares
- Nafta Ligera y pesada hidrocraqueada: Proveniente de la unidad de Hidrocraqueo (HCK) cuyo proceso combina el craqueo catalítico y la hidrogenación. Las alimentaciones más pesadas se craquean en presencia de hidrógeno para producir productos más deseables.
- Nafta Craqueada: Proveniente de la unidad de Craqueo Catalítico (CCU) donde se intensifica la paridad de los productos mediante la transformación de las moléculas de alimentación pesada en más ligeras.
- Isomerizado: Proveniente de la unidad de Isomerización (ISO) cuyo proceso catalítico convierte las n-parafinas contenidas en la nafta ligera en iso-parafinas con números de octano superiores

- Reformado pesado: Esta nafta procede de la unidad de Reformación Catalítica Continua (CCR) cuyo objetivo es incrementar el número de octano de los cortes de nafta para ajustarlos a la manufactura de gasolina.
- Nafta Liviana: Esta corriente proviene de la unidad de Destilación Atmosférica.

Para proponer el esquema de mezclado de estos componentes de refinación se empleó el Sistema de Modelación de Procesos Industriales (PIMS) (Aspen Technology, 2005); debido a que es un software diseñado específicamente para la industria petrolera. Algunas de las aplicaciones del PIMS en las refinerías de petróleo, de acuerdo con Verruschi (2009); (Khalid et al., 2011), Khalgui (2013) son las siguientes:

- Evaluación de crudos y otros insumos: ¿Qué crudo se debe comprar y a qué precio?
- Plan de operaciones - Procesando una dieta: ¿Qué productos se deben producir y cómo se mezclan para maximizar beneficios?
- Planes de inversión a mediano y/o largo plazo: Capacidad de la expansión o planta nueva. ¿Es rentable?
- Planificación de paradas de plantas: ¿Cuál es el impacto económico de una parada de planta?, ¿Se debe programar?
- Impacto de nuevos mercados o restricciones ambientales: ¿Cuál oportunidad de mercado es más beneficiosa?
- Políticas de inventario.

Un modelo en PIMS genera infinitas soluciones factibles, pero solo una solución óptima que genera una ganancia máxima expresada en términos de función objetivo (Tarifa, 2012); (Taha, 2012). Esta función, de acuerdo con la ecuación (1), engloba los ingresos debido a las ventas de los productos de refinación y los costos asociados a la compra de materia prima y los insumos necesarios para la operación de las unidades.

$$F.O \left(\frac{\$}{\text{día}} \right) = \text{Ventas} \left(\frac{\$}{\text{día}} \right) - \text{Costos} \left(\frac{\$}{\text{día}} \right) \quad (1)$$

Para elaborar el esquema de mezclado se debe establecer el escenario a considerar:

- Fuera de servicio las unidades de Hidrocraqueo (HCK) y la de Hidrocraqueo Moderado (MHC).

Según Gutiérrez (2015), el procedimiento para la obtención del esquema de mezclado de gasolina ante el escenario planteado parte de realizar modificaciones al CASO BASE (condiciones normales de operación),

2.1 Acciones a realizar

1. Eliminar del modelo las unidades que entran en parada y modificar las capacidades de las unidades que se vean afectadas.
 - Modificar la Tabla CAPS para garantizar que el modelo no incluya las unidades MHC+HCK.
 - Colocar un cero en la capacidad MAX de estas unidades.
 - Reducir la capacidad del CCU en un 30% ya que, teniendo en cuenta las especificaciones del licenciante, ante cambios en la materia prima solo se garantiza la operación de CCU a un 70 % de su capacidad.
2. Reubicar las corrientes que alimentan las unidades que entran en parada.

- Modificar la tabla SUBMODS específicamente el submodelo CFP (corriente de alimentación al pool)
 - Activar como posibles alimentaciones las corrientes LV₁ (corte ligero del vacío 1), HV₁ (corte pesado del vacío 1) y HV₂ (corte pesado del vacío 2) que van a pasar directamente de la destilación al craqueo.
3. Correr el modelo, eliminando posibles errores e inconsistencias hasta lograr la convergencia del mismo.
 4. Analizar el cumplimiento de los requisitos de calidad y la variación con respecto al Caso Base.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Tablas 2 y 3 muestran los resultados para el caso A sin modificación y el caso B después de la modificación.

Tabla 2. Tabla CAPS del PIMS. **Fuente:** Reporte del PIMS

	<i>Texto</i>	<i>Mínimo.</i>	<i>Máximo.</i>		<i>Texto</i>	<i>Mínimo.</i>	<i>Máximo.</i>
CR07	Craqueo			CR07	Craqueo		
CHCK	Hidro Craqueo TPD	0	Diseño	CHCK	Hidro Craqueo TPD	0,00	0,00
CMHC	Hidro Craqueo Moderado TPD	0	Diseño	CMHC	Hidro Craqueo Moderado TPD	0,00	0,00
CCFP	Corriente de alimentación catalítica	0	Diseño	CCFP	Corriente de alimentación catalítica	0,00	0,7*Diseño
CCCU	Craqueo catalítico TPD	0	Diseño	CCCU	Craqueo catalítico TPD	0,00	0,7*Diseño

A (Sin modificación)

B (Con modificación)

Como resultado de la corrida del programa, con las modificaciones realizadas se obtuvo el siguiente reporte: En el caso de estudio aparecen 3 corrientes fuera de balance (LV2: Corte ligero del vacío 2, HR8: Reformado pesado 98 y HRF: Reformado pesado) pues no cumplen con las especificaciones.

Tabla 3. Tabla SUBMODS: CFP del PIMS. **Fuente:** Reporte del PIMS.

	<i>Texto</i>	<i>GOH</i>	<i>MUC</i>	<i>!LV1</i>	<i>!HV1</i>	<i>!HV2</i>	<i>CFP</i>
WBALGOH	No convertido de HCK	1					
WBALMUC	No convertido de MCK		1				
*WBALLV1	LVGO			1			
*WBALHV1	HVGO				1		
*WBALHV2	HVGO					1	
WBALCFP	Corriente de alimentación catalítica	-1	-1	-1	-1	-1	

A (Sin modificación)

	<i>Texto</i>	<i>!GOH</i>	<i>!MUC</i>	<i>LV1</i>	<i>LV2</i>	<i>HV1</i>	<i>HV2</i>	<i>CFP</i>
*WBALGOH	No convertido de HCK	1						
*WBALMUC	No convertido de MCK		1					
WBALLV1	LVGO			1				
WBALLV2	LVGO				1			
WBALHV1	HVGO					1		
WBALHV2	HVGO						1	
WBALCFP	Corriente de alimentación catalítica	-1	-1	-1	-1	-1	-1	

B (Con modificación)

Para revertir esta situación será necesario realizar algunos cambios a las restricciones del proceso y así mejorar la rentabilidad económica del mismo.

Como los valores especificados del contenido de benceno y aromáticos en la gasolina se encuentran en el máximo permisible se decide mover estas restricciones a valores superiores para así poder incorporar al proceso de mezclado las corrientes que quedan fuera de balance (Tabla 4), teniendo en cuenta que para comercializar la gasolina en el mercado local no existe restricción para estos parámetros.

Tabla 4. Calidad de los productos establecidos en Especificaciones del mezclado.

Fuente: Reporte del PIMS.

<i>Cualidades del Producto</i>		<i>Mínimo</i>	<i>Producto</i>	<i>Máximo</i>
RVI	RVP Índice		15,1997	15,1997
MON	MON min	82,0000	82,2113	
DON	DON (RON + MON)/2 min	87,0000	87,2372	
ARO	Aromáticos, (% vol)		29,0000	29,0000
BEN	Bencenos, (% vol)		0,6200	0,6200
AZU +	Azufre, (% peso total)		0,0005	0,0010
OLF	Olefinas, (% vol)		22,8223	30,0000
RON	RON min		92,2630	
SPG	Gravedad específica		0,7316	

Para ello en la Tabla 5 del PIMS se modifica la restricción del contenido de benceno y de aromático moviendo sus valores desde 0,62 hasta 0,8 % vol. y de 29 a 32 % vol. respectivamente.

Además se decide destinar el LVGO a la mezcla de fuel, ya que también queda fuera del balance. Anteriormente esta fracción pesada formaba parte de la alimentación al HCK y al entrar en parada dicha unidad es enviado directamente al craqueo, quien estará operando a menor capacidad, lo que provoca que esta corriente no tenga ningún destino. Además enviando este corte a fuel se logra disminuir la viscosidad del mismo y se evita el empleo de productos finales para este fin.

Tabla 5. Tabla BLNSPEC del PIMS. **Fuente:** Reporte del PIMS

	<i>Texto</i>	<i>M87</i>		<i>Texto</i>	<i>M87</i>
*	RVP Máx Espec, PSI	8,80	*	RVP Máx Espec, PSI	8,80
XRVI	RVP Índice	15,20	XRVI	RVP Índice	15,20
NMON	MON mín	82,00	NMON	MON mín	82,00
NRON	RON mín		NRON	RON mín	
NDON	DON (RON + MON)/2 mín	87,00	NDON	DON (RON + MON)/2 mín	87,00
XARO	Aromáticos, (% vol)	29,00	XARO	Aromáticos, (% vol)	32,00
XBEN	Bencenos, (% vol)	0,62	XBEN	Bencenos, (% vol)	0,80
XAZU	Azufre, (% peso total)	0,001	XSUL	Azufre, (% peso total)	0,001

A (Sin modificación)

B (Con modificación)

Los resultados del esquema de mezclado de gasolina se muestran en la Tabla 6. En ella se aprecia que al estar fuera de operación las unidades MHC+HCK el PIMS establece un nuevo esquema de mezclado para la gasolina garantizando maximizar, en lo posible, la función objetivo. Este esquema, comparado con el Caso Base, incrementa la proporción de nafta craqueada a un 45,88 % y disminuye el reformado pesado a 36,94 % y el isomerizado a un 5,11 %. Se redujo además la cantidad de nafta liviana debido a su bajo RON, MON y DON.

Tabla 6. Esquema de mezclado óptimo para el Caso sin MHC+HCK

	<i>Caso sin MHC + HCK</i>						<i>Producto Final</i>		
	<i>Nafta liviana</i>	<i>i-butano de PNU</i>	<i>Reformado Pesado</i>	<i>Isomerizado</i>	<i>n-butano de PNU</i>	<i>Gasolina Polinafta</i>	<i>Nafta Craqueada</i>	<i>Especificaciones Mezcla</i>	<i>Especificaciones Don 87</i>
RVP índice	13,4	206,1	10,17	24,7	139,6	6,1	10,4	15,2	15,2 máx.
MON	69,9	89,1	81	85,6	89,1	83,8	80,6	82	82 mín.
DON	71,9	91,55	87,5	86,8	91,55	91,5	85,7	87	87 mín.
ARO (% v)	4,18	0	55	0	0	1	18,3	30	32,00 máx.
BEN (% v)		0	0,2	0	0	0,1	1,09	0,72	0,8 máx.
AZU (% v)	0,0006	0	0	0	0	0	0,001	0,0005	0,001 máx.
OLF (% v)	1,0	0	0,1	0	0	95	33,9	21,34	30 máx.
RON Min.	68,0	94	94	88	94	98	90,8	92,1	reporte
SPG (% v)	0,68	0,55	0,77	0,66	0,59	0,74	0,72	0,7342	reporte
	2,94	0,35	36,94	5,11	2,80	5,97	45,88	100	

Por otra parte, para ajustar las propiedades y cumplir con las especificaciones, incorpora un 0,35 % de i- butano de PNU y se aumenta a un 2,80 % el n- butano.

De acuerdo con las normas de calidad de la gasolina DON 87, no se cumplen las especificaciones de contenido de aromáticos y de benceno, por consiguiente no puede ser exportada, aunque se puede comercializar como Gasolina Motor 90 octanos,

clasificación establecida en el catálogo de especificaciones de Cupet, para el mercado local.

4. CONCLUSIONES

1. Con la implementación de un esquema de refinación con Conversión Profunda se logran índices de rentabilidad económica superiores a los actuales en la refinería Camilo Cienfuegos.
2. El Sistemas de Modelación de Procesos Industriales (PIMS) fue la herramienta de trabajo utilizada para la obtención del esquema de mezclado óptimo de la gasolina en la refinería Camilo Cienfuegos, ante un escenario de parada de planta.
3. Ante la parada de las unidades MHC+HCK el esquema de mezclado óptimo de la gasolina es: 2,80% de n- butano de PNU, 45,88% de nafta craqueada, 36,94 % de reformado pesado, 5,11 % de isomerizado, 2,94 % de nafta liviana, 5,97 % de gasolina polimerizada y se incorpora un 0,35 % de i- butano de PNU.
4. Ante el escenario de parada de las unidades MHC+HCK y para un esquema de mezclado óptimo es imposible cumplir con los requerimientos del contenido de aromáticos y benceno especificados para la calidad de la gasolina DON 87.
5. El esquema de mezclado propuesto para la gasolina, ante la parada por emergencia de las unidades MHC+HCK, cumple con las especificaciones de la Gasolina Motor 90 octanos destinada al mercado local.

REFERENCIAS

- Al-Fahemi, J., Nahla, A., and Elshafie, A., QSPR Models for Octane Number Prediction., Journal of Teoretical Chemistry., Vol. 2014, 2014, pp. 1-6.
- Aspen Technology., Process Industry Modeling System, Pims User's Manual, Version 15.00, Bechtel Corporation Inc., Houston - Texas, USA, section. 37, 2005, pp. 966-981.
- ASTM D 323., American Society for Testing and Materials., Presión de Vapor Reid., pp. 14, 2014. Disponible en: <https://www.clubensayos.com/Ciencia/ASTM-D-323-Presion-DE-Vapor-Reid/1384745.html>.
- Fahim, M., Al-Sahhaf, T., Elkilani, A., Fundamentals of Petroleum Refining., First edition, Chapter 2, Refinery Feedstocks and Products, Elsevier, 2010, pp. 85-96.
- Gary, H.J. and Handwerk, G.E., Crude Distillation. Petroleum Refining-Technology and Economics., Fourth edition, Chapter 4, Editorial Marcel Dekker, Inc. New York, USA, 2006, pp. 46-49.
- Guanipa, V., Efecto de una mezcla de aldehídos en la formulación de gasolinas G91 y G95 procedentes de una refinería venezolana., Revista Ingeniería y Sociedad, Vol. 7, No. 2, 2012, pp. 106 – 116.
- Gutiérrez, M., Esquema de mezclado para la gasolina ante diferentes escenarios de paradas de las unidades de proceso en el Proyecto expansión de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”, Trabajo final en opción al Título Académico de Especialista en Tecnologías de refinación de petróleo, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba, 2015.

- Hunter, Ch., Introducción a la refinación del petróleo y producción de gasolina y diésel con contenido ultra bajo de azufre., Economía de la energía y optimización aplicada., (Reporte elaborado el 24 de octubre de 2011 para “El Consejo Internacional de Transporte Limpio” (ICCT)., Revista π MathPro, 2011, pp. 33 -36. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/316767814/Refinacion-de-Petroleo-Gasolina-y-ACPM>
- Khalgui, M., Mosbahi, O., Valentini, A. Embedded Computing Systems: Applications, Optimization, and Advanced Design., Information Science Reference, Chapter 20, 2013, pp. 1-20. Disponible en: <https://books.google.com/cu/books?isbn=1466639237>
- Khalid, Y. and Ali, E., Planning and Integration of Refinery and Petrochemical Operations. Edition WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2011, Part Two, pp. 21-29. Disponible en: <https://books.google.com/cu/books?isbn=3527632131>
- LLuch-Urpí, J., Tecnología y margen de refino., Ediciones Díaz de Santos, España, 2008, Capítulo 5, pp. 145-158. Consultado el 24 de junio de 2014, disponible en: <http://www.diazdesantos.es/ediciones>
- Pasadakis, N., Foteinopoulos, Ch. & Gaganis, V., Octane number prediction for gasoline blends., Fuel Processing Technology, Vol. 87, No. 6, 2006, pp. 505-509.
- Speight, G., The Chemistry and Technology of Petroleum., Part III Refining, Chapter 24, Fourth Editions, New York: Taylor & Francis Group, 2006, pp. 685-705.
- Taha, H.A., Investigación de operaciones., Capítulo 7 Programación lineal avanzada, 9na Edición, PEARSONEDUCACIÓN, México, 2012, pp. 267-300. Disponible en: <https://jrvargas.files.wordpress.com>
- Tarifa, D.E. Modelado, Optimización y Simulación de Procesos Químicos., Capítulo XV, Universidad Nacional de Litoral- Santa Fe, Argentina, 2012, pp. 603-627. Disponible en: www.edutecne.utn.edu.ar/modelado-proc-quim/modelado-proc-quim.pdf
- Teixeira, M.F., Evaluación del sistema mezclador de gasolinas para el incremento de carga a la unidad de craqueo catalítico fluidizado de la refinería El Palito., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Master en Ciencias, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2008.
- Usman, M.R., Petroleum Refining Engineering-II. Chapter Three: Pseudocomponents, Institute of Chemical Engineering and Technology University of the Punjab, Lahore, 2016, pp. 130 -142.
- Verruschi, E., Condiciones de operación en el refino de petróleo (II) Unidad de hidrodesulfuración., Revista Ingeniería Química, Vol. 45, No. 386, 2006, pp. 245-250.
- Verruschi, E., Cómo planificar óptimamente la cadena de suministros de una Refinería de Petróleos., Revista Ingeniería Química, Vol. 53, No. 13, 2009, pp. 120-128.