



ESCUELA DE POSGRADO
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo
Catalítico Fluidizado (UCCF)

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

Maestro en Administración de Negocios (MBA)

AUTOR

Br. Mario Alejandro Sánchez Bueno

ASESOR

Dra. Galia Susana Lescano López

SECCIÓN

Ciencias Empresariales

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Gerencia de Operaciones

PERÚ - 2017

Página de jurado

Dr. Edwin Martínez López
Presidente del jurado

Dr. Noel Alcas Zapata
Secretario del jurado

Dra. Galia Susana Lescano López
Vocal del jurado

Dedicatoria

A Dios, Jesús y la Virgen María por brindarme vida, salud y sabiduría cada día, guiándome hacia el camino del éxito.

A mis padres Mario y Clara por brindarme una educación paternal solida llena de consejos y experiencias para una lucha constante en la vida.

A mis hermanos Doris y Richard por su apoyo incondicional y amor fraternal diario.

A mis hijos Alejandro y Pamela, quienes son los catalizadores de mi existencia para seguir obteniendo logros y éxitos en beneficio de ellos mismos.

Agradecimiento

A la plana docente del MBA por sus conocimientos y experiencias vertidas, en especial a la Dra. Galia Lescano y al Dr. Noel Alcas por la motivación y asesoría en el desarrollo de la tesis.

Declaratoria de autenticidad

Yo, Mario Alejandro Sánchez Bueno, identificado con DNI N° 15737188, estudiante de la Escuela de Postgrado de la Universidad de César Vallejo, sede/filial Lima-Norte; declaro que el trabajo académico titulado “Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (UCCF)”, presentado en 118 folios, para la obtención del grado académico de Magister en Administración de Negocios es de mi autoría.

Por tanto, declaro lo siguiente:

1. He mencionado todas las fuentes empleadas en el presente trabajo de investigación, y he realizado correctamente las citas textuales y paráfrasis, de acuerdo a las normas de redacción establecidas.
2. No he utilizado ninguna otra fuente distinta a aquellas expresamente señaladas en este trabajo.
3. Este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado completa ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Soy consciente de que mi trabajo puede ser revisado electrónicamente en búsqueda de plagios.
5. De encontrar uso de material ajeno sin el debido reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el procedimiento disciplinario.

Lima, 17 de Febrero de 2017

Mario Alejandro Sánchez Bueno

Presentación

Señores miembros del Jurado,

Presento a ustedes mi tesis titulada "Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (UCCF)", cuyo objetivo fue determinar la relación que existe entre la Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (UCCF), en cumplimiento del Reglamento de grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, para obtener el Grado Académico de Magíster en Administración de Negocios - MBA.

La presente investigación está estructurada en siete capítulos y apéndices: El capítulo uno: Introducción, contiene los antecedentes, la fundamentación científica, técnica o humanística, el problema, los objetivos y la hipótesis. El segundo capítulo: marco metodológico, contiene las variables, la metodología empleada, tipo de estudio y diseño, población, muestra, muestreo, técnicas e instrumentos de recolección de datos y métodos de análisis de datos. El tercer capítulo: Resultados, se presentan el análisis descriptivo e inferencial y la contrastación de hipótesis. El cuarto capítulo: discusión, se formula la discusión de los resultados. En el quinto capítulo, se presentan las conclusiones. En el sexto capítulo se formulan las recomendaciones. En el séptimo capítulo, se presentan las referencias bibliográficas, donde se detallan las fuentes de información empleadas para la presente investigación.

De los resultados obtenidos en la investigación, se observa que la Productividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,937 = 93.7\%$.

Por la cual, espero cumplir con los requisitos de aprobación establecidos en las normas de la Escuela de Posgrado de la Universidad César Vallejo y merezca su aprobación.

El autor

Índice

	Página
Caratula	i
Página de jurado	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento.	iv
Declaratoria de autenticidad	v
Presentación	vi
Índice	vii
Lista de tablas	ix
Lista de figuras	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
I. Introducción	
1.1. Antecedentes	15
1.2. Fundamentación Científica, Técnica y Humanista	22
1.3. Justificación	53
1.4. Problema	53
1.5. Hipótesis	55
1.6. Objetivos	56
II. Marco Metodológico	
2.1. Variables	58
2.1.1. Productividad	58
2.1.2. Rentabilidad	58
2.2. Operacionalización de las variables	59
2.3. Metodología	60
2.4. Tipo de estudio	62
2.5. Diseño	62
2.6. Población, muestra, muestreo	64
2.6.1. Población	64
2.6.2. Muestra	64
2.6.3. Muestreo	65
2.7. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	65
2.7.1 Técnica e Instrumento	65

2.8. Métodos de análisis de datos	66
III. Resultados	70
IV. Discusión	101
V. Conclusiones	104
VI. Recomendaciones	109
VII. Referencias	112
VIII. Anexos	114
Anexo 1: Artículo Científico	115
Anexo 2: Matriz de consistencia	116
Anexo 3: Matriz de Operacionalización	117
Anexo 4: Recolección de datos	118

Lista de tablas

		Página
Tabla 1	Matriz de Operacionalización de la variable Productividad.	60
Tabla 2	Matriz de Operacionalización de la variable Rentabilidad.	61
Tabla 3	Estadísticos descriptivos de la variable independiente.	71
Tabla 4	Estadísticos descriptivos de la dimensión 1 de la variable independiente.	71
Tabla 5	Estadísticos descriptivos de la dimensión 2 de la variable independiente.	72
Tabla 6	Estadísticos descriptivos de la dimensión 3 de la variable independiente.	72
Tabla 7	Estadísticos descriptivos de la variable dependiente.	73
Tabla 8	Análisis de normalidad de la variable independiente.	73
Tabla 9	Análisis de normalidad de la dimensión 1 de la variable independiente.	75
Tabla 10	Análisis de normalidad de la dimensión 2 de la variable independiente.	76
Tabla 11	Análisis de normalidad de la dimensión 3 de la variable independiente.	78
Tabla 12	Análisis de normalidad de la variable dependiente.	79
Tabla 13	Correlación de Pearson entre los valores de Productividad y Rentabilidad económica.	81
Tabla 14	Resumen del modelo entre los valores de Productividad y Rentabilidad económica.	83
Tabla 15	Correlación de Pearson entre los valores de Selectividad y Rentabilidad económica.	86
Tabla 16	Resumen del modelo entre los valores de Selectividad y Rentabilidad económica.	88

Tabla 17	Correlación de Pearson entre los valores de Conversión y Rentabilidad económica.	91
Tabla 18	Resumen del modelo entre los valores de Selectividad y Rentabilidad económica.	93
Tabla 19	Correlación de Pearson entre los valores de Ganancia Volumétrica y Rentabilidad económica.	96
Tabla 20	Resumen del modelo entre los valores de Ganancia Volumétrica y Rentabilidad económica.	98

Lista de figuras

	Página
Figura 1 Interacción de la carga con la fase activa	25
Figura 2 Difusión a través de los canales con zeolita	25
Figura 3 Reacciones de las moléculas de hidrocarburo	25
Figura 4 Producto del craqueo catalítico	26
Figura 5 Difusión de los productos	26
Figura 6 Niveles de Investigación.	62
Figura 7 Histograma de la Productividad.	74
Figura 8 Histograma de la Selectividad.	76
Figura 9 Histograma de la Conversión.	77
Figura 10 Histograma de la Ganancia Volumétrica.	79
Figura 11 Histograma de la Rentabilidad económica.	80
Figura 12 Diagrama de dispersión entre los valores de Productividad y Rentabilidad económica.	82
Figura 13 Diagrama de dispersión entre los valores de Selectividad y Rentabilidad económica.	87
Figura 14 Diagrama de dispersión entre los valores de Conversión y Rentabilidad económica.	92
Figura 15 Diagrama de dispersión entre los valores de Ganancia Volumétrica y Rentabilidad económica.	97

Resumen

La presente investigación “Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (UCCF)”, tuvo como objetivo general determinar la relación que existe entre la Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado.

El tipo de investigación fue básica, de nivel correlacional, de enfoque cuantitativo, diseño fue no experimental - transaccional o transversal-descriptivo correlacional. La población estuvo formada por los datos operacionales de la Refinería de Talara referidos a las variables bajo estudio: Productividad y Rentabilidad, el muestreo fue de tipo no probabilístico intencional, la muestra por datos operacionales de los 12 últimos meses de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado correspondiente al año 2016, referidos a las variables bajo estudio: Productividad y Rentabilidad. Se diseñaron fichas para la recopilación de los datos. Para obtener los resultados se empleó el análisis de regresión por pasos, dependiente de los valores de “p” con un nivel de significancia de 0.05. El modelo de regresión entre la selectividad y la rentabilidad fue obtenido con un valor de R² de 0.850, mientras que los modelos para conversión y expansión o ganancia volumétrica con la rentabilidad fueron obtenidos con valores de R² de 0.862 y 0.857 respectivamente.

De los resultados, se observa que la Productividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,937 = 93.7\%$.

Palabras claves: UCCF, selectividad, conversión, ganancia volumétrica,

Abstract

The present research "Productivity and Profitability of Fluidized Catalytic Cracking Unit (UCCF)", had as general objective to determine the relationship between Productivity and Profitability of the Fluidized Catalytic Cracking Unit.

The type of research was basic, correlational level, quantitative approach, design was non-experimental - transactional or cross-descriptive correlational. The population was formed by the operational data of the Talara Refinery referred to the variables under study: Productivity and Profitability, the sampling was of intentional non-probabilistic type, the sample by operational data of the last 12 months of the Fluidized Catalytic Cracking Unit Corresponding to the year 2016, referring to the variables under study: Productivity and Profitability. Tokens were designed for data collection. To obtain the results we used the stepwise regression analysis, dependent on the values of "p" with a level of significance of 0.05. The regression model between selectivity and profitability was obtained with an R2 value of 0.850, while the models for conversion and expansion or volumetric gain with profitability were obtained with R2 values of 0.862 and 0.857 respectively.

From the results, it is observed that Productivity is related to the economic profitability of the Fluidized Catalytic Cracking Unit, with a calculated value for $p = 0.000$ at a significance level of 0.05 and a Pearson r correlation level of $0.937 = 93.7\%$.

Key words: UCCF, selectivity, conversion, volumetric gain

I. Introducción

1.1. Antecedentes

La presente investigación se basó en estudios y contribuciones previas de otros autores, realizados en el contexto internacional y nacional, como se describe a continuación y que se empleó para la discusión de los resultados obtenidos.

Antecedentes internacionales.

Orlicki (2013), en su investigación sobre *“Diferenciación de productos para maximizar los beneficios económicos en las operaciones de la unidad de FCC”*, menciona que el proceso de Craqueo Catalítico Fluidizado (UCCF) ha sido uno de los procesos más importantes de las operaciones de la refinería del petróleo, pues convierte la mayor proporción de la carga, formada por hidrocarburos de alto peso molecular, en productos más valiosos y de bajo más peso molecular, tales como la gasolina, diesel y gas licuado de petróleo (GLP). Adicional, a la expansión volumétrica, estos productos le proporcionan a la refinería un mayor valor agregado en el mercado. Aunque la composición química de la carga afecta los rendimientos y calidad de los productos, el catalizador de FCC y las condiciones de operación contribuyen a alcanzar el potencial de la carga para producir aquellos productos más valiosos, influenciando los beneficios económicos de toda la refinería. Para entender y estudiar las intrínsecas relaciones entre la carga, el catalizador y las condiciones de operación, se seleccionaron más de 100 diferentes tipos de cargas de craqueo catalítico fluidizado de diversas ubicaciones geográficas del mundo donde se incluyeron todas las posibles cargas en todo el rango en composición y propiedades. Las cargas fueron seleccionadas cuidadosamente para asegurarse que se incluían todos los tipos utilizados por la industria actual, incluyendo el shale oil procedente de Norte América. Las cargas fueron completamente caracterizadas en sus propiedades fisicoquímicas utilizando los métodos estándar de la industria, para posteriormente ser evaluadas en la unidad avanzada de evaluación de craqueo (ACE) con tres familias diferentes de catalizadores comerciales, utilizando un amplio rango de severidades (relación catalizador/aceite de 0-100, y temperaturas de reacción entre 940-1010°F. Los catalizadores frescos fueron desactivándose en el

laboratorio utilizando el método Tratamiento Cíclico de Propileno con Vapor (CPS). Los resultados experimentales obtenidos se utilizaron para desarrollar un modelo que permita predecir los principales productos de craqueo catalítico fluidizado en la unidad ACE, teniendo en cuenta las propiedades de la carga y las condiciones de operación. Asimismo, se simularon diferentes escenarios, aplicándose óptimas condiciones de operación para maximizar los beneficios económicos de la unidad de craqueo catalítico fluidizado. Se llegaron a las siguientes conclusiones: (a) La gasolina siendo uno de los productos más deseados del proceso de craqueo catalítico fluidizado, su rendimiento fue analizado en función de la conversión a dos valores de temperaturas 940 y 1010°F, (b) La curva obtenida tiene un máximo, el cual es llamado el rendimiento máximo potencial de gasolina (MPGY), por sus siglas en inglés, la correspondiente conversión en ese punto máximo, es llamada la conversión máxima potencial (MPC), (c) A valores de conversión más altos que el MPC, el rendimiento de gasolina disminuye debido a las reacciones de cracking de segundo orden (sobre craqueo), (d) La unidad ACE conocida como una de las mejores plantas pilotos en los laboratorios de la industria del petróleo para la evaluación de cargas y catalizadores, tiene limitaciones con el rango de las condiciones de ensayo, (e) El amplio rango de conversión para encontrar los puntos de rendimientos óptimos no fueron cubiertos por los datos experimentales de la unidad ACE, (f) Los modelos estadísticos y correlaciones utilizados en este trabajo permiten no solamente descifrar las relaciones fundamentales y las influencias típicas de la carga y/o propiedades del catalizador sobre la selectividad de las reacciones de cracking, sino también minimizar los errores y sesgos experimentales.

Navarro (2013), en su trabajo de investigación sobre *“Entendimiento del potencial de una carga de FCC para generar productos valiosos y como este conocimiento puede beneficiar la operación de la refinería”* caracteriza más de 100 muestras de carga mediante las siguientes propiedades físico-químicas: densidad, índice de refracción, carbón conradson, nitrógeno básico y total, azufre y contenido de metales. El contenido de hidrogeno en la carga fue calculado mediante resonancia magnética nuclear. Los tipos de carga provenientes de diferentes locaciones geográficas del mundo fueron: residuo atmosférico y de vacío, gasóleo liviano y

pesado de coker, residuo de hidrocrackeo, y aceite desalfaltado; estas cargas fueron evaluadas en la planta piloto ACE usando dos tipos diferentes de catalizadores comerciales. El análisis estadístico detallado de las propiedades de las carga produjo correlaciones que pueden permitir a los ingenieros de una refinería conocer otras propiedades de las carga cuando se tiene una limitación en la información de caracterización de carga. Lo más resaltante de esta investigación es la obtención de una serie de correlaciones entre las propiedades de la carga y los productos obtenidos en la unidad ACE. Los principales productos obtenidos en la planta piloto fueron: gas seco, propano, propilenos, butano, butilenos, gasolina y su calidad expresada en el número de octano (RON) por sus siglas en inglés, aceite cíclico ligero (LCO), fondos y delta de coque. Estas correlaciones sirven como herramientas para los ingenieros de la refinería el entendimiento del efecto de cada componente de carga en el balance de calor, rendimientos de productos, y la calidad de la gasolina; permitiendo a los operadores de la unidad de craqueo catalítico fluidizado realizar cambios, ajustes en las condiciones operacionales tales como la adición del catalizador, temperatura de reacción, temperatura de precalentamiento de la carga, con la finalidad de maximizar la producción de gasolina, gas licuado de petróleo y/o aceite cíclico ligero. Se llegaron a las siguientes conclusiones: (a) El comportamiento de las cargas y sus componentes en las unidades de FCC está orientada por su composición química, por el tipo y distribución de las familias de hidrocarburos presentes, (b) Las propiedades más importantes para caracterizar una carga a FCC son: densidad a 15°C, destilación (D-1160, SimDis), Índice de refracción, contenido de nitrógeno y de azufre y el carbón Conradson, (c) Es posible utilizar y aplicar el conocimiento desarrollado en este estudio para tomar mejores decisiones y optimizar la unidad de FCC.

Stratiev (2011), en su investigación sobre *“Evaluación de las variables de proceso de una unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado y su impacto en la distribución de rendimientos”* establece el impacto de diferentes variables de proceso, carga y propiedades del catalizador y modificaciones de diseño en la conversión y rendimientos de productos. Esta investigación fue realizada durante 31 meses, cuyo propósito fue mejorar la confiabilidad del método estadístico a partir de procesamiento

de datos obtenidos en planta y compararlos con la operación de la planta a diferentes condiciones de operación, y diferentes sistemas de distribución de carga. Las correlaciones establecidas por procesamiento de datos estadísticos de la unidad de craqueo catalítico fluidizado fueron las siguientes: (a) contenido de precursores de gasolina en la carga, coeficiente de correlación=0.998, error estándar=0.3, (b) producción de coque, correlación de coeficiente múltiple=0.985, Fisher criterio=798, error estándar=0.08, (c) delta de coque, correlación de coeficiente múltiple=0.93, Fisher criterio=51, error estándar=0.02, (d) conversión, correlación de coeficiente múltiple=0.989, Fisher criterio=440, error estándar=0.87, (e) producción de gasolina, correlación de coeficiente múltiple=0.963, Fisher criterio=171, error estándar=0.84, (f) producción de butano, butilenos, correlación de coeficiente múltiple=0.944, Fisher criterio=86, error estándar=0.45, (g) propano, propilenos, correlación de coeficiente múltiple=0.899, Fisher criterio=86, error estándar=0.40, (h) aceite cíclico ligero y pesado, correlación de coeficiente múltiple=0.926, Fisher criterio=123, error estándar=1.07. Las confiabilidades de las correlaciones fueron verificadas en las condiciones actuales de la planta, concluyéndose que existe una buena consistencia entre los valores calculados y observados en planta, en la conversión y rendimientos de productos.

Karpov (2013), en su investigación sobre *“Optimización de una unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado con Modelos Estadísticos Multivariados”* establece que los métodos de simulación y el modelamiento de procesos usados para simular el comportamiento de una unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado tienden a consumir mucho tiempo y sus costos son elevados para su elaboración y desarrollo; y debido a su complejidad son difíciles de comprender por parte de los ingenieros de la refinería.

Los modelos estadísticos multivariados basados en datos operacionales y el uso de un software estándar proporcionan una alternativa adecuada como soporte para la optimización de procesos. Estos modelos pueden ser entendibles y de bajo costo en su desarrollo. Tales modelos pueden ser usados para solucionar problemas operacionales en una unidad de craqueo catalítico fluidizado, optimización y

entrenamiento de personal. Estos modelos también sirven para el monitoreo de los procesos en tiempo real, para la evaluación de los cambios en las variables de operación involucradas en el proceso y en las propiedades de la carga. El modelo estadístico multivariable desarrollado en la refinería Lukoil de Rusia; predice en tiempo real, de manera precisa los rendimientos de gasolina y gas licuado de petróleo (GLP), el octanaje de la gasolina y la temperatura de la fase densa. Con esta información la refinería pudo satisfacer la demanda del mercado con gasolina Premium de manera exitosa mediante la optimización del catalizador, la carga y las condiciones operacionales de la unidad de craqueo catalítico fluidizado.

Los grandes beneficios del uso de modelos estadísticos multivariable son: (a) Fácil construcción en un tipo de software estándar como Excel, SPSS. (b) No requiere un conocimiento detallado de los equipos, maquinarias, recipientes de una unidad de craqueo catalítico. (c) Fácil de mantener y actualizar. (d) Permite en detalle el entendimiento del impacto de las variables de operación en la unidad de craqueo catalítico. (e) Apropiado para el monitoreo del proceso en tiempo real y detectar alguna desviación de algunas variables comparados con un caso base. (f) Fácil uso en el modo de predicción (predecir rendimientos, flujos, temperaturas, etc), pueden examinar el impacto de las diferentes calidades de carga que se usa como materia prima en la unidad, cambios en la temperatura de reacción, temperaturas del regenerador, etc.

Los principales pasos para el desarrollo de un modelo estadístico multivariable son: (a) La data operacional es ingresada a un software convencional tal como Excel u otro similar. (b) La data operacional obtenida debe ser escrita en un diagrama de procesos de la unidad, con la finalidad de identificar si algún valor o valores se están omitiendo; el diagrama de procesos también permite identificar la instrumentación usada y sus valores reportados en refinería. Una vez identificado todos los valores operacionales, el mejor camino de comprobación de su veracidad, se debe realizar un balance de masa y energía. (c) La data operacional es transferida a un software de análisis estadístico, obteniendo regresiones entre variables independientes y

dependientes; para ello el ingeniero o ingenieros de craqueo catalítico, gracias a su conocimiento básico del proceso permitirán validar las relaciones entre estas variables. (d) Se establecerán múltiples regresiones que permitirán construir modelos que relacionan las variables independientes y dependientes. (e) Los modelos serán validados usando pruebas estadísticas, comparándolos con la data operacional en tiempo real, y con el conocimiento básico del proceso de la unidad de craqueo catalítico fluidizado. Estos modelos pueden ser mejorados mediante simulaciones, obteniendo mejores beneficios económicos a la unidad.

Las modelos establecidos en la Refinería Lukoil, mediante el análisis estadístico multivariable de la unidad de craqueo catalítico fluidizado fueron los siguientes: (a) $GLP = a - b^*(\text{área superficial de zeolita}) + c^*(\text{temperatura de reacción}) - d^*(\text{temperatura de precalentamiento de la carga}) + e^*(\text{flujo de reciclo}) + f^*(\text{contenido de } P_2O_5 \text{ en el catalizador de equilibrio}) - g^*(\text{flujo de carga})$. (b) $\text{Gasolina} = - b^*(\text{contenido de } P_2O_5 \text{ en el catalizador de equilibrio}) - c^*(\text{ratio catalizador/aceite}) + d^*(\text{temperatura de la carga al } 5\%) - e^*(\text{flujo de vapor total al riser}) + f^*(\text{área superficial total})$. (c) $\text{Octanaje de la gasolina} = a + b^*(\text{contenido de } P_2O_5 \text{ en el catalizador de equilibrio}) - c^*(\text{flujo de carga}) - d^*(\text{área superficial total}) + e^*(\text{contenido de carbón en el catalizador de equilibrio}) + f^*(\text{temperatura de reacción}) - g^*(\text{Temperatura de carga al } 95\%) + h^*(\text{temperatura de la gasolina al } 90\%)$. (d) $\text{Temperatura de la fase densa del regenerador} = a - b^*(\text{contenido de carbón conradson}) + c^*(\text{área superficial de zeolita}) - d^*(\text{flujo de reciclo}) + e^*(\text{flujo de carga}) + f^*(\text{flujo de aceite de antorcha}) + g^*(\text{temperatura de precalentamiento de la carga}) - h(\text{flujo de oxígeno como gas de combustión}) + i^*(\text{temperatura de reacción}) - j^*(\text{flujo de vapor al riser})$.

Mohamed (2016), en su investigación sobre *“Desarrollo de Modelos de Regresión para la Caracterización de Catalizador Gastado de una unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado”* desarrolla modelos de regresión para la caracterización de catalizador desactivado como resultado de la deposición de metales contaminantes y coque en una unidad de craqueo catalítico fluidizado. El análisis de regresión y ANOVA fue desarrollado mediante el software Microsoft Excel. Las variables dependientes

fueron actividad, área superficial, tamaño promedio de partícula, densidad aparente, mientras que las variables independientes fueron más de 12 propiedades físicas y químicas del catalizador gastado. La metodología usada para el desarrollo de los modelos fue mediante el contraste a priori que es dependiente del valor del parámetro “p” con un valor significativo a 0.1. Los modelos de regresión para la actividad y área superficial fueron obtenidos con valores de R² de 0.73 y 0.53 respectivamente, mientras que los modelos para el tamaño promedio de partícula y densidad aparente fueron obtenidos con valores de R² de 0.75 y 0.62 respectivamente.

Antecedentes nacionales.

Briones (2010), en su investigación sobre *“Análisis y Optimización de una Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado aplicado a la Refinería La Pampilla”* para optar el grado de Ingeniero de Petróleo por la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, planteo como objetivo establecer correlaciones que ligen las condiciones de operación y los rendimientos de sus productos y calidades, llegando así a establecer las condiciones que optimicen la operación de la unidad. Empleo el tipo de investigación aplicada, de nivel descriptivo-correlacional de enfoque cuantitativo; de diseño transversal. La población estuvo formado por los datos operacionales de la unidad de craqueo catalítico fluidizado de la refinería La Pampilla, la muestra fue de 30 días correspondientes a datos operacionales y el muestreo fue no probabilístico. La técnica empleada para recolectar información fue análisis documental y los instrumentos de recolección de datos fueron guías de análisis de documentos. Llego a las siguientes conclusiones: (a) Según la ecuación de la conversión, el aumento de temperatura o el aumento de la relación de carga combinada provoca el aumento de la conversión. Un aumento de 5°F en el reactor causa aproximadamente una elevación de 1% en la conversión. (b) La producción de gases aumenta con la temperatura del reactor. Para el rendimiento de gas licuado de petróleo, un aumento de 5° F en el reactor provoca un incremento de 1 %en el rendimiento, (c) Como en la ecuación del rendimiento de la gasolina es función de la temperatura del reactor y de la conversión (crece con la conversión y decrece con la temperatura del reactor) y como la conversión varía con

la temperatura del reactor y con la relación de carga combinada, el análisis inmediato de la influencia de estas variables se hace muy complejo, (d) Considerando aisladamente la unidad de craqueo catalítico, se encuentra que la conversión óptima en las circunstancias del estudio es de 67 - 68 %vol. y una temperatura del reactor de 880 - 910°F, (e) Se puede apreciar el efecto económico que se tiene de aumentar en 1% la conversión, obteniendo un incremento en la ganancia de la Refinería de aproximadamente 9.4 miles de soles diarios, equivalente a 3 millones de soles por año, (f) Al aumentar la conversión se tiene aumento de producción de gasolina, aumento de octanaje, aumento de producción de gases, disminuyendo la obtención de aceites cíclicos, (g) Considerando la gran importancia que tiene la unidad de craqueo catalítico fluido, por su influencia en la economía de una Refinería, es preciso seguir investigando el efecto de otras variables operacionales citare el caso de la velocidad espacial que es importantísima en esta unidad, asimismo la influencia que tiene la calidad de la carga en los rendimientos y condiciones de operación de la unidad.

1.2. Fundamentación Científica, Técnica y Humanista

1.2.1. Fundamentación Científica

En Octubre de 1938 la Standard Oil de New Jersey, la Standard Oil de Indiana, la M.W. Kellog y la I.G. Farben organizaron la Asociación de Desarrollo Catalítico (CRA) para desarrollar un proceso de craqueo que no debería infringir las patentes de Houdry, en el proceso de craqueo catalítico de lecho fijo. En 1940, I.G. Farben salió del grupo y se unieron al mismo el Anglo-Iranian Oil Co., y la Universidad Oil Products Co., (UOP).

La Standard Oil Development Co., (Jersey) había estado trabajando en un vasto programa del fenómeno del “catalizador en forma de polvo” incluyendo la circulación del catalizador desde 1936, en sus propios laboratorios y con el Instituto de tecnología de Massachusetts y la M.W. Kellog. Warren K. Lewis, un ingeniero químico del M.I.T. hizo algunos descubrimientos en 1940, que ayudaron a resolver algunos de los problemas de fluidización del catalizador. Una patente fue introducida por Lewis y

Edwin Gilliland (también del M.I.T.) asignado a Jersey para la unidad de craqueo catalítico de lecho fluidizado. Los siguientes trabajos, llevados a cabo por Jersey, en su planta piloto de 100BPD de Baton Rouge, LA le llevaron mejoras significativas al diseño de Lewis y Gilliland.

La planta piloto de 100 BPD fue completamente convertida a un nuevo sistema, usando 'standpipes', válvulas de estrella y arreglos posteriores de reactor/regenerador (flujo ascendente de catalizador y carga). Posteriormente la planta piloto fue parada y convertida a un nuevo diseño hecho por Kellog. Más tarde las válvulas estrellas fueron reemplazadas por válvulas correderas ('slide valves').

Posteriormente se construyó la primera unidad comercial de craqueo fluido PCLA N° 1 (Powdered Catalyst, Luisiana N° 1), iniciando sus operaciones el 16 de setiembre de 1940, en el cual el catalizador fluía hacia arriba a través del reactor y regenerador, y salía del tope de los ciclones para la separación del catalizador y los productos craqueados.

El Craqueo Catalítico Fluidizado (de sus siglas en inglés, FCC), es un proceso para convertir hidrocarburos que ebulen en el rango 350 - 550 °C, típicamente gasóleos de vacío, en productos de alto valor agregado, como gasolinas y gas licuado del petróleo (GLP), utilizando un catalizador sólido en lecho fluidizado. Está orientado a la conversión de fracciones pesadas en productos más livianos y más valiosos utilizando un catalizador. Las unidades de craqueo catalítico son las que contribuyen en mayor proporción al conjunto de gasolina producida en la refinería (pool). De ahí que, un gran esfuerzo tecnológico está orientado tanto hacia el desarrollo de tecnologías de proceso como de catalizadores. El objetivo ha sido y es el de maximizar la cantidad y calidad de la gasolina catalítica, como la del gas licuado del petróleo obtenida en craqueo catalítico y usarlo como materia prima para alquilación, y petroquímica.

Los mecanismos de reacción de la Unidad de Craqueo Catalítico se muestran de manera gráfica considerando las siguientes etapas de interacción de la carga con el catalizador hasta la obtención de los productos:

- Interacción de la carga con la fase activa.

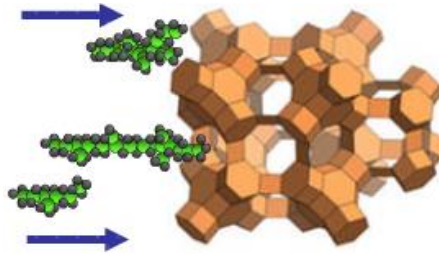


Figura 1. Interacción de la carga con la fase activa

Fuente. Guide to Fluid Catalytic Cracking (Grace Davison, 1996)

- Difusión a través de los canales de la zeolita

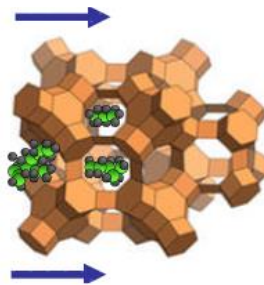


Figura 2. Difusión a través de los poros de la zeolita

Fuente. Guide to Fluid Catalytic Cracking (Grace Davison, 1996)

- Reacciones de las moléculas de hidrocarburo

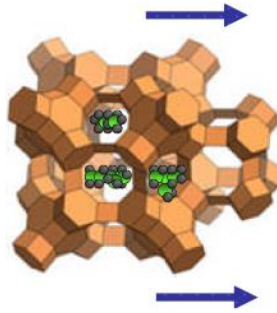


Figura 3. Reacciones de las moléculas de hidrocarburos
Fuente. Guide to Fluid Catalytic Cracking (Grace Davison, 1996)

- Producto del Craqueo Catalítico

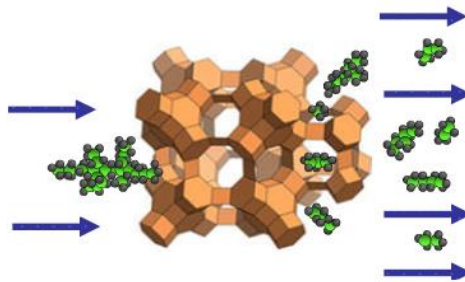


Figura 4. Productos del craqueo catalítico
Fuente. Guide to Fluid Catalytic Cracking (Grace Davison, 1996)

- Difusión de los productos

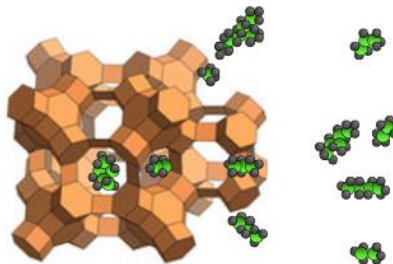


Figura 5. Difusión de los productos
Fuente. Guide to Fluid Catalytic Cracking (Grace Davison, 1996)

Antes que la PCLA N° 1 arrancara exitosamente en Mayo de 1942, ya había planes de construir una planta de catalizadores sintéticos de craqueo catalítico. La Standard Oil Development Co., la rama de investigación de la Standard Oil New Jersey (hoy Exxon) y la Compañía Davison Chemical (posteriormente una división de W.R. Grace & Co.) llegaron a un acuerdo para construir una planta en las facilidades de Davison en Curtis Bay, Maryland, usando la tecnología del catalizador de Davison. Esta planta entro en operación en Mayo de 1942 e inmediatamente comenzó a proveer a la PCLA N° 1, con el primer catalizador sintético de craqueo catalítico en lecho fluidizado. El catalizador suministrado contenía como base 13% de alúmina (baja alúmina).

Otro desarrollo importante en el catalizador de FCC fue la invención de la zeolita ultra estable Y (USY) por Grace Davison en 1964. Posteriormente se conoció que las zeolitas ultra estables USY sin tierras raras, mejoran el octanaje de la gasolina craqueada lo que permitió el primer éxito del catalizador mejorador de octanaje en 1975. Más aun, las USY y las zeolitas ultra estables tratadas con tierras raras (REUSY), se saben que mejoran la selectividad a coque. Por esta razón es que la mayoría de los catalizadores usados hoy día contienen zeolita USY o REUSY.

Las propiedades de retención de los catalizadores fueron sustancialmente mejoradas por la tecnología de aglomerantes silica-sol y alúmina-sol de Grace Davison, introducida en 1973 y 1981 respectivamente. En 1986, un catalizador conteniendo una matriz con un craqueo selectivo de los fondos, fue comercializado por Grace Davison, seguido por un catalizador con una matriz resistente al níquel en 1990. En ese año Grace incorporo una nueva zeolita USY ultra estable en un catalizador de craqueo fluidizado. Este fue probado exitosamente en forma comercial y rápidamente gano gran aceptación en las refinerías.

El catalizador de ruptura catalítica fluidizada es un polvo fino y poroso compuesto de óxidos de silicio y aluminio, y la función catalítica predominante es la acidez; tanto los sitios ácidos del tipo Bronsted como Lewis, están asociados con el

aluminio. Los componentes contenidos en la mayoría de catalizadores son: zeolita, arcilla, matriz activa y aglutinante o ligante.

Mecanismos de Reacción del Craqueo.

A pesar de que las primeras experiencias de transformación de los hidrocarburos, en presencia de catalizador, parecen remontarse a finales de siglo pasado, fue preciso esperar hasta 1923 para que el Ingeniero Eugene Houdry, emprendiera los estudios que conducirían al proceso de Cracking Catalítico, cuya primera unidad industrial fue construida en 1936, en USA, por la “Houdry Process Corporation”.

El catalizador modifica, profundamente, el mecanismo de ruptura de los enlaces entre átomos de carbono y aumenta la velocidad de transformación. Permite, asimismo, reducir la severidad de las reacciones y, en consecuencia, eliminar la mayor parte de las reacciones secundarias, productoras de gas, coque y residuos pesados, con detrimento de la gasolina.

El catalizador puede ser una arcilla natural o más frecuentemente, un producto sintético, como un sílico aluminato, cuyas propiedades físicas y químicas pueden ser mejoradas y controladas. A pesar de comportarse como un catalizador en las reacciones que provoca, no permanece inalterado, pues se recubre de coque, que le hace perder su actividad. El coque se elimina por combustión con lo que el catalizador recupera su actividad.

La evaluación del proceso desde 1936 se ha caracterizado por las dos tendencias siguientes:

1. Mejoramiento de las propiedades del catalizador para obtener rendimientos y calidades crecientes y, también una vida más larga.
2. Mejoramiento de las técnicas de realización del proceso, que ha conducido al llamado de lecho móvil T.C.C., de la “Socony Vacuum Oil Company” y a los

procesos de lechos fluidificados de Kellogg, de la UOP, y de “Esso Engineering”.

Las gasolinas de cracking catalítico, y en particular, sus fracciones ligeras contienen muchas estructuras isomerizadas, tanto olefínicas como parafínicas, mientras que sus fracciones pesadas son marcadamente, aromáticas. Los butanos, producidos en gran cantidad están asimismo, isomerizados en fuertes proporciones y la concentración en olefinas del corte C3 - C4 es también importante. Se encuentran muy pocas diolefinas y estructuras policíclicas complicadas y los productos líquidos pesados están también en escasas cantidades. Estos son los rasgos principales que diferencian el cracking catalítico del térmico. Las diferencias estructurales pueden explicarse con la teoría del ion carbonio, que examinaremos a continuación.

En el cracking térmico, el par de electrones que une los núcleos de los dos átomos de carbono, se tal suerte, que queda un electrón en cada núcleo, con la consecuente formación de radicales libres:



En el cracking catalítico, el par de electrones permanece sobre el núcleo de uno de los átomos de carbono, con lo que el otro se carga de electricidad positiva. Se forma, pues, un ion positivo, llamado “*ion carbonio*”:



Este tipo de ruptura exige una energía considerable y sólo puede producirse en presencia de donadores de protones H⁺, tales como los centros activos del catalizador.

Formación del Ion Carbonio.

La teoría del ion carbonio, formulada para explicar la acción catalítica de algunos ácidos en las reacciones de alquilación y de polimerización a baja temperatura, de las olefinas y de las isoparafinas, puede aplicarse a la ruptura de las moléculas de hidrocarburos, a elevada temperatura y en presencia de un catalizador. El ion carbonio es un producto intermedio, fugaz, originado por la adición de un protón H^+ procedente del catalizador.



Esta adición se acompaña de un desprendimiento de calor que es mayor para la adición sobre un carbono terciario que secundario y secundario que primario, lo que explica la tendencia a la isomerización y facilidad de cracking de las isoparafinas. El ion carbonio puede, a su vez, adicionarse a una olefina para dar un ion carbonio más largo.

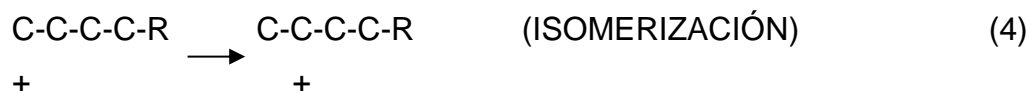


Esta alquilación o polimerización se acompaña también de un desprendimiento de calor. En el cracking se produce exactamente la reacción inversa:



Mecanismo de Acción del Ion Carbonio.

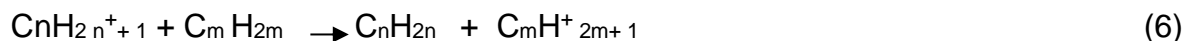
Tomaremos como ejemplo el cracking de una olefina larga en cadena recta, con el doble enlace en posición 1. En primer lugar se forma el ion carbonio por la reacción (1), después el ion alquilado en posición normal, se isomeriza instantáneamente pasando a posición secundaria.



A continuación se rompe la cadena, en posición beta, con formación de un ion carbonio más corto:



Hay que notar que la ruptura en posición beta, no permite la formación de olefinas más cortas que el propileno. Los iones carbonio, formados así, se isomerizan instantáneamente y sufren cracking, también, formando cada vez propileno y un ion carbonio más corto. El fenómeno prosigue hasta que el ion carbonio no puede separarse en dos fragmentos de, al menos, tres átomos de carbono. Entonces puede alquilarse sobre una olefina formando otra olefina y un ion carbonio.



O bien sobre una parafina, formando otra parafina y un ion carbonio:



O bien puede perder un protón, cediéndolo al catalizador, según una reacción inversa a la reacción (1). Estas últimas reacciones son características de lo que se llama la “transferencia de hidrógeno”.

Las principales propiedades del ion carbonio son las que se deducen de las reacciones expuestas más arriba, a saber:

- Formación a partir de un protón procedente del catalizador.

- Isomerización del carbono primario sobre el carbono secundario e, incluso terciario, si la actividad catalítica es muy fuerte:



- Escisión en una olefina y un ion más corto.
- Alquilación sobre una parafina o una olefina.

El mecanismo con el que el ion carbonio interviene en el cracking de los aromáticos, está aún, poco claro. Para los hidrocarburos saturados, cíclicos o en cadena abierta, parece que hay, primero, formación de olefinas por un ligero cracking térmico y, después, de iones carbonio, en presencia de catalizador. Una vez formados provocan las reacciones de cracking propiamente dichas.

Craqueo de las principales clases de Hidrocarburos.

Como en el cracking térmico, las reacciones son tanto más fáciles cuanto más elevado es el peso molecular. El conjunto de las reacciones puede dividirse en dos grupos: por una parte, las reacciones primarias de escisión de la molécula y, por otra, las reacciones secundarias en las que intervienen los productos de la reacción primaria. Su mecanismo es fácilmente explicable, en general, por las propiedades del ion carbonio. La explicación es más delicada, sin embargo, para la aromatización de los naftenos y la condensación de los aromáticos.

Hidrocarburos Saturados: parafinas y naftenos.

La rotura de la cadena cerrada de los alquilnaftenos es más fácil que la de las parafinas, en cadena recta. Las parafinas isomerizadas se comparten como los

alquilnaftenos, con el mismo número de carbonos terciarios. Se forman, o bien, dos olefinas, o una olefina y un nafteno, o una parafina y una ciclo olefina. La deshidrogenación de naftenos en aromáticos sucede también, pero escasamente.

Las parafinas producen más gases que los naftenos. Estos gases son ricos en C₃ y C₄, asimismo, contienen una elevada cantidad de isobutano formada por hidrogenación parcial de isobutenos con preferencia a los butanos normales.

Olefinas.

Las olefinas se disocian más fácilmente que las parafinas con el mismo número de átomos de carbono y se isomerizan con más facilidad que las parafinas, sufriendo después las reacciones secundarias de polimerización, saturación, aromatización. La concentración en olefinas es muy importante en las fracciones ligeras (50% en la fracción C₃/C₅ y prácticamente nula en las fracciones pesadas.

Aromáticos.

El núcleo aromático, muy estable, no se abre a pesar de la influencia del catalizador. Sin embargo, la separación de las cadenas alquiladas tiene lugar a ras del núcleo, con formación de olefinas. Los núcleos aromáticos sufren, a continuación, reacciones de condensación, entre ellos o con olefinas, para formar productos pesados fuertemente deshidrogenados y coque.

Los alquilaromáticos de un solo núcleo no dan productos más pesados que la gasolina, las cadenas laterales, abiertas o cerradas, se transforman en gas y gasolina ligera y el núcleo bencénico forma la parte pesada de la gasolina. Los de dos o tres núcleos, después de despojarse progresivamente de las cadenas laterales, vuelven a aparecer en el Aceite Cíclico Ligero o en el Aceite Cíclico Pesado. Si se recircula este último, previa deshidrogenación de ciertas cadenas y condensación en aromáticos

pesados, los núcleos forman residuos muy densos, o coque, que se depositan sobre el catalizador.

La reactividad de los diferentes tipos de hidrocarburos de la carga es:

Craqueabilidad (Conversión)

PARAFINAS > NAFTENOS > AROMATICOS

Tendencia a formar Coque

PARAFINAS < NAFTENOS < AROMATICOS

Estado actual de Operación de la Unidad FCC

1. Equipos del Proceso

Sistema de alimentación de Carga Fresca.

La carga fresca se alimenta desde el tanque pulmón F-V12 que tienen atmósfera de gas controlado en 36 psig por las válvulas de control F-PC-130 y F-PC-132, el tanque F-V12 recibe la producción de gasóleo pesado de la Unidad de Destilación al Vacío UDV y también puede recibir transferencia de gasóleo del tanque 40 a través de las bombas F-P13 A/B. Las bombas F-P10 A/B envían el flujo de gasóleo del tanque F-V12 a través de la válvula de control de carga fresca a la Unidad F-FRC-105, luego la carga pasa por un tren de pre-calentamiento, primero en el intercambiador de doble tubo F-E4 con producción de aceite clarificado, luego a los F-E5 A/B con producción de HCO y por último en el F-E3 con fondos de la fraccionadora F-V9, en este intercambiador existe una válvula de triple paso F-TRC-84 que controla la temperatura de ingreso de la carga al riser del reactor F-V4.

Antes de entrar al riser el gasóleo se une con una corriente de crudo reducido HCT controlado por la válvula de control F-FRC-157 y también con otra corriente de slop controlado por la válvula de control F-FRC-600, las tres corrientes juntas forman

la carga total a la Unidad de FCC, pasan por la válvula F-HC-55A y luego por unos filtros antes de ingresar al riser a través de 4 boquillas de dispersión instaladas sobre la bajante de la válvula deslizante de catalizador regenerado F-K1.

Tubo Elevador al Reactor (Riser).

El tubo elevador al reactor es un tubo vertical en el cual ocurren las reacciones de craqueo de la carga al ponerse en contacto la carga con el catalizador.

La carga entra al tubo elevador a través de 4 boquillas de inyección instaladas sobre la bajante de la válvula deslizante F-K1 de catalizador regenerado en un ángulo de 30°, a las boquillas se les inyecta vapor y su función es atomizar la carga para que logre un mejor contacto con el catalizador (Vapor controlado con FIC-60)

Por la base del riser se inyecta permanentemente vapor de 125 a través de un distribuidor, cuya función es levantar el catalizador que baja del regenerador a través de la válvula deslizante F-K1 (Vapor controlado con FIC-53)

La carga entra al riser aproximadamente a 400 °F y la temperatura de reacción es controlada por el instrumento F-TRC-57 que regula la apertura de la válvula deslizante F-K1 y permita el pase de la cantidad de catalizador necesario para lograr la temperatura de reacción de acuerdo a la severidad de la operación, 930 – 975 °F, el calor necesario para llevar a cabo la reacción lo suministra el catalizador.

Casi la totalidad de las reacciones de craqueo se realiza en el riser (riser-cracking), completándose en el reactor durante la separación de los vapores de aceite y el catalizador.

Reactor.

La terminación del riser consta de 4 boquillas tipo “Trompa de Elefante” por donde salen los gases productos de la reacción conjuntamente con el catalizador al reactor.

Los vapores de hidrocarburos se separan del catalizador en la fase densa del reactor y salen de él por medio de un ciclón suspendido del cabezal superior del reactor. Este ciclón separa el catalizador arrastrado y lo regresan a la fase densa del reactor.

Las principales funciones del reactor son:

- a) Proporcionar espacio para la separación del catalizador y los vapores de hidrocarburos.
- b) Proporcionar espacio para el ciclón en el que se recupera la mayor parte del catalizador arrastrado regresándolo a la cama de catalizador.

Agotador de Catalizador.

El agotador de catalizador es un recipiente que rodea el tubo de elevación. El catalizador bajando del reactor pasa alrededor de la parrilla y entra al agotador, donde fluye a contracorriente, por cinco mamparas, con el vapor de agotamiento que va subiendo. El vapor de agotamiento desplaza los vapores de hidrocarburos que rodean el catalizador y regresa los vapores al reactor. Un distribuidor circular de vapor colocado en la base del agotador asegura una distribución uniforme del vapor.

Bajante del Reactor.

El catalizador sale del agotador a través de una bajante del reactor, al fondo de la cual está la válvula deslizante de catalizador gastado F-K2. La columna de catalizador en la bajante del reactor, produce presión suficiente para vencer la diferencia de presiones entre el reactor y el regenerador, y causar flujo a través de la válvula deslizante, la cual es reajustada por el controlador de nivel del reactor. La bajante del reactor tiene una junta de expansión para absorber la expansión relativa del reactor y regenerador. Para asegurar libre movimiento y prevenir de empaquetaduras con catalizador las juntas de expansión son aereadas así como las cúpulas de las válvulas deslizantes.

Regenerador.

El regenerador es un recipiente con un revestimiento de 4" de concreto refractario aislante, unido a un soporte reforzado. Este revestimiento es necesario para proteger la pared de metal del recipiente de la alta temperatura a la que opera el regenerador, y deberá mantenerse la cubierta exterior del regenerador a menos de 233 °C invariablemente. El carbón depositado sobre el catalizador en el reactor, es quemado por aire distribuido uniformemente a través del regenerador por la parrilla en el fondo del tubo.

Los gases de combustión suben de la cama densa de catalizador al regenerador, pasan a través de los separadores de ciclón de dos pasos y salen por la parte superior del recipiente. Como el reactor, estos ciclones regresan el catalizador arrastrado a la cama densa del catalizador.

Los gases de combustión que salen por la parte superior del regenerador pasan a través de una válvula deslizante de gas combustible de doble disco, la cual mantiene la presión en el regenerador.

En operación normal, el catalizador a unos 930 – 970 °F conteniendo alrededor de 1% de carbón, entra a la cama fluida, la cual se mantiene alrededor de 1300 °F por la combustión del carbón. Algunas veces, tales como en los periodos de arranque de la Unidad, no es suficiente el carbón para mantener la temperatura de la cama del regenerador, en tal caso, puede inyectarse aceite de encendido a través de las dos boquillas colocadas 3 pies arriba de la parrilla. También es posible que por temperaturas excesivamente altas se ocasione un paro de emergencia y para estos casos están provistas regaderas para agua que se inyectará exactamente por debajo de la entrada de cada juego de ciclones.

Bajante del Regenerador

El catalizador caliente sale del regenerador a través de un tubo de aleación al fondo de cual está la válvula deslizante de catalizador regenerado F-K1, que está

bridada en la "Y" de la base del tubo elevador. La válvula deslizante de catalizador regenerado es reajustada por el controlador de temperatura del reactor. F-TIC-157 Debe tenerse una junta de expansión en la bajante del catalizador regenerado para absorber el cambio de longitud del elevador, el cual ocurre al arrancar la unidad.

Las secciones Reactor-Regenerador y Fraccionamiento deben operar juntas como si fuese una sola unidad, pero es conveniente discutir en cada sección las variables de proceso independientemente, aunque es imposible hacer un cambio en el proceso de alguna sección sin afectar a las demás. El propósito de una unidad desintegradora, es el de convertir la carga de aceite pesado a productos más ligeros y de mayor valor, y se ha hecho convencional en la desintegración catalítica, hablar del porcentaje de conversión.

Variables del Proceso

Temperatura de Carga.

Aumentar la temperatura de la carga fresca es un método para aumentar la temperatura de la carga combinada y por lo tanto, el calor de entrada del reactor. Un aumento de la temperatura de la carga producirá los siguientes efectos:

Reduce la conversión

Aumenta la temperatura del regenerador

Reduce el rendimiento de carbón.

Reduce la relación catalizador/aceite.

Temperatura del Reactor.

La temperatura del reactor se determina por el contenido de calor de la carga y por la cantidad de catalizador circulando a través del tubo elevador con la carga (relación catalizador/aceite). Aumentando la temperatura del reactor, aumentará la conversión, pero la misma carga puede ser desintegrada a la misma conversión a diferentes

temperaturas del reactor si se cambia la temperatura o la relación de la carga. De hecho, los cambios en la temperatura del reactor se usan generalmente para ajustar el nivel de conversión después de haber fijado las demás variables.

Siendo que un aumento de 5 °C en la temperatura del reactor aumenta la conversión un 3%, puede decirse que, aumentando la temperatura del reactor, aumentan los rendimientos de gas, C3 - C4 y gasolina, y disminuye el rendimiento del gasóleo catalítico. Es sin embargo, muy útil tabular el efecto de un aumento en la temperatura del reactor cuando se hagan otros cambios en las condiciones del proceso (de preferencia un aumento en la temperatura de la carga combinada) para mantener una conversión constante.

Un aumento en la temperatura del reactor (a conversión constante) producirá los siguientes efectos:

Un aumento en el rendimiento de gas seco (C2 y más ligeros).

Un aumento total del rendimiento C3 - C4.

Una baja en el rendimiento de gasolina de un 1% por cada 14 °C de aumento de temperatura en el reactor.

Un aumento en el contenido de olefinas de todos los productos líquidos.

Un aumento en el número de octano claro de la gasolina, pero casi ningún efecto en el octano.

Presión del Reactor.

La presión del reactor no es una variable independiente en el sentido que puede variar a voluntad del operador. Sin embargo, la presión del reactor, variará cuando cambie la caída de presión a través de la torre fraccionadora. Los efectos de los cambios de presión del reactor son pequeños comparados a los efectos de las otras variables del proceso pero se tabulan enseguida. Un aumento en la presión del reactor producirá los siguientes efectos:

Aumento en la conversión.

Un aumento en la temperatura del regenerador del alrededor de 3 °C por 0.07 Kg/cm².

Disminución en la velocidad del reactor y velocidad a la entrada del ciclón, efectos que disminuyen la carga de catalizador pero disminuyen simultáneamente la eficiencia del ciclón.

Vapor de Agotamiento.

La cantidad de vapor requerida para agotar los vapores de aceite de los espacios entre las partículas de catalizador que es por lo general de 1-2 lbs. por 100 lbs. de catalizador circulado.

Si la cantidad de vapor usado excede de la necesaria para desplazar los vapores de aceite de entre las partículas del catalizador, no se obtendrá ningún beneficio.

Por lo general una unidad se arranca usando un alto flujo de vapor de agotamiento. Cuando la planta está normalizándose el operador reducirá lenta y sistemáticamente el vapor de agotamiento. Al principio no se observará ningún efecto en la temperatura del regenerador, pero finalmente al reducir al mínimo flujo el vapor del agotador, ocurrirá un gran aumento en la temperatura del regenerador.

Para la operación normal deberá aumentarse el flujo del vapor alrededor de 10% sobre este mínimo.

Durante la operación normal un aumento de flujo del vapor de agotamiento será demandado por los siguientes cambios en las condiciones de proceso:

Aumento del flujo de la carga fresca.

Disminución de temperatura de la carga.

Aumento de presión del reactor.

Deterioro en la distribución de tamaño de las partículas de catalizador.

Relación Catalizador/Aceite.

Con frecuencia se habla de la relación catalizador/aceite que es la relación de lbs/hr de catalizador circulante a lbs/hr de carga.

La relación catalizador/aceite no es una variable independiente y aumentará con un aumento en la temperatura del reactor y descensos de las temperaturas del regenerador y carga combinada.

Al variar las condiciones de proceso que aumenten la relación catalizador/aceite, se observará probablemente un aumento en el rendimiento del carbón y en la conversión.

La función del regenerador es quemar el carbón del catalizador que regresa del reactor y al mismo tiempo dar a la unidad el calor necesario para operar.

La operación del regenerador influye en el funcionamiento del reactor. Si el catalizador es regenerado inadecuadamente afectará la distribución de productos, y probablemente se observará un aumento de producción de gases ligeros. Más importante aún, es el efecto que producen las variaciones en la temperatura de la fase densa del regenerador, sobre la relación catalizador/aceite. Una baja en la temperatura de la cama densa del regenerador resulta de una alta circulación de catalizador que aumenta la conversión y el rendimiento de carbón pero la cual también podría limitar la capacidad de la unidad.

Lo más conveniente sería discutir cada vez una variable de proceso del regenerador, pero el fenómeno de importancia secundaria del sobrequemado se discutirá primero por referirse a él frecuentemente.

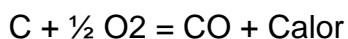
Sobrequemado.

En la regeneración del catalizador de desintegración el carbón se quema a dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y agua (H₂O).

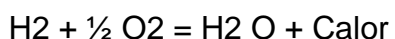
El carbón es una mezcla de carbón e hidrógeno y las ecuaciones para esta reacción de combustión son las siguientes:



Carbón Oxígeno Carbón dióxido

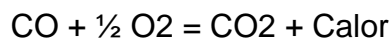


Carbón Oxígeno Carbón monóxido



Hidrógeno Oxígeno Agua

La combustión de hidrógeno a agua es simple y no nos concernirá más adelante, pero está visto que el carbón puede quemarse a CO ó CO₂ y el gas de combustión del regenerador contiene ambos gases. El CO puede también quemarse de acuerdo con la ecuación.



Así que, si el CO se expone a más oxígeno se quemará a CO₂, y esta reacción libera más calor que la combustión de carbón a monóxido de carbono.

Esta es la reacción de sobrequemado que se efectúa sobre la cama del regenerador y en los ciclones y líneas de gases de combustión si hay presente oxígeno suficiente para mantener la reacción.

La presencia de sobrequemado es observada rápidamente por los aumentos progresivos de temperatura del regenerador de la fase densa a la diluida y a la línea de gas de combustión donde continúa la combustión.

En efecto, este aumento de temperatura es una excelente medida del exceso de oxígeno presente en el gas de combustión y se usa como criterio para reajustar el flujo de aire (o de otra variable).

Una cantidad considerable de calor es liberada a causa de la reacción de sobrequemado y cuando es liberada en la fase diluida del regenerador en presencia de una cantidad considerable de catalizador, este catalizador absorbe el calor y limita el aumento de la temperatura. Cuando se lleva a cabo el sobrequemado en el segundo paso de los ciclones y en la línea de gas de combustión no está presente la misma cantidad de catalizador para absorber el calor y podrá observarse una elevación mucho mayor en la temperatura.

A estos puntos la combustión de un 0.1% de oxígeno resultará en un aumento de temperatura de 17 °C.

Temperatura de la Fase Densa

La temperatura de la fase densa del regenerador en una unidad desintegradora catalítica de proceso fluido no está bajo control, pero sí depende de las condiciones del reactor y la calidad de la carga alimentada.

Como se discute en el “Balance de Calor”, la temperatura del regenerador es el mecanismo balanceador del proceso, ya que cambios en las condiciones del proceso tienden a producir más carbón provocando un aumento en la temperatura del regenerador y por medio de una reducción en la relación catalizador/aceite se reduce el rendimiento de carbón y se restablece el balance.

Las variaciones en el proceso que causarían aumento en la temperatura del regenerador son:

Una baja en el API de la carga o un aumento en el punto de ebullición medio de la carga.

Una disminución en la calidad de la carga (mayor residuo de carbón o menor “K” UOP.

Un aumento en la temperatura de la carga.

Un aumento en el nivel del reactor.

Un aumento en la temperatura del reactor.

Un aumento de presión del reactor.

Como es de esperarse, un aumento de la temperatura en el regenerador mejora la regeneración del catalizador, sin embargo, será adecuada a 593 °C y mientras se observe un aumento, digamos 649 °C, no es de gran significancia.

De mayor importancia es la gran tendencia de la unidad a sobrequemar a altas temperaturas. Mientras que a 593 °C alrededor de 0.5% de oxígeno puede estar presente antes que comience el sobrequemado, sólo será necesario 0.2% a 649 °C.

Debido a las grandes cantidades de oxígeno disponible a bajas temperaturas, puede iniciarse un sobrequemado a baja temperatura con un mayor aumento de temperatura y será más difícil de controlar que uno que comenzó a más altas temperaturas. Por esta razón, muchas refinerías prefieren una temperatura alta en el regenerador. La temperatura máxima permisible del regenerador la dicta la construcción mecánica del regenerador.

La erosión y perforación de los ciclones y líneas de gases de combustión son mayores a altas temperaturas y a altos contenidos de oxígeno. El contenido de oxígeno es generalmente más importante; así que a temperaturas altas es necesario mantener el mínimo de exceso de oxígeno.

No existe una temperatura firme sobre la cual no deba operarse una unidad, ya que una temperatura alta del regenerador resulta de un aumento de capacidad de la unidad y una baja en el rendimiento de carbón. Estos efectos deben balancearse con el aumento de mantenimiento para decidir la temperatura máxima óptima del regenerador para cada unidad individualmente.

La actividad del catalizador probablemente disminuya más rápidamente a altas temperaturas, pero con la alta calidad del catalizador disponible actualmente, este efecto no es de gran significación abajo de aproximadamente 704 °C, especialmente cuando no se usa rocío de agua.

Presión el Regenerador

La presión del regenerador no es directamente controlada, es igual a la presión del acumulador de la fraccionadora más la caída de presión a través de la fraccionadora y la presión diferencial controlada entre el reactor y el regenerador.

La presión del regenerador puede variar independientemente variando la presión diferencial reactor-regenerador dentro de ciertos límites manteniendo presiones satisfactorias a través de ambas válvulas deslizantes de catalizador.

Un aumento en la presión del regenerador mejorará la regeneración aunque esta variable casi nunca se usa para ese propósito.

El efecto de la presión del regenerador en las diferenciales de la válvula deslizante, consumo de energía del soplador, arrastre del catalizador y eficiencia de ciclones, es de mayor importancia.

Bajando la presión del regenerador:

Aumenta la diferencial de la válvula deslizante de catalizador gastado.

Disminuye la diferencial de la válvula deslizante de catalizador regenerado.

Disminuye el consumo de energía del soplador.

Mejora ligeramente la distribución de aire.

Aumenta el arrastre de catalizador a los ciclones.

Aumenta la eficiencia de los ciclones dentro de los límites de los mismos.

Nivel del Regenerador

En una Unidad Desintegradora Catalítica de Proceso Fluido el regenerador es el depósito del inventario de catalizador y el no requerido en las bajantes, tubo elevador, reactor y agotador aparecerá en el regenerador. El nivel del regenerador variará ligeramente con las condiciones de operación, pero el verdadero control es el flujo relativo de adición y salida de catalizador.

Con nivel alto en el regenerador se aumentará el tiempo de residencia del catalizador en el recipiente, y por lo tanto mejorará la regeneración, pero hay otros efectos de mayor importancia, al aumentar el nivel del regenerador, aumenta también la cantidad de catalizador a los ciclones, disminuyendo al mismo tiempo la longitud efectiva del ciclón, tanto que se dificulta más regresar el catalizador de los ciclones a

la cama del regenerador. Estas condiciones imponen un límite máximo en el nivel del regenerador.

En vista que el catalizador se desactivará en cierta cantidad mínima, independientemente de la carga y la composición, hay una tendencia para que el flujo mínimo de reposición de catalizador sea un determinado porcentaje del inventario independientemente del flujo. También si el catalizador es añadido o sacado, el flujo de reposición necesario para mantener actividad constante tenderá a ser menor si el inventario del catalizador es pequeño.

Estas consideraciones constituyen un argumento válido contra operaciones a niveles excesivamente altos del regenerador.

Una desventaja de un bajo nivel del regenerador que es aparente al operador, es una pérdida de estabilidad de la unidad, la cual se debe a 2 efectos. Primero, un gran inventario del regenerador absorberá los efectos de cambios menores en las condiciones de operación ya que el cambio de la temperatura del regenerador y por lo tanto del flujo de circulación del catalizador resultante de esos cambios será más pequeño. Segundo, una cama poco profunda del regenerador resulta cuando se utiliza una cantidad reducida de oxígeno. Si a través de la cama del regenerador pasan burbujas de aire antes que se consuma su contenido de oxígeno ocurrirá un sobrequemado y las temperaturas de la fase diluida y del gas de combustión serán erráticas. En caso extremo, el sobrequemado podría resultar tan severo que para controlarlo sería necesario reducir el flujo de aire por debajo del requerido para una regeneración satisfactoria.

Tal situación es poco común y por lo general solo se presenta debido a que alguna parrilla esté dañada o a la pobreza del catalizador.

Circulación de Catalizador

Un aumento en la circulación del catalizador reduce el tiempo de residencia en el regenerador y tiene un efecto adverso en regeneración, el cual es de poca importancia.

Aire de Regeneración

La variable más importante de la regeneración y la única disponible al operador es el flujo de aire, el cual deberá estar siempre de acuerdo a la cantidad de carbón. Si no se suministra el aire suficiente, aumentará el carbón en el catalizador y la unidad se “retrasará” en el quemado. Si se suministra demasiado aire, habrá exceso de oxígeno en los gases de combustión y habrá sobrequemado.

El hecho de que un exceso de aire produzca sobrequemado, nos da un método preciso y conveniente para controlar la cantidad de aire.

El sobrequemado ocurrirá siempre en presencia de exceso de oxígeno a temperaturas mayores de 607 °C en el regenerador y la cantidad de sobrequemado dependerá de la cantidad de exceso de oxígeno presente. Ya que el sobrequemado libera calor aumenta, la temperatura de los gases de combustión elevando la del regenerador, este aumento de temperatura es una excelente medida de la cantidad del exceso del oxígeno presente en el regenerador.

En la práctica, el operador observará el aumento de temperatura entre la fase densa y los puntos más sensibles en lo alto del regenerador, que pueden ser, la fase diluida, la salida del ciclón o la temperatura de la línea de los gases de combustión y ajustando la cantidad de aire se mantiene constante este aumento de temperatura. Con el fin de suministrar el control necesario, el flujo principal del aire se mantiene generalmente constante y se hacen ajustes a una pequeña cantidad de aire que se ventea directamente a la atmósfera. Mientras la temperatura de la fase densa es siempre una de las temperaturas de referencia, la otra variará de una unidad a unidad y se encuentra experimentalmente durante la operación inicial.

Esta técnica de operación se conoce como “Control de Sobrequemado” y se hace automáticamente usando el instrumento F-DTRC (diferencial de temperatura entre la fase densa y la fase de gases).

Debe notarse que esta técnica de operación solo puede usarse si no existe una interferencia externa. El uso de espreas de agua en el regenerador, eliminará completamente el aumento de temperatura, como lo hará también el uso de una cantidad excesiva de vapor en los ciclones.

Distribución del Aire

La distribución del aire es esencial para una buena operación del regenerador. Si está pasando más aire a través de una sección de la cama que en otra, la regeneración del catalizador no será completa, pero antes que esto ocurra, se verá que el oxígeno no consumido está pasando a través de esa sección de la cama con un mayor flujo de aire y causando un sobrequemado anormal.

La distribución pobre de aire podrá deberse al desperfecto de la parrilla o a una operación con flujo de aire por debajo del que fue diseñada la parrilla.

Mientras se hacen modificaciones o reparaciones a la parrilla que es la única manera de mejorar la distribución, sus efectos pueden reducirse operando a presiones menores o encendiendo el calentador de aire (al encender el calentador del aire aumenta el volumen del aire que pasa a través de la parrilla y por lo tanto, la caída de presión).

Fraccionamiento

El producto del reactor de desintegración debe ser fraccionado en destilados y corrientes de recirculación: lodos, recirculación pesada, recirculación ligera, A.C.L., gasolina inestable y gas húmedo. La Sección Fraccionadora de una Unidad de

Desintegración Catalítica es muy similar a la de una Unidad de Destilación de Crudo. En ambos casos la gasolina es el producto superior y los productos más pesados son obtenidos en extracciones laterales. La operación de la Unidad Desintegradora difiere en dos aspectos importantes:

1. Una gran cantidad de gas sale por el domo con la gasolina.
2. Mientras que la entrada de calor a una fraccionadora es siempre minimizada, la carga para una fraccionadora F.C.C. son vapores sobrecalentados y la liberación de calor es la operación mayor.

Los vapores del reactor entran en el fondo de la Torre Fraccionadora a una temperatura aproximada de 500 °C y deben ser enfriados entre 345 y 370 °C antes de poder iniciar el fraccionamiento. Los vapores del reactor están por lo tanto en contacto con una gran corriente de lodos circulada desde el fondo de la fraccionadora a través del generador de vapor de fondos de la columna y del cambiador de carga fresca, regresando seis platos arriba del fondo de la fraccionadora. Este sistema de circulación de lodos desrecalientan y lavan los vapores del catalizador arrastrado. El aceite clarificado proveniente del domo del asentador de lodos se envía ya sea al sistema de aceite de lavado u obtenido como producto.

Los vapores desrecalentados llegan a la sección de recirculación pesada y pasan a través de 4 platos hacia el plato de extracción de A.C.P. Para condensar la recirculación pesada una corriente de ACP transmite el calor al recalentador de la debutanizadora arriba del plato 15. La recirculación pesada puede obtenerse como producto y recircularse hasta su terminación al reactor.

El ACL sale del pozo de extracción de ACL y la corriente de recirculación es dirigida al rehervidor del agotador y luego a través de un enfriador al absorbedor secundario como aceite pobre.

El aceite rico del absorbedor secundario regresa al fraccionador arriba del plato 8. El ACL va al agotador de ACL y después de su agotamiento se enfría y envía a tanques de residuales.

Los vapores de gas y gasolina salen del domo de la fraccionadora, los vapores de gasolina se condensan y recogen en el acumulador. El reflujo del domo después de haberse unido con la corriente de los fondos de la debutanizadora regresa arriba del plato 1 de la fraccionadora. El gas del acumulador se envía a la Unidad de Recuperación así como la gasolina inestabilizada.

1.2.2. Fundamentación Técnica

Variable 1: Productividad.

La productividad se define como el uso eficiente de recursos trabajo, capital, tierra, materiales, energía, información en la producción de diversos bienes y servicios” (Prokopenko, 1989, p.3).

Los Factores de la Productividad pueden ser externos e internos que repercuten en el mejoramiento de la productividad en un sistema de organización o producción. El mejoramiento de la productividad depende de la medida en que se pueden identificar y utilizar los factores principales del sistema de producción. Como algunos factores internos se modifican más fácilmente que otros, es útil clasificarlos en dos grupos: duros (no fácilmente cambiables) y blandos (fáciles de cambiar). Los factores duros incluyen los productos, la tecnología, el equipo y las materias primas, mientras que los factores blandos incluyen la fuerza de trabajo, los sistemas y procedimientos de organización, los estilos de dirección y los métodos de trabajo.

Factores duros:

Producto

La productividad del factor producto significa el grado en que el producto satisface las exigencias de la producción. El «valor de uso» es la suma de dinero que el cliente está dispuesto a pagar por un producto de calidad determinada. El «valor de uso» se puede mejorar mediante un perfeccionamiento del diseño y de las especificaciones.

Planta y equipo

Estos elementos desempeñan un papel central en todo programa de mejoramiento de la productividad mediante: un buen mantenimiento; el funcionamiento de la planta y el equipo en las condiciones óptimas; el aumento de la capacidad de la planta mediante la eliminación de los estrangulamientos y la adopción de medidas correctivas; la reducción del tiempo parado y el incremento del uso eficaz de las máquinas y capacidades de la planta disponibles.

Tecnología

La innovación tecnológica constituye una fuente importante de aumento de la productividad. Se puede lograr un mayor volumen de bienes y servicios, un perfeccionamiento de la calidad, la introducción de nuevos métodos de comercialización, etcétera, mediante una mayor automatización y tecnología de la información. La automatización puede asimismo mejorar la manipulación de los materiales, el almacenamiento, los sistemas de comunicación y el control de la calidad.

Materiales y energía

Incluso un pequeño esfuerzo por reducir el consumo de materiales y energía puede producir notables resultados. Esas fuentes vitales de la productividad incluyen las materias primas y los materiales indirectos (productos químicos, lubricantes, combustibles, piezas de repuesto, materiales técnicos y materiales de embalaje de proceso).

Variable 2: Rentabilidad

Rentabilidad: Para Sánchez (2002) la rentabilidad es una noción que se aplica a toda acción económica en la que se movilizan medios materiales, humanos y financieros con el fin de obtener ciertos resultados. En la literatura económica, aunque el término se utiliza de forma muy variada y son muchas las aproximaciones doctrinales que inciden en una u otra faceta de la misma, en sentido general se denomina rentabilidad a la medida del rendimiento que en un determinado periodo de tiempo producen los capitales utilizados en el mismo.

En términos más concisos, la rentabilidad es uno de los objetivos que se traza toda empresa para conocer el rendimiento de lo invertido al realizar una serie de actividades en un determinado período de tiempo. Se puede definir además, como el resultado de las decisiones que toma la administración de una empresa.

Rentabilidad Económica de una Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado: la filosofía operacional de una unidad de craqueo es dictado por la economía de la refinería. La economía de una refinería está dividida por una economía interna y externa. La economía interna está relacionada con el precio del crudo y el rendimiento de productos. El precio del crudo puede ser justificado por los rendimientos de productos de una unidad de craqueo catalítico. La refinería se mantiene en operaciones alejadas de los factores económicos externos. Para incrementar la rentabilidad de una unidad de craqueo catalítico, esta debe operar en contra de sus limitaciones mecánicas y operacionales. Históricamente se conoce que el incremento en la rentabilidad de una unidad de craqueo catalítico se logra maximizando el rendimiento de gasolina y manteniendo el octanaje de acuerdo a las especificaciones del mercado. La rentabilidad económica que se evalúa en una refinería en Perú está dado por su beneficio económico (ingresos – egresos). Dentro de los ingresos se encuentran el volumen de sus productos (barriles/día) por su respectivo valor en el mercado (\$/barril). Referente a egresos se tiene el costo del crudo a procesar (\$/barril),

costo del catalizador (\$/tonelada), costos fijos y variables que se desprecian en este análisis debido a que no son influyentes o determinantes en el beneficio económico total; debido al procesamiento de grandes volúmenes de crudo que se procesan y que la propia refinería genera sus propios servicios industriales necesarios para la operación como vapor y electricidad. (Sadeghbeigi, Reza. (2000). Fluid Catalytic Cracking Handbook, p.187; Manual de Operación de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado-Petroperu).

Selectividad: el ratio de los rendimientos de productos dividido entre la conversión. (Wilson, Joseph. (1997). Fluid Catalytic Cracking Technology and Operation, p.316).

Por ejemplo "selectividad a gasolina" quiere decir producir altos rendimientos de gasolina.

Conversión: se define como "el porcentaje en volumen o pesa de la carga de gasóleo convertida a gasolina y otros productos ligeros, incluyendo el coque. La conversión es típicamente calculada por la sustracción del porcentaje en volumen o peso de los productos líquidos más pesados que la gasolina que se encuentran en la carga. (Sadeghbeigi, Reza. (2000). Fluid Catalytic Cracking Handbook, p.142).

Por ejemplo si 10 000 barriles de carga son desintegrados y tienen un rendimiento de 2 000 barriles de productos líquidos como aceite cíclico ligero (LCO) y 500 barriles de aceite clarificado, la conversión es el 75% así que en el caso de la Unidad de FCC, la conversión es calculada de la siguiente manera:

Conversión = $100(1 - \text{Rendimientos BPD de LCO} + \text{HCO} + \text{Aceite Clarificado}) / \text{Carga Total}$

Ganancia Volumétrica: conocido también como dilatación o expansión volumétrica; como todos los líquidos, las fracciones del petróleo o sus derivados sufren pérdida en su densidad debido a la expansión térmica. Para conocer la variación de

volumen de un líquido en un recipiente es necesario conocer el coeficiente de dilatación o expansión volumétrica, el cual varía con respecto a la temperatura y está relacionado con la gravedad API. (Bhaskara Rao, B.K. (2006). Modern Petroleum Refining Process, p. 93).

1.3. Justificación

La presente investigación beneficiara económicamente a las refinerías que deseen optimizar la unidad de craqueo catalítico, con la conversión de nuevas cargas en productos valiosos como GLP, gasolina y diésel. Analizando el tipo y calidad de carga, consumo de catalizador, condiciones operacionales y sus limitaciones en los equipos, reflejándose en la relación entre productividad y rentabilidad.

Al realizar la presente investigación se contribuirá significativamente en la reducción de costos y pérdidas en producción, seleccionando la mejor carga a procesar, el consumo óptimo de catalizador a las condiciones operacionales óptimas que no superen las limitaciones de los equipos en la unidad.

La investigación beneficiara a otras unidades que se encuentran dentro de la refinería, donde se realizan procesos físicos y químicos, sirviendo como base la metodología empleada en este estudio.

La presente investigación beneficiara social y económicamente a sus trabajadores, en lo primero satisfechos de poder optimizar sus recursos de manera eficiente y eficaz, reflejándose en una mejor rentabilidad económica.

1.4. Problema

Actualmente, las cargas a la Unidad FCC está compuesta por 12 300 BPD Gasóleo Pesado y Liviano de la Unidad de Destilación de Vacío (UDV), 1 200 BPD de Residuo Atmosférico y 4500 BPD de Diesel. La temperatura de la carga combinada se

encuentra alrededor de 410°F (210°C), la temperatura de reacción es de 960°F y con una adición de catalizador fresco de 3.5 toneladas por día (TPD). Las reacciones de craqueo son endotérmicas; el balance de calor se obtiene por la combustión en el regenerador del coque producido y depositado en el catalizador. Los principales productos de la Unidad FCC son: Gas Licuado de Petróleo (GLP), Nafta Craqueada, Aceite Cíclico Ligero (Light Cycle Oil - LCO), Aceite Clarificado (Decant Cycle Oil – DCO); los sub-productos son: Gas Seco (Gas de refinería), Coque (depositado en el catalizador, se quema en el regenerador produciendo energía y el calor necesario para la reacción). Debido a la variabilidad del tipo de cargas, condiciones de operación y adición de catalizador fresco (factores influyentes en la productividad de una unidad de UCCF); se plantean las siguientes interrogantes: ¿Son los factores adecuados para una buena productividad y rentabilidad de la unidad?, ¿podemos prever una mejor rentabilidad, teniendo en cuenta que existe variabilidad en los factores de la productividad?, ¿cuentan con modelos matemáticos de regresión que les permita prever la relación entre productividad y rentabilidad?, ¿existe una relación entre selectividad, conversión y ganancia volumétrica (dimensiones relacionadas con la productividad de una unidad UCCF) y rentabilidad?, ¿existe un modelo de producción o procedimientos que formalice y estandarice la mejor productividad y rentabilidad en la unidad?, ¿existe un registro donde se señale la variación entre productividad y rentabilidad?. Todas estas interrogantes son desarrolladas en el presente trabajo de investigación y seguidamente se presenta un modelo que permita mejorar y/o corregir el proceso con la finalidad de obtener una mejor productividad y rentabilidad económica en la refinería.

1.4.1. Problema general

¿Qué relación existe entre la Productividad y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016?

1.4.2. Problema específico

¿Qué relación existe entre la Selectividad y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016?

¿Qué relación existe entre la Conversión y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016?

¿Qué relación existe entre la Ganancia volumétrica y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016?

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La Productividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.

1.5.2. Hipótesis específica

La Selectividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.

La Conversión se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.

La Ganancia volumétrica se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.

1.6. Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Determinar la relación que existe entre la Productividad y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.

1.6.2 Objetivo específico

Determinar la relación que existe entre la Selectividad y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.

Determinar la relación que existe entre la Conversión y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.

Determinar la relación que existe entre la Ganancia volumétrica y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.

II. Marco Metodologico

2.1. Variables

2.1.1. Productividad

Definición conceptual

La productividad se define como el uso eficiente de recursos trabajo, capital, tierra, materiales, energía, información en la producción de diversos bienes y servicios.

Definición operacional

La productividad se mide mediante las dimensiones selectividad, conversión y ganancia volumetrica, en una unidad de craqueo catalítico fluidizado

2.1.2. Rentabilidad

Definición conceptual

La rentabilidad es uno de los objetivos que se traza toda empresa para conocer el rendimiento de lo invertido al realizar una serie de actividades en un determinado período de tiempo. Se puede definir además, como el resultado de las decisiones que toma la administración de una empresa.

Definición operacional

La filosofía operacional de una unidad de craqueo es dictado por la economía de la refinería. La economía está relacionada con el precio del crudo y el rendimiento de productos, por tanto se medirá como: rendimiento de gasolina * precio venta gasolina + rendimiento de GLP * precio de venta GLP + rendimiento de LCO * precio de venta LCO + rendimiento de aceite clarificado * precio de venta aceite clarificado) - (carga combinada*costo de la carga combinada + adición de catalizador * costo del catalizador)

2.2 Operacionalización de la variable

Valderrama (2012), refiere que la operacionalización:

Es el proceso mediante el cual se transforman las variables de conceptos abstractos a unidades de medición. En lenguaje sencillo la operacionalización de las variables viene a ser la búsqueda de los componentes o elementos que constituyen dichas variables, para precisar las dimensiones, sub dimensiones e indicadores; estas operan mediante la definición conceptual. (p.160).

Tabla 1

Matriz de Operacionalización de la variable Productividad

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Definición conceptual	Indicadores	Técnica	Instrumento
V1 Productividad	Uso eficiente de recursos trabajo, capital, tierra, materiales, energía, información en la producción de diversos bienes y servicios. (Prokopenko, 1989, p.3)	La investigación se fundamenta en el estudio de la variable Productividad que será medida a través de la maximización de la selectividad, la conversión y la ganancia volumétrica en la Unidad de craqueo catáltico fluidizado.	Selectividad	La habilidad de un catalizador para optimizar rendimientos deseados. Ejm: "selectividad a gasolina" (produciendo altos rendimientos de gasolina). (Grace Davison Manual de FCC, vol III, 2015, p.310)	= (%vol de gasolina/conversion)*100%	Observación	Registros en Formatos de Recolección de datos
			Conversión	La conversión es el porcentaje de volumen de alimento fresco convertido a gasolina, productos mas livianos y coque en el proceso catalítico. Tambien se define como desaparición de gasoleo (alimentación fresca), (Grace Davison Manual de FCC, vol III, 2015, p.303)	= 100 - (% en volumen aceite ciclico ligero + % en volumen aceite clarificado)		
			Ganancia volumétrica	También es denominado como dilatación o expansión volumétrica; como todos los líquidos, las fracciones del petróleo o sus derivados sufren pérdida en su densidad debido a la expansión térmica. Para conocer la variación de volumen de un líquido en un recipiente es necesario conocer el coeficiente de dilatación o expansión volumétrica, el cual varía con respecto a la temperatura y está relacionado con la gravedad APL (Bhaskara Rao, B.K. (2006). Modern Petroleum Refining Process, p. 93).	= % en volumen gasolina + % en volumen GLP + % en volumen aceite ciclico ligero + % en volumen aceite clarificado - 100		

Tabla 2

Matriz de Operacionalización de la variable Rentabilidad

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Definición conceptual	Indicadores	Técnica	Instrumento
V2 Rentabilidad	Es uno de los objetivos que se traza toda empresa para conocer el rendimiento de lo invertido al realizar una serie de actividades en un determinado período de tiempo. Se puede definir además, como el resultado de las decisiones que toma la administración de una empresa. (Sánchez, 2012)	La investigación se fundamenta en el estudio de la variable Rentabilidad que será medida a través de la maximización de la rentabilidad económica en la Unidad de craqueo catlítico fluidizado.	Rentabilidad económica	La rentabilidad económica que se evalúa en una refinería del Perú está dado por su beneficio económico (ingresos – egresos). Dentro de los ingresos se encuentran el volumen de sus productos (barriles/día) por su respectivo valor en el mercado (\$/barril). Referente a egresos se tiene el costo del crudo a procesar (\$/barril), costo del catalizador (\$/tonelada), costos fijos y variables. (Sadeghbeigi, Reza. (2000). Fluid Catalytic Cracking Handbook, p.187; Manual de Operación de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado-Petoperu).	$(\text{Rendimiento de gasolina} * \text{precio venta gasolina} + \text{Rendimiento de GLP} * \text{precio de venta GLP} + \text{Rendimiento de LCO} * \text{precio de venta LCO} + \text{Rendimiento de aceite clarificado} * \text{precio de venta aceite clarificado}) - (\text{Carga Combinada} * \text{costo de la carga combinada} + \text{Adición de catalizador} * \text{costo del catalizador})$	Observación	Registros en Formatos de Recolección

2.3 Metodología

Según Frías (2011), define la metodología como “toda investigación debe ser bien diseñada, eficientemente ejecutada, correctamente analizada, bien interpretada y claramente presentada. Todas estas competencias requieren un gran esfuerzo por parte de los Investigadores y la calidad de los hallazgos está en gran medida relacionada con la metodología de investigación que se ha podido aplicar en el estudio”.

Según Cerda (como se citó en Bernal, 2010, p.58):

Uno de los problemas más agudos y complejos que debe enfrentar en la actualidad cualquier individuo que quiera investigar es, sin lugar a dudas, la gran cantidad de métodos, técnicas e instrumentos que existen como opciones, los cuales, a la vez, forman parte de un número ilimitado de paradigmas, posturas epistemológicas y escuelas filosóficas, cuyo volumen y diversidad desconciertan.

Bernal (2010), refiere que:

En la actualidad, sin embargo, dada la diversidad de escuelas y paradigmas investigativos, estos métodos se han complementado y es frecuente reconocer, entre otros, métodos como los siguientes: a) inductivo, b) deductivo, c) inductivo-deductivo, d) hipotético deductivo, e) analítico, f) sintético, g) analítico, h) histórico-comparativo, y g) cualitativos y cuantitativos. (p. 59).

Señala que el método hipotético-deductivo consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos. (p. 60).

Hernández et al. (2010, p.4), indican que el “enfoque cuantitativo, usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”.

En la investigación “Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016”, el método utilizado es el hipotético-deductivo, el enfoque cuantitativo y el nivel de investigación es relacional. Tal como se visualiza en la figura 6.



Figura 6. Niveles de investigación

Fuente. Los niveles de la investigación científica (Supo, 2016)

2.4 Tipo de estudio.

Hernández et al. (2010, p.xxvii), indican que

La investigación científica cumple dos propósitos fundamentales: a) producir conocimiento y teorías (investigación básica) y b) resolver problemas (investigación aplicada). Gracias a estos dos tipos de investigación la humanidad ha evolucionado. La investigación es la herramienta para conocer lo que nos rodea y su carácter es universal.

La investigación “Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016”, es Aplicada.

2.5 Diseño

Hernández et al. (2010, p.118), refieren:

Que con el propósito de responder a las preguntas de investigación planteadas y cumplir con los objetivos del estudio, el investigador debe

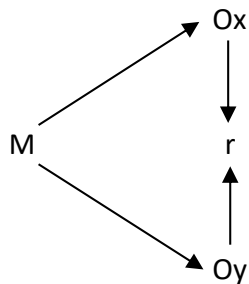
seleccionar o desarrollar un diseño de investigación específico. Cuando se establecen y formulan hipótesis, los diseños sirven también para someterlas a prueba. Los diseños cuantitativos pueden ser experimentales o no experimentales.

La investigación no experimental la subdividimos en diseños transversales y diseños longitudinales. Los diseños transaccionales (transversales) son investigaciones que recopilan datos en un momento único. Los diseños longitudinales son estudios que recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución, sus causas y sus efectos.

La investigación descriptiva, busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población.

La investigación correlacional, asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población.

El diagrama del diseño descriptivo correlacional es:



Donde:

M: muestra

Ox: observación de la variable Productividad

Oy: observación de la variable Rentabilidad

r: relación

La investigación “Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016”, es de diseño no experimental - transaccional o transversal - descriptivo correlacional.

2.6. Población, muestra, muestreo.

2.6.1. Población.

Según Arias (2006), la población o en términos más precisos población objetivo “es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. (p.81)

La población o universo de interés en esta investigación, está conformada por los ratios entre ingresos y egresos mensuales durante el 2016 para la productividad; mientras que para la rentabilidad es la diferencia de los mismos, referidos a una refinería local.

2.6.2. Muestra.

Según Hernández et al. (2006), la muestra de estudio corresponde al “subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y debe ser representativo de ésta”. (p.173)

En la investigación “Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (UCCF)”, debido a que se tomará una muestra de datos de una refinería correspondiente a los 12 últimos meses del 2016, no se utilizará la fórmula para determinar el tamaño de la muestra. Es decir, la muestra está constituida por datos operacionales como selectividad, conversión y ganancia volumétrica de los 12 últimos meses de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado correspondiente al año 2016, referidos a las variables bajo estudio: Productividad y Rentabilidad.

2.6.3. Muestreo.

Weiers (2010), nos define que:

En el muestreo no probabilístico no todos los elementos de la población tienen la oportunidad de ser incluidos en la muestra, y el proceso implica al menos cierto grado de subjetividad personal, en lugar de seguir reglas de selección predeterminadas basadas en la probabilidad. También nos indica que el muestreo intencional o de conveniencia, se caracteriza por un esfuerzo deliberado de obtener muestras "representativas" mediante la inclusión en la muestra de grupos supuestamente típicos, los integrantes de tales muestras se eligen principalmente porque se consiguen con facilidad y están dispuestos a participar. (p.149)

En la investigación "Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, (UCCF)", se utilizará el Muestreo no probabilístico intencional o de conveniencia.

2.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

2.7.1. Técnicas e Instrumentos.

Hernández et al. (2010, p.197), indican que "la recolección de datos cuantitativos se realiza mediante instrumentos de medición que deben representar verdaderamente las variables de la investigación".

La estadística se emplea como: 1) un recurso descriptivo con el fin de expresar la información importante para los negocios y 2) un elemento deductivo para emplear los resultados de una muestra con el propósito de llegar a conclusiones sobre una población. Para emplear la estadística de cualquiera de estos modos, se requieren datos, que deben recolectarse de una amplia variedad de fuentes. (Weiers, 2010, p-122)

En la investigación “Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, (UCCF)”, se utilizará como técnica el Análisis de datos numéricos (observación simple) y como instrumento se diseñarán formatos (fichas de observación) para la recopilación de los datos numéricos que apoyen la investigación. Para esto se elaboró formatos de recolección de datos de la Productividad y Rentabilidad, mes a mes, especificando en ella los días laborables (incluye domingos y feriados), selectividad, conversión, ganancia volumétrica y rentabilidad económica a través de los cuales determinaremos la productividad y la rentabilidad, materias bajo estudio.

2.8 Métodos de análisis de datos

Ñaupas, Mejía, Novoa y Villagómez (2014, p. 254), refieren que:

El tratamiento estadístico es una de las fases más importantes de la investigación cuantitativa, consiste en el procesamiento, análisis e interpretación de los datos recolectados mediante el instrumento respectivo, para lo cual se recurre a la ciencia estadística tanto descriptiva como inferencial”.

Valderrama (2015, p.229), indica que:

Luego de haber obtenido los datos, el siguiente paso es realizar el análisis de los mismos para dar respuesta al problema planteado y, sí corresponde, poder aceptar o rechazar las hipótesis es estudio. Cuando los datos de las variables son cualitativos

Estadística descriptiva

Se hace uso de Tablas de frecuencias.

Frecuencias absolutas y acumuladas, frecuencias porcentuales y acumuladas.

Gráficos.

Histogramas. Es un tipo de gráfico estadístico que se utiliza para variables cuantitativas continuas.

Estadística inferencial

Se hace uso de:

Prueba de normalidad

Permite determinar si la distribución poblacional de la variable dependiente es normal, es decir si tiene distribución normal para lo cual se utiliza el estadístico de Shapiro-Wilk. Entonces, si la población tiene distribución normal, para la contratación de la hipótesis utilizamos la prueba paramétrica Coeficiente de correlación de Pearson.

Coeficiente de correlación de r de Pearson.

Es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón.

Regresión lineal.

El modelo de regresión lineal permite hallar el valor esperado de la variable aleatoria Y cuando X toma un valor específico.

En el presente estudio se utilizaron dos procedimientos de análisis de datos. El primero se denomina Estadística descriptiva, el cual tiene como finalidad conocer el nivel de las variables de estudio. Los datos son presentados en tablas, donde se especifican los estadísticos descriptivos, tanto para las variables como para cada una de las dimensiones.

El segundo análisis que se realiza en el presente estudio es la Estadística inferencial, el cual se empieza con la prueba de normalidad para determinar si se usa estadísticos paramétricos o no paramétricos para la contrastación de la hipótesis. Luego de la prueba de normalidad se determina el grado de correlación de las variables utilizando el estadístico Coeficiente de correlación r de Pearson. En vista que los datos se ajustan a una distribución normal, se utilizaron estadísticos paramétricos para contrastar las hipótesis de estudio.

Coeficiente de correlación r de Pearson

Hernández et al. (2010, p.312), indican que el coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a $+1.00$, donde:

-1.00 = correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”.

-0.90 = Correlación negativa muy fuerte.

-0.75 = Correlación negativa considerable.

-0.50 = Correlación negativa media.

-0.25 = Correlación negativa débil.

-0.10 = Correlación negativa muy débil.

0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.

$+0.10$ = Correlación positiva muy débil.

$+0.25$ = Correlación positiva débil.

$+0.50$ = Correlación positiva media.

$+0.75$ = Correlación positiva considerable.

$+0.90$ = Correlación positiva muy fuerte.

$+1.00$ = Correlación positiva perfecta. (“A mayor X, mayor Y” o “a menor X, menor Y”, de manera proporcional. Cada vez que X aumenta, Y aumenta siempre una cantidad constante).

El signo indica la dirección de la correlación (positiva o negativa); y el valor numérico, la magnitud de la correlación.

Modelo de regresión lineal

Newbold, Carlson y Thorne (2008, p.437), indican que:

Para medir la fuerza de cualquier relación lineal entre un par de variables aleatorias se utilizan coeficientes de correlación. Se analiza la relación lineal

entre un par de variables, desde el punto de vista de la dependencia de una de la otra. La idea es que, dado que la variable aleatoria X toma un valor específico, esperamos una respuesta de la variable aleatoria Y . Es decir, el valor que toma X influye en el valor de Y . Podemos pensar que Y depende de X . Las variables dependientes o endógenas - Y - tienen valores que dependen de variables independientes o exógenas - X -, cuyos valores son manipulados o influidos, a su vez, por factores externos a un proceso económico específico.

Los modelos lineales no son tan restrictivos como podría parecer para el análisis empresarial y económico aplicado, menudo constituyen una buena aproximación de una relación en el intervalo examinado.

Un modelo lineal se representa por medio de la ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

Donde:

β_0 : representa la ordenada en el origen Y de la ecuación, y

β_1 : es la pendiente

I. Resultados

1.1. Análisis descriptivo

Descripción de Productividad

Tabla 3.

Estadísticos descriptivos de la variable independiente

		Estadístico	Error típ.
Productividad	Media	35.133	1.7695
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	31.238
		Límite superior	39.027
	Media recortada al 5%	35.162	
	Mediana	34.284	
	Varianza	37.574	
	Desv. típ.	6.1298	
	Mínimo	25.4	
	Máximo	44.3	
	Rango	18.8	

Se concluye que la productividad promedio de hidrocarburos livianos de la unidad de craqueo catalítico fluidizado es de 35.1. El 50% de los datos registra una productividad menores iguales a 34.2 y la otra mitad son mayores a 34.2.

Descripción de la dimensión 1: Selectividad

Tabla 4.

Estadísticos descriptivos de la dimensión selectividad

		Estadístico	Error típ.
Selectividad	Media	79.450	.5560
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	78.226
		Límite superior	80.674
	Media recortada al 5%	79.461	
	Mediana	79.600	
	Varianza	3.710	
	Desv. típ.	1.9261	
	Mínimo	76.8	
	Máximo	81.9	
	Rango	5.1	

Se concluye que la selectividad a gasolina promedio de la unidad de craqueo catalítico fluidizado es de 79.4. El 50% de los datos registra una selectividad menores iguales a 79.6 y la otra mitad son mayores a 79.6.

Descripción de la dimensión 2: Conversión

Tabla 5.

Estadísticos descriptivos de la dimensión 2 de la variable independiente

		Estadístico	Error típ.
Conversión	Media	81.962	.4273
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	81.022
		Límite superior	82.903
	Media recortada al 5%	81.996	
	Mediana	82.254	
	Varianza	2.191	
	Desv. típ.	1.4804	
	Mínimo	79.2	
	Máximo	84.2	
	Rango	5.0	

Se concluye que el porcentaje de hidrocarburos livianos de la unidad de craqueo catalítico fluidizado obtenidos es de 81.9. El 50% de los datos registra una conversión menores iguales a 82.2 y la otra mitad son mayores a 82.2.

Descripción de la dimensión 3: Ganancia Volumétrica

Tabla 6.

Estadísticos descriptivos de la dimensión 3 de la variable independiente

		Estadístico	Error típ.
Ganacia volumétrica	Media	10.033	.3665
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	9.227
		Límite superior	10.840
	Media recortada al 5%	10.037	
	Mediana	10.250	
	Varianza	1.612	
	Desv. típ.	1.2695	
	Mínimo	8.1	
	Máximo	11.9	
	Rango	3.8	

Se concluye que el porcentaje de ganancia en volumen promedio de hidrocarburos livianos de la unidad de craqueo catalítico fluidizado obtenido es de 10.0. El 50% de los datos registra una productividad menores iguales a 10.2 y la otra mitad son mayores a 10.2.

Descripción de Rentabilidad económica

Tabla 7.

Estadísticos descriptivos de Rentabilidad económica

		Estadístico	Error típ.	
Rentabilidad económica	Media	29.526	1.0542	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	27.206	
		Límite superior	31.846	
	Media recortada al 5%	29.531		
	Mediana	29.670		
	Varianza	13.335		
	Desv. típ.	3.6517		
	Mínimo	24.1		
	Máximo	34.9		
	Rango	10.9		

Se concluye que la productividad promedio de hidrocarburos livianos de la unidad de craqueo catalítico fluidizado es de 35.1. El 50% de los datos registra una productividad menores iguales a 34.2 y la otra mitad son mayores a 34.2.

1.2. Análisis Inferencial

Variable independiente: Productividad

Tabla 8.

Análisis de normalidad de la variable independiente

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Productividad	.136	12	.200 [*]	.953	12	.682

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

H_0 : Los valores de la productividad no difieren de la distribución normal.

H_1 : Los valores de la productividad difieren de la distribución normal.

Decisión.

Si la sig < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0)

Debido a que la muestra está conformada por 12 datos será conveniente utilizar la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk.

Se observa que la sig = 0.682 > 0.05, entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto los valores tienen distribución normal.

En la Figura 7, se observa que la dispersión de los valores del histograma de la productividad se encuentra centrados.

Es decir, los valores de la productividad tienen distribución normal.

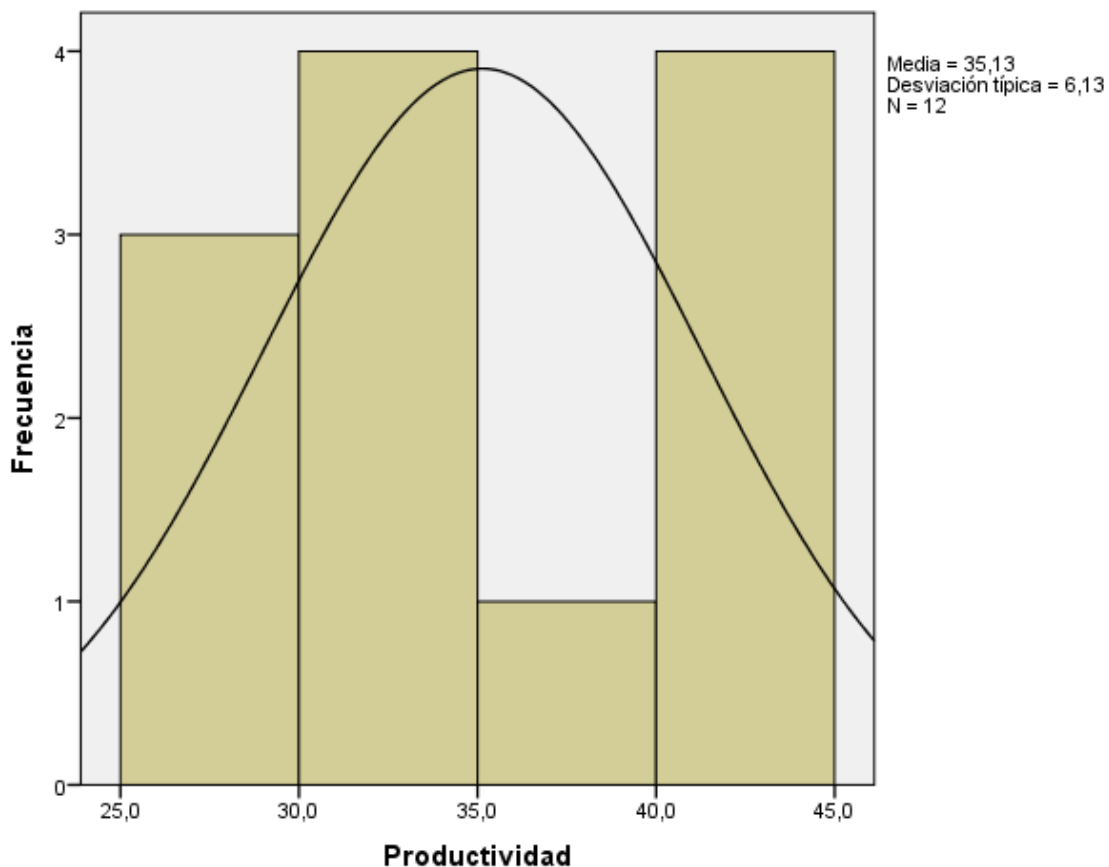


Figura 7. Histograma de la productividad

Dimensión 1: Selectividad

Tabla 9.

Análisis de normalidad de la dimensión 1 de la variable independiente

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Selectividad	.189	12	,200 [*]	.893	12	.129

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

H₀: Los valores de la selectividad no difieren de la distribución normal.

H₁: Los valores de la selectividad difieren de la distribución normal.

Decisión.

Si la sig < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H₀)

Debido a que la muestra está conformada por 12 datos será conveniente utilizar la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk.

Se observa que la sig = 0.129 > 0.05, entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto los valores tienen distribución normal.

En la Figura 8, se observa que la dispersión de los valores del histograma de la selectividad se encuentra centrados.

Es decir, los valores de la selectividad tienen distribución normal.

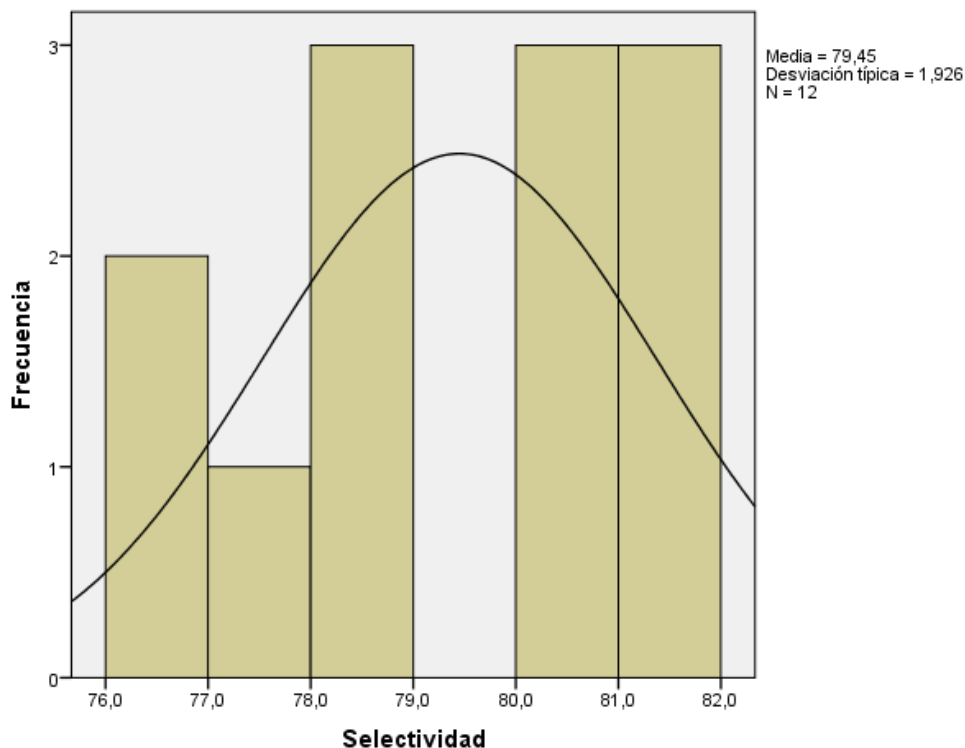


Figura 8. Histograma de la selectividad

Dimensión 2: Conversión

Tabla 10.

Análisis de normalidad de la dimensión 2 de la variable independiente

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Conversión	.160	12	,200 [*]	.919	12	.279

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

H₀: Los valores de la conversión no difieren de la distribución normal.

H₁: Los valores de la conversión difieren de la distribución normal.

Decisión.

Si la $\text{sig} < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_0)

Debido a que la muestra está conformada por 12 datos será conveniente utilizar la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk.

Se observa que la $\text{sig} = 0.279 > 0.05$, entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto los valores tienen distribución normal.

En la Figura 9, se observa que la dispersión de los valores del histograma de la conversión se encuentra centrados.

Es decir, los valores de la conversión tienen distribución normal.

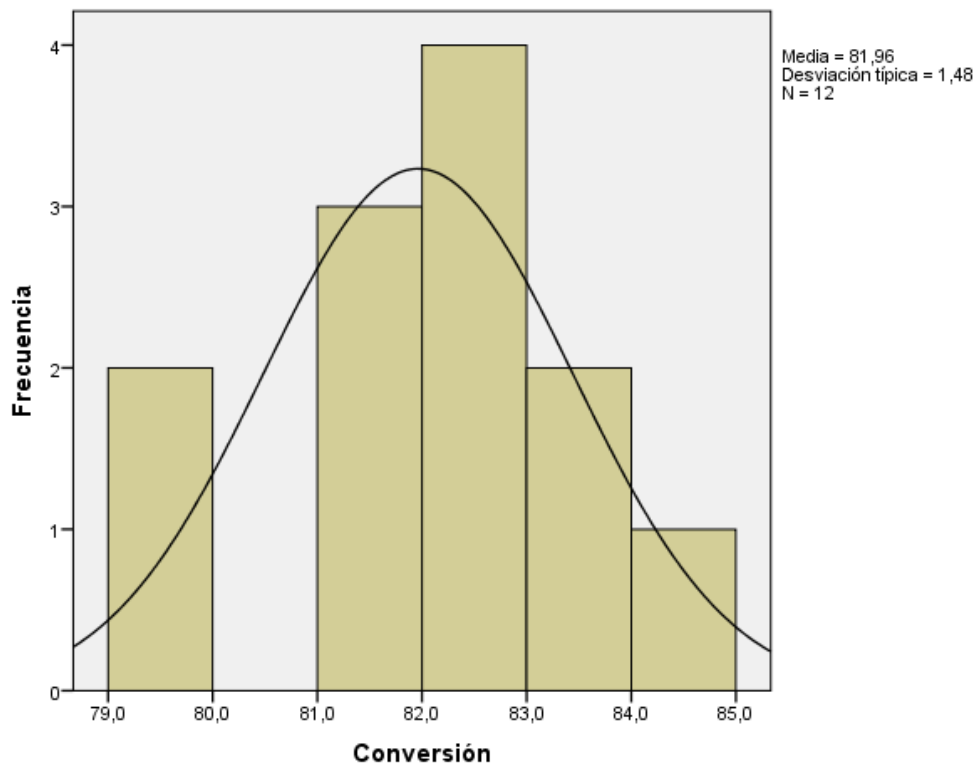


Figura 9. Histograma de la conversión

Dimensión 3: Ganancia volumétrica

Tabla 11.

Análisis de normalidad de la dimensión 3 de la variable independiente

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ganacia volumétrica	.151	12	,200*	.933	12	.418

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

H₀: Los valores de la ganancia volumétrica no difieren de la distribución normal.

H₁: Los valores de la ganancia volumétrica difieren de la distribución normal.

Decisión.

Si la sig < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H₀)

Debido a que la muestra está conformada por 12 datos será conveniente utilizar la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk.

Se observa que la sig = 0.418 > 0.05, entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto los valores tienen distribución normal.

En la Figura 10, se observa que la dispersión de los valores del histograma de la ganancia volumétrica se encuentra centrados.

Es decir, los valores de la ganancia volumétrica tienen distribución normal.

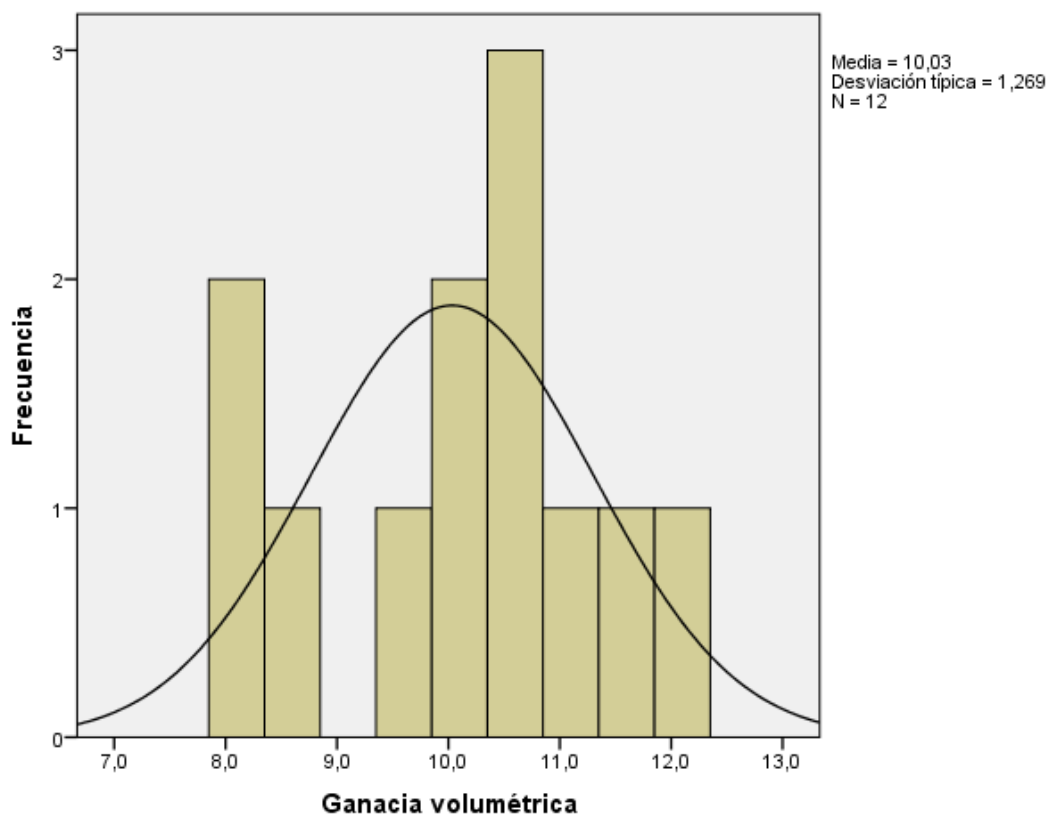


Figura 10. Histograma de la ganancia volumétrica

Variable dependiente: Rentabilidad económica

Tabla 12.

Análisis de normalidad de la variable dependiente

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Rentabilidad económica	.122	12	,200*	.948	12	.603

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

H_0 : Los valores de la rentabilidad económica no difieren de la distribución normal.

H_1 : Los valores de la rentabilidad económica difieren de la distribución normal.

Decisión.

Si la sig < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0)

Debido a que la muestra está conformada por 12 datos será conveniente utilizar la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk.

Se observa que la sig = 0.603 > 0.05, entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto los valores tienen distribución normal.

En la Figura 11, se observa que la dispersión de los valores del histograma de la rentabilidad económica se encuentra centrados.

Es decir, los valores de la rentabilidad económica tienen distribución normal.

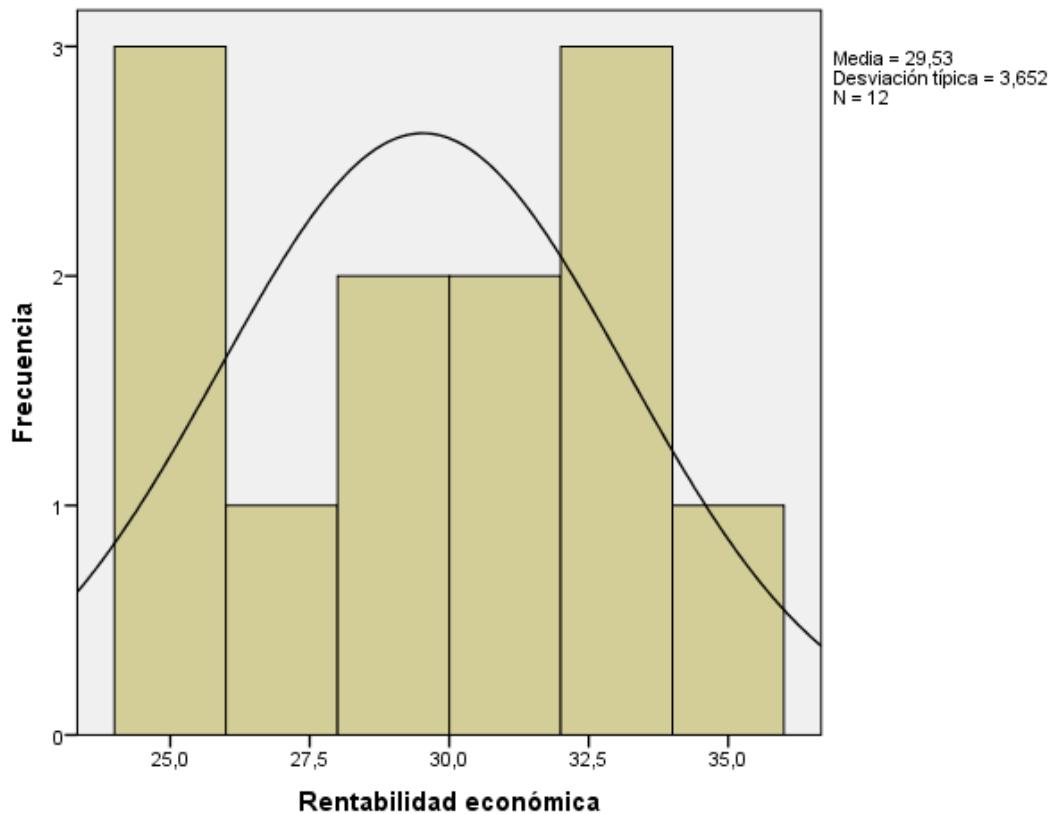


Figura 11. Histograma de la rentabilidad económica

1.3. Contrastación de hipótesis

La prueba de hipótesis se realiza con el estadístico Correlación de Pearson y la medida de correlación con el Coeficiente R de Pearson.

Propósito: medir el grado de correlación.

Hipótesis general

H₀: La Productividad no se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado.

H₁: La Productividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado.

Nivel de significancia (5%): $\alpha = 0.05$

Regla de decisión:

Si p-valor < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H₀)

Si p-valor > 0.05, se acepta la hipótesis nula (H₀)

Tabla 13.

Correlación de Pearson entre los valores de Productividad y Rentabilidad económica

Correlaciones			
		Productividad	Rentabilidad económica
Productividad	Correlación de Pearson	1	,937**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	12	12
Rentabilidad económica	Correlación de Pearson	,937**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	12	12

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Interpretación

De lo observado en la tabla 13, se puede afirmar que existe relación entre la variable productividad y la variable rentabilidad económica, lo cual se verifica con el coeficiente de correlación de Pearson ($\text{sig} = 0.000 < 0.05$, R de Pearson = 0.937).

Por lo tanto, se concluye que existe relación entre la productividad y rentabilidad económica y rechazamos la hipótesis nula.

Modelo de regresión lineal simple

Es una técnica estadística predictiva, no es una prueba estadística tampoco es un estimador o un estadístico, sino una técnica que reúne un conjunto de procedimientos que revisaremos con el modelo más simple, el modelo de regresión lineal simple que tienen dos variables de carácter numérico, una variable independiente y una variable dependiente.

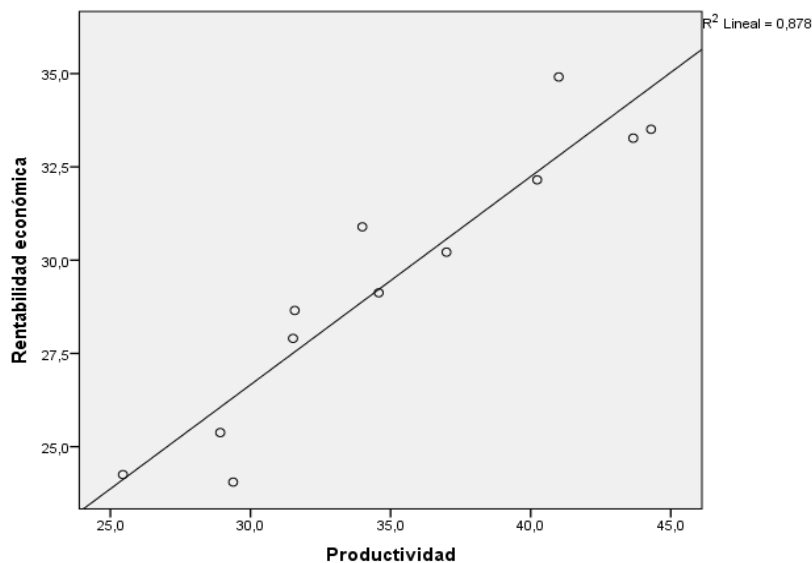


Figura 12. Diagrama de dispersión entre los valores de Productividad y Rentabilidad económica

Interpretación

Una forma sencilla de explorar la relación entre los valores de la productividad y la rentabilidad económica es realizando un diagrama de dispersión, en el eje X se grafica la variable independiente productividad y en el eje Y la variable dependiente rentabilidad económica.

El resultado nos indica que es probable que exista una relación, porque los puntos siguen una tendencia de, a más productividad más rentabilidad económica, incluso al trazar una línea sobre la cual se tendría que calcular sus parámetros se podría predecir la rentabilidad económica en función a la productividad.

El diagrama de dispersión es un procedimiento exploratorio que nos permite identificar qué tipo de relación existe entre las variables, si existe la relación lineal entonces determinaremos el modelo de regresión lineal.

Tabla 14.

Resumen del modelo entre los valores de Productividad y Rentabilidad económica

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,937 ^a	.878	.865	1.3402

a. Variables predictoras: (Constante), Productividad

b. Variable dependiente: Rentabilidad económica

Interpretación

El R^2 del coeficiente de determinación nos dice cuan bien se ajustan los datos al modelo de regresión lineal que se ha planteado.

El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este supuesto los datos se ajustan en 87.8%, aproximadamente el 88% de los datos se ajustan al modelo planteado.

Hipótesis específica 1

H₀: La selectividad no se relaciona con la rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado.

H₁: La selectividad se relaciona con la rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado.

Nivel de significancia (5%): $\alpha = 0.05$

Regla de decisión:

Si p-valor < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H₀)

Si p-valor > 0.05, se acepta la hipótesis nula (H₀)

Tabla 15.

Correlación de Pearson entre los valores de Selectividad y Rentabilidad económica

		Selectividad	Rentabilidad económica
Selectividad	Correlación de Pearson	1	,922**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	12	12
Rentabilidad económica	Correlación de Pearson	,922**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	12	12

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Interpretación

De lo observado en la tabla 17, se puede afirmar que existe relación entre la variable selectividad y la variable rentabilidad económica, lo cual se verifica con el coeficiente de correlación de Pearson ($\text{sig} = 0.000 < 0.05$, R de Pearson = 0.922).

Por lo tanto, se concluye que existe relación entre la selectividad y rentabilidad económica y rechazamos la hipótesis nula.

Modelo de regresión lineal simple

Es una técnica estadística predictiva, no es una prueba estadística tampoco es un estimador o un estadístico, sino una técnica que reúne un conjunto de procedimientos que revisaremos con el modelo más simple, el modelo de regresión lineal simple que tienen dos variables de carácter numérico, una variable independiente y una variable dependiente.

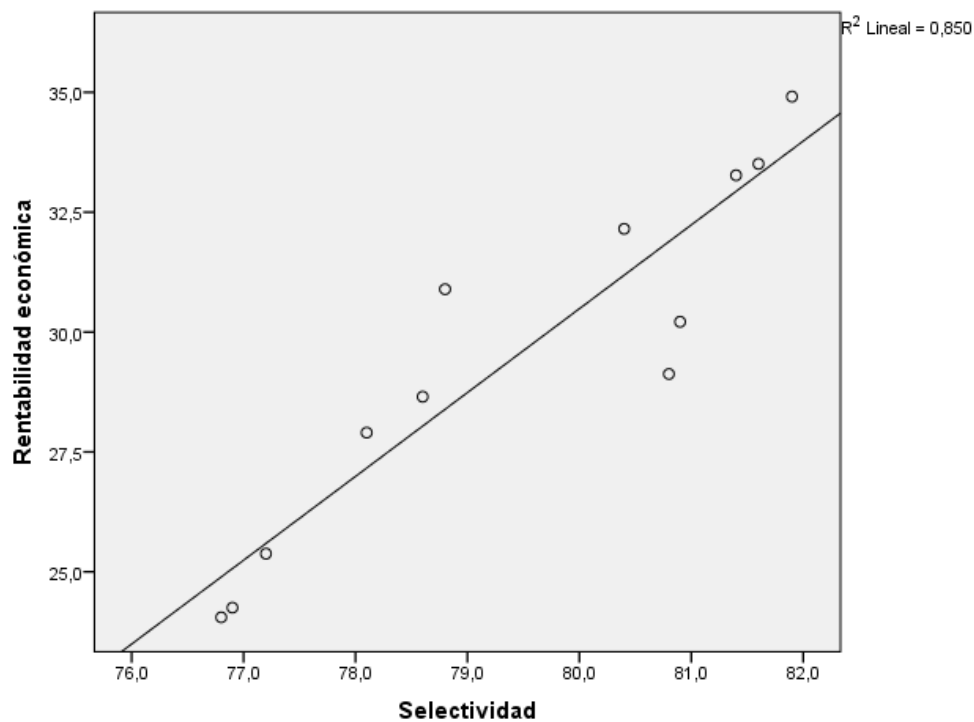


Figura 13. Diagrama de dispersión entre los valores de Selectividad y Rentabilidad económica

Interpretación

Una forma sencilla de explorar la relación entre los valores de la selectividad y la rentabilidad económica es realizando un diagrama de dispersión, en el eje X se grafica la variable independiente selectividad y en el eje Y la variable dependiente rentabilidad económica.

El resultado nos indica que es probable que exista una relación, porque los puntos siguen una tendencia de, a más selectividad más rentabilidad económica, incluso al trazar una línea sobre la cual se tendría que calcular sus parámetros se podría predecir la rentabilidad económica en función a la selectividad.

El diagrama de dispersión es un procedimiento exploratorio que nos permite identificar qué tipo de relación existe entre las variables, si existe la relación lineal entonces determinaremos el modelo de regresión lineal.

Tabla 16.

Resumen del modelo entre los valores de Selectividad y Rentabilidad económica

Resumen del modelo^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,922 ^a	.850	.835	1.4816

a. Variables predictoras: (Constante), Selectividad

b. Variable dependiente: Rentabilidad económica

Interpretación

El R^2 del coeficiente de determinación nos dice cuan bien se ajustan los datos al modelo de regresión lineal que se ha planteado.

El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este supuesto los datos se ajustan en 85.0%, el 85% de los datos se ajustan al modelo planteado.

Hipótesis específica 2

H₀: La conversión no se relaciona con la rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado

H₁: La conversión se relaciona con la rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado

Nivel de significancia (5%): $\alpha = 0.05$

Regla de decisión:

Si p-valor < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H₀)

Si p-valor > 0.05, se acepta la hipótesis nula (H₀)

Tabla 17.

Correlación de Pearson entre los valores de Conversión y Rentabilidad económica

		Conversión	Rentabilidad económica
Conversión	Correlación de Pearson	1	,928**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	12	12
Rentabilidad económica	Correlación de Pearson	,928**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	12	12

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Interpretación

De lo observado en la tabla 21, se puede afirmar que existe relación entre la variable conversión y la variable rentabilidad económica, lo cual se verifica con el coeficiente de correlación de Pearson (sig. = 0.000 < 0.05, R de Pearson = 0.928).

Por lo tanto, se concluye que existe relación entre la conversión y rentabilidad económica y rechazamos la hipótesis nula.

Modelo de regresión lineal simple

Es una técnica estadística predictiva, no es una prueba estadística tampoco es un estimador o un estadístico, sino una técnica que reúne un conjunto de procedimientos que revisaremos con el modelo más simple, el modelo de regresión lineal simple que tienen dos variables de carácter numérico, una variable independiente y una variable dependiente.

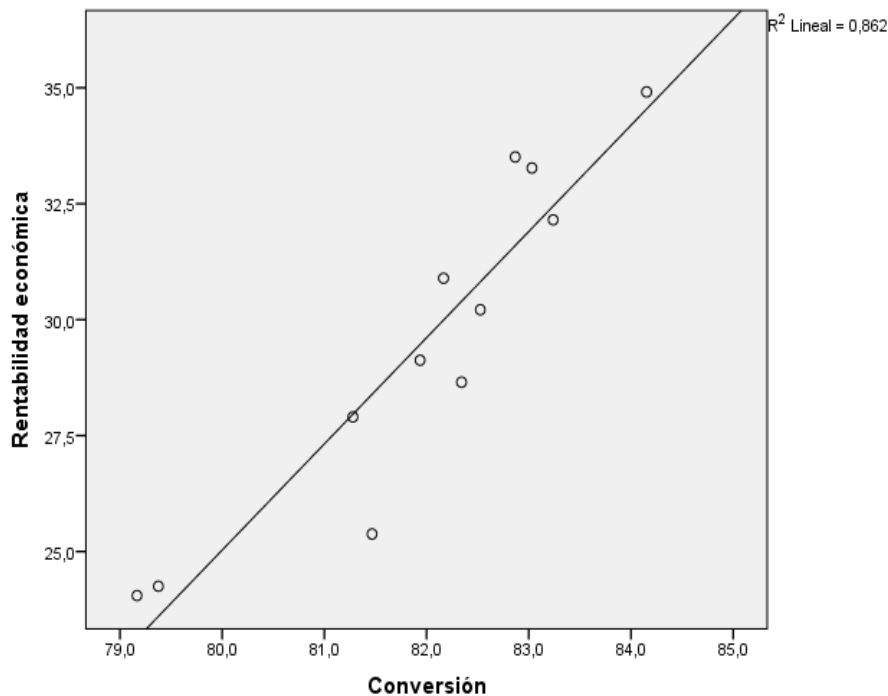


Figura 14. Diagrama de dispersión entre los valores de Conversión y Rentabilidad económica

Interpretación

Una forma sencilla de explorar la relación entre los valores de la conversión y la rentabilidad económica es realizando un diagrama de dispersión, en el eje X se grafica

la variable independiente conversión y en el eje Y la variable dependiente rentabilidad económica.

El resultado nos indica que es probable que exista una relación, porque los puntos siguen una tendencia de, a menos conversión más rentabilidad económica, incluso al trazar una línea sobre la cual se tendría que calcular sus parámetros se podría predecir la rentabilidad económica en función a la conversión.

El diagrama de dispersión es un procedimiento exploratorio que nos permite identificar qué tipo de relación existe entre las variables, si existe la relación lineal entonces determinaremos el modelo de regresión lineal.

Tabla 18.

Resumen del modelo entre los valores de Conversión y Rentabilidad económica

Resumen del modelo^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,928 ^a	.862	.848	1.4226

a. Variables predictoras: (Constante), Conversión

b. Variable dependiente: Rentabilidad económica

Interpretación

El R^2 del coeficiente de determinación nos dice cuan bien se ajustan los datos al modelo de regresión lineal que se ha planteado.

El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este supuesto los datos se ajustan en 86.2%, más del 86% de los datos se ajustan al modelo planteado.

Hipótesis específica 3

H₀: La ganancia volumétrica no se relaciona con la rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado

H₁: La ganancia volumétrica se relaciona con la rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado

Nivel de significancia (5%): $\alpha = 0.05$

Regla de decisión:

Si p-valor < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H₀)

Si p-valor > 0.05, se acepta la hipótesis nula (H₀)

Tabla 19.

Correlación de Pearson entre los valores de Ganancia volumétrica y Rentabilidad económica

		Ganacia volumétrica	Rentabilidad económica
Ganacia volumétrica	Correlación de Pearson	1	,926**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	12	12
Rentabilidad económica	Correlación de Pearson	,926**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	12	12

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Interpretación

De lo observado en la tabla 25, se puede afirmar que existe relación entre la variable ganancia volumétrica y la variable rentabilidad económica, lo cual se verifica con el coeficiente de correlación de Pearson (sig. = 0.000 < 0.05, R de Pearson = 0.926).

Por lo tanto, se concluye que existe relación entre la ganancia volumétrica y rentabilidad económica y rechazamos la hipótesis nula.

Modelo de regresión lineal simple

Es una técnica estadística predictiva, no es una prueba estadística tampoco es un estimador o un estadístico, sino una técnica que reúne un conjunto de procedimientos que revisaremos con el modelo más simple, el modelo de regresión lineal simple que tienen dos variables de carácter numérico, una variable independiente y una variable dependiente.

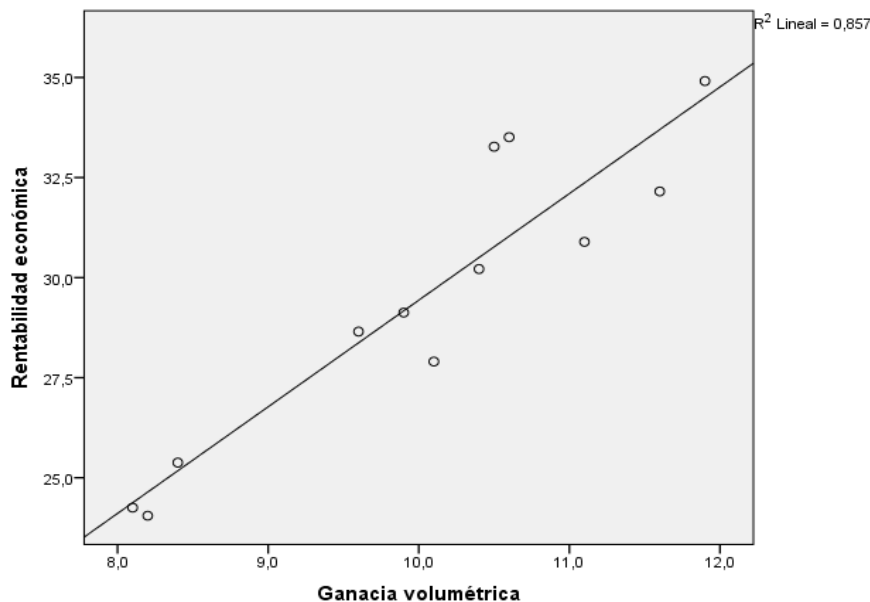


Figura 15. Diagrama de dispersión entre los valores de Ganancia volumétrica y Rentabilidad económica

Interpretación

Una forma sencilla de explorar la relación entre los valores de la ganancia volumétrica y la rentabilidad económica es realizando un diagrama de dispersión, en el eje X se grafica la variable independiente ganancia volumétrica y en el eje Y la variable dependiente rentabilidad económica.

El resultado nos indica que es probable que exista una relación, porque los puntos siguen una tendencia de, a menos conversión más rentabilidad económica, incluso al trazar una línea sobre la cual se tendría que calcular sus parámetros se podría predecir la rentabilidad económica en función a la ganancia volumétrica.

El diagrama de dispersión es un procedimiento exploratorio que nos permite identificar qué tipo de relación existe entre las variables, si existe la relación lineal entonces determinaremos el modelo de regresión lineal.

Tabla 20.

Resumen del modelo entre los valores de Ganancia volumétrica y Rentabilidad económica

Resumen del modelo^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,926 ^a	.857	.843	1.4461

a. Variables predictoras: (Constante), Ganacia volumétrica

b. Variable dependiente: Rentabilidad económica

Interpretación

El R^2 del coeficiente de determinación nos dice cuan bien se ajustan los datos al modelo de regresión lineal que se ha planteado.

El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este supuesto los datos se ajustan en 85.7%, más del 85% de los datos se ajustan al modelo planteado.

II. Discusión

Con la investigación se ha comprobado que la Productividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,937 = 93.7\%$. Este resultado verifica las conclusiones de las investigaciones de los doctores Orlicki, Navarro (2013).

Por otro lado, con la investigación se ha comprobado que la Selectividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,922 = 92.2\%$.

Los resultados se ratifican con las conclusiones de la tesis de Orlicki (2013), quien señala que los modelos estadísticos y correlaciones utilizados en este trabajo permiten no solamente descifrar las relaciones fundamentales y las influencias típicas de la carga y/o propiedades del catalizador sobre la selectividad de las reacciones de cracking, sino también maximizar la rentabilidad económica.

Además, con la investigación se ha comprobado que la Conversión se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,928 = 92.8\%$.

Este resultado también corrobora las conclusiones de la tesis de Orlicki (2013), quien indica que teniéndose un punto de máxima conversión (MPC), se tiene un rendimiento potencial máximo de gasolina; más allá de este punto el rendimiento de gasolina empieza a disminuir debido a las reacciones de cracking de segundo orden (sobre craqueo); y, de la tesis de Stratiev (2007), quien refiere las confiabilidades de las correlaciones fueron verificadas en las condiciones actuales de la planta, concluyéndose que existe una buena consistencia entre los valores calculados y observados en planta, en la conversión y la rentabilidad económica.

Por último, con la investigación se ha comprobado que la Ganancia volumétrica se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,926 = 92.6\%$.

Los resultados confirman las conclusiones de la tesis de Orlicki (2013), quien señala que se puede apreciar el beneficio económico en toda la refinería debido al efecto de la expansión volumétrica o ganancia volumétrica de la carga, al convertir la carga de alto peso molecular en productos valiosos y de bajo peso molecular, tales como la gasolina, diesel y gas licuado de petróleo.

III. Conclusiones

Primera: De los resultados obtenidos en la investigación, se observa que la Productividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,937 = 93.7\%$.

En las evaluaciones realizadas en 12 meses en la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado se encontró que existe una alta correlación ($r = 0,937$) entre los valores de la productividad y la rentabilidad económica.

El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este supuesto, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.878$ nos dice que aproximadamente el 88% de los datos se ajustan al modelo planteado.

Descriptivamente y estadísticamente queda demostrada la relación directa y significativa entre Productividad y Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado.

Segunda: De los resultados obtenidos en la investigación, se observa que la Selectividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,922 = 92.2\%$.

En las evaluaciones realizadas en 12 meses en la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado se encontró que existe una alta correlación ($r = 0,922$) entre los valores de la selectividad y la rentabilidad económica.

El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este supuesto, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.850$ nos dice que el 85% de los datos se ajustan al modelo planteado.

Descriptivamente y estadísticamente queda demostrada la relación directa y significativa entre Selectividad y Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado.

Tercera: De los resultados obtenidos en la investigación, se observa que la Conversión se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,928 = 92.8\%$.

En las evaluaciones realizadas en 12 meses en la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado se encontró que existe una alta correlación ($r = 0,928$) entre los valores de la conversión y la rentabilidad económica.

El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este supuesto, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.862$ nos dice que más del 86% de los datos se ajustan al modelo planteado.

Descriptivamente y estadísticamente queda demostrada la relación directa y significativa entre Conversión y Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado.

Cuarta: De los resultados obtenidos en la investigación, se observa que la Ganancia volumétrica se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,926 = 92.6\%$.

En las evaluaciones realizadas en 12 meses en la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado se encontró que existe una alta correlación ($r = 0,926$) entre los valores de la ganancia volumétrica y la rentabilidad económica.

El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este supuesto, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.857$ nos dice que aproximadamente el 86% de los datos se ajustan al modelo planteado.

Descriptivamente y estadísticamente queda demostrada la relación directa y significativa entre Ganancia volumétrica y Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado.

IV. Recomendaciones

Primera: Teniendo en cuenta la investigación realizada sobre la productividad y rentabilidad de la unidad de craqueo catalítico fluidizado, lo que podemos recomendar: es incrementar la productividad, mediante la optimización en los rendimientos de productos valiosos tales como gasolina y gas licuado de petróleo, incrementando la conversión de fondos (menos producción de aceite cíclico ligero, pesado y aceite clarificado); esto se verá reflejado en una mayor rentabilidad, mayores divisas para la refinería. Otro factor influyente en el incremento de la productividad es la selección de materia prima, de menor costo y con mejores propiedades fisicoquímicas.

Segunda: La selectividad a nafta o gasolina, es el rendimiento deseado a este producto, por tanto se recomienda analizar el rendimiento potencial máximo de gasolina, definido como el rendimiento en el punto de máxima conversión, lo cual está orientado por la composición química de la carga y por la distribución de las familias de hidrocarburos presentes. Este valor es importante para la refinería, pues permite optimizar y ajustar la unidad para garantizar que se obtenga este rendimiento potencial y permitiendo el incremento en la rentabilidad. Las condiciones mecánicas y operacionales, así como el tipo de catalizador son variables importantes para revisar.

Tercera: Se recomienda el uso de herramientas de control estadístico de procesos como regresión lineal para poder identificar la relación existente entre la conversión y el rendimiento de gasolina, en función de algunas variables de operación como temperatura de reacción y relación catalizador/aceite para ver su efecto en la rentabilidad de la unidad y el beneficio económico de la refinería.

Cuarta: Analizar el efecto de la temperatura de reacción sobre la expansión volumétrica, buscando la optimización en los rendimientos de productos valiosos como gasolina y gas licuado de petróleo.

Quinta: Desarrollar modelos estadísticos multivariados basados en datos operacionales de la unidad para la optimización, monitoreo y solución de problemas operacionales relacionados con el tipo o calidad de carga, condiciones de operación

y limitaciones mecánicas; buscando una mejor productividad y rentabilidad de la unidad de craqueo catalítico fluidizado.

V. Referencias

- Bernal, C. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: Prentice Hall.
- Chaudhuri, R. (2011). *Fundamentals of Petroleum and Petrochemical Engineering*. Editorial Taylor and Francis Group. California, U.S.A.
- Grace, D (1996). *Guide to Fluid Catalytic Cracking*. Maryland, U.S.A.
- Guisnet, M. y Gilson, J. (2002). *Zeolites for Cleaner Technologies*. Editorial Graham J. Hutchings. Danvers, U.S.A.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2010) *Metodología de la Investigación*. México: Mcgraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- Hollander den M., Wissink, M., Makkee, M., y Moulijn, J. (2002). *Gasoline conversion: reactivity towards cracking with equilibrated FCC and ZSM-5 catalysts*. International Applied Catalysis Magazine, 223pp. 85-102.
- Kunii, D. y Levespiel, O. (1991). *Fluidization Engineering*. (2da. Ed). Elsevier B.V. Gulf of Mexico, USA.
- Magee, J. y Dolbear, G. (1998). *Petroleum Catalysis in Nontechnical Language*. (1ra. Ed). Penn Well Publishing Company. Tulsa, USA.
- Navarro, U., y Orlicki, D. (2015). *Catalyst design for the maximization of valuable products in the FCC unit*. Grace Davison Refining Technologies. Columbia, USA.
- Navarro, U., y Orlicki, D. (2015). *How to estimate product yields cost-effectively and improve operations*. Hydrocarbon Processing. 101pp. 41-52.
- Newbold, P., Carlson, W., y Thorne, B. (2008). *Estadística para administración y economía*. (6ta. Ed). Pearson Educación. Madrid, España.

- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E. y Villagómez, A. (2014). *Metodología de la Investigación: Cuantitativa, Cualitativa y Redacción de la tesis*. (4ta. Ed). Ediciones de la U. Bogotá, Colombia.
- Ocelli, M. (2010). *Advances in Fluid Catalytic Cracking*. Elsevier B.V. Georgia, U.S.A.
- Rahimi, N. y Karimzadeh, R. (2011). *Catalytic cracking of hydrocarbons over modified ZSM-5 Zeolites to produce light olefins*. International Applied Catalysis Magazine. 398pp. 1-17.
- Rozanska, X. y Van Santen, R. (2003). *Reaction Mechanism in Zeolites Catalysis*. Editorial Marcel Dekker, Inc. Eindhoven, Netherlands.
- Sadeghbeigi, Reza. (2000). *Fluid Catalytic Cracking Handbook*. (2da. Ed). Editorial Butterworth-Heinemann. Houston, U.S.A.
- Sherzer, J. (1990). *Octane-Enhancing Zeolitic FCC Catalyst*. (1ra Ed). Editorial Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Valderrama, S. (2015). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. (2da. Ed). Editorial San Marcos. Lima, Perú
- Weiers, R. (2010). *Introducción a la estadística para los negocios*. (5ta. Ed). Cengage Learning Editors S.A. México D.F.
- Wen-Chin, Y. (2003). *Handbook of Fluidization and Fluid-Particle Systems*. Editorial Marcel Dekker, Inc. Pittsburg, Pennsylvania, U.S.A
- Wilson, J. (1997). *Fluid Catalytic Cracking Technology and Operation*. Penn Well Publishing Company. Tulsa, Oklahoma, U.S.A.

Anexos

Anexo 1

Artículo Científico

Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (UCCF)

Mario Alejandro Sánchez Bueno
Mariosanchez29@gmail.com
Colegio de Ingenieros del Perú

Resumen

La presente investigación titulada: "Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (UCCF)", tuvo como objetivo general determinar la relación que existe entre la Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado. El tipo de investigación fue según su finalidad: aplicada, de nivel correlacional, de enfoque cuantitativo. El diseño fue no experimental - transaccional o transversal-descriptivo correlacional. La población estuvo formada por los datos operacionales de la Refinería de Talara referidos a las variables bajo estudio: Productividad y Rentabilidad, la muestra por datos operacionales de los 12 últimos meses de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado correspondiente al año 2016, referidos a las variables bajo estudio: Productividad y Rentabilidad y el muestreo fue de tipo no probabilístico intencional o de conveniencia. La técnica empleada para recolectar información fue análisis documental y como instrumento se diseñaron formatos (fichas de observación) para la recopilación de los datos numéricos que apoyaron la investigación. Los modelos de regresión y el test ANOVA fueron desarrollados en SPSS 22. Las variables dependiente fue la rentabilidad y las variables independientes fueron, selectividad, conversión y ganancia o expansión volumétrica. La metodología usada para el desarrollo de los modelos fue el análisis de regresión por pasos, dependiente de los valores de "p" con un nivel de significancia de 0.05. El modelo de regresión entre la selectividad y la rentabilidad fue obtenido con un valor de R² de 0.850, mientras que los modelos para conversión y expansión o ganancia volumétrica con la rentabilidad fueron obtenidos con valores de R² de 0.862 y 0.857 respectivamente.

Palabras claves: UCCF, selectividad, conversión, ganancia volumétrica, correlaciones.

Abstract

The present researching: "Productivity and Profitability of Fluid Cracking Catalytic Fluid Unit (FCC)", its main aim is to determine the relation between the Productivity and Profitability of Fluid Cracking Catalytic Fluid Unit. The type of research was applied research, correlation, quantitative approach. The design was not experimental - transverse - descriptive correlational. The target population of study was Refinery's operational data related to the variables: Productivity and Profitability, the sample was operational data of the last 12 months in 2016, the sampling was not probabilistic intentionally or convenience. Data collection was the systematic approach to gathering and measuring information from documental analysis and as instrument observation sheets were designed for the collection of numerical data that supported the researching. The regression analysis and ANOVA was performed in SPSS 22. The dependent variable was profitability and independent was selectivity, conversion and volumetric expansion. The methodology used to develop the models is the backward elimination procedure which is dependent on p-value of parameters with a significant level of 0.05. The regression model for selectivity and Profitability was obtained with R^2 value of 0.85, while models for conversion and volumetric expansion with profitability were obtained with R^2 values 0.862 and 0.857 respectively.

Key words: FCC, selectivity, conversion, volumetric expansion, correlations.

1. Introducción

El Craqueo Catalítico Fluidizado (de sus siglas en inglés, FCC), es un proceso para convertir hidrocarburos que ebulen en el rango 350 - 550 °C, típicamente gasóleos de vacío, en productos de alto valor agregado, como gasolinas y gas licuado del petróleo (GLP), utilizando un catalizador sólido en lecho fluidizado. Está orientado a la conversión de fracciones pesadas en productos más livianos y más valiosos utilizando un catalizador. Las unidades de craqueo catalítico son las que contribuyen en mayor proporción al conjunto de gasolina producida en la refinería (pool). De ahí que, un gran esfuerzo tecnológico está orientado tanto hacia el desarrollo de tecnologías de proceso como de catalizadores. El objetivo ha sido y

es el de maximizar la cantidad y calidad de la gasolina catalítica, como la del gas licuado del petróleo obtenida en craqueo catalítico y usarlo como materia prima para alquilación, y petroquímica.

El catalizador de ruptura catalítica fluidizada es un polvo fino y poroso compuesto de óxidos de silicio y aluminio, y la función catalítica predominante es la acidez; tanto los sitios ácidos del tipo Bronsted como Lewis, están asociados con el aluminio. Los componentes contenidos en la mayoría de catalizadores son: zeolita, arcilla, matriz activa y aglutinante o ligante.

El catalizador modifica, profundamente, el mecanismo de ruptura de los enlaces entre átomos de carbono y aumenta la velocidad de transformación. Permite, asimismo, reducir la severidad de las reacciones y, en consecuencia, eliminar la mayor parte de las reacciones secundarias, productoras de gas, coque y residuos pesados, con detrimento de la gasolina.

El catalizador puede ser una arcilla natural o más frecuentemente, un producto sintético, como un sílico aluminato, cuyas propiedades físicas y químicas pueden ser mejoradas y controladas. A pesar de comportarse como un catalizador en las reacciones que provoca, no permanece inalterado, pues se recubre de coque, que le hace perder su actividad. El coque se elimina por combustión con lo que el catalizador recupera su actividad.

Las gasolinas de cracking catalítico, y en particular, sus fracciones ligeras contienen muchas estructuras isomerizadas, tanto olefínicas como parafínicas, mientras que sus fracciones pesadas son marcadamente, aromáticas. Los butanos, producidos en gran cantidad están asimismo, isomerizados en fuertes proporciones y la concentración en olefinas del corte C3 - C4 es también importante. Se encuentran muy pocas diolefinas y estructuras policíclicas complicadas y los productos líquidos pesados están también en escasas cantidades. Estos son los rasgos principales que diferencian el cracking catalítico del térmico.

Actualmente, las cargas a la Unidad FCC está compuesta por 12 300 BPD Gasóleo Pesado y Liviano de la Unidad de Destilación de Vacío (UDV), 1 200 BPD de Residuo Atmosférico y 4500 BPD de Diesel. La temperatura de la carga combinada se encuentra alrededor de 410°F (210°C), la temperatura de reacción es de 960°F y con una adición de catalizador fresco de 3.5 toneladas por día (TPD). Las reacciones de craqueo son endotérmicas; el balance de calor se obtiene por la combustión en el regenerador del coque producido y depositado en el catalizador. Los principales productos de la Unidad FCC son: Gas Licuado de Petróleo (GLP), Nafta Craqueada, Aceite Cíclico Ligero (Light Cycle Oil - LCO), Aceite Clarificado (Decant Cycle Oil – DCO); los sub-productos son: Gas Seco (Gas de refinería), Coque (depositado en el catalizador, se quema en el regenerador produciendo energía y el calor necesario para la reacción). Debido a la variabilidad del tipo de cargas, condiciones de operación y adición de catalizador fresco (factores influyentes en la productividad de una unidad de UCCF); se plantean las siguientes interrogantes: ¿Son los factores adecuados para una buena productividad y rentabilidad de la unidad?, ¿podemos prever una mejor rentabilidad, teniendo en cuenta que existe variabilidad en los factores de la productividad?, ¿cuentan con modelos matemáticos de regresión que les permita prever la relación entre productividad y rentabilidad?, ¿existe una relación entre selectividad, conversión y ganancia volumétrica (dimensiones relacionadas con la productividad de una unidad UCCF) y rentabilidad?, ¿existe un modelo de producción o procedimientos que formalice y estandarice la mejor productividad y rentabilidad en la unidad?, ¿existe un registro donde se señale la variación entre productividad y rentabilidad?. Para poder responder estas interrogantes es necesario el conocimiento de las correlaciones existentes entre los factores que influyen directamente en la productividad (condiciones de operación, rendimientos, propiedades de la carga, etc). Este conocimiento permitirá evaluar los resultados obtenidos entre las dimensiones de la variable independiente con la variable dependiente (rentabilidad), por consiguiente permitirá optimizar la unidad UCCF.

La literatura técnica y las experiencias adquiridas transmiten varias informaciones en base a las cuales se procura establecer la ecuación entre la variable independiente y dependiente de la unidad UCCF; sin embargo las características

propias de diseño, configuración mecánica y rango de valores de las variables pueden tener influencia decisiva en los resultados.

Se seleccionaron de los registros diarios de operación, datos operacionales de los 12 últimos meses de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado correspondiente al año 2016. Como resultado, uno de los grandes desafíos en craqueo catalítico fluidizado es primero, como modelar matemáticamente, mediante modelos de regresión la relación entre la productividad y rentabilidad económica, para luego evaluar su performance. Sin embargo es necesario aclarar que más importante que el valor absoluto de las predicciones deducibles a partir de las correlaciones establecidas, es sin duda el análisis de la importancia relativa de cada variable y del sentido de variación que ellas influyen en la operación de la unidad UCCF.

2. Metodología

En el presente estudio se utilizaron dos procedimientos de análisis de datos. El primero se denomina Estadística descriptiva, el cual tiene como finalidad conocer el nivel de las variables de estudio. Los datos son presentados en tablas, donde se especifican los estadísticos descriptivos, tanto para las variables como para cada una de las dimensiones. El segundo análisis que se realiza en el presente estudio es la Estadística inferencial, el cual se empieza con la prueba de normalidad para determinar si se usa estadísticos paramétricos o no paramétricos para la contrastación de la hipótesis. Luego de la prueba de normalidad se determina el grado de correlación de las variables utilizando el estadístico Coeficiente de correlación r de Pearson, en vista que los datos se ajustan a una distribución normal, es decir se utilizaron estadísticos paramétricos para contrastar las hipótesis de estudio.

Para medir la fuerza de cualquier relación lineal entre un par de variables aleatorias se utilizan coeficientes de correlación. Se analiza la relación lineal entre un par de variables, desde el punto de vista de la dependencia de una de la otra.

Los modelos lineales no son tan restrictivos como podría parecer para el análisis empresarial y económico aplicado, menudo constituyen una buena aproximación de una relación en el intervalo examinado.

Un modelo lineal se representa por medio de la ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

Donde:

β_0 : representa la ordenada en el origen Y de la ecuación, y

β_1 : es la pendiente

3. Resultados y Discusión

De los resultados obtenidos en la investigación, se observa que la Productividad se relaciona con la Rentabilidad económica, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,937 = 93.7\%$. El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este supuesto, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.878$ nos dice que aproximadamente el 88% de los datos se ajustan al modelo planteado. La Selectividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,922 = 92.2\%$. El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este supuesto, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.850$ nos dice que el 85% de los datos se ajustan al modelo planteado. La Conversión se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,928 = 92.8\%$. El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este supuesto, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.862$ nos dice que más del 86% de los datos se ajustan al modelo planteado. La Ganancia volumétrica se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, hallándose un valor calculado para $p = 0,000$ a un nivel de significancia de 0,05 y un nivel de correlación r de Pearson de $0,926 = 92.6\%$. El modelo planteado es una regresión lineal simple y bajo este

supuesto, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.857$ nos dice que aproximadamente el 86% de los datos se ajustan al modelo planteado.

4. Conclusiones

Cuatro modelos de regresiones lineales se han desarrollado con la finalidad de obtener la relación entre productividad, selectividad, conversión y ganancia volumétrica con la rentabilidad. Los modelos proporcionan como la productividad, selectividad, conversión y ganancia volumétrica se han desarrollado durante el periodo 2016 en la unidad UCCF. Estos modelos también proporcionan un análisis de como las condiciones de operación, variabilidad de las cargas han influenciado en la rentabilidad económica de la unidad; cruciales para un desarrollo futuro de modelos multivariantes que permitan una mejor optimización en los procesos y beneficio económico para la refinería.

Referencias Bibliográficas

- Bernal, C. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: Prentice Hall.
- Chaudhuri, R. (2011). *Fundamentals of Petroleum and Petrochemical Engineering*. Editorial Taylor and Francis Group. California, U.S.A.
- Grace, D (1996). *Guide to Fluid Catalytic Cracking*. Maryland, U.S.A.
- Guisnet, M. y Gilson, J. (2002). *Zeolites for Cleaner Technologies*. Editorial Graham J. Hutchings. Danvers, U.S.A.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2010) *Metodología de la Investigación*. México: Mcgraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- Hollander den M., Wissink, M., Makkee, M., y Moulijn, J. (2002). *Gasoline conversion: reactivity towards cracking with equilibrated FCC and ZSM-5 catalysts*. International Applied Catalysis Magazine, 223pp. 85-102.
- Kunii, D. y Levespiel, O. (1991). *Fluidization Engineering*. (2da. Ed). Elsevier B.V. Gulf of Mexico, USA.
- Magee, J. y Dolbear, G. (1998). *Petroleum Catalysis in Nontechnical Language*. (1ra. Ed). Penn Well Publishing Company. Tulsa, USA.
- Navarro, U., y Orlicki, D. (2015). *Catalyst design for the maximization of valuable products in the FCC unit*. Grace Davison Refining Technologies. Columbia, USA.
- Navarro, U., y Orlicki, D. (2015). *How to estimate product yields cost-effectively and improve operations*. Hydrocarbon Processing. 101pp. 41-52.

- Newbold, P., Carlson, W., y Thorne, B. (2008). *Estadística para administración y economía*. (6ta. Ed). Pearson Educación. Madrid, España.
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E. y Villagómez, A. (2014). *Metodología de la Investigación: Cuantitativa, Cualitativa y Redacción de la tesis*. (4ta. Ed). Ediciones de la U. Bogotá, Colombia.
- Ocelli, M. (2010). *Advances in Fluid Catalytic Cracking*. Elsevier B.V. Georgia, U.S.A.
- Rahimi, N. y Karimzadeh, R. (2011). *Catalytic cracking of hydrocarbons over modified ZSM-5 Zeolites to produce light olefins*. International Applied Catalysis Magazine. 398pp. 1-17.
- Rozanska, X. y Van Santen, R. (2003). *Reaction Mechanism in Zeolites Catalysis*. Editorial Marcel Dekker, Inc. Eindhoven, Netherlands.
- Sadeghbeigi, Reza. (2000). *Fluid Catalytic Cracking Handbook*. (2da. Ed). Editorial Butterworth-Heinemann. Houston, U.S.A.
- Sherzer, J. (1990). *Octane-Enhancing Zeolitic FCC Catalyst*. (1ra Ed). Editorial Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Weiers, R. (2010). *Introducción a la estadística para los negocios*. (5ta. Ed). Cengage Learning Editors S.A. México D.F.
- Wen-Chin, Y. (2003). *Handbook of Fluidization and Fluid-Particle Systems*. Editorial Marcel Dekker, Inc. Pittsburg, Pennsylvania, U.S.A
- Wilson, J. (1997). *Fluid Catalytic Cracking Technology and Operation*. Penn Well Publishing Company. Tulsa, Oklahoma, U.S.A.

Anexo 2

Matriz de consistencia

Titulo	Pregunta de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumento de medición
Productividad y Rentabilidad de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016	Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Productividad	Uso eficiente de recursos trabajo, capital, tierra, materiales, energía, información en la producción de diversos bienes y servicios. (Prokopenko, 1989, p.3)	La investigación se fundamenta en el estudio de la variable Productividad que será medida a través de la maximización de la selectividad, la conversión y la ganancia volumétrica en la Unidad de craqueo catalítico fluidizado.	Selectividad	$\frac{\% \text{ en volumen de gasolina}}{\text{Conversión}}$	Intervalo	Registros en Formatos de Recoleccion de datos
	¿Qué relación existe entre la Productividad y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016?	Determinar la relación que existe entre la Productividad y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.	La Productividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.				Conversión	100 - (% en volumen LCO + % en volumen HCO + % en volumen aceite clarificado)		
	Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas				Ganancia volumétrica	% en volumen gasolina + % en volumen GLP + % en volumen LCO + Rendimiento HCO + % en volumen aceite clarificado - 100		
	¿Qué relación existe entre la Selectividad y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016?	Determinar la relación que existe entre la Selectividad y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.	La Selectividad se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.	Rentabilidad	Es uno de los objetivos que se traza toda empresa para conocer el rendimiento de lo invertido al realizar una serie de actividades en un determinado período de tiempo. Se puede definir además, como el resultado de las decisiones que toma la administración de una empresa. (Sánchez,	La investigación se fundamenta en el estudio de la variable Rentabilidad que será medida a través de la maximización de la rentabilidad económica en la Unidad de craqueo catalítico fluidizado.	Rentabilidad económica	(Rendimiento de gasolina * precio venta gasolina + Rendimiento de GLP * precio de venta GLP + Rendimiento de LCO * precio de venta LCO + Rendimiento de aceite clarificado * precio de venta aceite clarificado) - Adición de catalizador * costo del catalizador		
	¿Qué relación existe entre la Conversión y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016?	Determinar la relación que existe entre la Conversión y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.	La Conversión se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.							
	¿Qué relación existe entre la Ganancia volumétrica y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016?	Determinar la relación que existe entre la Ganancia volumétrica y la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.	La Ganancia volumétrica se relaciona con la Rentabilidad económica de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, Lima, 2016.							

Anexo 3

Matriz de Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Definición conceptual	Indicadores	Técnica	Instrumento
V1 Productividad	Uso eficiente de recursos trabajo, capital, tierra, materiales, energía, información en la producción de diversos bienes y servicios. (Prokopenko, 1989, p.3)	La investigación se fundamenta en el estudio de la variable Productividad que será medida a través de la maximización de la selectividad, la conversión y la ganancia volumétrica en la Unidad de craqueo catlítico fluidizado.	Selectividad	La habilidad de un catalizador para optimizar rendimientos deseados. Ejm: "selectividad a gasolina" (produciendo altos rendimientos de gasolina). (Grace Davison Manual de FCC, vol III, 2015, p.310)	= (%vol de gasolina/conversion)*100%	Observación	Registros en Formatos de Recoleccion de datos
			Conversión	La conversion es el porcentaje de volumen de alimento fresco convertido a gasolina, productos mas livianos y coque en el proceso catalitico. Tambien se define como desaparicion de gasoleo (alimentacion fresca), (Grace Davison Manual de FCC, vol III, 2015, p.303)	= 100 - (% en volumen aceite ciclico ligero + % en volumen aceite clarificado)		
			Ganancia volumétrica		= % en volumen gasolina + % en volumen GLP + % en volumen aceite ciclico ligero + % en volumen aceite clarificado - 100		
V2 Rentabilidad	Es uno de los objetivos que se traza toda empresa para conocer el rendimiento de lo invertido al realizar una serie de actividades en un determinado período de tiempo. Se puede definir además, como el resultado de las decisiones que toma la administración de una empresa. (Sánchez, 2012)	La investigación se fundamenta en el estudio de la variable Rentabilidad que será medida a través de la maximización de la rentabilidad económica en la Unidad de craqueo catlítico fluidizado.	Rentabilidad económica		(Rendimiento de gasolina * precio venta gasolina + Rendimiento de GLP * precio de venta GLP + Rendimiento de LCO * precio de venta LCO + Rendimiento de aceite clarificado * precio de venta aceite clarificado) - (Carga Combinada*costo de la carga combinada + Adición de catalizador * costo del catalizador)		

Anexo 4

Recolección de datos

Mes	Productividad USD ingreso/USD egreso	Selectividad (%)	Conversión (%)	Ganancia volumétrica (%)	Rentabilidad económica millones USD/mes
dic-15	34.6	80.8	81.9	9.9	29.1
ene-16	43.7	81.4	83.0	10.5	33.3
feb-16	44.3	81.6	82.9	10.6	33.5
mar-16	31.5	78.1	81.3	10.1	27.9
abr-16	37.0	80.9	82.5	10.4	30.2
may-16	41.0	81.9	84.2	11.9	34.9
jun-16	40.2	80.4	83.2	11.6	32.2
jul-16	34.0	78.8	82.2	11.1	30.9
sep-16	25.4	76.9	79.4	8.1	24.3
oct-16	28.9	77.2	81.5	8.4	25.4
nov-16	29.4	76.8	79.2	8.2	24.1
dic-16	31.6	78.6	82.3	9.6	28.7