

50521
60



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"

ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA AL SEGUIMIENTO Y APLICACIÓN
DE LAS TÉCNICAS ESTADÍSTICAS CONTEMPLADAS DENTRO DEL
SISTEMA DE CALIDAD ISO-9002 DE LA REFINERÍA "MIGUEL HIDALGO"
EN LA UNIDAD REFORMADORA DE GASOLINA (U-500) DEL
SECTOR 8 (HIDROS II).

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O Q U I M I C O

P R E S E N T A N :

M A R I A N A P E R E Z M A Q U E D A

F E R N A N D O R E F U G I O V A L A D E Z Q U I N T E R O

DIRECTORA: M. EN C. MARIA DE JESUS CUERVO CAMPOS

ASESORA: M. EN C. MARIA JOSE MARQUES DOS SANTOS

MEXICO, D. F.

JUNIO 2003.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/014/03

ASUNTO: Asignación de Jurado

***ALUMNO: PEREZ MAQUEDA MARIANA ***
P r e s e n t e .

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	I.Q. Magín Enrique Juárez Villar
Vocal:	M. en C. María de Jesús Cuervo Campos
Secretario:	M. en C. María José Marques Dos Santos
Suplente:	Biol. Guillermo González Martínez
Suplente:	I.Q. Martha Flores Becerril

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
México, D.F., 24 Febrero del 2003.

EL JEFE DE LA CARRERA

M. EN C. ANDRES AQUINO CANCHOLA



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/015/03

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: VALADEZ QUINTERO FERNANDO R.

P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:



Presidente:	I.Q. Magín Enrique Juárez Villar
Vocal:	M. en C. María de Jesús Cuervo Campos
Secretario:	M. en C. María José Marques Dos Santos
Suplente:	Biol. Guillermo González Martínez
Suplente:	I.Q. Martha Flores Becerril

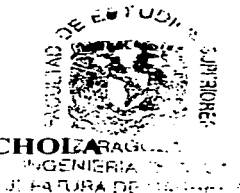


Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
México, D.F., 24 Febrero del 2003.


EL JEFE DE LA CARRERA

M. EN C. ANDRES AQUINO CANCHOLA




**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS.

 A mis Papas:

Quiero agradecerles profundamente a ustedes, que son los padres más maravillosos de este mundo, por todo su amor, su ejemplo, su apoyo, su esfuerzo y comprensión que me han brindado SIEMPRE, principalmente a lo largo de mi carrera profesional. Hoy esta etapa culmina y como una pequeña muestra de agradecimiento por todo su apoyo incondicional, les quiero dedicar este trabajo de tesis. Ya que nunca podré pagarles todo lo que me han brindado a lo largo de mi vida, ni con la riqueza más grande de este mundo. Muchas gracias Papá y Mamá.

 A mi Hermano:


Gracias por brindarme tu apoyo en cualquier momento y darme ánimos para seguir adelante, superándome cada día más.

Mariana.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

 A ti mamá:


Mami, quiero agradecerte por que a lo largo de toda mi vida tú siempre me has dado TODO de ti y nunca has dejado de hacerlo, simplemente quiero decirte GRACIAS por todo y te ofrezco esta tesis como una muestra de que tu esfuerzo, educación, principios, valores, amor, cuidados, etc.... no han sido en vano. Te quiero mucho.

 A Don Perico, mis Hermanitos Manolin, Felipin, Normis y Paty, mis Cuñaditos Chuchis y Delfis, mis Cuñaditas Irmita y Elbita y mis sobrinitos Sergito, Memito, Brunito, Any, Abrilita y Elisita :


Estoy orgulloso de ser parte de esta familia que esta muy alejada de envidias y disgustos, todos ustedes han contribuido conmigo de alguna u otra forma para alentar mi superación, gracias a todos.

Fernando.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

 A la Ingeniero María de Jesús Cuervo Campos:

Por su asesoría, apoyo y dedicación brindados en todo momento para la realización de este trabajo.


 A la Profesora María José Marques Dos Santos:

Por su disposición incondicional de apoyo y asesoría para la realización del presente trabajo de tesis.

 A los Ingenieros de la Refinería "Miguel Hidalgo": José Luis Padilla Lara, Fermín Valencia y al Licenciado Alejandro Medrano:

Por su disposición para aclarar cualquiera de nuestras dudas, así como por habernos brindado la oportunidad de realizar el servicio social y la tesis profesional dentro de este centro de trabajo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA AL SEGUIMIENTO Y APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS ESTADÍSTICAS CONTEMPLADAS DENTRO DEL SISTEMA DE CALIDAD ISO 9002 DE LA REFINERÍA "MIGUEL HIDALGO" EN LA UNIDAD REFORMADORA DE GASOLINA (U-500) DEL SECTOR 8 (HIDROS II).

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1. CONCEPTOS BÁSICOS DE CALIDAD	
1.1 Calidad, Eficiencia, Productividad, Grado y Clase.	3
1.2 Sistema de Calidad ISO-9000	5
1.3 El Origen de ISO-9000	6
1.4 Sistemas de Calidad	7
1.5 Gestión de Calidad	8
1.5.1 Control de Calidad	8
1.5.2 Mejoramiento de la Calidad	9
1.5.3 Aseguramiento de la Calidad	10
2. GENERALIDADES DE LA REFINERÍA "MIGUEL HIDALGO"	
2.1 Descripción de la Refinería "Miguel Hidalgo"	12
2.1.1 Descripción del Sector No. 8	13
2.1.1.1 Descripción de la Planta Reformadora de Gasolina (U-500-II)	13
2.1.1.1.1 Generalidades	13
2.1.1.1.2 Descripción del Proceso	14
2.1.1.1.3 Química del Proceso	16
2.1.1.1.4 Variables del Proceso	21
2.2 Sistema de Calidad ISO-9002 implantado en la Refinería "Miguel Hidalgo"	24
2.2.1 Conceptos manejados dentro del Sistema de Calidad de la Refinería "Miguel Hidalgo"	27
2.2.2 Objetivos de la Organización	28
3. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS	
3.1 Definiciones	29
3.1.1 Estadística	29
3.1.2 Tipos de Datos	30
3.1.3 Medidas Descriptivas de los Datos	31
3.1.4 Obtención de Datos	33
3.2 Herramientas Básicas	34
3.3 Juicio Estadístico	36

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



4. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN LA REFORMADORA (U-500-II)	
4.1 Planteamiento del Problema	37
4.2 Lluvia de Ideas	38
4.3 Diagrama Causa-Efecto	40
4.4 Modelo de Regresión Múltiple	43
4.5 Diagnóstico del Modelo de Regresión	46
4.5.1 Análisis de Varianza	46
4.5.2 Coeficiente de Determinación Múltiple (R^2)	47
4.5.3 Residuos y Análisis de Residuos	48
4.5.4 Multicolinealidad	51
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
5.1 Planteamiento del Problema para la Identificación de Variables Significativas en la Reformadora U-500-II	52
5.2 Lluvia de Ideas para el Octanaje y P.V.R.	54
5.3 Diagramas Causa-Efecto para el Octanaje y P.V.R.	56
5.4 Modelo de Regresión Múltiple para el Octanaje y P.V.R.	58
5.4.1 Modelo de Regresión Múltiple para el Octanaje	58
5.4.1.1 Diagnóstico del Modelo de Regresión Múltiple para el Octanaje	60
5.4.2 Modelo de Regresión Múltiple para el P.V.R.	69
5.4.2.1 Diagnóstico del Modelo de Regresión Múltiple para el P.V.R.	71
CONCLUSIONES	80
PROPUESTA DE MEJORA	82
ANEXOS:	
ANEXO A. Diagrama de Flujo de Proceso de la Unidad Reformadora de Gasolina U-500-II	84
ANEXO B. Determinación de Variables Significativas en la Reformadora U-500-II	85
ANEXO C. Propuesta para la Determinación de Variables Significativas en la Reformadora U-500-II	86
ANEXO D. Corrida de la Macro para el Reactor DC-501	87
ANEXO E. Corrida de la Macro para la Torre DA-501	88
BIBLIOGRAFÍA	89

RESUMEN

La identificación de variables significativas en cualquier proceso de producción es importante, ya que la apropiada identificación y control de estas variables, nos garantiza el obtener productos de calidad. En este trabajo, la identificación de variables significativas se realizó por medio de la regresión lineal múltiple; utilizando el paquete estadístico SPSS.10 para determinar la significación de las variables independientes o explicativas. Las variables significativas encontradas en este estudio difieren de las que actualmente son manejadas en la unidad reformatora de gasolina U-500-II debido a las diferentes metodologías que se utilizan para estos fines. Estas diferencias radican en que la metodología manejada en la unidad reformatora de gasolina U-500-II se basa únicamente en la utilización de la regresión lineal simple y del coeficiente de determinación (r^2) como herramientas para identificar variables significativas; por lo cual se propone que debe ser utilizada la regresión múltiple (ya que los procesos involucran a más de una variable independiente) y el diagnóstico del modelo de regresión (el cual determina si el modelo encontrado es el adecuado) para identificar variables significativas en la unidad reformatora de gasolina U-500-II, con ayuda del paquete estadístico SPSS.10 utilizado en el presente trabajo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

Actualmente el obtener, mantener y acrecentar las certificaciones bajo normas internacionales como ISO-9000 o ISO-14000 es una tarea persistente de todas las empresas, ya que esto garantiza a sus clientes un buen producto y a la vez proporciona a la misma empresa una optimización en sus procedimientos y procesos.

La Refinería "Miguel Hidalgo" cuenta con la certificación ISO-9002:1994/NMX-CC-004:1995 e ISO:14001:1996/NMX-SAA-01:1998; además de estar actualmente efectuando los trabajos de emigración hacia la norma ISO-9001:2000/NMX-CC-9001-IMNC:2000 "Sistemas de Gestión de la Calidad"; sin embargo, un compromiso de todo el personal es hacer cada día mejor su trabajo para alcanzar objetivos comunes, uno de estos objetivos es el cubrir con todos y cada uno de los puntos que conforman estas normas.

En el presente trabajo se muestra el seguimiento estadístico que se les da a las variables críticas del proceso de reformación conforme al requisito número 20 "Técnicas Estadísticas", correspondiente a la norma ISO:9002, el cual establece la necesidad de identificar técnicas estadísticas para el establecimiento, control y verificación de la capacidad del proceso y de las características del producto. La aplicación es en la Unidad Reformadora de Gasolinas (U-500-II) que se localiza en el sector número 8 de la refinería.

El objetivo es hacer o realizar un análisis estadístico que nos permita identificar a las variables significativas del proceso de reformación de gasolina considerando sus características de calidad (octanaje y P.V.R.), utilizando técnicas de regresión múltiple; comparando posteriormente estas variables con las que actualmente son manejadas y proponer alguna mejora al respecto en base al estudio realizado.

En la sección 1 se muestra de manera general qué es un sistema de calidad, de dónde se origina, cómo está conformado así como algunos conceptos básicos que nos permiten entender la importancia que actualmente tienen los sistemas de calidad.

En la sección 2 se describe la Unidad Reformadora de Gasolina (U-500-II), sobre la cual se desarrolla el estudio, así como su ubicación dentro de la refinería. En esta misma sección también se menciona el sistema de calidad ISO-9002 implantado en dicha refinería.

En las secciones 3 y 4 se desarrollan los conceptos, herramientas y técnicas de regresión necesarias para este análisis estadístico, pasando a los resultados y análisis de resultados en la sección 5.

Finalmente se exponen las conclusiones y la propuesta de mejora a las que se llegaron después de realizar el estudio estadístico y analizar los resultados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1

CONCEPTOS BÁSICOS DE CALIDAD

1.1 CALIDAD, EFICIENCIA, PRODUCTIVIDAD, GRADO Y CLASE

En la actualidad está de moda enfocar la calidad como un medio de incrementar la propia competitividad. Las campañas nacionales intentan motivar a la industria para mejorar la calidad de sus productos y servicios. Se adjudican premios a aquellas compañías que alcanzan los estándares del sistema de calidad internacional y destacan en la implementación de dichos estándares, y muchas compañías viven con el miedo de perder a sus clientes si no consiguen esos premios.

La calidad está determinada por la capacidad de un producto o servicio para servir satisfactoriamente a los propósitos del usuario durante su utilización.

La palabra *calidad* tiene varios significados: un grado de excelencia, la conformidad con los requerimientos, la totalidad de funciones del producto o servicio que satisfacen las necesidades especificadas, la aptitud para el uso, la ausencia de defectos, imperfecciones o contaminación y (una frase que está ganando popularidad) el deleite de los clientes⁸.

Un producto que posee funciones que satisfacen las necesidades del cliente es, por tanto, un producto de calidad. Así mismo, un producto que posea funciones que no satisfacen las necesidades del cliente no es un producto de calidad. Por tanto, el último árbitro en cuestiones de calidad es el cliente. Los clientes no son únicamente los compradores, sino también los usuarios, consumidores, accionistas y la sociedad en general. Son las necesidades de todas estas personas las que se tienen que satisfacer para conseguir las adecuadas metas de calidad, como se muestra en la figura 1.1.



Figura 1.1 Obtención de la Calidad

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La búsqueda de la calidad no se limita a satisfacer las necesidades del consumidor, sino también es una meta dentro de la empresa; es la búsqueda de la mejora en cada proceso, cada operación, cada sistema, cada trabajo. Mejorar la calidad implica: mejores productos y servicios, menos errores, defectos, fallas, demoras, desperdicios, devoluciones, etc. incrementándose por consecuencia la eficiencia y productividad. La Calidad es un objetivo permanente, que requiere del compromiso, voluntad y participación de todo el personal.

La **eficiencia** es hacer el trabajo sistemáticamente con menos recursos. La eficiencia se refiere a la optimización de ciertos recursos⁸.

La **productividad** es la relación entre la producción obtenida y los recursos utilizados (figura 1.2); una auténtica productividad se logra, en términos prácticos, a través de asegurar la calidad e incrementando la eficiencia¹. Los recursos generalmente se dividen en: insumos (materiales y energía), capital y personal.

Aseguramiento de la calidad + Alta eficiencia = Alta productividad

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción obtenida}}{\text{Recursos utilizados}}$$

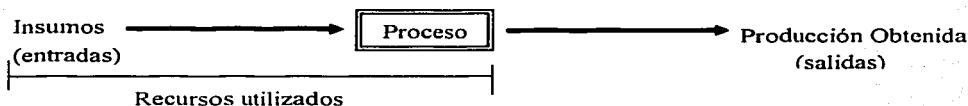


Figura 1.2 Definición de Productividad

Existen otras consideraciones para la interpretación de la palabra calidad, tales como grado y clase.

Las diferencias en el funcionamiento del producto o servicio y los grados de refinamiento son diferencias de **grado**. Si un servicio de grado bajo cubre las necesidades para las que ha sido diseñado, entonces posee la calidad adecuada. Si un producto o servicio de grado alto falla en los requerimientos para los que ha sido diseñado, entonces es de baja calidad, independientemente de que cumpla los requerimientos para el grado menor⁸.

Clase se refiere a las diferencias de propósitos para los que ha sido diseñado un producto o servicio. Las diferencias de propósito son las diferencias de clase⁸.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.2 SISTEMA DE CALIDAD ISO 9000

ISO son las siglas en inglés y significa “Organización Internacional para la Estandarización”. Esta organización se fundó en 1947 y su sede se encuentra en Ginebra Suiza. ISO 9000 es una serie de estándares internacionales para sistemas de calidad. Especifican las recomendaciones y requerimientos para el diseño y valoración de un sistema de gestión, con el propósito de asegurar que los proveedores proporcionen productos y servicios que satisfagan los requerimientos especificados. Estos requerimientos especificados pueden ser requerimientos específicos del cliente, que los proveedores se comprometen a proporcionar en ciertos productos y servicios, o pueden ser requerimientos de un mercado concreto determinados por el proveedor.

ISO 9000 no es un estándar de producto. No contiene ningún requerimiento con el cual un producto o servicio tenga que cumplir. En los estándares ISO 9000 no existe ningún criterio de aceptación de producto, por lo que no puede inspeccionar un producto en función del estándar. Sin embargo, puede comprobar si un producto en concreto tiene un cierto registro, una identidad trazable en los planos correspondientes, sus condiciones de inspección, etc., pero cualquier no conformidad es con el sistema de calidad, no con el producto. La presencia o ausencia de un registro, un documento o un nivel de inspección no altera las características de un producto. Así, cuando se anuncia que un producto cumple los estándares ISO 9000 o el equivalente nacional, se está engañando al consumidor.

Los requerimientos y recomendaciones se aplican a las organizaciones que suministran el producto o servicio y, por consiguiente, afectan a la forma en que los productos y servicios se diseñan, fabrican, instalan, etc. Son estándares que se aplican a la gestión de la organización y sólo la organización puede y debe decidir cómo responder a estos requerimientos y recomendaciones.

La serie ISO 9000 contiene dos tipos de estándares: los que están dirigidos al aseguramiento de la calidad y los dirigidos a la gestión de calidad. Los estándares para el aseguramiento de la calidad se diseñan con propósitos de valoración y son ISO 9001, ISO 9002 e ISO 9003. El estándar para la gestión de calidad es ISO 9004 y está diseñado para ser una guía para las compañías que están desarrollando e implementando sus sistemas de calidad. Cabe mencionar que las tres normas anteriores causarán obsolescencia en Diciembre de 2003 y darán paso a una norma única ISO-9001:2000/NMX-CC-9001-IMNC: 2000 “Sistema de Gestión de Calidad-Requisitos” y su par consistente: ISO-9004:2000/NMX-CC-9004/IMNC:2000 “Sistemas de Gestión de la Calidad: Recomendaciones para la mejora del Desempeño”.

Los estándares ISO 9000 han sido concebidos para superar algunas de las barreras comerciales, de modo que las compañías puedan competir en igualdad de términos cuando se trata de calidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.3 EL ORIGEN DE ISO 9000

El control de calidad (un elemento de la gestión de la calidad), surge como una función en la industria después de la segunda guerra mundial. Al terminar la guerra la mayor parte de Europa se hallaba en la ruina física y económica, lo mismo que Japón. Mientras tanto, Estados Unidos celebraba la victoria y transformaba sus plantas febriles de tiempo de guerra en fábricas de automóviles, refrigeradores y electrónica para el consumidor. Aun con la aparición del conflicto de Corea, la industria estadounidense se volvió obesa y melindrosa, pues era la única opción disponible.

No paso mucho tiempo antes de que los europeos percibieran que de no entrar de nuevo en acción los estadounidenses se apropiarían del mercado y monopolizarían el mundo industrializado. En un paso decisivo para convertirse en competidores viables, Bélgica, Francia, Alemania, Italia y Luxemburgo firmaron el tratado de Roma, que conduciría a la que hoy conocemos como Comunidad Económica Europea, determinándose que era necesario una norma de calidad única. No solo había que traducir esa norma a una gran diversidad de lenguas; también tendría que producir los mismos resultados sin importar la cultura. Aunque se evidencia su origen militar, la norma consiguió romper moldes y establecer un nuevo estándar mundial para la gestión de la calidad.

En 1979, ISO creó el Comité Técnico 176 para llevar a cabo la redacción de una norma unificada de calidad. En 1987, ISO presento los primeros documentos de ISO 9000. La norma consistía en guías para la selección y uso (ISO 9000), guías para la puesta en marcha (ISO 9004) y los tres sistemas de normas de calidad (ISO 9001, 9002 y 9003).

El comité técnico elaboró un plan para sistema de administración de calidad básica que no es obligatorio y evaluatorio. En esencia, dice:

- ✓ Anote lo que haga
- ✓ Haga lo que anotó
- ✓ Verifique que lo hace.

El genio del contenido de ISO 9000 consiste en que trasciende las barreras del idioma y la cultura. No exige a las compañías que cambien lo que hacen bien, sólo que lo documenten y lo midan. ISO 9000 surgió de "la necesidad de ir adelante" y llenar un vacío específico. ISO 9000 es un consenso de muchos practicantes experimentados de la calidad afinado en una norma breve y concisa, que se ha apoderado del planeta en menos de una década. No es el sistema de administración de la calidad más reciente, sino el inicio del concepto de un nivel parejo de ejecución en la disciplina de la calidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.4 SISTEMAS DE CALIDAD

El propósito de un sistema de calidad es poder conseguir, mantener y mejorar la calidad. La calidad no es una cuestión de suerte, tiene que ser dirigida. Jamás ningún esfuerzo humano ha tenido éxito sin haber sido planeado, organizado y controlado de alguna forma. El sistema de calidad es una herramienta y, como cualquier herramienta, puede ser un activo valioso o puede ser maltratada, abandonada o mal empleada. Los sistemas de calidad permiten alcanzar todas las metas de calidad.

Los sistemas de calidad pueden dirigirse a una de las metas de calidad o a todas ellas, y pueden ser tan pequeños o tan grandes como se desee. Pueden ser específicos de un proyecto, o pueden estar limitados al control de calidad, es decir, mantener los estándares más que mejorarlos. Pueden incluir programas de mejoramiento de calidad, o abarcar lo que se llama Gestión de Calidad Total.

Los estándares ISO 9000 no están enfocados sobre la calidad del producto o servicio suministrable, sino sobre la eficiencia de la organización que lo suministra. ISO 9000 especifica los requerimientos funcionales para los sistemas de calidad en lugar de los requerimientos de rendimiento. Especifica qué debe hacer un sistema de calidad, pero no cómo debe hacerlo.

Sin embargo, no hay que perder de vista que los productos y servicios que se proporcionan son los que crean clientes, no el sistema de calidad. El sistema de calidad es meramente una herramienta para conseguir la satisfacción de los clientes más efectivamente que con cualquier otro método. El éxito se mide no por si se alcanza la certificación ISO 9000, sino por si el nivel de satisfacción del cliente aumenta o se mantiene en un alto nivel.

1.5 GESTIÓN DE CALIDAD

Se han desarrollado varios métodos para conseguir, mantener y mejorar la calidad que son: control de calidad, aseguramiento de calidad y mejoramiento de calidad, que colectivamente se conocen como *gestión de calidad*, esta trilogía se ilustra en la figura 1.3 (la gestión de calidad involucra todas aquellas actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización en lo relativo a la calidad) y técnicas tales como planificación de calidad, costos de calidad y control estadístico de procesos son elementos de estos métodos¹⁶.

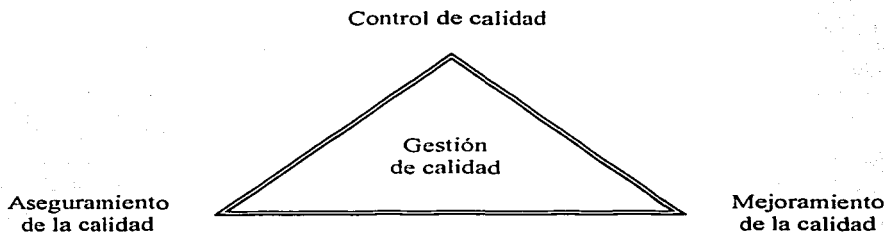


Figura 1.3 Gestión de calidad

1.5.1 CONTROL DE CALIDAD

La definición de los estándares ISO establece que el control de calidad es el conjunto de las actividades y técnicas operacionales que se usan para cumplir los requerimientos de calidad. En términos sencillos el control de calidad impide que aparezcan cambios indeseados en la calidad del producto o servicio que se está suministrando. El control de calidad puede aplicarse a productos en concreto, a procesos que fabrican los productos, o a la salida de toda la organización, midiendo el funcionamiento de calidad global de la misma¹⁶.

A menudo se dice que el aseguramiento de calidad tiene por objeto la prevención, y que el control de calidad tiene por objeto la detección, aunque un control instalado para detectar fallos antes de que ocurran sirve también como prevención. Por tanto, el control de calidad puede evitar fallos. El aseguramiento es el resultado de un examen mientras que el control produce el resultado. El aseguramiento de calidad no cambia el producto, el control de calidad sí.

El control de calidad, o cualquier otra forma de denominarlo, puede efectuarse siguiendo estos pasos:

- * Determinar qué parámetro debe controlarse.
- * Establecer su grado de criticidad y, si es necesario, el control antes, durante o después de producir los resultados.
- * Establecer una especificación para el parámetro que se desea controlar que proporcione límites de aceptabilidad y unidades de medida.
- * Instalar un censor en un punto apropiado del proceso que detecte la variación respecto de la especificación.
- * Recoger y transmitir los datos al lugar de análisis.
- * Verificar los resultados y diagnosticar la causa de la variación.
- * Proponer remedios y decidir la acción necesaria.
- * Tomar las medidas convenidas y comprobar que se ha corregido la variación.

1.5.2 MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD

La definición ISO de mejoramiento de calidad establece que es el conjunto de acciones que se toman en la organización para aumentar la efectividad de las actividades y procesos, que proporcionan beneficios añadidos tanto a la organización como a sus clientes. En términos sencillos, el mejoramiento de la calidad es cualquier cosa que dé lugar a un cambio beneficioso en la consecución de la calidad¹⁶.

Hay dos maneras básicas de conseguir mejoras en la calidad. Una consiste en mejorar los controles, y la otra en elevar los estándares.

El mejoramiento de la calidad (para conseguir mejorar los controles) es un proceso de cambio de estándares. No es un proceso para mantener o crear nuevos estándares. Los estándares se cambian a través de un proceso de selección, análisis, acciones correctoras en el estándar o proceso, educación y formación. Los estándares que surjan de este proceso son mejoras de los utilizados previamente.

El mejoramiento de la calidad (mediante la elevación de estándares) es un proceso para crear nuevos estándares. No es un proceso para mantener o mejorar los ya existentes. Los estándares se crean mediante un proceso que comienza con una etapa de estudio de viabilidad, y continúa mediante la investigación y el desarrollo hasta desembocar en un nuevo estándar adecuado para situaciones repetitivas.

Para el mejoramiento de la calidad pueden efectuarse los siguientes pasos:

- * Determinar el objetivo que se desea conseguir; por ejemplo, nuevos mercados, productos o tecnologías, o nuevos niveles de eficiencia en la organización, o mayor efectividad en la dirección, nuevos estándares nacionales o legislación gubernamental. Esto proporciona las razones por las que se necesita cambiar.
- * Determinar las políticas necesarias para mejorar; es decir, amplias líneas de actuación que permitan a la dirección causar o estimular la mejora.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- * Realizar un estudio de viabilidad. Esta debería revelar si la consecución del objetivo es posible y, por consiguiente, proponer varias estrategias o soluciones conceptuales. Si el objetivo es factible, debe conseguirse la necesaria aprobación para proceder.
- * Elaborar planes para el mejoramiento que especifiquen los medios por los cuales se alcanzará el objetivo.
- * Organizar los recursos para implementar el plan.
- * Llevar a cabo investigación, análisis y diseño para definir una posible solución y alternativas creíbles.
- * Modelar y desarrollar la mejor solución y llevar a cabo las pruebas que verifiquen que cumple el objetivo.
- * Identificar y superar cualquier resistencia al cambio en los estándares.
- * Implementar el cambio.
- * Colocar los controles para mantener el nuevo nivel de funcionamiento.

La transición entre dónde termina el mejoramiento de calidad y dónde comienza el control de calidad está en dónde se hayan establecido los niveles y estén disponibles los mecanismos para mantener el nivel de calidad establecido o superarlo. En términos sencillos, si el mejoramiento de calidad reduce los costos de calidad, el papel del control de calidad es evitar que los costos de calidad asciendan por encima de los reducidos por el mejoramiento de calidad.

1.5.3 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

La definición de los estándares ISO establece que el aseguramiento de la calidad son todas las acciones sistemáticas y planificadas necesarias para proporcionar una confianza adecuada de que un producto o servicio satisfará los requerimientos dados de calidad. El aseguramiento de la calidad se puede conseguir por dos formas¹⁶:

- 1) Comprobando el producto/servicio de acuerdo con los estándares prescritos, para establecer la capacidad de satisfacerlos.
- 2) Evaluando a la organización que suministra los productos/servicios de acuerdo con los estándares prescritos, para establecer su capacidad de fabricar productos de acuerdo con un determinado estándar.

Las actividades de aseguramiento de calidad no controlan la calidad, sino que establecen el grado con el que la calidad será, está siendo o ha sido controlada. Todas las actividades de aseguramiento de calidad son actividades a posteriori, externas al proceso de producción, y sirven para conseguir confianza en los resultados, en las afirmaciones, predicciones, etc.

Bastante a menudo, los medios para proporcionar el aseguramiento de calidad necesitan incluirse en el proceso, tales como crear registros, documentar planes, documentar especificaciones, informar de las revisiones, etc. Tales documentos y actividades sirven también para controlar la calidad, no sólo para asegurarla. Los estándares ISO 9000 proporcionan un medio para obtener un aseguramiento de la calidad, si se es el cliente, y un medio para controlar la calidad si se es el proveedor.

Los departamentos de aseguramiento de calidad se crean para dar confianza, tanto al cliente como a la dirección, de que la calidad será, esta siendo y ha sido conseguida. El aseguramiento de la calidad se puede obtener siguiendo estos pasos:

- * Obtener los documentos que declaran los planes de la organización para conseguir la calidad.
- * Realizar un plan que defina cómo se obtendría un aseguramiento de la calidad, es decir, un plan de aseguramiento de calidad
- * Establecer si el producto o servicio propuesto por la organización posee las características que satisfacen las necesidades del cliente.
- * Valorar operaciones, productos y servicios de la organización y determinar dónde están y cuáles son los riesgos de calidad.
- * Establecer si los planes de la organización contienen medidas adecuadas para el control, eliminación o reducción de los riesgos identificados.
- * Determinar el grado con que los planes de la organización se están implementando y evitan los riesgos.
- * Establecer si el producto o servicio que se está suministrando tiene las características prescritas

Para la adecuación de las medidas se aplican los estándares pertinentes, legislación, códigos de conducta y otras medidas convenientes. Estas actividades son actividades de aseguramiento de la calidad, y pueden subdividirse en aseguramiento de diseño, aseguramiento de obtención, aseguramiento de fabricación, etc. Algunas de las técnicas que se utilizan son: auditoria, planificación, análisis, inspección y pruebas.

GENERALIDADES DE LA REFINERÍA “MIGUEL HIDALGO”

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA REFINERÍA “MIGUEL HIDALGO”

La Refinería “Miguel Hidalgo” esta situada en el municipio de Tula de Allende en el estado de Hidalgo, a 82 Km. de la ciudad de México y ocupa un área total de 749 hectáreas. La importancia estratégica de su ubicación geográfica y el procesar casi la cuarta parte del petróleo crudo que se refina en el país repercute en un alto impacto social, técnico y económico en todo el centro de la Republica Mexicana.

La capacidad de refinación es de 325,000 BPD (Barriles por día) de petróleo crudo y esta dividida en 11 sectores, los cuales son¹⁵:

SECTOR 1: Planta combinada (150,000 BPD) y Reductora de viscosidad (41,000 BPD).

SECTOR 2: Planta catalítica I (40,000 BPD), Azufre I (160 T/D (toneladas por día)), Azufre IV (80 T/D), Aguas amargas I (5,148 BPD) y Aguas amargas II (11,991 BPD).

SECTOR 3: Hidrodesulfuradora de gasolinas I (36,500 BPD), Reformadora de gasolinas I (35,000 BPD), Hidrodesulfuradora de destilados intermedios I y II (25,000 BPD c/u), Tratamiento y fraccionamiento de hidrocarburos ligeros y pesados I (5,968 BPD).

SECTOR 4: Bombeos y almacenamiento.

SECTOR 5: Área de servicios auxiliares

- Planta de fuerza: Con una capacidad de generación de 1,200 T/H (toneladas por hora) de vapor motriz de alta presión producido en siete calderas y 96 MegaWatts-Hora por día de generación de energía eléctrica producidos en cinco turbogeneradores.
- Servicios auxiliares: Consta de 16 pozos, 8 torres de enfriamiento, 2 plantas desmineralizadoras de agua y 1 planta de tratamiento de agua reciclada.

SECTOR 6: Terminal de almacenamiento de gas licuado y tratamiento de efluentes, planta de mezclado y llenado de asfalto.

SECTOR 7: Plantas primaria II (165,000 BPD), Vacío II (75,000 BPD), Estabilizadoras I y II (30,000 BPD c/u), Oximer I y II (50,000 BPD), Aguas amargas III (13,454 BPD).

SECTOR 8: Hidrodesulfuradora de gasolinas II (U-400) con una capacidad de diseño de 36,500 BPD, Reformadora de gasolinas II (U-500) con una capacidad de diseño de 30,000 BPD, Hidrodesulfuradora de destilados intermedios III y IV (U-700 y U-800) con una capacidad de diseño de 25,000 BPD c/u, Tratamiento y fraccionamiento de hidrocarburos ligeros y pesados II (U-600) con una capacidad de diseño de 2,548 BPD; Hidrodesulfuradora de diesel profunda (HDD-5) con una capacidad de diseño de 25,000 BPD, Isomerización de pentanos I con una capacidad de 14,200 BPD y Azufre III con una capacidad de 80 T/D.

SECTOR 9: Planta catalítica II (40,000 BPD), M.T.B.E. (Metil terbutil eter) (2,300 BPD), T.A.M.E. (Teramil metil eter) (2,300 BPD), Alquilación (7,700 BPD), Aguas amargas IV (5,369 BPD).

SECTOR 10: Hidrodesulfuración de residuales (50,000 BPD), Reformación de hidrógeno, Fraccionamiento, Tratamiento con amina, Manejo de catalizador, Tratamiento gas de colas, Planta de azufre V (600 T/D), Tratamiento de aguas amargas.

SECTOR 11: Hidrodesulfuradora de Gasóleos de Vacío (21,350 BPD) e Isomerizadora de Butanos (2,500 BPD). Estas plantas entraron en operación en mayo de 2002.

2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR No. 8

El sector 8 es uno de los más grandes de la Refinería "Miguel Hidalgo", está formado por las unidades de proceso descritas anteriormente.

De las nueve unidades de proceso que conforman este sector, la Unidad Reformadora de Gasolinas U-500-II es la más importante, pues de las reacciones de reformación que ahí ocurren, se obtiene el hidrógeno necesario para la operación de las unidades 400, 500, 600 y 800, por lo que una adecuada operación de esta unidad repercutirá en una mejor operación de todo el sector 8.

2.1.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA REFORMADORA DE GASOLINAS (U-500-II)

2.1.1.1.1 GENERALIDADES

La Unidad Reformadora de gasolinas U-500-II (Anexo A) fue diseñada por el Instituto Mexicano del Petróleo para la Refinería de Tula, Hgo. de Petróleos Mexicanos. Tiene capacidad para procesar 30,000 BPD de nafta hidrodesulfurada, proveniente de la Planta Hidrodesulfuradora de Naftas (Unidad-400)¹⁶.

La finalidad de la planta es aumentar el octanaje de la nafta desisohexanizada (el octanaje determina el desempeño de la gasolina en los vehículos, es la capacidad de una gasolina para no quemarse espontáneamente y no producir golpeteo en el motor) empleando el proceso de reformación catalítica y efectuar la estabilización de la gasolina para obtener un P.V.R. dentro de especificación (el P.V.R. se refiere a la presión de vapor de la gasolina, es decir a la volatilidad que ésta tenga) mediante destilación fraccionada, obteniéndose como productos: nafta reformada y estabilizada, gas hidrógeno, LPG y gas combustible¹⁶.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.1.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de reformación catalítica de naftas, tiene como objetivo la conversión de los componentes de bajo octano, tales como parafinas y naftenos, en isoparafinas y aromáticos de mayor índice de octano, produciendo también una buena cantidad de hidrógeno.

El reformado obtenido en este proceso tiene un octanaje de 92 mínimo, empleándose posteriormente como componente de las gasolinas para motor. Del hidrógeno producido, una parte se emplea en el proceso de hidrodesulfuración de naftas, y otra parte en los procesos de hidrodesulfuración de destilados intermedios (turbosina, diesel y nafta pesada).

Para la obtención del reformado dentro de especificación se utilizan tres secciones en las cuales se puede considerar está dividida la planta¹⁶:

- a) Sección de carga y reacción
- b) Sección de compresión de hidrógeno
- c) Sección de estabilización.

a) Sección de carga y reacción

En esta sección se realiza la preparación de la carga al proceso, precalentamiento, así como las reacciones de reformación y la separación de los productos en sus fases líquido-gas, enviándose a la sección de compresión.

La carga proveniente de la Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas (U-400), se mezcla con una corriente de hidrógeno de recirculación. Esta mezcla se precalienta en el precalentador de carga-efluente (EA-501 A/B) y se envía a la primera de las cuatro celdas del calentador de carga (BA-501 A/D), el cual suministra la temperatura necesaria para llevar a cabo las reacciones de reformación en un rango de 504-540 °C (dependiendo de las condiciones del catalizador) y una presión de 13.7 kg/cm². Estas reacciones se realizan en cuatro reactores en serie (DC-501-504) con calentamiento del efluente de cada reactor en cada celda del calentador, proporcionando la energía necesaria para continuar con las reacciones de reformación, ya que éstas son globalmente endotérmicas.

El reformado efluente del cuarto reactor se enfría, primeramente, en el precalentador de carga efluente (EA-501 A/B), en un sistema de soloaires después (EC-501) y finalmente en un enfriador que utiliza agua de enfriamiento (EA-502 A/D).

La mezcla gas-líquido que sale del enfriador, se envía a un tanque separador de baja presión (FA-501), en donde, por el domo, los gases pasan a la sección de compresión, y los líquidos se envían por medio de una bomba (GA-501/R) a esta misma sección para recontactarse con los gases.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

b) Sección de compresión de hidrógeno

Dentro de esta sección se comprime el hidrógeno para su envío a las Unidades Hidrodesulfuradora de Naftas y de Destilados Intermedios, así como el envío de nafta reformada a la sección de estabilización.

La fase gaseosa del tanque separador de baja presión (FA-501), pasa al compresor de recirculación (GB-501), donde se comprime y se envía a recontactarse con los líquidos provenientes del mismo separador para condensar la mayor cantidad de hidrocarburos de la corriente gaseosa. Esta mezcla pasa a un enfriador de recontacto (EA-503 A/D) que utiliza agua como medio de enfriamiento. La corriente recontactada condensada, se envía al tanque separador de hidrógeno de recirculación (FA-502), en donde por el domo, el gas efluente se divide en tres corrientes, enviándose una parte como recirculación mezclándose con la nafta de alimentación a la planta; otra parte se envía a la succión del compresor de gas producto (GB 502/R), y la última parte, que es el excedente, se envía al sistema de gas combustible.

La corriente líquida del fondo del separador del hidrógeno de recirculación (FA-502) se envía por medio de una bomba (GB-502/R) al intercambiador (EA-505 A/D) alimentación-fondos de la torre de estabilización.

El hidrógeno que se envía hacia la primera etapa del compresor de gas producto (GB-502/R), se comprime y se envía al tanque separador de alta presión (FA-503), en donde se separa una pequeña cantidad de hidrocarburos líquidos, los que se envían hacia el intercambiador (EA-505 A/D) de alimentación-fondos de la torre estabilizadora, mezclándose previamente con la corriente líquida del fondo del separador del hidrógeno de recirculación (FA-502).

En el separador de alta presión (FA-503), el efluente gaseoso del domo, se bifurca, enviándose una parte hacia la unidad hidrodesulfuradora de naftas y, la otra, se envía a la segunda etapa del compresor de gas producto (GB-502/R), en donde se comprime y se manda hacia las unidades hidrodesulfuradoras de destilados intermedios.

c) Sección de estabilización

En esta sección se obtiene mediante destilación fraccionada: nafta reformada, la cual se envía a almacenamiento; LPG, que se envía como carga a la Unidad Tratadora y Fraccionadora de Hidrocarburos, y gas combustible, cuyo destino es la red general de gas combustible de la refinería.

Los hidrocarburos condensados del separador de hidrógeno de recirculación (FA-502) y del separador de alta presión (FA-503), son precalentados en el intercambiador (EA-505 A/D) alimentación-fondos, pasando posteriormente hacia la torre estabilizadora (DA-501) cuyas condiciones de operación son de 228-232 °C y 17.9 kg/cm² en el fondo y 74.75 °C y 17.6 kg/cm² en el domo.

Los vapores que salen del domo de la torre (DA-501), se envían a un condensador (EA-506 A/D) y posteriormente a un acumulador (FA-504), donde los incondensables constituidos por hidrógeno e hidrocarburos ligeros, se envían a la red de gas combustible.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por otra parte, el destilado líquido constituido por propano y butanos, se divide en dos corrientes, una que se manda como reflujo a la torre (DA-501) y el exceso se envía a tratamiento cáustico a la Unidad Tratadora y Fraccionadora de Hidrocarburos.

En el fondo de la torre estabilizadora (DA-501), la nafta reformada se divide en dos corrientes, una se envía a un rehervidor (BA-502) para mantener las condiciones de temperatura en el fondo y el exceso se envía hacia almacenamiento pasando previamente por el intercambiador (EA-505 A/D) alimentación-fondos y el enfriador (EA-507) de reformado producto.

La unidad cuenta con un sistema de recuperación de calor en la sección de convección del calentador de carga a reactores, el cual se utiliza para generar vapor sobrecalentado de media presión para exportarse a L.B.

2.1.1.1.3 QUÍMICA DEL PROCESO

El proceso de reformación consiste en producir aromáticos a partir de naftenos y parafinas. Las principales reacciones que se llevan a cabo en el proceso, son las siguientes:

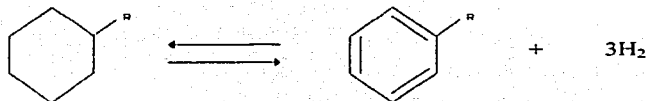
- 1) Deshidrogenación de naftenos a aromáticos (aromáticos a partir de ciclohexano y alkilciclohexanos).
- 2) Deshidrociclización de parafinas.
- 3) Isomerización de parafinas y naftenos.
- 4) Hidrocracking o desintegración de parafinas.
- 5) Hidrodealquilación de aromáticos.
- 6) Deshidrogenación de parafinas y olefinas.
- 7) Hidroisomerización de olefinas.
- 8) Otras reacciones.

La conversión neta de estas reacciones depende de la composición de la carga, del catalizador y de la seguridad de la operación y una buena conversión conlleva a la obtención de gasolina con mayor octanaje (mejor calidad de producto). A continuación se describen brevemente cada una de las reacciones antes mencionadas:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1) Deshidrogenación de naftenos a aromáticos.

La deshidrogenación de naftenos a aromáticos es la reacción más importante en la reformación. La conversión de un ciclohexano al aromático correspondiente, es sumamente rápida y esencialmente cuantitativa. Los naftenos son los componentes deseables en la carga, porque es fácil promover su reacción de deshidrogenación y producir hidrógeno, así como hidrocarburos aromáticos. Esta reacción es muy endotérmica y la promueve una función metálica del catalizador y se ve favorecida por una temperatura de reacción alta y presión baja. La conversión está limitada normalmente por el equilibrio termodinámico.

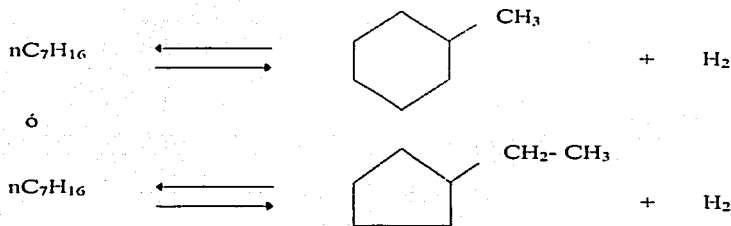


R = Radical o cadena lateral unida al anillo, por ejemplo: $-\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3-$, etc.

2) Deshidrociclización de parafinas

La deshidrociclización de parafinas, es la reacción de reformación más difícil de promover. Consiste en un reordenamiento molecular sumamente difícil de una parafina a un nafteno. En caso de parafinas ligeras, la reacción se ve limitada por las condiciones de balance.

Las reacciones de deshidrociclización de parafinas son endotérmicas, por lo que la conversión a naftenos se verá favorecida por incrementos en la temperatura.



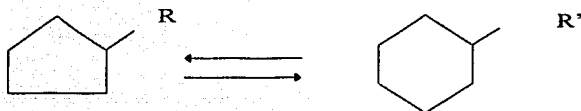
Desde el punto de vista de la relación rendimiento-número de octano, esta reacción es importante, particularmente porque representa un medio de convertir hidrocarburos parafínicos con bajo número de octano en hidrocarburos nafténicos y posteriormente a aromáticos. La ciclización de las parafinas se facilita más conforme aumenta el peso molecular de éstas, debido a que hay una mayor probabilidad estadística de formación de nafteno, aunque existe también la posibilidad de que se lleven a cabo reacciones de hidrogenación. Las reacciones de deshidrociclización se ven favorecidas a bajas presiones y altas temperaturas, siendo necesario que el catalizador tenga función ácido-metálica.

Esta reacción es el paso limitante hacia la siguiente reacción de aromatización que se lleva a cabo muy rápidamente.

3) Isomerización de naftenos y parafinas.

* Isomerización de naftenos

La isomerización de un ciclopentano a un ciclohexano, debe ser el primer paso de la conversión de ciclopentano a un aromático. Dicha isomerización incluye un reordenamiento del anillo y la probabilidad de que el anillo se abra para formar una parafina, es muy alta. Por lo tanto, esta reacción de los alquilociclopentanos a ciclohexanos no es cuantitativa. La reacción depende considerablemente de las condiciones del proceso.

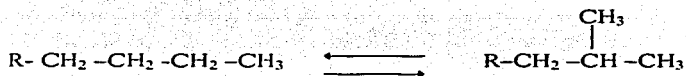


R y R' = Radicales o cadenas laterales unidas al anillo.

En la transición de ciclopentanos, el paso controlador de la reacción es el de la isomerización, ya que es lento debido a la temperatura de 450-500° C, a la cual se lleva a cabo el proceso de reformación, el equilibrio entre ciclopentanos y ciclohexanos está a favor de los compuestos del ciclopentano.

* Isomerización de parafinas

La isomerización de parafinas es de menor importancia, puesto que la mayor parte de los isómeros son relativamente de bajo octano, aunque este tipo de reacciones ocurren con facilidad.



R = Radical unido a la cadena, por ejemplo: -CH₃ -CH₂ -CH₃ etc.

Las reacciones de isomerización resultan de las reacciones intermedias de los iones de carbón; la función ácida del catalizador promueve estas reacciones y no dependen de la presión de operación.

Esta reacción de isomerización de parafinas, al igual que la isomerización de naftenos, es ligeramente exotérmica y seguirá el mismo comportamiento del equilibrio termodinámico con respecto a la temperatura de reacción y a las presiones total y parcial del hidrógeno.

4) Hidrocracking o Hidrodesintegración de parafinas

Esta reacción consiste en la fragmentación de una parafina de alto peso molecular para producir dos ó más hidrocarburos parafínicos de bajo peso molecular.



La hidrodesintegración de las parafinas es relativamente rápida y esta fomentada por altas presiones y temperaturas. La transformación de las parafinas de alto peso molecular en hidrocarburos ligeros, con puntos de ebullición menores a los de la gasolina por medio de la hidrodesintegración concentra a los aromáticos en el producto, y por lo tanto, contribuye a una mejoría en el octanaje. La reacción sin embargo, consume hidrógeno, y como consecuencia resultará en rendimiento global reducido del reformado.

Esta reacción es bastante exotérmica y desde el punto de vista puramente del equilibrio termodinámico, se ve inhibido por incrementos en la temperatura de reacción, mientras que con aumentos en la presión parcial del hidrógeno esta reacción se verá favorecida.

5) Hidrodealquilación de aromáticos

La reacción de hidrodealquilación es una reacción de hidrodesintegración que separa las cadenas laterales ligadas a los anillos aromáticos, ya que el rompimiento del anillo a las condiciones a las que se lleva el proceso de reformación no ocurre.

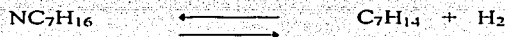


La hidrodealquilación es una reacción exotérmica y sucederá más fácilmente entre más grandes sean las cadenas laterales adheridas al anillo. La reacción puede visualizarse como una desintegración de los iones carbón catalizados por el ácido y se ve favorecida, también, por alta temperatura y presión.

6) Deshidrogenación de parafinas a olefinas.

La conversión de parafinas a olefinas resulta en un aumento del número de octano, sin embargo, la formación estable de olefinas requiere de temperaturas mucho más altas a la temperatura de reformación, por lo cual en el producto final, su concentración es despreciable.

Esta reacción es endotérmica y se ve favorecida por los aumentos en la temperatura e inhibida por los aumentos en las presiones total y parcial del hidrógeno.



7) Hidroisomerización de olefinas

Es una reacción que se lleva a cabo en el proceso de reformación como paso intermedio de reacciones que son activadas por una parte funcional del catalizador utilizado en este proceso.



La reacción es exotérmica, se inhibe con la temperatura y se favorece con el incremento en la presión total y en la presión parcial del hidrógeno.

Estas olefinas también pueden reaccionar hacia una ciclización con características parecidas a la ciclización de las parafinas.

8) Otras reacciones

Además de las reacciones ya descritas, suceden otras reacciones de especies que contienen azufre, nitrógeno o cloro en su molécula, hidrodesulfurando o hidrodesnitrogenando la carga.

Los cloruros derivados de estas reacciones se depositan sobre el catalizador y aumentan la actividad ácida del mismo, mientras que el depósito de compuestos de azufre y nitrógeno disminuyen tal actividad.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.1.1.4 VARIABLES DEL PROCESO

El control adecuado de las variables del proceso garantiza obtener gasolina dentro de especificación, es decir, con las características de calidad deseadas (Octanaje (90 octanos) y P.V.R. (6.0 lb/pg²)), es necesario identificar los equipos principales y sus correspondientes variables de operación, en los cuales hay una mayor criticidad o afectación en las características de calidad de la gasolina producto. El octanaje es una característica de calidad controlado en los reactores DC-501 A-D, de los cuales el más importante es el primero (reactor DC-501), ya que en él se efectúan el mayor porcentaje de las reacciones de reformación. El P.V.R. como característica de calidad es controlado en la torre estabilizadora DA-501. Las variables de proceso que afectan ambas características de calidad se mencionan a continuación:

** Para el octanaje*

De todas las reacciones químicas que ocurren en el proceso de reformación catalítica de naftas, son las de aromatización e hidrocracking las que deben ser controladas dentro de ciertos límites para obtener a la vez alto rendimiento y alto octanaje de la gasolina producto, así como suficiente producción de hidrógeno. Asimismo, es importante mantener la presión parcial de hidrógeno en el sistema de reacción a fin de inhibir la formación de coque sobre el catalizador, asegurando así una mayor vida de éste.

Las principales variables que afectan las reacciones de reformación son las siguientes:

- a) Temperatura del reactor
- b) Presión del reactor
- c) Espacio/velocidad
- d) Relación molecular hidrógeno/hidrocarburo

a) Temperatura del reactor.

La temperatura a la que se mantienen los lechos catalíticos es la principal variable en el diseño y operación de la unidad para controlar la salida del producto. Temperaturas muy altas, sobre 538° C, pueden producir reacciones térmicas que disminuirán los rendimientos del reformado y aumentarán la desactivación catalítica, debido a un alto depósito de carbono sobre el catalizador.

Aumentando la temperatura de reacción se incrementarán las reacciones de aromatización e hidrocracking, sin embargo, el hidrocracking será incrementado en mayor proporción cuando la temperatura aumenta. Por lo tanto, la temperatura de entrada a los reactores deberá establecerse de tal forma que se lleve a cabo la reacción de aromatización en el mayor grado posible con el menor hidrocracking de gasolina posible, para dar el número de octano y rendimiento deseado en el producto reformado.

Cuando exista reducción en la carga, primero se reduce la temperatura de reacción, ya que de lo contrario ocurrirá un exceso de cracking de la carga que se traducirá en un depósito excesivo de coque sobre el catalizador, desactivándolo. Por lo tanto, es necesario encontrar un balance entre la vida de servicio del catalizador y la realización de una reformación completa. De hecho, debe fijarse la temperatura mínima que permita una adecuada reformación de la carga.

b) Presión del reactor

La presión parcial del hidrógeno es la variable básica en el sistema de reacción y es función directa de la presión del sistema.

La presión del reactor afecta los rendimientos del reformado, los requerimientos de temperaturas de los reactores y la estabilidad del catalizador. La presión del reactor no tiene limitaciones teóricas, aún cuando si afectan las limitaciones prácticas del diseño. Al disminuir la presión del reactor se aumentará el rendimiento de hidrógeno y de reformado, disminuirán los requerimientos de temperatura para obtener un producto de calidad y acortará el ciclo del catalizador (aumentará el índice de coquificación del catalizador). Estos efectos se invierten al aumentar la presión. Por lo tanto, los reactores deberán ser operados a las presiones en las cuales se tenga un equilibrio entre la calidad del producto deseado, el tipo de alimentación que se procesa y la vida útil del catalizador entre cada regeneración.

c) Espacio/velocidad

El espacio/velocidad comúnmente denominado LHSV, indica la cantidad de nafta líquida en pies cúbicos por hora alimentada a los reactores por pie cúbico de catalizador, siendo una indicación de la severidad de la operación. Para esta unidad $LHSV = 2.1 \text{ h}^{-1}$.

El espacio/velocidad tiene un gran efecto sobre la calidad del producto (número de octano). Mientras más alto sea el espacio/velocidad, menor será la calidad del producto o se podrá tener menos cantidad de reacción. Al aumentar la temperatura de los reactores se compensa este efecto.

Dentro de los parámetros normales de la reformadora, el espacio/velocidad tiene poco efecto sobre los rendimientos del producto y la estabilidad catalítica. A espaciov/velocidades muy bajas pueden efectuarse las reacciones térmicas a un grado suficiente como para disminuir los rendimientos del reformado. Como el volumen de catalizador es fijo, el espacio/velocidad puede variar solamente por cambios en la velocidad de alimentación. Un decremento de la velocidad de la alimentación o abatimiento del espacio/velocidad permitirá una reducción de temperatura en el reactor; un incremento en el flujo de alimentación requerirá un incremento en la temperatura para obtener la misma calidad de producto.

d) Relación molecular hidrógeno/hidrocarburos

La relación hidrógeno/hidrocarburos (H_2/H_c) se define como las moles de hidrógeno de recirculación por moles de nafta cargada a la unidad. La relación de diseño para esta unidad es 5.5:1, valor recomendado a las condiciones normales de operación. Valores más altos dentro del rango disponible con el equilibrio no tiene efectos importantes, mientras que una relación más baja tiende a

incrementar el depósito de coque sobre el catalizador, envejeciéndolo rápidamente. La causa del aumento en la relación hidrógeno/hidrocarburo podrá ser:

- * Aumento en la velocidad del compresor.
- * Disminución de la nafta al reactor con un flujo constante de recirculación.
- * Aumento en la presión del separador de baja presión con el consecuente aumento de la cantidad de gas bombeado.

Las tres causas anteriores son los medios de control directo de la relación en cuestión. Sin embargo, varias circunstancias pueden surgir, las cuales reducen la relación hidrógeno/hidrocarburo sin que exista cambio en las condiciones de operación como:

- * Caída en el porcentaje de hidrógeno en el gas de recirculación.
- * Incremento en la caída de presión a través de la sección de reacción (el compresor comprimirá menor cantidad de gas).
- * Caída en la eficiencia de compresión debido a fallas mecánicas. Por esta razón, la relación hidrógeno/hidrocarburo deberá ser revisada frecuentemente

*** Para el P.V.R.**

En el caso de la sección de estabilización, se considera la Presión de Vapor Raid (P.V.R.) como la más importante característica de calidad. La volatilidad de la gasolina esta en función del P.V.R. y garantiza el adecuado comportamiento de la gasolina en los vehículos bajo cualquier condición climatológica. Si la gasolina es muy volátil, en climas calientes se producirá un sello de vapor que impedirá el arranque del motor y si la volatilidad es baja, el motor no arrancará en climas fríos, debido a que la gasolina se mantiene en forma líquida. La volatilidad debe estar bien balanceada para garantizar una operación adecuada y eficiente de los motores bajo cualquier condición climatológica, motivo por el cuál este parámetro se ajusta de acuerdo al clima de cada región del país y temporada del año.

Las variables que afectan al P.V.R. como característica de calidad son las variables de operación de la torre DA-501, las cuales son:

- * La temperatura de alimentación
- * La temperatura del fondo
- * La temperatura del domo
- * La presión del domo
- * La relación de reflujo

Esta última se define como la relación L/D

Donde:

L = Reflujo líquido a la torre DA-501

D = Producto destilado

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2 SISTEMA DE CALIDAD ISO-9002 IMPLANTADO EN LA REFINERÍA “MIGUEL HIDALGO”

En el año de 1996 se realizó el esquema de formación de auditores internos con miras a enfrentar las auditorías por el Instituto Mexicano de Normalización y Certificación (IMNC) el cual es un Organismo de Normalización y Certificación de Sistemas, de Productos y Procesos, de Personas y una Unidad de Verificación registrados y reconocidos por el Gobierno Mexicano, a través de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía y acreditados por la entidad mexicana de acreditación (ema) de acuerdo a los lineamientos establecidos por la Ley Federal de Metrología y Normalización y las normas, guías y directrices internacionales aplicables. El proceso de certificación sigue la siguiente estructura (Fig.2.1) ⁴:

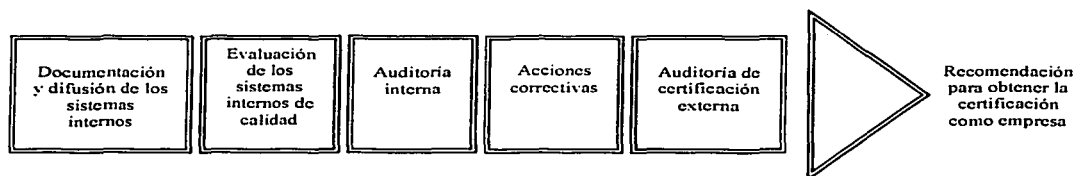


Figura 2.1 Proceso de certificación en la Refinería “Miguel Hidalgo”

En 1997 se logran certificar las líneas de gasolinas Pemex magna y Pemex premium por parte de la compañía SGS (Societe Generale Surveillance). Ambas organizaciones (IMNC y SGS) forman parte de una serie de organizaciones acreditadas por la ISO para certificar empresas bajo sus normas.

Dentro de la Refinería “Miguel Hidalgo” se aplica la norma ISO 9002 “Sistema de Calidad Modelo para el Aseguramiento de la Calidad en Producción, Instalación y Servicio”, la cual fue seleccionada entre las normas ISO 9001 e ISO 9003 porque es aplicable cuando un proveedor debe asegurar la conformidad con los requisitos especificados durante la producción, instalación y servicio.

Esta norma especifica los requisitos del sistema de calidad, que deben utilizarse cuando se necesita demostrar la capacidad de un proveedor para suministrar productos conformes en base a un diseño establecido.

Los requisitos especificados en esta norma están orientados principalmente para lograr la satisfacción del cliente, previniendo la no conformidad en todas las etapas, desde producción hasta el servicio. Esta norma se aplica cuando:

- * Están especificados los requisitos de un producto en base a un diseño o especificación establecida.
- * La confianza en la conformidad del producto puede lograrse por una demostración adecuada de la capacidad del proveedor en la producción, instalación y servicio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los 20 requisitos que un proveedor debe cumplir, contenidos en la norma ISO 9002 "Sistema de Calidad Modelo para el Aseguramiento de la Calidad en Producción, Instalación y Servicio" se describen brevemente²⁰:

- 1) Responsabilidad de la dirección:
 - Identificar al personal de la organización, responsable de asegurar que las actividades son planeadas, implementadas, controladas y verificar si su avance es efectivo.
 - Revisar los resultados de las auditorías ejecutadas.
 - Implantar acciones correctivas.
- 2) Sistema de calidad:
 - Elaborar los documentos necesarios para sustentar el sistema de calidad.
 - Llevar una adecuada planeación de la calidad del producto/servicio, manteniendo actualizados los procesos, equipos y personal.
- 3) Revisión del contrato:
 - Indicar cuándo, cómo y por quién se revisan los requerimientos especificados por los clientes para los productos.
 - Indicar cómo se documentan las revisiones y cómo son resueltas las diferencias entre cliente y proveedor.
- 4) Control del diseño:
 - No es aplicable dentro de la Refinería.
- 5) Control de documentos y datos:
 - Todos los documentos y procedimientos del sistema de calidad deben ser controlados, identificados y revisados periódicamente.
 - Debe existir una lista maestra de documentos controlados.
 - Debe haber un procedimiento de gestión para el control de documentos.
 - Se deben documentar las funciones encargadas de elaborar, revisar, aprobar y autorizar los procedimientos.
- 6) Adquisiciones:
 - Deben existir procedimientos documentados que indiquen las bases para la adquisición de productos/servicios.
 - Deben estar documentados los métodos empleados para la evaluación, selección, control y monitoreo del desempeño de los subcontratistas.
- 7) Control de productos proporcionados por el cliente:
 - Este requisito contempla integrar en los productos finales, algún producto suministrado por el cliente; por lo cual éste requisito no aplica en el sistema de calidad de la Refinería.
- 8) Identificación y rastreabilidad del producto:
 - Deben existir procedimientos documentados que indiquen la forma en que están identificados desde la materia prima, los productos intermedios y los productos terminados.
 - Deben especificarse los requerimientos de la rastreabilidad tales como rotular líneas y equipos y notificar productos.

- 9) Control del proceso:
- Deben existir procedimientos documentados que indiquen la manera de llevar a cabo el control del proceso y las condiciones que aseguren que se cumplan las especificaciones del producto.
 - Debe contar con personal calificado para realizar las actividades de control de proceso.
 - Asegurar la capacidad continua del proceso.
- 10) Inspección y prueba:
- Deben existir procedimientos que indiquen las pruebas, métodos, análisis de laboratorio para asegurar que el producto cumple con las características especificadas.
 - Se debe documentar dónde está localizado cada punto de inspección y prueba y los criterios de aceptación/rechazo utilizados y las técnicas de calificación de personal.
- 11) Control de equipo de inspección, medición y prueba:
- Debe estar documentado el sistema de control utilizado para la identificación del equipo de inspección, medición y prueba. El método de calibración, indicación y registro del estado de calibración.
 - Deben mantenerse los registros de calibraciones a los equipos para validar los resultados obtenidos con el equipo.
- 12) Estado de inspección y prueba:
- Deben establecerse los lineamientos para desarrollar, documentar y mantener un sistema que garantice el estado de conformidad o no conformidad de los productos en: recibo, producto intermedio, producto terminado.
- 13) Control de producto no conforme:
- Deben establecerse documentos donde se indiquen los requerimientos para identificar un producto no conforme o segregado para prevenir su uso indebido hasta su adecuada disposición.
- 14) Acciones correctivas y preventivas:
- Deben documentarse los lineamientos que permitan eliminar las causas reales o potenciales de no conformidad de un producto. Tales directrices deben incluir las acciones correctivas y preventivas que serán adecuadas a la magnitud del problema.
- 15) Manejo, almacenamiento, empaque, conservación y entrega:
- Deben existir procedimientos documentados de los métodos que mantenga y garantice la conformidad de un producto durante su manejo, almacenamiento y entrega al cliente.
- 16) Control de registros de calidad:
- Se deben establecer procedimientos documentados para archivar y conservar los registros de calidad, de acuerdo a los requisitos legales o de autoridades regulatorias.
 - Indicar qué registros deben mantenerse, por cuánto tiempo, dónde y por quién. Los registros deben estar disponibles cuando se requieran.
- 17) Auditorías de calidad:
- Deben existir procedimientos para la administración y ejecución de auditorías de calidad.
 - Deben existir programas de auditorías y llevarse a cabo por personal calificado e independiente del área a auditar.
 - Se deben llevar a cabo auditorías de seguimiento para verificar si las acciones correctivas y preventivas fueron efectivas.

18) Capacitación:

- Se deben identificar las necesidades de capacitación y elaborar los programas para vigilar su cumplimiento y evaluación tanto a personal de nuevo ingreso como al personal existente.

19) Servicio.

- Los lineamientos de este requisito no están considerados dentro del sistema de calidad de la Refinería, ya que son aplicables al servicio al cliente posterior a la venta.

20) Técnicas estadísticas:

- Identificar la necesidad de técnicas estadísticas requeridas para el establecimiento, control y verificación de la capacidad del proceso y de las características del producto.
- Establecer y mantener procedimientos documentados para implantar y controlar la aplicación de las técnicas estadísticas identificadas.

2.2.1 CONCEPTOS MANEJADOS DENTRO DEL SISTEMA DE CALIDAD DE LA REFINERÍA "MIGUEL HIDALGO".

Los conceptos y definiciones manejados dentro de la Refinería, han sido estructurados de tal forma, que todo el personal de este centro de trabajo, comprenda los objetivos esenciales de un sistema de calidad, como lo es ISO-9002, y de igual forma, se sientan motivados a mantener e incrementar día con día la calidad dentro de esta institución.

Aseguramiento de Calidad: Conjunto de actividades planeadas y sistemáticamente implantadas dentro del sistema de calidad y demostradas según se requiera para proporcionar la confianza adecuada de que un elemento cumplirá con los requisitos para la calidad.

Sistema de Calidad: Es la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para implantar la administración de la calidad.

Política de Calidad: Desarrollar e implantar un sistema integral de Administración comprometidos con la mejora continua cumpliendo con la legislación, regulaciones y otros requerimientos que adopte la organización en calidad, seguridad y ambiente aplicables a todos los procesos y productos de la refinería que satisfagan a nuestros clientes comprometiéndonos a prevenir la contaminación en beneficio de la comunidad.

Misión de la Refinería: Contribuir al progreso de México, proporcionando productos petrolíferos de calidad certificada, mediante la transformación eficiente, segura y rentable del petróleo y la protección esmerada del ambiente, con el esfuerzo, creatividad y orgullo de sus trabajadores.

Visión de la Refinería: En la Refinería "Miguel Hidalgo", principal fuente de combustibles derivados del petróleo para la ciudad más grande del mundo y materias primas para la industria petroquímica, aspiramos a que nuestra labor sea de vanguardia, con procesos de mejora continua, que nos permitan obtener la certificación en ISO-9001:2000, NMX-SAST-001-IMNC:2000 y ganar el premio nacional de calidad.

Elaborar productos ecológicos, que sean reflejo de la seguridad, orden, limpieza y respeto a nuestro entorno, que se aprecian dentro y fuera de nuestras instalaciones y mantener los certificados como industria limpia y en el sistema de administración ambiental (ISO-14001:1996).

Que la sociedad y en especial los pobladores del área de influencia, conozcan el esfuerzo del personal de la refinería con relación al mejoramiento del ambiente.

Esperamos, además de lo ya expresado, que el ambiente de trabajo sea fundamentalmente de armonía y cordialidad, en donde el apoyo mutuo de todo el personal será la clave del éxito.

Estamos seguros que con el desarrollo del personal en todos los niveles, será posible la toma de decisiones, dejando a cada trabajador libertad de acción, donde su entusiasmo y actitud positiva, se vea alimentado permanentemente por un sistema efectivo de reconocimiento, que fomente la creatividad y contribuya a reforzar el clima de camaradería y respeto que impera en la refinería.

2.2.2 OBJETIVOS DE LA ORGANIZACIÓN

La implementación del sistema de calidad ISO-9002 en la Refinería "Miguel Hidalgo", sigue principalmente los siguientes objetivos:

- 1) Mejorar continuamente el sistema de producción: El personal debe realizar su trabajo apegado a los procedimientos establecidos en el sistema de calidad, repercutiendo en la mejora del sistema de producción.
- 2) Mejorar continuamente el sistema de adquisiciones: Las adquisiciones para éste centro de trabajo deben de apegarse a los procedimientos establecidos con el fin de hacer más óptimo y eficiente el desarrollo de la Refinería.
- 3) Mejorar continuamente el ambiente laboral: Todo el personal debe ser responsable del trabajo que le corresponde y a la vez debe existir un apoyo mutuo, creando un ambiente de armonía y cordialidad.
- 4) Capacitar permanentemente a todo el personal: El personal debe ser capacitado para conocer, comprender y poder desarrollar eficientemente su trabajo de acuerdo a los procedimientos del sistema de calidad.
- 5) Proteger y respetar permanentemente al ambiente, con base a la normatividad ambiental vigente: La Refinería "Miguel Hidalgo" esta comprometida a respetar y mantener el medio ambiente limpio, contribuyendo al bienestar social, además de continuar certificada como industria limpia.
- 6) Mejorar continuamente el ejercicio presupuestal: La implantación del sistema de calidad en la Refinería busca la optimización de todos los sistemas que la integran (desde los procesos productivos, hasta los procesos administrativos) obteniendo productos de calidad con el fin de lograr un crecimiento como empresa tanto a nivel nacional como internacional.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

3.1 DEFINICIONES

3.1.1 ESTADÍSTICA

El control y mejora de la calidad para la producción de bienes y servicios requiere de utilizar diversas técnicas y herramientas para la correcta toma de decisiones, lo que hace necesario la obtención de datos; los cuales deben ordenarse, analizarse e interpretarse en forma de gráficas y valores, para lo cual se hace necesario el uso de la estadística.

La **estadística** es una rama de las matemáticas que se encarga de la recopilación de datos, presentación, análisis e interpretación de resultados con el propósito de evaluar objetivamente la confiabilidad de las inferencias y decisiones basadas en estimaciones y pruebas estadísticas con dichos datos⁶.

La **estadística descriptiva** es aquella que aplica los procedimientos que permiten organizar y resumir los datos colectados, de modo de tener una presentación ordenada de ellos¹.

La **estadística inductiva ó estadística inferencial** es aquella que trata de obtener conclusiones generales a partir de datos que se deducen de muestras para la correcta toma de decisiones¹.

En las últimas décadas, la evolución de la estadística ha hecho pasar de la estadística descriptiva a la estadística inductiva la cual es más comúnmente llamada inferencia estadística (Fig. 3.1). En otras palabras, la estadística es ahora un proceso de inducción lógica que partiendo de los datos de una parte n establece un juicio sobre todo el conjunto N ¹.

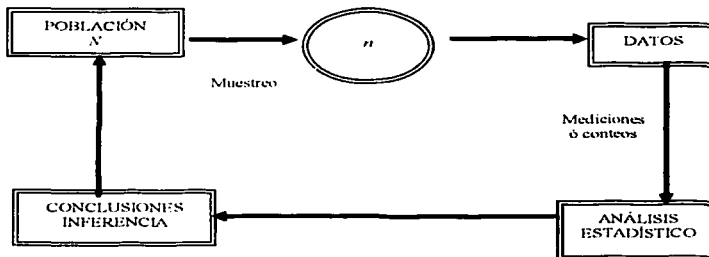


Figura 3.1 Inferencia Estadística

3.1.2 TIPOS DE DATOS

Alrededor de la operación diaria de las organizaciones se generan muchos datos que varían de acuerdo a su finalidad y proceso involucrado, por tanto es necesario clasificarlos en términos de su propósito real, por ejemplo:

- * Datos que ayuden a entender la situación actual.
- * Datos para análisis del proceso.
- * Datos para el control del proceso.
- * Datos para el rechazo o el no rechazo de productos.

Para poder tomar acciones apropiadas es necesario evaluar las condiciones que prevalecen, las cuales son reveladas por los datos, por lo que es importante determinar si representan las condiciones reales o no. Este problema puede plantearse de la siguiente forma:

- 2) ¿Revelan los datos la realidad?
- 3) ¿Son cotejados, analizados y comprobados los datos, de tal forma que revelan la realidad?

El inciso número uno ilustra un problema de método de muestreo, de cómo se obtienen los datos (el muestreo al azar es el más recomendable). El número dos es un problema de procedimiento o método estadístico, de cómo se representan los datos para su interpretación.

Tiene especial importancia conocer bien el uso que se le va a dar a los datos, o sea, es necesario estar conciente de su propósito, ya que son la base para poder tomar una acción apropiada en la búsqueda de las mejoras y la estabilización del control en los procesos para el mejoramiento de la calidad y la productividad.

Los datos estadísticos se obtienen mediante la observación ó medición de las características elementales de las unidades de una muestra. Estos datos pueden ser: continuos, discretos, ordinales y nominales y se clasifican básicamente en¹⁰:

1. Datos cuantitativos:

- a) **Datos continuos:** Son datos que provienen de mediciones efectuadas, por ejemplo: ventas (\$), peso (gr.), temperatura (t), etc.; son valores dentro de un rango lógico establecido.
- b) **Datos discretos:** Son datos que provienen de conteos, por ejemplo: errores, fallas, defectos, etc. Estos datos no se podrían definir por fracciones o números decimales (como los continuos); concretamente son datos que guardan relación estricta con números enteros.

2. Datos cualitativos:

- a) **Datos nominales:** Comprenden categorías como género (femenino o masculino), color de ojos o piel, etc.
- b) **Datos ordinales:** Se refieren a evaluaciones subjetivas según preferencia o logros, es decir hay un orden o jerarquía, por ejemplo el número de cilindros de los automóviles.

Tanto los datos nominales como los ordinales deben ser convertidos a números antes de trabajar con ellos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1.3 MEDIDAS DESCRIPTIVAS DE LOS DATOS

Los datos estadísticos simplemente son números referidos a cierta variable o factor ($x_1, x_2, \dots, \dots, x_n$), por lo tanto, es necesario calcular ciertas medidas que permitan describir mejor lo que los datos representan.

Generalmente se requiere conocer la tendencia y dispersión de los datos; es por esto que las medidas descriptivas de los datos se clasifican en:

- 1) Medidas de tendencia central (o localización).
- 2) Medidas de dispersión (o variación).

Para la representación de estas medidas descriptivas se utilizan letras latinas para datos reales que provienen de muestras, y letras griegas para representar a la población como distribución teórica. Ejemplo (Fig. 3.2):

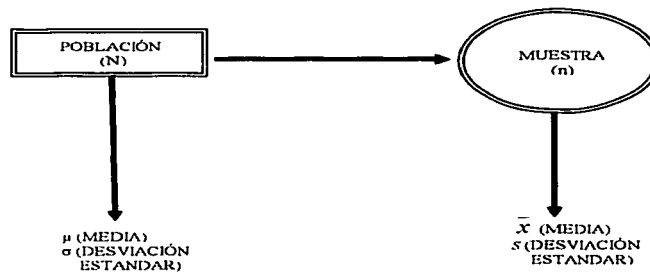


Figura 3.2 Representación de las medidas descriptivas

\bar{x} es un estimador de μ , y s es un estimador de σ cuando la muestra tomada corresponde a esa población.

Las medidas descriptivas de mayor utilización son las siguientes:

1) Medida de tendencia central

Cuando tenemos un conjunto de datos referentes a un mismo asunto, en forma natural los agrupamos en torno a un dato central, que en alguna forma representa al conjunto. Este dato central puede estar representado por la media:

* Media (\bar{x}): Es el promedio de un conjunto de datos. Se define:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Σ = sumatoria

x_i = valor observado

n = tamaño de la muestra

2) Medida de dispersión

Para tener una idea exacta de la forma como se relacionan entre si los datos de un conjunto, es necesario examinar que tanto difieren entre si, es decir, que grado de dispersión hay entre ellos. Los indicadores cuantitativos que nos indican la variación entre los datos se conocen como medidas de dispersión.

Una de las medidas de dispersión más comunes es:

* La desviación estándar (s): Es la medida de dispersión que proporciona el promedio de desviación de un conjunto de datos con respecto a un valor central (media) y se representa matemáticamente por la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

Σ = sumatoria

x_i = valor observado

\bar{x} = media

n = tamaño de muestra (número de datos).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1.4 OBTENCIÓN DE DATOS

Es vital tener bien claro cual es el propósito para obtener datos, y obtener datos razonables. Generalmente los propósitos son los siguientes:

- a) **Datos para Análisis:** Son datos que necesitamos para comprender una cierta situación, presente o pasada, con el fin de mejorarla. Generalmente estos datos se utilizan para comprender la situación actual de ciertos problemas.
- b) **Datos para el Control de Proceso:** Son datos que necesitamos obtener sistemáticamente y en periodos de tiempo más cortos, para poder monitorear un proceso o sistema con el fin de mantenerlo dentro de ciertos límites u objetivos.
- c) **Datos de Inspección:** Son datos que necesitamos para decidir el no rechazar o rechazar cierto producto. Generalmente estos datos son resultado de verificar ciertas características de calidad en productos y pueden emplearse posteriormente para propósitos de análisis o control.
- d) **Datos para Auditoría de Calidad:** Son datos necesarios de obtener para verificar el cumplimiento de ciertas políticas, desempeños, etc. con la finalidad de ayudar al personal a hacer bien su trabajo.

Otro punto de suma importancia es la obtención de datos; los cuales deben obtenerse mediante un muestreo correcto, generalmente al azar. Esta muestra debe ser tal que represente en forma correcta a la población. Es primordial asegurarse que las mediciones o conteos para la obtención de datos sean correctos para asegurar la confiabilidad.

3.2 HERRAMIENTAS BÁSICAS

Las técnicas estadísticas permiten resolver la mayoría de los problemas de calidad y productividad en los procesos de producción o sistemas productivos.

La utilización de técnicas y herramientas es variado, sin embargo considerando que el control y mejora de la calidad es un esfuerzo unido entre todo el personal de una compañía, se han seleccionado técnicas y herramientas básicas para crear un lenguaje común en toda la organización.

Las técnicas y herramientas básicas se han agrupado para crear una metodología sistemática y ordenada para la correcta toma de decisiones, de la siguiente forma:

1. Diagrama de Pareto
2. Histograma
3. Diagrama Causa - Efecto
4. Estratificación
5. Diagrama de Dispersión
6. Gráficas de Control
7. Hojas de verificación y Chequeo

Las anteriores siete herramientas básicas forman parte de una metodología para identificación, análisis, solución y prevención de problemas. A continuación y con fines meramente ilustrativos se da una muy breve descripción de cada una de ellas, ya que en su mayoría no forman parte del presente estudio.

1. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una gráfica de barras que representa en forma ordenada, de mayor a menor, los problemas sujetos a estudio, tales como: defectivos, fallas, errores, devoluciones, demoras, accidentes, etc.

2. Histograma

El histograma es una gráfica de barras que representa los datos agrupados y ordenados, con el fin de determinar las veces en que ocurren las variaciones de dichos datos.

3. Diagrama de Causa - Efecto

Esta herramienta es explicada y desarrollada en el siguiente capítulo.

4. Estratificación

La estratificación es la clasificación de factores (materiales, mano de obra, métodos, maquinaria y medio ambiente) en una serie de grupos con características similares (turnos, tipo de material, departamentos, etc.) con el propósito de comprender mejor la situación y encontrar la causa de los problemas más fácilmente.

5. Diagrama de Dispersión

Este diagrama se utiliza para estudiar la posible relación entre una variable y otra. Así, de alguna manera, prueba relaciones de causa y efecto; no sirve para probar que una variable causa a la otra, pero si permite comprobar si existe o no una relación y que tan firme es ésta.

El diagrama de Dispersión es una gráfica de puntos que muestra la relación entre un par de datos, como puntos en un sistema de ejes cartesianos xy .

6. Gráficas de Control

Una gráfica de control es una herramienta estadística que muestra en forma continua la variabilidad de un proceso. Sirve principalmente para detectar problemas en los procesos para su estabilización.

Una gráfica de control consta de límites de control (superior e inferior) establecidos con el propósito de obtener un juicio respecto al comportamiento del proceso, esto es, determinar si es estable o si no lo es, es decir, si está bajo control o fuera de él. Al usar estos límites es posible distinguir desviaciones.

7. Hojas de Verificación o Chequeo

Una hoja de verificación es un formato especial para reunir datos fácilmente, en la que todos los artículos o factores necesarios son previamente establecidos, resultados de inspección o resultados de operaciones son fácilmente descritos con marcas utilizadas para verificar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3 JUICIO ESTADÍSTICO

El juicio estadístico es una manera por la cual la información es observada, procesada y convertida en acción concreta. Es una filosofía de reflexión. En otras palabras, es una forma de pensamiento y no sólo un conjunto de operaciones y cálculos. Esta es la principal diferencia entre el juicio estadístico y las técnicas estadísticas como un conjunto de herramientas

El juicio estadístico incluye tres principios fundamentales:

- 1) Todo trabajo es una serie de procesos interconectados: Todos los procesos deben investigarse con el fin de identificar las áreas de oportunidad y mejora. La identificación y minimización de variación en cada uno de los procesos contribuirá al logro de la meta deseada.
- 2) Todo proceso presenta variación: La variación es un hecho de la vida, y existe en todo tipo de proceso.
- 3) El entendimiento y reducción de la variación es la clave del éxito: En la mayoría de los casos, la reducción de la variación es crítica para el éxito. Reducir la variación del producto satisface al cliente, se reduce la variación del proceso; en las entradas, se reduce la variación del producto, y en los negocios, normalmente se reducen los costos.

La unicidad del juicio estadístico es que consiste de un proceso de pensamiento y no sólo de técnicas numéricas. Este proceso de pensamiento se ve afectado por la forma en que se toma, se procesa y reacciona ante la información. Específicamente, habilita una visión de trabajo dentro del contexto en que ocurre el proceso, el significado de la variación, y el valor que toma el tiempo para entender y reducir la variación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN LA REFORMADORA U-500-II

En la Unidad Reformadora de Gasolina (U-500-II), se tiene ya estructurada una metodología que permite la identificación de variables significativas, utilizando solamente técnicas de regresión lineal simple y considerando solamente el coeficiente de determinación (r^2) como el único estadígrafo o estimador de diagnóstico en la identificación de las variables (Anexo B).

Por tal motivo, en este trabajo se realiza un estudio que permite la identificación de variables significativas en la Unidad Reformadora de Gasolina (U-500-II) utilizando algunas de las siete herramientas antes mencionadas, además de técnicas de regresión múltiple; siguiendo los siguientes pasos (Anexo C. Metodología propuesta para identificar variables significativas en la U-500-II).

- 4.1) Planteamiento del problema
- 4.2) Lluvia de ideas
- 4.3) Diagrama de causa-efecto
- 4.4) Modelo de regresión múltiple
- 4.5) Diagnóstico del modelo de regresión múltiple

4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La solución de problemas para el mejoramiento de la calidad, demanda seguir un procedimiento lógico, ordenado y sistemático (Fig. 4.1)¹.

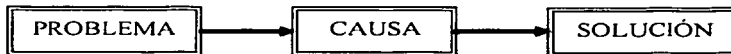


Figura 4.1 Esquema para la solución de problemas

El anterior esquema muestra las tres grandes etapas lógicas para resolver problemas, con el fin de mejorar los resultados. Esto es, identificar, analizar y resolver problemas.

Un problema debe ser planteado con relación a sus efectos ó síntomas, este problema debe estar sustentado con datos. Un problema nunca debe ser fundamentado por la imaginación e intuición.

La verdadera solución es la que previene el problema y esto se logra identificando, confirmando y eliminando la causa. La imaginación e intuición son necesarias para la definición de ciertas cosas, pero posteriormente siempre se requerirá de la comprobación (datos).

Es necesario investigar y estudiar el problema desde diferentes puntos de vista para comprender mejor sus características o naturaleza.

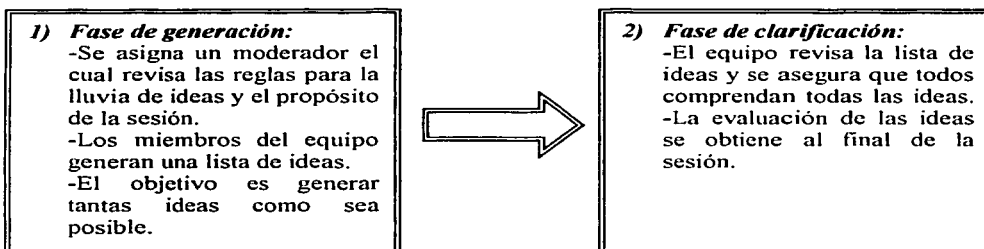
4.2 LLUVIA DE IDEAS

El propósito de esta técnica, como su nombre lo indica, es generar ideas; en nuestro caso ideas creativas para encontrar y resolver problemas, con el fin de mejorar la calidad y la productividad¹.

Considerando que la solución de los problemas de calidad es un esfuerzo en grupo, es necesario hacer participar a quienes conozcan los hechos en primera instancia (por ejemplo supervisores y operarios)¹.

PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE LLUVIA DE IDEAS

El procedimiento para la generación de lluvia de ideas se compone de dos fases:



Las reglas para lluvia de ideas incluyen:

- * Identificar a un moderador.
- * Establecer claramente el propósito de la sesión de lluvia de ideas.
- * Cada miembro del equipo participa de manera secuencial, expresando una sola idea en cada oportunidad.
- * Siempre que sea posible los miembros del equipo generan otras ideas.
- * No se permiten las críticas o discusiones.
- * Se registran las ideas para que todos los participantes puedan verlas.
- * El proceso debe continuar hasta que no sea posible generar más ideas.
- * Las ideas se revisan para propósitos de clarificación.

La lluvia de ideas ha sido la clave del éxito de muchos esfuerzos por mejorar la calidad y la productividad; pues la creatividad humana organizada en grupo tiene un potencial infinito.

Esquemáticamente el proceso total del cual forma parte una tormenta de ideas es el siguiente (Fig. 4.2):

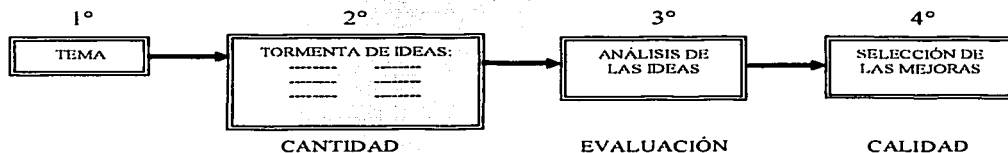


Figura 4.2 Esquema para el proceso de lluvia de ideas

El tema es, por ejemplo la necesidad de descubrir las causas de cierto problema o encontrar la forma de eliminar la causa de un problema.

4.3 DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO

El diagrama causa-efecto o diagrama de Ishikawa fue desarrollado por el Dr. Kaoru Ishikawa en la universidad de Tokio en 1953. Este diagrama se usa cuando es necesario explorar y visualizar las posibles causas de un problema específico, de una situación determinada o de una característica de calidad (efecto) y se elabora con el fin de representar las relaciones entre un "efecto" y una gama de "causas" posibles que lo producen¹.

Los diagramas de causa-efecto se elaboran para detectar con claridad las diferentes causas que afectan a un proceso, seleccionándolas, relacionándolas y tomando las acciones necesarias. Estas causas pueden agruparse en cinco áreas diferentes; se conocen como las "cinco emes" y son: Materiales, Maquinaria y equipo, Mano de obra, Métodos y Medio ambiente¹.

Un problema es un resultado no deseable, o la desviación de un objetivo, por ejemplo: defectivos, fallas, errores, demoras, etc., una *característica* de calidad es un atributo o cualidad como resultado deseable que un producto o servicio debe reunir.

Problema = Resultado real (no deseable)
Característica de calidad = Resultado esperado (deseable)

Resolver un problema = Mejora
Prevenir un problema = Control

El uso de este diagrama facilita en forma notable el entendimiento y comprensión del proceso y a su vez elimina la dificultad del control de la calidad en el mismo, aun en el caso de relaciones demasiado complicadas y promueve el trabajo en grupo, ya que es necesaria la participación de la gente involucrada en el proceso para su elaboración y uso. La relación causa-efecto debe ser analizada con precisión. Las causas del problema deben ser investigadas y confirmadas en base a datos.

COMO ELABORAR UN DIAGRAMA DE CAUSA - EFECTO

A continuación anotaremos los pasos necesarios para la elaboración del diagrama de causa - efecto¹:

- 1) Decidir la característica de calidad o problema a analizar.
- 2) Elabore una lista de todos los factores que tienen influencia sobre la característica de calidad o problema a analizar (lluvia de ideas).
- 3) Determine que factores dan lugar a otros y cuál es su relación entre ellos.
- 4) Escriba la característica de calidad al final de una flecha dibujada como base del diagrama.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- 5) Anote los factores principales que afectan o determinan esta característica. Generalmente las partes en que se divide el proceso son: Métodos, Mano de obra, Materiales, Maquinaria y Medio ambiente. También pueden ser utilizadas las fases del proceso, las cuales pueden ser: operación A, B, C, etc.
- 6) Apunte sobre las ramas de los factores principales los factores en detalle que causan o influyen en los principales. De igual manera escriba los factores pequeños que afectan a los factores en detalle.
- 7) Después de terminar el paso anterior, o sea cuando el diagrama muestre todos los factores que afectan a la característica de calidad, anote los factores suplementarios (detalles o pequeños) que causan dicha desviación o problema.
- 8) Identifique las causas que influyen en la característica de calidad (o problema) y seleccione las mas probables encerrándolas en el diagrama.

La elaboración de un diagrama de causa-efecto es flexible, se pueden emplear solamente algunas de las 5 “emes”, o solo alguna(s) fase del proceso y combinarlo con las “emes”.

Los usos del diagrama de causa - efecto son los siguientes:

a) Para mejorar la calidad.

Generalmente se elabora el diagrama de causa - efecto en base al método de las “cinco emes” (Fig. 4.3). El diagrama se emplea para identificar, analizar y seleccionar las causas más probables de un problema, para posteriormente confirmarlas y establecer la acción correctiva necesaria que prevenga la recurrencia del problema.

Eliminar la causa es la solución (acción correctiva) que previene la reocurrencia del problema. La acción correctiva que elimina el síntoma es un remedio inmediato; no es “solución definitiva”.

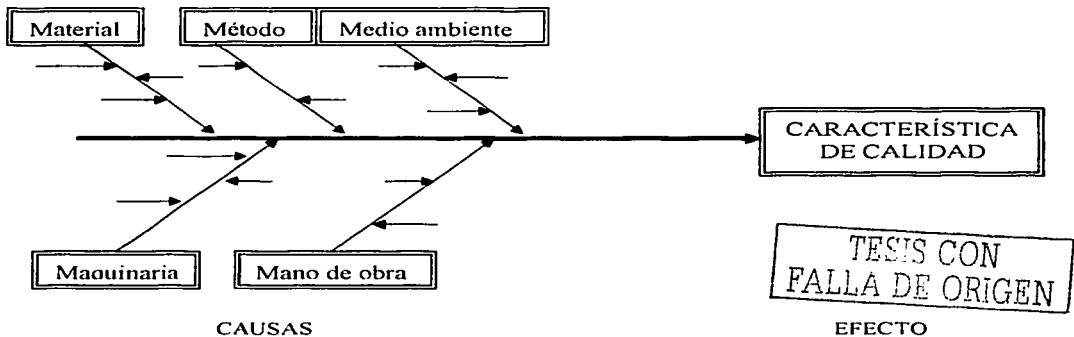


Figura 4.3 Diagrama Causa-Efecto para mejorar la calidad

b) Para control de procesos.

Generalmente se elabora el diagrama considerando las fases del proceso. El diagrama permite definir las causas o factores principales (variables de proceso) a controlar, para asegurar las características de calidad del producto (Fig. 4.4).

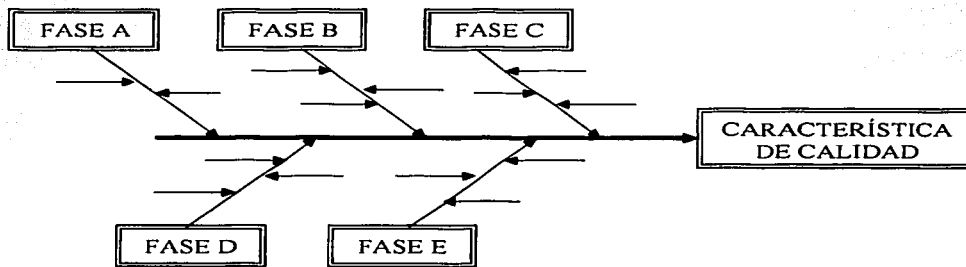


Figura 4.4 Diagrama causa-efecto para control de procesos

c) Para capacitación del personal.

La elaboración y explicación del diagrama causa – efecto permite que el personal se capacite, es decir le permite comprender mejor el desarrollo de un proceso y las dificultades ó problemas que éste pudiera tener, y la forma de cómo abordar dicho problema ,con el propósito de tener un control en la calida del proceso. Además que promueve el trabajo en grupo ya que es necesaria la participación de la gente involucrada en el proceso para la elaboración de dicho diagrama.

4.4 MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

El análisis de regresión es una de las técnicas estadísticas más utilizadas para el análisis de datos, investigación y construcción de modelos predictivos. Es un excelente recurso para conceptuar los resultados de un proceso simple, utilizando una ecuación que expresa la relación que existe entre un grupo de variables. Los casos en donde se utiliza un análisis de regresión requieren de una apreciación teórica y práctica, ya que esta técnica frecuentemente es utilizada con datos reales¹³.

La aplicación de la regresión es numerosa y ocurre en todas las profesiones tales como ciencias físicas, económicas, biológicas, sociales y por supuesto en la ingeniería, en realidad el análisis de regresión puede ser la técnica estadística más utilizada; dicha utilidad tiene varios propósitos, incluyendo los siguientes¹³:

1. Descripción de datos.
2. Estimación de parámetros.
3. Predicción y estimación.
4. Control.

"x" es llamada variable independiente, pero también se puede llamar variable predictora o regresora. "y" es llamada variable dependiente o variable respuesta. En general la respuesta puede estar relacionada con k regresoras x_1, x_2, \dots, x_k , obteniendo:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

El modelo se conoce como modelo lineal de regresión múltiple porque involucra más de un regresor. El adjetivo lineal es empleado para indicar que el modelo es lineal en los parámetros $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$, no por que "y" sea una función lineal de las x 's.

En general, el modelo clásico de regresión lineal múltiple debe cumplir con las siguientes suposiciones¹³:

- 1) Las variables independientes x_1, x_2, \dots, x_k son fijas o no aleatorias.
- 2) Pueden existir relaciones significativas de dependencia lineal entre dos cualesquiera de las variables independientes, pero su correlación no debe ser perfecta.
- 3) Los errores ε_i tienen distribuciones normales con $\mu_{\varepsilon_i} = 0$.
- 4) La varianza de la regresión es constante e igual a la varianza de los errores ε_i .

$$\sigma^2_{y/x_1, \dots, x_k} = \sigma^2_{\varepsilon_i} = \sigma^2$$

- 5) Los errores son estadísticamente independientes; es decir, los ε_i no están correlacionados.
- 6) El número de observaciones de la muestra debe superar el número de coeficientes de regresión que se deben estimar para garantizar que el número de grados de libertad sea diferente de cero.

Un importante objetivo del análisis de regresión es la estimación de los parámetros desconocidos β en el modelo de regresión, este proceso es también llamado adecuación del modelo. El modelo de regresión proporciona la facilidad de análisis de multivariantes mediante arreglos matriciales con el fin de obtener la ecuación multivariante¹³.

De esta manera se obtiene la ecuación de regresión múltiple que mejor representa el comportamiento de una variable dependiente con respecto a la variación de más de una variable independiente¹³.

Donde:

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$ se denominan variables regresoras o predictoras.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ se denominan coeficientes de regresión.

β_1 indica el cambio esperado en "y" por cada cambio unitario en x_1 , cuando x_2, x_3, \dots, x_i permanecen constantes.

β_2 indica el cambio esperado en "y" por cada cambio unitario en x_2 cuando x_1, x_3, \dots, x_i permanecen constantes.

ε = Error aleatorio.

A continuación se presenta la deducción matricial de las ecuaciones en término de las observaciones:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix}$$

En general "y" es un vector de respuesta (n x 1), y "x" es una matriz (n x p) de los niveles de las variables de regresión.

Con la matriz transpuesta de x (x'):

$$x' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix}$$

Y la matriz x multiplicada por x' obtenemos la matriz simétrica A (p x p), donde los elementos de la diagonal $x'x$ corresponden a la suma de los cuadrados de las columnas de x, y los elementos fuera de la diagonal corresponden a la suma de los productos cruzados de las columnas de x.

$$A = x'x = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix}$$

El vector columna G es el resultado de la multiplicación de la matriz transpuesta x' con el vector respuesta "y".

$$G = x'y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix}$$

Como paso final encontramos el vector de estimadores de mínimos cuadrados β , siendo resultado de la multiplicación de la matriz inversa de A y del vector G.

$$\beta = (x'x)^{-1} * (x'y)$$

El vector de coeficientes de regresión es un vector ($p \times 1$):

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}$$

Una vez obtenidos los coeficientes de regresión, se sustituyen en la fórmula del modelo lineal de regresión múltiple. En general, una ecuación de regresión es solamente una aproximación de la verdadera relación entre las variables involucradas.

Un aspecto esencial del análisis de regresión es la recolección de datos, una buena recolección de datos tiene varios beneficios, como la simplificación del análisis y que el modelo encontrado sea más general. Muchas de las técnicas utilizadas en el análisis de regresión pueden ser seriamente afectadas por una mala recolección de datos¹³.

Un modelo de regresión no implica una relación causa-efecto entre las variables, incluso aunque exista una fuerte relación entre dos o más variables; esto no puede ser considerado como evidencia que las variables regresoras y la respuesta están relacionadas en un diagrama causa - efecto. La relación entre variables puede sugerirse por consideraciones teóricas. El análisis de regresión puede ayudar a conformar una relación causa-efecto, pero no puede ser la única base para conformarlo¹³.

4.5 DIAGNÓSTICO DEL MODELO DE REGRESIÓN

El siguiente paso del análisis de regresión es llamado “*Diagnóstico del Modelo de Regresión*”, en el cual las propiedades del modelo son estudiadas, comprobando así si el modelo encontrado es conveniente. Las violaciones de los supuestos pueden dar un modelo inestable en el sentido de que podría conducir a un modelo totalmente diferente con conclusiones opuestas. Las técnicas de diagnóstico más utilizadas son las que verifican los supuestos del modelo, dichas técnicas son: el análisis de varianza, el coeficiente de determinación múltiple, el análisis de residuos y la multicolinealidad¹³.

4.5.1 ANÁLISIS DE VARIANZA

Una vez obtenida la ecuación de regresión de la muestra, se debe establecer si la ecuación resultante es estadísticamente significativa para poder utilizarla como instrumento de control o predicción. Esta inferencia (hacer generalizaciones a partir de una muestra) se realiza primeramente mediante un análisis de varianza en el cual se utiliza una prueba de hipótesis por medio del estadístico *F* Fisher, que debe utilizarse en un análisis de regresión múltiple ya que analiza características generales¹³.

Esta prueba determina si hay una relación lineal entre la respuesta *y* y alguna de las variables regresoras x_1, \dots, x_k .

La hipótesis nula (*H*₀) es cualquier hipótesis estadística que se establece en principio con el único propósito de rechazarla o anularla y la hipótesis alternativa (*H*_a) es cualquier suposición que difiera de la nula. Estas hipótesis a contrastar son:

$H_0 = \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_n = 0$. Al menos uno de los coeficientes de regresión es igual a cero. (*y* no depende de las variables independientes x_1, x_2, \dots, x_n).

$H_a = \beta_0 \neq 0 \text{ ó } \beta_1 \neq 0, \dots, \text{ ó } \beta_n \neq 0$. Al menos uno de los coeficientes de regresión es diferente de cero. (*y* depende de las variables independientes x_1, x_2, \dots, x_n).

Si la hipótesis nula $H_0 = \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_n = 0$ no es rechazada, *y* no depende linealmente de *x*, en caso contrario, se dice que *y* depende de x^{10} .

El procedimiento es usualmente resumido en una tabla de análisis de varianza ANDEVA (tabla 4.1).

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	<i>F</i> calculada
REGRESIÓN (explicada)	k-1	$SC_{reg} = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	$CM_{reg} = \frac{SC_{reg}}{g.l.}$	
ERROR (inexplicada)	n-k	$SC_{error} = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$CM_{error} = \frac{SC_{error}}{g.l.}$	$F_{calc.} = \frac{CM_{reg}}{CM_{error}}$
TOTAL	n-1	$SC_{total} = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$		

4.1 Tabla de ANDEVA o ANOVA

Donde:

k = número de variables, tratamientos ó número de coeficientes en la ecuación de regresión.

\bar{Y} = Media de los valores observados (Y_i)

$$\bar{Y} = \sum \frac{Y_i}{n} \quad n = \text{número de datos de muestra; } Y_i = \text{Valores observados}$$

\hat{Y}_i = Valor calculado o ajustado de Y_i , obtenido por medio del modelo de regresión.

La suma total de cuadrados (SC_{total}) se divide en suma de cuadrados de regresión ($SC_{\text{explicada}}$) y suma de cuadrados de residuos (SC_{error}).

$$SC_{\text{total}} = SC_{\text{explicada}} + SC_{\text{error}}$$

La $F_{\text{calculada}}$ obtenida de la tabla de ANDEVA se debe comparar con la $F_{\text{teórica}}$, (obtenida de tablas) observando en que zona (rechazo o no rechazo) cae $F_{\text{calculada}}$ y poder así no rechazar o rechazar la hipótesis nula, esto es:

$F_{\text{calculada}} > F_{\text{teórica}}$: se rechaza la hipótesis nula

$F_{\text{calculada}} < F_{\text{teórica}}$: no se rechaza la hipótesis nula

4.5.2 COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN MÚLTIPLE (R^2)

Otro estadístico muy útil en el análisis de regresión múltiple es el **Coefficiente de Determinación Múltiple** ($0 \leq R^2 \leq 1$), el cual indica el porcentaje de la variación en y explicada (o asociada) por la variación de las x 's o viceversa. Este estadístico debe ser utilizado con precaución ya que es posible hacer que R^2 se incremente adicionando variables explicativas al modelo a pesar de que estas variables contribuyan o no al modelo¹¹.

Generalmente R^2 se incrementará si se incrementan o adicionan las x 's y decrementará como las x 's decrementen, asumiendo que la forma del modelo es conveniente, esto implica que no necesariamente un valor grande de R^2 conlleva a que el modelo de regresión sea un buen predictor. Esto es posible para modelos que tienen valores grandes de R^2 , lo cual puede llevar a interpretar, predecir o estimar mal. Algunos paquetes estadísticos hacen uso del estadístico R^2 ajustada para proteger al modelo de un sobreajuste, como sería incluir variables innecesarias al modelo. Si R^2_{ajustada} y R^2 difieren dramáticamente, entonces indica que el modelo ha sido sobre-especificado, esto es, hay términos que no contribuyen significativamente al ajuste¹³. El coeficiente de determinación R^2 se define como:

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT} \quad (\text{suma de cuadrados de regresión}) \\ (\text{suma de cuadrados total}).$$

$$R^2_{\text{ajustada}} = 1 - \frac{n-1}{n-k} (1 - R^2)$$

La raíz cuadrada positiva de R^2 es el coeficiente de correlación múltiple, el cual mide la asociación entre y y el grupo de variables explicativas x_1, x_2, \dots, x_k ¹¹.

No es posible detectar desviaciones o violaciones de las suposiciones del modelo considerando únicamente los resultados obtenidos del estadístico de prueba F_{fisher} o el coeficiente de determinación múltiple (R^2), ya que éstos miden propiedades globales del modelo, por lo que se debe recurrir al análisis de los residuos para verificar las suposiciones del modelo de regresión múltiple¹¹.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.5.3 RESIDUOS Y ANÁLISIS DE RESIDUOS

1) Tipos de residuos

Los residuales se definen como la diferencia entre lo observado y lo ajustado por la ecuación de regresión. El error es una medida de la variabilidad no explicada por el modelo de regresión. Existen tres tipos de residuos, los cuales son:

- * **Residuos Ordinarios:** Los residuos ordinarios involucran las unidades del problema original, es decir, son función de la varianza. Esta no independencia de los residuos tiene un pequeño efecto en la investigación de la adecuación del modelo siempre que n no sea pequeño¹¹.
- * **Residuos Estandarizados:** Una forma de expresión de los residuos es dividirlos entre su desviación estándar. Los residuos estandarizados tienen media cero y varianza aproximadamente unitaria¹¹.
- * **Residuos Estudentizados:** Dado que los residuos ordinarios involucran las unidades del problema y los resultados que arroja el análisis de los mismos se ve alterado por estas unidades, se busca otra forma de expresarlos, la cual no dependa de escala alguna. Los residuales estudentizados son extremadamente útiles en el diagnóstico de regresión lineal simple y múltiple¹¹.

2) Análisis de residuos

* Gráficas de residuos

Dentro del chequeo de la adecuación del modelo los residuos (e) juegan un papel importante, ya que éstos nos permiten detectar desacuerdos o violaciones entre el modelo y los datos para los cuales se ajusta. Las posibles violaciones al modelo se pueden tipificar como:

- Presencia de casos extraordinarios en los datos.
- Evidencia que sugiere varianza no constante.
- Evidencia de que la distribución de los errores no proviene de una distribución normal.
- Evidencias que sugieren que la forma del modelo no es la apropiada.
- Autocorrelación, que se define como la falta de independencia de los errores.

El análisis de los residuos se basa en gráficas que despliegan las características generales de los residuos, y con base en éstas se puede determinar la violación de los supuestos. Específicamente se obtienen las siguientes gráficas:

- a) Gráficas de normalidad
- b) Gráficas de residuales contra los valores ajustados (\hat{y}_i)

a) Gráficas de Normalidad

Un método simple para probar el supuesto de normalidad es el de graficar los residuos contra una escala especial que está relacionada con los percentiles de una normal estándar. Al graficar los residuos, si éstos se comportan de acuerdo a una línea recta (Fig. 4.5) se cumple el supuesto de normalidad de los errores¹¹.

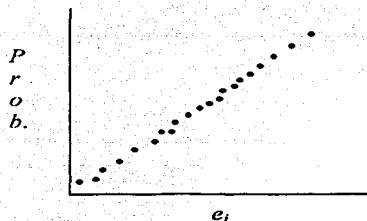


Figura 4.5 Curva de probabilidad normal ideal

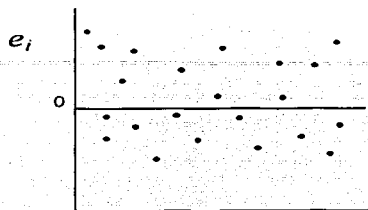
En algunos estudios se ha establecido que las gráficas de normalidad realizadas con muestras pequeñas ($n \leq 16$), frecuentemente se desvían sustancialmente de la linealidad. Para muestras grandes ($n \geq 32$), las gráficas se comportan mucho mejor. Usualmente se requiere alrededor de 20 puntos para obtener gráficos de probabilidad normal estables y lo suficientemente fáciles de interpretar¹¹.

Aunque pequeñas desviaciones de la normalidad no afectan grandemente al modelo, la no normalidad bruta es potencialmente más seria si se considera que los estadísticos t y F , así como los intervalos de confianza y de predicción dependen del supuesto de normalidad.

El supuesto de normalidad también puede comprobarse construyendo un Histograma de residuos, sin embargo, frecuentemente el número de residuos es demasiado pequeño para permitir una fácil identificación visual de la forma de la distribución normal¹¹.

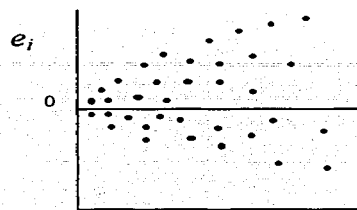
b) Gráficas de residuales contra los valores ajustados (\hat{y}_i)

En ésta se grafican los residuos contra los valores ajustados (\hat{y}_i) y no los observados (y_i) ya que los e_i y los \hat{y}_i no están correlacionados, mientras que los e_i y los y_i están usualmente correlacionados (Fig.4.6 a-d). Si al graficar, la nube de puntos se concentra sobre el eje en una banda horizontal (Fig. 4.6 a), esto indica que no hay anormalidad en el modelo¹¹.



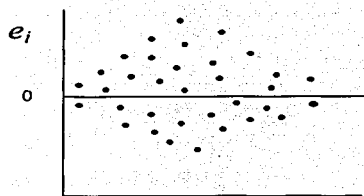
y_i

(a)



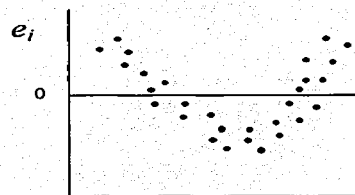
y_i

(b)



y_i

(c)



y_i

(d)

Figura 4.6 Patrón de Residuos

En caso de que la gráfica se presente como las figuras b-d, se puede pensar en una deficiencia del modelo.

El patrón de la figura 4.6b indica que la varianza de los errores no es constante. Este patrón de embudo de apertura hacia fuera implica que la varianza es una función creciente de y (un embudo de apertura hacia adentro es también posible, e indica que la varianza se incrementa cuando y decrece) en este caso se puede aplicar una transformación de las observaciones y_i , tales como raíz cuadrada, logaritmo natural, inversa, etc¹¹.

En la Figura 4.6c se presenta un patrón de doble arco que es frecuente cuando y es una proporción entre 0 y 1 (binomial). La varianza de una proporción binomial cerca de 0.5 es más grande que una cercana a 0 ó a 1. Un tratamiento usual para corregir la desigualdad de la varianza es aplicar una adecuada transformación a una variable explicativa ó a la variable respuesta. En la práctica, las transformaciones sobre las respuestas se emplean generalmente para estabilizar varianzas¹¹.

Un gráfico curvado como el de la Figura, 4.6d, indica no linealidad. Esto significa que necesita otras variables como variables explicativas en el modelo que puede ser un término cuadrático o la transformación de la variable explicativa¹¹.

Cuando la varianza de los errores no es constante sobre todas las observaciones, se dice que el error es heteroscedástico. La heteroscedasticidad se puede remover por medio de una adecuada transformación de la variable dependiente (y) y puede tener una distribución en la que la varianza dependa de los datos. Las transformaciones se dan desde una raíz cuadrada hasta una recíproca¹¹.

A veces podemos usar experiencias anteriores o consideraciones teóricas como guía para seleccionar transformaciones apropiadas. Sin embargo, en algunos casos no tenemos razones *a priori* para sospechar que la varianza del error no es constante. Una primera indicación del problema se realiza desde la inspección del diagrama de dispersión o en el análisis de residuos. En estos casos la transformación aplicada se puede seleccionar empíricamente¹¹.

4.5.4 MULTICOLINEALIDAD

Este problema surge cuando no se cumple la condición que señala que ninguna de las variables independientes puede ser una combinación lineal exacta de las otras variables independientes¹¹.

Si las variables independientes están perfectamente relacionadas entre sí en forma lineal se dice que son linealmente dependientes. En estos casos no se puede obtener estimaciones de los coeficientes de la ecuación de regresión, ya que no se pueden resolver las ecuaciones normales¹¹.

En la práctica rara vez se presentan casos de dependencia perfecta, ya que los errores de muestreo y de medición son inevitables. Sin embargo se habla de un problema de multicolinealidad cuando dos o más variables independientes están altamente correlacionadas entre sí o cuando hay bajas correlaciones entre dos variables pero altas entre tres o más¹¹.

Es posible detectar estas correlaciones con el coeficiente de correlación múltiple pero considerando una regresión de una de las variables independientes respecto de las otras, esto es R_i es el coeficiente de correlación múltiple de x_i y las $(k-1)$ variables independientes restantes. En consecuencia se pueden determinar k 's R_i , uno para cada variable independiente. Si uno o más de estos es aproximadamente igual al coeficiente de correlación múltiple, entonces se dice que hay un problema de multicolinealidad.

Otra manera de verificar la presencia de multicolinealidad es calculando las correlaciones entre cada par de variables involucradas y si alguna de estas correlaciones es tan grande como 0.8, entonces se estaría hablando de un problema de multicolinealidad¹¹.

Los efectos de la multicolinealidad llevan a que los errores estándares de los coeficientes sean elevados, es decir tienden a ser mayor de lo que serían si no hubiera multicolinealidad. Como consecuencia el valor del estadístico (F_{fisher}) en la prueba de hipótesis de significación de los β_i es más pequeño de lo que debería ser, y por lo tanto es posible llegar a la conclusión errónea de que la variable independiente x_i no es importante en el modelo¹¹.

Una manera de corregir la multicolinealidad es eliminando del modelo la variable independiente que esté más seriamente involucrada en la multicolinealidad, con el inconveniente de que el modelo resultante no represente correctamente la relación poblacional de interés. Otra manera sería tratar de reemplazar la variable multicolineal por otra menos colineal pero sin alterar el contenido teórico del modelo¹¹.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El principal objetivo para cualquier industria siempre es el obtener, mantener e incrementar la calidad en sus productos, ya que esto garantizará una conformidad de sus clientes, así como un aumento de mercado. Una herramienta bastante útil para el manejo de la calidad son las técnicas estadísticas como las utilizadas en este estudio.

En esta sección se desarrolla la metodología propuesta y descrita en la sección anterior.

5.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN LA REFORMADORA U-500-II

En este trabajo de Tesis el problema a resolver es el encontrar que variables de operación son más significativas para la calidad del producto en la Unidad Reformadora de Gasolina U-500-II, con la utilización de algunas herramientas estadísticas (lluvia de ideas y diagrama causa-efecto) y de técnicas de regresión (modelos de regresión múltiple y el diagnóstico del modelo de regresión), realizando previamente los cálculos a mano para después elaborar una macro que permitiera facilitar dichos cálculos y posteriormente rectificarlos y complementarlos con el programa SPSS.10; ya que una vez encontradas estas variables, estaremos en la posibilidad de hacer una comparación con las que actualmente son manejadas en este sector y hacer una propuesta en base al estudio realizado.

En la gasolina producto de la U-500-II se consideran dos características de calidad, las cuales son: el octanaje (dentro de la sección de carga y reacción) y el P.V.R (Presión de Vapor Raid). (dentro de la sección de estabilización).

El estudio estadístico se basa considerando los equipos de operación principales en los cuales se da una afectación mayor a la calidad de la gasolina producto y que pueden dar un mejor control de las variables de operación.

Para obtener un alto octanaje en la gasolina es necesario que las reacciones de reformación se lleven a cabo eficientemente, para lo cual se debe suministrar a los reactores condiciones de operación óptimas de T, P, relación H_2/H_c y relación espacio/velocidad (todas ellas explicadas en la sección 2). Las reacciones de reformación se efectúan en cuatro reactores en serie, de los cuales el más importante es el primer reactor (Reactor DC-501), ya que en él se realizan la mayor cantidad de las reacciones, repercutiendo en mayor medida en el octanaje obtenido. por tal motivo se consideran las variables de operación de este reactor para la elaboración del presente estudio. Las variables independientes (x_i) para el Reactor DC-501 son: Temperatura del reactor (x_1), Presión del Reactor (x_2), Relación Hidrógeno/Hidrocarburo (x_3) y el Espacio Velocidad (x_4) y la variable dependiente (y) es el octanaje.

En lo que se refiere al P.V.R como variable dependiente (y), las variables independientes (x 's) que se toman en cuenta para la elaboración de este estudio son las variables operativas de la Torre DA-501, ya que de éstas depende una buena separación de los componentes ligeros presentes en la mezcla, influyendo directamente en la volatilidad de la gasolina obtenida y como hemos mencionado, el P.V.R. es una medida de la volatilidad de la gasolina. Estas variables operativas son: Temperatura de Alimentación (x_1), Temperatura de Domo (x_2), Temperatura de Fondo (x_3), Presión de Domo (x_4) y Relación de Reflujo (x_5).

Una vez identificadas las características de calidad para la gasolina, variables dependientes y (octanaje y P.V.R.) y sus correspondientes variables independientes x 's (variables de operación del reactor y torre) se procedió a la recolección de datos de dichas variables, los datos obtenidos para las variables independientes son datos por turno tomados directamente del control distribuido, mientras que la obtención de las variables dependientes son los datos por turno reportados del laboratorio, durante el periodo del 7 al 21 de mayo del año 2002 tanto para variables dependientes como para variables independientes.

La utilización de herramientas estadísticas, lluvia de ideas y el diagrama causa-efecto nos ayudan a visualizar que una característica de calidad es un objetivo integral de toda una organización; sin embargo, para analizar que variables independientes (variables de operación del reactor DC-501 y de la torre DA-501) son más significativas; es decir, que afectan en mayor grado a las características de calidad (octanaje y P.V.R.), es necesario recurrir a un estudio de regresión múltiple para obtener resultados sustentables e interpretarlos en busca de mejorar la calidad de la gasolina producto de la Reformadora U-500-II. Este estudio de regresión múltiple se realiza primero mediante una macro (programa en Excel), la cual ejecuta las operaciones matriciales necesarias para la obtención de los parámetros desconocidos (β) del modelo de regresión lineal múltiple y posteriormente mediante la hoja de cálculo realizar un análisis de varianza (ANDEVA) con el modelo de regresión obtenido. Una manera de corroborar y mejorar dicho modelo es utilizando el paquete estadístico SPSS. 10 el cual despliega modelos y parámetros con cuya interpretación llegamos a la mejor conclusión del estudio realizado bajo circunstancias específicas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.2 LLUVIA DE IDEAS PARA EL OCTANAJE Y P.V.R.

Para elaborar la lluvia de ideas recordemos los pasos descritos en la sección anterior así como la figura 4.2. Después de una reunión con el jefe del sector número 8 y la ingeniero asesor del presente trabajo, se estructuró la lluvia de ideas para las características de calidad (octanaje y P.V.R.), mostradas a continuación (figuras 5.1 y 5.2 respectivamente).

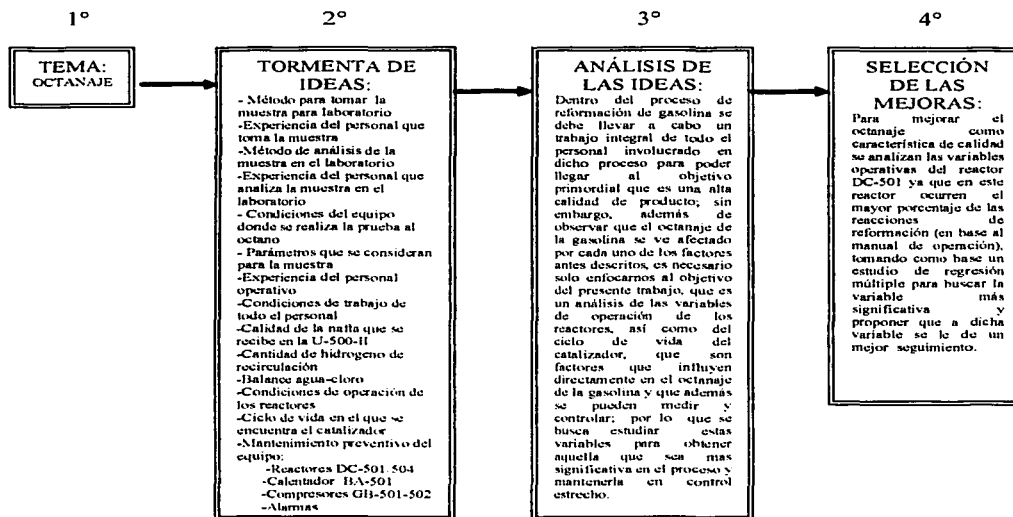


Figura 5.1 Lluvia de ideas para el octanaje

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

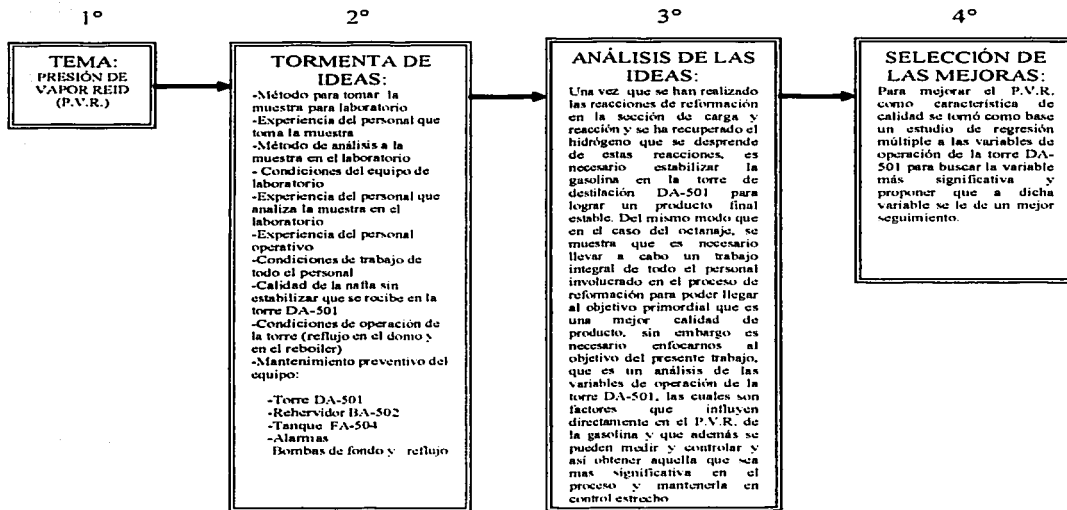


Figura 5.2 Lluvia de ideas para el P.V.R.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.3 DIAGRAMAS CAUSA-EFECTO PARA EL OCTANAJE Y P.V.R.

Una vez realizada la lluvia de ideas se procede a la elaboración de los diagramas causa-efecto para poder esquematizar que una característica de calidad (Octanaje y P.V.R.) se ve afectada por todos los factores que constituyen un proceso. De aquí podemos identificar que dentro de estos factores o causas se encuentran las variables de operación que se estudiarán para cada caso, ya que como se mencionó anteriormente (sección 4) las causas deben ser investigadas y confirmadas en base a datos además de que el objetivo de este trabajo es la identificación de las variables más significativas en el proceso de reformación de gasolina.

En el primer diagrama se muestran las posibles causas que influyen en la calidad del octanaje (figura 5.3):

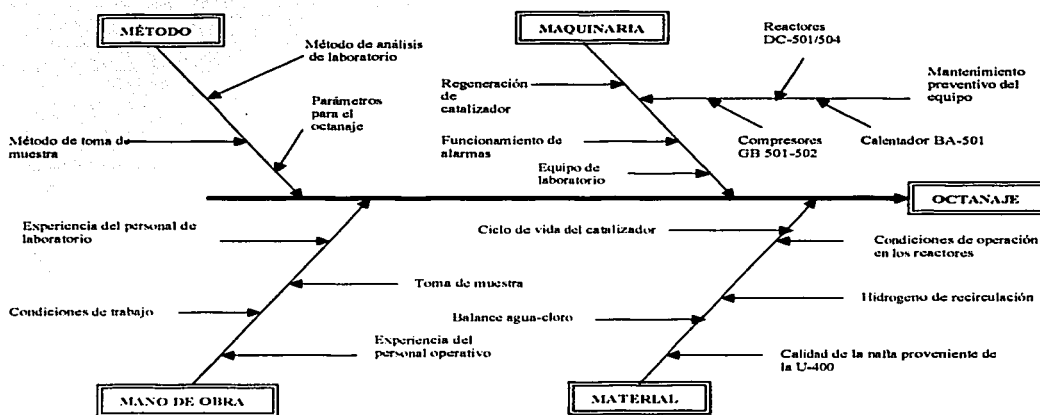


Figura. 5.3 Diagrama causa-efecto para el octanaje.
(Sección de carga y reacción)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el segundo diagrama se muestran las posibles causas que influyen en la calidad del P.V.R. (figura 5.4):

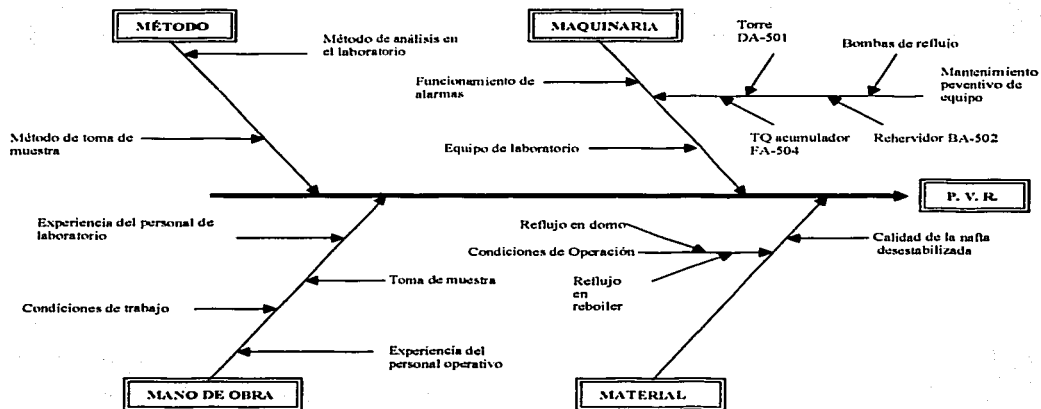


Fig. 5.4 Diagrama causa-efecto para el P.V.R. (Sección de estabilización)

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

5.4 MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA EL OCTANAJE Y P.V.R.

Esta parte del estudio es la más importante ya que en ella se obtiene el modelo de regresión que mejor representa el comportamiento de las variables involucradas en el proceso. Para obtener dicho modelo se recolectaron datos durante un periodo de 14 días consecutivos, obteniendo 3 valores por día (un valor por cada turno) de variables tanto independientes así como dependientes.

Como se ha mencionado en secciones anteriores la gasolina producto de la U-500-II tiene dos características de calidad: el octanaje y el P.V.R., las cuales son manejadas en el reactor DC-501 y en la torre de destilación DA-501 respectivamente, por lo que se obtendrá un modelo de regresión lineal múltiple para cada característica de calidad.

5.4.1 MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA EL OCTANAJE

Primero analizaremos el octanaje (como característica de calidad) en el reactor DC-501, el cual es manejado como variable dependiente (y) y cuyas variables independientes son: Temperatura (T) (x_1), Presión (P) (x_2), Relación H_2/H_C (x_3) y Espacio/ Velocidad (x_4), como se muestra en la tabla 5.1.

La temperatura, presión y la relación H_2/H_C son variables que da directamente el sistema de control distribuido; para el espacio/velocidad es necesario transformar la carga, la cual se reporta en MBD (miles de barriles al día) a ft^3/hr (pies cúbicos por hora) para posteriormente dividirla entre los ft^3 de catalizador existente (200,000 lb de catalizador) y cuya densidad es de 0.7 gr/cm^3 (en base al manual de operación). Con estos datos se hacen las conversiones necesarias para obtener la relación espacio/velocidad en unidad de hr^{-1} . Los datos obtenidos por esta relación se muestran en la tabla 5.1.

$$\text{Masa de catalizador} = 200,000 \text{ lb de catalizador} \left(\frac{454 \text{ gr}}{1 \text{ lb}} \right) = 90,800,000 \text{ gr}$$

$$\rho_{\text{catalizador}} = 0.7 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{volumen de catalizador} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}} = \frac{90,800,000 \text{ gr}}{0.7 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = 129,714,285 \text{ cm}^3 = 4,580.7919 \text{ ft}^3$$

$$\text{Carga a la U-500-II} = 24,300 \text{ B/D} = 5,685.19 \text{ ft}^3/\text{hr}$$

$$\text{relación} \frac{\text{espacio}}{\text{velocidad}} = \frac{5,685.19 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}}}{4,580.7919 \text{ ft}^3} = 1.241 \text{ hr}^{-1}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

* Este valor cambia de acuerdo a los datos reportados de carga (Tabla 5.1).

TABLA 5.1 DATOS PARA EL REACTOR DC-501

VECTOR UNITARIO	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (Kg/cm ²)	RELACIÓN H ₂ /HC (MOLAR)	CARGA REPORTADA (MBD)	ESPACIO VELOCIDAD (hr ⁻¹)	OCTANAJE REPORTADO
	X ₁	X ₂	X ₃		X ₄	Y OBSERVADA
1	474.0	11.2	6.647	24.3	1.2410	87.8
1	474.5	11.4	6.576	24.3	1.2410	88.6
1	474.1	11.0	6.325	24.3	1.2410	88.3
1	474.2	11.0	6.298	24.31	1.2416	88.8
1	474.7	11.2	6.415	24.3	1.2410	90.0
1	474.5	11.3	6.408	24.3	1.2410	89.8
1	473.9	11.0	6.349	24.3	1.2410	89.5
1	473.9	11.7	6.403	24.3	1.2410	90.2
1	474.0	10.9	6.297	24.3	1.2410	90.6
1	474.2	11.0	6.406	24.29	1.2405	90.2
1	474.5	11.5	6.580	24.3	1.2410	90.5
1	474.2	11.0	6.145	24.3	1.2410	90.4
1	474.7	11.1	6.262	24.3	1.2410	90.0
1	474.3	11.7	6.733	24.3	1.2410	90.8
1	473.7	10.9	6.299	24.3	1.2410	90.6
1	474.3	11.5	6.140	24.3	1.2410	90.4
1	474.2	11.6	6.335	24.29	1.2410	90.2
1	474.2	11.0	6.124	24.28	1.2400	90.0
1	474.0	11.0	6.074	24.13	1.2324	90.0
1	474.6	11.0	6.257	24	1.2257	90.2
1	474.0	11.1	6.125	23.99	1.2252	91.4
1	474.0	11.0	6.131	24	1.2257	91.3
1	474.6	10.9	6.299	24	1.2257	90.0
1	474.3	11.1	6.179	24	1.2257	91.4
1	474.2	10.9	6.138	24	1.2257	90.0
1	474.9	11.4	6.228	24	1.2257	90.0
1	474.1	10.9	6.142	24	1.2257	90.0
1	474.4	11.2	6.198	24.01	1.2262	90.2
1	474.5	10.8	6.415	23.99	1.2252	90.5
1	473.9	10.8	6.385	24	1.2257	90.5
1	474.6	11.2	6.413	23.99	1.2252	90.4
1	474.5	11.0	6.662	23.97	1.2242	90.5
1	474.6	11.2	6.526	23.98	1.2247	90.5
1	474.4	11.0	6.602	23.87	1.2191	90.4
1	474.3	11.0	6.915	23.76	1.2135	90.4
1	474.0	11.2	6.769	23.76	1.2135	90.3
1	474.2	11.0	6.671	23.74	1.2124	90.1
1	474.7	11.1	7.142	23.66	1.2084	90.4
1	474.6	11.2	6.645	24	1.2257	90.2
1	474.7	11.0	6.438	24	1.2257	89.0
1	474.5	11.0	6.423	24	1.2257	90.5
1	473.9	11.1	6.234	24	1.2257	90.4
1	474.1	11.2	6.178	24.01	1.2262	90.1

Σ=43

Σ=3875.4

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Con la elaboración de una macro (Anexo D), la cual realiza el procedimiento de regresión lineal múltiple, se obtuvo el siguiente modelo:

$$\begin{aligned}\beta_0 &= 270.6967309 \\ \beta_1 &= -0.274975422 \\ \beta_2 &= 0.830337404 \\ \beta_3 &= -1.0330207 \\ \beta_4 &= -42.8871172\end{aligned}$$

$$Y_{\text{calculada}} = 270.6967309 - 0.274975422 X_1 + 0.830337404 X_2 - 1.0330207 X_3 - 42.8871172 X_4$$

5.4.1.1 DIAGNÓSTICO DEL MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA EL OCTANAJE

Posteriormente de la obtención del modelo de regresión se realizó la tabla de ANDEVA ó ANOVA para poder contrastar las hipótesis (nula H_0 y alternativa H_a) calculando la F_{fisher} , utilizando una hoja de cálculo y los datos de la tabla 5.1, obtenemos las tablas 5.2 y 5.3.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 5.2 HOJA DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANDEVA) EN EL REACTOR DC-501

VECTOR UNITARIO	TEMP.	PRESIÓN	RELACIÓN H ₂ /HC	ESPACIO VELOCIDAD	OCTANAJE REPORTADO	OCTANAJE CALCULADO (MACRO)	SCR	SCE	SCT
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y _{OBSERVADA}	Y _{AJUSTADA}	(Y _{CAL} - Y _{PROB}) ²	(Y _{OBS} - Y _{CAL}) ²	(Y _{OBS} - Y _{PROB}) ²
1	474.0	11.2	6.647	1.2410	87.8	89.56875876	0.310051454	3.128507546	5.408328848
1	474.5	11.4	6.576	1.2410	88.6	89.670683	0.206932556	1.146362083	2.327398608
1	474.1	11.0	6.325	1.2410	88.3	89.7078264	0.174519239	1.981975176	3.332747448
1	474.2	11.0	6.298	1.2416	88.8	89.68248815	0.196331363	0.77878533	1.757186048
1	474.7	11.2	6.415	1.2410	90.0	89.61593677	0.259737653	0.147504568	0.015770688
1	474.5	11.3	6.408	1.2410	89.8	89.76119674	0.132776184	0.001505693	0.106003248
1	473.9	11.0	6.349	1.2410	89.5	89.73802899	0.150196872	0.056657799	0.391352088
1	473.9	11.7	6.403	1.2410	90.2	90.26348205	0.01901659	0.004029971	0.005538128
1	474.0	10.9	6.297	1.2410	90.6	89.68121478	0.197461691	0.844166276	0.225073008
1	474.2	11.0	6.406	1.2405	90.2	89.61809774	0.257539664	0.338610239	0.005538128
1	474.5	11.5	6.580	1.2410	90.5	89.74958466	0.141373552	0.563123189	0.140189288
1	474.2	11.0	6.145	1.2410	90.4	89.86627258	0.067241062	0.284864954	0.075305568
1	474.7	11.1	6.262	1.2410	90.0	89.69095519	0.18889994	0.095506693	0.015770688
1	474.3	11.7	6.733	1.2410	90.8	89.81259505	0.097960453	0.974968528	0.454840448
1	473.7	10.9	6.299	1.2410	90.6	89.76164137	0.132452347	0.702845196	0.225073008
1	474.3	11.5	6.140	1.2410	90.4	90.25910885	0.017829579	0.019850317	0.075305568
1	474.2	11.6	6.335	1.2410	90.2	90.16820109	0.001816438	0.00101117	0.005538128
1	474.2	11.0	6.124	1.2400	90.0	89.93085314	0.037919096	0.004781289	0.015770688
1	474.0	11.0	6.074	1.2324	90.0	90.36344135	0.056577354	0.132089613	0.015770688
1	474.6	11.0	6.257	1.2257	90.2	90.29675699	0.029301083	0.009361915	0.005538128
1	474.0	11.1	6.125	1.2252	91.4	90.70257828	0.332925394	0.486397062	1.624142768
1	474.0	11.0	6.131	1.2257	91.3	90.59190285	0.217455697	0.501401571	1.379259048
1	474.6	10.9	6.299	1.2257	90.0	90.17033638	0.002003008	0.029014483	0.015770688
1	474.3	11.1	6.179	1.2257	91.4	90.54285897	0.174120572	0.734690741	1.624142768
1	474.2	10.9	6.138	1.2257	90.0	90.44664288	0.103080476	0.199489865	0.015770688
1	474.9	11.4	6.228	1.2257	90.0	90.57635693	0.203196575	0.332187306	0.015770688
1	474.1	10.9	6.142	1.2257	90.0	90.47000834	0.118629918	0.220907842	0.015770688
1	474.4	11.2	6.198	1.2262	90.2	90.55732422	0.186401862	0.127680597	0.005538128
1	474.5	10.8	6.415	1.2252	90.5	90.01641334	0.011917665	0.233856057	0.140189288
1	473.9	10.8	6.385	1.2257	90.5	90.19094566	0.004272486	0.095514588	0.140189288
1	474.6	11.2	6.413	1.2252	90.4	90.3231168	0.039020235	0.005911026	0.075305568
1	474.5	11.0	6.662	1.2242	90.5	89.97021183	0.024139705	0.28067551	0.140189288
1	474.6	11.2	6.526	1.2247	90.5	90.22782902	0.010454576	0.074077042	0.140189288
1	474.4	11.0	6.602	1.2191	90.4	90.27841491	0.023358081	0.014782935	0.075305568
1	474.3	11.0	6.915	1.2135	90.4	90.22274483	0.009440731	0.031419396	0.075305568
1	474.0	11.2	6.769	1.2135	90.3	90.62212596	0.246556496	0.103765132	0.030421848
1	474.2	11.0	6.671	1.2124	90.1	90.54947525	0.179685995	0.202027999	0.006654408
1	474.7	11.1	7.142	1.2084	90.4	90.180017	0.002963234	0.048392522	0.075305568
1	474.6	11.2	6.645	1.2257	90.2	90.06201244	0.004041013	0.019040567	0.005538128
1	474.7	11.0	6.438	1.2257	89.0	90.0822827	0.001874777	1.171335847	1.266933488
1	474.5	11.0	6.423	1.2257	90.5	90.1527731	0.000739388	0.120566522	0.140189288
1	473.9	11.1	6.234	1.2257	90.4	90.596033	0.221324711	0.038428938	0.075305568
1	474.1	11.2	6.178	1.2262	90.1	90.66047726	0.28611358	0.314134758	0.006654408

Σ=43

Σ=3875.4

Σ=3875.400006

Σ=5.079652614

Σ=16.60220785

Σ=21.68186047

$\bar{y} = (\sum y_j) / n = 3875.4 / 43 = 90.1255814$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

De acuerdo a la tabla 4.1 y en base a los datos obtenidos en la tabla 5.2 se obtiene la tabla 5.3

TABLA 5.3 ANDEVA PARA EL REACTOR DC-501

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F _{calculada}
REGRESIÓN	5 - 1 = 4	5.079652614	5.079652614 / 4 = 1.269913154	
ERROR	43 - 5 = 38	16.60220785	16.60220785 / 38 = 0.436900207	1.269913154 / 0.436900206 = 2.90664351
TOTAL	43 - 1 = 42	21.68186047		

$H_0 = \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_n = 0$ (y no depende de las variables independientes x_1, x_2, \dots, x_n)

$H_a = \beta_0 \neq 0$ ó $\beta_1 \neq 0$ ó \dots ó $\beta_n \neq 0$ (y depende de las variables independientes x_1, x_2, \dots, x_n)

$F_{calculada} = 2.90664351$

$F_{teórica} 0.95, 4, 38 = 2.626$ (de tablas)

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT} = 0.234281215$$

Como $F_{calculada}$ es mayor que $F_{teórica}$, H_0 se rechaza y deducimos que el octanaje depende de al menos una de las variables independientes de operación: Temperatura, Presión, Relación H_2/H_c ó el espacio velocidad.

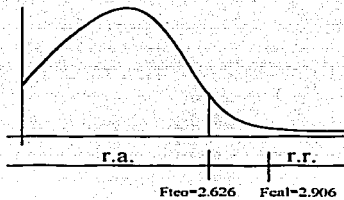


Figura 5.5 Región crítica para el octanaje

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

El valor de un coeficiente de determinación (R^2) demasiado bajo (0.234) y una $F_{calculada}$ cercana a la $F_{teórica}$ (Fig. 5.5) nos indican que el modelo desarrollado no es el que mejor se adecua a los datos, ya que además de los valores obtenidos, éstos estimadores no validan en su totalidad la adecuación de un modelo; por lo que se recurre al paquete estadístico SPSS.10⁷ para realizar un estudio completo de los datos y obtener el modelo más apropiado, el cuál debe cumplir los supuestos del modelo de regresión (diagnóstico del modelo).

⁷Los términos manejados por el paquete estadístico SPSS.10 se encuentran en idioma inglés.

En este estudio el paquete estadístico SPSS.10 despliega tres modelos, de los cuales se elige aquel que mejor cumpla con el diagnóstico del modelo de regresión. Mediante la eliminación de variables independientes que el mismo programa realiza se obtuvo que el modelo más apropiado es el que contiene la: *Presión, Relación H₂/Hc y el espacio velocidad* como variables independientes (modelo 2), obteniendo así un valor de F_{calculada} más alto que el valor de F_{teórica}, una menor significancia y la adecuación del modelo mediante los diagramas de normalidad y de dispersión de los errores, como se muestra en las tablas y gráficas siguientes:

La tabla 5.4 muestra la forma en la que el programa va eliminando variables independientes por el criterio de Backward¹¹, el cual inicia con todas las variables del modelo completo y va eliminando a cada paso una variable, tal eliminación causará que la suma de cuadrados de los residuos incremente lo menos posible. Esto es porque esta variable en el subconjunto general tiene la suma de cuadrados parcial más pequeña. El programa da un total de tres modelos, en los que se observa que el modelo 1 contiene las 4 variables independientes (x₁, x₂, x₃ y x₄) no se elimina ninguna variable, en el modelo 2 es eliminada x₁ y en el modelo 3 es eliminada x₂, como se muestra en la tabla 5.4.

Donde:

- X₁ = Temperatura del Reactor DC-501
- X₂ = Presión del Reactor
- X₃ = Relación Hidrógeno/Hidrocarburo
- X₄ = Relación Espacio/Velocidad

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X4, X1, X2, X3		Enter
2		X1	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= .100).
3		X2	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= .100).

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Y

Tabla 5.4 Variables removidas. Reactor DC-501

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La tabla 5.5 es una de las más importantes en el análisis de regresión múltiple. Nos muestra la ANOVA O ANDEVA para cada modelo, en la cual podemos ver que el valor de $F_{calculada}$ va aumentando en cada modelo obtenido, esto nos garantiza el rechazo de la hipótesis nula, ya que $F_{calculada}$ esta más alejada de $F_{teórica}$. Así mismo, nos muestra la significancia de cada modelo (entre menor sea alfa (α), más significativo será el modelo), por lo que podemos deducir que el mejor modelo es el segundo; en él la hipótesis nula se rechaza ($F_{cal}=3.746318 > F_{teor}=2.86$) y el nivel de significancia es el menor (0.1857).

También nos muestra los coeficientes de determinación múltiple (R^2), los cuales son pequeños para los tres casos, con valores decrecientes para el primero, segundo y tercer modelo respectivamente, mientras que el valor de R^2 ajustada más alto es para el segundo modelo (0.164). El valor de R^2 ajustada no difiere dramáticamente del valor de R^2 , lo cual indica que el modelo no contiene variables que no contribuyen significativamente al ajuste.

Donde:

- X_1 = Temperatura del Reactor DC-501
- X_2 = Presión del Reactor
- X_3 = Relación Hidrógeno/Hidrocarburo
- X_4 = Relación Espacio/Velocidad

ANOVA^d

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5.080	4	1.270	2.906644	.034184 ^a
	Residual	16.602	38	.437		
	Total	21.682	42			
2	Regression	4.850	3	1.617	3.746318	.018579 ^b
	Residual	16.831	39	.432		
	Total	21.682	42			
3	Regression	3.905	2	1.953	4.393567	.018841 ^c
	Residual	17.777	40	.444		
	Total	21.682	42			

- a. Predictors: (Constant), X4, X1, X2, X3
- b. Predictors: (Constant), X4, X2, X3
- c. Predictors: (Constant), X4, X3
- d. Dependent Variable: Y

Model	R	R ²	R ² Adjusted
1	.484	.234	.154
2	.473	.224	.164
3	.424	.180	.139

TFSIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 5.5 ANOVA de los modelos obtenidos. Reactor DC-501

Una vez que conocemos que el modelo 2 es el que mejor se adecua para estas condiciones específicas, podemos conocer sus coeficientes de regresión (β 's), los cuales se muestran en la tabla 5.6 y poder utilizar dicha ecuación en el análisis del octanaje como característica de calidad.

De este modelo se desprende que la variable más significativa es la x_1 , (relación espacio/velocidad), ya que esta variable tiene el coeficiente de regresión más alto (41.147) tomado en valor absoluto y por tanto afectará en mayor grado el resultado para y (octanaje), además de poseer el nivel más bajo de significancia (0.002); por lo que y depende en mayor grado de ella.

La deducción de la relación espacio/velocidad como la variable más significativa es importante, pues ésta variable esta relacionada directamente con el catalizador del Reactor DC-501. El catalizador como parte del espacio/velocidad juega un papel importante en el grado de afectación del octanaje (característica de calidad), pues de acuerdo al ciclo de vida en el que se encuentre, dependerá la temperatura y la presión de operación manejadas.

Donde:

- X_1 = Temperatura del Reactor DC-501
- X_2 = Presión del Reactor
- X_3 = Relación Hidrógeno/Hidrocarburo
- X_4 = Relación Espacio/Velocidad

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	270.697	182.133		1.486	.145
	X1	-.275	.380	-.110	-.724	.473
	X2	.830	.525	.258	1.581	.122
	X3	-1.033	.504	-.339	-2.049	.047
	X4	-42.887	12.873	-.580	-3.332	.002
2	(Constant)	139.258	15.442		9.018	.000
	X2	.759	.513	.236	1.480	.147
	X3	-1.085	.496	-.356	-2.186	.035
	X4	-41.147	12.569	-.556	-3.274	.002
	X4	-32.981	11.460	-.446	-2.878	.006

a. Dependent Variable: Y

Tabla 5.6 Coeficientes de los modelos. Reactor DC-501

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Mediante los valores de correlación reportados en la tabla 5.7 se determina que no existe ningún problema de multicolinealidad entre las variables manejadas para este modelo (modelo 2), pues no hay pares de variables que involucren un valor de correlación mayor a 0.8¹¹.

Donde:

X₁ = Temperatura del Reactor DC-501

X₂ = Presión del Reactor

X₃ = Relación Hidrógeno/Hidrocarburo

X₄ = Relación Espacio/Velocidad

Correlations

	Y	X1	X2	X3	X4	
Pearson Correlation	Y	1.000	-.041	-.011	-.102	-.342
	X1	-.041	1.000	.158	.272	-.207
	X2	-.011	.158	1.000	.175	.332
	X3	-.102	.272	.175	1.000	-.382
	X4	-.342	-.207	.332	-.382	1.000
Sig. (1-tailed)	Y	.	.397	.472	.258	.012
	X1	.397	.	.156	.039	.092
	X2	.472	.156	.	.130	.015
	X3	.258	.039	.130	.	.006
	X4	.012	.092	.015	.006	.
N	Y	43	43	43	43	43
	X1	43	43	43	43	43
	X2	43	43	43	43	43
	X3	43	43	43	43	43
	X4	43	43	43	43	43

Tabla 5.7 Correlación entre variables. Reactor DC-501

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.4.2 MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA EL P.V.R.

La segunda característica de calidad a analizar es el P.V.R. (y), el cual es manejado en la torre de destilación DA-501 y cuyas variables independientes consideradas para este estudio son: la temperatura de alimentación a la torre (x_1), la temperatura del domo (x_2), la temperatura del fondo (x_3), la presión del domo (x_4) y la relación de reflujo (x_5), tabla 5.8. Las cuatro primeras variables se obtienen directamente del control distribuido, mientras que para la relación de reflujo el control distribuido reporta el flujo que regresa a la torre (L_0), el producto destilado no es reportado por el control distribuido, por lo que se toma el valor para D directamente del manual de operación. ($D = 2\ 848.2$ BPD).

Con los datos obtenidos para L_0 y de acuerdo a la siguiente relación se obtienen los datos para la relación de reflujo reportados en la tabla 5.8:

$$\text{Relación de reflujo} = \frac{L_0}{D}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Pasemos ahora a verificar los supuestos para el modelo de regresión obtenido (modelo 2) mediante las gráficas de residuos. En la figura 5.6 se muestra la gráfica de normalidad de residuos, en la que se observa que hay algunas desviaciones, ya que no siguen el comportamiento de una línea recta; sin embargo, tales desviaciones no son muy drásticas, por lo que podemos decir que los residuos se comportan aproximadamente en forma normal.

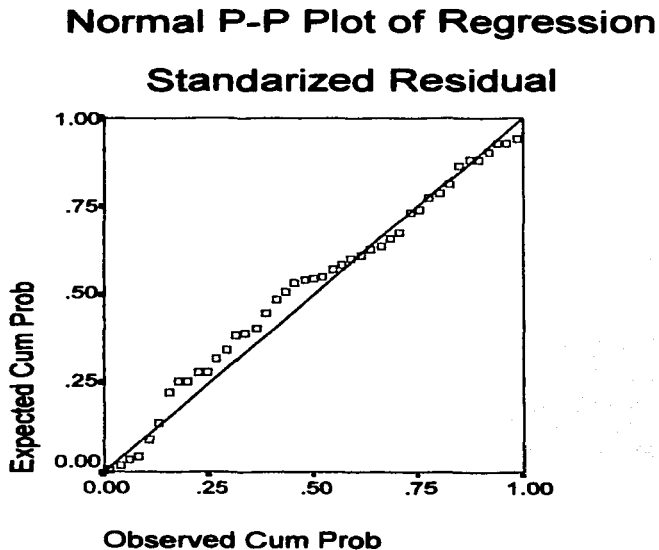


Figura 5.6 Diagrama de Normalidad. Reactor DC-501

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la figura 5.7 se muestra el diagrama de dispersión de varianzas de los errores para el modelo 2. Se puede observar que salvo algunos puntos la gráfica sigue un comportamiento de embudo de apertura hacia adentro; en este caso es recomendable hacer una transformación de las observaciones y_i antes de correr el programa. Se aplicaron transformaciones a la variable explicativa y_i , obteniendo diagramas de dispersión de errores menos satisfactorios, deduciendo que el primer diagrama de dispersión de varianzas obtenido (y sin aplicarle ninguna transformación Fig. 5.7) es la más idónea. Por lo que podemos decir que este comportamiento es el que más se aproxima a un comportamiento satisfactorio.

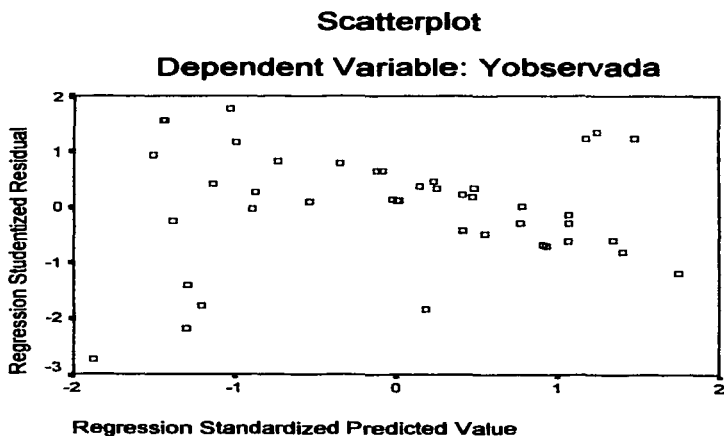


Figura 5.7 Diagrama de dispersión de varianzas de los errores. Reactor DC-501

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 5.8 DATOS PARA LA TORRE DA-501

VECTOR UNITARIO	TEMP. ALIMENTACIÓN (°C)	TEMP. DOMO (°C)	TEMP. FONDO (°C)	PRESIÓN DOMO (Kg/cm²)	REFLUJO A TORRE L ₀	RELACIÓN DE REFLUJO	P.V.R. REPORTADO (lb/pg²)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	(MBD)	X ₅	Y ₀ OBSERVADA
1	179.6	65.8	228.4	15.5	8.671	3.04	5.6
1	178.9	64.6	226.6	15.5	8.029	2.81	6.2
1	178.3	65.0	226.6	15.5	7.449	2.61	6.2
1	178.6	63.8	227.2	15.49	7.029	2.46	6.4
1	180.3	67.9	229.4	15.49	7.774	2.72	5.5
1	179.9	68.4	229.2	15.5	7.630	2.67	5.7
1	178.7	64.9	227.3	15.5	7.830	2.74	6.8
1	179.6	64.7	227.4	15.5	8.436	2.96	6.0
1	179.0	65.3	227.2	15.5	8.677	3.04	6.8
1	177.9	66.9	227.2	15.5	8.631	3.03	4.5
1	178.5	69.4	227.8	15.5	8.480	2.97	4.7
1	178.0	69.9	228.1	15.5	7.593	2.66	6.1
1	177.4	70.2	228.2	15.5	7.265	2.55	5.2
1	175.7	70.2	225.9	15.5	7.657	2.68	6.9
1	174.4	69.3	225.0	15.5	8.129	2.85	7.3
1	174.7	70.1	226.3	15.42	8.025	2.81	5.3
1	176.7	70.5	227.3	15.5	7.713	2.70	5.9
1	176.4	69.9	227.1	15.5	7.829	2.74	7.2
1	176.6	69.1	227.0	15.5	7.804	2.73	7.0
1	177.6	69.8	227.7	15.5	7.722	2.71	6.8
1	176.8	69.0	227.3	15.5	7.850	2.75	6.2
1	176.3	68.8	227.0	15.5	7.847	2.75	6.6
1	177.0	68.9	227.2	15.5	7.707	2.70	6.8
1	176.1	68.9	227.0	15.5	7.910	2.77	7.1
1	176.0	69.3	227.1	15.5	8.013	2.81	6.5
1	176.9	68.8	227.1	15.5	7.943	2.78	6.0
1	176.2	69.4	227.2	15.5	7.985	2.80	6.1
1	175.8	69.6	227.1	15.5	7.863	2.76	5.9
1	176.3	70.2	227.3	15.5	7.752	2.72	6.3
1	175.2	70.9	227.3	15.5	7.807	2.74	6.5
1	174.6	70.9	227.1	15.5	7.793	2.73	6.3
1	175.3	70.9	227.0	15.5	7.784	2.73	6.2
1	174.0	71.4	226.8	15.5	8.032	2.82	5.5
1	173.1	72.1	226.8	15.5	7.966	2.79	4.8
1	173.4	73.0	226.9	15.5	8.479	2.97	5.9
1	172.5	72.8	226.7	15.5	8.461	2.97	6.7
1	172.1	72.2	226.1	15.49	8.359	2.93	6.5
1	171.6	71.6	224.4	15.49	8.121	2.85	6.8
1	170.3	69.2	221.8	15.5	8.288	2.90	6.8
1	170.5	68.3	221.5	15.5	8.185	2.87	6.3
1	173.6	71.9	226.1	15.5	7.974	2.79	7.3
1	172.5	71.6	225.7	15.5	8.022	2.81	6.9
1	172.3	71.8	225.7	15.49	7.956	2.79	6.0

Σ=43

Σ=268.1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Utilizando la macro para los datos de la torre (Anexo E) obtenemos el siguiente modelo de regresión lineal múltiple:

$$\begin{aligned}\beta_0 &= -151.1484998 \\ \beta_1 &= -0.024425614 \\ \beta_2 &= -0.014895409 \\ \beta_3 &= -0.163200794 \\ \beta_4 &= 13.12864087 \\ \beta_5 &= -1.33758449\end{aligned}$$

$$Y_{\text{calculada}} = -151.1484998 - 0.024425614 X_1 - 0.014895409 X_2 - 0.163200794 X_3 + 13.12864087 X_4 - 1.33758449 X_5$$

5.4.2.1 DIAGNÓSTICO DEL MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA EL P.V.R.

Posteriormente de la obtención del modelo de regresión para el P.V.R. se realizó la tabla de ANOVA O ANDEVA para poder contrastar las hipótesis (nula H_0 y alternativa H_a) calculando la F_{fisher} , utilizando una hoja de cálculo y los datos de la tabla 5.8, obtenemos las tablas 5.9 y 5.10.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.9 HOJA DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANDEVA) EL LA TORRE DA-501

VECTOR UNITARIO	TEMP. ALIMENTACIÓN	TEMP. DOMO	TEMP. FONDO	PRESIÓN DOMO	RELACIÓN DE REFLUJO	P.V.R. REPORTADO	P.V.R. CALCULADO (MACRO)	SCE	SCR	SCT
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y _{OBSERVADA}	Y _{CALCULADA}	(Y _{OBS.} - Y _{CALC.}) ²	(Y _{CALC.} - Y _{PROM.}) ²	(Y _{OBS.} - Y _{PROM.}) ²
1	179.6	65.8	228.4	15.5	3.04	5.6	5.637157299	0.001380665	0.357276875	0.403077339
1	178.9	64.6	226.6	15.5	2.81	6.2	6.273535582	0.005407482	0.001493966	0.001216874
1	178.3	65.0	226.6	15.5	2.61	6.2	6.549749684	0.122324842	0.099140575	0.001216874
1	178.8	63.8	227.2	15.49	2.46	6.4	6.526842157	0.016088933	0.085239728	0.027263386
1	180.3	67.9	229.4	15.49	2.72	5.5	5.722318845	0.049425669	0.262722753	0.540054083
1	179.9	68.4	229.2	15.5	2.67	5.7	5.955447178	0.065253261	0.078084782	0.286100595
1	178.7	64.9	227.3	15.5	2.74	6.8	6.253342444	0.298834488	0.000340724	0.319356409
1	179.6	64.7	227.4	15.5	2.96	6.0	5.923749802	0.005814093	0.096804315	0.055170362
1	179.0	65.3	227.2	15.5	3.04	6.8	5.855101325	0.892833506	0.144234668	0.319356409
1	177.9	66.9	227.2	15.5	3.03	4.5	5.871512691	1.881047061	0.132038506	3.009821525
1	178.5	69.4	227.8	15.5	2.97	4.7	5.801953393	1.21430128	0.187428669	2.355868037
1	178.0	69.9	228.1	15.5	2.66	6.1	6.172409449	0.005243128	0.003903035	0.018193618
1	177.4	70.2	228.2	15.5	2.55	5.2	6.313410409	1.23968274	0.006166441	1.070984316
1	175.7	70.2	225.9	15.5	2.68	6.6	6.556409796	0.118054229	0.103379017	0.442379665
1	174.4	69.3	225.0	15.5	2.85	7.3	6.521060313	0.606747036	0.081897042	1.134472688
1	174.7	70.1	226.3	15.42	2.81	5.3	5.29286738	5.08743E-05	0.887394787	0.874007572
1	176.7	70.5	227.3	15.5	2.70	5.9	6.272282758	0.138594452	0.001398688	0.112147107
1	176.4	69.9	227.1	15.5	2.74	7.2	6.267684466	0.869212254	0.001075889	0.931449432
1	176.6	69.1	227.0	15.5	2.73	7.0	6.304411595	0.483843229	0.004834125	0.58540292
1	177.6	69.8	227.7	15.5	2.71	6.8	6.182070329	0.381837079	0.002789254	0.319356409
1	176.8	69.0	227.3	15.5	2.75	6.2	6.225304085	0.000640297	9.17694E-05	0.001216874
1	176.3	68.8	227.0	15.5	2.75	6.6	6.289456212	0.096437444	0.002978157	0.133309897
1	177.0	68.9	227.2	15.5	2.70	6.8	6.305107807	0.244918283	0.004931422	0.319356409
1	176.1	68.9	227.0	15.5	2.77	7.1	6.266100104	0.695389036	0.000974463	0.748426176
1	176.0	69.3	227.1	15.5	2.81	6.5	6.192761043	0.094395777	0.00177432	0.070286641
1	176.9	68.8	227.1	15.5	2.78	6.0	6.21835323	0.047678133	0.000273257	0.055170362
1	176.2	69.4	227.2	15.5	2.80	6.1	6.183442145	0.006982592	0.002646236	0.018193618
1	175.8	69.6	227.1	15.5	2.76	5.9	6.260056768	0.129640876	0.000633682	0.112147107
1	176.3	70.2	227.3	15.5	2.72	6.3	6.259769936	0.001618458	0.000619324	0.00424013
1	175.2	70.9	227.3	15.5	2.74	6.5	6.249456635	0.062770474	0.000212457	0.070286641
1	174.6	70.9	227.1	15.5	2.73	6.3	6.310131007	0.000102637	0.005662154	0.00424013
1	175.3	70.9	227.0	15.5	2.73	6.2	6.309335157	0.011989113	0.005545697	0.001216874
1	174.0	71.4	226.8	15.5	2.82	5.5	6.245916305	0.556391135	0.000121718	0.540054083
1	173.1	72.1	226.8	15.5	2.79	4.8	6.297600106	2.242806079	0.003933345	2.058891293
1	173.4	73.0	226.9	15.5	2.97	5.9	6.019781266	0.014347552	0.046269066	0.112147107
1	172.5	72.8	226.7	15.5	2.97	6.7	6.07738356	0.387651232	0.024806301	0.216333153
1	172.1	72.2	226.1	15.49	2.93	6.5	6.116228498	0.147280566	0.014079062	0.070286641
1	171.6	71.6	224.4	15.49	2.85	6.8	6.521826659	0.077380407	0.08233625	0.319356409
1	170.3	69.2	221.8	15.5	2.90	6.8	0.077316356	0.077316356	0.710943181	0.319356409
1	170.5	68.3	221.5	15.5	2.87	6.3	7.175666706	0.76679218	0.885072625	0.00424013
1	173.6	71.9	226.1	15.5	2.79	7.3	6.402606937	0.80531431	0.028131077	1.134472688
1	172.5	71.6	225.7	15.5	2.81	6.9	6.472472363	0.18277988	0.056448363	0.442379665
1	172.3	71.8	225.7	15.49	2.79	6.0	6.369843685	0.136784351	0.018214192	0.055170362

Σ=43

Σ=268.1

Σ=268.099963

Σ=15.18333246

Σ=4.434341958

Σ=19.61767442

$$y' = (\sum y_i) / n = 268.1 / 43 = 6.23$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

De acuerdo a la tabla 4.1 y en base a los datos obtenidos en la tabla 5.9 se obtiene la tabla 5.10

TABLA 5.10 ANDEVA PARA LA TORRE DA-501

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F _{calculada}
REGRESIÓN	6 - 1 = 5	4.434341958	4.434341958 / 5 = 0.886868392	
ERROR	43 - 6 = 37	15.18333246	15.18333246 / 37 = 0.410360337	0.886868392 / 0.410360337 = 2.16119423
TOTAL	43 - 1 = 42	19.61767442		

$H_0 = \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_n = 0$ (y no depende de las variables independientes x_1, x_2, \dots, x_n)

$H_a = \beta_0 \neq 0$ ó $\beta_1 \neq 0$ ó $\beta_n \neq 0$ (y depende de las variables independientes x_1, x_2, \dots, x_n)

$F_{calculada} = 2.16119423$

$F_{teórica} 0.95, 5, 37 = 2.474$ (de tablas)

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT} = 0.226038$$

Como $F_{calculada}$ es menor que $F_{teórica}$ H_0 no se rechaza y deducimos que el P.V.R. no depende de las variables independientes de operación: Temperatura de alimentación, Temperatura de domo, Temperatura de fondo, Presión del domo y Relación de reflujo.

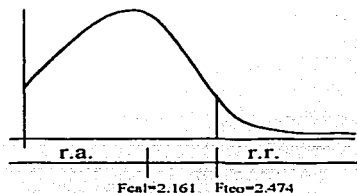


Figura 5.8 Región crítica para el P.V.R.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Al igual que en el caso del Reactor DC-501, el coeficiente de determinación (R^2) y el estadístico F de fisher, son dos estimadores que no cumplen con la adecuación para el modelo obtenido en la torre de destilación DA-501; ya que el valor de R^2 (0.226) es muy bajo y el valor de la $F_{calculada}$ resultó menor que $F_{teórica}$, por lo que la H_0 no se rechaza (Fig.5.8). Lo cual indica que el P.V.R. no se ve afectado por alguna de las variables independientes. Como éstos estimadores no validan en su totalidad la adecuación del modelo, se recurre al paquete estadístico SPSS.10 para realizar un estudio completo de los datos y obtener el modelo mas apropiado.

Como en el caso del Reactor DC-501, se realizará un estudio más completo a los datos de la Torre DA-501 mediante el paquete estadístico SPSS.10. En éste estudio, el paquete despliega cinco modelos, de los cuales se elige aquel que mejor cumpla con el diagnóstico del modelo de regresión. Mediante la eliminación de variables independientes que el mismo programa realiza se obtuvo que el modelo más apropiado es el que contiene la: *Temperatura de fondo, Presión de domo y Relación de reflujo* como variables independientes (modelo 3), obteniendo así un valor de $F_{\text{calculado}}$ más alto que el valor de $F_{\text{teórico}}$, una menor significancia y la adecuación del modelo mediante los diagramas de normalidad y de los errores, como se muestra a continuación:

La tabla 5.11 muestra de igual forma que en el caso del Reactor DC-501, como el programa va eliminando variables independientes por el criterio de Backward¹¹. El programa da un total de cinco modelos, en los que se observa que el modelo 1 contiene las 5 variables independientes (x_1, x_2, x_3, x_4 y x_5) no se elimina ninguna variable, en el modelo 2 es eliminada la x_2 , en el modelo 3 es eliminada la x_1 , en el modelo 4 es eliminada la x_5 y en el modelo 5 es eliminada la x_4 ; como se muestra en la tabla 5.11. Donde:

X_1 = Temperatura de alimentación

X_2 = Temperatura del domo

X_3 = Temperatura del fondo

X_4 = Presión de domo

X_5 = Relación de reflujo

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	X_5, X_4, X_2, X_3, X_1		Enter
2		X_2	Backward (criterion: Probabilit y of F-to-remo ve >= .100).
3		X_1	Backward (criterion: Probabilit y of F-to-remo ve >= .100).
4		X_5	Backward (criterion: Probabilit y of F-to-remo ve >= .100).
5		X_4	Backward (criterion: Probabilit y of F-to-remo ve >= .100).

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Yobservada

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 5.11 Variables removidas. Torre DA-501

La tabla 5.12 como ya se mencionó es una de las más importantes en el análisis de regresión múltiple. Nos muestra la ANOVA O ANDEVA para cada modelo, en la cual podemos ver que el valor de $F_{calculada}$ va aumentando en cada modelo obtenido, esto nos garantiza el rechazo de la hipótesis nula, ya que $F_{calculada}$ está más alejada de $F_{teórica}$. Así mismo, nos muestra la significancia de cada modelo (entre menor sea alfa (α), mayor será la significancia del modelo), por lo que podemos deducir que el mejor modelo es el tercero; en él la hipótesis nula se rechaza ($F_{cul}=3.786 > F_{100r}= 2.86$) y el nivel de significancia es el menor (0.018).

Así mismo nos muestra los coeficientes de determinación múltiple (R^2), los cuales son iguales para los tres primeros casos, disminuyendo para los siguientes dos casos, R^2 ajustada es mayor para el tercer modelo (0.166). El valor de R^2 ajustada no difiere dramáticamente del valor de R^2 , lo que indica que el modelo no contiene variables que no contribuyen significativamente al ajuste.

Donde:

X_1 = Temperatura de alimentación

X_2 = Temperatura del domo

X_3 = Temperatura del fondo

X_4 = Presión de domo

X_5 = Relación de reflujo

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4.434	5	.887	2.161	.080 ^a
	Residual	15.183	37	.410		
	Total	19.618	42			
2	Regression	4.427	4	1.107	2.769	.041 ^b
	Residual	15.190	38	.400		
	Total	19.618	42			
3	Regression	4.425	3	1.475	3.786	.018 ^c
	Residual	15.193	39	.390		
	Total	19.618	42			
4	Regression	3.344	2	1.672	4.110	.024 ^d
	Residual	16.274	40	.407		
	Total	19.618	42			
5	Regression	2.301	1	2.301	5.448	.025 ^e
	Residual	17.317	41	.422		
	Total	19.618	42			

Model	R	R ²	R ² Adjusted
1	.475	.226	.121
2	.475	.226	.144
3	.475	.226	.166
4	.413	.170	.129
5	.342	.117	.096

a. Predictors: (Constant), X5, X4, X2, X3, X1

b. Predictors: (Constant), X5, X4, X3, X1

c. Predictors: (Constant), X5, X4, X3

d. Predictors: (Constant), X4, X3

e. Predictors: (Constant), X3

f. Dependent Variable: Yobservada

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 5.12 ANOVA de los modelos obtenidos. Torre DA-501

Una vez que conocemos que el modelo 3 es el que mejor se adecua para éstas condiciones específicas, podemos observar sus coeficientes de regresión (β 's), los cuales se muestran en la tabla 5.13 y poder utilizar dicha ecuación en el análisis del P.V.R. como característica de calidad.

De este modelo se desprende que la variable más significativa es la x_3 (temperatura del fondo), pues a pesar de que esta variable no tiene el coeficiente de regresión más alto (0.193) en valor absoluto, sí tiene el valor de significancia menor (0.007), y por lo tanto y (P.V.R.) se ve afectado en mayor grado por la temperatura de fondo (x_3).

El aumento ó disminución de ésta variable influye en la eficiencia de separación de ligeros en la Torre DA-501 dando como resultado una mayor ó menor afectación en la cantidad de ligeros presentes en la gasolina producto (P.V.R.).

Donde:

X_1 = Temperatura de alimentación

X_2 = Temperatura del domo

X_3 = Temperatura del fondo

X_4 = Presión de domo

X_5 = Relación de reflujo

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-151.148	125.860		-1.201	.237
	X1	-2.44E-02	.162	-.093	-.151	.881
	X2	-1.49E-02	.113	-.051	-.131	.896
	X3	-.163	.207	-.350	-.789	.435
	X4	13.129	8.021	.239	1.637	.110
	X5	-1.338	.821	-.244	-1.629	.112
2	(Constant)	-149.096	123.261		-1.210	.234
	X1	-4.71E-03	.060	-.018	-.078	.938
	X3	-.186	.107	-.400	-1.740	.090
	X4	13.042	7.890	.238	1.653	.107
	X5	-1.326	.806	-.242	-1.646	.108
3	(Constant)	-147.580	120.172		-1.228	.227
	X3	-.193	.068	-.413	-2.847	.007
	X4	12.985	7.755	.236	1.674	.102
	X5	-1.322	.794	-.241	-1.666	.104
4	(Constant)	-152.580	122.771		-1.243	.221
	X3	-.167	.067	-.357	-2.474	.018
	X4	12.685	7.923	.231	1.601	.117
5	(Constant)	42.461	15.520		2.736	.009
	X3	-.160	.068	-.342	-2.334	.025

a. Dependent Variable: Yobservada

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 5.13 Coeficientes de los modelos. Torre DA-501

La tabla 5.14 nos muestra mediante los valores de correlación reportados, que no existen problemas de multicolinealidad entre las variables manejadas en este modelo (modelo 3), pues no hay pares de variables que involucren un valor de correlación mayor a 0.8^{11} .

Donde:

X_1 = Temperatura de alimentación

X_2 = Temperatura del domo

X_3 = Temperatura del fondo

X_4 = Presión de domo

X_5 = Relación de reflujo

Correlations

		Yobservada	X1	X2	X3	X4	X5
Pearson Correlation	Yobservada	1.000	-.251	.043	-.342	.209	-.144
	X1	-.251	1.000	-.702	.781	.106	-.222
	X2	.043	-.702	1.000	-.169	-.065	.062
	X3	-.342	.781	-.169	1.000	.063	-.232
	X4	.209	.106	-.065	.063	1.000	.008
	X5	-.144	-.222	.062	-.232	.008	1.000
Sig. (1-tailed)	Yobservada	.	.052	.392	.012	.090	.179
	X1	.052	.	.000	.000	.249	.076
	X2	.392	.000	.	.139	.339	.347
	X3	.012	.000	.139	.	.345	.067
	X4	.090	.249	.339	.345	.	.480
	X5	.179	.076	.347	.067	.480	.
N	Yobservada	43	43	43	43	43	43
	X1	43	43	43	43	43	43
	X2	43	43	43	43	43	43
	X3	43	43	43	43	43	43
	X4	43	43	43	43	43	43
	X5	43	43	43	43	43	43

Tabla 5.14 Correlación entre variables. Torre DA-501

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Pasemos ahora a verificar los supuestos para el modelo de regresión obtenido (modelo 3) mediante las gráficas de residuos. En la figura 5.9 se muestra la gráfica de normalidad de residuos, en la que se observa que hay pocas desviaciones con respecto al comportamiento de una línea recta, por lo que podemos decir que los residuos se comportan aproximadamente en forma normal.

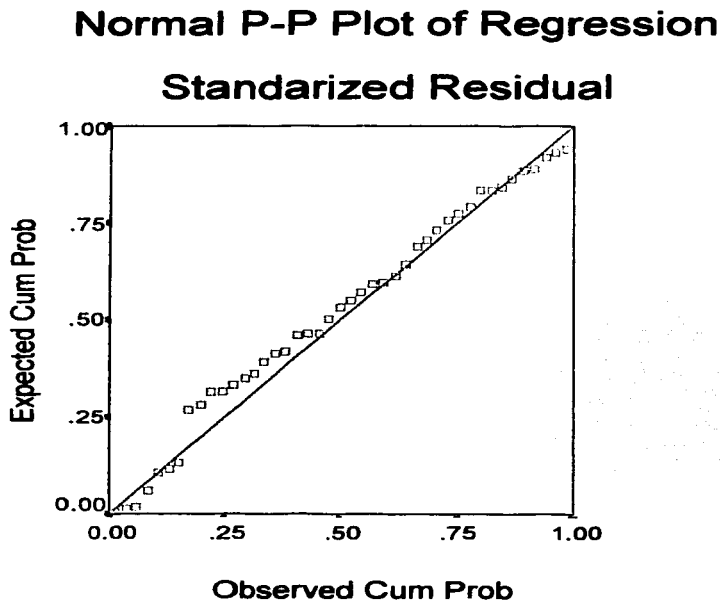


Figura 5.9 Diagrama de Normalidad. Torre DA-501

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la figura 5.10 se muestra el diagrama de dispersión de varianzas de los errores para el modelo 3, en el que no se observa una tendencia marcada de embudo, doble arco o no lineal. Se puede observar que sigue una tendencia más apegada a la satisfactoria por lo que no fue necesario realizar alguna transformación de las observaciones y_i antes de correr el programa.

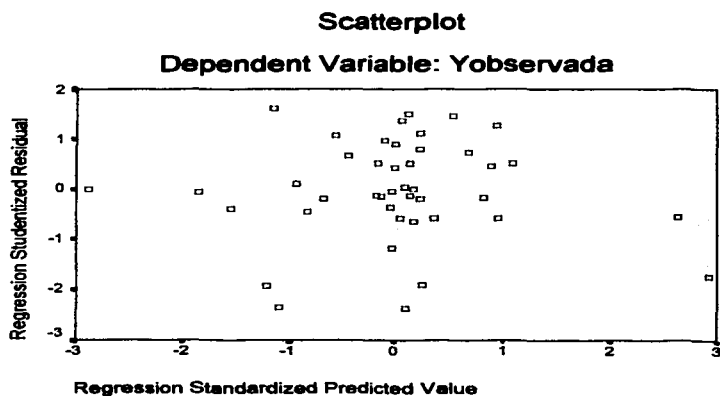


Figura 5.10 Diagrama de dispersión de varianzas de los errores. Torre DA-501

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

CONCLUSIONES

El objetivo de identificar las variables significativas que afectan en mayor grado al octanaje y al P.V.R. como características de calidad de la gasolina, se logró cubrir satisfactoriamente mediante un estudio estadístico basado en las técnicas de regresión múltiple y en el programa estadístico SPSS.10. La realización de este estudio nos permite llegar a las siguientes conclusiones:

* El sistema de calidad ISO-9002, es una herramienta valiosa para la Refinería "Miguel Hidalgo". En este trabajo de tesis, se abordó específicamente el punto número 20 "técnicas estadísticas" de dicho sistema de calidad, sin embargo, se debe tener cuidado en el cumplimiento de todos y cada uno de los puntos que lo conforman, con el propósito de obtener productos de mejor calidad, aumentando la productividad de la empresa y manteniendo la satisfacción de sus clientes.

* Los modelos obtenidos solamente son representativos para las características de calidad (octanaje y P.V.R.) en las condiciones de operación en las que se tomaron los datos y para este determinado período de vida del catalizador.

* Un buen modelo no siempre es aquel que tiene un valor del coeficiente de determinación (R^2) cercano a 1, sino que también hay otras consideraciones para la obtención de un buen modelo, como son: el análisis de varianza, el nivel de significancia y el diagnóstico para el modelo de regresión lineal múltiple (análisis de los residuos, multicolinealidad).

* Para el caso del reactor DC-501 la variable que en mayor grado afecta al octanaje de la gasolina resultó ser la relación espacio/velocidad, que como ya se mencionó, se define como la relación que hay entre la cantidad de nafta alimentada al reactor y la cantidad de catalizador presente en el mismo. El espacio/velocidad tiene un gran efecto sobre la calidad del producto (octanaje), al permanecer constante la cantidad de catalizador en el reactor, el espacio/velocidad solo puede variar por cambios en la carga alimentada; esto ocasiona que haya un aumento o disminución en el valor del espacio/velocidad. Al aumentar la cantidad de nafta alimentada, aumenta el espacio/velocidad y para esto es necesario aumentar la temperatura del reactor para que las reacciones de reformación se lleven a cabo satisfactoriamente, sin embargo, con esto se reducirá el periodo de vida del catalizador. Por lo tanto, es necesario encontrar un balance entre la vida del catalizador y la temperatura para llevar a cabo las reacciones de reformación.

Esto nos lleva a concluir con base en el estudio realizado que el espacio/velocidad debe mantenerse en valores bajos, manejando una menor carga a la U-500-II para permitir que el catalizador cumpla con su función y que haya una mayor conversión en las reacciones de reformación, logrando los siguientes beneficios:

- Una obtención de gasolina reformada más constante (al no tener que parar la planta para regenerar el catalizador)
- Una mejor calidad del producto (mayor octanaje)
- Un manejo de temperatura menor en el reactor (a menor carga, menor temperatura de reacción).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Todo esto garantizará que la vida del catalizador se prolongue y que probablemente exista una disminución en los costos de energía manejada en el reactor DC-501 y en regeneraciones futuras, además de prolongar la corrida en la Unidad Reformadora de Gasolina U-500-II y por lo tanto de las demás Unidades de Operación a las que la U-500-II abastece de Hidrógeno.

* En el caso de la torre DA-501 la temperatura de fondo resultó ser la variable que más afecta al P.V.R., esto nos lleva a pensar que un correcto manejo de la temperatura de fondo de la torre logrará la óptima separación de ligeros, obteniendo así una mejor estabilización de la gasolina produciéndola dentro de especificación, ya que como hemos mencionado, el P.V.R. se refiere a la volatilidad de la gasolina, la cual garantiza el adecuado comportamiento de la gasolina en los vehículos bajo cualquier condición climatológica.

* En lo que se refiere a la comparación de las variables significativas entre las manejadas actualmente en la Unidad Reformadora de gasolinas U-500-II y las obtenidas en el presente estudio se observan las siguientes diferencias:

VARIABLE DE CALIDAD	VARIABLES SIGNIFICATIVAS	
	U-500-II	ESTUDIO
- OCTANAJE	Temperatura de reacción	Relación Espacio/Velocidad
- P.V.R.	Temperatura de Domo	Temperatura de fondo

La diferencia en las variables significativas obtenidas en este estudio y las manejadas en la Unidad Reformadora de gasolina U-500-II, las atribuimos principalmente a la diferencia de criterios en la metodología para la identificación de estas variables. En este trabajo se mencionaron y desarrollaron diferentes criterios para obtener un mejor modelo como son: el coeficiente de determinación (R^2), el análisis de varianza, el valor de la significancia, el cumplimiento de los supuestos para los residuos del modelo de regresión obtenido y la eliminación de variables correlacionadas. Todo esto con ayuda del paquete SPSS.10 obteniendo las variables significativas antes mencionadas para la U-500-II. En esto estriba la aportación del presente estudio para esta unidad, ya que actualmente el criterio de selección de las variables significativas del proceso se restringe únicamente a aceptar aquellas variables cuyo coeficiente de determinación esta entre $0.8 \leq r^2 \leq 1$, considerando solamente un análisis de regresión lineal simple de y , con respecto a cada una de las x 's. y no considerar un análisis de regresión múltiple.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROPUESTA DE MEJORA

Una vez que hemos realizado el estudio estadístico que nos ha permitido tener las bases necesarias para llegar a las conclusiones correspondientes de dicho estudio, nos permitimos proponer lo siguiente:

* Utilizar la metodología propuesta en el presente trabajo para identificar variables significativas en la Unidad Reformadora de Gasolina (U-500-II) y en cualquier otra unidad operativa en la que pueda ser de utilidad, además de utilizar el paquete estadístico SPSS.10 ó en su defecto la MACRO que se anexa en esta tesis, para simplificar el trabajo y el tiempo requerido en el análisis de variables críticas, contribuyendo al cumplimiento del punto número 20 del sistema de calidad ISO-9002.

* Tener especial atención en la Relación espacio/velocidad en el Reactor DC-501 (en el caso del octanaje) utilizando bajo flujo de nafta en la unidad-500, para prolongar el periodo de vida del catalizador, además de la Temperatura de fondo en la Torre DA-501 (en el caso del P.V.R.) para lograr una correcta separación de ligeros y así obtener una gasolina con buenas características de calidad (octanaje y P.V.R.).

* Se propone tener un mayor seguimiento en las variables significativas obtenidas en el presente trabajo ya que aparte de que el control de estas variables nos garantizan obtener gasolina de buena calidad, es importante recordar y recalcar que la operación continua de la Unidad-500-II es de suma importancia para todo el sector, pues de ella se obtiene el Hidrógeno desprendido de las reacciones de reformación necesario para el funcionamiento de la mayor parte del sector No. 8 de la Refinería. Por esta misma razón la importancia de no sacar a regenerar el catalizador, no sólo radica en que posiblemente se pudiera ahorrar dinero en regeneraciones, sino en garantizar la continuidad de operación en la reformadora y en el sector 8.

* La recolección de datos es la parte más importante dentro de un análisis o estudio estadístico. El presente análisis se elaboró con el método de muestreo con el que se trabaja en la Unidad Reformadora de Gasolina U-500-II (un valor por turno para cada característica de calidad reportados del laboratorio, con sus correspondientes valores para las variables independientes reportados en el control distribuido); sin embargo, consideramos que debería establecerse un método de muestreo que tome más datos por turno con la finalidad de que el modelo resultante represente mejor la realidad.

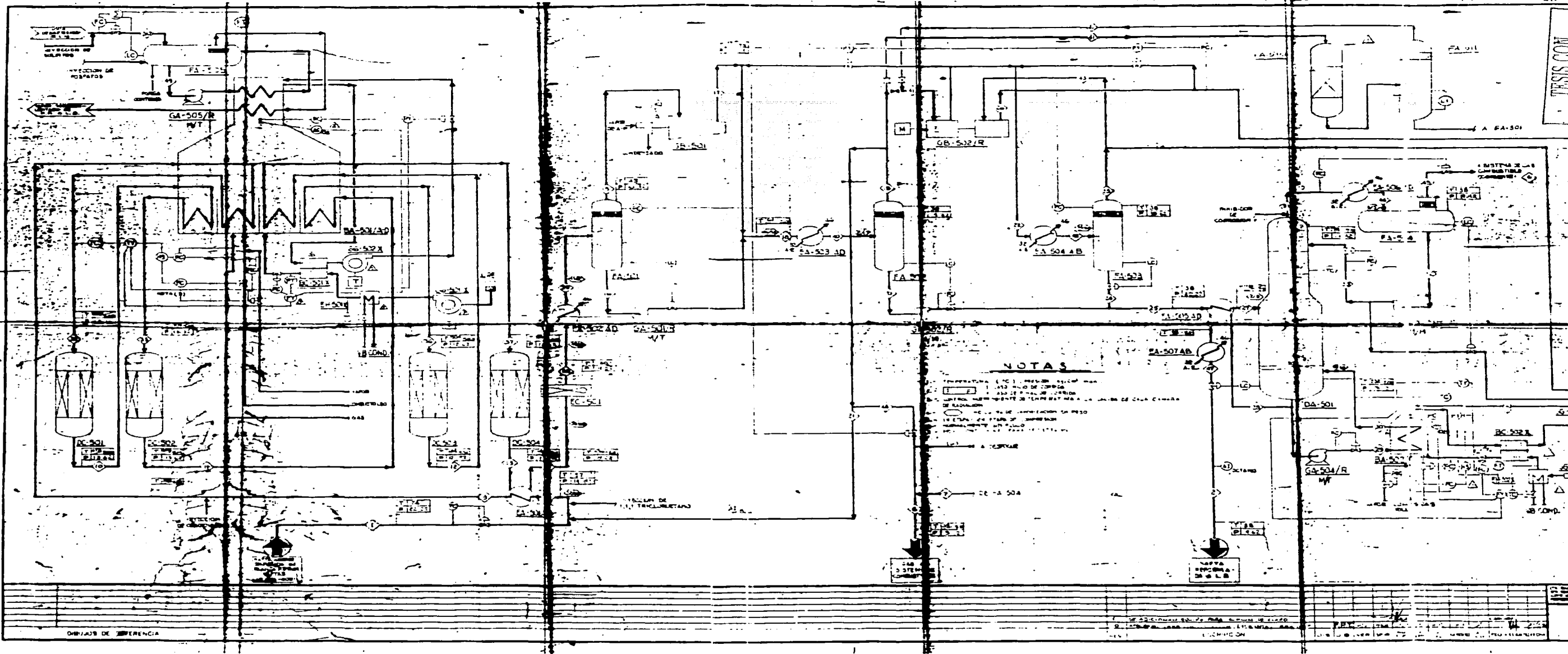
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

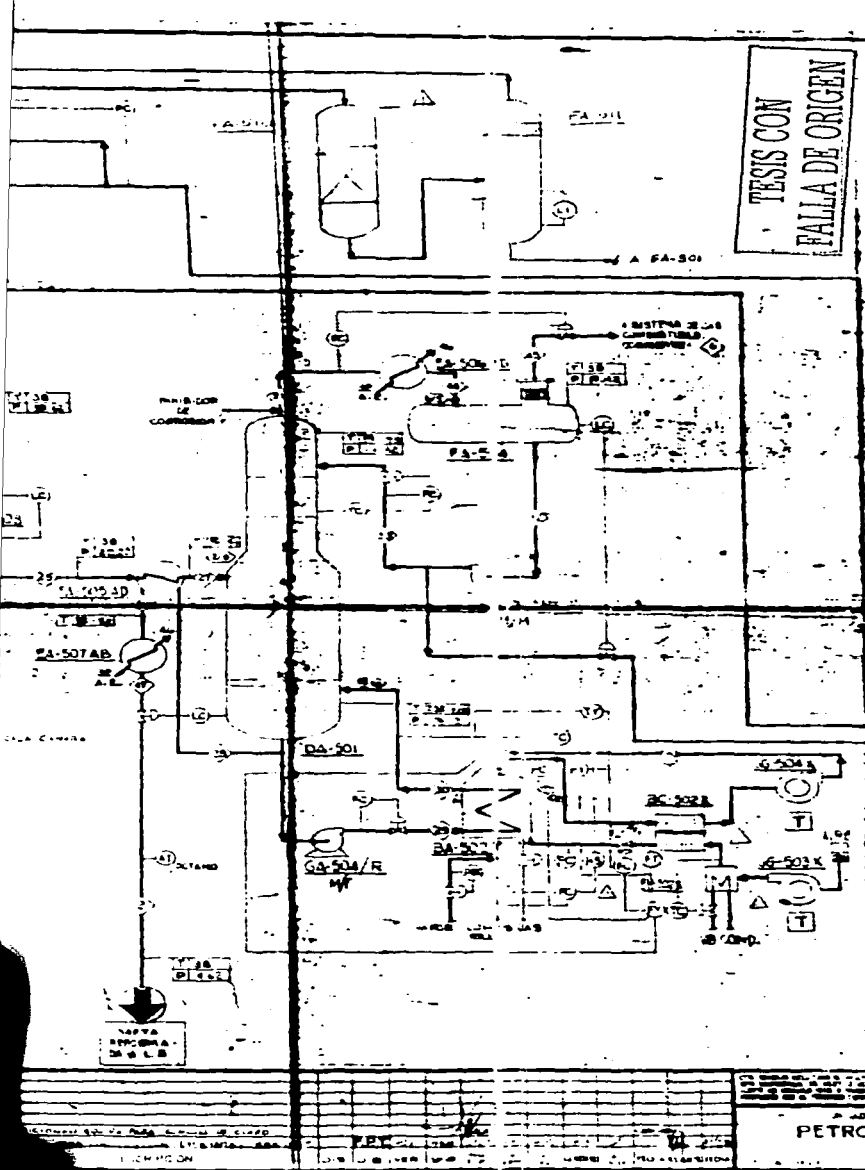
**ANEXO A. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE LA UNIDAD
REFORMADORA DE GASOLINA U-500-II**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



NOTAS

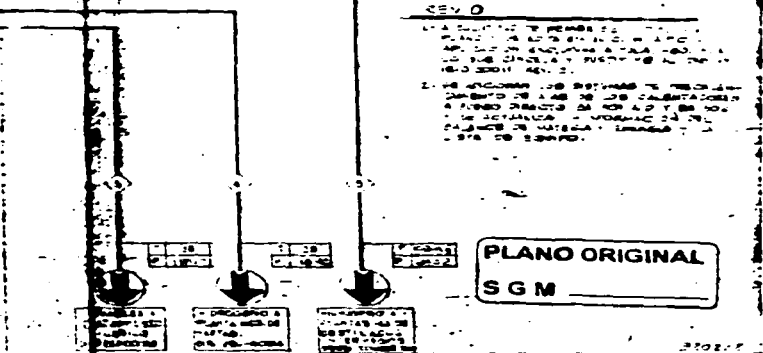
- 1. TEMPERATURA (°C) MEDIDA EN CADA UNO DE LOS TANQUES DE ALMACÉN DE CEMENTO.
- 2. CONTROL ALTERNATIVO DE TEMPERATURA EN CADA UNO DE LOS TANQUES DE ALMACÉN DE CEMENTO.
- 3. CONTROL ALTERNATIVO DE TEMPERATURA EN CADA UNO DE LOS TANQUES DE ALMACÉN DE CEMENTO.
- 4. CONTROL ALTERNATIVO DE TEMPERATURA EN CADA UNO DE LOS TANQUES DE ALMACÉN DE CEMENTO.
- 5. CONTROL ALTERNATIVO DE TEMPERATURA EN CADA UNO DE LOS TANQUES DE ALMACÉN DE CEMENTO.
- 6. CONTROL ALTERNATIVO DE TEMPERATURA EN CADA UNO DE LOS TANQUES DE ALMACÉN DE CEMENTO.



ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

LISTA DE EQUIPO

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

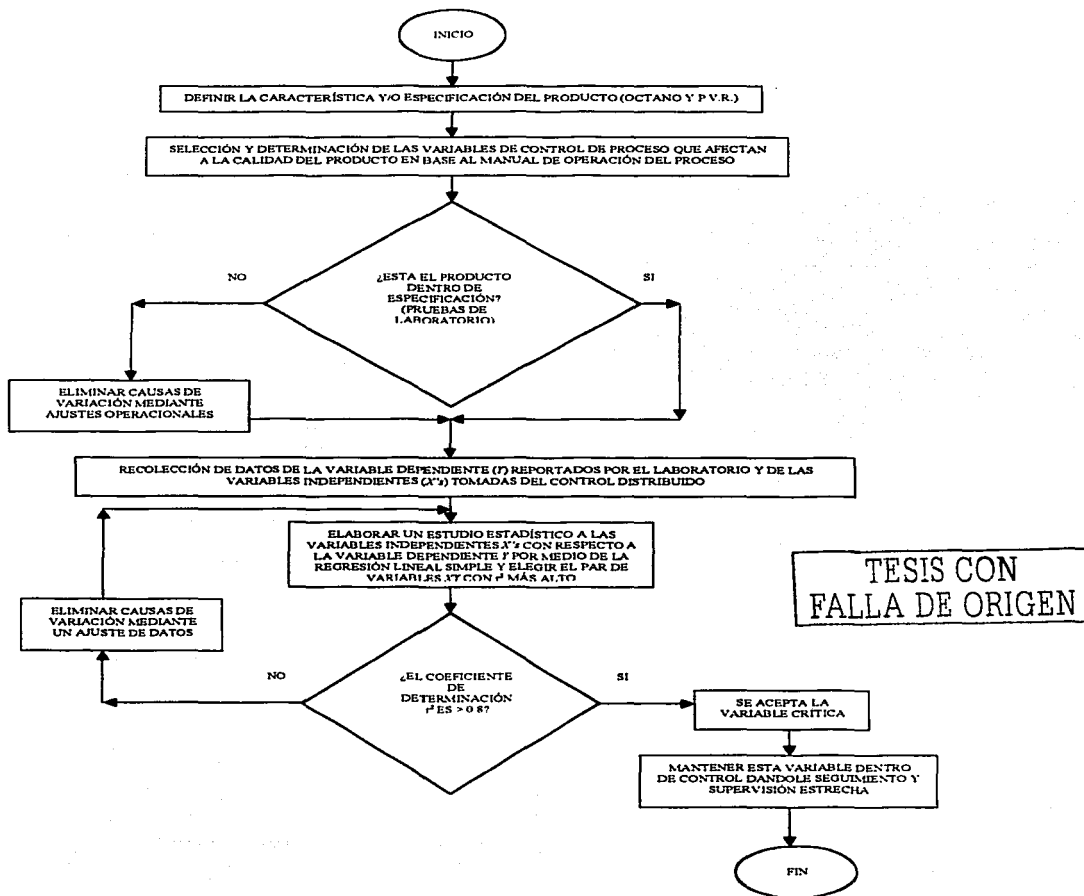


PLANO ORIGINAL
SGM

ANEXO B. DETERMINACIÓN DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN LA REFORMADORA U-500-II

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO B. DETERMINACIÓN DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN LA REFORMADORA U-500-II.

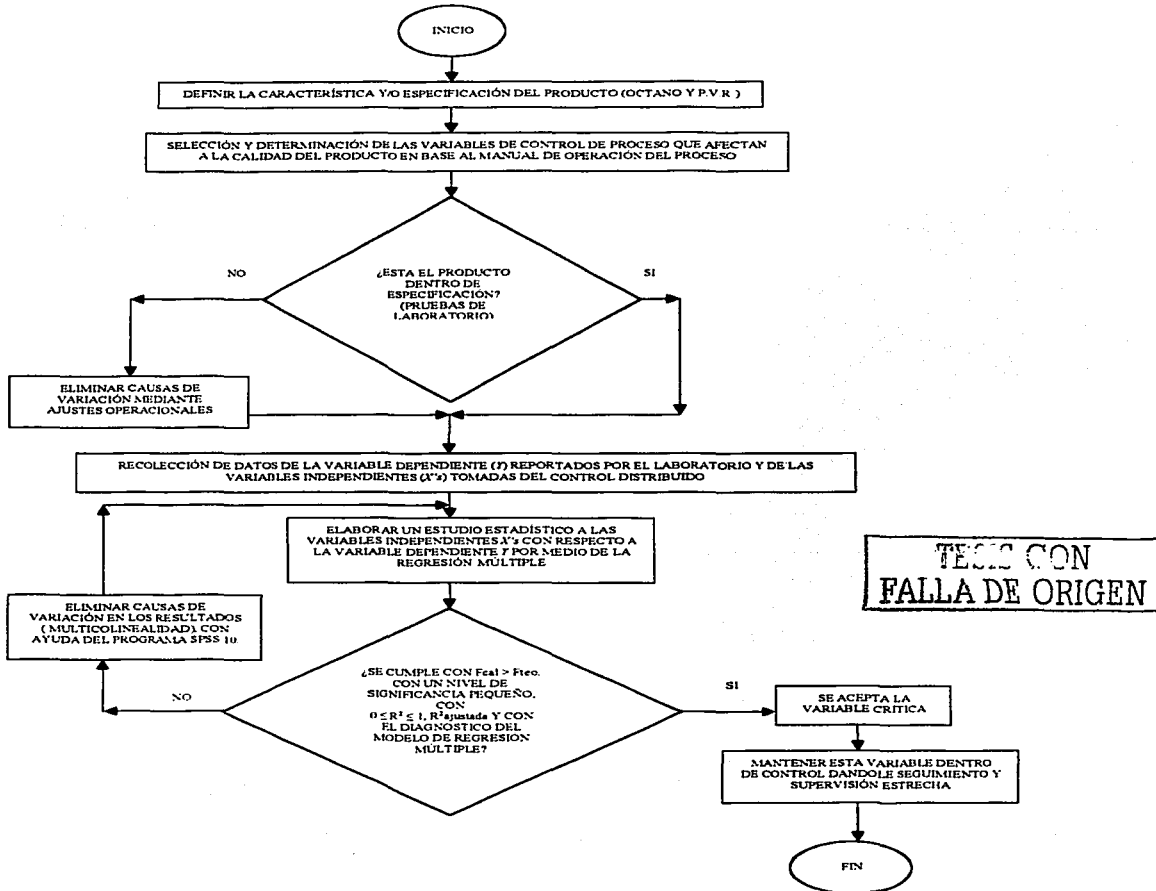


**ANEXO C. PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE
VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN LA REFORMADORA U-500-II**

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO C. PROPUESTA DE DETERMINACIÓN DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN LA REFORMADORA U-500-II.



ANEXO D. CORRIDA DE LA MACRO PARA EL REACTOR DC-501

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO D. CORRIDA DE LA MACRO PARA EL REACTOR DC-501

vector V
(1 x m)

datos de la variable dependiente "y"

87.8

88.6

88.3

88.8

90

.....

90.1

renglones de la matriz X (m)	43
columnas de la matriz X (n)	5

columna 1	columna 2	etc.....			
1	474.0	11.2	6.647	1.2410	
1	474.5	11.4	6.576	1.2410	
1	474.1	11.0	6.325	1.2410	
1	474.2	11.0	6.298	1.2416	
1	474.7	11.2	6.415	1.2410	
1	474.5	11.3	6.408	1.2410	
1	473.9	11.0	6.349	1.2410	
1	473.9	11.7	6.403	1.2410	
1	474.0	10.9	6.297	1.2410	
1	474.2	11.0	6.406	1.2405	
1	474.5	11.5	6.580	1.2410	
1	474.2	11.0	6.145	1.2410	
1	474.7	11.1	6.262	1.2410	
1	474.3	11.7	6.733	1.2410	
1	473.7	10.9	6.299	1.2410	
1	474.3	11.5	6.140	1.2410	
1	474.2	11.6	6.335	1.2410	
1	474.2	11.0	6.124	1.2400	
1	474.0	11.0	6.074	1.2324	
1	474.6	11.0	6.257	1.2257	
1	474.0	11.1	6.125	1.2252	
1	474.0	11.0	6.131	1.2257	
1	474.6	10.9	6.299	1.2257	
1	474.3	11.1	6.179	1.2257	
1	474.2	10.9	6.138	1.2257	
1	474.9	11.4	6.228	1.2257	
1	474.1	10.9	6.142	1.2257	
1	474.4	11.2	6.198	1.2262	
1	474.5	10.8	6.415	1.2252	
1	473.9	10.8	6.385	1.2257	
1	474.6	11.2	6.413	1.2252	
1	474.5	11.0	6.662	1.2242	
1	474.6	11.2	6.526	1.2247	
1	474.4	11.0	6.602	1.2191	
1	474.3	11.0	6.915	1.2135	
1	474.0	11.2	6.769	1.2135	
1	474.2	11.0	6.671	1.2124	
1	474.7	11.1	7.142	1.2084	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1	474.6	11.2	6.845	1.2257		
1	474.7	11.0	6.438	1.2257		
1	474.5	11.0	6.423	1.2257		
1	473.9	11.1	6.234	1.2257		
1	474.1	11.2	6.178	1.2262		
matriz new	transpuesta					
	1	1	1	1	1	1
	474	474.5	474.1	474.2	474.7	474.5
	11.2	11.4	11	11	11.2	11.3
	6.647	6.576	6.325	6.298	6.415	6.408
	1.241	1.241	1.241	1.2416	1.241	1.241
sum ² col	224848.1627	225325.9939	224934.356	225028.846	225509.222	225321.543
vector	87.8					
	88.6					
	88.3					
	88.8					
	90					
	89.8					
	89.5					
	90.2					
	90.6					
	90.2					
	90.5					
	90.4					
	90					
	90.8					
	90.6					
	90.4					
	90.2					
	90					
	90					
	90.2					
	91.4					
	91.3					
	90					
	91.4					
	90					
	90					
	90					
	90.2					
	90.5					
	90.5					
	90.4					
	90.5					
	90.5					
	90.4					
	90.4					
	90.3					
	90.1					
	90.4					

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

90.2
89
90.5
90.4
90.1

multiplica MT * M =
MNEW

	43	20394.7	478.3	274.931	52.9217
20394.7	9673114.79	226855.89	5322.35	130399.266	25100.492
478.3	226855.89	5322.35	3058.5161	588.69189	338.331021
274.931	130399.2663	3058.5161	1760.17344	338.331021	65.1366688
52.9217	25100.49202	588.69189	338.331021		

Multiplica MT * Vector = VectorNEW

3875.4
1838083.84
43106.99
24777.5922
4769.49879

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

inversa de MNEW / M Identidad:

	43	20394.7	478.3	274.931	52.9217	1
20394.7	9673114.79	226855.89	5322.35	130399.266	25100.492	0
478.3	226855.89	5322.35	3058.5161	588.69189	338.331021	0
274.931	130399.2663	3058.5161	1760.17344	338.331021	65.1366688	0
52.9217	25100.49202	588.69189	338.331021			0

iteracion1

1	474.2953488	11.1232558	6.39374419	1.23073721	0.02325581
0	3.43906977	0.42465116	0.77174884	-0.02414256	-474.295349
0	0.424651163	2.09674419	0.38825581	0.03028279	-11.1232558
0	0.771748837	0.38825581	2.33495619	-0.03679119	-6.39374419
0	-0.024142558	0.03028279	-0.03679119	0.00396344	-1.23073721

iteracion2

1	0.123478496	0.22440628	-0.00702008	-137.913849	0.2907763
0	2.044308899	0.29296143	0.03326388	47.4420205	-0.1234785
0	0.292961428	2.1617709	-0.03137345	100.041108	-0.22440628
0	0.033263877	-0.03137345	0.00379396	-4.56033033	0.00702008
0	-47.44202051	-100.041108	4.56033033	65411.9204	-137.913849

iteracion3

1	0.143305852	0.01627145	23.2068747	-0.06040109	0.48916287
0	2.119787817	-0.03614036	93.2423892	-0.20671108	-0.14330585
0	-0.036140357	0.00325271	-5.33228096	0.00902926	-0.01627145
0	-93.24238922	5.33228096	66512.9014	-140.779399	23.2068747
0	0.206711084	-0.00902926	-140.779399	0.29823454	-0.06040109

iteracion4

1	-0.017049045	43.9866615	-0.09751499	-0.06760387	0.47174533
0	0.002636547	-3.74258729	0.00550503	-0.01871468	0.01704904
0	3.742587294	70614.3228	-149.871929	16.9033287	43.9866615
0	-0.005505032	-149.871929	0.31839197	-0.04642663	-0.09751499
0	0.018714682	16.9033287	-0.04642663	0.4988509	-0.06760387

iteracion5

1	-1419.503095	2.08796997	-7.09817735	6.46642816	379.283897
0	75926.93704	-157.686339	43.4688771	19.7854897	-1419.5031
0	-157.6863393	0.32988631	-0.08550232	-0.06191709	2.08796997
0	43.46887706	-0.08550232	0.63169102	-0.18862101	-7.09817735
0	19.78548967	-0.06191709	-0.18862101	0.58199175	6.46642816

Matriz Inversa de MNEW

75926.93704	-157.6863393	43.4688771	19.7854897	-1419.5031
-157.6863393	0.329886312	-0.08550232	-0.06191709	2.08796997
43.46887706	-0.08550232	0.63169102	-0.18862101	-7.09817735
19.78548967	-0.061917095	-0.18862101	0.58199175	6.46642816
-1419.503095	2.087969969	-7.09817735	6.46642816	379.283897

Multiplica Inversa de MNEW * VectorNEW

Beta 0	270.6967309
Beta 1	-0.274975422
Beta 2	0.830337404
Beta 3	-1.0330207
Beta 4	-42.8871172

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO E. CORRIDA DE LA MACRO PARA LA TORRE DA-501

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO E. CORRIDA DE LA MACRO PARA LA TORRE DC-501

vector V
(1 x m)

datos de la variable dependiente "y"

	5.6	6.2	6.2	6.4	5.5	6.0
renglones de la matriz X (m)						43
columnas de la matriz X (n)						6
columna 1	columna 2	etc.....				
1	179.6	65.8	228.4	15.5	3.04	
1	178.9	64.6	226.6	15.5	2.81	
1	178.3	65	226.6	15.5	2.61	
1	178.8	63.8	227.2	15.49	2.46	
1	180.3	67.9	229.4	15.49	2.72	
1	179.9	68.4	229.2	15.5	2.67	
1	178.7	64.9	227.3	15.5	2.74	
1	179.6	64.7	227.4	15.5	2.96	
1	179	65.3	227.2	15.5	3.04	
1	177.9	66.9	227.2	15.5	3.03	
1	178.5	69.4	227.8	15.5	2.97	
1	178	69.9	228.1	15.5	2.66	
1	177.4	70.2	228.2	15.5	2.55	
1	175.7	70.2	225.9	15.5	2.68	
1	174.4	69.3	225	15.5	2.85	
1	174.7	70.1	226.3	15.42	2.81	
1	176.7	70.5	227.3	15.5	2.7	
1	176.4	69.9	227.1	15.5	2.74	
1	176.6	69.1	227	15.5	2.73	
1	177.6	69.8	227.7	15.5	2.71	
1	176.8	69	227.3	15.5	2.75	
1	176.3	68.8	227	15.5	2.75	
1	177	68.9	227.2	15.5	2.7	
1	176.1	68.9	227	15.5	2.77	
1	176	69.3	227.1	15.5	2.81	
1	176.9	68.8	227.1	15.5	2.78	
1	176.2	69.4	227.2	15.5	2.8	
1	175.8	69.6	227.1	15.5	2.76	
1	176.3	70.2	227.3	15.5	2.72	
1	175.2	70.9	227.3	15.5	2.74	
1	174.6	70.9	227.1	15.5	2.73	
1	175.3	70.9	227	15.5	2.73	
1	174	71.4	226.8	15.5	2.82	
1	173.1	72.1	226.8	15.5	2.79	
1	173.4	73	226.9	15.5	2.97	
1	172.5	72.8	226.7	15.5	2.97	
1	172.1	72.2	226.1	15.49	2.93	
1	171.6	71.6	224.4	15.49	2.85	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

88-A

1	170.3	69.2	221.8	15.5	2.9	
1	170.5	68.3	221.5	15.5	2.87	
1	173.6	71.9	226.1	15.5	2.79	
1	172.5	71.6	225.7	15.5	2.81	
1	172.3	71.8	225.7	15.49	2.79	
matriz new transpuesta						
	1	1	1	1	1	1
	179.6	178.9	178.3	178.8	180.3	179.9
	65.8	64.6	65	63.8	67.9	68.4
	228.4	226.6	226.6	227.2	229.4	229.2
	15.5	15.5	15.5	15.49	15.49	15.5
	3.04	2.81	2.61	2.46	2.72	2.67
sum ² col	89002.8516	87775.0761	87611.5121	87906.7117	89991.1985	89823.5889
vector	5.6					
	6.2					
	6.2					
	6.4					
	5.5					
	5.7					
	6.8					
	6					
	6.8					
	4.5					
	4.7					
	6.1					
	5.2					
	6.9					
	7.3					
	5.3					
	5.9					
	7.2					
	7					
	6.8					
	6.2					
	6.6					
	6.8					
	7.1					
	6.5					
	6					
	6.1					
	5.9					
	6.3					
	6.5					
	6.3					
	6.2					
	5.5					
	4.8					
	5.9					
	6.7					
	6.5					

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.8
6.8
6.3
7.3
6.9
6

multiplica MT * M = MNEW

43	7565.4	2977.2	9751.1	666.37	120.01
7565.4	1331340.22	523625.35	1715729.65	117240.973	21111.461
2977.2	523625.35	206366.4	675114.38	46137.519	8309.919
9751.1	1715729.65	675114.38	2211344.85	151112.618	27212.858
666.37	117240.973	46137.519	151112.618	10326.7269	1859.7927
120.01	21111.461	8309.919	27212.858	1859.7927	335.5937

Multiplica MT * Vector = VectorNEW

268.1
47150.55
18565.4
60782.57
4154.814
747.734

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

inversa de MNEW / M Identidad:

43	7565.4	2977.2	9751.1	666.37	120.01
7565.4	1331340.22	523625.35	1715729.65	117240.973	21111.461
2977.2	523625.35	206366.4	675114.38	46137.519	8309.919
9751.1	1715729.65	675114.38	2211344.85	151112.618	27212.858
666.37	117240.973	46137.519	151112.618	10326.7269	1859.7927
120.01	21111.461	8309.919	27212.858	1859.7927	335.5937

iteracion1

1	175.9395349	69.2372093	226.769767	15.4969767	2.79093023
0	287.2627907	-181.833256	125.651395	0.14513953	-3.0425814
0	-181.8332558	233.380465	-24.5716279	-0.08016279	0.76151163
0	125.6513953	-24.5716279	90.1706977	0.04806977	-1.7817907
0	0.145139535	-0.08016279	0.04806977	0.00650698	0.00052093
0	-3.042581395	0.76151163	-1.7817907	0.00052093	0.65416279

iteracion2

1	-0.63298576	0.43740923	0.00050525	-0.01059163	-0.61246893
0	118.2826035	54.963916	0.01170847	-1.16439907	-180.604429
0	54.96391604	35.2096179	-0.0154156	-0.45093752	-149.812191
0	0.011708468	-0.0154156	0.00643364	0.00205819	-15.4080833
0	-1.164399068	-0.45093752	0.00205819	0.62193689	-4.65441681
0	180.6044295	149.812191	15.4080833	4.65441681	107.780755

iteracion3

1	0.464683008	9.8987E-05	-0.00984421	-1.5268892	0.00535147
0	9.668820057	-0.02085633	0.09013894	-65.8883818	-0.73154695
0	-0.020856331	0.00643249	0.00217346	-15.3902058	-0.00056791
0	0.090138942	0.00217346	0.6104743	-6.43232517	0.01682288
0	65.88838182	15.3902058	6.43232517	383.543707	-1.57896805
0	0.731546954	0.00056791	-0.01682288	-1.57896805	0.00686854

iteracion4	1	-0.002157071	0.00932264	-6.81452147	-0.07566042	-0.04805995
	0	0.006387497	0.00236789	-15.5323317	-0.00214591	-0.00110134
	0	0.002367891	0.60963397	-5.81807142	0.02364283	0.01417629
	0	15.53233167	5.81807142	832.541499	3.40617437	1.63970314
	0	0.002145906	-0.02364283	3.40617437	0.06221768	0.04050958
	0	0.001101341	-0.01417629	1.63970314	0.04050958	0.03078697

iteracion5	1	0.370707206	-2431.67717	-0.33595414	-0.17242143	0.33770204
	0	0.608756173	-0.06012414	0.02443833	0.01458456	-0.01012228
	0	0.060124135	38602.1579	8.62432551	4.31780998	-12.0598216
	0	-0.02443833	8.62432551	0.06293861	0.04087958	-0.07638509
	0	-0.014584561	4.31780998	0.04087958	0.03097687	-0.04843188
	0	0.010122283	-12.0598216	-0.07638509	-0.04843188	0.10415368

iteracion6	1	-0.098765545	0.04014469	0.02395797	-0.01662781	-0.60895844
	0	38602.16381	8.62191185	4.31636953	-12.0588218	-2431.64056
	0	8.621911848	0.06391968	0.04146507	-0.07679145	-0.35083607
	0	4.316369527	0.04146507	0.03132628	-0.04867438	-0.18130282
	0	-12.05882185	-0.07679145	-0.04867438	0.104322	0.34386609
	0	-2431.640561	-0.35083607	-0.18130282	0.34386609	156.781582
	0				0.34386609	156.781582

Matriz Inversa de MNEW	38602.16381	8.621911849	4.31636953	-12.0588218	-2431.64056	-0.09876555
	8.621911848	0.06391968	0.04146507	-0.07679145	-0.35083607	0.04014469
	4.316369527	0.041465073	0.03132628	-0.04867438	-0.18130282	0.02395797
	-12.05882185	-0.07679145	-0.04867438	0.104322	0.34386609	-0.01662781
	-2431.640561	-0.350836068	-0.18130282	0.34386609	156.781582	-0.60895844
	-0.098765545	0.040144693	0.02395797	-0.01662781	-0.60895844	1.64269381

Multiplica Inversa de MNEW * VectorNEW

Beta 0	-151.1484998
Beta 1	-0.024425614
Beta 2	-0.014895409
Beta 3	-0.163200794
Beta 4	13.12864087
Beta 5	-1.33758449

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

880

BIBLIOGRAFÍA

1. Arrona, H. F.; HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA CALIDAD TOTAL, segunda edición, Instituto de Calidad S. A. de C. V., 1990.
2. Canavos, C. G.; PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA, McGraw-Hill, México, 1988.
3. Cuervo, C. Ma. J.; CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS, Refinería "Miguel Hidalgo", 1999.
4. Depto. Calidad, MATERIAL DIDÁCTICO PARA DIFUSIÓN E IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA DE CALIDAD, Refinería "Miguel Hidalgo", 2001.
5. Foust, A. S.; PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS, segunda edición, Continental, México, 1993.
6. Henley, J. E. & Seader, J. D.; OPERACIONES DE SEPARACIÓN POR ETAPAS DE EQUILIBRIO EN INGENIERÍA QUÍMICA, Reverté, S. A., 1988.
7. Hernández, A. D.; CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO PARA USUARIOS, Instituto de calidad S. A. de C. V., 2000.
8. Hoyle, H. D.; MANUAL DE SISTEMAS DE CALIDAD ISO 9000, Paraninfo, 1992.
9. IMNC; NORMA MEXICANA, SISTEMAS DE CALIDAD-MODELO PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN PRODUCCIÓN, INSTALACIÓN Y SERVICIO, IMNC, 1999.
10. Marques, S. Ma. J.; PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA PARA CIENCIAS QUÍMICO-BIOLÓGICAS, McGraw-Hill, México, 1991.
11. Marques, S. Ma. J. & Galindo, S. Ma. C. ; ANÁLISIS DE DATOS QUÍMICO-BIOLÓGICOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE REGRESIÓN (Material didáctico para el curso de superación y actualización docente), F. E. S. Zaragoza, 2002.
12. Mendehall, W. & Scheaffer, R. L.; ESTADÍSTICA MATEMÁTICA CON APLICACIONES, tercera edición, Iberoamerica, México, 1990.
13. Montgomery, C. D. & Peck, A. E.; INTRODUCTION TO LINEAR REGRESSION ANALYSIS, second edition, A Wiley-Interscience, 1992.
14. Subdirección de Capacitación y Servicios Técnicos; TÉCNICAS ESTADÍSTICAS PARA PROCESOS, Instituto Mexicano del Petróleo, 2000.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

15. Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Plantas Industriales; **MANUAL DE OPERACIÓN DE LA UNIDAD REFORMADORA DE GASOLINA U-500-II**, Instituto Mexicano del Petróleo, México, 1990.
16. Taormina, T.; **ISO 9000 LIDERAZGO VIRTUAL**, Pearson Educación, México, 1999.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN