

308917
16
2eje.

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

**ESCUELA DE INGENIERIA
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**CALCULO DE INVERSION SOBRE
INCERTIDUMBRE**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA: INGENIERIA INDUSTRIAL

P R E S E N T A:

ANAGABRIELA GONZALEZ LELO DE LARREA

**DIRECTOR
EDUARDO DE LA VEGA SEGURA**

MEXICO, D. F.

1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

A MIS PADRES

JOSE PEDRO Y LUCERO

A MIS HERMANAS

LUCERO Y ROCIO

A MIS CUÑADOS

HECTOR Y MIGUEL

A MIS SOBRINOS

**MIGUEL, HECTOR, JOSE PEDRO
LUCERO, ROCIO, REGINA, FERNANDA.**

A MANUEL GUTIERREZ

AL ING. GILBERTO FABILA.

A MIS MAESTROS

A MIS AMIGOS

INDICE

INTRODUCCION	1
1.- EL PRODUCTO Y SU PROCESO DE FABRICACION	
1.1 Descripción General del Proceso de Fabricación	5
1.2 El Costo de fabricación	8
1.3 Cálculo del Costo de la Producción	14
1.3.1 Materia Prima	15
1.3.2 Mano de Obra	16
1.3.3 Servicios Auxiliares	16
1.3.4 Costos Indirectos	17
1.3.5 Gastos Generales	19
1.4 Discusión de Problemas del Costo de Fabricación	23

2.- EXPOSICION DEL METODO ESTADISTICO DE EXPERIMENTOS

2.1 Metodología a Aplicar	25
2.2 Los Experimentos Rotacionales Compuestos	27
2.2.1 Diseño de Segundo Orden	33
2.3 El Diseño de Experimentos	35
2.3.1 Objetivo de la Investigación Tecnológica	35
2.3.2 Factores y Respuestas	37
2.4 La Experimentación Clásica	41
2.5 Localización de Factores Predictores	42
2.6 La Esencia del Diseño Estadístico de Experimentos	45
2.6.1 Definiciones Fundamentales	45
2.6.2 Sistematización de la Investigación	47
2.6.3 Principios de Diseños de Experimentos	49
2.6.4 Procedimiento de Cálculo	53

3.- DISEÑOS AVANZADOS

3.1 Mejora de los Diseños Factoriales	58
3.2 Modelos y Diseños de Segundo Orden	63
3.3 Regresión Múltiple	67
3.3.1 Regresión Múltiple por Etapas	67
3.3.2 Aplicación del Programa CO 090	72

4.- APLICACION DEL METODO ESTADISTICO EXPERIMENTAL

4.1 Variables de Estudio 77

4.2 Método de Cálculo 78

CONCLUSIONES 86

BIBLIOGRAFIA 95

APENDICE 96

INTRODUCCION

Una de las funciones principales de los gerentes de una empresa es aumentar las utilidades a largo plazo de los propietarios de la empresa. Aunque se dispone de muchas medidas para evaluar el crecimiento rentable de una empresa, la más sana, en principio parece ser la maximización de utilidades en relación con la inversión utilizada. Una de las maneras de realizar la máxima utilidad en una empresa de fabricación es evaluar el Costo de Producción y así poder decidir si conviene invertir o no en ese producto. Por inversión se entiende, al empleo productivo de bienes económicos que da como resultado una magnitud de éstos mayor que la empleada. Es inversión todo gasto que se efectúa para mantener en funcionamiento o para ampliar el equipo productivo de la empresa.

Una decisión de invertir en instalaciones fijas lleva consigo la carga de la depreciación continua, los seguros, los impuestos, los costos de mantenimiento, etc., y reduce también la fluidez de las acciones futuras de la compañía. Por consiguiente, las decisiones de inversión de capital se deben tomar con gran cuidado y su éxito determina, en gran parte, el éxito de la empresa.

A fin de cuentas, la decisión de inversión incluye siempre tanto elementos cuantificados de la intuición, como de la incertidumbre, entendiéndose por incertidumbre; a la falta de determinación de las cosas, debido a un número infinito de soluciones posibles.

No obstante la mayor parte de los factores se pueden cuantificar para ayudar en la decisión y estrechar los campos en que se debe aplicar el buen juicio exclusivamente.

En primer lugar, es preciso tomar una decisión sobre qué factores afectarán las utilidades futuras, en caso de que se acepte la inversión propuesta (el caso propuesto), en contraste con su rechazo (caso básico). Después es necesario hacer predicciones sobre cada uno de esos factores, tanto para el caso propuesto como para el básico. Finalmente, las predicciones se tienen que combinar de modo congruente y comprensible para estimar la rentabilidad general de la inversión propuesta de capital, con el fin de conocer la mejor estimación de la utilidad sobre la inversión, para compararla con otros beneficios en usos distintos del mismo capital. El riesgo y otros factores también

Dentro de los efectos de una inversión se supone que la compañía seguirá funcionando, independientemente de que la inversión propuesta se lleve o no a cabo. Al pronosticar los principios elementales del flujo de efectivo , algunos de esos elementos serán diferentes si se hace la inversión, de lo que serían si no se efectuara.

Por lo común el caso propuesto para realizar la inversión implica mayores beneficios, que justifican la inversión; pero sólo se deben usar en la justificación las utilidades adicionales resultantes de la inversión. Para lo cual es necesario identificar los factores que modifican con mayor facilidad el Costo de Fabricación, así se podrán resolver las dificultades que se presenten, sobre todo uno tendrá un limite superior específico del cual no será conveniente desplazarse , si se desea tener un Costo de fabricación adecuado para el fin de la empresa.

Por lo que es necesario elegir un método que ayude a resolver los problemas y aclarar las dudas sobre la variación que suele existir en el Costo de Fabricación de cualquier producto, debido a que es imposible imaginar un Costo de Fabricación estable e inmovible, es indispensable utilizar un método el cual nos ayude a descubrir en qué factores se debe tener más cuidado y cuales no se deben descuidar por ningún motivo.

En esta tesis se presenta un caso específico donde se aplica una Técnica Universal de Incertidumbre a la que se le confía encontrar un patrón de respuesta ante todas las variaciones posibles. Esto es un patrón de las cosas donde nos propondrá como resolver los posibles problemas dando alternativas y aclarando los panoramas de los diversos Costos de Fabricación que se puedan generar.

Una de las ventajas que posee el método expuesto en la tesis es que es multidisciplinario. Esto se debe a que es utilizado en diversas áreas de la Investigación. La utilizan en las Investigaciones Microbiológicas así como en las Investigaciones de la Agricultura por señalar algunas de las múltiples aplicaciones que puede tener.

En el Capítulo 1 de esta tesis se habla acerca del Costo de Fabricación, explicando todos los conceptos que lo conforman así como la forma en que se calcula cada uno de estos conceptos, se señala también todo lo referente al producto a partir del cual se basa toda la investigación. En el Capítulo 2 se explica cuál es la metodología a aplicar a este caso práctico, y se presenta el Método Estadístico de Experimentos que es el método matemático que se ha decidido aplicar, así como el Diseño de Experimentos que se expone en el

Capítulo 3 dando todas las definiciones de los conceptos que forman parte del mismo, se utiliza un Método más, un Diseño Avanzado , que se explica cuidadosamente en este capítulo , y finalizando con la aplicación de los métodos expuestos en los capítulos anteriores, se presenta también la aplicación de un programa de computación que ayudará a concluir la tesis con mayor facilidad ya que presenta los resultados de forma gráfica por lo que son más sencillos de interpretar .Esto será desarrollado en el último capítulo de la tesis , el Capítulo 4 .

CAPITULO 1

EL PRODUCTO Y SU PROCESO DE FABRICACION

1.1 Descripción General del Proceso de Fabricación

En este capítulo se describe el proceso que da lugar al Producto, cuyo Costo de Fabricación analiza esta Tesis . Se describen los equipos requeridos, los servicios auxiliares necesarios y las condiciones de operación que el proceso demanda.

El Producto es un Aceite 20 API, que sometido al presente proceso, adquiere ciertas características especiales que lo vuelven más durable y resistente.

Descripción del Proceso:

El proceso comienza en el Campo de Tanques, de donde el Aceite en bruto es alimentado al Area de Proceso (figura 2.1) .

El Aceite pasa a un primer tanque de acero de 1000 Its de capacidad. De éste a una bomba de 100 ft / 50 gpm, lo cual descarga a un mezclador, al cual se le añade manualmente un catalizador (Naftenato de Cobalto), y se realiza una premezcla. Esta premezcla fluye por una tubería, que se une con una segunda tubería, que parte del Campo

de Tanques, dirigiéndose a un reactor enchaquetado de acero vidriado con una capacidad de 500 GAL.

En este reactor se agita la mezcla , provocando una elevación de temperatura en el producto. Para controlar la temperatura, a través de la chaqueta pasan vapor saturado a 5 atm y agua de enfriamiento a 20 grados centígrados. El agua sale de la chaqueta a 40 grados centígrados para ser reutilizada en el Proceso, y por otro extremo de la chaqueta, sale el vapor dirigiéndose a un colector de condensado, a una temperatura de 100 grados centígrados, para ser nuevamente utilizado en el proceso.

La mezcla de aceite, es bombeada a una tolva de acero inoxidable de 1500 lts de capacidad, en la cual nuevamente se agita el aceite. Finalmente el Producto es almacenado. En la figura 2.2 se muestra la distribución física de la planta.

Indices necesarios para la fabricación del aceite.

De acuerdo a las características y necesidades del Proceso, así como a la distribución y tamaño de la planta, obtenemos como resultado, algunos índices necesarios para el buen funcionamiento del Proceso de producción del aceite, lo descrito en el subcapítulo 2.1 .

A continuación se presentan los valores obtenidos:

Inversión de N \$ 15,000,000

Capacidad de producción de 372,000 kg / año.

Para la mano de obra se obtuvieron los siguientes valores.

<u>Descripción</u>	<u>Índice</u>	
Jefatura	0.01	horas- hombre
Supervisión	0.06	horas- hombre
Mano de Obra especializada	0.12	horas- hombre
Mano de Obra no especializada	0.24	horas- hombre

Los índices de los servicios son los siguientes:

<u>Descripción</u>	<u>Índice</u>
Vapor	0.4
Electricidad	0.3
Aire	0.1

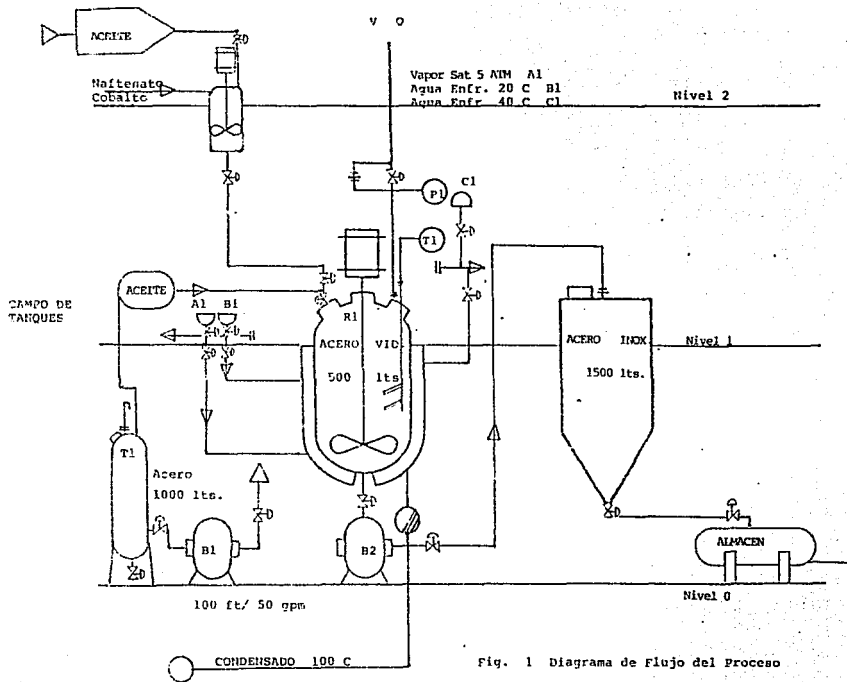


Fig. 1 Diagrama de Flujo del Proceso

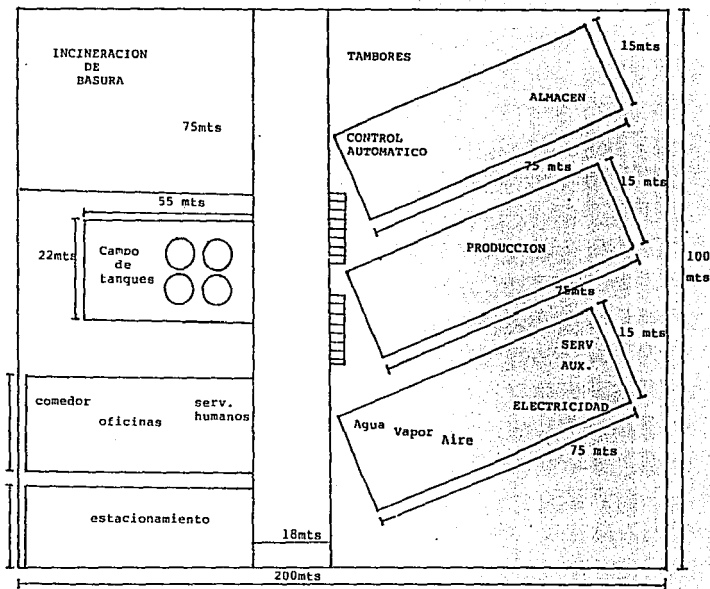


Fig. 2 Distribución Física de la Planta

Todos los valores aquí descritos, son de gran utilidad para el buen cálculo del costo de producción del aceite.

1.2 El costo de fabricación

Se requieren estimaciones de los costos de producción de diversos grados de precisión para evaluar nuevas inversiones, evaluar nuevos proyectos para producir en equipos disponibles, elaborar presupuestos de operación, justificar cambios menores de proceso y evaluar las posiciones de los competidores. Como en el caso de otras estimaciones, la precisión y la amplitud de los detalles dependen de la finalidad de la estimación.

Una estimación completa de costos debe cubrir muchos conceptos. El esfuerzo de estimación se debe distribuir entre los elementos más importantes de costos, con el fin de que los elementos de importancia menor reciban una atención proporcionalmente menor.

A continuación se presenta la manera de estimar todos los costos que influyen en el costo de fabricación.

a) Materias Primas

Los precios siempre se tienen que estimar sobre la base de materiales entregados. La naturaleza y la cantidad de las materias primas que se requieren se deben proporcionar antes de iniciar la estimación de costos. Las estimaciones de precios actuales se deben complementar con predicciones, cuando exista la posibilidad de que cambien los precios.

Si la cantidad de materias primas es elevada o el costo importante para la economía del proceso, una compañía tratará por lo común de negociar un precio especial por contrato.

En no pocos casos de la vida real, el renglón de materias primas es el más importante dentro del costo total. De aquí su importancia.

b) Mano de Obra

La mayoría de las proposiciones de inversión incluyen ya sea la adición o la reducción de la fuerza laboral. Muchos proyectos de ahorros justifican sobre la base de los ahorros de mano de obra exclusivamente. Para instalaciones importantes, los ingenieros industriales y los departamentos de personal deben contribuir a estimar las necesidades de mano de obra.

La supervisión se calcula en base a que todas las zonas de la planta y todo el personal se encontrarán bajo la supervisión de otros empleados responsables. Se pueden hacer estimaciones individuales del personal necesario o incluirse esas cargas en los gastos generales de la planta.

Conforme aumenta la automatización de los procesos, disminuye la mano de obra especializada de las plantas; pero esto se contrarresta, hasta cierto punto, por la necesidad de mano de obra, de mantenimiento de instrumentos, cada vez más especializada. Las necesidades mínimas de mano de obra para una zona dada se determinan por consideraciones de seguridad más que por el número de tareas que desempeña el operario.

En toda planta se requieren muchas otras categorías de mano de obra no especializada; pero en la mayoría de los sistemas de contabilidad y, por consiguiente, en la mayoría de las estimaciones no se asignan directamente a un centro de costos de producción, sino que se agrupan en gastos generales de la planta como mano de obra no especializada. En estas categorías cae el personal necesario para desviar vagones de ferrocarril o mantener terrenos de la planta, encargarse de la limpieza, etc.

c) Servicios Auxiliares

Los servicios afectan en el costo de producción dependiendo naturalmente, del proceso de que se trate. A veces, la cotización de los costos de los servicios es compleja, puesto que se requieren otros servicios para su propia producción.

El vapor se mide en caballos de fuerza de caldera (33 749 BTU/ h) , por lo que se cotiza en dicha medida.

La energía eléctrica representa, en la mayoría de los casos, una parte modesta de los costos operacionales totales. Se trata de un componente importante de costos operacionales.

Las cargas de energía se basan en los kilowatios-hora utilizados. Se pueden usar como un costo unitario por kilowatio-hora o como carga decreciente, que disminuye al aumentar el consumo en kw-h. Debido a la carga de demanda, las tasas unitarias de electricidad disminuirán conforme aumenten las horas de utilización de la demanda máxima mensual. La razón del promedio de uso de la demanda se denomina factor de carga.

Las necesidades de agua se dividen en tres categorías; enfriamiento, procesamiento y usos diversos.

Con fines de enfriamiento el agua reciclada regresa a una torre de enfriamiento, donde se desciende su temperatura, principalmente por medio de la evaporación.

A veces el agua de enfriamiento es un concepto de costos tan pequeño que se asigna sobre la base prorrateada, más que por medición.

Los gastos de las operaciones de agua de proceso o enfriamiento no suelen ser significativos para la economía general de una planta. Las estimaciones que se dan tienen que ser satisfactorias, cuando los costos del agua no se encuentran disponibles en los historiales de las plantas. Sin embargo, es preciso tomar en consideración circunstancias particulares, como la escasez local de agua.

El aire comprimido corresponde a un rubro menor para los costos de la mayoría de los procesos.

d) Costos Indirectos

Administración. Uno de los factores importantes que es preciso tomar en cuenta en los costos laborales es la programación de los horarios de turnos para el funcionamiento de la planta, con el fin de mantener en un mínimo los pagos de tiempo extra y las bonificaciones adicionales.

Los programas de horarios equitativos para el funcionamiento de 6 y 7 días son más difíciles de desarrollar. Mediante el uso de cuatro equipos o turnos se pueden llenar tres turnos de ocho horas durante siete días, con pagos de tiempo extra de sólo dos horas por hombre y por semana, en promedio.

Mantenimiento. Conforme aumentan los costos fijos por unidad de producción y por operario en la industria, aumenta la importancia del mantenimiento. Las plantas automatizadas modernas tienen fuerzas de mantenimiento que pueden sobrepasar en número a los operarios. El costo total del mantenimiento es función de la complejidad del proceso, los materiales de construcción, el calibre del equipo de mantenimiento y las operaciones de mantenimiento realizadas previamente en la planta.

El costo más frecuente para estimar los costos de mantenimiento antes de construir una planta, consiste en incluir cierto porcentaje de la inversión fija como gastos anuales de mantenimiento. En general es de 4% a 6% anual de la nueva inversión para el mantenimiento es un mínimo para los equipos de proceso químico. Para los procesos corrosivos o los que tengan una gran instrumentación, esta cifra puede aumentar hasta de 7 a 10 % de la inversión.

Accesorios de mantenimiento. La variación del costo de mantenimiento con la edad del equipo se analizó, trazando gráficamente los costos anuales de mantenimiento para diversos tipos de plantas, en función del producto de la inversión y de la edad. En otros casos se calcula este costo, a partir de un porcentaje del mantenimiento, pudiendo variar entre el 20 al 40%.

Control analítico. Todos los procesos químicos necesitan, hasta cierto punto, un control analítico. La mano de obra es la carga principal en un grupo de pruebas de control analítico y la cantidad estimada del costo del proceso, dependen de la complejidad del control de proceso de que se trate. También se necesitará el análisis final del producto, por lo común sobre la base de muestreo, para asegurarse de que se conforme a las especificaciones de la producción.

Mejoras del proceso. Esta erogación para nuevas investigaciones, se debe estimar cuidadosamente e incluirse en la evaluación económica del proyecto de ingreso al campo.

El costo de investigación en total se puede comparar con las ventas totales, pero el esfuerzo de investigación no se ve afectada por ninguna decisión de inversión dada. Los gastos generales de mejoras analíticas varían entre un 3 a un 10 % del valor total de las ventas, según el tipo de organización.

c) Gastos Generales.

Los impuestos de la propiedad se pueden cargar en la declaración de costos de fabricación como gastos generales. Son aplicables las contribuciones para distritos escolares, las estatales y las municipales, basadas en la evaluación de una propiedad. En general, una planta pagará entre 0.5 y 1.5 % al año de su valor de activos netos por concepto de impuestos de la propiedad.

Seguros. Las tasas de seguros y las de impuestos varían mucho de unos lugares a otros y será preciso consultar a los expertos, cuando se necesiten estimaciones precisas.

El índice utilizado en este punto depende de la naturaleza de la instalación, la localidad, la industria, el historial de pérdidas, etc; se puede dejar margen para hasta 0.5 % al año de la inversión fija, tanto para el seguro contra incendios como el de calderas.

Depreciación. Es un punto importante del costo en la declaración de costos de producción. En lugar de cargar el costo de la planta como erogación durante el año de compra, una porción de su costo se carga contra los ingresos obtenidos cada año durante toda su vida útil estimada. Así, pues, la depreciación es una carga periódica contra los beneficios, que distribuye el primer costo de un activo fijo sobre su vida esperada de servicio. Lo más común es depreciarla durante un tiempo de 10 a 15 años.

Empaques y Ventas. Para un producto incluyendo tanto el costo del recipiente como el de introducción del producto en él.

El costo de operación de empaque se refleja en el programa de precios de un producto. El precio se cotiza, por lo común, según un método de empaque de cada producto. La estimación del empaque se obtiene a partir de un porcentaje del total de las materias primas utilizadas.

1.3 Cálculo del Costo de Producción

Vamos a considerar que el Costo de Producción es el costo por kilogramo de Producto Final.

El costo de producción se calcula siguiendo una serie de reglas y funciones de forma ordenada, derivadas técnicamente.

La estructura del costo de fabricación, se dividirá en cinco partes, para facilitar su cálculo.

1.3.1 Materias Primas: Este concepto se divide a su vez en dos grupos:

La Materia Prima Fundamental

La Materia Prima Secundaria.

La Materia Prima Fundamental: Son aquellas materias primas que forman la base del producto, y generalmente están contenidas en un alto porcentaje en la composición del producto o de su precio total.

La Materia Prima Secundaria: Son aquellas materias que se le agregan a las materias primas fundamentales, para darle una composición al producto, con características específicas.

Para obtener el precio por kilogramo de Producto Final, se necesitan dos índices o datos. El primer dato corresponde a los kilogramos de cada Materia Prima que entra en un Producto Final. El segundo dato es el costo por kilogramo de esas materias primas. El producto de estos dos datos nos dará como resultado, la parte del costo correspondiente a cada materia Prima. El último cálculo que debe de hacerse, es sumar todos los valores obtenidos para cada Materia Prima, y así obtendremos el precio por kilogramo de Producto Final correspondiente a la Materia Prima.

1.3.2 Mano de Obra: Este se divide tradicionalmente a su vez en cuatro conceptos:

Jefatura

Supervisor de Turno

Mano de Obra Especializada

Mano de Obra no Especializada.

Para obtener el precio por kilogramo de Producto Final lo que se hace es , derivar pragmáticamente las Horas Hombre por kilogramo de producto final necesarias . Así, como el precio correspondiente a cada Hora - Hombre. Teniendo estos dos datos se obtiene fácilmente el precio por kilogramo de Producto Final . Esto se realiza con las cuatro clases de mano de obra mencionadas, y el resultado se obtiene sumando el valor obtenido en cada una de ellas.

1.3.3 Servicios auxiliares: se clasifican en 5 partes:

Vapor

Electricidad

Agua de Proceso

Agua enfriamiento

Aire

Para conocer su impacto en el precio del producto, se deberá determinar experimentalmente los requerimientos unitarios del producto de cada uno de esos servicios.

Esto es los kilogramos de vapor requeridos para fabricar un kilogramo de producto, los KW de electricidad para producir un kilogramo de producto, los BHP de vapor necesarios para producir un kilogramo de producto, los metros cúbicos de agua de proceso y agua de enfriamiento, necesarios para producir un kilogramo de producto, y por último los SCFM de aire necesarios para producir un kilogramo de producto. De cada uno de estos servicios se determina un precio unitario dependiendo de las condiciones propias de la planta. Este precio unitario deberá incluir:

- amortización de la inversión en equipo
- amortización de la inversión en edificios
- costos de otros servicios
- costos de mano de obra
- costos generales

1.3.4 Costos indirectos: Se clasifican en 7 partes:

- Administración
- Mantenimiento
- Accesorios de mantenimiento
- Control Analítico
- Vigilancia y Limpieza
- Terreno
- Mejoras de Proceso.

La manera de obtener el precio por kilogramo de producto para cada parte se muestra a continuación.

Los costos administrativos son aquellos que se incurren en los manejos de recursos para fabricar el producto (almacén, empaque, intereses en el dinero., etc.)

El costo de mantenimiento es el precio de sostener la operabilidad de todos los equipos a lo largo de su vida útil. Se divide en un 30 % como costo de su mano de obra y un 70 % como costo de sus accesorios. Generalmente se estima bajo las reglas siguientes:

El 3 % del costo de la inversión para mantenimiento anual del edificio y estructuras, 5% para el equipo de servicios , para el mantenimiento anual del equipo de proceso sometido a poca corrosión corresponde el 7 %, y el 10 % para equipos del proceso con alta corrosión y alta presión.

El costo de control analítico son, principalmente los salarios del personal involucrados en controlar las especificaciones de materias primas, productos intermedios y productos finales.

Añado un porcentaje para mejoras de proceso, el cual se aplicaría en la modernización constante del mismo, así como, en las del ambiente en todo lo que a mi proceso lo descompusiera.

El costo de administración se considera como el 15 % del costo de la mano de obra, con lo cual, se tiene lo suficiente para administrar los sueldos y salarios de la fábrica. Se añade un 2 % para la administración de las materias primas y de su almacenamiento.

El costo del renglón del control analítico se estima en un 25 % del costo de las materias primas por la observación de que en la medida en que estas son más caras este costo es más complejo.

1.3.5.- Gastos Generales: Se clasifican en en 5 partes:

Impuesto Predial

Seguros

Depreciación

Empaque y Ventas

Corporativo.

La manera de obtener el precio por kilogramo de Producto Final se muestra a continuación.

Impuesto Predial corresponde al 0.1% del valor del terreno.

Seguros es el 0.3% de la inversión

Depreciación se calcula a 10 años.

Empaque y Ventas es el 15 % del total de materias primas .

Corporativo es el 1 % de las materias primas totales, mas el 1.5 % de la mano de obra.

Se ha tomado una depreciación a 10 años por ser el proceso que se estudia relativamente simple y sin serios problemas de corrosión. En otros casos es común buscar

una depreciación a 5 años y aplicar un 20 % por año. Para poder realizar los cálculos antes señalados es fundamental conocer algunos datos como:

Capacidad de producción Anual

Inversión

Días Operativos por Año Calendario

Horas Efectivas por Día

Capacidad de Producción Anual: En este renglón es importante mencionar la fuerte influencia que tiene en el costo final del producto el hecho de exagerar los días de descanso o las ineficiencias del tiempo a lo largo del día. De hecho se mostrará más adelante que estas deficiencias son la causa principal de la ineficiencia en general de nuestra industria.

Por ello se van a realizar cálculos aproximadamente para 250 días hábiles por año calendario. Teniendo en cuenta que nuestra nación tiene 15 días de descanso obligatorio ; dos semanas de vacaciones anuales; y el resto se añade para paros programados del equipo y su mantenimiento. Incluyendo 52 domingos no hábiles. A este respecto hay que tener en cuenta que parar una fábrica el sábado y volverla a hechar a andar el lunes, hace perder horas en el sábado y en el lunes. La influencia de estas ineficiencias son también muy graves en nuestra industria actual.

Las horas efectivas por días , deduce de las 24 horas el tiempo empleado en los cambios de turno. Se estiman estas horas efectivas como 19.3 horas por día.

Para esquematizar la Estructura del Costo de Fabricación se presenta la siguiente tabla.

1.- Materias Primas

- 1.1 Materias Primas Fundamentales
- 1.2 Materias Primas Secundarias

Descripción	kg.consumo/kg. Pr. Final	\$/kg	\$/kg.Pr. Final
-------------	--------------------------	-------	-----------------

Pr. = Producto.

La 1a,2a y 3a columna son datos; la 4a columna es el producto de la 2a por la 3a columna.

2.- MANO DE OBRA

Descripción	H-hr/kg. PF	\$/ H-hr	\$/kg. PF
-------------	-------------	----------	-----------

Jefatura
 Supervisor Turno
 MO especializada
 MO no-especializada

H = Hombre

PF = Producto Final

MO = Mano de Obra

Nota: La MO no-especializada , en H-hr/ PF será el doble de la MO especializada.

3.- SERVICIOS AUXILIARES

Descripción	Unidad	Un/kg.PF	\$/UN	\$/kg. PF
-------------	--------	----------	-------	-----------

Vapor				
Electricidad				
Agua Proceso				
Agua Enfriamiento				
Aire				

Un = Unidad de medición.

4.- COSTOS INDIRECTOS

Descripción	(modo de calcularse)	\$/kg.PF
Administración	15% del total de Mano de Obra + 2% del total de Materias Primas.	
Mantenimiento	5% anual de la Inversión	
Accesorios de Mantenimiento	30% del total del mantenimiento	
Control Analítico	25% del total de Materias Primas	
Vigilancia y Limpieza	20% del total de Mano de Obra	
Terreno	dato	
Mejoras Proceso	15% del total de Materias Primas	

5.- GASTOS INDIRECTOS

Descripción	(Modo de calcularse)	\$/kg. PF
Impuestos Predial	1 o/oo del valor del Terreno	
Seguros	3 o/oo de la Inversión	
Depreciación	a 10 años.	
Empaque y Ventas	15% del total de Materias Primas	
Corporativos	1% de Materias Primas + 1.5% de Mano de Obra	

DATOS

1. Capacidad de Producción Anual
2. Inversión
3. Días Operativos por Año Calendario
4. Horas Efectivas por Día

1.4 Discusión de problemas del Costo de Fabricación.

Debido al desconocimiento de los precios con exactitud, y a la escasez de números orígenes , aparece como respuesta, una incertidumbre en los costos de Mano de Obra, Inversión , Materia Prima , Días operativos por año, por mencionar algunos.

Es por esto que se necesita obtener un Costo de Fabricación seguro, es decir, con los costos más elevados, para tener las menores sorpresas posibles. Pero esto nos da como consecuencia un costo muy elevado. El cual en muchas ocasiones es imposible de financiar.

Tratando de solucionar el problema antes mencionado, voy a variar metódicamente un número limitado de conceptos y así podré examinar el impacto de esas variaciones en el Costo de Fabricación, con objeto de deducir una ley de variaciones , más que simplemente cuantificar una variación.

CAPÍTULO 2

EXPOSICION DEL METODO ESTADISTICO DE EXPERIMENTOS

2.1 Metodología a Aplicar

El Costo de Fabricación, es el cálculo de mayor importancia ya que de este dependen varios aspectos como: la rentabilidad, sensibilidad y redituabilidad de un producto. Es por esto que voy a hacer un cálculo exacto del mismo.

En el capítulo anterior he mostrado las reglas para calcular el Costo de Fabricación de forma determinística. Le llamo determinística ya que todos los datos fundamentales son exactos y no cambian. La Materia Prima, el costo de la Materia Prima, la Mano de Obra, el costo de la Mano de Obra, los Servicios Auxiliares , el costo de los Servicios Auxiliares, la Capacidad de Producción, la Inversión, los días de operación por año, las horas efectivas por día, entre otros. Todos estos se consideraron como fijos, con esto me refiero que no cambian y por lo tanto existe un costo único.

El gran problema de estos datos fundamentales determinísticos, es que en la realidad no son determinísticos. En cambio tienen más o menos variabilidad . Frecuentemente se trata de solucionar este problema haciendo dos cálculos del Costo de Fabricación : uno

optimista y otro pesimista. Pero los resultados obtenidos por ambos no son realmente acertados ya que son muy extremistas y esto puede ocasionar inclusive que nos desanimemos a producir un producto , ya que obtenemos costos muy elevados que hacen que nuestro producto deje de ser rentable.

Sin embargo existe El Diseño de Experimentos Estadísticos, que se creó precisamente para hacer frente a problemas de alta complejidad y variabilidad.

A continuación se propone un método de solución:

Hacer Cálculos del Costo de Fabricación utilizando condiciones experimentales estadísticamente diseñadas. Este diseño enseña a encontrar que variables afectan a una respuesta dada, en cuánto y cómo. Es por eso que aplicaré este método que tiene muchísimo tiempo aplicandose a los procesos de diseño para obtener el más acertado cálculo del Costo de Fabricación, con objeto de derivar un modelo con el cual pueda obtener:

- 1.- De manera cuantitativamente y cómo es que el Costo de Fabricación es afectado por cada una de las variables que se elijan.
- 2.- Proporcione conocimientos para saber cómo compensar la influencia de una variación con respecto de otra variación.
- 3.- Obtener conocimientos sobre la sensibilidad y problemática del producto.

Para lograr lo antes mencionado se seguirán los siguientes pasos:

a.- Se elegirán algunos datos básicos para hacerlos variar de manera que se pueda obtener mayor información del producto.

b.- Se definirá un rango amplio entre los cuales esas variables puedan cambiar.

c.- Se realizará un Diseño de Experimentos con esas variables en los dos niveles antes supuestos.

d.- Se calculará para cada "experimento" un Costo de Fabricación, y para el conjunto, un Modelo de Regresión.

Lo anterior se realizará en dos etapas. La primera será un Modelo Factorial Sencillo y la segunda Un Diseño Avanzado Girable Compuesto. Estos términos serán explicados en el siguiente capítulo.

2.2 Los Experimentos Rotacionales Compuestos

Los Experimentos Rotacionales Compuestos son los Diseños más avanzados que existen. Permiten la determinación de curvaturas y otros detalles de la Superficie de Repuesta, con el mínimo de correlaciones entre los Factores.

El presente capítulo presenta un Método paso a paso para realizar estos Diseños. Se ha de advertir que dado el número relativamente grande de experimentos requerido, no se recomienda usar estos Diseños sino hasta tener certidumbre de estar apoyados en las proximidades del Centro Experimental óptimo.

Anatomía del Diseño Rotacional Compuesto.

Ver Fig. 4

El Diseño Rotacional Compuesto está formado por tres clases de experimentos.

Experimentos Factoriales.

Se localizan sobre de la conocida figura de estos Diseños: un cuadrado para dos factores, un cubo para tres, un hipercubo en adelante.

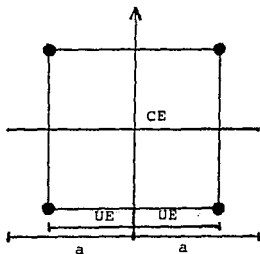


Fig. 4 Diseño Rotacional Compuesto, mostrando las tres clases de experimentos que lo forman, así como los parámetros de diseño: Centro Experimental (CE), Unidad Experimental (UE), y Radio de la Estrella (a).

Experimentos en Estrella

Experimentos en Estrella

Se localiza en las intersecciones de los ejes de los Factores y el círculo envolvente de los experimentos Factoriales.

Experimentos Centrales

Son los experimentos realizados en el Centro Experimental (CE) de todo el Diseño..

Un Diseño Rotacional Compuesto metódico debe partir de los Niveles Extremos del Factor, esto es, del Nivel Máximo y del Nivel Mínimo que puede asumir dicho Factor o entre los cuales se le quiere explorar.

Definiciones de los términos de la figura 4

Centro Experimental (CE)

Es el Nivel de los Factores desde el cual parte la experimentación de los mismos. Es, físicamente, lo que el origen de coordenadas es en forma abstracta.

Unidad Experimental (UE)

Es la diferencia entre el Nivel del Factor en los experimentos Factoriales y el Nivel del Factor en el Centro Experimental.

Es en otras palabras la distancia " hacia adelante " y " hacia atrás" entre las cuales se experimenta factorialmente el Factor.

Radio de la Estrella (a)

Es la distancia, en Unidades Experimentales, entre el Centro Experimental y los Experimentos en Estrella.

Principios de Diseño de Experimentos

Como se señaló en los subcapítulos anteriores el primer postulado del Diseño de Experimentos: definir el punto y sus alrededores que va a ser explorado.

El siguiente postulado es tan importante como el primero.

El área deberá experimentarse uniformemente; esto es, deberá darse igual oportunidad de manifestarse a todos los factores, sin privilegio para ninguno ni para alguno de sus niveles.

Ahora se verán con mayor claridad la ventaja de definir, con precisión , los niveles de cada factor. Se quiere pues tener tantos experimentos como sea necesario para que cada nivel de cada factor sea experimentado.

Esto es si existe un factor A, y éste tiene dos niveles que se han llamado +1 y - 1, o más simplemente (+) y (-). Deberán experimentarse estos dos niveles correspondiendo a

cada uno de los dos niveles de otro factor B. En otras palabras se han de planear estos cuatro experimentos u observaciones.

Obs	A	B
1.-	-	-
2.-	+	-
3.-	-	+
4.-	+	+

Tabla 1 Cuatro observaciones con 2 factores

Nótese que el nivel (-) de A se enfrenta tanto al (-) de B como al (+) del mismo. Otro tanto ocurre con el nivel (+) de A. Tenemos pues "diseñados" todos los experimentos necesarios para incluir todas las combinaciones de los niveles de los factores.

Los 4 experimentos (Tabla 1) son los cuatro vértices de un cuadrado de 2 unidades experimentales por lado. Estos 4 experimentos están equidistantes del Centro Experimental.

Obs	A	B	C
1.-	-	-	-
2.-	+	-	-
3.-	-	+	-
4.-	+	+	-
5.-	-	-	+
6.-	+	-	+
7.-	-	+	+
8.-	+	+	+

Tabla 2 Ocho observaciones con 3 factores.

A estos diseños completos se les llama Diseños Factoriales , y son, en mucho, los diseños experimentales más perfectos que se conocen.

El número total de Observaciones sera 2^p , siendo (p) el número de Factores. Fórmese la primera columna alternando de uno en uno los dos signos del primer factor. Continúese con la segunda columna, pero ahora alternando de $1 \times 2 = 2$ en dos los dos signos del segundo factor. Para el tercero alternando de $2 \times 2 = 4$ en 4 y así sucesivamente.

Por último se señalará la importancia de hacer varias observaciones a los diseños antes mencionados.

Por último se señalará la importancia de hacer varias observaciones a los diseños antes mencionados.

En cada columna aparecen tantos signos (+) como signos (-): 2^p (Diseño Balanceado).

Ninguna columna se parece a otra. Esta propiedad es extensiva a los productos vectoriales de las columnas entre sí (Diseño sin Confusiones).

Cualquier pareja de columnas tiene un Producto Interno igual a cero, luego tales parejas son ortogonales entre sí. (Diseño Ortogonal).

2.2.1 Diseño de Segundo Orden

El camino seguido en una investigación metódica es, más o menos el siguiente:

Localización de Factores significativos predictores: sea siguiendo diseños confundidos.

Investigación de los Factores anteriores hasta encontrar un buen modelo lineal:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_p x_p \quad (I)$$

p = número de factores (además del término constante).

Profundización del modelo lineal (I) a incluir las interacciones relevantes entre los factores.

Generalmente éstas son las de segundo orden:

$$y = \dots \text{ modelo lineal (I) } \dots$$

$$+ \sum b_{ij} x_i x_j \quad (\text{II})$$

$$1 < i \leq j < p$$

El modelo (I) es capaz de reflejar las contribuciones puramente aditivas a la Respuesta (y). En cambio, el modelo (II) refleja las más importantes curvaturas del espacio experimental. Curvaturas más importantes serán reflejadas por el Modelo Cuadrático Completo o de Segundo orden.:

$$y = \dots \text{ modelo lineal } + \dots \text{ modelo PX (II) } +$$

$$\sum b_{kk} X_k$$

$$k = 1 \dots p \quad (\text{III})$$

Nótese que el modelo cuadrático (III) podrá reflejar las interacciones de los factores consigno mismo esto es, la influencia de los factores en lo que dependen del nivel del propio factor. Esto significa el reflejar curvaturas completas sobre sí mismas de los Contornos de Respuesta.

Construcción de Diseños de Segundo Orden.

Es obvio que los diseños factoriales a dos niveles son importantes para reflejar factores cuadráticos. Si se intentara transformar una columna típica de un diseño factorial, formada por +1's y -1's, a la transformación cuadrática, se obtendría una columna de puros +1's, que claramente confunde con la columna del término constante.

Es por eso que se busca ahora un diseño que sea, desde luego, balanceado y ortogonal. Ahora se pide una cualidad más. La ecuación de regresión a derivar implicará un considerable esfuerzo de cálculo y experimentación. Ahora se desea que esa ecuación se comporte uniforme y consistentemente cuando sea sometida a procedimientos de optimización. Buena parte de estos consiste en rotaciones de los ejes coordinados. Si se quisiera, que la ecuación derivada mantenga su misma precisión a lo largo de esas rotaciones. Es la propiedad llamada Rotabilidad o más correctamente , girabilidad, siguiendo el término debido a (B. Bucay, 1972).

Además de las cualidades anteriores, es deseable que el diseño pudiera realizarse por etapas. Esta propiedad es importante para no experimentar una regresión no redituable en resultados.

2.3 El Diseño de Experimentos

2.3.1 Objetivo de la Investigación Tecnológica

Se distinguirán dos clases de investigación:

a) La investigación pura, cuyo objetivo es adquirir el conocimiento meramente científico.

Este saber Científico es metódicamente aislado y considerado en forma artificialmente pura.

b) La investigación tecnológica, cuyo objetivo es darle lo necesario al Saber Científico para que tenga un uso humano.

Eso " necesario " es conferirle :

Costeabilidad

Cantidad

En Tiempo

Seguridad

Armonía

Funcionamiento

Adaptabilidad

Con mucho esta segunda forma de Investigación es la más compleja y difícil. El Diseño Estadístico de Experimentos se creó precisamente para hacer frente a su alta complejidad.

Los objetivos de esa(s) Investigación(es) son 5 básicamente:

- 1.- Determinar variables significativas y su magnitud.
- 2.- Obtener una Superficie de Respuesta
- 3.- Encontrar máximos, mínimos, zonas estables o de catástrofe, o un compromiso entre todo ello.
- 4.- Conocer el mecanismo básico de un sistema.
- 5.- Buscar más preguntas que pueden hacerse en una Investigación.

Los Objetivos enlistados contienen algunos términos no definidos, que serán precisados ahora.

2.3.2 Factores y Respuestas

FACTOR: Es una característica de la condición experimental que puede variarse a voluntad e independientemente de las condiciones de otros factores.

RESPUESTA: Es el resultado numérico de una Observación, Prueba o Tratamiento.

NIVEL DE FACTOR: Son los varios valores de un Factor examinados en un experimento.

TRATAMIENTO: Conjunto de niveles de todos los Factores de una Prueba u Observación.

EXPERIMENTO: Conjunto de Pruebas u Observaciones que se ajustan a un Diseño.

EFEECTO DE UN FACTOR : Es el cambio en la Respuesta producido por un cambio en el nivel del Factor.

EFEECTO PRINCIPAL E INTERACCION : El Efecto Principal es el efecto de un Factor individualmente, para distinguirlo de la interacción que puede tener con un segundo factor.

Imaginemos una Respuesta cuyo valor es una Observación dada en n . Supongamos que hemos logrado establecer una relación entre n y los niveles de (p) factores X_1, X_2, \dots, X_p .

Formalmente podemos escribir:

$$n = f (X_1, X_2, \dots, X_p) \quad (2.1)$$

donde f es la expresión matemática de esa relación.

Lo que (2.1) quiere decir es que si se ajustan los niveles de los factores $X_j, j = 1, P$ y se mide la respuesta n cuando sólo esos factores actúan, se tendrá un valor que, en promedio, se acerca a lo que (2.1) calcula.

Véase la Fig. 4

Si se supone por conveniencia que sólo hay dos factores, X_1 , y X_2 , Tiempo de reacción (h) y concentración (%) de cierto reactivo. Cuando $X_1 = 5h$, y $X_2 = 30\%$, el rendimiento n de esta reacción resulta ser P , punto que se ha marcado en la Fig 1.

Si pudiéramos realizar una cantidad muy grande de Observaciones, podríamos reunir todos los Rendimientos medidos en una superficie como la dibujada en la Fig. #.1. Esta superficie recibe el nombre de Superficie de Respuesta y es, ni más ni menos, que el conjunto de todas las posibilidades de nuestro fenómeno dentro de los rangos de factores experimentales. Es esta Superficie la que mostrará todas las sutilezas de nuestro Costo de Fabricación, como se muestra adelante.

No es necesario enfatizar su importancia: conociendo la Superficie de Respuesta ya que se conoce prácticamente todo lo referente a nuestro fenómeno. Esta importancia se vería disminuida si para conocer una Superficie de Respuesta tuvieramos que hacer lo dicho antes: una infinidad de experimentos. Es precisamente el objetivo del Diseño Estadístico de Experimentos el hacer esto con un número limitado y mínimo de experimentos. En nuestro

caso, es derivar la Superficie de Respuesta con un número mínimo de cálculos del Costo de Fabricación.

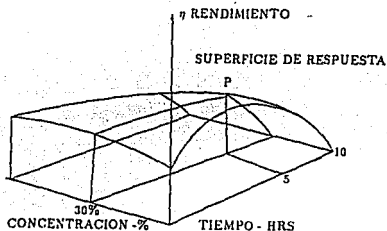


Fig 5 Superficie de Respuesta

Si las Superficies de Respuesta hubiera que representarlas como la Fig 5.1 serían limitadas en cuanto a su aplicación y utilidad. En primer lugar, dibujarlas con exactitud es difícil. En segundo lugar, estarían limitadas a 3 dimensiones. Sin embargo en la realidad se atacan problemas que muchas veces tienen más de 3 factores predictores.

La Fig 5 muestra una Superficie de Respuesta en dos factores X_1 y X_2 , con el plano de los factores perpendicular a la superficie del papel. Si se imaginara que en el nivel $n = 90$ se marca en la superficie de Respuesta el Contorno de igual valor y se proyectará sobre el plano de los ejes. Así se hará con los valores 90, 80, 70... El resultado es la Fig 5 donde

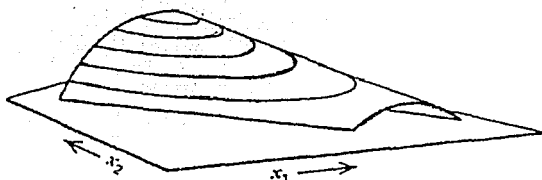


Fig. 6 El Trazo de los Contornos de Respuesta a partir de una superficie de Respuesta

Es obvio de la Fig 6 que esta representación ha ganado en claridad , precisión y sencillez. Es así como se pueden representar Superficies de Respuestas de cualquier dimensionalidad.

2.4 La Experimentación Clásica

Se entiende por Experimentación Clásica aquélla en que variamos un factor a la vez, manteniendo todos los demás fijos o a niveles constantes. Que esta forma de operar puede llevar a graves errores que se muestran en la Fig. 7

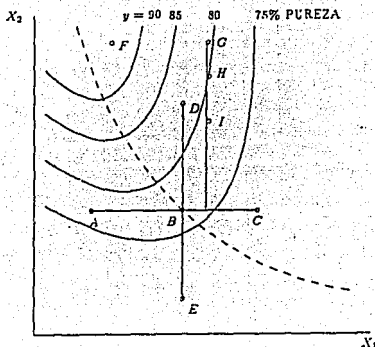


Fig. 7 Representación de varios problemas originados por la experimentación de un factor a la vez.

2.5 Localización de Factores Predictores.

Si decidieramos iniciar la investigación en el punto A, esto es, a cierto niveles de X_1 y X_2 dados por sus respectivas coordenadas. Se Obtendría una respuesta de 78 %, por ser este el contorno de Respuesta donde se apoya el punto A.

Ahora si se inicia la "investigación" variando X_1 y manteniendo constante X_2 , en el nivel en que experimentamos el punto A. En B, se volverá a hacer una medición de la pureza.

Ahora si se inicia la "investigación" variando X_1 y manteniendo constante X_2 , en el nivel en que experimentamos el punto A. En B, se volverá a hacer una medición de la pureza. Se obtiene nuevamente 78%. Lo que llevaría a la conclusión errónea de que X_1 no tiene influencia en la Pureza.

Si ahora partiendo de B fijamos a X_1 y movemos a X_2 , se tendría la agradable sorpresa de obtener una pureza del 82% en C. Lo cual nos llevaría a pensar que sólo X_2 es determinante de la Pureza. Nótese que de haber probado a X_2 en G,H,I, obteniendo 81% de Pureza, se tendría ahora la impresión de que tampoco X_2 tiene influencia importante.

Otra es la situación si se probarán los puntos H,E,D y A. Detectaríamos Purezas de 82%, 97%, 78% y 78%, que ya reflejan el panorama global.

Precisamente el objetivo del Diseño Estadístico de Experimentos es saber seleccionar esos puntos experimentales para censar lo esencial del fenómeno.

Un Factor para serlo en forma eficiente debe reunir las características siguientes:

1.- El poder ajustar su nivel, dentro de cierto rango, con precisión y exactitud.

2.- El poder ajustar su nivel independientemente del nivel de otros factores. Esto es, que en el Diseño Experimental los niveles del factor no estén correlacionados con los niveles de otros factores.

Deberá influir sobre la Respuesta en un grado suficiente como para ser detectada esa influencia.

La característica (2) es muy importante y no pocas veces olvidada. Dos factores cuyos niveles están correlacionados pueden significar que se trata de un solo factor con dos nombres distintos. Esta correlación es la causa fundamental de muchos errores en los cálculos subsiguientes.

La mejor manera de detectar esta correlación es calcular el coeficiente de correlación entre los valores del primer factor X_{i1} y los del segundo X_{i2} :

$$r_{X_1 X_2} = \frac{((X_{i1} X_{i2} - X_{i1} X_{i2}) / n) / ((X_{i1} X_{i1} - X_{i1}) / n) \cdot ((X_{i2} X_{i2} - X_{i2}) / n)}{1/2} \quad (2.2)$$

donde todas las sumatorias son para $i = 1, n$ (el número total de datos).

Otro problema relevante a la selección de factores es el de incluir todos o al menos, los más importantes, factores relevantes a un fenómeno. Esto no es sencillo especialmente cuando comenzamos a estudiar un fenómeno, y nuestro conocimiento del mismo es limitado.

Ejemplo:

Se planean cuatro experimentos en dos factores descritos a continuación:

	X1	X2
	Tiempo H	Temperatura °C
	2	50°
	2	60°
	4	50°
	4	60°

- a) Encontrar la correlación que hay entre los niveles de X1 y de los de X2.
 b) Si el tercer experimento se cambia por otro con X1=2h y X2 = 50°, Encontrar la correlación entre los dos factores.

$$a) \quad r = [660 - (12)(220)/4] / \{ [40 - (12)^2 / 4] * [12200 - (220)^2 / 4] \}^{1/2}$$

$$r = 0$$

- b) Si ahora se utilizan las parejas (2,50), (2,60), (2,50) y (4,60):

$$r = [560 - (10)(220)/4] / [[28 - (10)^2 / 4] * [12200 - (220)^2 / 4]]^{1/2}$$

$$r = 0.5774$$

2.6 La Esencia del Diseño Estadístico de Experimentos.

2.6.1 Definiciones Fundamentales

En la Fig. 8 se tienen representados un conjunto de cuatro contornos de respuestas de cierto fenómeno que creemos dependientes de dos factores. La Temperatura y el Tiempo de Reacción. Los cuatro contornos unen combinaciones de Temperatura y Tiempo que dan lugar a un producto de 90%, 80%, 70% y 60% de Pureza.

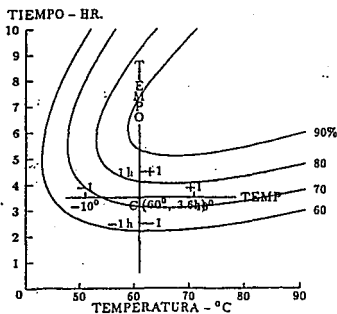


Fig. 8 La esencia del Diseño Estadístico de Experimentos.

Para ejemplificar la manera de utilización del Diseño de Experimentos se ha presentado la Fig 8 Es este Espacio Experimental el que se desea explorar con Diseño de Experimentos.

Tal cual se hará cuando queramos definir un espacio n-dimensional, se comenzará por fijar un origen: (c) en la Fig 8. A esto lo se le llamará Centro Experimental.

El Centro Experimental es causal al principio de nuestra investigación: puede ser un conjunto de condiciones conocidas, no necesariamente las mejores. En la Fig 8, para ejemplificar , se ha seleccionado el doblete (61, 3.6h), que produce un Producto 76% puro.

Tras de fijar nuestro Centro Experimental, se habrá de decidir sobre las Unidades Experimentales a usar para cada Factor. Estas Unidades no son las Unidades de Medición de tales Factores. En cambio serán definidas como la variación hacia arriba y hacia abajo de cada factor que se decida explorar. En la Fig 8 se han marcado 10 grados centígrados para la temperatura y 1h para el tiempo; luego se varía desde 4.6h hasta 2.6h. Sobre cómo mejor elegir estos rangos se tendrán oportunidad de comentar más posteriormente. Por el Centro (c) hacemos pasar rectas paralelas a los ejes antiguos. El nuevo conjunto se muestra en la Fig. 8 Hay una observación muy importante a esta figura. Las coordenadas +1 y -1 correspondientes a ambos factores se han marcado a igual escala, respectivamente de lo que simbolicen en unidades reales de medida. En otras palabras se ha definido Un Nivel Alto y Un Nivel Bajo de cada Factor, el cual significará desde luego, cosas distintas en cada factor.

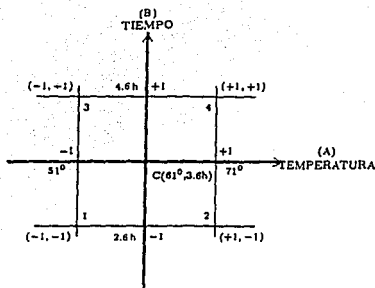


Fig. 9 Los elementos fundamentales del Diseño de Experimentos.

2.6.2 Sistematización de la Investigación.

Lo dicho en la sección (2.6.1) se va a hacer metódicamente ahora y extensible a más de dos

factores. Obsérvese la Tabla 3

Designación del Factor	A	B	C	...
Variable	X ₁	X ₂	X ₃	...
Nombre	TEMPERATURA	TIEMPO
Unidad Real Medición	°C	h		
Centro Experimental	61	3.6		
Unidad Experimental	10	1		
Nivel Superior (+1)	71	4.6		
Nivel Inferior (-1)	51	2.6		
Límite superior	?	?		
Límite inferior	?	?		
Referencia	-	-		

Tabla 3 Sistematización de la Investigación.

Nótese que cada Factor se distingue por una designación (letra mayúscula), una variable (X_i) y un nombre. esta triple distinción tiene importantes razones como pronto se verán.

El Centro Experimental y la Unidad Experimental se determinan como queda dicho y de ello fácilmente se fijan los Niveles Superior (+1) e Inferior (-1). Téngase en cuenta las siguientes fórmulas de transformación.

$$X_i = (X_i - CE_i) / UE_i \quad (2.3)$$

$$CE_i = (NS_i + NI_i) / 2 \quad (2.4)$$

$$UE_i = (NS_i - NI_i) / 2 \quad (2.5)$$

i = Factor A,B,...

x = Nivel del factor en unidades normalizadas.

X = Nivel del factor en unidades reales.

CE = Centro Experimental, en unidades reales.

UE = Unidad Experimental, en unidades reales.

NS = Nivel Superior en unidades reales.

NI = Nivel Inferior en unidades reales.

El Límite superior y el Inferior , se refieren a los valores extremos que tecnológicamente pueden asumir los Factores sin que desaparezca el fenómeno o se haga catastrófico. Generalmente son desconocidos y un gran progreso en toda investigación, es conocerlos en forma precisa.

La Línea de Referencia registra donde se encuentran detalles sobre cada factor. Registrar cada factor a este nivel de detalles es una labor que siempre reditúa tarde o temprano.

2.6.3 Principios de Diseños de Experimentos

Al volver a la Fig 8.

Se ha aprendido el primer postulado de Diseño de Experimentos: definir el punto y sus alrededores que va a ser explorado durante la investigación.

El siguiente postulado es tan importante como este primero.

El área deberá experimentarse uniformemente; esto es, deberá darse igual oportunidad de manifestarse a todos los factores, sin privilegio para ninguno ni para alguno de sus niveles.

Ahora se verán con mayor claridad la ventaja de definir, con precisión, los niveles de cada factor. Se puede tener tantos experimentos como sea necesario para que cada nivel de cada factor sea experimentado.

Esto es, el factor A tiene dos niveles que se han llamado +1 y -1, o más simplemente (+) y (-). Deberán experimentarse estos dos niveles correspondientes a cada uno de los dos niveles del factor B. En otra palabra se ha de planear estos cuatro experimentos u observaciones:

OBS	A	B
1.-	-	-
2.-	+	-
3.-	-	+
4.-	+	+

Tabla 4 Cuatro observaciones con 2 Factores.

Nótese que el nivel o límite inferior (-) de A se enfrenta tanto al (-) de B como al (+) del mismo. otro tanto ocurre con el nivel o límite superior (+) de A. Se tiene pues "diseñados" todos los experimentos necesarios para incluir todas las combinaciones de los niveles de los factores.

Lo que esto significa geoméricamente se puede ver en la Fig 8. Los 4 experimentos son los cuatro vértices de un cuadrado de 2 unidades experimentales por lado. Estos 4 experimentos están equidistantes del Centro Experimental.

OBS	A	B	C
1.-	-	-	-
2.-	+	-	-
3.-	-	+	-
4.-	+	+	-
5.-	-	-	+
6.-	+	-	+
7.-	-	+	+
8.-	+	+	+

Tabla 5 Ocho observaciones con 3 Factores.

A estos diseños completos se les llama Diseños Factoriales, y son, en mucho, los diseños experimentales más perfectos que se conocen.

El número total de Observaciones será 2^P , siendo (P) el número de Factores. Fórmese la primera columna alternando de uno en uno los signos del primer factor. Continúese con la segunda columna, pero ahora alternando de $1 \times 2 = 2$ en dos los dos signos del segundo factor. Para el tercer alternaremos de $2 \times 2 = 4$ en 4 y así sucesivamente.

El número total de Observaciones será 2^P , siendo (P) el número de Factores. Fórmese la primera columna alternando de uno en uno los signos del primer factor. Continúese con la segunda columna, pero ahora alternando de $1 \times 2 = 2$ en dos los dos signos del segundo factor. Para el tercer alternaremos de $2 \times 2 = 4$ en 4 y así sucesivamente.

Un diseño para cuatro factores sería:

OBS	A	B	C	D
1.-	-	-	-	-
2.-	+	-	-	-
3.-	-	+	-	-
4.-	+	+	-	-
5.-	-	-	+	-
6.-	+	-	+	-
7.-	-	+	+	-
8.-	+	+	+	-
9.-	-	-	-	+
10.-	+	-	-	+
11.-	-	+	-	+
12.-	+	+	-	+
13.-	-	-	+	+
14.-	+	-	+	+
15.-	-	+	+	+
16.-	+	+	+	+

Tabla 6 Dieciseis observaciones con 4 Factores.

Para cerrar esta importante sección presentaremos varias observaciones a los diseños anteriores, cuya importancia pronto apreciaremos:

a.- En cada columna aparecen tantos signos (+) como signos (-) .
(Diseño Balanceado).

b.- Ninguna columna se parece a otra. Esta propiedad es extensiva a los productos vectoriales de las columnas entre sí.

c.- Cualquier pareja de columnas tiene un Producto Interno igual a cero, luego tales parejas son ortogonales entre sí. (Diseño Ortogonal).

2.6.4 Procedimiento de Cálculo.

El tener los niveles de los Factores codificados o normalizados entre (-1) y (+1) nos permite grandes simplificaciones en los cálculos y substancial aumento en su precisión, ambas cualidades que pronto se podrá apreciar.

Si se supone haber realizado los 4 experimentos u observaciones de un diseño 2^2 .

EXP	A	B	Y
1.-	-	-	y1
2.-	+	-	y2
3.-	-	+	y3
4.-	+	+	y4

Tabla 7 Cuatro Experimentos con 2 Factores.

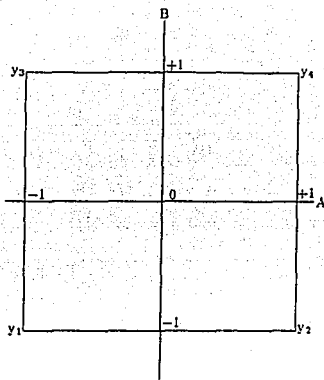


Fig 9 Procedimiento de cálculo de Diseños Factoriales.

Es importante definir dos conceptos básicos:

Efecto de Factor, es la diferencia observada en la Respuesta al pasar dicho Factor de su nivel (-) a su nivel (+).

Interacción de dos Factores, es el Efecto de uno de los Factores debido al nivel del otro factor.

La primera definición es un tanto obvia, no así la segunda. Si se supone el caso de estudiar dos Factores : A y B. Uno y otro tienen cierta influencia sobre la respuesta, la cual cae bajo la primera definición. Además de esta influencia individual, por el hecho de actuar juntos, presentarán otra influencia la cual es dependiente del nivel de uno de los factores. Es exactamente equivalente hablar de la interacción AB que de la interacción BA.

juntos, presentarán otra influencia la cual es dependiente del nivel de uno de los factores. Es exactamente equivalente hablar de la interacción AB que de la interacción BA.

Un ejemplo físico de interacción puede ser la acción de un catalizador y la temperatura. A una temperatura más alta, el catalizador se ionizaría más, teniendo una acción adicionalmente enérgica.

Este concepto de interacción es debido al Diseño de Experimentos y constituye una de las más brillantes realizaciones. Nótese que se puede extender más allá de dos Factores. Tres factores A,B,C, podrían presentar una interacción ABC que sería el efecto de la interacción AB debido al nivel del factor C.

A la vista de la Fig 9 si se preguntará cuál es el efecto del factor A: Ef (A). Por definición es:

$$\text{Ef (A)} = Y_4 - Y_3$$

(2.6)

pero igualmente se pudo haber calculado como :

$$\text{E(A)} = Y_2 - Y_1$$

(2.7)

nótese que en ambas fórmulas se están contrastando dos respuestas permaneciendo el factor B constante en ambos casos.

En general Ef (A) calculado en la primera fórmula será diferente del calculado en la segunda fórmula. Esta diferencia será debida a la posible interacción entre A y B, que se van a llamar Ef (AB). Este efecto de AB es positivo en la pareja de la primera fórmula, pues B esta a su nivel o límite inferior (+), y negativo en la segunda pareja, pues B esta a su nivel o límite inferior (-). Luego si se suma el Ef(A) calculado en la primera fórmula con el Ef(A) calculado en la segunda fórmula, vamos a tener DOS VECES EL EFECTO DE (A) Y A NULIFICAR EL EFECTO DE LA INTERACCION (AB).

$$Ef (A) = (-Y_1 + Y_2 - Y_3 + Y_4) / 2$$

(2.8)

Pero hay más. Si en lugar de sumar (2.6) y (2.7) restamos esta última pareja de la primera, ahora se tendrán DOS VECES EL EFECTO DE LA INTERACCION (AB) Y SE NULIFICARÁ EL EFECTO DE (A) MISMA. ESTO ES:

$$Ef (AB) = (Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4) / 2 \quad (2.9)$$

Razonando en forma parecida para (B), esto es, considerando las parejas (Y₄- Y₂) y (Y₃ - Y₁), donde (A) permanece constante por parejas, se puede derivar:

$$(2.10) \quad \text{Ef(B)} = (-Y_1 - Y_2 + Y_3 + Y_4) / 2$$

y para Ef (BA) se obtendrá exactamente lo mismo que en (2.9)

Se han derivado tres fórmulas que nos permiten calcular los Efectos de los dos Factores en todas sus formas posibles.

Hay una observación muy importante (2.8) a (2.10) calculan efectos. Estos efectos representan el doble de la acción unitaria requerida por un coeficiente algebraico. esto es debido a que el Efecto incluye la influencia desde (+) hasta (-) (viz. $+1 - (-1) = 2$) . Por consiguiente.

$$\text{ba} = (-Y_1 + Y_2 - Y_3 + Y_4) / 4 \quad (2.11)$$

$$\text{bb} = (-Y_1 - Y_2 + Y_3 + Y_4) / 4 \quad (2.12)$$

$$\text{b ab} = (Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4) / 4 \quad (2.13)$$

para poder escribir :

$$y = b_0 + b_1(A) + b_2(B) + b_3(AB) \quad (2.14)$$

A continuación se presenta la manera de completar la tabla incluyendo una tercera columna para (AB), esto es, con el producto algebraico de los signos de los dos factores.

EXP	A	B	AB	Y
1.-	-	-	+	y1
2.-	+	-	-	y2
3.-	-	+	-	y3
4.-	-	-	-	y4

Tabla 8 Cuatro experimentos con 2 Factores y su producto.

Las fórmulas (2.11 a 2.14) sirven para calcular los Coeficientes de Regresión , y no son más que la aplicación de los signos del Diseño de cada factor a la respuesta Yi.

Esta observación permite extendernos a cualquier número de factores.

CAPITULO 3

DISEÑOS AVANZADOS

3.1 Mejora de los Diseños Factoriales.

El nombre de esta sección puede parecer contradictorio a lo afirmado anteriormente en el sentido de que los Diseños Factoriales "... son, en mucho, los diseños experimentales más perfectos que se conocen". Esto es cierto excepto por una característica de mucha importancia práctica: los diseños factoriales pueden ser demasiado grandes y onerosos.

En esta sección se hablará si tiene interés para nosotros interacciones como ADE, ACDF, ABDEF, o ABCDEF? ¿Qué sentido físico se va a darle a una interacción de quinto grado?. En todos estos aspectos se ha de eficientar. Si se conserva una mirada en el carácter tecnológico de nuestra experimentación y en hacer lo indispensable a ese objetivo.

Supongamos un diseño relativamente pequeño para facilitar nuestra exposición. Un diseño factorial completo en 3 factores.

Este diseño, según sabemos es capaz de contrastar tres iteraciones dobles (AB, AC, BC) y una triple (ABC). Si se supone que esta última no existe físicamente y que tampoco interesa medirla.

La medición experimental de (ABC) se hará aplicando una columna de signos formados por el producto algebraico de los signos A, de B y de C en cada Observación, esto es:

OBS	A	B	C	ABC
1.-	-	-	-	-
2.-	+	-	-	+
3.-	-	+	-	+
4.-	+	+	-	-
5.-	-	-	+	+
6.-	+	-	+	-
7.-	-	+	+	-
8.-	+	+	+	+

Tabla 9 Ocho observaciones con 3 Factores y su producto.

Como se ha decidido que esta intersección triple no tiene realidad física. SE PUEDE USAR SU COMBINACION DE SIGNOS PARA MEDIR OTRAS VARIABLES.. Por ejemplo, si se quisiera probar una variable (D) que bien puede ser tan importante como A, B, ó C. En otras palabras, escribiremos simbólicamente:

$$ABC = D \quad (3.1)$$

Físicamente se movería el cuarto factor (D) según los niveles dados en la tabla 9. Esto es en la primera observación estaría a su nivel bajo, en la segunda al nivel alto etc. Al terminar la experimentación, la influencia de (D) se calcularía simplemente como:

$$bd = (-Y_1 + Y_2 + Y_3 - Y_4 + Y_5 - Y_6 - Y_7 + Y_8) / 8 \quad (3.2)$$

Aquí se puede caer preocupados por un hecho. Se han medido cuatro factores; esto hubiera requerido de $2^4 = 16$ experimentos y realmente sólo se hicieron 8 ¿Donde está la trampa de esto?.

Si se piensa lo hecho y lo obtenido con más cuidado.

En primer lugar, la misma definición implícita de (3.1) nos dice que ABC y (D) están CONFUNDIDOS; esto es, ambos están medidos por el mismo número. Tal vez no preocupa grandemente pues se ha previsto que $b(abc) = 0$ aproximadamente.

Al estudiar la determinación de (AB) y (CD). Su cálculo se haría aplicando los signos siguientes:

OBS	A	B	C	D	AB	CD
1.-	-	-	-	-	+	+
2.-	+	-	-	+	-	-
3.-	-	+	-	+	-	-
4.-	+	+	-	-	+	+
5.-	-	-	+	+	+	+
6.-	+	-	+	-	-	-
7.-	-	+	+	-	-	-
8.-	+	+	+	+	+	+

Tabla 10 Ocho observaciones con 4 factores y el producto de los dos primeros y de los dos últimos.

La columna (D) es, por definición (ABC); la columna (AB) es el producto de la columna (A) y (B); y la columna (CD) es el producto de la columna (C) y (D). Y aquí se comenzará a ver claro. LA COLUMNA AB ES IDENTICA A LA COLUMNA CD. Ya se sabe lo que esto significa. Que $b(ab) = b(cd)$, o sea que estarán medidos por el mismo número. Estarán, para emplear un término ya introducido antes. esto es CONFUNDIDO.

Ahora al ser conscientes del precio que estamos pagando. Se está confundiendo unos efectos con otros. La preocupación ahora es distinguir cuáles son cuáles.

Un camino para resolver esto, es lo explicado antes: Se pueden preparar tablas como la 3.1 para todas las interacciones posibles o importantes. Lo largo y expuesto a error de este camino es su mayor inconveniente. Es necesario ver otro método.

Si se regresa a la relación simbólica 3.1 que define nuestra confusión y que desde ahora será llamada Relación de Contraste. Si se multiplican ambos miembros por (D), el segundo miembro:

$$ABCD = D.D. \quad (3.3)$$

Si se hace $D.D = D^2$ por $D^2 = 1$. esta relación es un tanto obvia, pues los cuadrados de cualquier columna de un diseño factorial, por estar formados de +1 y -1 dan siempre +1. Luego;

$$ABCD = 1$$

(3.4)

Si se regresa a la fórmula anterior y se calcula ABCD, multiplicando algebraicamente las cuatro columnas correspondientes, se obtendrá efectivamente una columna de unos. Tenemos pues un método de hacer estas operaciones mucho más sencillas.

Simples multiplicaciones nos llevan al resultado con mucho menos posibilidades de error. Si se propone calcular todas las confusiones de los factores principales y de sus interacciones dobles. La tabla resultante recibe el nombre de TABLA DE ALIASES:

Factor o Interacción	ALIASES
A	BCD
B	ACD
C	ABD
D	ABC
AB	CD
AC	BD
AD	BC

Tabla 11 Todas las interacciones dobles posibles.

3.2 Modelos y Diseños de Segundo Orden

El camino seguido en una investigación metódica es, más o menos el siguiente:

a.- Localización de Factores significativamente predictores: sea siguiendo diseños confundidos.

b.- Investigación de los Factores anteriores hasta encontrar un buen modelo lineal.

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p. \quad (I)$$

p = número de factores.

c.- profundización del modelo lineal I a incluir las interacciones relevantes entre los factores. Generalmente estas son las de segundo orden:

$$y = \dots \text{modelo lineal} \dots (I) \dots \\ + \sum b_i b_j X_i X_j \quad (II)$$

donde $1 < i \leq j < p$

El modelo (I) es capaz de reflejar las contribuciones puramente aditivas a la respuesta (y). En cambio el modelo (II) refleja las más importantes curvaturas del espacio

experimental. Curvaturas más importantes serán reflejadas por el Modelo Cuadrático Completo o de Segundo Orden:

$$y = \dots \text{ modelo lineal (I)} \dots \\ + \dots \text{ modelo PX (II)} \dots \\ + \sum b_{kk} X_k$$

donde $k = 1 \dots p$

(III)

Nótese que el modelo cuadrático (III) podrá reflejar las interacciones de los factores consigo mismo esto es, la influencia de los factores en lo que dependen del nivel del propio factor. Esto significa el reflejar curvaturas completas sobre sí mismas de los contornos de Respuesta. Luego (III) puede representar cónica multidimensionales.

En el caso estos Diseños son una finura casi obligada, pues el costo de Fabricación es una respuesta de la máxima complejidad en sus Factores predictores.

Construcción de diseños de Segundo orden

Es obvio que los diseños factoriales a dos niveles son importantes para reflejar factores cuadráticos. si intentamos transformar una columna típica de un diseño factorial, formada por +1's y -1's , a la transformación cuadrática, se obtendrá una columna de puros +1's , que claramente confunde con la columna del término constante.

Aunque hay varias posibilidades de diseños para la medición de transformaciones cuadráticas, se escoge la que más metódica y eficiente es. Es debida a Box desde 1957.

Si se busca un diseño que sea, desde luego, balanceado y ortogonal. ahora se pide una cualidad más. La ecuación de regresión a derivar implicará un considerable esfuerzo de cálculo y experimentación. Se desea ahora que esa ecuación se comporte uniforme y consistentemente cuando sea sometida a procedimientos de optimización. Buena parte de éstos consiste en rotaciones de los ejes coordenados. Si se quisiera, que la ecuación derivada mantenga su misma precisión a lo largo de esas rotaciones. es la propiedad llamada ROTABILIDAD O MAS CORRECTAMENTE, GIRABILIDAD, siguiendo el término a (B: Bucay, 1972).

Además de las cualidades anteriores , es deseable que el diseño pudiera realizarse por etapas. Esta propiedad es importante para no experimentar una región no redituable en resultados.

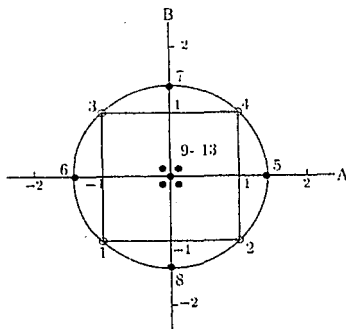


Fig 10 El diseño de Segundo orden para dos factores A y B.

Se tiene representado un conocido diseño factorial, en los experimentos marcados 1, 2, 3 y 4. Ahora para la medición precisa de los elementos cuadráticos, se añadirán los experimentos 5, 6, 7 y 8, sobre los ejes y a una distancia del centro experimental (u origen) proporcional a la esfera que envuelve al factorial. en el caso, esta distancia es exactamente el radio de dicha esfera raíz de dos.

Los experimentos 1 al 8 cubren perfecta y uniformemente la circunferencia al derredor del origen con un radio igual a raíz de dos. Se tiene pues ahora un exceso de experimentos periféricos, frente del centro experimental que se ha empobrecido de experimentación. esto causará un aumento entre ciertas correlaciones entre los coeficientes de regresión que ciertamente son indeseables.

En prevención de lo anterior, se añaden un número determinado de experimentos centrales. en el caso se requieren nada menos que 5 experimentos centrales los marcados en la Fig 10, con 9, 10, 11, 12, y 13. Estos experimentos centrales permiten, adicionalmente, calcular el error experimental.

La Tabla 11 proporciona las especificaciones de experimentos girables compuestos hasta por 7 factores. Rara vez se usan más factores dado el número excesivo de experimentos exigidos por estos diseños. entonces es más redituable reelegir factores para seleccionar los verdaderamente importantes para el fenómeno en estudio.

En general el número de experimentos requerido es

$$N_{exp} = 2 + 2p + Exo$$

(3.5)

p , número de factores

donde Exo es el número de experimentos centrales.

3.3 Regresión Múltiple

3.3.1 Regresión Múltiple por Etapas.

El programa utilizado en esta tesis maneja un conjunto de observaciones en cierto número de Factores Predictores y sus transformaciones, a voluntad del usuario.

El proceso de Regresión comienza con la hipótesis de que NINGUNO de los Factores elegidos tiene influencia en el fenómeno estudiado. Esta hipótesis se imprime como REGRESION SOBRE EL PROMEDIO, y tiene desde luego un cero por ciento de explicación. Se calcula el Error de pronóstico para fines de diagnóstico. El modelo implícito es :

$$\bar{y} = \hat{y} \quad (3.6)$$

A continuación el programa examina todas las variables involucradas y sus transformaciones, en busca de la que pronostique más, dentro del rango de significancias F que se le ha fijado a la Regresión.

La variable que cumple con esas condiciones (i) es introducida a un modelo:

$$\hat{y} = b_0 + b_i x_i \quad (3.7)$$

De este modelo, se calculan e imprimen los siguientes parámetros estadísticos:

F- Entrar: nivel de significancia de la variable (i) entrante.

%- explicación: % de explicación del modelo (3.7).

Término Constante: b_0 en (3.7).

Determinante : Valor del determinante de la matriz precisión.

Grados de Libertad: Grados de confianza del modelo (3.7).

Coefficiente de Regresión: (b_i) .

Suplementariamente: desviación estándar de (b_i) .

estadística (t de Student).

valor normalizado de (b_i) .

valor máximo que puede asumir.

Todo lo anterior permite un diagnóstico completo del grado de credibilidad del modelo propuesto.

El Programa continúa buscando una segunda variable que cumpla con las exigencias anotadas. De encontrarla repite lo anterior y lo imprime como Etapa 2.

Después de la Etapa 2, añade un chequeo más: revisa las variables ya en la regresión para ver si éstas permanecen significativas, dentro de las exigencias propuestas.

De esta manera, se llega a un modelo final PARSIMONIOSO, esto es, con el máximo de significancia y explicabilidad, y el mínimo de variables involucradas.

El programa produce, finalmente, un análisis residual que apoya y confirma el diagnóstico realizado con los parámetros mencionados.

Superficie de Respuesta.

La superficie de respuesta de una función matemática es el lugar geométrico de todos los puntos que cumplen con la función en cuestión:

$$\hat{y} = f (X_1 , X_2 , \dots X_t) \quad (3.8)$$

siendo X_t el vector (transpuesto) de todas las transformaciones que se quiera de X_1, X_2, \dots etc.

Esta superficie de respuesta tiene todas las opciones de dicha función, y por tal reviste la máxima importancia para fines de desarrollo tecnológico.

Su representación gráfica para más de dos variables, desgraciadamente, es muy compleja o aún imposible. La solución a esto es dibujar NO LA SUPERFICIE, sino una SECCION de la misma en donde todas las variables, excepto dos (de elección por el usuario), se hagan constantes, en valores de algún interés.

Por ejemplo, si se supone que el fenómeno en tres variables está representado por la función:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1 + b_{22} X_2 + b_{33} X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3$$

(3.9)

Se selecciona como variables de nuestro interés (X_1) y (X_2).

Se hace $X_3 = \text{cte.} = k$, con lo cual el modelo (3.9) reduce a:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1 + b_{22} X_2 + b_{12} X_1 X_2 + (b_{13} X_1 + b_{23} X_2) X_3 + C$$

(3.10)

donde $C = b_3 X_3 + b_{33} X_3$, un valor constante igual a:

$$C = b_3 X_3 + b_{33} X_3$$

Se puede ahora de (3.10), despejar a X_1 :

$$b_{11} X_1 + X_1 (b_1 + b_{12} X_2 + b_{13} K) + (b_0 + b_2 X_2 + b_{22} X_2 + b_{23} X_2 K + C - Y) = 0$$

(3.11)

Que en forma más simple se puede escribir:

$$A X_1 + B X_1 + M = 0$$

siendo:

$$A = b_{11}$$

$$B = b_1 + b_{12} X_2 + b_{13} K$$

$$M = b_0 + b_2 X_2 + b_{22} X_2 + b_{23} X_2 K + C - Y$$

(3.12)

Si además de (K) se fija un valor a Y y a X_2 , se puede calcular A, B , y M . Con estos valores en (3.12) se calcularán los correspondientes valores de X_1 :

$$X_1 = \frac{(-B \pm \sqrt{B^2 - 4AM})}{2A} \quad (3.13)$$

Los cuales nos permiten marcar dos puntos en el espacio bidimensional, correspondiente a la respuesta Y supuesta en (3.12).

En esta forma se puede calcular todo el CONTORNO DE RESPUESTA para el valor supuesto Y y así calcular varias gráficas para varios valores de Y.

Este conjunto de gráficas es lo que Dibuja el programa CO090 y que refleja de una manera clara TODAS LAS SUTILEZAS de la función estudiada en (3.9).

3.3.2 Aplicación del Programa CO090

La aplicación de este programa se llevó a cabo en dos etapas. En la primera se utilizaron las primeras 8 observaciones realizadas, tomando en cuenta a las siguientes 5 variables:

X_1 = inversión

X_2 = \$ Aceite

X_3 = Días Operativos

$X_4 = \% \text{ Vapor}$

$X_5 = \text{Costo Total Fabricación}$

Los datos de las 8 observaciones fueron tomados del Capítulo 7 Tabla 13. Estos datos fueron capturados al programa y como se explicó en los subcapítulos anteriores, éste realiza todos los cálculos necesarios hasta llegar a la máxima exactitud posible, esto gracias a la regresión múltiple antes descrita.

Para fines prácticos los resultados de mayor interpretación para el lector son los dibujados en las Superficies de Respuesta. La manera en que se realizan estos dibujos se explicaron en el subcapítulo anterior.

Con fines prácticos es necesario saber interpretar estos contornos de las superficies de Respuesta. La forma es la siguiente:

Es necesario analizar la inclinación que tienen los contornos de la superficie de respuesta. Si estas secciones dibujadas por el programa se encuentran con mayor perpendicularidad con respecto a uno de los ejes, la variable graficada en ese eje tendrá mayor importancia en relación a la variable graficada en el otro eje opuesto. Esto es, mientras la sección de la superficie de respuesta se encuentre más paralela con respecto a alguno de los ejes, la variable graficada en ese eje tiene menor importancia en el Costo de Fabricación que la variable graficada en el otro eje.

De esta manera después de realizar todas las combinaciones posibles entre las variables a estudiar, se pueden obtener conclusiones sobre la importancia que tiene cada variable en el Costo de Fabricación. Siendo este el tema de la presente tesis.

La Etapa 2 del programa se realiza analizando las 16 observaciones hechas, los datos fueron tomados del Capítulo 4 (Tabla 13)

Los contornos de superficie de respuesta dibujados en esta etapa tienen mayor relevancia, ya que con la máxima claridad posible los contornos son más extremistas y permiten con mayor facilidad identificar cual es el orden de importancia de las variables estudiadas, esto es en que orden las variables afectan más o menos al Costo de Fabricación del aceite.

En el apéndice se presentará la corrida del programa.

Sólo resta presentar la interpretación de esta corrida, que sera una parte de las conclusiones expuestas en esta tesis.

CAPITULO 4

APLICACION DEL METODO ESTADISTICO EXPERIMENTAL

4.1 Variables de Estudio

Para poder aplicar el Método estadístico de Experimentos es necesario definir primero las variables a estudiar.

Es por esto que se eligen cuatro variables, que son las que se consideran que darán mayor información sobre la variabilidad que existe en el Costo de Fabricación. El número de variables puede ser mayor. Aquí limitamos a 4 para claridad de la exposición.

A continuación se mencionan las cuatro variables a estudiar:

- a.- Inversión
- b.- Costo de la Materia Prima
- c.- Número de Días Operativos por Año Calendario.
- d.- Costo del Vapor (dentro de los servicios auxiliares).

Estas variables cumplen con las condiciones expuestas en el Capítulo 5.2 párrafo 1º.

Rango de Estudio

El segundo paso necesario para aplicar el Método Estadístico de Experimentos es definir el rango dentro del cual se van a hacer variar las cuatro variables señaladas .

- a.- El rango de la Inversión va de N\$ 12,000,000 a N\$ 20,000,000
- b.- El rango del Costo de la Materia Prima será de N\$ 3.0 a N\$ 4.0
- c.- Para los Días Operativos por Año Calendario el rango será de 250 días a 300 días.
- d.- El rango del Costo del Vapor estará entre N\$ 1.125 a N\$ 2.0

Los rangos elegidos anteriormente se basan en las reglas expuestas en el Capítulo 5.7 párrafo 3°.

Teniendo elegidas las variables a estudiar y definidos los rangos de cada una de ellas es posible continuar con el cálculo del MEDE (Método Estadístico de Experimentos).

4.2 Método de Cálculo

Punto de Partida

Definido el Rango Experimental de cada Factor, esto es, los dos valores extremos entre los cuales se puede o se quiere experimentar el factor. Estos serán los extremos del Diseño en Estrella.

Se llamarán:

NEmax, Nivel Máximo de la Estrella.

NE min, Nivel Mínimo de la Estrella.

Por lo tanto para la Inversión:

NEmax = 20,000,000

NE min = 12,000,000

Para el Costo de la Materia Prima:

NEmax = 4

NEmin = 3

Para el Número de Días operativos Calendario

NEmax = 265

NEmin = 250

Para el Costo del Vapor:

NEmax = 2.0

NEmin = 1.125

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Cálculo del Centro Experimental

Para calcular el Centro Experimental solamente hay que aplicar una fórmula muy sencilla:

$$CE = \frac{NEmax + NEmin}{2}$$

Los Centros Experimentales de los cuatro Factores son:

- a.- CE de la inversión = 17,000,000
- b.- CE del Costo de la Materia Prima = 3.5
- c.- CE del Número de días operativos = 257.5
- d.- CE del Costo del Vapor = 1.5625

Cálculo de la Unidad Experimental

Como la diferencia entre los Niveles Máximo y Mínimo de la Estrella corresponden a dos Radios de la misma (a), se puede escribir:

$$UE = \frac{NEmax - NEmin}{2a}$$

Determinación del Radio de la Estrella:

De la conocida fórmula de Geometría en el espacio se tiene que:

$$f / 4$$

$$a = 2$$

donde f es el número de factores o dimensiones del Diseño. Teniendo el valor de 4 en el actual caso.

Para 4 factores el Radio de la Estrella en UE corresponde a :

$$a = 2,000$$

Cálculo de los Niveles del Factorial.

Estos son sencillos solo hay que seguir las siguientes fórmulas:

$$NF_{max} = CE + UE$$

$$NF_{min} = CE - UE$$

A continuación se presentan los valores de los Niveles del Factor de el caso de estudio:

a.- $NF_{max} = 19,500,000$ y $NF_{min} = 15,500,00$ correspondientes a la

Inversión

b.- $NF_{max} = 3.75$ y $NF_{min} = 3.25$ para el costo de la Materia Prima

c.- $NF_{max} = 261.25$ y $NF_{min} = 253.75$ para el Número de días

Operativos por Año

d.- $NF_{max} = 1.7805$ y $NF_{min} = 1.3445$ referente al costo del Vapor.

La siguiente Tabla lista en resumen todos los valores obtenidos anteriormente.

Se definirán los cuatro factores con las siguientes variables :

A = Inversión

B = Costo de la Materia Prima

C = Número de Días Operativos al Año.

D = Costo del Vapor.

DISEÑO ROTACIONAL COMPUESTO EN CUATRO FACTORES

<u>FACTOR</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>
UNIDAD DE MEDIDA	\$	Kg	días/año	Kg
NIVEL ESTRELLA				
MAX	20,000,000	4	265	2.000
MIN	12,000,000	3	250	1.125
CENTRO EXP.	17,500,000	3.5	256	1.5625
UNIDAD EXP.	2,000,000	0.25	3.75	0.218
NIVEL FACTORIAL				
MAX	19,500,000	3.75	261	1.78
MIN	15,500,000	3.25	254	1.34

Para crear una nueva Tabla 13 que será llamado de Experimento, es necesario seguir los principios de Diseños de Experimentos expuestos en el capítulo anterior. En dicha tabla se presenta un diseño de cuatro factores, en la que muestra los signos que corresponden a cada observación o experimento. Se hará una nueva Tabla que contenga los Niveles de los Factores , siguiendo la siguiente estructura:

Al encontrar un signo (+) se sustituirá el Nivel del Factor Máximo y cuando se encuentre un signo (-) sustituirá el Nivel del Factor Mínimo.

Esto con el fin de utilizar la combinación de cada experimento para obtener un nuevo Costo de Fabricación para cada uno de los 16 experimentos.

A partir de los resultados del Costo de Fabricación se aplicará un método de Regresión para analizar la importancia que tiene cada uno de los cuatro factores que fueron elegidos en el Costo de Fabricación. Y apartir de los resultados poder establecer grados de importancia y jerarquización de los factores.

La columna referente al Costo de Fabricación es obtenida utilizando las fórmulas expuestas en el Capítulo 1.2, mediante la ayuda del paquete de computación Excell.

Tabla 13 Experimentos con las 4 variables de estudio.

FACTOR	COSTO				FABRICACION
	A	B	C	D	
No DE EXP.	(miles)				(millones)
1	15.5	3.25	254	1.34	18.42
2	19.5	3.25	254	1.78	20.56
3	15.5	3.75	254	1.78	18.99
4	19.5	3.75	254	1.34	20.89
5	15.5	3.25	261	1.78	18.75
6	19.5	3.25	261	1.34	20.65
7	15.5	3.75	261	1.34	18.66
8	19.5	3.75	261	1.78	21.22
9	20	3.5	257.5	1.562	20.95
10	12	3.5	257.5	1.562	17.34
11	16	4	257.5	1.562	19.81
12	16	3	257.5	1.562	18.48
13	16	3.5	265	1.562	19.15
14	16	3.5	250	1.562	19.44
15	16	3.5	257.5	2.000	19.47
16	16	3.5	257.5	1.125	18.82

Es necesario aclarar que a partir del octavo experimento se utilizaron los siguientes datos. La forma de calcularlos ya fue expuesta anteriormente en este capítulo. Lo que ocasionó que todos los datos fueran distintos se debió a que el Centro del Experimento ahora es 16,000,000

FACTOR	A	B	C	
D				
NEmax	20,000,000	4	265	2.000
NEmin	12,000,000	3	250	1.125
C.EXP.	16,000,000	3.5	257.5	1.562

CONCLUSIONES

Para poder tomar la decisión sobre hacer o no una inversión, es necesario hacer el cálculo del Costo de Fabricación del producto al cual se desea hacer una cierta inversión. De hecho, el Costo de Fabricación es la parte medular para tomar una buena decisión . Un hecho fundamental es que este es una Estructura Fundamentalmente Compleja .

Con Compleja me refiero a que tiene grandes interrelaciones e interdependencias entre los factores que conforman ese Costo . Esto quiere decir que casi siempre uno o más de los conceptos pueden estar interviniendo en uno o más factores. Es por esto que se considera una Estructura Fundamental Compleja.

Para aclarar esto me refiero a lo expuesto en la tesis en el Capítulo 1 .

Ejemplo de lo anterior es que para poder determinar el \$-kg de producto referente a la Materia Prima, es necesario saber el \$-kg de cada una de las materias que forman el producto.

Para obtener el \$-kg de producto para la Mano de Obra es fundamental saber primero tanto las horas- hombre referentes a cada concepto como el \$- hora-hombre de cada uno de ellos.

Lo referente a los Servicios Auxiliares tiene una interrelación con el \$- unitario de cada uno de los factores que conforman esta parte.

Donde es más claro observar la interrelación de la que estoy hablando es en los dos últimos aspectos del Costo de Fabricación; lo referente a los Costos Indirectos y a los Gastos Generales.

Para dejar más claro este aspecto presento a continuación de que manera intervienen unos conceptos con otros:

COSTOS INDIRECTOS

Administración	15% del total de Mano de Obra + 2 % del total de Materias Primas.
Mantenimiento	5 % anual de la Inversión.
Accesorios de Mantenimiento	30% del Total del mantenimiento
Control Analítico	25% del Total de Materias Primas.
Vigilancia y Limpieza	20 % del Total de Mano de Obra.
Mejoras Proceso	15% del total de Materias Primas.

GASTOS GENERALES

Impuesto Predial	0.1 % del valor del terreno
Seguros	0.3 % de la inversión
Depreciación	a 10 años.
Empaque y Ventas	15% del total de Materias Primas.
Corporativos	1 % de Materias primas y 1.5 % de Mano de Obra.

Nótese que un concepto puede afectar a muchos otros . Es por esto que es indispensable hacer un cálculo minucioso y cuidadoso de cada uno de los conceptos que forman el Costo de fabricación, ya que si se tuviera un error este sería "arrastrado" a lo largo de todos los cálculos y obtendríamos como resultado un Costo de Fabricación incorrecto.

Otro de los aspectos que no debe de descuidarse , es tener en mente la importancia de la incertidumbre asociada a uno o a varios conceptos del Costo de Fabricación, ya que esta incertidumbre podrá dar como resultado valores irreales, que pueden ocasionar la toma de decisiones creyendo que estamos en lo correcto y al final sorprendernos de los resultados obtenidos en la realidad.

Este es un motivo más por el cual es necesario hacer uso de un Método matemático que nos ayude a aclarar y especificar las posibles alternativas existentes, así como para darnos mayor visión para evitar en lo más posible el riesgo que existe en todo proyecto.

La mejor manera de resolver este problema es haciendo uso del Diseño de Experimentos, por lo que la tesis específica a lo largo de sus 8 capítulos.

Una manera de ejemplificar esto es haciendo el diagnóstico de las Superficies de Respuestas obtenidas a partir del programa CO 090 explicado en el capítulo 8.

1.- Metodología para interpretar Contornos de Respuesta

Como las Contornos de Respuesta son gráficas paramétricas de dos variables a la vez siendo el parámetro el valor del contorno de respuesta, para representar una función de N variables requeriremos :

$$(M)(M-1) / 2$$

M = número de factores o variables de estudio.

Gráficas. En mi caso M fueron 4 variables. Por consiguiente requeriré de 6 gráficas para representar todas las combinaciones de 2 en 2 variables. Me limitaré a las gráficas más significativas.

Cada una de estas gráficas revela su contenido por medio de las siguientes reglas:

Estas reglas son la manera de interpretar lo representado en las gráficas para darles un sentido práctico .

Regla No 1:

Aquel contorno de respuesta aproximadamente paralelo al eje de una de las variables indica que esta variable es poco influyente en la respuesta de ese contorno.

Regla No 2:

Un contorno de respuesta perpendicular al eje de una variable se revela que esta variable es altamente influyente en la representación del contorno.

Regla No 3:

Si todos los contornos de respuesta se desplazan paralelamente a un eje, esto significa que la variable de ese eje requiere valores mayores para producir el mismo resultado que antes del desplazamiento.

2.-Gráficas a analizar:

En mi caso presento 4 variables :

X1 = Inversión

X2 = \$ del Aceite

X3 = Días operativos

X4 = \$ - Vapor

Las cuales fueron examinadas siguiendo un Modelo Factorial y posteriormente un Modelo Girable Compuesto. Las gráficas A,B,C,D,E y F se refieren al Modelo Factorial.

(Estas gráficas se encuentran en el Apéndice de la tesis).

La gráfica A muestra la relación entre la INVERSION y el COSTO DEL ACEITE, manteniendo los días de operación en 258 y el \$ del vapor en NS 1.56 por kilogramo . De esta gráfica se nota la elevadísima influencia de la inversión en contraste ahora con la poca influencia de los días de operación.

La gráfica C no hace sino confirmar lo anterior y nuevamente señalar que la variable más importante es la de la inversión.

La gráfica D muestra la influencia del \$ DEL ACEITE y de los DIAS DE OPERACION y sólo presenta unos cuantos contornos de respuesta indicando que ni uno ni otro son importantes en la determinación del Costo. Las gráficas E y F confirman esta situación.

5.- Gráficas bajo un modelo Cuadrático Completo.

La gráfica G de nuevo compara, como la gráfica A , los costos en función de la INVERSION y del \$ DEL ACEITE. La conclusión es similar a la expresada antes excepto a que ahora contamos con una mayor exactitud y riqueza de detalles, pues nótese que aparecen graficados costos desde 16.8 hasta 21.3 , y ambos tienden a inclinarse sobre sus respectivos ejes por igual. Esto quiere decir que con un modelo simple pudimos conformarnos con la " política" conclusión de que sólo la inversión es importante. Esta gráfica nos muestra que examinando más profesionalmete en el programa como lo detallo en mis capítulos respectivos, el costo de la materia prima no es tan indiferente como parece. Esta gráfica nos señala con toda precisión como mantener un cierto costo si la inversión variara entre 12 y 20 millones de nuevos pesos o el \$ de la materia prima cambiara entre 3 y 4 nuevos pesos.

La gráfica H demuestra que los días de operación son prácticamente indiferentes a nuestro costo de fabricación conclusión que podría llevarnos a conceder a nuestras instalaciones bondadosos períodos de suspensión de labores para beneficio de su mantenimiento.

La gráfica I es una nueva revelación respecto de usar modelos avanzados como lo hago en mi tesis , a la vista del Modelo Factorial , afirmé que el costo del Vapor típico de los Servicios Auxiliares, no era importante. Ahora rectifico lo anterior diciendo que ambos son importantes pero primordialmente el de la Inversión. Esto llevaría a la conclusión de tener mucho cuidado en mi política de operación.

La gráfica J (Aceite) / (Días de operación) muestra que entre estas dos variables no hay ninguna iteración significativa. Todo lo contrario de lo mostrada en la gráfica K para (Aceite) / (\$- Vapor) en donde se ve que los costos de estos dos insumos se encuentran fuertemente ligados indicando , que si uno de ellos sube hace más fuerte la importancia del otro.

—Finalmente la gráfica L señala la relación entre los DIAS DE OPERACION y el \$ DEL VAPOR. Indica que el costo del vapor es totalmente avallasador del costo de fabricación dentro de los días de operación que tienen poca influencia.

4.- Ecuaciones Analizadas.

La siguiente ecuación es sobre el Modelo Factorial:

NOTA: Los valores que se encuentran abajo de cada uno de los sumandos corresponden al error que este sumando aporta a la ecuación. Es claro observar que estos errores son mínimos .

$$y (\text{costo}) = 5.242 + 0.784 (\text{inver})$$

(0.097)

$$- 0.162 (\text{inver}) (\$ \text{vap})$$

(0.06)

$$+ 0.439 (\text{acci}) (\$ \text{vap})$$

(0.09)

$$+ 0.1007 (\text{días op}) (\$ \text{vap})$$

(0.004)

% de explicación	99.7
Error de pronóstico	0.009

Se nota con toda claridad de la elevada influencia de la inversión y como el costo del vapor influencia a los costos de inversión de materia prima y de los días de operación.

Explicación de la ecuación anterior. En la ecuación anterior se indica bajo cada coeficiente de regresión su error estándar.

5.- Ecuación con Modelo Avanzado.

$$\begin{aligned}
 y(\text{costo}) &= 7.885 + 0.634(\text{inver}) \\
 &\quad (0.05) \\
 &\quad - 0.099(\text{inver})(\$ \text{vap}) \\
 &\quad (0.03) \\
 &\quad + 0.653(\text{aceite})(\$ \text{vap}) \\
 &\quad (0.12)
 \end{aligned}$$

% explicación	97.9
Error de pronóstico	0.18

Es de comentar la pequeña disminución en el % de explicación la cual se debe a la mejor refinación de los cálculos. Nótese que se sostiene la influencia del costo del vapor pero sólo sobre la inversión y el \$ de la materia prima.

BIBLIOGRAFIA

- Dixon Wilfrid, Introducción al Análisis Estadístico.
México, Mc Graww-Hill , segunda edición , Capítulos 9 y 10 páginas 111-165.
- Fabila C. Gilberto, Apuntes de Diseños Estadísticos.
México, Capítulos 1,4,5 y 8.
- Montgomery Douglas C, Diseño y Análisis de Experimentos.
México, Grupo Editorial Iberoamerica, primera edición, Capítulo 9,
páginas 241 a 248.
- Moroney, M.J. Fact from Figures.
E.U.A., Penguin Books (1951).
- Pearson F.A. y Bennet, K.R. Statistical Methods Applied to Agricultural Economics.
Nueva York, John Willey (1942).
- Perry Robert H. Biblioteca del Ingeniero Químico
México, Mc Graw-Hill, segunda edición en español, volumen 6
- Spiegel, Ph, D. Murray Estadística
México, Mc Graw-Hill, primera edición en español, capítulo 11 páginas 188 a 189.

APENDICE
(CORRIDA DEL PROGRAMA CO090)

----- datos originales-record grabacion -----
 ANAGABRIELA G.FABILA CARRERA 23.ABR.94

num. observaciones: 8 num. total variables: 5

nombres variables

X 1= INVERSIO X 2= ACEITE X 3= DIAS.OP X 4= \$-VAPOR X 5= COS.TOTA

obs	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5
1	15.50	3.25	254.00	1.34	18.42
2	19.50	3.25	254.00	1.78	20.56
3	15.50	3.75	254.00	1.78	18.99
4	19.50	3.75	254.00	1.34	20.89
5	15.50	3.25	261.00	1.78	18.75
6	19.50	3.25	261.00	1.34	20.65
7	15.50	3.75	261.00	1.34	18.66
8	19.50	3.75	261.00	1.78	21.22

hora final 12.15AM
 especificaciones grabacion
 Disco #1 archivo ANAGF
 num. records grabados 4

TRANSFORMACIONES USADAS

880 REM X(PRIMER LUGAR LIBRE)=PT(X(I))
 881 X(5)=X(1)*X(2);X(6)=X(1)*X(3);X(7)=X(1)*X(4)
 882 X(9)=X(2)*X(3);X(9)=X(2)*X(4)
 883 X(10)=X(3)*X(4)

ANALISIS DE DATOS

A.G.L.L. G.FABILA CARRERA 04-23-1994/12:12:30

ARCHIVO DATOS ORIGINALES ANAGF

NUM. OBSERVACIONES 8 NUM. VARIABLES ORIGINALES 5

DATOS REGRESION

NUM. VARS.INDEP. INICIALES 4 NUM. VARS. INDEP. TOTALES 10

OBSERVACIONES EN REGRESION 1 A 8

DESIGNACION VARIABLES INDEPENDIENTES

X 1 = INVERSIO X 2 = ACEITE X 3 = DIAS.OP X 4 = \$-VAPOR
 X 5 = X1X2 X 6 = X1X3 X 7 = X1X4 X 8 = X2X3
 X 9 = X2X4 X10 = X3X4 Y = COS.TOTA

MODELO FX EN 4 VARS.

OBS	X 1	X 2	X 3	X 4	Y-OBSERVADA
1	15.500	3.250	254.000	1.340	18.420
2	19.500	3.250	254.000	1.780	20.555
3	15.500	3.750	254.000	1.780	18.985
4	19.500	3.750	254.000	1.340	20.886
5	15.500	3.250	261.000	1.780	18.750
6	19.500	3.250	261.000	1.340	20.650
7	15.500	3.750	261.000	1.340	18.655
8	19.500	3.750	261.000	1.780	21.216

SUMAS

140.000	28.000	2060.000	12.480	490.000	136050.000		
43.680	3213.600	158.118				218.400	7210.000

PROMEDIOS

17.500	3.500	257.500	1.560	61.250	4506.250	27.300	901.250	5.460	401.700
19.765									

NORMAS VECTORIALES

49.820	9.925	728.387	4.456	174.813	12829.750		
15.636	1147.528	55.988				78.488	2555.851

MAXIMOS

19.500	3.750	261.000	1.780	73.125	5089.500	34.710	978.750
6.675	464.580	21.216					

MINIMOS

15.500	3.250	254.000	1.340	50.375	3937.000	20.770	325.500
4.355	340.360	18.420					

DESVIACIONES ESTANDARD INSEGADAS MUESTRALES

2.1381	0.2673	3.7417	0.2352	8.8405	554.4692	5.2185	70.0607
0.9246	60.8473	1.1621					

MATRIZ VARIANCIAS-COVARIANCIAS CORREGIDA POR PROMEDIO

	X 1						
	32.000	X 2					
	0.000	0.500	X 3				
	0.000	0.000	98.000	X 4			
	0.000	-0.000	0.000	0.387	X 5		
	112.000	8.750	0.000	0.000	547.125	X 6	
	8240.000	0.000	1715.000	0.300	28840.000	12152208.000	
	49.920	0.000	-0.004	6.776	174.720	12854.380	198.004
	X 7						
	0.000	120.750	343.000	0.001	2253.125	6002.000	3.078
	34359.500	X 8					
	0.000	0.780	0.002	1.355	13.650	3.094	23.716
	200.852	5.984	X10				
	-0.004	0.000	152.875	99.704	3.078	2675.000	1744.820
	535.000	348.965	25916.750	X11			
	16.998	0.342	1.492	0.197	65.693	4405.938	29.775
	92.953	1.246	53.348	9.434			

MATRIZ DE CORRELACIONES PARCIALES

X 1	1.000						
X 2	0.000	1.000					
X 3	0.000	0.000	1.000				
X 4	0.000	-0.000	0.000	1.000			
X 5	0.846	0.529	0.000	0.000	1.000		
X 6	0.993	0.000	0.118	0.000	0.840	1.000	
X 7	0.627	0.000	-0.000	0.774	0.531	0.623	1.000
X 8	0.000	0.982	0.187	0.000	0.520	0.022	0.001
X 9	0.000	0.451	0.000	0.890	0.239	0.001	0.689

X10 -0.000 0.000 0.096 0.995 0.001 0.011 0.770 0.018 0.886 1.000
 X11 0.977 0.157 0.049 0.103 0.913 0.977 0.688 0.163 0.166 0.108 1.000
 REGRESION MULTIVARIABLE POR ETAPAS

F-ENTRAR 1.1 F-SALIR 1.1
 TOLERANCIA DIAGONAL .000001 ADICION DIAGONAL 0

*****REGRESION SOBRE PROMEDIO

ERROR EST. Y-CALC 1.162117
 PORCIENTO DE EXPLICACION 0
 TERMINO CONSTANTE 19.7648
 DETERMINANTE 1

*****ETAPA NUM. 1

VARIABLE ENTRANTE X 1 (INVERSI0)
 NIVEL F-ENTRADA 127.5576
 ERROR EST. Y-CALC .2660508
 PORCIENTO DE EXPLICACION 95.50755
 TERMINO CONSTANTE 10.46913
 DETERMINANTE 1
 GRADOS DE LIBERTAD 6

VAR NOMBRE COEF.REGRE ERR.ESTAND SIGNIFC-T COEF.CODFC COEF.MAX.

X 1 INVERSI0 0.53118 0.04703 11.29414 0.97728 0.69922
 SC (Y-EST) 9.028916
 SC REGRESION 9.028914

*****ETAPA NUM. 2

VARIABLE ENTRANTE X 9 (X2X4)
 NIVEL F-ENTRADA 7.863045
 ERROR EST. Y-CALC .1817056
 PORCIENTO DE EXPLICACION 98.25374
 TERMINO CONSTANTE 9.33169
 DETERMINANTE 1
 GRADOS DE LIBERTAD 5

VAR NOMBRE COEF.REGRE ERR.ESTAND SIGNIFC-T COEF.CODFC COEF.MAX.

X 1 INVERSI0 0.53118 0.03212 16.53671 0.97728 0.69922
 X 9 X2X4 0.20829 0.07428 2.80411 0.16572 1.20556
 SC (Y-EST) 9.288529
 SC REGRESION 9.288516

*****ETAPA NUM. 3

VARIABLE ENTRANTE X 7 (X1X4)
 NIVEL F-ENTRADA 7.587567
 ERROR EST. Y-CALC .1193596
 PORCIENTO DE EXPLICACION 99.39719
 TERMINO CONSTANTE 7.940398
 DETERMINANTE .1320177
 GRADOS DE LIBERTAD 4

X 1	***	1.00	1.00	1.00	3.53	70.78	1.65	1.00
		1.00	1.00	22.26				
X 2	1.00	***	1.00	1.00	1.39	1.00	1.00	28.48
	1.26	1.00	1.03					
X 3	1.00	1.00	***	1.00	1.00	1.01	1.00	1.04
	1.00	1.01	1.00					
X 4	1.00	1.00	1.00	***	1.00	1.00	2.49	1.00
	4.82	106.65	1.01					
X 5	3.53	1.39	1.00	1.00	***	3.41	1.39	1.37
	1.06	1.00	6.04					
X 6	70.78	1.00	1.01	1.00	3.41	***	1.63	1.00
	1.00	1.00	21.79					
X 7	1.65	1.00	1.00	2.49	1.39	1.63	***	1.00
	1.90	2.46	1.90					
X 8	1.00	28.48	1.04	1.00	1.37	1.00	1.00	***
	1.24	1.00	1.03					
X 9	1.00	1.26	1.00	4.82	1.06	1.00	1.90	1.24
	***	4.66	1.03					
X10	1.00	1.00	1.01	106.65	1.00	1.00	2.46	1.00
	4.66	***	1.01					
X11	22.26	1.03	1.00	1.01	6.04	21.79	1.90	1.03
	1.03	1.01	***					

ESTADISTICA DURBIN-WATSON 2.847382
 ***** SUPERFICIES DE RESPUESTA *****
 A.G.L.L. G.FABILA CARRERA 24.AB.94
 MODELO PX SOBRE COSTO

NOMBRES DE LAS VARIABLES:
 X(1)=INVERSI0 X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP X(4)=\$=VAF

COEFICIENTES DE REGRESION:
 B(0)= 5.2422
 B(1)= 0.7617 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000
 B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.1629
 B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.0168
 B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0071
 B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(1)=INVERSI0 X(2)=ACEITE
 VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:
 X(3)= 258 X(4)= 1.56

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:
 $y = a_2 * X_h^2 + (a_3 + a_4 * X_v) X_h + (a_5 + a_6 * X_v - a_7 * X_v^2)$
 A1= 0 A2= 0 A3= .6845124 A4= 0 A5= 8.079699 A6= .5311728 A7= 0
 (PARABOLAS)

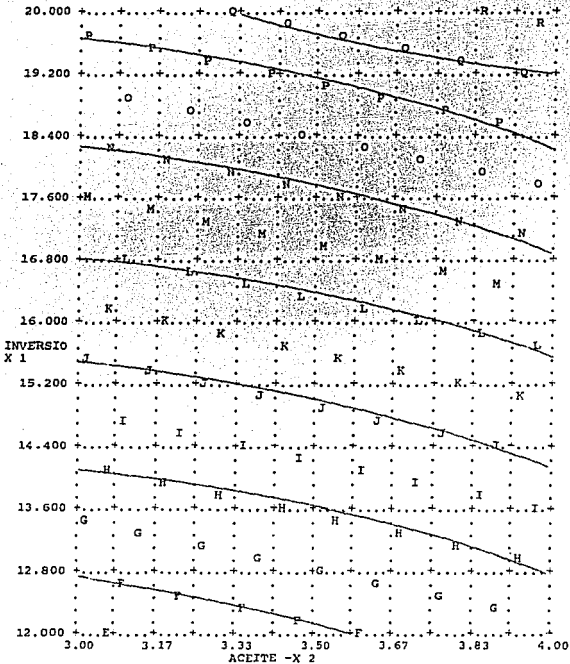
MODULO HORIZONTAL= 1.666667E-02 MODULO VERTICAL= .16

GRAFICA

A

CLAVES RESPUESTA; COSTO

(A)= 15.000 (S)= 15.368 (C)= 15.737 (D)= 16.105 (E)= 16.474
 (F)= 16.842 (G)= 17.211 (H)= 17.579 (I)= 17.947 (J)= 18.316
 (K)= 18.684 (L)= 19.053 (M)= 19.421 (N)= 19.789 (O)= 20.158
 (P)= 20.526 (Q)= 20.895 (R)= 21.263 (S)= 21.632 (T)= 22.000



***** SUPERFICIES DE RESPUESTA *****

COSTO

A.G.L.L.

G.FABILA CARRERA

MODELO PX SOBRE COSTO

NOMBRES DE LAS VARIABLES:

X(1)=INVERSI0 X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP X(4)=-\$-VAP

COEFICIENTES DE REGRESION:

B(0)= 5.2422

B(1)= 0.7837 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000

B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.1619

B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.4388

B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0071

B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(1)=INVERSI0 X(3)=DIAS.OP

VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:

X(2)= 3.5 X(4)= 1.56

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:

$y = a_2 * X_h^2 + (a_3 + a_4 * X_v) X_h + (a_5 + a_6 * X_v + a_7 * X_v^2)$

A1= 0 A2= 0 A3= .010998 A4= 0 A5= 7.638007 A6= .5311728 A7= 0

(PARABOLAS)

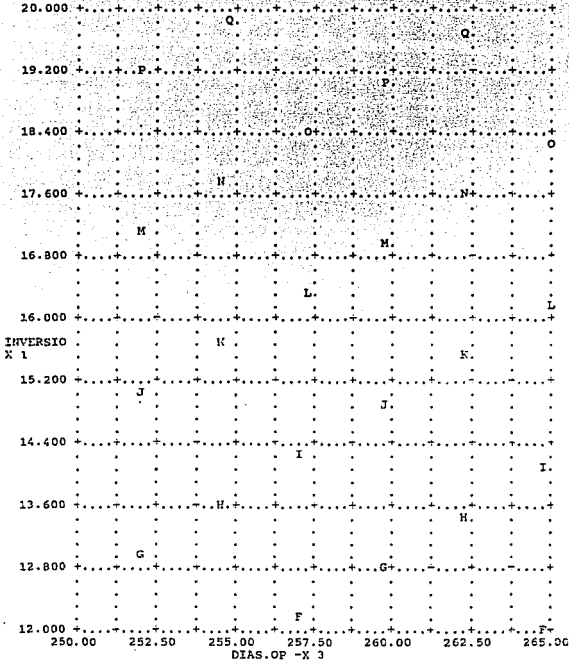
MODULO HORIZONTAL= .25 MODULO VERTICAL= .16

GRÁFICA

B

CLAVES RESPUESTA: COSTO

(A) = 15.000 (B) = 15.368 (C) = 15.737 (D) = 16.105 (E) = 16.474
 (F) = 16.842 (G) = 17.211 (H) = 17.579 (I) = 17.947 (J) = 18.316
 (K) = 18.684 (L) = 19.053 (M) = 19.421 (N) = 19.789 (O) = 20.158
 (P) = 20.526 (Q) = 20.895 (R) = 21.263 (S) = 21.632 (T) = 22.000



***** SUPERFICIES DE RESPUESTA *****

COSTO
MODELO PX SOBRE COSTO

A.G.L.L.

G.FABILA CARRERA

NOMBRES DE LAS VARIABLES:

X(1)=INVERSIO X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP X(4)=\$-VAP

COEFICIENTES DE REGRESION:

B(0)= 5.2422
B(1)= 0.7837 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000
B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.1619
B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.4388
B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0071
B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(1)=INVERSIO X(4)=\$-VAP

VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:

X(2)= 3.5 X(3)= 258

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:

$y = a_2 * X_h^2 + (a_3 + a_4 * X_v) X_h + (a_5 + a_6 * X_v + a_7 * X_v^2)$

A1= 0 A2= 0 A3= 3.354665 A4=-.16187 A5= 5.242214 A6= .78369 A7= 0
(HIPERBOLAS)

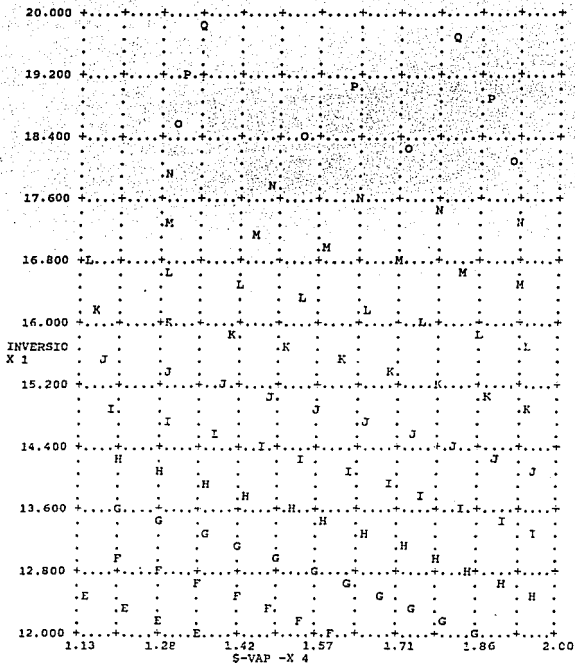
MODULO HORIZONTAL= .0145 MODULO VERTICAL= .16

GRAFICA

C

CLAVES RESPUESTA: COSTO

(A) = 15.000 (B) = 15.368 (C) = 15.737 (D) = 16.105 (E) = 16.474
 (F) = 16.842 (G) = 17.211 (H) = 17.579 (I) = 17.947 (J) = 18.316
 (K) = 18.684 (L) = 19.053 (M) = 19.421 (N) = 19.789 (O) = 20.158
 (P) = 20.526 (Q) = 20.895 (R) = 21.263 (S) = 21.632 (T) = 22.000



***** SUPERFICIES DE RESPUESTA *****

COSTO

A.G.L.L.

G.FABILA CARRERA

MODELO PX SOBRE COSTO

NOMBRES DE LAS VARIABLES:

X(1)=INVERSIÓN X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP X(4)=\$-VAP

COEFICIENTES DE REGRESION:

B(0)= 5.2422

B(1)= 0.7837 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000

B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.1619

B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.4388

B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0071

B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP

VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:

X(1)= 17.5 X(4)= 1.56

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:

$y = a_2 * X_h^2 + (a_3 + a_4 * X_v) X_h + (a_5 + a_6 * X_v + a_7 * X_v^2)$

A1= 0 A2= 0 A3= .010998 A4= 0 A5= 14.53774 A6= .6845124 A7= 0

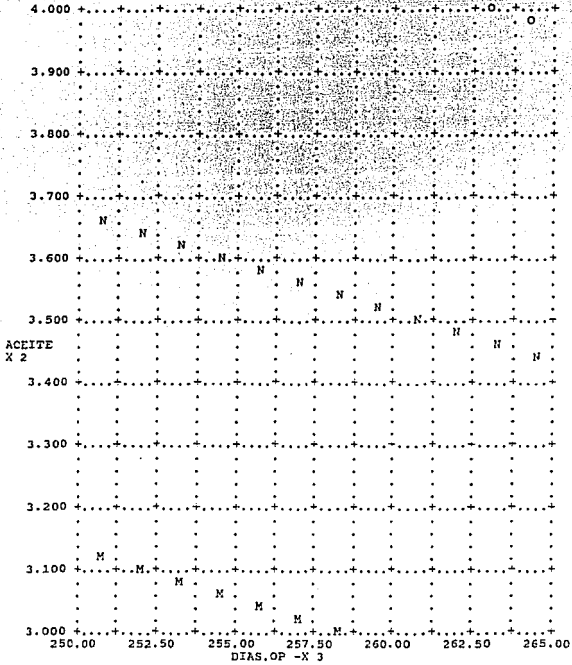
(PARABOLAS)

MODULO HORIZONTAL= .25 MODULO VERTICAL= .02

GRAFICA
D

CLAVES RESPUESTA: COSTO

(A) = 15.000 (B) = 15.368 (C) = 15.737 (D) = 16.105 (E) = 16.474
 (F) = 16.842 (G) = 17.211 (H) = 17.579 (I) = 17.947 (J) = 18.316
 (K) = 18.684 (L) = 19.053 (M) = 19.421 (N) = 19.789 (O) = 20.158
 (P) = 20.526 (Q) = 20.895 (R) = 21.263 (S) = 21.632 (T) = 22.000



***** SUPERFICIES DE RESPUESTA *****

COSTO

A.G.L.L.

G.FABILA CARRERA

MODELO PX SOBRE COSTO

NOMBRES DE LAS VARIABLES:

X(1)=INVERSIÓ X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP X(4)=-\$-VAP

COEFICIENTES DE REGRESION:

B(0)= 5.2422

B(1)= 0.7837 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000

B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.1619

B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.4388

B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0071

B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(2)=ACEITE X(4)=-\$-VAP

VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:

X(1)= 17.5 X(3)= 258

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:

$y = a_2 \cdot X_h^2 + (a_1 + a_4 \cdot X_v) X_h + (a_5 + a_6 \cdot X_v + a_7 \cdot X_v^2)$

A1= 0 A2= 0 A3=-1.013825 A4= .43879 A5= 18.95679 A6= 0 A7= 0

(HIPERBOLAS)

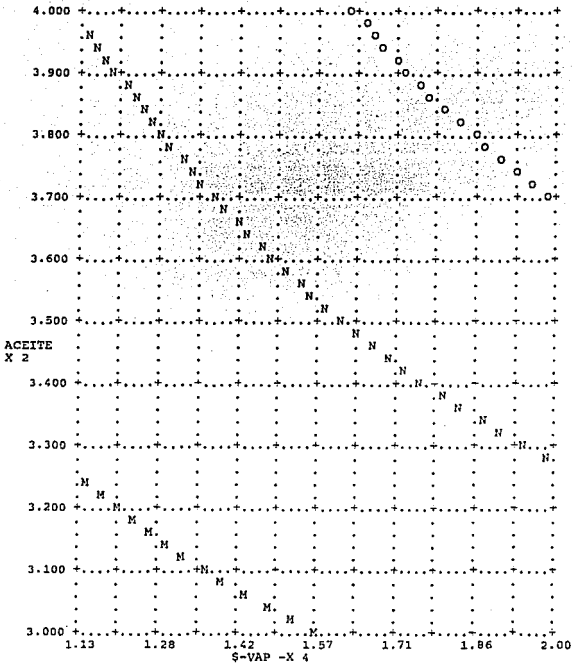
MODULO HORIZONTAL= .0145 MODULO VERTICAL= .02

GRAFICA

E

CLAVES RESPUESTA: COSTO

(A)= 15.000 (B)= 15.368 (C)= 15.737 (D)= 16.105 (E)= 16.474
 (F)= 16.842 (G)= 17.211 (H)= 17.579 (I)= 17.947 (J)= 18.316
 (K)= 18.684 (L)= 19.053 (M)= 19.421 (N)= 19.789 (O)= 20.158
 (P)= 20.526 (Q)= 20.895 (R)= 21.263 (S)= 21.632 (T)= 22.000



***** SUPERFICIES DE RESPUESTA *****

COSTO

A.G.L.L.

G.FABILA CARRERA

MODELO PX SOBRE COSTO

NOMBRES DE LAS VARIABLES:

X(1)=INVERSIO X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP X(4)=\$-VAP

COEFICIENTES DE REGRESION:

B(0)= 5.2422

B(1)= 0.7837 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000

B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.1619

B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.4388

B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0071

B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(3)=DIAS.OP X(4)=\$-VAP

VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:

X(1)= 17.5 X(2)= 3.5

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:

$y = a_2 \cdot X_h^2 + (a_3 + a_4 \cdot X_v) X_h + (a_5 + a_6 \cdot X_v + a_7 \cdot X_v^2)$

A1= 0 A2= 0 A3=-1.29696 A4= .00705 A5= 18.95679 A6= 0 A7= 0

(HIPERBOLAS)

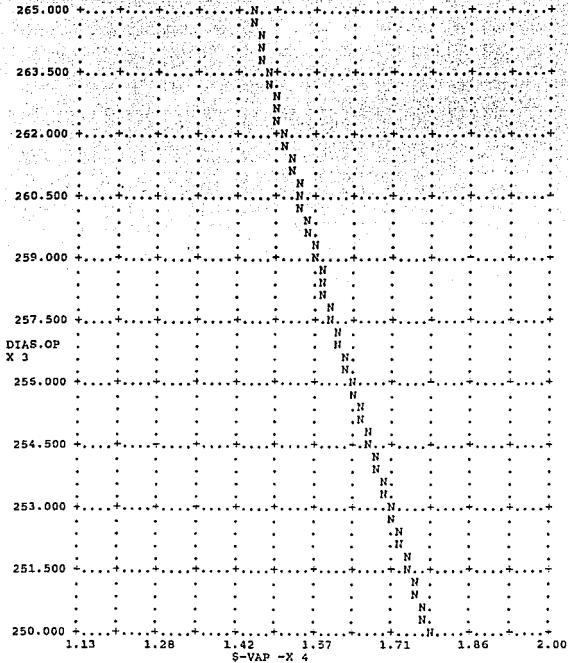
MODULO HORIZONTAL= .0145 MODULO VERTICAL= .3

GRAFICA

F

CLAVES RESPUESTA: COSTO

(A)= 15.000 (B)= 15.368 (C)= 15.737 (D)= 16.105 (E)= 16.474
 (F)= 16.842 (G)= 17.211 (H)= 17.579 (I)= 17.947 (J)= 18.316
 (K)= 18.684 (L)= 19.053 (M)= 19.421 (N)= 19.789 (O)= 20.158
 (P)= 20.526 (Q)= 20.895 (R)= 21.263 (S)= 21.632 (T)= 22.000



ANAGABRIELA

G.FABILA CARRERA

30.ABRIL 1994

num. observaciones: 16

num. total variables: 5

nombres variables

X 1= INVERSID X 2= ACEITE X 3= DIAS.OP X 4= \$-VAPOR X 5= COS.TOTA

obs	x 1	x 2	x 3	x 4	x 5
1	15.50	3.25	254.00	1.34	18.42
2	19.50	3.25	254.00	1.78	20.56
3	15.50	3.75	254.00	1.78	18.99
4	19.50	3.75	254.00	1.34	20.89
5	15.50	3.25	261.00	1.78	18.75
6	19.50	3.25	261.00	1.34	20.65
7	15.50	3.75	261.00	1.34	18.66
8	19.50	3.75	261.00	1.78	21.22
9	20.00	3.50	258.00	1.56	20.95
10	12.00	3.50	258.00	1.56	17.34
11	16.00	4.00	258.00	1.56	19.81
12	16.00	3.00	258.00	1.56	18.48
13	16.00	3.50	265.00	1.56	19.15
14	16.00	3.50	250.00	1.56	19.44
15	16.00	3.50	258.00	2.00	19.47
16	16.00	3.50	258.00	1.13	18.62

hora final 17.20PM

especificaciones grabacion

Disco #1 archivo ANAGF

num. records grabados 5

ANALISIS DE DATOS

ANAGABRIELA

G.FABILA CARRERA

04-30-1994/17:17:41

ARCHIVO DATOS ORIGINALES ANAGF

NUM. OBSERVACIONES 16 NUM. VARIABLES ORIGINALES 5

DATOS REGRESION

NUM. VARS.INDEP. INICIALES 4 NUM. VARS. INDEP. TOTALES 14

OBSERVACIONES EN REGRESION 1 A 16

DESIGNACION VARIABLES INDEPENDIENTES

X 1 = INVERSID	X 2 = ACEITE	X 3 = DIAS.OP	X 4 = \$-VAPOR
X 5 = X1X2	X 6 = X1X3	X 7 = X1X4	X 8 = X2X3
X 9 = X2X4	X 10 = X3X4	X 11 = X1X1	X 12 = X2X2
X 13 = X3X3	X 14 = X4X4	Y = COS.TOTA	

MODELO CUADRICO COMPLETO 4 VARIABLES

OBS	X 1	X 2	X 3	X 4	Y-OBSERVADA
1	15.500	3.250	254.000	1.340	18.420
2	19.500	3.250	254.000	1.780	20.555
3	15.500	3.750	254.000	1.780	18.985
4	19.500	3.750	254.000	1.340	20.886
5	15.500	3.250	261.000	1.780	18.750
6	19.500	3.250	261.000	1.340	20.650
7	15.500	3.750	261.000	1.340	18.655
8	19.500	3.750	261.000	1.780	21.216
9	20.000	3.500	258.000	1.560	20.949

10	12.000	3.500	258.000	1.560	17.337
11	16.000	4.000	258.000	1.560	19.806
12	16.000	3.000	258.000	1.562	18.480
13	16.000	3.500	265.000	1.562	19.145
14	16.000	3.500	250.000	1.562	19.435
15	16.000	3.500	258.000	2.000	19.473
16	16.000	3.500	258.000	1.125	18.817

SUMAS

268.000	56.000	4123.000	24.971	938.000	169058.000		
						418.256	114430.500
87.398	6434.717	4562.000	197.000	1062657.000			
						39.742	311.561

PROMEDIOS

16.750	3.500	257.688	1.561	58.6254316.125	26.141	901.906	5.462	402.170
285.125	12.313	166416.060	2.484	19.473				

NORMAS VECTORIALES

67.543	14.036	1030.853	6.304	236.997	17405.530		
						106.438	3617.180
22.120	1624.662	1176.092	49.746	1265769.700			
						10.309	78.009

MAXIMOS

20.000	4.000	265.000	2.000	73.125	5160.000	34.710	1032.000
7.000	516.000	400.000	16.000	170225.000			
					4.000		21.216

MINIMOS

12.000	3.000	250.000	1.125	42.000	3096.000	18.000	774.000
3.938	290.250	144.000	9.000	162500.000			
						1.266	17.337

DESVIACIONES ESTANDAR INSEMGADAS MUESTREALES

2.2061	0.2582	3.7550	0.2266	8.8596	570.9333	5.1340	67.8385
0.8900	58.6954	74.1405	1.80911932.8990	0.7102		1.1109	

MATRIZ VARIANCIAS-COVARIANCIAS CORREGIDA POR PROMEDIO

	X 1							
	73.000							
	0.000	X 2						
	-2.250	1.000	X 3					
	-0.008	0.000	211.500	X 4				
	255.500	-0.001	0.002	0.770	X 5			
	18777.500	16.750	-7.875	-0.045	1177.375	X 6		
		0.000	2950.000	-2.102	65721.250	148889472.000		
							X 7	
	113.749	-0.016	-3.484	12.883	397.861	29259.380	395.375	
	X 8							
	-7.875	257.750	740.000	-0.252	4289.563	10328.000	-13.219	
	69031.000	X 9						
	-0.028	1.557	0.006	2.694	25.983	-4.063	45.086	
	401.328	11.881	X10					
	-5.648	-0.260	330.375	198.476	-20.781	4066.000	1316.375	
	1089.000	694.258	51677.250	X11				
	2445.500	0.000	-71.375	-0.320	8559.250	1629086.000		
							3809.860	
	-249.750	-1.092	-194.000	82452.250	X12			

GRADOS DE LIBERTAD 14

VAR	NOMBRE	COEF.REGRE	ERR.ESTAND	SIGNIFC-T	COEF.CODFC	COEF.MAX.
X 1	INVERSID	0.47880	0.04168	11.48645	0.95083	0.48491
SC	(Y-EST)	16.73543				
SC	REGRESION	16.73543				

*****ETAPA NUM. 2

VARIABLE ENTRANTE	X 2 (ACEITE)
NIVEL F-ENTRADA	17.17594
ERROR EST. Y-CALC	.2425863
PORCIENTO DE EXPLICACION	95.86724
TERMINO CONSTANTE	7.93379
DETERMINANTE	1
GRADOS DE LIBERTAD	13

VAR	NOMBRE	COEF.REGRE	ERR.ESTAND	SIGNIFC-T	COEF.CODFC	COEF.MAX.
X 1	INVERSID	0.47880	0.02839	16.86368	0.95083	0.48491
X 2	ACEITE	1.00537	0.24259	4.14439	0.23367	3.87930
SC	(Y-EST)	17.74621				
SC	REGRESION	17.74621				

*****ETAPA NUM. 3

VARIABLE ENTRANTE	X 9 (X2X4)
NIVEL F-ENTRADA	8.292305
ERROR EST. Y-CALC	.1941655
PORCIENTO DE EXPLICACION	97.55606
TERMINO CONSTANTE	7.930299
DETERMINANTE	.7959575
GRADOS DE LIBERTAD	12

VAR	NOMBRE	COEF.REGRE	ERR.ESTAND	SIGNIFC-T	COEF.CODFC	COEF.MAX.
X 1	INVERSID	0.47887	0.02273	21.07218	0.95096	0.48491
X 2	ACEITE	0.72228	0.21763	3.31879	0.16788	3.87930
X 9	X2X4	0.18182	0.06314	2.67964	0.14566	1.26671
SC	(Y-EST)	18.05883				
SC	REGRESION	17.65478				

*****ETAPA NUM. 4

VARIABLE ENTRANTE	X 7 (X1X4)
NIVEL F-ENTRADA	1.302226
ERROR EST. Y-CALC	.1917657
PORCIENTO DE EXPLICACION	97.81476
TERMINO CONSTANTE	7.930939
DETERMINANTE	5.102707E-03
GRADOS DE LIBERTAD	11

VAR	NOMBRE	COEF.REGRE	ERR.ESTAND	SIGNIFC-T	COEF.CODFC	COEF.MAX.
X 1	INVERSID	0.69330	0.18924	3.66355	1.37679	0.48491
X 2	ACEITE	-0.30176	0.92276	-0.32702	-0.07014	3.87930

FACTOR INFLACION VARIANCIA

X 1	***	1.00	1.00	1.00	4.16	82.30	1.81	1.00
	1.00	1.00	156.16	1.00	1.00	1.00	10.42	
X 2	1.00	***	1.00	1.00	1.31	1.00	1.00	26.59
	1.26	1.00	1.00	523.65	1.00	1.00	1.06	
X 3	1.00	1.00	***	1.00	1.00	1.01	1.00	1.04
	1.00	1.01	1.00	1.00	1416.52	1.00	1.00	
X 4	1.00	1.00	1.00	***	1.00	1.00	2.20	1.00
	4.83	99.40	1.00	1.00	1.00	137.75	1.02	
X 5	4.16	1.31	1.00	1.00	***	4.00	1.52	1.29
	1.05	1.00	4.08	1.31	1.00	1.00	8.96	
X 6	82.30	1.00	1.01	1.00	4.00	***	1.79	1.00
	1.00	1.00	54.49	1.00	1.01	1.00	9.27	
X 7	1.81	1.00	1.00	2.20	1.52	1.79	***	1.00
	1.76	2.17	1.80	1.00	1.00	2.18	2.13	
X 8	1.00	26.59	1.04	1.00	1.29	1.00	1.00	***
	1.24	1.00	1.00	25.50	1.04	1.00	1.05	
X 9	1.00	1.26	1.00	4.83	1.05	1.00	1.76	1.24
	***	4.65	1.00	1.26	1.00	4.70	1.05	
X10	1.00	1.00	1.01	99.40	1.00	1.00	2.17	1.00
	4.65	***	1.00	1.00	1.01	58.78	1.02	
X11	156.16	1.00	1.00	1.00	4.08	54.49	1.80	1.00
	1.00	1.00	***	1.00	1.00	1.00	10.24	
X12	1.00	523.65	1.00	1.00	1.31	1.00	1.00	25.50
	1.26	1.00	1.00	***	1.00	1.00	1.06	
X13	1.00	1.00	1416.52	1.00	1.00	1.01	1.00	1.04
	1.00	1.01	1.00	1.00	***	1.00	1.00	
X14	1.00	1.00	1.00	137.75	1.00	1.00	2.18	1.00
	4.70	58.78	1.00	1.00	1.00	***	1.02	
X15	10.42	1.06	1.00	1.02	8.96	9.27	2.13	1.05
	1.05	1.02	10.24	1.06	1.00	1.02	***	

ESTADISTICA DURBIN-WATSON

1.194037

***** SUPERFICIES DE RESPUESTA *****
ANAGABRIELA G.FABILA CARRERA 30.AB.1994
MODELO CUADRICO COMPLETO EN 4 VARIABLES

NOMBRES DE LAS VARIABLES:

X(1)=INVERSI0 X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP X(4)=S-VAPOR

COEFICIENTES DE REGRESION:

B(0)= 7.8852

B(1)= 0.6336 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000

B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.0992

B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.6531

B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0000

B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(1)=INVERSI0 X(2)=ACEITE

VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:

X(3)= 258 X(4)= 1.56

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:

$y = a_2 \cdot X_h^2 + (a_3 + a_4 \cdot X_v) X_h + (a_5 + a_6 \cdot X_v + a_7 \cdot X_v^2)$

A1= 0 A2= 0 A3= 1.018789 A4= 0 A5= 7.885187 A6= .478876 A7= 0

(PARABOLAS)

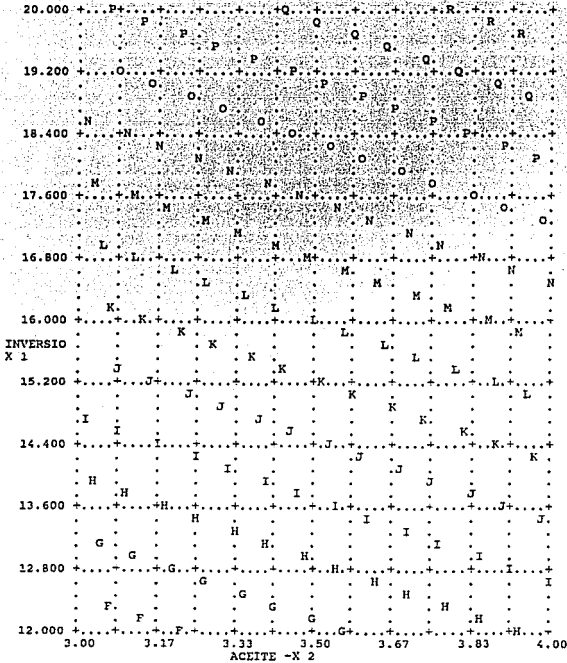
MODULO HORIZONTAL= 1.666667E-02 MODULO VERTICAL= .16

GRAFICA

G

CLAVES RESPUESTA: COSTO TO

(A)= 15.000 (B)= 15.368 (C)= 15.737 (D)= 16.105 (E)= 16.474
 (F)= 16.842 (G)= 17.211 (H)= 17.579 (I)= 17.947 (J)= 18.316
 (K)= 18.684 (L)= 19.053 (M)= 19.421 (N)= 19.789 (O)= 20.158
 (P)= 20.526 (Q)= 20.895 (R)= 21.263 (S)= 21.632 (T)= 22.000



MODELO CUÁDRICO COMPLETO EN 4 VARIABLES

NOMBRES DE LAS VARIABLES:

X(1)=INVERSIO X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP X(4)=\$-VAPOR

COEFICIENTES DE REGRESION:

B(0)= 7.8852

B(1)= 0.6326 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000

B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.0992

B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.6531

B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0000

B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(1)=INVERSIO X(3)=DIAS.OP

VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:

X(2)= 3.5 X(4)= 1.56

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:

$y = a_2 * X_h^2 + (a_3 + a_4 * X_v) X_h + (a_5 + a_6 * X_v + a_7 * X_v^2)$

A1= 0 A2= 0 A3= 0 A4= 0 A5= 11.45095 A6= .478876 A7= 0

(PARABOLAS)

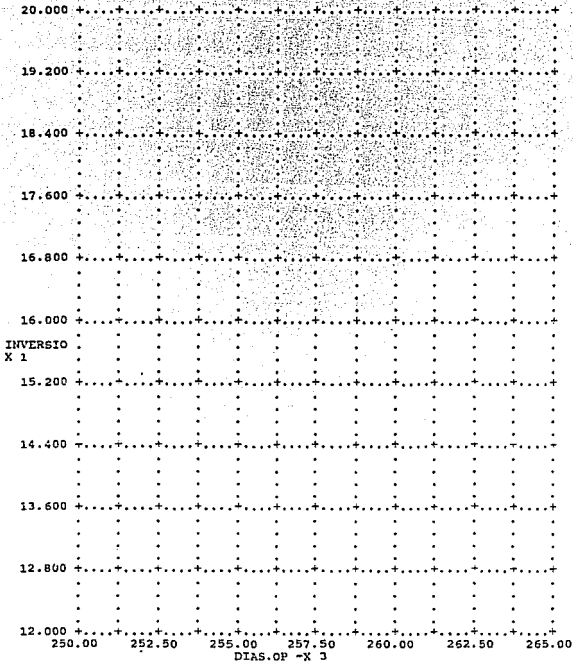
MODULO HORIZONTAL= .25 MODULO VERTICAL= .16

GRAPICA

II

CLAVES RESPUESTA: COSTO TO

(A) = 15.000 (B) = 15.368 (C) = 15.737 (D) = 16.105 (E) = 16.474
 (F) = 16.842 (G) = 17.211 (H) = 17.579 (I) = 17.947 (J) = 18.316
 (K) = 18.684 (L) = 19.053 (M) = 19.421 (N) = 19.789 (O) = 20.158
 (P) = 20.526 (Q) = 20.895 (R) = 21.263 (S) = 21.632 (T) = 22.000



***** SUPERFICIES DE RESPUESTA *****
ANAGABRIELA G.FABILA CARRERA 30.AB.1994
MODELO CUADRICO COMPLETO EN 4 VARIABLES

NOMBRES DE LAS VARIABLES:

X(1)=INVERSIDO X(2)=ACEITE X(3)=DIAS-OP X(4)=\$-VAPOR

COEFICIENTES DE REGRESION:

B(0)= 7.8852

B(1)= 0.6336 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000

B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.0992

B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.6531

B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0000

B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(1)=INVERSIDO X(4)=\$-VAPOR

VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:

X(2)= 3.5 X(3)= 258

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:

$y = a_2 * X_h^2 - (a_3 + a_4 * X_v) X_h + (a_5 + a_6 * X_v + a_7 * X_v^2)$

A1= 0 A2= 0 A3= 2.285745 A4=-.09915 A5= 7.885187 A6= .63355 A7= 0

(HIPERBOLAS)

MODULO HORIZONTAL= 1.458333E-02 MODULO VERTICAL= .16

***** SUPERFICIES DE RESPUESTA *****
ANAGABRIELA G.FABILA CARRERA 30.AB.1994
MODELO CUADRICO COMPLETO EN 4 VARIABLES

NOMBRES DE LAS VARIABLES:
X(1)=INVERSIO X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP X(4)=\$-VAPOR

COEFICIENTES DE REGRESION:

B(0)= 7.8852
B(1)= 0.6336 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000
B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.0952
B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.6531
B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0000
B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP
VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:
X(1)= 16.75 X(4)= 1.561

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:

$y = a_2 * X_h^2 + (a_3 + a_4 * X_v) X_h + (a_5 + a_6 * X_v + a_7 * X_v^2)$
A1= 0 A2= 0 A3= 0 A4= 0 A5= 15.9047 A6= 1.019442 A7= 0
(PARABOLAS)

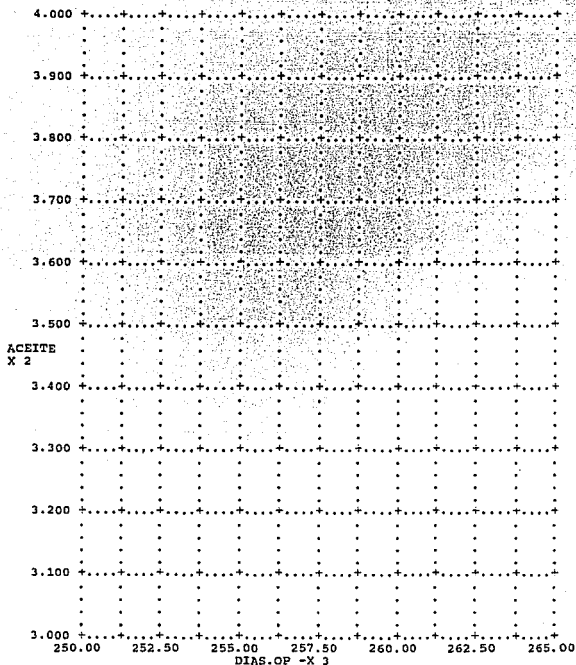
MODULO HORIZONTAL= .25 MODULO VERTICAL= .02

GRAFICA

J

CLAVES RESPUESTA: COSTO TO

(A) = 15.000 (B) = 15.368 (C) = 15.737 (D) = 16.105 (E) = 16.474
 (F) = 16.842 (G) = 17.211 (H) = 17.579 (I) = 17.947 (J) = 18.316
 (K) = 18.684 (L) = 19.053 (M) = 19.421 (N) = 19.789 (O) = 20.158
 (P) = 20.526 (Q) = 20.895 (R) = 21.263 (S) = 21.632 (T) = 22.000



***** SUPERFICIES DE RESPUESTA *****
ANAGABRIELA G.FABILA CARRERA 30.AB.1994
MODELO CUADRICO COMPLETO EN 4 VARIABLES

NOMBRES DE LAS VARIABLES:

X(1)=INVERSIÓ X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP X(4)=\$-VAPOR

COEFICIENTES DE REGRESION:

B(0)= 7.8852
B(1)= 0.6136 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000
B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.0992
B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.6531
B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0000
B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(2)=ACEITE X(4)=\$-VAPOR

VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:

X(1)= 16.75 X(3)= 258

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:

$y = a_2 * X_h^2 + (a_3 + a_4 * X_v) X_h + (a_5 + a_6 * X_v + a_7 * X_v^2)$
A1= 0 A2= 0 A3=-1.660763 A4= .65307 A5= 18.49715 A6= 0 A7= 0
(HIPERBOLAS)

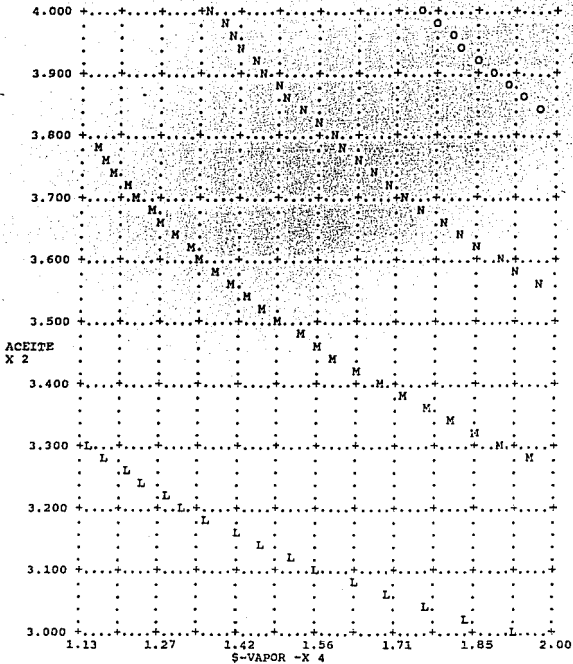
MODULO HORIZONTAL= 1.452333E-02 MODULO VERTICAL= .02

GRAFICA

K

CLAVES RESPUESTA: COSTO TO

(A)= 15.000 (B)= 15.368 (C)= 15.737 (D)= 16.105 (E)= 16.474
 (F)= 16.842 (G)= 17.211 (H)= 17.579 (I)= 17.947 (J)= 18.316
 (K)= 18.684 (L)= 19.053 (M)= 19.421 (N)= 19.789 (O)= 20.158
 (P)= 20.526 (Q)= 20.895 (R)= 21.263 (S)= 21.632 (T)= 22.000



***** SUPERFICIES DE RESPUESTA *****
ANAGABRIELA G.FABILA CARRERA 30.AB.1994
MODELO CUADRICO COMPLETO EN 4 VARIABLES

NOMBRES DE LAS VARIABLES:

X(1)=INVERSIO X(2)=ACEITE X(3)=DIAS.OP X(4)=\$-VAPOR

COEFICIENTES DE REGRESION:

B(0)= 7.8852
B(1)= 0.6336 B(2)= 0.0000 B(3)= 0.0000 B(4)= 0.0000
B(1 1)= 0.0000 B(1 2)= 0.0000 B(1 3)= 0.0000 B(1 4)= -0.0992
B(2 2)= 0.0000 B(2 3)= 0.0000 B(2 4)= 0.6531
B(3 3)= 0.0000 B(3 4)= 0.0000
B(4 4)= 0.0000

VARIABLES GRAFICADAS: X(3)=DIAS.OP X(4)=\$-VAPOR

VARIABLES NO GRAFICADAS A NIVEL CONSTANTE:

X(1)= 16.75 X(2)= 3.5

COEFICIENTES ECUACION CUADRICA SIMPLIFICADA:

$y = a_2 \cdot X_h^2 - (a_3 + a_4 \cdot X_v) X_h + (a_5 + a_6 \cdot X_v - a_7 \cdot X_v^2)$

A1= 0 A2= 0 A3= .6249824 A4= 0 A5= 16.49715 A6= 0 A7= 0

(PARABOLAS)

MODULO HORIZONTAL= 1.458333E-02 MODULO VERTICAL= .3

GRAFICA

L

CLAVES RESPUESTA: COSTO TO

(A) = 15.000 (B) = 15.368 (C) = 15.737 (D) = 16.105 (E) = 16.474
 (F) = 16.842 (G) = 17.211 (H) = 17.579 (I) = 17.947 (J) = 18.316
 (K) = 18.684 (L) = 19.053 (M) = 19.421 (N) = 19.789 (O) = 20.158
 (P) = 20.526 (Q) = 20.895 (R) = 21.263 (S) = 21.632 (T) = 22.000

