

01167

6
74

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
PLANEACIÓN



INGENIERÍA DE CALIDAD APLICADA A LA
INDUSTRIA PETROLERA (OPTIMACIÓN DEL LODO
DE PERFORACIÓN)

Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en
Planeación presenta:

LUCÍA ELENA GARCÍA ORTEGA

Director de Tesis:

M.I. Rubén Téllez Sánchez

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1996

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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

*Doy gracias al Santísimo Sacramento del altar y a la
Virgen María por todo lo que me han dado desde el primer
momento de vida.*

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN

i

I. LA INDUSTRIA PETROLERA MEXICANA



A. Origen y objetivos generales de PEMEX.	1
B. Significado económico y principales aportaciones de PEMEX	1
C. Características económicas	2
D. Reestructuración de PEMEX.	3
E. Problemática actual de PEMEX exploración producción.	6
F. Fluido de perforación	6
G. Funciones de los lodos de perforación	7
H. Propiedades de los lodos de perforación	8
I. Clasificación de los fluidos de perforación	9

II. INGENIERÍA DE CALIDAD



A. Historia de la calidad	10
1. Principales autores	10
2. Etapas de la calidad	12
B. Ingeniería de calidad	15
1. Una nueva manera de pensar	15
2. ¿Qué es calidad?	16
3. ¿Qué es ingeniería de calidad?	16
4. ¿Cuál es su filosofía?	16
5. Beneficios y contribuciones de la ingeniería de calidad	16
6. Actividades de la ingeniería de calidad	17
7. Tipos de ruido	17
8. Etapas en el desarrollo de un producto	18
9. Estrategia de la ingeniería de calidad	22
C. Herramientas básicas para el método Taguchi	23
1. Selección del diseño de parámetros	23
2. Diseño experimental en la ingeniería de calidad	25
a) Arreglos ortogonales.	25
b) Gráficas lineales.	30
c) Asignación de factores a un arreglo ortogonal	31

d) Análisis de datos utilizando arreglos ortogonales	32
1. Análisis de varianza	32
2. Análisis señal/ruido(S/R)	33
3. Pasos sugeridos en el diseño de experimentos	35
D. Función de pérdida de calidad	36
1. Tipos de características de calidad	37
2. Ecuación de la función de pérdida	38
3. Función pérdida y tolerancia para subcomponentes, partes y materiales.	42
4. Función de pérdida para más de una pieza	43

III. METODOLOGÍA PROPUESTA



A. Pasos de la metodología propuesta	46
1. Misión	47
2. Objetivo de calidad	47
3. Conocer bien el proceso	47
4. Equipo de trabajo	47
5. Identificar el problema en el proceso	48
6. Definir el enunciado del problema	48
7. Determinar el objetivo de calidad	48
8. Análisis del problema	49
9. Diseño de parámetros	50
10. Análisis de datos	50
11. Diseño del experimento	50
12. Realización del experimento y recolección de datos	51
13. Análisis de la información	51
14. Interpretación de los resultados	52
15. Corrida confirmatoria.	52
16. Resultados y conclusiones.	52
17. Normalización	52
18. ¿Qué se puede mejorar más?	52

IV. OPTIMIZACION DEL LODO DE PERFORACIÓN



A. Introducción	53
B. Metodología de la ingeniería de calidad aplicada al lodo de perforación	53
1. Misión	53
2. Objetivo de calidad	53
3. Conocer bien el proceso	54
4. Identificación del problema en el proceso	54
5. Definir el enunciado del problema	56
6. Determinar el objetivo de calidad	56
7. Análisis del problema	56
a) Descripción del proceso de elaboración del fluido de perforación	56
b) Selección de los factores que podrían contribuir a tener una densidad óptima	57
8. Diseño de parámetros y análisis de datos	59
9. Diseño del experimento	60
10. Realización del experimento y recolección de datos	60
11. Análisis de información e interpretación de resultados	60
a) Efecto promedio para cada lodo	62
b) Óptimo papel	63
c) Tabla de análisis de varianza	63
d) Gráficas factoriales.	65
e) Óptimo económico	67
f) Optimización y predicción	67
12. Corrida confirmatoria.	67
13. Resultados y conclusiones	68
1. Análisis de costo	68
a) Análisis beneficio-costo	68
b) Análisis función de pérdida	68
14. Normalización	69
15. ¿Qué se puede mejorar más?	69
CONCLUSIONES	70
APÉNDICE A	73
APÉNDICE B	81
APÉNDICE C	83
APÉNDICE D	90
BIBLIOGRAFÍA.	95

INTRODUCCIÓN.

A ctualmente el mundo se encuentra inmerso en una nueva era, caracterizado por el fenómeno de la globalización. Esto quiere decir que se han abierto sus fronteras entrandó en un proceso de contacto e intercambio nunca antes vivido tanto en lo cultural, social, científico, tecnológico como en lo comercial.

México ha dado los primeros pasos para colocarse, como el resto de los países dentro de esta apertura, en términos comerciales, por lo que enfrenta el reto de reestructurar su aparato productivo a fin de mantenerse dentro de la competencia mundial.

Es vital que los sectores empresariales respondan con las técnicas y conductas adecuadas a las exigencias del nuevo mercado con calidad, costo y tiempo de entrega. Sin embargo gran parte de las empresas mexicanas aun no se encuentran preparadas para afrontar tal reto, pues carecen de sistemas de producción y calidad adecuados a los requerimientos internacionales, dadas las condiciones de proteccionismo a las que estuvieron sujetas por tanto tiempo.

Los últimos años se han caracterizado por impulsar que las empresas lleguen a tener calidad y productividad para satisfacer a los clientes ya que la competencia entre ellas ha amenazado su existencia. La competencia se ha abierto a niveles internacionales, los clientes identifican cada vez más proveedores y se tornan más exigentes, los problemas financieros se han expandido por todos los países, los cuales pretenden resolverlos a través de estrategias comerciales a nivel internacional. Este tipo de comercio requiere de calidad y productividad.

El problema central de las empresas mexicanas (entre ellas la Industria Petrolera Mexicana) es que no se tiene una cultura de lo que es la calidad, muchas empresas piensan que solo con cumplir con las especificaciones de tolerancia de calidad están haciendo calidad y no buscando una mejora continua.

Si la meta es mejorar la calidad, a través del logro de ésta se reducirán costos de ingeniería industrial y de servicios, vía la optimización del diseño y de los procesos para lograr productos y procesos, mediante la creación de diseños al mínimo costo posible; por ello es importante un cambio cultural hacia la calidad.

Para obtener un control de calidad efectivo es necesario la cooperación de todo el personal de la empresa desde la alta administración hasta el trabajador de limpieza, por lo que es necesario implantar métodos sencillos pero que al mismo tiempo sean efectivos y no incrementen costos de producción.

Existen varios enfoques para aumentar la calidad y productividad, dentro de ellos destaca la ingeniería de calidad, el cual está constituida por una sistematización de varias técnicas estadísticas y de ingeniería planteadas, por Genichi Taguchi.

La ingeniería de calidad ha despertado grandes expectativas a empresas que ven en ella la oportunidad de mejorar la calidad en áreas en las que se enfrentan materias primas de baja calidad, variaciones en las máquinas y en algunos casos, a pesar de llevar un control estadístico y lograr índices aceptables, los clientes no están satisfechos del todo con el producto.

La ingeniería de calidad con respecto al diseño clásico de experimentos proporciona las siguientes ventajas:

- Mejora la comunicación entre grupos funcionales
- Ayuda a la empresa a determinar los métodos de control de procesos con rapidez.
- Utiliza un método más eficaz para el cambio de procesos
- Reduce costos de procesos
- Puede aplicarse a varios procesos

El interés en la ingeniería de calidad crece a medida que las empresas estadounidenses han comprobado su eficiencia. La ingeniería de calidad reduce costos disminuyendo la variación, lo que dará como resultado una calidad mejorada permitiendo perfeccionar los diseños y procesos.

Uno de los objetivos de la tesis es aplicar la ingeniería de calidad en la industria petrolera para obtener los beneficios de ella.

PROBLEMÁTICA

Según PEMEX Exploración Producción (PEP), ha notado una disminución en la producción de hidrocarburos y aumentos en los gastos de operación, esto es causado por la corta vida del pozo que en promedio oscila entre 1.5 a 2 años. Normalmente la vida de un pozo es de 5 años. Cuando la vida del pozo es corta se tiene que realizar reparaciones y estimulaciones a éste para que alarguen artificialmente su vida. Las reparaciones y estimulaciones del pozo son de elevados costos, las reparaciones pueden durar hasta 2 semanas; esto eleva los gastos de operación y la disminución de la producción de hidrocarburos. Algunas de las causas que han provocado la corta vida del pozo es el lodo de perforación, conclusiones obtenidas del capítulo 4. Recordemos que uno de los objetivos de PEMEX es extraer la mayor producción de hidrocarburos, para su permanencia y sostenimiento de él mismo.

OBJETIVO

El propósito de este trabajo es presentar a la ingeniería de calidad por medio de una metodología propuesta de una manera sencilla y clara que permita su aprendizaje y manejo a todo personal de una empresa, sin requerir para ello de profundos conocimientos matemáticos aplicándolo a la Industria Petrolera con el fin de optimar el lodo de perforación más adecuado , el cual reducirá los gastos de operación, obteniendo mayor producción y alargando la vida del pozo.

MÉTODO:

- Se define el problema haciendo un claro enunciado de los principales puntos a ser resueltos
- Se determina el objetivo, identificando las características de salida, preferentemente medibles
- Se identifican los factores que se consideran que influyen en la característica de salida, por medio de tormenta de ideas y diagramas causa-efecto
- Se determinan los niveles y valores para cada factor
- Se diseña el experimento, eligiendo el arreglo ortogonal apropiado
- Se realiza el experimento y se recolectan datos
- Se analizan los datos por medio de tablas de respuesta promedio, gráficas de respuesta promedio y ANOVA
- Se interpretan los resultados eligiendo los niveles óptimos de los factores de control para las características de calidad y se realiza la predicción de los resultados para las condiciones óptimas
- Se lleva a cabo la corrida para verificar los datos
- Se analizan las soluciones vía Costo/Beneficio y el estudio de la función de pérdida de calidad

CONTENIDO DE LA TESIS

El capítulo 1 presenta una descripción del sistema focal: la Industria Petrolera. El capítulo 2 presenta los conceptos básicos de la ingeniería de calidad. El capítulo 3 presenta una metodología propuesta, para facilitar su aplicación. El capítulo 4 presenta una aplicación a la industria petrolera y finalmente las conclusiones.

I. LA INDUSTRIA PETROLERA MEXICANA



La industria Petrolera es de gran importancia para la economía mexicana iniciándose en 1904 con la terminación del pozo la pez N.1., con una profundidad de 502 mts. y con una producción de 15000 barriles/día. La producción de crudo estuvo a cargo de empresas extranjeras durante 34 años, pero en 1938 es nacionalizada y pasa a ser propiedad del estado; así da inicio Petróleos Mexicanos (PEMEX.)

A. Origen y objetivos generales de PEMEX

Petróleos Mexicanos es una empresa creada por decreto presidencial el 7 de junio de 1938, como organismo público descentralizado del gobierno federal, de carácter técnico, industrial y comercial; con personalidad jurídica y patrimonio propio.

Los objetivos fundamentales de PEMEX han sido, desde la nacionalización de la industria: la explotación, exploración, transformación industrial, almacenamiento, distribución y venta de primera mano del petróleo, gas natural, productos derivados y materias primas industriales básicas.

B. Significado económico y principales aportaciones de PEMEX.

Según SEMIP, 1995⁽¹⁴⁾; PEMEX ha cumplido exitosamente el papel de ser pilar fundamental de la economía a la sociedad del país. En diferentes etapas del desarrollo nacional ha hecho posible y promovido el desenvolvimiento económico y social, tanto como oferente de insumos y bienes estratégicos, como por la gran capacidad de demanda de sus gastos de operación e inversión.

Primeramente, de 1938 a 1950, logró consolidar la nacionalización de la industria petrolera con recursos propios y, al mismo tiempo, reestructurar y relocalizar la planta productiva para orientarla al mercado interno. Después, de 1951 a 1975, fue un fuerte impulsor de la estrategia de sustitución de importaciones, al desarrollar aceleradamente la industria petroquímica.

De 1977 a 1982, se logró expandir, desarrollar y transformar notablemente la magnitud de la industria petrolera, convirtiéndola en el detonante del dinamismo económico nacional mediante: crecientes estímulos de inversiones, incorporación de nuevas reservas, mayor

producción de crudo ,capacidad de transformación industrial y penetración en el mercado internacional del crudo.

De manera particular se puede destacar que PEMEX, durante más de medio siglo de existencia:

- Es principalmente generador de la oferta total de energía primaria del país, alcanzando niveles hasta un 90% de la mayor parte que ha demandado el aparato productivo.
- Es la principal fuente de contribución de impuestos, con aportaciones del 45% de recaudación fiscal.
- Es la más importante fuente generadora de divisas del país. Las exportaciones petroleras representan entre 60 y 74 % de las exportaciones.

C. Características económicas

En materia de impuestos, PEMEX enteró recursos al fisco del 30 y 25 % del total de ingresos presupuestales del Gobierno Federal, y el 73 y 63 % por ciento de los ingresos de la empresa. Sus exportaciones totales aportaron al país alrededor de 10000 millones de dólares que representan el 60% del total de divisas captadas por exportaciones de mercancías

1. Estados financieros consolidados

Según el informe anual de labores⁽¹⁴⁾, 1995; petróleos mexicanos generó un redimiendo neto de 3999 millones de nuevos pesos, las ventas totales sin incluir impuesto fue de 3313 millones de nuevos pesos en ventas internas y de 1785 millones de nuevos pesos en ventas externas, los activos totales ascendieron a 185 229 millones de nuevos pesos, cifra superior a la del año anterior.

Conforme a las cifras preliminares se observan los siguientes indicadores financieros

	1994	1995	Variación
Rendimiento sobre patrimonio	2.8	3.5	.7
Rendimiento sobre ventas	4.8	5.9	1.1
Estructura financiera	70.9	61.5	(9.4)
Liquidez	1.6	1.2	.4
Capital de trabajo	10534	3904	6630

Tabla de indicadores financieros

2. Producción de petróleo crudo

Según el informe anual de labores⁽¹⁴⁾; 1995; la producción de petróleo crudo fue de 2685 MBD volumen que superó en 12 MBD al obtenido al año anterior. La producción proviene principalmente de los yacimientos de la Región Marina que elevó su aportación en 52 MDD.

La producción de la región sur declinó en 39 MBD mientras que en la región norte se mantuvo a su nivel. La producción de crudo se reparte en 45% de crudo pesado, 35% de ligero y el restante es de superligero.

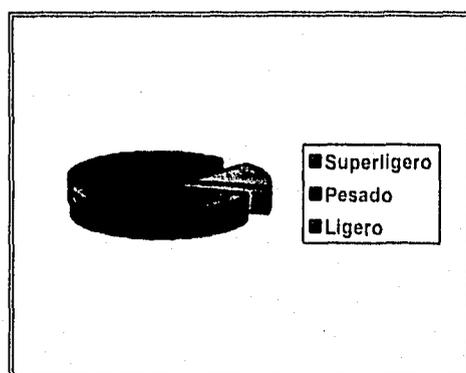


Figura 1.1 Producción de crudo

3. Reservas de hidrocarburos

A nivel internacional PEMEX ocupa una importante posición; se ubica en el octavo lugar mundial por sus reservas probadas, en materia de producción de petróleo crudo ocupa la sexta posición; el décimo tercero en producción de gas natural y el décimo primero por su capacidad de destilación primaria de crudo.

A fines de 1995, las reservas probadas de petróleo crudo con las que contó México en cada zona petrolera son de 47% en la Región Marina, 30% en la Zona Sur y el restante en la Región del Norte:

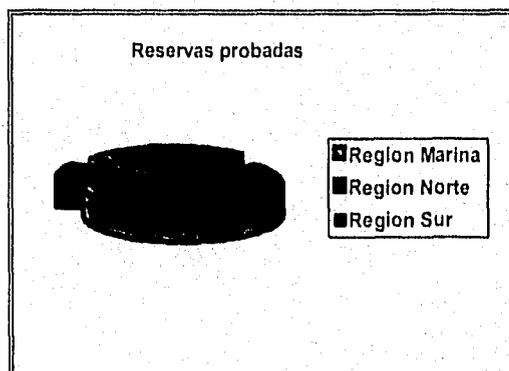


Figura 1.2 Reservas Probadas

D. Reestructuración de PEMEX

Según SEMIP⁽¹⁴⁾, 1995; durante la mayor parte de la década de los ochenta, la economía de Petróleos Mexicanos registró un desarrollo desfavorable al comprimirse el dinamismo de sus actividades, sus resultados y expansión de años anteriores.

Los factores externos que más impactaron y deterioraron la economía petrolera fueron de diversa índole. Por una parte, la adversidad del mercado internacional del petróleo, cuya volatilidad, inestabilidad y ecentuada competencia hizo caer los precios e ingresos derivados de exportaciones. Por otra, la notable recesión de la economía, la severa e indiscriminada restricción presupuestal del gasto público y, en general, la rigurosa revisión a que fue sometida la política y la administración de PEMEX para atender los requerimientos de reordenación económica del país. Sin embargo, también actuaron negativamente sobre el dinamismo y contracción económica de la empresa, factores internos de carácter estructural y conyuntural que fueron relevantes al propiciar deficiencias administrativas y operativas. Dichos elementos fueron: el deterioro de la productividad, de la capacidad productiva, de las exportaciones de crudo, de la competitividad operativa, la dificultad para abatir costos, el excesivo crecimiento de personal, un obsoleto e ineficiente marco de relaciones laborales, así como estructuras y sistemas administrativos anacrónicos y deficientes.

1. Deterioro de la productividad

Uno de los principales factores internos determinantes del cambio y modernización de la empresa, han sido el marcado deterioro de la productividad que se viene observando, desde la época del "auge petrolero". Desde mediados de los sesenta, la productividad total de PEMEX ha registrado un comportamiento desfavorable.

Entre las causas probables de este retroceso en la productividad se pueden citar dos. Por una parte, las grandes y crecientes inversiones realizadas maduraron lentamente y, la mala planeación en la aplicación de recursos, rezago en la construcción y en la operación de nuevas plantas. Por otra parte fue decisiva la creciente presión que existió para aumentar la capacidad de producción y exportación. Se subordinaron los criterios de eficiencia a los de efectividad de los resultados.

La presión que ejerció el crecimiento de la demanda de petrolíferos, obligó a acelerar prioritariamente la realización de adquisiciones, nuevas instalaciones y la ampliación tanto de centros de trabajo como las plantas, sin embargo, la optimización y eficiencia de las inversiones no fueron precisamente consideraciones de primer orden. Se observó un crecimiento excesivo del personal ocupado, en contradicción con la aplicación de tecnologías modernas.

A partir de 1983, la severa recesión económica del país y la reducción de precios e inestabilidad del mercado internacional del petróleo, determinaron una notable contracción en el crecimiento de la industria que fue de 3%.

Hubo una notable declinación de la productividad por la sobreexplotación de yacimientos e intensificación de las técnicas secundarias de recuperación; todo ello, determinó que aumentaran los costos de operación

2. Debilitamiento de la capacidad productiva

a) Reservas probadas

El desarrollo, mantenimiento, perspectivas, ritmo de crecimiento y, por ende, el futuro energético del país, están sustentados en una adecuada disponibilidad de reservas de hidrocarburos. En los ochenta, se mantuvieron niveles de reservas relativamente holgados. No obstante, el nivel de reservas de hidrocarburos registró una importante disminución debido a la reducción significativa de la inversión en la exploración y perforación de pozos. En 1982 se había alcanzado el nivel histórico más alto de reservas probadas con 72500 millones de barriles de hidrocarburo líquido total. Sin embargo en los siguientes años el volumen de reservas disminuyó en un 10.3 %. La razón radica en el ya muy conocido y debatido caso del área del Paleocañon de Chicontepec, donde se estima el 26% de las reservas totales identificadas. Esta área no es rentable la explotación, además de representar grandes costos políticos, económicos y sociales. En consecuencia si se reduce el volumen de esta área las reservas serían alrededor de 48 000 millones de barriles

b) Exportación de crudo

La acentuada competitividad y cambios en la correlación de fuerzas entre organizaciones de países productores y consumidores de hidrocarburos, como la OPEP y la AIE, debilitaron precios y volúmenes de exportaciones del crudo mexicano.

3. Excesivo crecimiento del personal

El crecimiento explosivo del personal fue uno de los rasgos distintivos de las administraciones de PEMEX durante la mayor parte de los ochenta. De hecho existió, una marcada proclividad a incrementar el empleo en forma desproporcionada con respecto a las necesidades reales, ritmo y niveles de la producción e inversión de la industria. De 1980 a 1987 el empleo creció un 58%, con lo cual la industria petrolera alcanzó su máximo nivel histórico laboral con 210,157 trabajadores. La mayor parte de los nuevos trabajadores, se contrataron bajo el régimen transitorio, con lo cual se consolidó aún más el predominio de este tipo de trabajadores en la estructura del empleo, representando el 55% del total en 1987. Las ramas de administración, comercio y petroquímica se multiplicaron a un 2.35, 2.11 y 2.16 veces el personal. En contraste, el empleo en las áreas operativas de producción primaria y refinación tuvo incrementos modestos. Cabe destacar que el crecimiento explosivo del personal fue también acompañado de un aumento de la burocracia directiva, creando negligencia y corrupción entre los empleados. El convenio laboral que existía también era obstáculo para el cambio y para la administración

eficaz y eficiente, además de instrumento para fijar ataduras e imposiciones sobre la contratación del personal. En las políticas de empleo predominaron criterios empiristas o de interés de grupo.

4. Estructuras y sistemas administrativos anacrónicos y deficientes

Predominaba una estructura piramidal y centralizada que tomaba decisiones no acordes con las necesidades de PEMEX, además de concentrar los recursos. La organización estaba, además, desfasada en relación con los requerimientos planteados por las dimensiones y complejidades tecnológicas. Esta situación se agravó considerando que en la década de los 80³ se multiplicó el aparato burocrático. Los sistemas de planeación, dirección, control, información y evaluación, no operaban eficazmente, obteniéndose una baja calidad administrativa.

5. Limitada capacidad de producción de hidrocarburos frente a la creciente demanda interna y de exportaciones

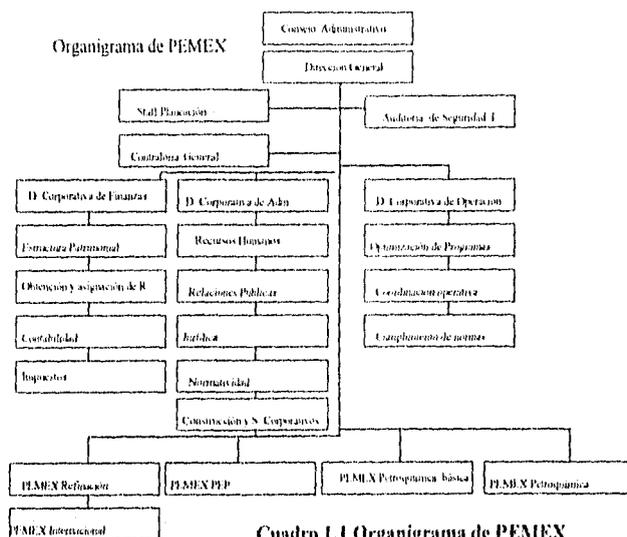
Este factor es de importancia para la reestructuración de PEMEX, ya que en el futuro inmediato la industria petrolera enfrentará una de las etapas difíciles de su historia, esto es responder a los requerimientos de energía del país en el mediano plazo y, al mismo tiempo, continuar apoyando la estrategia de desarrollo de la nación.

El consumo de energía generalmente se ha incrementado con rapidez. La consecuencia inevitable es: entre mayor sea el crecimiento económico, la demanda de energía, particularmente de petrolíferos, se elevará en proporciones superiores. Conviene insistir en el hecho de que las expectativas de la exploración y explotación de la industria petrolera no son, hasta cierto punto, muy alentadoras. De continuar con los ritmos de producción y con base a las reservas actuales, México cuando mucho tendrá capacidad para explotar sus yacimientos de aquí al año 2030.

Todas estas causas provocaron que PEMEX se reestructurara de la siguiente manera

- PEMEX Exploración y Producción
- PEMEX Refinación
- PEMEX Gas y Petroquímica
- PEMEX Petroquímica
- PEMEX Corporativo
- PEMEX Internacional

El organigrama de PEMEX ; se muestra en el cuadro 1.1.



E. Problemática actual de PEMEX exploración producción

Uno de los problemas más importantes y de trascendencia para la estabilidad y permanencia de PEMEX, que se afronta en la actualidad se encuentra en el área de PEMEX exploración y producción, consiste: en la corta vida del pozo(baja producción de petróleo) y aumento en los gastos de operación. De las conclusiones recabadas del capítulo 4 se concluyó que algunas de las causas que han provocado dicho problema es el lodo de perforación. Recordemos que uno de los objetivos de PEMEX es extraer la mayor producción de petróleo para pagar la deuda externa con petróleo a E.U. por lo tanto es de gran importancia tener cuidado en la selección del fluido de perforación con las densidades adecuadas ya que si no se selecciona el adecuado se tendrá problemas en las siguientes etapas de la extracción del hidrocarburo acarreado con ello la baja producción de petróleo. A continuación se dará una breve explicación de las características del fluido de perforación.

F. Fluido de perforación

En la jerga petrolera el fluido de perforación se llama lodo de perforación y básicamente esta compuesta de 2 fases, una sólida y otra líquida; la fase líquida generalmente es agua aunque puede ser aceite o una emulsión de agua en aceite. La fase sólida generalmente es una arcilla sódica conocida con el nombre de bentonita; también frecuentemente se utiliza sulfato de bario.

G. Funciones de los lodos de perforación.

Los fluidos de perforación fueron introducidos al iniciarse la perforación rotatoria en 1901. Al principio se utilizaron con el objeto de servir como vehículo de acarreo para eliminar los recortes perforados en el fondo del pozo por la barrena, pero con el progreso se han hecho más sofisticados. Se han introducido aditivos capaces de impartirles propiedades específicas y

pasaron de ser un fluido simple a una mezcla complicada de líquidos y sustancias químicas. Sus funciones son las siguientes:

- A) Mantiene bajo presión los fluidos que se encuentran en el yacimiento: ésta función evita que durante la perforación de los pozos se llegue a presentar un brote o descontrol.
- B) Eleva los recortes a la superficie, evitando que éstos se acumulen en el interior del pozo para evitar atrapamientos de tubería.
- C) Mantiene en suspensión a los recortes durante la perforación del pozo. Esta función es útil, ya que si durante la perforación se suspende la circulación del lodo, los recortes se precipitarán al fondo y atraparán a la barrena y a las herramientas.
- D) Limpia, lubrica y enfría la barrena. Lo anterior se logra con la circulación del lodo ya que al estar en contacto con la barrena en el fondo se enfría por contacto, así como se lubrica y limpia; al llegar a la superficie el fluido de perforación se enfría nuevamente.
- E) Limpia el fondo del pozo de los recortes de formación que la barrena hace al estar perforando al pozo. Se logra por la velocidad que adquiere el lodo al pasar por las toberas de la barrena.
- F) Mantiene la estabilidad de las formaciones durante la perforación del pozo evitando que éstas se derrumben. Esto generalmente se presenta en formaciones problemáticas como son: las lutitas y domos salinos
- G) Evita el daño a las formaciones productoras. Esta función es muy importante a fin de no reducir la permeabilidad de las formaciones.
- H) Reduce el peso de las tuberías y herramientas que se introducen al pozo, es decir hay un efecto de flotación. Esto permite tener menos fatiga o cargas sobre la torre de perforación
- I) Facilita el análisis en superficie de los recortes de la formación.
- J) Facilita la toma de registros geofísicos.

H. Propiedades de los lodos de perforación.

1. Densidad del lodo

La densidad de un lodo de perforación debe controlarse para dar suficiente presión hidrostática y prevenir la entrada al pozo a los fluidos de la formación, así mismo el control de la misma.

sirve para no sobrepasar dicha presión y causar pérdidas de circulación o afectar en forma adversa el avance de perforación.

2. Viscosidad del lodo

La viscosidad de un fluido se define como su resistencia al flujo; la viscosidad deseada para cada caso particular esta influenciada por varios factores, incluyendo la densidad del lodo, tamaño del agujero, gasto de la bomba, avance de perforación, requerimiento de presión y problemas del agujero. La viscosidad aparente de un lodo es la medida de un grado de viscosidad que es función de tres componentes:

1. Viscosidad de la fase líquida.
2. Tamaño, formas y número de partículas.
3. Fuerza entre dichas partículas

3. Gelatinosidad

Cuando el lodo no tiene movimiento adquiere cierta consistencia de gelatina, al agitar el lodo adquiere la fluidez original

I. Clasificación de los fluidos de perforación

Los fluidos de perforación se clasifican con base a su componente principal , que puede ser agua, aceite y gas, a continuación los lodos se clasifican en:

Lodos de gas

- Gas seco(aire, gas natural)
- Niebla: son pequeñas gotas de agua llevado en una corriente de aire
- Espuma: son burbujas de aire rodeadas por una partícula de agua con un surfactante
- Espuma estable: contiene una película reforzada con polímeros orgánicos

Lodos de agua

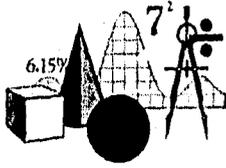
- Agua dulce
- Agua salada
- Surfactantes
- Orgánicos

Lodos de aceite

- Lodo de aceite con base de diesel
- Agua y agente emulsificante



II. INGENIERÍA DE CALIDAD



A. Historia de la Calidad

1. Principales Autores

La calidad es un concepto que surge desde hace mucho tiempo, pero que continúa su desarrollo para adaptarse hacia un enfoque de competitividad.

Se han propuesto muchas definiciones sobre calidad, aquí empezaremos con el concepto:

¿Qué es calidad?

La calidad es como el arte, todo el mundo habla de ella, cada quien da su propia definición.

En Japón se traduce por "hinshitsu", una palabra escrita con dos caracteres chinos, una quiere decir "bienes" y la otra "calidad".

Según Genichi Taguchi "La calidad de un producto es la pérdida mínima que se concede a la sociedad desde el momento de embarcar el producto".

Otras definiciones:

- Calidad es anticipar, identificar y satisfacer las necesidades de los clientes internos y externos.
- Hacerlo bien a la primera vez.
- Satisfacer las necesidades del cliente.
- El ser excelente.
- Adelantarnos a las expectativas del cliente.



A continuación se mostraran cuadros comparativos de las metodologías y filosofías de los autores más representativos ver Cuadro 2.1 y Cuadro 2.2²⁰

CUADRO COMPARATIVO DE FILOSOFÍAS.				
DEMING		CROSBY	JURAN	ISHIKAWA
1.-Constancia en mejorar los productos y servicios.	7.-Instituir el liderazgo.	1.-Cumplir con las especificaciones del producto.	1.-Concientizar de los riesgos de una baja calidad.	La productividad y la calidad se basan en:
2.-Adoptar una nueva filosofía y desechar la antigua donde se acepta productos defectuosos.	8.-Abrir la comunicación bilateral en la empresa.	2.-Prevención en lugar de corrección.	2.-Adecuar los productos y servicios para el uso.	1.-Confianza.
3.-Eliminar la dependencia del control masivo y establecer el control.	9.-Derribar las barreras que hayan entre áreas de línea y staff.	3.-Lograr el "cero defectos".	3.-Lograr conformidad con las especificaciones.	2.-Sutileza.
4.-Reducir las opciones de los proveedores, el precio pierde importancia cuando no se considera la calidad.	10.-Involucrar el área de capacitación para el uso adecuado de los mensajes motivacionales.	4.-Precio de incumplimiento.	4.-Las mejoras se logran trabajando proyecto por proyecto.	3.-Intimidad.
5.-Identificar estadísticamente las fallas de sistemas y operación.	11.-Eliminar estándares y cuotas numéricas.		5.-La calidad es el mejor negocio.	
6.-Instituir la capacitación en el trabajo.	12.-Crear un sentimiento de orgullo de un trabajo bien hecho.			
	13.-Crear programas de reentrenamiento.			
	14.-Innovar todo para lograr la transformación.			

Cuadro 2.1. Comparativo de filosofías²⁰



CUADRO COMPARATIVO DE METODOLOGÍAS.			
DEMING	CROSBY	JURAN	ISHIKAWA
Ciclo Deming.	1.-Establecer el compromiso de la dirección.	1.-Detectar áreas de oportunidad.	Las siete herramientas estadísticas:
1.-Planear.		2.-Establecer metas de mejoras.	1.-Diagrama de Pareto
2.-Actuar.	2.-Crear equipos de mejoramiento de calidad.	3.-Planear el logro de metas.	2.-Análisis de causa y efecto.
3.-Verificar.		4.-Brindar capacitación	3.-Estratificación.
4.-Mejorar.	3.-Establecer la medición de la calidad.	5.-Emprender proyectos.	4.-Hoja de verificación.
	4.-Evaluar el costo de la calidad.	6.-Registrar el avance.	5.-Gráficas y cuadros de control.
	5.-Crear conciencia de la calidad.	7.-Dar reconocimientos.	6.-Calendarización.
	6.-Aplicar las acciones correctivas.	8.-Comunicar resultados.	7.-Presentación a la gerencia.
	7.-Planear el "cero defectos".	9.-Evaluar.	
	8.-Educar al personal.	10.-Mantener el empuje haciendo mejoras anuales.	

Cuadro 2.2. Comparativo de metodologías ²⁰

2. Etapas del control de calidad

Según Rubén Tellez⁽⁷⁾, 1989; las etapas de control de calidad son:

Etapas 1. Inspección después de la producción (orientada al producto)

La forma tradicional del control de calidad es la inspección después de la producción en donde se desarrollan planes de muestreo estadístico, curvas características de operación y tablas para



niveles de calidad de aceptación. Las actividades de control incluyen auditorías en los productos terminados y el personal de calidad es responsable de definir las causas de los defectos, desarrollar acciones correctivas y evaluar resultados (verificación de datos).

Sin embargo, este modo de pensar de corrección de defectos o enfoque a la calidad "por reacción", manifestado a través de fijación de problemas es una garantía contra el mejoramiento de la calidad. En el CCAE, la administración superior lleva a cabo auditorías sobre el sistema más que sobre el producto, estableciendo énfasis en cambios en el sistema para el mejoramiento de la calidad; se plantean cuestiones como las siguientes:

-¿Cuáles son los problemas principales de los clientes y cuál es el plan de acción correctiva para cada uno de ellos?

-¿Cuál es la capacidad del proceso y qué se está haciendo para reducir la variabilidad?

Esto conducirá a toda la organización a determinar los factores casuales y las acciones correctivas, así como un mejoramiento en la calidad.

Etapa 2. Control de calidad durante la producción (orientada al proceso)

El aseguramiento de la calidad durante la producción está sustentado principalmente en el control estadístico del proceso (CEP). Al usar éste algunas compañías aumentan su productividad mientras otras no lo logran, las razones de esto son:

- Uso inapropiado de los métodos del control estadístico del proceso
- Carencia de conocimiento en el diseño óptimo de productos y procesos

Estas causas pueden ser mitigadas a través de la educación y el entrenamiento, el cual debe empezar desde los niveles más elevados de la administración.

El error más común y serio en relación al CEP es la idea de que constituye una técnica o método para controlar el proceso. Sin embargo, la potencia de las cartas de control está en su habilidad para ayudar a identificar las causas de variación y separar causas comunes de causas especiales, de tal manera que se pueda cambiar el proceso para reducir su variabilidad. En consecuencia, es importante y deseable tener algunos puntos fuera de los límites de control porque representan causas de variabilidad ante las cuales se puede reaccionar para mejorar.

Etapa 3 Aseguramiento de la calidad involucrando todos los departamentos (orientada al sistema empresa)

El enfoque de sistemas orientado a la calidad ha sido popular e incluso se ha cambiado la estructura de empresas para reflejar este pensamiento: organizaciones separadas han sido creadas



para desarrollar la función de la ingeniería de sistemas e interactuar con las diferentes actividades asociadas con diseño, producción y ensamble. Es importante subrayar la necesidad e importancia de la interacción y entrelazamiento fuertes tanto en la estructura horizontal, como vertical de las organizaciones.

Etapa 4 Educación y entrenamiento(orientada al aspecto humanístico de la calidad).

Se parte de que únicamente a través de la educación se puede cambiar la manera de pensar de la gente: el entrenamiento se hace solamente para mejorar habilidades o destrezas.

La capacidad del personal es más importante que la capacidad del proceso y la principal tarea de la administración es mejorar la capacidad de todos los empleados, a través de la educación y entrenamiento, los cuales son reflejados en menores costos de producción a través de la optimización del diseño de productos y procesos, donde se requieren niveles adecuados de conocimientos técnicos; y también se genera un impacto sobre el desarrollo organizacional del control; los empleados en todos los niveles pueden operar más independientemente si ellos son apropiadamente educados y entrenados, eso tiene un impacto directo sobre el número de empleados y de niveles entre la línea de los trabajadores y la administración superior.

Etapa 5 Optimización en el diseño de productos y procesos para una función más robustas (orientada a la sociedad)

La calidad se identifica como la pérdida a la sociedad desde el momento en que el producto se embarca, esta pérdida que es medida en unidades monetarias se vincula con la tecnología del producto: a través de esta definición de calidad el ingeniero viene a ser "bilingüe" al hablar simultáneamente los lenguajes de las cosas y el dinero.

Etapa 6 La función de pérdida (orientada a costos)

La pérdida de calidad es la pérdida financiera generada a la sociedad después de que se embarca el producto, incluyendo costos de producción, costos de mantenimiento, costos de venta, etc.

En la definición de calidad a través de la función de pérdida se vincula a la pérdida financiera con especificación funcionales de una relación cuadrática:

$$L(y)=k(y-m)^2$$

"L" es la pérdida causada a la sociedad por desviaciones de un valor nominal "m", "y" es el valor de la características del producto, "k" es una constante que está compuesta -idealmente- de todos los costos internos, costos de garantía y campo, el costo a clientes y el costo a la sociedad; cuando se empieza a usar la función de calidad no es importante que "k" represente la totalidad



de costos a la sociedad: se podría limitar a considerar los costos internos, considerando costos de garantía y campo; y conforme se gane experiencia, se hace posible cuantificar la pérdida a clientes y a la sociedad.

Etapa 7 Despliegue o expansión de la función de calidad para definir la “voz del consumidor” en términos operacionales (orientada al consumidor)

“La voz del consumidor” es la información original que debe ser traducida en lenguaje técnico, se busca que el cliente identifique sus requerimientos primarios de las características de calidad. Sin embargo, a menudo se mencionan otros requerimientos, cuando, se cuestiona a los clientes acerca de lo que desean.

B. Ingeniería de Calidad

1. Una Nueva Manera de Pensar.

Para ITESM,⁽²¹⁾ 1990; los métodos tradicionales de control de calidad están relacionados principalmente con la función del producto y cumplimiento con las especificaciones de ingeniería. En ingeniería de calidad ha surgido una perspectiva de la calidad totalmente diferente, basada en la pérdida del consumidor debida a la diversidad en la función del producto, así como en los cambios en el ambiente de operación y diferencias entre productos de un mismo diseño.

Los métodos de Ingeniería de calidad forman una manera de pensar que no presenta nuevos conocimientos en estadística. Desde un punto de vista práctico, estos métodos se basan en conceptos económicos que pueden estar en conflicto con la teoría estadística tradicional y la tecnología tradicional sobre el control de calidad, la nueva manera de pensar resulta en diseños robustos de productos y procesos con un mínimo costo para el consumidor.

2. ¿Qué es la Calidad?

Para Genichi Taguchi⁽²¹⁾, 1990; la define como: calidad es la pérdida que causa un producto a la sociedad.

La pérdida a la sociedad se asocia con cualquier producto que llega a las manos del consumidor que incluye:

- Insatisfacción al cliente.
- Costo adicional por garantía del fabricante.
- Pérdida de mercado por mala reputación.



3. ¿Qué es la ingeniería de calidad?

La ingeniería de la calidad es una sistematización de varias técnicas estadísticas de ingeniería que enfrenta el problema de la calidad desde un punto de vista integral planteada por Genichi Taguchi.

4. ¿Cuál es su filosofía?

Para Genichi Taguchi⁽⁸⁾, 1991; la filosofía de Ingeniería de calidad es optimizar productos y procesos, cerrando diseños robustos al mínimo costo posible.

¿Cómo?

Utilizando los factores controlables de manera que se minimicen los efectos de factores fuera de control; a través de la combinación de la ingeniería y métodos estadísticos para alcanzar rápidas mejoras en costos y calidad.

5. Beneficios y Contribuciones de la Ingeniería de Calidad.

Según Rúben Tellez⁽⁷⁾, 1989; los beneficios y contribuciones son:

- La ingeniería de calidad combina métodos de ingeniería y estadística para mejorar costos y calidad, optimizan el diseño de productos y procesos de manufactura. Las herramientas que utiliza son: función de pérdida y la relación señal-ruido: que nos permiten identificar las áreas de mejoría al mínimo costo.
- Nos proporciona un mejoramiento rápido en el diseño de productos y procesos. La ingeniería de calidad provee un marco de referencia integral. El entrenamiento de ingenieros de diseño y personal de manufactura da lugar que tengan objetivos comunes, esto ayuda a romper las barreras de comunicación entre estos dos grupos.
- Simplifica las ideas de Fisher para que los ingenieros, científicos y técnicos puedan aplicar el diseño de experimentos.
- Simplifica el diseño de experimentos empleando arreglos ortogonales, gráficas lineales y tablas de interacción.
- Aporta una nueva forma de concebir la calidad: la función de pérdida.
- Introduce la relación señal/ruido.



- Implementa con éxito el diseño de experimentos en las etapas de desarrollo de productos y procesos.
- Aplica con éxito el diseño de experimentos en la manufactura.
- Introduce el concepto de robustez contra el ruido por medio del cual, en lugar de eliminar la causa de un efecto, se hace el producto o proceso insensible a la causa.

6. Actividades de la ingeniería de calidad

Para Genichi Taguchi⁽¹⁰⁾, 1990; la ingeniería de calidad lleva a cabo actividades dirigidas a reducir las pérdidas causadas por la variación, las cuales se deben incorporar a cada paso del desarrollo y manufactura del producto, a fin de prevenir los efectos de los factores de ruido (factores indeseables e incontrolables que causan que las características funcionales de los productos se desvían de su valor meta).

La secuencia de manufactura, desde el desarrollo del prototipo del producto hasta el servicio al cliente, incluye las siguientes etapas:

a) Ingeniería de calidad fuera de línea

- Diseño del producto: Investigación y desarrollo del prototipo del producto
- Diseño del proceso: Diseño del proceso de producción para la manufactura del producto

b) Ingeniería de calidad en línea

- Producción actual
- Servicio al cliente

Las actividades de la ingeniería de calidad fuera de línea tienen lugar en las etapas de diseño del producto y del proceso, utilizando el diseño de experimentos. Incluye el diseño del sistema, como al de parámetros y tolerancias

Las actividades de la ingeniería de calidad en línea se dan en la etapa de producción. Incluyen sistemas de control de procesos, uso de factores de ajuste e inspección. El control estadístico del proceso (CEP) es una manera de aplicar la ingeniería de calidad en línea (fig 2.1)⁽⁷⁾

7. Tipos de ruido

Para Genichi Taguchi⁽⁸⁾, 1991; los productos enfrentan una serie de factores que impactan su funcionamiento produciéndole variabilidad, a estos factores se les llama factores de error o ruido. Hay 3 tipos de ruido: Fig 2.2⁽⁷⁾.

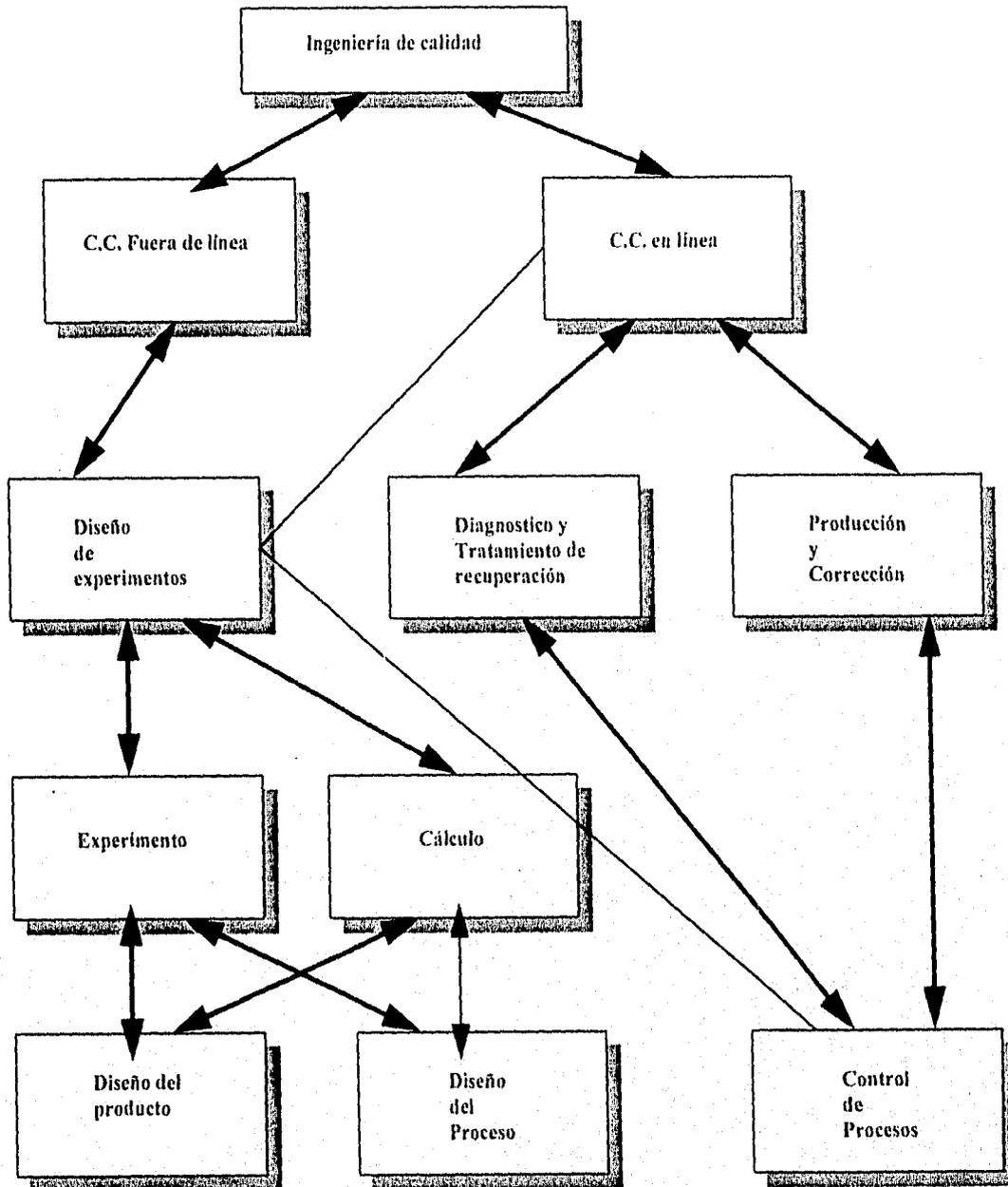


Fig. 2.1 Ingeniería de calidad: en línea/fuera de línea



- Ruido externo.- Esta relacionado con variables ambientales o de condiciones de uso. Por ejemplo: humedad, temperatura, frecuencia de uso, factores humanos, etc. Es determinado por el uso y por lo tanto está fuera de las manos del productor.
- Ruido interno o deterioro.- Son los cambios que sufre el producto en sus constantes internas a lo largo del tiempo, aun al ser almacenados, que provocan que el producto se aleje de su función objetivo.
- Ruido variacional.- Son las imperfecciones de manufactura.

Sistemas de control de calidad	Etapas	Pasos	Ruido externo	Ruido interno deterioro	Ruido de choques en prod. manufactura	
Fuera de línea	Diseño de Producto	Diseño de sistemas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	 Control posible  Control no recomendable  Control imposible
		Diseño de parámetros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		Diseño de Tolerancias		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Diseño de procesos	Diseño de sistemas				
		Diseño de parámetros			<input type="checkbox"/>	
		Diseño de Tolerancias			<input type="checkbox"/>	
En línea	Producción	Diseño de sistemas			<input type="checkbox"/>	
		Diseño de parámetros			<input type="checkbox"/>	
		Diseño de Tolerancias			<input type="checkbox"/>	
Servicio al cliente						

Fig. 2.2 Tipos de ruido

8. Etapas en el desarrollo de un producto o proceso

Según ITESM⁽²¹⁾, 1990; la ingeniería de calidad esta enfocada a encontrar medidas para reducir el efecto de los tres tipos de ruido. El medio más importante para enfrentar el ruido es el diseño, la meta del diseño es eliminar la variabilidad usando componentes baratos. Podemos dividir al diseño en tres etapas:(Fig 2.3⁽⁷⁾ y Fig.2.4⁽⁷⁾)

1.-Diseño de sistemas (enfocado a la tecnología):

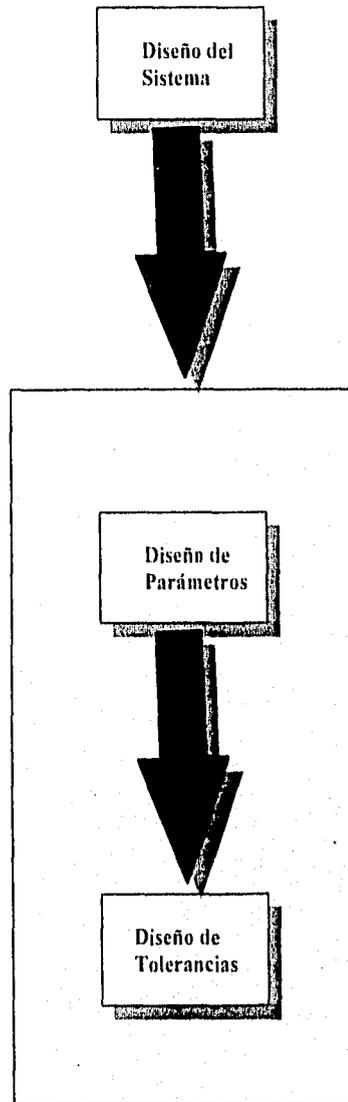
Es el paso donde se sondea la tecnología para encontrar la mejor disponible. El diseño del sistema es importante, pero no es posible estudiar todos los sistemas existentes, así que se selecciona de una a tres alternativas.

2.-Diseño de parámetros. Un medio para reducir costos y mejorar la calidad haciendo uso del diseño de experimentos:



C
R
E
A
T
I
V
I
D
A
D

O
P
T
I
M
I
Z
A
C
I
Ó
N



Hacer que se trabaje
para los objetivos y metas

I
N
G
E
N
I
E
R
I
A
D
E
C
A
L
I
D
A
D

Encontrar los mejores
niveles de parámetros

Encontrar los
mínimos costos

Fig 2.3 Etapas en el desarrollo de un producto

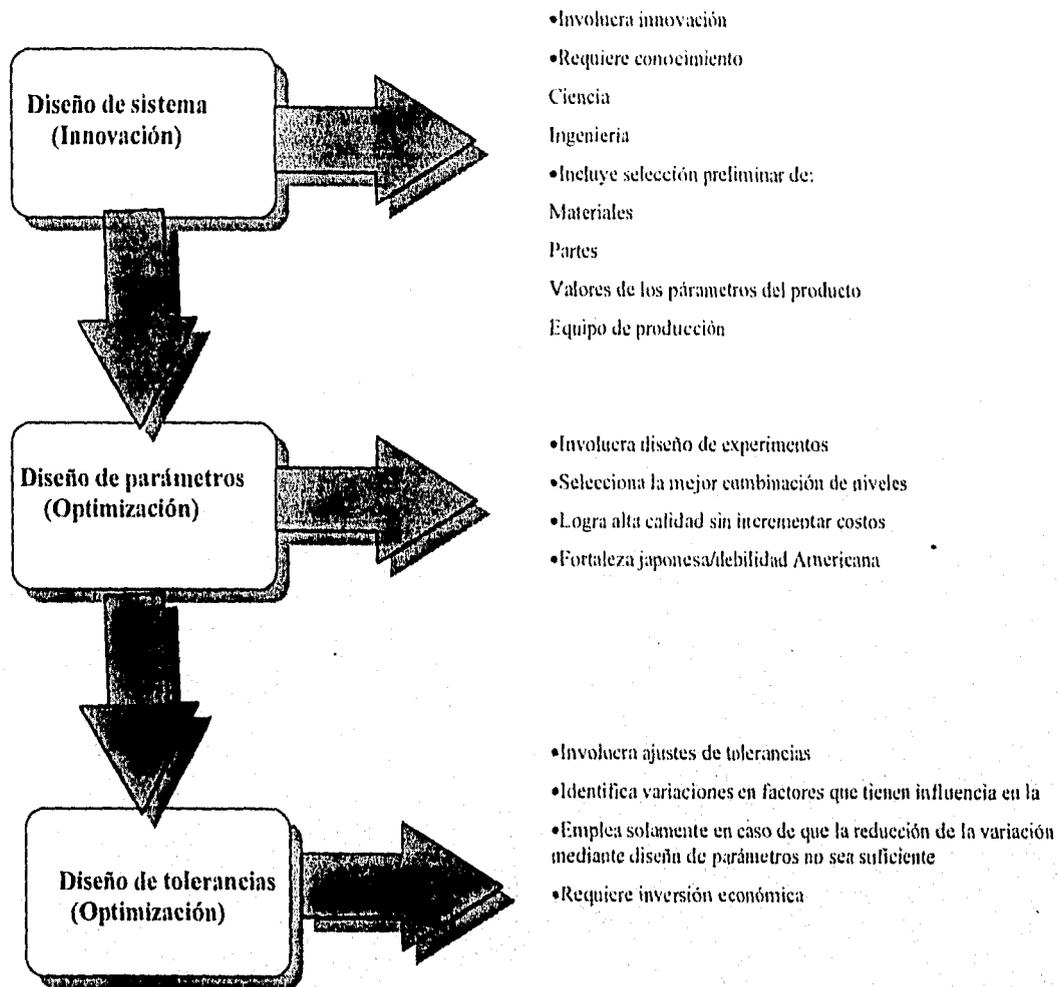


Fig. 2.4 Etapas en el desarrollo de un Producto o Procesos

Aquí se buscan los parámetros del sistema diseñado anteriormente, que hagan que la característica funcional del sistema permanezca invariable ante los diferentes ruidos. Se debe buscar los valores de los parámetros del proceso que provocan variaciones en las materias primas o en las condiciones ambientales no afecten.

El diseño de parámetros no es un ajuste, es una aplicación del diseño de experimentos, donde el objetivo es hacer mínima la variación de una característica de calidad alrededor de un valor deseado al que se le conoce como valor objetivo o calidad objetivo, y es la parte más importante del diseño donde se logran los mayores ahorros.



3.-Diseño de Tolerancia (un medio de controlar las causas a un costo incrementado).

Este es el último recurso, se usa cuando el diseño de parámetros es insuficiente, y consiste en considerar a los factores ambientales junto con los parámetros del sistema, de manera que se analice su salida del sistema, estableciendo entonces tolerancias para estos factores ambientales, siendo más estrechas para aquellos factores de ruido que afectan más.

Las etapas de diseño de sistemas, parámetros y tolerancias se utiliza en diferentes áreas: diseño del proceso y diseño del producto, que impactan también a la manufactura misma, de esta manera se pueden enfrentar ruidos externos, ruidos internos y de unidad de calidad.

9. Estrategia de la Ingeniería de Calidad.

Según Rubén Tellez⁽⁷⁾, 1989; las estrategias de la ingeniería de calidad son:

a) El cliente comprara un producto que:

- Satisfaga un propósito y deseable de poseer.
- Funcional y robusto contra el medio ambiente.
- Mejor que los productos competitivos, por sus características estilo y por los costos de compra y de posesión.

b) Los objetivos del cliente externo son alcanzados a través de:

- Optimizar el diseño de productos y procesos para mejorar la calidad y reducir costos.
- Usar la función de pérdida de calidad para cuantificar mejoras en calidad en términos de costos y para uso de tolerancias del diseño.
- Desplegar la función de calidad ("la voz del consumidor") a través de los clientes internos en la fase de planeación, diseño de procesos, producción, cuenta y servicios.

c) Pasos:

- Desarrollo del sistema.
- Diseño de parámetros.
- Diseño de tolerancia.

d) Métodos:

- Arreglos ortogonales.



- Gráficas lineales.
- Función de pérdida.

c) Conceptos:

- El resultado del análisis no necesita ser el óptimo pero sí se requiere que sea mejor y rápido.
- Pequeñas mejoras incrementales sobre un gran número de productos y procesos tiene efectos acumulativos superiores que grandes mejoras sobre problemas conocidos. Fig 2.5⁽⁷⁾

C. Herramientas básicas para el método Genichi Taguchi

1. Selección del diseño de parámetros

Para Genichi ⁽¹⁰⁾, 1990; con el método, Taguchi se logra la optimización de productos y procesos, a fin de asegurar productos robustos, de alta calidad y bajo costo. Taguchi divide el método en los tres siguientes pasos:

- Diseño del sistema.
- Diseño de parámetros.
- Diseño de tolerancia.

De las etapas, la más importante es el diseño de parámetros. Para seleccionar los parámetros consiste en :

- Identificar aquellos parámetros o factores, y sus niveles, a los cuales el efecto de las fuentes de ruido o variabilidad son mínimos.
- Identificar los niveles de los parámetros de diseño a los cuales el costo total se reduce, sin afectar la calidad del producto.

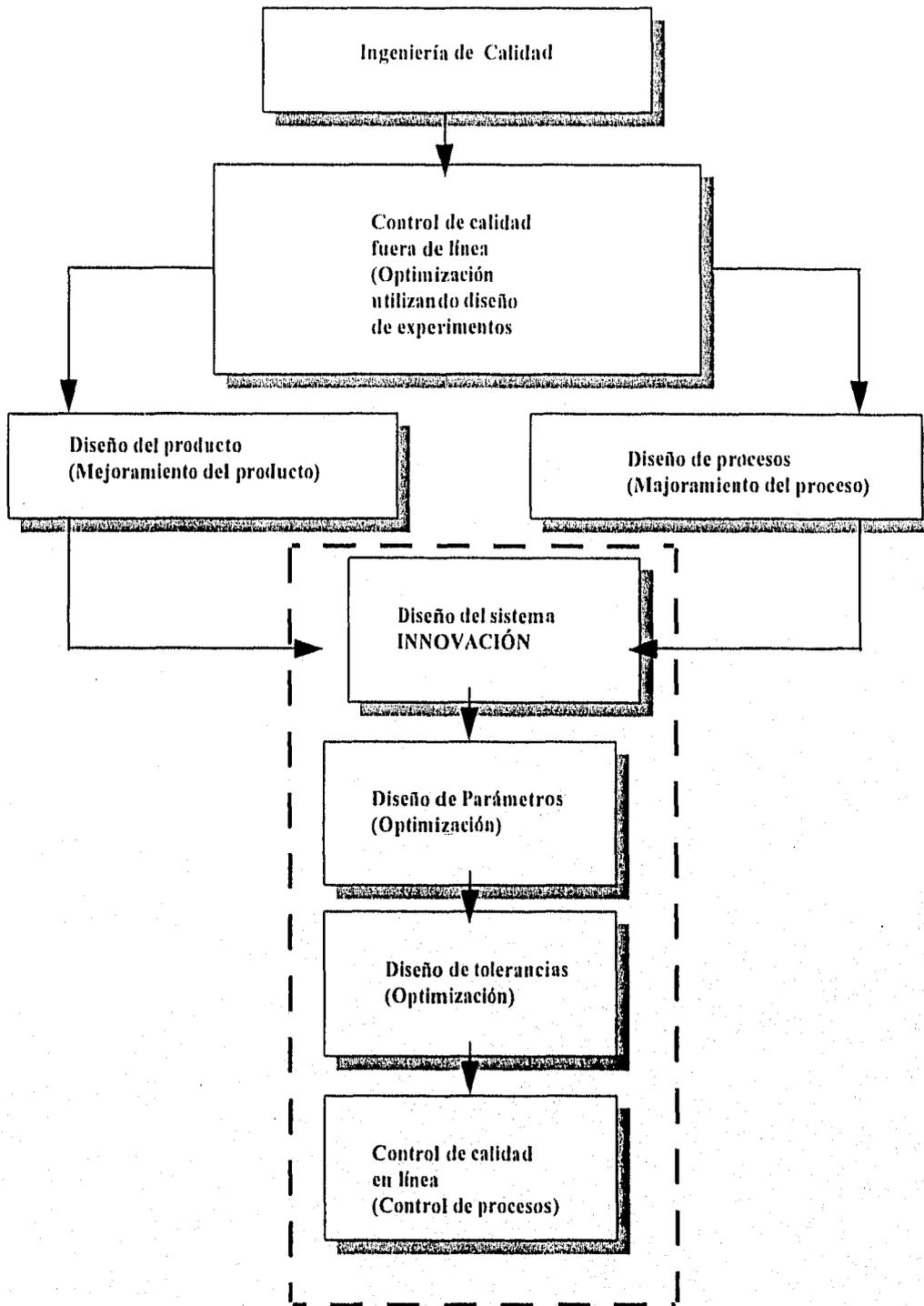


Fig 2.5 Estrategia de Ingeniería de Calidad



- Identificar aquellos factores que tiene un fuerte efecto en la medida de un proceso pero no en su variación.
- Identificar aquellos factores que no afecten de alguna manera las características del producto a fin de liberar sus tolerancias.

Taguchi ha propuesto el uso de condiciones experimentales ya definidos en forma tabular. El objetivo es simplificar el proceso de diseño experimental, minimizando el número de corridas a ejecutar para obtener conclusiones consistentes.

2. Diseño experimental en la Ingeniería de Calidad

El propósito de la experimentación en manufactura, es conocer maneras de minimizar la desviación de las características de calidad de un objetivo. Esto se logra identificando aquellos factores que afectan a las características de calidad en cuestión y modificando sus niveles para que las desviaciones sean mínimas

La ingeniería de calidad simplifica o elimina algunos conceptos estadísticos clásicos e introduce una manera directa de examinar varios factores simultáneamente en forma económica, es por eso que la ingeniería de calidad recomienda el empleo de arreglos ortogonales y gráficas lineales para construir matrices de factores de control y factores de ruido en el diseño experimental. Los arreglos ortogonales permitan al ingeniero evaluar productos y procesos con respecto a robustez y costos.

En contraste con el método clásico, la ingeniería de calidad trata las interacciones(cuando son leves) como equivalentes a ruido proporcionando condiciones óptimas y buena reproducibilidad en un experimento

a) Arreglos ortogonales

Para Taguchi⁽¹⁰⁾, 1990, el arreglo ortogonal es un diseño experimental que muestra las condiciones experimentales. La notación $L_k(n^f)$ es usada para representar un arreglo ortogonal.

Donde:

L=Arreglo

k=Número de corridas experimentales

n=Número de niveles

f=Número de columnas del arreglo



• Grados de libertad

Los grados de libertad (g.l) son una medida de la cantidad de información que puede obtenerse. Si tenemos más grados de libertad, mayor será la información.

• Grados de libertad de un factor

Los grados de libertad de un factor son el número de comparaciones que es necesario hacer entre los niveles, sin ser redundantes. Matemáticamente, los grados de libertad de un factor son el número de niveles menos 1. Esto representa el número de afirmaciones independientes que pueden hacerse sobre un factor.

Entre más niveles se utilicen para un factor en un experimento, mayor será el número de g.l. que va a tener y, por lo tanto, mayor la información que puede obtenerse.

Cuando investigamos el efecto de un factor dado en un experimento estamos comparando el desempeño del producto o proceso considerando el factor mencionando en varios niveles.

• Interacciones

Cuando el efecto de un factor depende del nivel de otro, existe una interacción entre los factores.

El caso 1, el caso 2 y el caso 3 de la Fig. 2.6 tienen el mismo efecto principal para A y B.

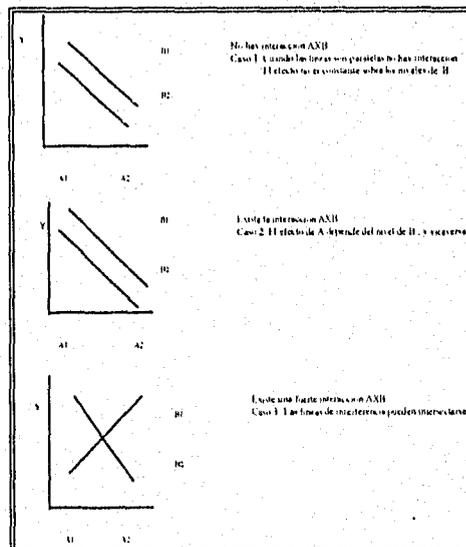


Fig. 2.6 Interacciones entre factores⁽⁷⁾



Observando sólo los efectos principales nunca podremos saber si se da interacción entre A y B ; y en este caso de que se dé, de qué clase es.

Para saberlo, podemos hacer una gráfica de la interacción, graficando los cambios en A contra los cambios en B.

Si las líneas de respuesta graficadas son paralelas, no existe interacción entre factores. En el caso 1, el cambio de B_1 a B_2 provoca un efecto constante en A.

En el caso 2, el efecto de A en B_1 y B_2 no es el mismo. Existe una interacción, ya que no son paralelas las líneas de respuesta.

El grado de no paralelismo entre las líneas de interacción graficadas indica la fuerza de la interacción . En el caso de una interacción muy fuerte, caso 3, las líneas de respuesta se intersectan.

• Tratamiento de las interacciones

Las interacciones, se tratan como efecto principales en un arreglo ortogonal. En un L_4 por ejemplo, si el factor A y el factor B se asignan a las columnas 1 y 2 respectivamente, la columna 3 debe reservarse para el efecto de la interacción, AXB.

Se debe tener cuidado en determinar si el efecto de la interacción es lo suficientemente importante como para incluirlo en una columna. Cuando se considera irrelevante la interacción entre los factores A y B, la columna 3 debe utilizarse para la asignación de otro factor C.

Lo más común es que se asignen factores a las columnas prefiriendo un factor principal sobre una interacción a menos que haya una buena razón para creer que el efecto de la interacción es importante.

Número	A	B	Datos
1	1	1	Y_1
2	1	2	Y_2
3	2	1	Y_3
4	2	2	Y_4

Arreglo Ortogonal AXB

	B_1	B_2
A_1	Y_1	Y_2
A_2	Y_3	Y_4

Tabla de respuesta para la interacción AXB

Fig 2.7 Arreglo ortogonal L_4

Los grados de libertad para una interacción de 2 factores se obtienen de la siguiente manera:



$$g.l.(AXB)=g.l.(A)X(B)g.l.$$

por ejemplo:

$$g.l.(A)=1$$

$$g.l.(B)=2$$

$$g.l.(AXB)=1 \times 2 = 2$$

- **Grados de libertad de un Arreglo Ortogonal**

Los grados de libertad de un arreglo ortogonal son el número de experimentos menos 1. Estos grados de libertad están distribuidos en un arreglo de una manera específica. Para un L_8 , cada columna tiene 2 niveles, los 7 g.l. están distribuidos un grado de libertad en cada columna. Como se muestra en la tabla siguiente:

N. Experimentos	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Grados de libertad=8-1=7

- **Selección de un Arreglo Ortogonal**

Se pueden utilizar los grados libertad para seleccionar el arreglo ortogonal apropiado, esto es, el más pequeño.

Comenzamos definiendo los grados de libertad requeridos dependiendo del número de factores, el número de niveles para cada factor y las interacciones que deseamos investigar y ayudándonos de la siguiente tabla⁽¹⁰⁾:



TABLA GUÍA

Número de factores	Arreglo a utilizar	Número de niveles
3	$L_4(2^3)$	2
7	$L_8(2^7)$	2
11	$L_{12}(2^{11})$	2
15	$L_{16}(2^{15})$	2
31	$L_{32}(2^{31})$	2
4	$L_9(3^4)$	3
1	$L_{18}(2^1, 3^1)$	2
7	" "	3
13	$L_{27}(3^{13})$	3
5	$L_{16}(4^5)$	4
1	$L_{12}(2^1, 4^1)$	2
9	" "	4
21	$L_{64}(4^{21})$	4

Nota: los arreglos se podrán consultar en el apéndice A

Ejemplo: Supongamos que queremos hacer un pastel que sea delicioso y a la vez económico, para esto se tiene 5 factores (A,B,C,D,E) a 2 niveles y 2 interacciones (AXB, AXC). Como se muestra en la tabla.

FACTORES	NIVEL 1	NIVEL 2
A Huevos	2	3
B Mantequilla	1 barra	2 barras
C Leche	2 tazas	3 tazas
D Harina	1 taza	2 tazas
E Azúcar	1 cucharada	2 cucharadas

Primero se definen los grados de libertad requeridos:

Cada Factor tiene 2 niveles por lo tanto:

No. de niveles - 1 = 2 - 1 = 1 g.l.

Cada interacción 1x1 = 1

total de grados de libertad:

$(5 \text{ factores} \times 1 \text{ g.l.}) + (2 \text{ interacciones} \times 1 \text{ g.l.}) = 7 \text{ g.l.}$

El arreglo L_8 es el apropiado si nos fijamos en la tabla guía

• Asignación de interacciones entre 2 columnas

Si esperamos una interacción significativa entre 2 variables, podemos dejar libre una columna en el arreglo ortogonal con el fin de estimar claramente la interacción. No podemos asignar la



interacción arbitrariamente, se debe ir desde el simple L_4 hasta el más grande de los arreglos ortogonales, tomando en cuenta el efecto de las interacciones.

Se ha desarrollado una matriz triangular para casi todos los arreglos ortogonales. El procedimiento que se sigue para usar la matriz triangular y localizar la columna apropiada es el siguiente:

Se asigna una interacción entre 2 factores A y B.

El factor A se asigna a la columna número (1)

El factor B se asigna a la columna número (4)

El efecto de la interacción AXB aparecerá en otra columna ya definida. En el cruce de la columna número (4) y el renglón número (1) de la matriz aparece el número 5, de manera que la interacción AXB se deberá asignar a la columna 5 del arreglo ortogonal

El arreglo estará definido por la columna del primer factor en tabla

La columna estará definida por la columna del segundo factor en la tabla.

Col	1	2	3	4	5	6	7
	(1)	3	2	5	4	7	6
		(2)	1	6	7	4	5
			(3)	7	6	5	4
				(4)	1	2	3
					(5)	3	2
						(6)	1
							(7)

Fig 2.8 Matriz de interacciones para un $L_8^{(7)}$

b) Gráficas lineales

Las gráficas lineales representan equivalentes gráficos de las matrices triangulares que facilitan la asignación complicada de factores e interacciones a un arreglo ortogonal (Fig 2.9)

Cada punto en la gráfica representa una columna para la asignación de un factor. La línea que conecta 2 puntos cualquiera representa la columna a la cual le asignamos la interacción de los factores de esos 2 puntos. La gráfica lineal se utiliza como sigue:



-Los factores se asignan a los puntos

-Se asigna una interacción entre 2 factores al segmento de línea que conecta los 2 puntos correspondientes

-Si una interacción entre 2 factores se considera irrelevante, entonces puede asignarse un factor al segmento de línea correspondiente.

En la gráfica lineal de la izquierda, el factor A se asigna a la columna 1 y el factor B se asigna a la columna 4. Por lo tanto, el segmento de línea 5 indica que la interacción AXB debe asignarse a la columna 5.

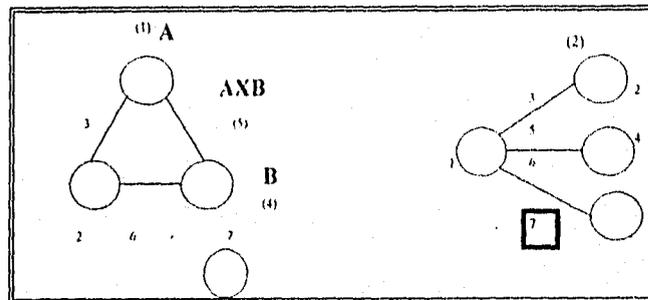


Fig 2.9 Gráficas lineales del arreglo ortogonal $L_8^{(7)}$

c)Asignación de factores a un arreglo ortogonal

Para Rubén Tellez⁽⁷⁾, 1989; los pasos para la asignación de factores son:

Procedimiento:

Paso 1. Seleccionar el arreglo ortogonal apropiado

- a)Obtener los grados de libertad(df) totales
- b)Seleccionar el arreglo ortogonal

Nomenclatura $L_k(n^f)$

- k representa el número de corridas experimentales
- n representa el número de niveles
- f representa el número de columnas del arreglo

Paso 2. Dibujar la gráfica lineal requerida



- Los círculos representan factores
- La línea representa interacción

Paso 3. Seleccionar la gráfica estándar apropiada

Puede haber muchas alternativas, escoja una de ellas

Paso 4. Ajuste la gráfica lineal requerida a la gráfica lineal estándar del arreglo ortogonal que seleccionó

Paso 5. Asignar los efectos principales y las interacciones a la columna apropiada

d) Análisis de datos utilizando arreglos ortogonales

Tradicionalmente, el análisis de varianza se ha utilizado para determinar hasta qué punto los factores contribuyen a la variación, y para probar su significancia estadística. Sin embargo, es posible determinar qué factores afectan fuertemente a la variación y proyectar las condiciones óptimas, al reconocer diferencias en el efecto promedio de factores a través de tablas de respuestas y gráficas lineales.

El análisis básico de datos para experimentos con arreglos ortogonales se denominan análisis regular e análisis señal/ruido:

1. Análisis de varianza

Procedimiento

Paso 1. Obtener los promedios para cada factor

Paso 2. Calcular el análisis de varianza (ANOVA)

Con el análisis de varianza se determina la mayor o menor significancia de los factores que se han considerado en el experimento y con los cuales es posible ajustar el proceso a los valores específicos

a. Calcular la suma de cuadrados S_x

$$S_x = \sum (y_i - \bar{y})^2 / n$$



x =factor

n =número de lecturas

b. Calcular los grados de libertad(g.l.) para cada factor

$$g.l. = N. \text{ De niveles} - 1$$

c. Calcular los cuadros medios para cada factor

$$V = S_x / g.l_x$$

$$V_e = S_e / g.l_e \text{ (error)}$$

d. Calcular F(relación varianza)

$$F_x = V_x / V_e$$

$$F_e = V_e / V_e = 1$$

e. Calcular el porcentaje de contribución(%)

$$\% = S_x * 100 / St$$

$$\% = S_e * 100 / St$$

2. Análisis señal ruido (S/R)

Dado que es necesario el controlar la característica de calidad en cuanto a su media y en cuanto a su variación alrededor de esa media, es conveniente usar una medida objetiva que combine ambos de esos parámetros en un solo número. Este índice se conoce como índice señal ruido (índice S/R). En general, a fin de tener productos robustos se deberá maximizar el índice S/R.

El índice a usar para un caso particular depende del valor objetivo, se pueden identificar tres casos:

a) Existe un valor objetivo definido, o valor nominal. Ejemplo: dimensiones, voltajes, etc. El índice S/R es:

$$S/R = 10 \log_{10} (1/n)(S-V) / V$$



donde y_i es una observación particular

$$S = (\sum y_i)^2 / n \qquad V = (\sum y_i^2 - ny^2) / (n-1)$$

donde: S = Variación de la media

b) A menor valor de la característica de calidad es mejor. La característica de calidad no puede tomar valores negativos y valores menores, ejemplo: ruido, contaminantes, desechos, etc.

$$S/R = -10 \log_{10} [(\sum y_i^2) / n]$$

y_i = una observación

n = número de observaciones

c) A mayor valor de la característica de calidad es mejor. Se prefieren valores lo más grandes posibles, ejemplo: resistencia, potencia, etc.

$$S/R = -10 \log_{10} [(\sum (1/y_i)^2) / n]$$

• Recomendaciones para la optimización

- Se deben seleccionar los factores óptimos que reducen el grado de uso del producto
- Cuando una interacción es fuerte, se debe examinar su gráfica
- De las tablas de respuestas se debe observar cuando un factor es recomendable, poco recomendable o muy recomendable.

• Predicciones de respuestas para los niveles óptimos

Con objeto de confirmar que nuestros resultados puedan reproducirse, debemos generar una estimación de la respuesta utilizando la condición recomendada. Ésta se compara con los resultados del experimento confirmatorio, esto es, una corrida experimental usando la condición óptima.

La estimación de la respuesta (llamada promedio del proceso) se deriva al utilizar aditividad de efectos.

μ : Estimación del promedio del proceso en la condición óptima.



\bar{T} : Promedio general de los datos

En el cálculo de nuestra estimación, solamente debemos usar los efectos fuertes. Esto se hace debido a que el error experimental (error de varianza) se confunde dentro de cada uno de nuestros promedios, tendiendo a darnos una sobrestimación. Aunque es posible determinar el grado de influencia de nuestro error haciendo un análisis de varianza, permitiremos la sobrestimación debida al error al dejar de considerar los efectos débiles

- **Corrida confirmatoria**

El propósito de una corrida confirmatoria es comprobar que los resultados puedan reproducirse. La corrida experimental se hace con la condición óptima y recordando el promedio del proceso.

3. Pasos sugeridos en el diseño de experimentos

Para Rubén Tellez⁽⁷⁾, 1989; los pasos son:

a) Definir el problema

Establecer con claridad el problema a ser resuelto

b) Determinar el objetivo

Indicar la característica de salida, preferentemente medible con buena aditividad. Determinar el método de medición, lo cual puede requerir una experimentación separada.

c) Tormenta de ideas

Identificar factores que se consideran influyen en la característica de salida. Agrupar factores en: factores controlables y factores de ruido: Determinar sus niveles y sus valores.

d) Diseñar el experimento

Elegir el arreglo ortogonal apropiado para los factores controlables, asignar factores controlables e interacciones a las columnas del arreglo ortogonal. Elegir un arreglo externo para los factores de ruido y asignar estos últimos a las columnas.

e) Realizar el experimento y coleccionar datos

- f) Analizar los datos por:



- Análisis regular

Esto es posible a través de:

- Tablas de respuesta promedio
- Gráficas de respuestas promedio
- Análisis de varianza (ANOVA)

- Análisis señal a ruido(S/R)

Este análisis considera tanto el promedio como la variación.

Señal/Ruido es la transformación de la información que nos da una medida de rendimiento en relación con el ruido

Se logra a través de:

- Tablas de respuesta promedio señal/ruido
- Gráficas de respuestas promedio señal/ruido
- Análisis de varianza (ANOVA S/R)

g) Interpretar resultados

Elegir los niveles óptimos para los factores de control(para nominal es mejor usar análisis de respuesta media en combinación con el análisis señal/ruido). Predecir los resultados para las condiciones óptimas

h) Llevar a cabo la experimentación confirmatoria para verificar los resultados predichos.

Realizar experimentos adicionales, si los resultados calculados no son confirmados o resultan insatisfactorios

D. Función de pérdida de calidad

Según Taguchi⁽⁸⁾, 1991; un producto se vende por su prestigio, esto es, por sus funciones y su precio . Un producto pierde su reputación y su participación en el mercado porque es de calidad pobre. Por lo tanto, se debe distinguir:

Prestigio del producto
calidad del producto

función -tamaño del mercado
pérdida-participación en mercados

El producto de mejor calidad es el que menos pérdida causa a la sociedad. Existen 3 categorías de pérdida:



1ª Pérdida causada por variabilidad en la función del producto

2ª La pérdida causada por efectos de daños colaterales

3ª La pérdida causada por diferencias entre productos de un mismo diseño

La pérdida dominante es la causa por variaciones funcionales. El control de calidad tradicional se originan en un esfuerzo por controlar los problemas causados por variaciones funcionales. Sin embargo, la carencia de técnicas para la evolución cuantitativa de variaciones funcionales ha estorbado al mejoramiento efectivo de la calidad. Por medio de la función de pérdida se logra una cuantificación del costo de calidad. El objetivo de la ingeniería de calidad es "minimizar la pérdida asociada con la calidad".

El doctor Taguchi propone una visión diferente y más amplia de la calidad, la relación con los costos y la pérdida monetaria, no únicamente para el fabricante sino también para el consumidor.

Generalmente pensamos que la pérdida de calidad es un costo de manufactura inherente al producto y quien paga por ella es el consumidor. Finalmente, es el fabricante quien va a pagar como resultado de la reacción negativa del consumidor.

1. Tipos de características de calidad

Para Genichi Taguchi⁽¹³⁾, 1994; el primer paso en la ingeniería de calidad, y quizá el más importante, consiste en seleccionar la característica de calidad apropiada.

Existen 3 tipos de características de calidad:

a) Características cuantificables, son las que pueden medir en una escala continua

Las características cuantificables pueden ser clasificadas en 3 tipos:

- Nominal es mejor: es una característica con un valor objetivo.
- Menor es mejor: es un valor cuyo mejor valor es cero
- Mayor es mejor: es una característica cuyo mejor valor es infinito

b) Características por atributos, son las que no se pueden medir en una escala continua, pero que pueden ser clasificadas en una escala graduada discreta. Frecuentemente están basadas en apreciaciones subjetivas, tales como bueno, mejor, el mejor, ect.

Ejemplos: apariencia, porosidad, grietas ect.



c) **Característica dinámicas**, son las características funcionales de la calidad de un "sistema", que se determinan con base en la entrada al sistema y a los resultados de salida.

Las tolerancias no aseguran la calidad, establecen los límites dentro de los cuales funciona un producto. Dos productos pueden funcionar, sin embargo, uno de ellos puede ser mejor que el otro. La calidad queda asegurada si todos los productos responden el valor nominal deseado.

Desgraciadamente no es posible que todos alcancen el valor meta. Las complicaciones que resultan son mayores en la medida en que es mayor la variación con respecto a dicho valor meta. Si se logra cierta uniformidades entorno al valor meta, las pérdidas son menores, como también disminuye la necesidad de la inspección final como herramienta para asegurar la calidad.

El objetivo de la función pérdida del Dr. Taguchi, es evaluar cuantitativamente la pérdida de calidad debido a variaciones funcionales

2. Ecuación de la función de pérdida

Para Taguchi⁽¹⁰⁾, 1990; la ecuación de la función de pérdida estándar (nominal es mejor) ésta dada por:

$$L(y)=k(y-m)^2$$

donde :

$L(y)$ =pérdida en dinero por unidad de producto cuando las características de calidad son iguales a y

y =El valor de la característica de calidad (ejemplo: longitud, ancho, ect.)

m =Valor ideal de la característica y

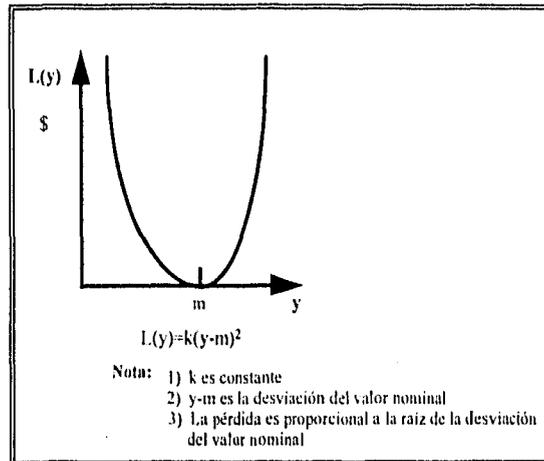
k =Constante de proporcionalidad

El Dr. Taguchi reconoce que la pérdida es una función continua. La representación cuadrática de la función de pérdida, $L(y)$, tiene necesariamente las siguientes características

$L(y)$ es mínima cuando " y "= m

$L(y)$ aumenta, en la medida en que " y " se desvía de m

$L(y)$ se expresa en unidades monetarias



Función de pérdida de calidad⁷

La característica de cualquier producto tiene un límite, a partir del cual el 50% de los consumidores considera que el producto no funciona. Este límite representa el punto de vista del consumidor estándar y se le llama tolerancia del consumidor.

Para determinar la tolerancia de fabricación, debemos encontrar la constante k

$$L = k(y-m)^2$$

$$A_0 = k \Delta_0^2$$

$$k = A_0 / \Delta_0^2$$

$$\Delta = y - m$$

En donde:

A_0 es el costo promedio por reparar o reemplazar el producto

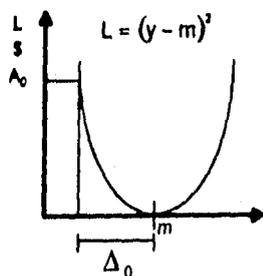
Δ_0 es la tolerancia

Con información acerca de la tolerancia del consumidor, podemos calcular la tolerancia de manufactura antes de remitir el producto.

Tolerancia de manufactura de la función pérdida:

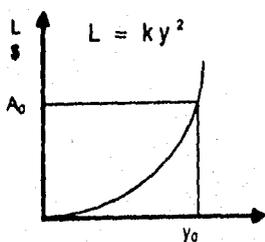


1. Nominal es Mejor



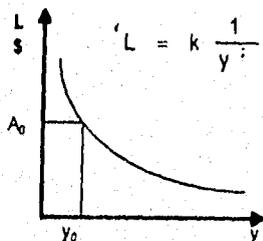
$$L = \begin{cases} \bullet \text{ Puntual} & k(y - m)^2 & k = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \\ \bullet \text{ Promedio} & k \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 \right] & = k \left[\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2 \right] \end{cases}$$

2. Menor es Mejor



$$L = \begin{cases} \bullet \text{ Puntual} & ky^2 & k = \frac{A_0}{y_0^2} \\ \bullet \text{ Promedio} & k \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 \right] & = k \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \\ & & = k(\bar{y}^2 + \sigma^2) \end{cases}$$

3. Mayor es Mejor



$$L = \begin{cases} \bullet \text{ Puntual} & k \frac{1}{y^2} & k = A_0 y_0^2 \\ \bullet \text{ Promedio} & k \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] & = k \left[\frac{1}{\bar{y}^2} \left[1 + 3 \frac{\sigma^2}{\bar{y}^2} \right] \right] \end{cases}$$



$$\Delta = \sqrt{(A / A_0)(\Delta_0)}$$

$$y - m = \sqrt{(A / A_0)(\Delta_0)}$$

$$y = m \pm \sqrt{(A / A_0)(\Delta_0)}$$

En realidad para cada característica existe una función que define de manera única la relación entre pérdida económica y la desviación de la característica de calidad de su objetivo (Fig 2.10)

Ejemplo de función de pérdida (Nominal es mejor)

El valor nominal de "y" (voltaje de salida) para el circuito de la fuente de poder en un aparato de televisión es de 115 volts. El costo promedio por reparar o reemplazar el televisor de color es de \$100.00. Esto ocurre cuando "y" está fuera del rango 115 ± 20 volts, estando el aparato ya en poder del consumidor. Para determinar la tolerancia de fabricación debemos encontrar K

Tenemos :

$$L = k(y - m)^2$$

$$A_0 = k\Delta_0^2$$

$$k = \$100 / (20v)^2$$

$$k = .25$$

Si el costo de reparación a la salida de la línea de producción es de \$2.00/pieza. Las tolerancias reales del fabricante para el voltaje de salida son:

$$y_1 = 112$$

$$y_2 = 118$$

Ejemplo: de función de pérdida (menor es mejor)

Se desea minimizar el porcentaje de encogimiento de una caja de velocímetro. Cuando este porcentaje es de 1.5%, el 50% de los clientes se quejan y regresan el producto para reemplazo. El costo de reemplazo es:

$$L = k/y^2$$

$$k = 80 / 1.5^2 = 35.55$$



Si el costo de retrabajo en producción es de \$10.00 por cada unidad la tolerancia de manufactura será:

$$y = \sqrt{k/L} = \sqrt{10/35.55} = .53\%$$

Ejemplo de función de pérdida (mayor es mejor)

Se desea maximizar la resistencia de soldadura de terminales de motor. Si la resistencia es de .4 psi. Se tendrá una rotadura con un costo de \$200 entonces:

$$L(y) = k/y^2 = 200 * .4^2 = 32$$

Si el costo de retrabajo es de \$2.00 por unidad, la tolerancia de manufactura está dada por:

$$y = \sqrt{k/L} = \sqrt{32/2} = 4$$

3. Función pérdida y tolerancia para subcomponentes, partes y materiales

Para Genichi⁽¹³⁾, 1994; la función de pérdida que aplicamos para la tolerancia de manufactura, podemos usar para derivar tolerancias para subsistemas, subcomponentes, partes y materiales. Logramos esto cuando obtenemos la fórmula de la función de pérdida para la características de nivel más alto y la transformamos en una fórmula para la característica de nivel más bajo.

Suponemos que:

A_0 = Pérdida en donde al valor más alto de la característica no se le encuentra especificación

Δ_0 = Tolerancia para el valor más alto de la característica

A = Pérdida, en donde al valor más bajo de la característica no se encuentra especificación

Δ = Tolerancia para el nivel más bajo de la característica

β = Efecto en el valor más alto de la característica, cuando "x" varia cerca de una unidad

y = Valor más alto de la característica

m_0 = Nominal para el valor más alto de la característica

m = Nominal para el valor más bajo de la característica



Entonces, la función de pérdida para la característica de rango más alto es

$$L = (A_0 / \Delta_0) * (y - m_0)^2$$

Tomando la característica de rango más bajo, la función de pérdida para la característica de nivel más alto será:

$$A = (A_0 / \Delta_0^2) \beta^2 (x - m)^2$$

Ahora podemos determinar la tolerancia para la característica del nivel más bajo

$$\Delta = x - m$$

$$\Delta = \sqrt{(A/A_0) (\Delta_0/\beta)}$$

4. Función de pérdida para más de una pieza

Para Genichi Taguchi la función de pérdida para evaluar la calidad de más de una pieza se calcula usando el promedio de $(y - m)^2$, llamado media de la desviación cuadrada

MSD: Media de la desviación cuadrada

- L: Pérdida en dinero
- k: Constante de proporcionalidad
- m: Valor nominal
- \bar{y} : Promedio de "y"
- σ : Varianza de "y"

La varianza se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma^2 = (y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2 + \dots + (y_n - \bar{y})^2 / n - 1$$

$$MSD = \sigma^2 + (\bar{y} - m)^2$$

Ahora podemos evaluar la calidad para todos nuestros resultados. Para reducir la pérdida debemos reducir el MSD. Esto lo podemos hacer:

1. σ^2 reduciendo la variabilidad alrededor del promedio
2. $(\bar{y} - m)^2$ ajustando el promedio nominal



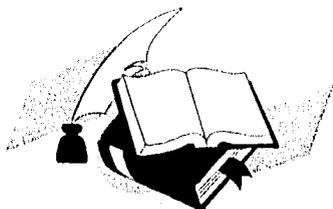
La función pérdida es una medida que combina el efecto de la media y la varianza. Otra medida es la relación señal ruido, la que para las características de calidad en cuestión se relaciona con la función de pérdida. Su papel en la reducción del MSD es la base para el diseño de parámetros.

TABLA DE CÁLCULOS PARA LA FUNCIÓN DE PÉRDIDA⁽⁷⁾

Tolerancias de clientes	Fórmula de Pérdida
$m \pm \Delta_0$	$L = (\Delta_0 / \Delta_0^2) * (\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2)$
$+ \Delta_2$ $m - \Delta_1$	$L = 1/n((\Delta_1 / \Delta_1^2)(Desviación)^2 + (Desviación)^2 (\Delta_2 / \Delta_2^2))$
$+ \Delta_2$ $m - 0$	$L = (\Delta_0/n)(N. \text{ de muestras en lado negativo} + (\Delta_2 / \Delta_2^2)^2) * (\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2)$
$+ \Delta_0$ ** 0-0	$L = (\Delta_0 / \Delta_0^2) * (\sigma^2 + \bar{y}^2)$
** Δ_0 Sobre	$L = \Delta_0 \Delta_0^2 (1 / \bar{y}^2 (1 + 3(\sigma^2 / \bar{y}^2)))$
Δ_0 = Pérdida a la falla Δ_1 =Pérdida a la falla - Δ_2 =Pérdida a la falla + n = Tamaño de muestra \bar{y} = Valor promedio de la característica en muestra σ = Desviación estándar de la característica en muestra • El menor es mejor •• El mayor es mejor	



III. METODOLOGÍA PROPUESTA



¿Qué es una metodología? Una metodología es una manera sistemática claramente definida para alcanzar un fin. Es también un sistema de orden en el pensamiento o la acción.

La ingeniería de calidad tiene como objetivo el optimizar productos y procesos, cerrando diseños robustos al mínimo costo posible.

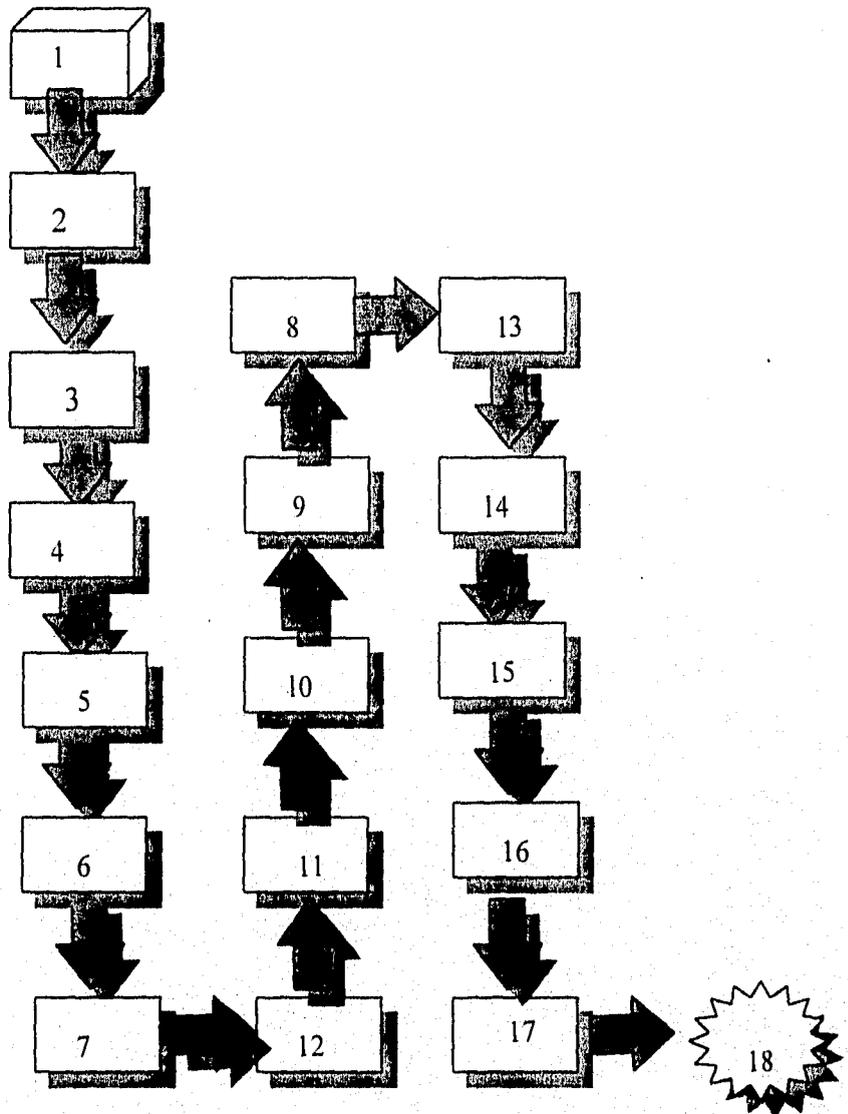
La teoría de ingeniería de calidad resulta complicada para la gente que no ha tenido contacto con ella, por lo que es necesario que se tenga acceso a una metodología fácil de aplicar para que las empresas mexicanas la apliquen y logren ser competitivas en un mercado internacional tanto en calidad como en precio, por tal motivo se propuso una metodología propuesta para aplicar la ingeniería de calidad con facilidad.

El objetivo de este capítulo es proponer una metodología, redactada en forma sencilla, clara y fácil de aplicar. Cada uno de los pasos de la metodología se presentan en forma didáctica para que sea aplicada con facilidad por cualquier persona no relacionada con la calidad.

En el apéndice D se tendrá algunas guías para realizar la metodología sin ningún problema.

A. PASOS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

1. Misión
2. Objetivo de calidad
3. Conocer bien el proceso
4. Equipo de trabajo
5. Identificar el problema en el proceso
6. Definir el enunciado del problema
7. Determinar el objetivo de calidad
8. Análisis del problema
9. Diseño de parámetros
10. Análisis de datos
11. Diseño del experimento
12. Realización del experimento y recolección de datos
13. Análisis de la información
14. Interpretación de los resultados
15. Corrida confirmatoria
16. Resultados y Conclusiones
17. Normalización
18. ¿Qué se puede mejorar más?



A continuación se explicara cada uno de los pasos en forma didáctica



1. MISIÓN

Lo primero que se debe hacer es definir y comprender la misión de la empresa, la razón que justifica su existencia. La redacción de la misión debe ser lo más sencilla posible y clara. Las características que debe tener la definición son

- ◆ Ser única en la unidad de trabajo
- ◆ Ser específica
- ◆ Ser motivante
- ◆ Ser permanente (largo plazo)



2. OBJETIVO DE CALIDAD

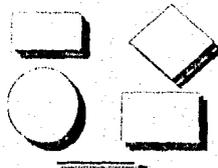
Se deben establecer objetivos para cada elemento importante para la organización. La pregunta básica es ¿Qué se debe hacer para lograr la misión?. El resultado será un listado de ideas. Cada responsable prepara el objetivo de largo alcance con las ideas presentadas. Para cada objetivo es necesario:

- ◆ Definir las acciones a realizar.
- ◆ Anticipar los problemas por resolver.
- ◆ Priorizar sus soluciones.
- ◆ Establecer recursos y responsabilidades.
- ◆ Diseñar medidas de seguimiento para volver a planear.



3. CONOCER BIEN EL PROCESO

Es indispensable que se conozca bien todo los procesos de producción de la empresa; para darnos cuenta donde podemos aplicar la calidad. Para realizar esta operación usaremos diagramas de flujo usando los siguientes símbolos



4. EQUIPO DE TRABAJO

Es indispensable que todos los que forman un grupo de trabajadores tengan en común un objetivo establecido con ciertas habilidades y conocimientos. Si no se tiene el mismo objetivo las personas estarán inconformes y manifestarán apatía. En este punto debe entrenarse al personal para que pueda tomar decisiones autónomas. El equipo de trabajo debe tener presente:



- ◆ Saber lo que necesita.
- ◆ Poder lograrlo.
- ◆ Querer realizarlo.

El equipo de trabajo se le debe mantener:



- ◆ Motivado.
- ◆ En un ambiente agradable.
- ◆ Comunicación efectiva y
- ◆ Capacitación.

5. IDENTIFICAR EL PROBLEMA EN EL PROCESO

Se usaran las siguientes herramientas y pasos para tal motivo

1. Tormenta de ideas
2. Consenso
3. Diagramas causa-efecto
4. Consenso
5. Diagrama de pareto
6. Consenso
7. Jerarquizar
8. Consenso
9. Seleccionar



6 DEFINIR EL ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Redactar el enunciado del problema lo más sencillo y claro, ayudandonos del paso anterior.



7. DETERMINAR EL OBJETIVO DE CALIDAD

Ya que esta definido cual es el problema, se elaborara un enunciado del objetivo el cual este plasmado el resultado esperado para mejorar el proceso

El enunciado debe tener las siguientes consideraciones:



- ◆ Identificar la característica que se desea obtener
- ◆ Deben ser medibles



8. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Se analiza y se identifica los factores que se consideran que influyen en las características que se desean obtener. Por medio de los siguientes pasos.

- 1.- Tormenta de ideas
- 2.- Diagrama de Ishikawa
- 3.- Manejo, registro y agrupamiento de datos obtenidos
- 4.- Representación gráfica

PASO 1: TORMENTA DE IDEAS (POSIBLES CAUSAS)

- 1.- Generar una lista de factores
- 2.- Anotar cada idea sin juzgarla
- 3.- Depurar la lista y redactarla
- 4.- Agrupar los factores con aspectos comunes
- 5.- Ponerles un nombre adecuado al proceso



PASO 2: CONSTRUIR EL DIAGRAMA DE ISHIKAWA

- 1.- Dibujar el diagrama de pescado
- 2.- Anotar cada causa en su categoría
- 3.- Se hace una votación de los factores más probables.
- 4.- Se tabulan y se escogen los factores más representativos

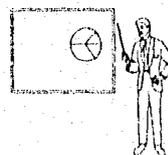
PASO 3: MANEJO, REGISTRO Y AGRUPAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS

- 1.- Recabar datos útiles
- 2.- La cantidad mínima necesaria
- 3.- Recabar datos medibles
- 4.- Registro de datos

PASO 4: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DATOS

Se utilizara para mostrar porcentajes de los datos obtenidos. Las gráficas que se pueden usar son:

- ◆ Diagramas de pareto
- ◆ Gráficas lineales



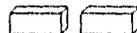
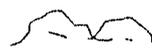
Nota . Ver apéndice C



9. DISEÑO DE PARÁMETROS

En esta etapa se decide el mejor nivel para cada factor de manera que el producto resultante sea de mejor calidad, cuidando que los costos de operación no se incrementen

Ejemplo: Se desea elaborar un panque que sea económico pero a la vez sea delicioso, se sabe que ingredientes lleva que serán nuestros factores, las cantidades de cada ingrediente serán nuestros niveles

Factores	nivel	nivel 2
HUEVOS		
MANTEQUILLA		
HARINA		
LECHE		
AZÚCAR		

10. ANÁLISIS DE DATOS

De los datos anteriores se realizan los siguientes pasos

- ◆ Decidir cual es la característica de calidad

ejemplo:

Para realizar el pastel nuestra característica de calidad es que sea económico

- ◆ Identificar factores
- ◆ Agrupar los factores de control y ruido
- ◆ Determinar sus valores y niveles



11. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Se compone de:

Paso 1.- Seleccionar el arreglo ortogonal apropiado para los factores de control

- ◆ Obtener los grados de libertad:

son el número de experimentos menos uno
cuando hay interacción es el total de los grados de libertad:



$$(N. \text{ de factores} * gl) + (N. \text{ de interacciones} * gl)$$

- ◆ Dibujar la gráfica lineal requerida para facilitar la asignación de factores e interacciones a un arreglo ortogonal



los círculos representan factores
la línea representa interacciones

- ◆ Seleccionar la gráfica estándar apropiada
- ◆ Ajustar la gráfica lineal requerida a la gráfica lineal estándar del arreglo ortogonal que seleccione
- ◆ Asignar los efectos principales y las interacciones a la columna apropiada
- ◆ Con los grados de libertad se dispone a escoger el arreglo ortogonal

Paso 2.- Asignar los factores de control a las columnas del arreglo ortogonal

Paso 3.- Seleccionar un arreglo para los factores del ruido y asignar las columnas

12. REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Con el arreglo ortogonal elegido se realizará una corrida experimental de respuestas

13. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Por medio de:

Paso 1- Análisis regular

- Tabla de respuesta promedio
- Gráficas de respuesta Anova

nota: para facilitar los cálculos se cuenta con el programa ANOVA, ver apéndice B

Paso 2 - Análisis señal /ruido

- Tabla de respuesta s/r
- Gráfica de respuesta s/r

Nota: para facilitar los cálculos se cuenta con el programa ANOVA, ver apéndice B



14. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se realizara con los siguientes pasos:

- ◆ Seleccionar los niveles óptimos para los factores de control
- ◆ Predecir los resultados para condiciones óptimas
- ◆ Hacer un análisis de la función pérdida para saber si es costeable



Nota consultar capítulo 2

15. CORRIDA CONFIRMATORIA

Siempre debe confirmarse el experimento para verificar los resultados predichos



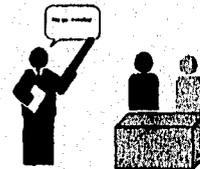
16. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Análisis de la información resultante de las pruebas y llegar a conclusiones fundamentales



17. NORMALIZACIÓN

De las conclusiones y resultados, el siguiente paso a realizar es la normalización en pasos/acciones para que la solución se convierta en parte normal del proceso



18. ¿QUÉ SE PUEDE MEJORAR MÁS?

Ya que se tiene una estrategia sólida que es la calidad, podemos enfocarnos a la mejora del proceso, para utilizar como herramienta la REINGENIERIA



Nota Ver apéndice D



IV. OPTIMIZACIÓN DEL LODO DE PERFORACIÓN



A. INTRODUCCIÓN

El producto bajo estudio es el lodo de perforación que es una mezcla de 2 fases, una sólida y otra líquida, la fase líquida generalmente es agua aunque puede ser aceite. La fase sólida generalmente es una arcilla sódica o puede ser un sulfato de bario. En la Industria Petrolera Mexicana en su área de PEMEX exploración y producción, su objetivo es la extracción del petróleo y la alta producción del yacimiento petrolero. Para obtener éxito con el objetivo de PEMEX es necesario saber definir el tipo de lodo a usar y calcular con determinada exactitud las cantidades de materiales que intervengan en su composición.

1. Problemática

En el área de Pemex Exploración Producción (PEP), se ha presentado problemas referente a la producción de pozos se ha notado una disminución en la producción del petróleo y se han elevado los gastos de operación, esto se debe a la corta vida del pozo que esta oscilando entre 1.5 años, normalmente la vida de un pozo es de 5 años.

Para la problemática anterior se utilizó la metodología propuesta al área de perforación con ayuda del personal de perforación, los datos que se obtuvieron se exponen a lo largo del capítulo.

B. METODOLOGÍA DE LA INGENIERÍA DE CALIDAD APLICADA AL LODO DE PERFORACIÓN

1. MISIÓN

La misión de la empresa es extraer el petróleo del subsuelo

2. OBJETIVO DE CALIDAD:

Los pozos petroleros tengan una vida productiva muy larga



3. CONOCER BIEN EL PROCESO DEL TRABAJO

Se llamó a todo el personal que trabaja en la etapa de perforación, se compone de:

- 1 Perforador
- 1 Ayudante del perforador
- 1 Ayudante de tubería
- 3 Ayudantes de piso
- 1 Mecánico
- 1 Químico
- 1 Ing. Petrolero

Son 3 turnos por día

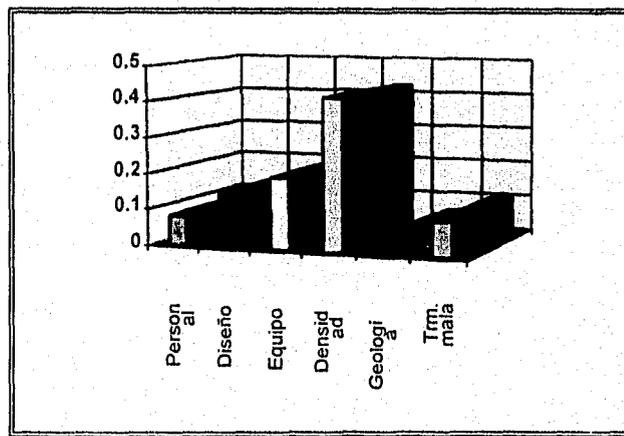
Cada miembro del equipo de perforación conoce bien cual es su trabajo, sus obligaciones y sus responsabilidades

4. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA EN EL PROCESO

Se realizó una junta con las 3 cuadrillas de perforación para identificar cual era la causa de la corta vida del pozo. Utilizando las herramientas como: tormenta de ideas, diagrama causa-efecto y jerarquización, se llegaron a las siguientes conclusiones:

Se llegó aun consenso y todos estuvieron de acuerdo que el problema lo causaba la densidad del lodo. Ver diagrama de ISHIKAWA: Fig 4.1 y gráfica.

Gráfica de los resultados obtenidos:



Gráfica de los resultados

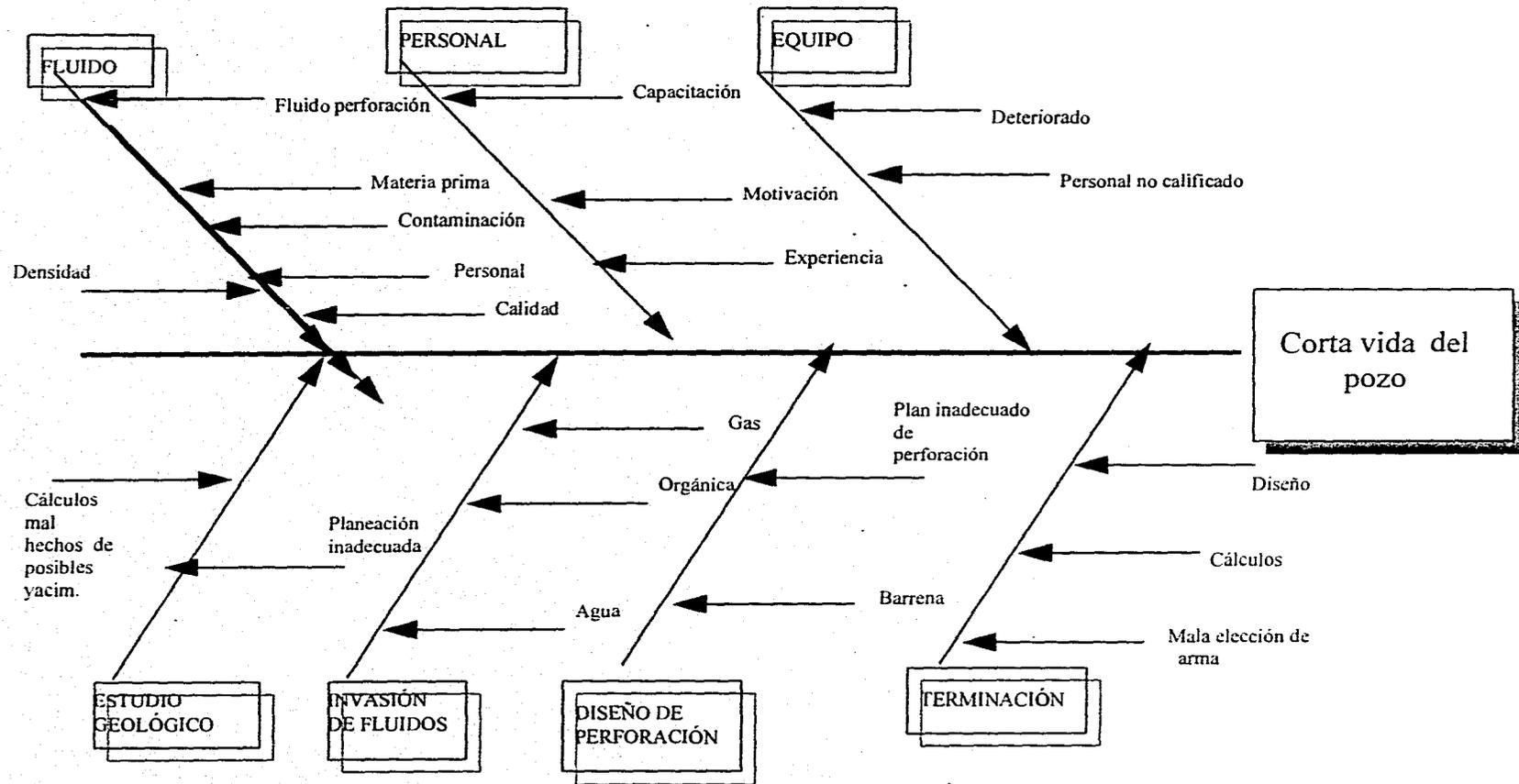


Fig. 4.1 Factores obtenidos mediante el Diagrama Ishikawa





5. DEFINIR EL ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Con los resultados del paso 4, se redactó el enunciado con ayuda del equipo de trabajo:

Enunciado: La corta vida de los pozos productores es causada por el fluido de perforación

6. DETERMINAR EL OBJETIVO DE CALIDAD

Objetivo: Obtener el lodo óptimo y adecuado para cada pozo petrolero

7. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

a) Descripción del proceso de elaboración del fluido de perforación

- Antes de elaborar el fluido de perforación es necesario que nos digan cuál es la presión de la formación del yacimiento recordando que la presión de la formación debe ser menor que la presión de la columna del pozo, por lo tanto:

la presión de la formación (P_f) es :

$$P_f = \sigma_1 * h$$

la presión de la columna del pozo (P) es:

$$P = \sigma_2 * h$$

lo que se desea es

$$\sigma_1 < \sigma_2$$

la densidad σ_2 es la que nos interesa y es la densidad que necesitamos para elaborar el fluido de perforación.

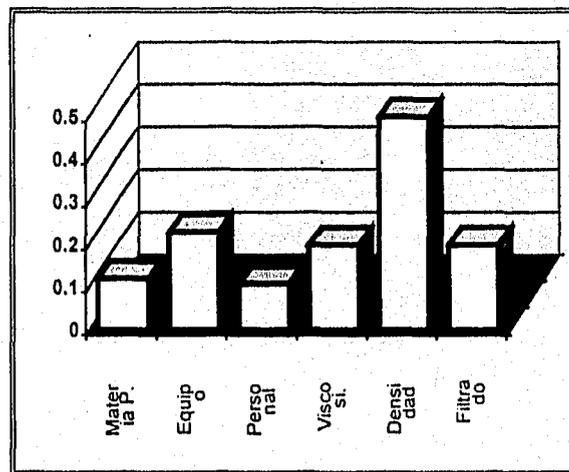
- Tipo de formación.
- Surtido del material: se genera la orden del pedido del material a la gerencia de producción necesario para la elaboración del lodo.
- Preparación del equipo: antes de llevar a cabo la elaboración del lodo se revisa el equipo a utilizar, que se encuentre limpio y en buen estado.



- Preparación del lodo: se realizan los cálculos para obtener las cantidades de las sustancias requeridas para la densidad (σ_2)
- Preparación de la mezcla: ya conocidas las cantidades de cada sustancia se procede a realizar la mezcla, ya preparada la solución se procede a tomar medidas de :
 - densidad con una balanza presurizada.
 - se mide su viscosidad, y sus propiedades reológicas por medio de un viscosímetro Fanny.
 - se mete la mezcla del lodo a una prensa modelo Baroid que simulara al yacimiento petrolero.
 - se mide el enjarre por medio de una retorta Baroid para medir el enjarre.

b) Selección de los factores que podrían contribuir a tener una densidad óptima

Se consultó de nuevo con el personal para realizar el análisis apoyándonos con las herramientas tales como : tormenta de ideas, diagrama causa-efecto; para obtener los factores que podrían contribuir a tener una densidad óptima. Los datos fueron los siguientes ver Fig 4.2, y gráfica.



Gráfica de Resultados

Se llegó a la conclusión que lo que causaba el problema era la elaboración del lodo, no se usaban las cantidades adecuadas para realizarlo, con esto acarreado que el lodo de perforación forme un enjarre inadecuado, el cual disminuya el área del poro productor y con esto disminuya la producción dañando a la formación productora. El enjarre esta en función de la densidad.

Para éste caso se estudio 4 tipos de lodos más usados en la Sonda de Campeche los lodos son:

Lodos calcicos

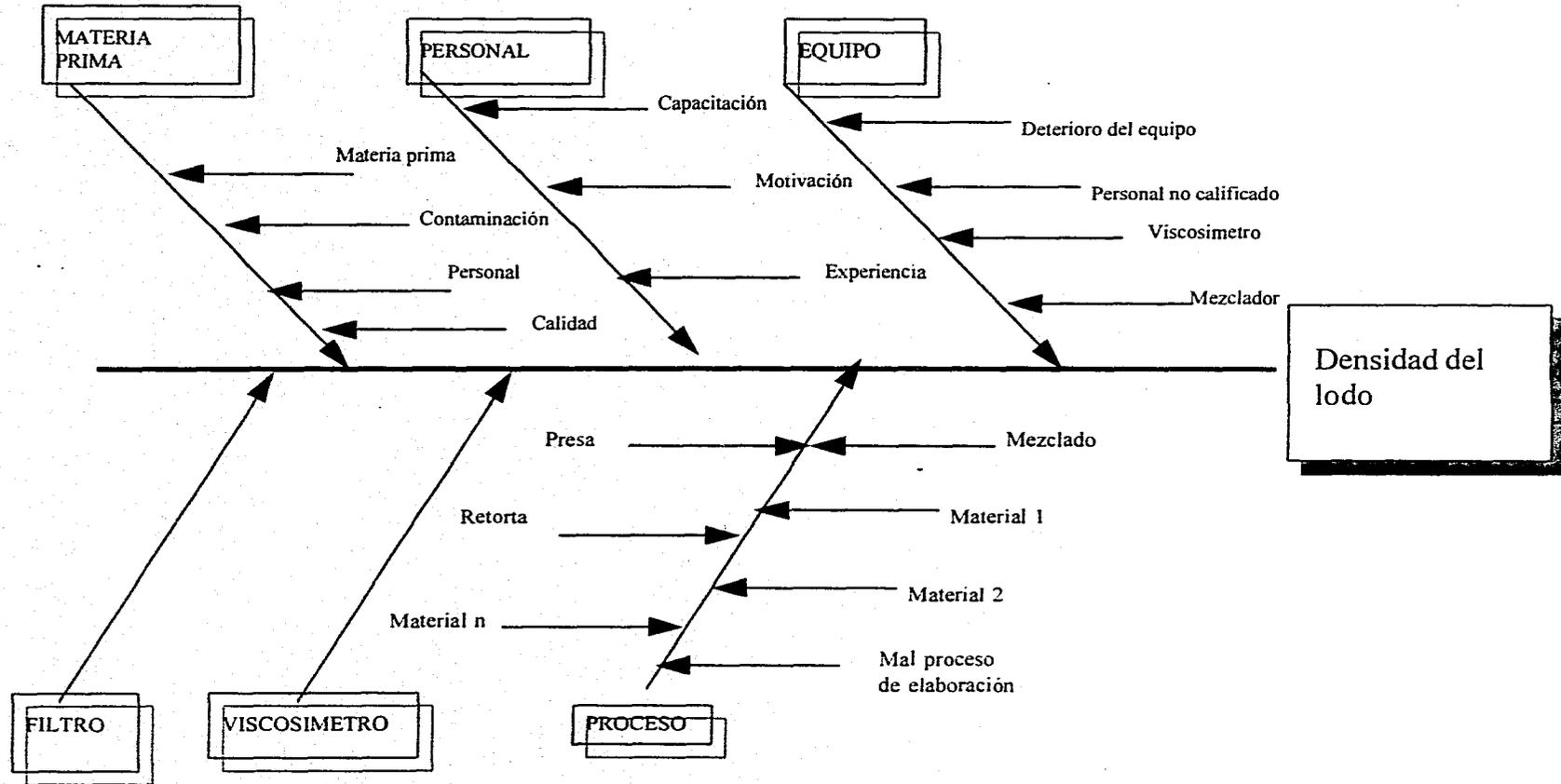


Fig. 4.2 Factores obtenidos mediante el Diagrama Ishikawa





Lodos de cal
Lodos carnasol
Lodos compuestos

Para cada lodo se utilizó las siguientes herramientas:

Tormenta de ideas
Diagrama de Ishikawa
Agrupamiento
Jerarquización

Se obtuvieron los datos que veremos en el otro punto. (Nota : Ver apéndice C)

8. DISEÑO DE PARÁMETROS Y ANÁLISIS DE DATOS

De los datos obtenidos anteriormente se identificaron los factores y niveles, en común acuerdo con el equipo de perforación y fueron los siguientes:

LODOS CALCICOS

FACTORES	NIVEL 1	NIVEL 2
AGUA	10 M ³	25 M ³
MITAD DISPERSANTE	6 Kg	12 Kg
SOSA CAUSTICA	6 kg	12 Kg
CAL	20 Kg	50 Kg
RESTO DE DISPERSANTE	3 Kg	6 Kg
AGENTE REDUCTOR DEL FILTR	3 kg	10 Kg

LODOS DE CAL

FACTORES	NIVEL 1	NIVEL 2
DISPERSANTE	3 Kg	6 Kg
SOSA	2.8 Kg	3 Kg
CAL	6 kg	9 Kg
FILTRADO	5.5 Kg	6 Kg
MEZCLADOR	BAJA	ALTA
VELOCIDAD	BAJA	ALTA

LODOS COMPUESTOS

FACTORES	NIVEL 1	NIVEL 2
BARITA	25 Kg	30 Kg
BENTONITA	13 Kg	15 Kg
PIROSFOSFATOS	8 kg	10 Kg
SADA ASH	2 Kg	5 Kg
SOSA CAUSTICA	2 Kg	3 Kg



LODOS CARNASOL

FACTORES	NIVEL 1	NIVEL 2
AGUA	550 Lts	600 Lts
BENTONITA	45 Kg	50 Kg
HIDRÓXIDO DE SODIO	1.4 kg	2 Kg
POLYCEL	3 Kg	10 Kg
DIESEL	400 Lts	450 Lts
CANASOL	3 Lts	5 Lts

9. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Se seleccionó el arreglo ortogonal, primero se obtuvieron los grados de libertad. Recordando que los grados de libertad se calculan como:

$$g.l. = (\text{número de niveles} - 1) * n. \text{ de factores}$$

$$g.l. \text{ (grados de libertad)}$$

grados de libertad de un arreglo ortogonal es n. de experimentos - 1

Para elegir el arreglo ortogonal nos fijamos en los g.l y en los arreglos ortogonales (Ver apéndice A)

Para éste caso los cuatro lodos de perforación no tuvieron interacciones por lo tanto quedó de la siguiente manera

LODO DE PERFORACION	GRADOS DE LIBERTAD	ARREGLO ORTOGONAL
LODOS CALCICOS	7	L_8
LODOS DE CAL	7	L_8
LODOS COMPUESTOS	7	L_8
LODOS CARNASOL	7	L_8

10. REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Se elaboraron 8 corridas experimentales, ya que se seleccionó el arreglo ortogonal de L_8 .

Para calcular la densidad del lodo se utiliza la siguiente fórmula

$$\sigma = \text{Masa/volumen}$$

$$\sigma = \text{densidad}$$

Se compara con la densidad que se desea según la profundidad del pozo petrolero y la presión de la formación.

$$\text{Presión} = \sigma * h$$

$$\sigma = \text{densidad (kg/m}^3 \text{)}$$

$$h = \text{profundidad (mts.)}$$



se realizaron las corridas experimentales y los datos que se obtuvieron fueron:

LODO CALCICO

CORRIDA EXPERIMENTAL	RESPUESTA I
1	11.05
2	10.955
3	10.8
4	11.1
5	10.4
6	10.99
7	10.85
8	10.855

LODO DE CAL

CORRIDA EXPERIMENTAL	RESPUESTA I
1	5.5
2	7.2
3	5.8
4	6.02
5	5.82
6	5.9
7	6.7
8	7.8

LODO COMPUESTO

CORRIDA EXPERIMENTAL	RESPUESTA I
1	8.5
2	9.015
3	9.09
4	9.07
5	8.7
6	8.9
7	8.8
8	9.02

LODOS CARNASOL

CORRIDA EXPERIMENTAL	RESPUESTA I
1	.95
2	.97
3	.94
4	.99
5	.98
6	1.04
7	1.01
8	1.08



11. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS (por medio de respuesta promedio y ANOVA)

Para saber que factores afectan fuertemente a la variación y proyectar las condiciones óptimas se deben conocer las diferencias en el efecto promedio de factores a través de tablas de respuesta y gráficas factoriales.

Primeramente se cálculo el efecto promedio o respuesta promedio elaborando una tabla con estos resultados, para obtener de ésta el óptimo o campeón del papel finalmente se generaron las gráficas factoriales

a) Efecto promedio de cada parámetro para cada lodo

LODO CARNASOL

FACTOR	NIVEL	DENSIDAD
A	1	.97
	2	1.02
B	1	.99
	2	1
H.	1	.985
	2	1.005
P	1	1.02
	2	.97
D	1	.98
	2	1.01
C	1	.985
	2	1.005

LODO COMPUESTO

FACTOR	NIVEL	DENSIDAD
B	1	8.921
	2	8.8855
BE	1	8.778
	2	8.9975
P	1	8.833
	2	8.9425
S	1	8.77
	2	9.0035
SO	1	8.8775
	2	8.898



LODO DE CAL

FACTOR	NIVEL	DENSIDAD
D.	1	6.13
	2	6.555
S	1	6.1050
	2	6.58
C	1	6.8
	2	5.885
R	1	5.955
	2	6.73
M	1	6.25
	2	6.435
V	1	6.285
	2	6.4

LODOS CALCICOS

FACTOR	NIVEL	DENSIDAD
A	1	10.9762
	2	10.7738
D	1	10.8488
	2	10.9012
S	1	10.9275
	2	10.8225
C	1	10.775
	2	10.9750
M	1	10.9237
	2	10.8263
A	1	10.8512
	2	10.8988

b) Óptimo papel

Las características de calidad para todos los lodos es de menor es mejor, se identificaron los menores valores asociados para cada lodo:

TIPOS DE LODO	ÓPTIMO DE PAPEL
LODO CARNASOL	A1,B1H1,P2,D1,C2
LODO COMPUESTO	B2,BE1,P1,S1SO1
LODO DE CAL	D1,S1,C2,F1,M1,V1
LODO CALCICOS	A2,M1,S2,C1,D2,A1

c) Tabla de análisis de varianza(ANOVA)

El análisis de varianza se efectúa anotando los factores de variación en la columna del lado izquierdo, los cuales son supuestos, para cada lodo se anotó los factores bajo prueba en el experimento. La columna df corresponde a los grados de libertad(número de niveles menos uno).



La columna denominada S es el efecto puro de cada factor, ya que todo diseño de experimentos multivariantes considera que el error es asignado igualmente sobre todo los grados de libertad dentro del experimento, cada efecto significativo contiene una cantidad de error que debe eliminarse. El error se adiciona a la variación total dentro del experimento y es constante. La columna V, es la suma de los cuadrados para el factor divididos por el grado de libertad en el factor. La columna denominada F es el resultado de la prueba tradicional de Fisher para significancia y un asterisco denota si el factor fue significativo a un nivel de confianza. Nótese que varios grados de libertad y varios efectos factoriales en este caso han sido combinados en la estimación del error. Esta estimación de varianza y media de la suma de cuadrados para el error, es utilizada como denominador de la prueba F. La columna final es el valor de S para cada valor significativo dividido por la variación total S_t . Esta columna indica el porcentaje de contribución a la varianza de cada factor.

LODO CARNASOL

FUENTE	df	S	V	F	(%)
A	1	.005	.005	*	32.47
B	1	.0002	.0002		1.3
H	1	.0008	.0008		5.19
P	1	.005	.005	*	32.47
D	1	.0018	.0018		11.69
C	1	.0008	.0008		5.19
	1	.00018	.00018		11.69
TOTAL	7	.0154			100

Los factores más significativos fueron A y B por lo tanto se eligieron los niveles que minimizaron a la densidad, y los demás factores se fijaron a su nivel más económico

LODO COMPUESTO

FUENTE	df	S	V	F	(%)
B	1	.088	.088		2.88
BE	1	.0957	.0957	*	31.38
P	1	.0237	.0237		7.76
S	1	.1070	.107	*	35.07
SO	1	.0009	.0009		.3
	1	.0319	.0319		10.45
	1	.0371	.0371	*	12.17
TOTAL	7	.3050			100

Los factores más significativos fueron Be y S, se eligieron los niveles que minimizaron la densidad y los demás factores a su nivel más económico



LODO DE CAL

FUENTE	df	S	V	F	(%)
D	1	.3613	.3613		7.91
S	1	.4513	.4513		9.89
C	1	1.6744	1.6744	*	36.69
F	1	1.2012	1.2012	*	26.32
M	1	.0684	.0684		1.5
V	1	.0264	.0264		.58
	1	.7813	.7813	*	17.12
TOTAL	7	4.5643			100

Los factores más significativos fueron C y F, se eligieron los niveles que minimizaron la densidad y los demás factores se fijaron a su nivel más bajo

LODO CALCICOS

FUENTE	df	S	V	F	(%)
A	1	.0820	.082	*	24.62
M	1	.005	.0055		1.65
S	1	.0221	.0221		6.62
C	1	.08	.08	*	24.01
D	1	.019	.019		5.71
A	1	.0045	.0045		1.35
	1	.1201	.1201	*	36.03
TOTAL	7	.3332			100

Los factores más significativos fueron A y C se eligieron los niveles que minimizaron la densidad y los demás factores se fijaron a su nivel más bajo

d) Gráficas factoriales

Para obtener una idea clara de los resultados experimentales se gráfica el efecto de cada factor significativo.

Estas gráficas representan lo que fue observado en la tabla de resultados (ANOVA) la mayor diferencia entre niveles, el mayor efecto. Los puntos son calculados tomando los totales para cada nivel y dividiendo el número de puntos en ese total para obtener un efecto promedio. Se elaboraron las gráficas factoriales, identificando si se trataba de gráficas lineales o no lineales.

Éstas nos sirven para apreciar diferencias entre niveles, mientras mayor sea la pendiente de la línea, más fuerte es el efecto.

A continuación se vera las gráficas para cada lodo de perforación ver Fig 4.3.

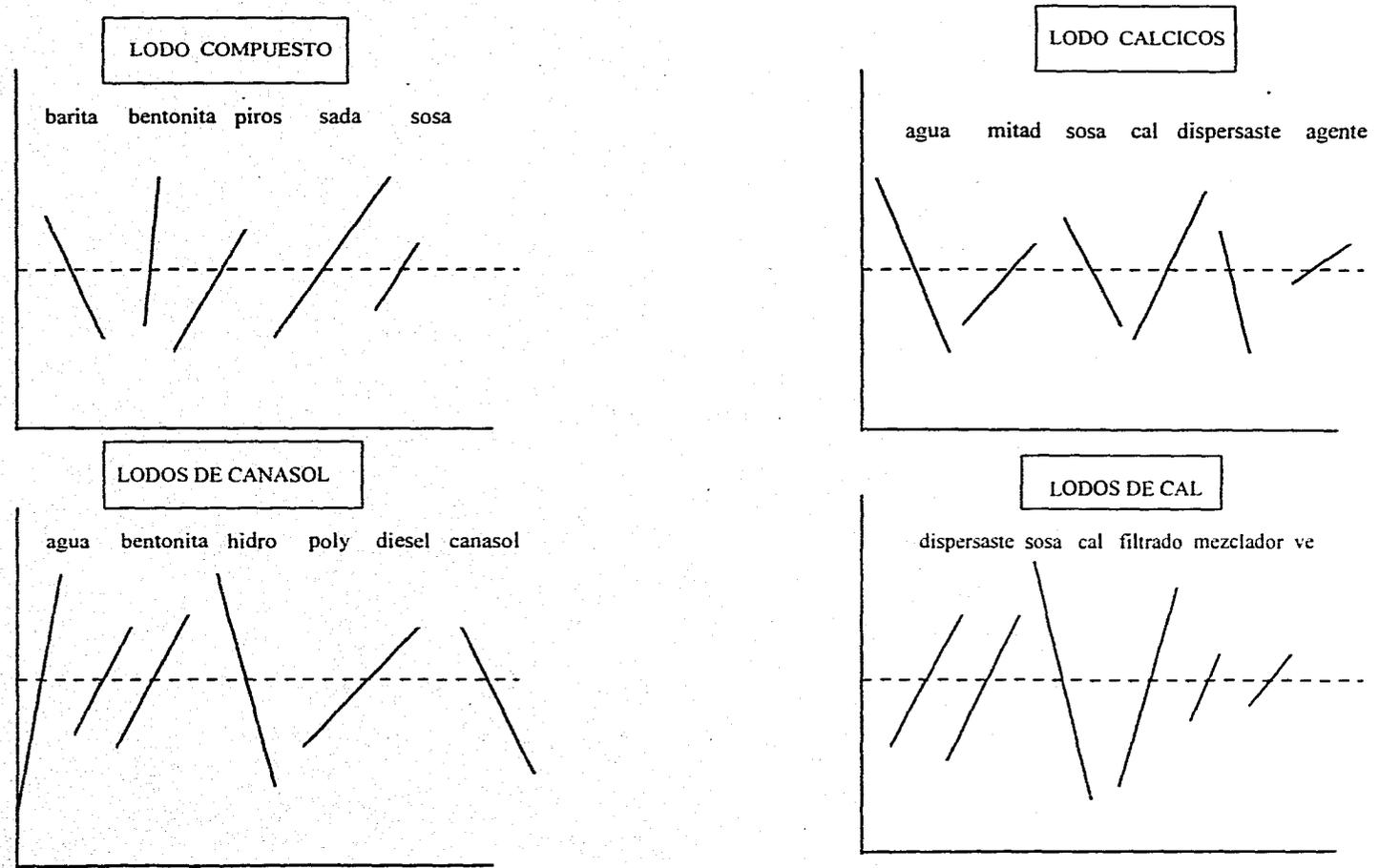


Fig.. 4.3 GRÁFICAS LINEALES





e) Óptimo económico

Para obtener el óptimo económico, el químico selecciono la opción de escoger los factores del óptimo papel ya que lo que se desea es obtener la densidad correcta para el buen funcionamiento de la perforación del pozo y tener éxito con el objetivo de PEMEX. Los resultados fueron los siguientes:

LODOS	ÓPTIMO DEL PAPEL
LODO CARNASOL	A1,BIH1,P2,D1,C1
LODO COMPUESTO	B2,BE1,P1,SISO1
LODO DE CAL	D1,S1,C2,F1,M1,V1
LODO CALCICOS	A2,M1,S2,C1,D2,A1

f) Optimización y predicción

Para confirmar que nuestros resultados puedan reproducirse, generamos una estimación de la respuesta utilizando la condición recomendada mediante la siguiente fórmula

$$\mu_{opt} = F1 + F2 + F3 + F4 - 3 \bar{T}$$

donde:

F1= son los factores

\bar{T} = es el promedio de los factores

Los datos fueron

LODOS	μ_{opt}
LODO CARNASOL	1.88
LODO COMPUESTO	8.563
LODO DE CAL	10.9275
LODO CALCICOS	21.2751

12. CORRIDA CONFIRMATORIA

Se realizó 2 corridas confirmatorias con el propósito de comprobar que los resultados puedan reproducirse. Nuestra corrida se hizo con la condición (óptimo de papel), los resultados fueron los siguientes:



	LODO CARNASOL	LODO COMPUESTO	LODO DE CAL	LODO CALCICOS
DENSIDAD DE LA CORRIDA 1	1.0501	9.02	6.01	11.0
DENSIDAD DE LA CORRIDA 2	1.0495	9.01	6.00	11.01
DENSIDAD DEL ÓPTIMO PAPEL	1.0498	9.015	6.005	11.005
DENSIDAD EXISTENTE	1.01	8.9	5.8	10.8
DENSIDAD DESEADA	1.05	9.01	6.00	11
TOLERANCIA	.001	.01	.01	.01

13. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

1. Análisis de costo

a) Análisis beneficio-costo

Se realizó el análisis de costo, los resultados son los siguientes para cada lodo.

Comparación de costos (existente, propuesto y reproceso)

	Existente	Propuesto	Reproceso	Ahorro
LODO CARNASOL	405.2	314.9	20.26	90.3
LODO COMPUESTO	330.2	273.4	16.51	56.8
LODO DE CAL	320.4	293.2	16.02	27.2
LODO CALCICOS	203.2	176.4	10.16	26.8

b) Análisis función de pérdida

Se obtuvieron los siguientes datos para los lodos.



LODOS	PROCESO EXISTENTE $L(Y)_e$	PROCESO PROPUESTO $L(Y)_p$
LODO CARNASOL	405.20	2.63
LODO COMPUESTO	1618.02	40.05
LODO DE CAL	6604.	8.255
LODO CALCICOS	4064	5.08

Con los datos obtenidos nos podemos dar cuenta que nuestros datos están arriba de la tolerancia. Si consideramos que se tuvo ahorros en la elaboración del lodo a nivel laboratorio, llevarlo a un pozo petrolero se tendrían ahorros muy notables.

La metodología propuesta se aplicó con mucho éxito, resultado muy fácil y dinámico de utilizar. Las ventajas que se pueden obtener si se aplica la Ingeniería de calidad al área de perforación son los siguientes:

- Reducción de gastos operacionales (Reparación y estimulación de pozos)
- Eliminación de atrapamiento de la tubería
- Mayor vida del pozo
- Mayor producción de crudo
- Ahorros considerables en la etapa de perforación
- Eliminación del reproceso
- Rápida perforación
- Ahorro de tiempo y mano de obra

14. NORMALIZACIÓN

Se puede normalizar los datos con algunas variantes dependiendo del tipo de yacimiento

15. ¿QUÉ SE PUEDE MEJORAR MÁS?

Con los datos que se lograron nos damos cuenta que la Ingeniería de calidad puede usarse en otros departamentos de PEMEX, logrando muy buenos resultados. Sería ideal aplicarlo desde que se inicia la exploración del yacimiento hasta la refinación.

CONCLUSIONES

Es necesario que nuestro país entre a un cambio de mentalidad con respecto a la calidad para ser competitivo en el mercado internacional.

El primer paso para que el cambio de mentalidad se de en México, es presentar a los empresarios métodos que sean a bajo costo con grandes probabilidades de obtener reducciones en costos e incrementar las ganancias, como el que propone la ingeniería de calidad, con el fin de desechar de una vez por todas la idea tradicional de que las inversiones para mejorar la calidad deben ser restadas de las ganancias, lo que usualmente sucede cuando el control de calidad se enfoca a la corrección de defectos y no a su prevención.

La intención de esta tesis, fue el presentar a la ingeniería de calidad, para solucionar problemas de optimización de productos y procesos mediante una metodología propuesta de una manera sencilla y didáctica de aplicar.

Los datos que se obtuvieron en la aplicación de la Ingeniería de calidad a la industria petrolera son los siguientes:

El costo de producción del lodo de perforación obtenidos después de llevar acabo la experimentación aplicando la metodología, para cada lodo fue el: lodo carnosol tuvo una reducción de 77%, para el lodo compuesto la reducción fue de 82%, para el lodo de cal la reducción fue de 91%, para el lodo calcicos la reducción fue 86%.

Los ahorros para cada lodo fueron: lodo carnosol fue de \$90.3, para el lodo compuesto fue de \$56.8, para el lodo de cal \$27.2, para el lodo calcicos fue de \$ 26. 8, estos ahorros fueron para un metro cúbico. Si consideramos que en un pozo petrolero se utiliza hasta 1030 metros cúbicos; los ahorros serían considerables

El tiempo de producción también disminuyó considerablemente en un 60%

Se obtuvo un ahorro del reproceso: para el lodo carnosol fue de \$20.26, para el lodo compuesto fue de \$16.51 , para el lodo calcicos fue de \$10.16, para el lodo de cal fue de \$16.51. Si se obtuvo estos ahorros a nivel laboratorio, al llevarlo ya a la operación real se obtendrán espectaculares ahorros en la etapa de perforación. Al obtener los lodos óptimos se elimina el problema de la corta vida del pozo obteniendo con esto las siguientes ventajas tales como reducción de gastos de operación, mayor producción de hidrocarburos, eliminación de atrapamiento de la tubería, mayor vida del pozo, rápida perforación y ahorro de tiempo y mano de obra

CONCLUSIONES

Los lodos óptimos mejoraron en mucho la calidad con respecto a la gelatinosidad y viscosidad.

Las densidades del proceso propuesto entraron excelentemente en la tolerancia.

La metodología propuesta no se aplicó como se hubiera deseado por algunos tropiezos burocráticos; pero se obtuvieron lodos óptimos con ahorros considerables.

La opinión de los trabajadores de perforación respecto a la metodología propuesta fue satisfactoria ya que les gustó por la sencillez del método sin recurrir a cuestiones matemáticas.

Se logró que el equipo tuviera un ambiente de unión, comunicación y armonía.

Para llevar a cabo la metodología se utilizaron unas guías para, el cual los operarios trabajaron con entusiasmo.

De la aplicación observamos que la industria petrolera no cuenta con una alta calidad; de las causas que han provocado esta situación es: que la alta gerencia se les da cursos de calidad que nunca llegan a aplicarse, por que piensan que se elevarían los costos. Los cursos se les deben de dar a los operarios ya que ellos saben donde se encuentran los problemas y soluciones.

La ingeniería de calidad puede ser aplicada en todas las áreas de la industria petrolera, lo que falta es llevarla a cabo.

De la aplicación de la ingeniería de calidad se observó lo siguiente:

Para lograr mayor calidad, es necesario terminar con límites de tolerancia de defectos y centrar la producción, desde su etapa de planeación, en valores objetivos considerando a toda desviación de estos valores como una pérdida para la sociedad.

Para llevar a cabo cualquier programa de optimización de calidad es básico el interés y el entusiasmo de todo el personal relacionado con el producto o el proceso, tanto para la planeación como para la realización y evaluación del proyecto.

La ingeniería de calidad permite llevar a cabo un análisis profundo del problema, utilizando técnicas estadísticas entendibles y fáciles de aplicar, permitiendo la mejora continua.

Antes de aplicar el método del Dr. Taguchi es necesario analizar la situación y decidir si es preferible la inspección o cualquier otro método que nos lleve a un mejor control de calidad.

CONCLUSIONES

El paso clave para lograr alta calidad y bajo costo en la etapa del diseño de parámetros. Por lo que se debe elegir los niveles de los factores del proceso o producto de modo que se perfeccionen las características de calidad del producto y se minimizen los efectos de los factores de ruido.

La aplicación de los arreglos ortogonales reducen el número de corridas experimentales y por lo tanto los costos de experimentación.

Con los arreglos ortogonales podemos calcular la influencia de un factor sobre la característica objetivo.

El análisis de varianza determina la mayor o menor significancias de los factores considerados durante el experimento.

Los métodos gráficos no sólo ordenan la información recabada sino que la presentan en una forma agradable y fácil de analizar.

Para implementar un diseño de experimentos es fundamental conocer la problemática existente, para realizar un análisis.

Los costos de calidad se cuantifican en términos de desperdicio y retrabajo que son puntos tangibles. El Dr Taguchi emplea la función de pérdida de calidad como una medición de ésta en unidades monetarias para cuantificar los costos ocultos o las pérdidas a largo plazo por tiempo de ingeniería, dirección, inventarios, insatisfacción del cliente y pérdida de participación del mercado a largo plazo.

La ingeniería de calidad no es la panacea para resolver todos los problemas de calidad ; pero si es una buena alternativa a utilizar, ayudandonos con la metodología propuesta, adaptandola según el tipo de empresa.

APÉNDICE A

ARREGLOS ORTOGONALES Y GRÁFICAS LINEALES

Para escoger el arreglo ortogonal adecuado nos guiaremos con la siguiente tabla:

NÚMERO DE FACTORES	ARREGLO A UTILIZAR
Entre 1 y 3	L_4
Entre 4 y 7	L_8
Entre 8 y 11	L_{12}
Entre 12 y 15	L_{16}
Entre 16 y 31	L_{32}
Entre 32 y 63	L_{64}

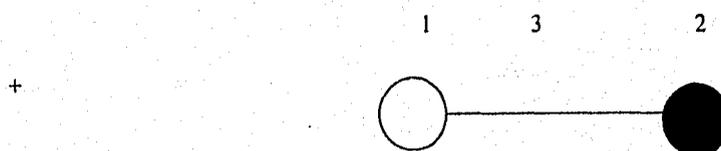
La clasificación por grupos de las columnas de los arreglos ortogonales es indicado por los siguientes símbolos en los tipos de arreglos asignados

ARREGLO SÍMBOLOS	$L_{12}(2)^{31}$ Grupo	$L_{64}(2)^{31}$ Grupo	Otros arreglos Grupo
○	Gp1 y Gp2	Gp1, Gp2 y Gp3	Gp1
⊙	Gp3	Gp4	Gp2
⊖	Gp4	Gp5	Gp3
●	Gp5	Gp6	Gp4

para las gráficas lineales

No	Col No	1	2	3
1		1	1	1
2		1	2	2
3		2	1	2
4		2	1	1
		Gp1		Gp2

GRÁFICA LINEAL DE $L_4(1)$



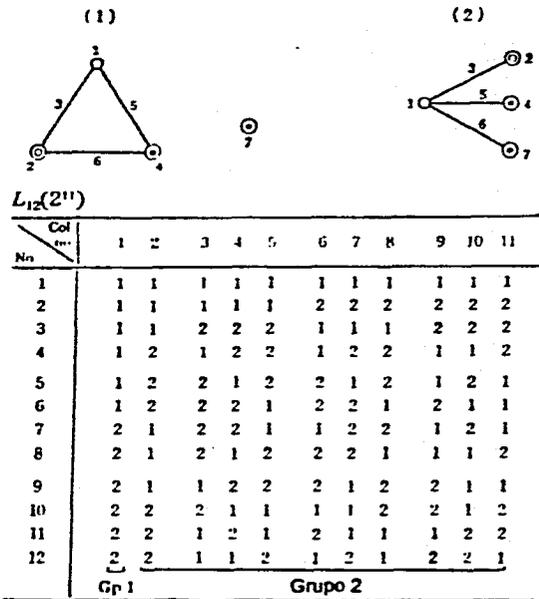
$L_{8}(2^7)$

Col no	1	2	3	4	5	6	7
No							
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
	Gp 1	Gp 2	Grupo 3				

Interacciones Entre Dos Columnas

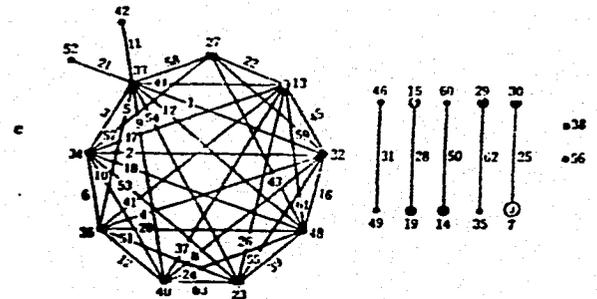
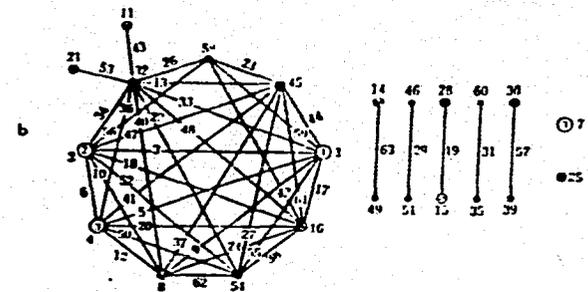
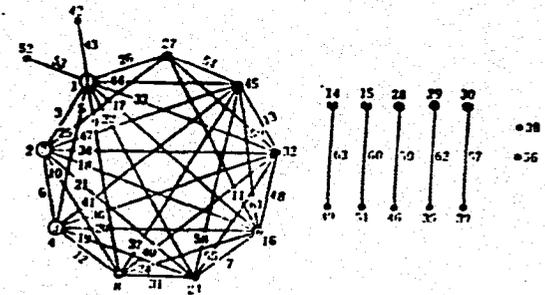
Col no	1	2	3	4	5	6	7
Col							
(1)	3	2	5	4	7	6	
(2)	1	6	7	4	5		
(3)	7	6	5	4			
(4)	1	2	3				
(5)	3	2					
(6)	1						
(7)							

Gráficas Lineales de L_8



(Nota) Los componentes de interacción de cualquiera dos columnas puede llegar a confundirse ligeramente con cualquiera de las nueve columna restantes. El método de análisis secuencial puede llegar a ser necesario si alguien desea encontrar interacciones. Por lo tanto, no utilice este arreglo de experimentos donde las interacciones son necesarias

(1) Gráficas Lineales de L_{64}



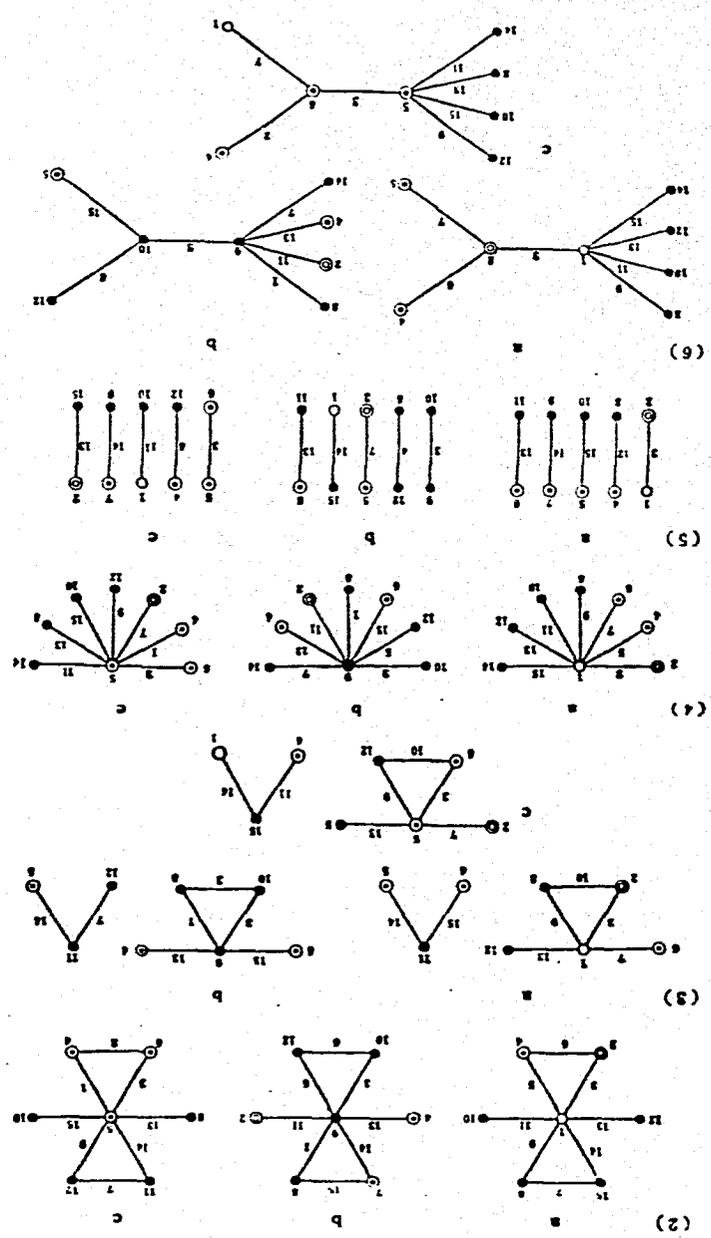
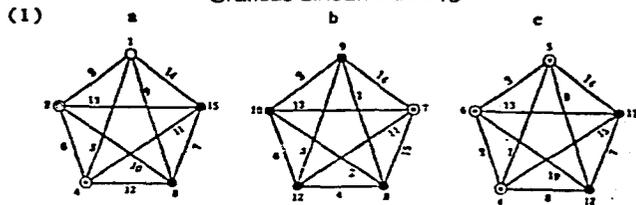
$L_{16}(2^{15})$

Mo	Col no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2
	Gp	1		Gp 2		Grupo 3				Grupo 4						

Tabla de Interacciones Entre Dos Columnas

Col.	Col	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
(1)	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14		
(2)	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13			
(3)	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12				
(4)	1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11					
(5)	3	2	13	12	15	14	9	8	11	10						
(6)	1	14	15	12	13	10	11	8	9							
(7)	15	14	13	12	11	10	9	8								
(8)	1	2	3	4	5	6	7									
(9)	3	2	5	4	7	6										
(10)	1	6	7	4	5											
(11)	7	6	5	4												
(12)	1	2	3													
(13)	3	2														
(14)	1															

Gráficas Lineales de L16

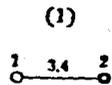


Sistema 3ⁿ

$L_{III}(3^4)$

Col no	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

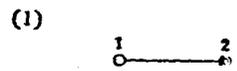
Grupo 1 Grupo 2



$L_{III}(2^1 \times 3^7)$

Col no	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	3
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1
19	3	1	3	2	1	3	2	1
20	3	1	3	2	2	1	3	2
21	3	1	3	2	3	2	1	3
22	3	2	1	3	1	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	1
26	3	3	2	1	2	1	3	2
27	3	3	2	1	3	2	1	3

Grupo 1 Grupo 2 Grupo 3



$L_{III}(3^{13})$

Col no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

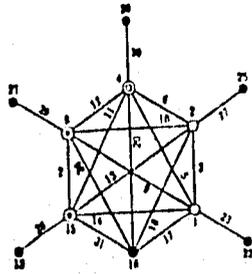
Grupo 1 Grupo 2 Grupo 3

(Las interacciones son encontradas en columnas intercambiadas. Éstas son encontradas de dos formas en el arreglo de la columna 1 y columna 2).

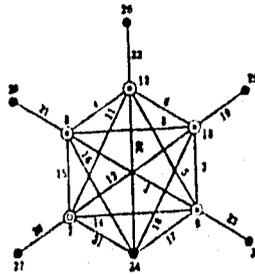
(Nota) Las interacciones entre tres niveles son parcialmente confundidas en cualquiera de las columnas restantes de tres niveles. Lo mismo puede decirse como la nota de L₁₂

Gráficas Lineales de L32

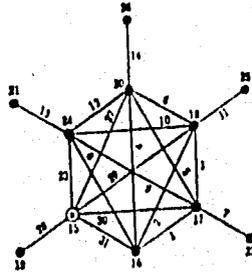
(1) a



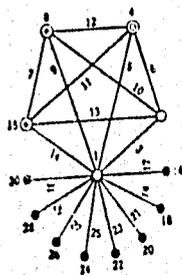
b



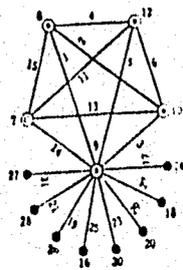
c



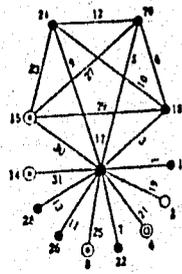
(2) a



b



c



$L_{32}(2^{31})$

Col no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
6	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
8	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
9	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2
10	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2
11	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2
12	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2
13	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2
14	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2
15	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2
16	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1
17	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
18	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
19	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
20	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
21	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
22	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
23	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
24	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
25	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
26	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
27	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
28	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
29	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
30	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
31	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
32	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
Grupo 1																															
Grupo 2																															
Grupo 3																															
Grupo 4																															
Grupo 5																															

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Interacciones Entre Dos Columnas

Col Col	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
(1)	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14	17	16	19	18	21	20	23	22	25	24	27	26	29	28	31	30	
(2)	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13	18	19	16	17	22	23	20	21	26	27	24	25	30	31	28	29		
(3)	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12	19	18	17	16	23	22	21	20	27	26	25	24	31	30	29	28			
(4)	1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11	20	21	22	23	18	17	18	19	28	29	30	31	24	25	26	27				
(5)	2	13	12	15	14	9	8	11	10	21	20	23	22	17	16	19	18	29	28	31	30	25	24	27	26						
(6)	1	14	15	12	13	10	11	8	9	22	23	20	21	18	19	16	17	30	31	28	29	25	26	27	24	25					
(7)	15	14	13	12	11	10	9	8	23	22	21	20	19	18	17	16	31	30	29	28	27	26	25	24							
(8)	1	2	3	4	5	6	7	24	25	26	27	28	29	30	31	18	17	18	19	20	21	22	23								
(9)	3	2	5	4	7	6	25	24	27	26	29	28	31	30	17	16	19	18	21	20	23	22									
(10)	1	6	7	4	5	26	27	24	25	30	31	28	29	18	19	16	17	22	23	20	21										
(11)	7	6	5	4	27	25	25	24	31	30	29	28	19	18	17	16	23	22	21	20											
(12)	1	2	3	28	29	30	31	24	25	26	27	20	21	22	23	16	17	18	19												
(13)	2	29	28	31	30	25	24	27	26	21	20	23	22	17	18	19	18														
(14)	1	30	31	28	29	26	27	24	25	22	23	20	21	18	19	16	17														
(15)	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16															
(16)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15																
(17)	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14																	
(18)	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13																		
(19)	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12																			
(20)	1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11																				
(21)	3	2	13	12	15	14	9	8	11	10																					
(22)	1	14	15	12	13	10	11	8	9																						
(23)	15	14	13	12	11	10	9	8																							
(24)	1	2	3	4	5	6	7																								
(25)	2	3	4	5	6	7																									
(26)	1	6	7	4	5																										
(27)	7	6	5	4																											
(28)	1	2	3																												
(29)	2	3																													
(30)	1																														



APÉNDICE B



ANOVA (análisis experimental basado en el método Taguchi; elaborado por William Eureka y Gil Schumacer) es un programa autoejecutable de cómputo para obtener la tabla de análisis de varianza. Esta tabla nos permite visualizar cuales son los factores más importantes en el proceso/producto de acuerdo a las características de calidad.

ANOVA nos ofrece realizar diferentes análisis:

- Encontrar los niveles óptimos para el proceso de acuerdo a la característica
- Gráficos de los efectos factoriales de las variables estudiadas sobre la característica que se eligió
- Promedio de datos

ANOVA despliega los siguientes comandos

INPUT DATA FROM KEYBOARD

Permite introducir la información siguiendo estas instrucciones:

- 1.-Title?
Introducir el nombre de la característica
- 2.-Select continuos o categórica data
Seleccionar los datos continuos o categóricos
- 3.-Number of desired array?
Seleccionar el número de arreglo que se estableció la experiencia
- 4.-Number of responses per row(1-32)?
Seleccionar las respuestas que requieren por renglón

READ DATA FROM FILE

Permite utilizar los archivos guardados

DISPLAY AVERAGE TABLE

Esta tabla muestra los factores y sus niveles

DISPLAY ANOVA TABLE

Despliega la tabla de análisis de varianza ANOVA.

RUN S/N ANALYSIS

Especifica la relación señal ruido

DISPLAY/ EDIT DATA

Despliega los valores de arreglo ortogonal que se introduce



SAVE DATA IN FILE

Despliega los archivos en uso, además permite guardar los archivos

DISPLAY AVERAGE GRAPH

Despliega las gráficas promedio y permite imprimirlas

RECOMMEND OPTIMUM

Recomienda los niveles óptimos de acuerdo al tipo de características elegida

QUIT/RESART

Presentar opciones que se van a seleccionar de acuerdo a nuestras necesidades



APÉNDICE C.



Herramientas de Calidad.

TORMENTA DE IDEAS.

Es una técnica de grupo que permite a los participantes involucrarse en un tema específico y verter el mayor número de enfoques e ideas posibles. La tormenta de ideas es una metodología basada en la participación integral que parte de dos principios fundamentales:

La persona que realiza el trabajo es la que mejor lo conoce. Las decisiones sobre cualquier trabajo, son más adecuadas cuando se toman en los niveles más próximos a quienes ejecutan dicho trabajo. La tormenta de ideas sirve para fomentar la participación en la toma de decisiones e integración de personas creativas, que logren descubrir mejores formas de hacer cosas. La tormenta de ideas se utiliza en el momento de definir requerimientos y expectativas de los usuarios, en la identificación, selección del problemas, así como en la elaboración del diagrama de Ishikawa.

Procedimiento:

PASO 1.- Señale claramente el tema sobre el que van a dar las ideas.

PASO 2.- Genere las ideas, anótelas en un lugar visible y que cada participante proporcione una idea por turno, evite la crítica y exprese todas las ideas que surjan.

PASO 3.- Evalúe las ideas, tache aquellas que no se refieran al tema, agrupe las que se refieran a un mismo aspecto y jerarquice, además evite evaluar a las personas que generaron la idea.

La clave del éxito de esta técnica es usar libre y espontáneamente el poder del pensamiento y la creatividad. Para llevar a cabo la técnica deben tener presentes las siguientes interrogantes:

¿Qué?, ¿Quién?, ¿Cómo?, ¿Dónde?, ¿Porqué? de un proceso o problema.

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO.

El diagrama de causa y efecto, conocida también como diagrama de Ishikawa, es una técnica de análisis que nos ayuda a identificar los factores responsables de la presencia o ausencia de una determinada característica de calidad. el diagrama se basa en la relación que se da entre una causa y sus efectos; por eso, consta de dos secciones. En una se transcribe la característica de calidad a analizar, mientras que en la otra se presentan, en forma ordenada, las causas y subcausas que pueden influir en la característica de calidad, toma la forma de un esqueleto de pescado; por lo cual el diagrama toma este nombre.

Procedimiento para Elaborar el Diagrama.

PASO 1.- Se elige la característica de calidad que se desea mejorar y controlar.

PASO 2.- Se traza una flecha gruesa de izquierda a derecha y se escribe a la derecha de la punta de la flecha la característica de calidad a analizar.



PASO3.-Se anotan los principales factores, causantes del problema y se relacionan con la característica de calidad mediante flechas que caen sobre la flecha principal a las flechas que representan dichas causas se les llama ramas.

Se recomienda agrupar el mayor número posible de factores causales de dispersión bajo los siguientes rubros:

- Mano de obra.
- Materia prima.
- Maquinaria.
- Métodos de trabajo.
- Medio ambiente.

PASO 4.-Cada una de estas causas se subdivide en subcausas, que se agrupan como pequeñas ramas entorno a las ramas principales.

El análisis de las subcausas permite identificar mejor que factor en concreto de la causa puede ser responsable de características de calidad que se analiza. Así se prosigue hasta que muestre plenamente las causas y subcausas de la característica de calidad.

PASO 5.-Teniendo a la vista el cuadro completo de los factores que sean las posibles causas de las características de calidad, se identifica cuales de estos factores, son en el caso concreto, las verdaderas causas del problema

DIAGRAMA DE PARETO.

El diagrama de pareto es una gráfica que presenta en forma ordenada el grado de importancia que tienen las diferentes causas en un determinado problema, tomando en consideración la frecuencia con que ocurre cada una de dichas causas.

El diagrama de pareto, al catalogar las causas por orden de importancia, facilita una correcta toma de decisiones.

Procedimiento para Elaborar el Diagrama de Pareto.

EL diagrama de pareto se asemeja, en gran medida a un diagrama de barras.

Primera etapa: recolección y ordenamiento de los datos:

PASO 1.-Se elabora una lista de los factores o causas potenciales del problema.

PASO 2.-Se establece el periodo de tiempo dentro del cual se obtendrán los datos.

PASO 3.-Obtenidos los datos sobre la frecuencia con que ocurre cada causa o tipo de defecto dentro del período fijado, se transcriben dichos datos en una hoja de registro.

PASO 4.-Con base en los datos de la hoja de registro, se ordena las distintas causas que influyen en el problema conforme al número de veces que ocurre, comenzando con la que se da con mayor frecuencia y terminado con la de menor frecuencia.

REGISTRO DE TIEMPO
 Fecha _____
 No. De mnt =N _____

Causa de fallas	tiempo
factor	ni
TOTAL	d=



PASO 5.- Se calcula el porcentaje absoluto de artículos defectuosos con respecto al número total de artículos inspeccionados.

Causa de fallas	tiempo	% de tiempo
factor	n_i	$a_i = n_i * 100/N$
TOTAL.	$d =$	

PASO 6.-Se obtiene el porcentaje relativo de productos defectuosos atribuibles a cada causa, con respecto al número total de casos defectuosos

Causa de fallas	tiempo	% de tiempo	% de tiempo
factor	n_i	$a_i = n_i * 100/N$	$r_i = n_i * 100/d$
TOTAL.	$d =$		

PASO 7.-Se calcula el porcentaje relativo que se va acumulando, sumando el porcentaje de cada causa. Con esta información se comprende que porcentaje de productos se eliminaría si se emprenden acciones efectivas que supriman las causas principales de los productos defectuosos

Causa de fallas	tiempo	% de tiempo	% de tiempo	Acum
factor	n_i	$a_i = n_i * 100/N$	$r_i = n_i * 100/d$	$R = r_1 + \dots + r_n$
TOTAL.	$d =$			

PASO 8.-La información obtenida se presenta en una tabla como la anterior.

Segunda etapa:

PASO 9.-Se traza un eje horizontal y dos ejes verticales, uno en cada extremo del eje horizontal. El eje horizontal se divide en tal forma que queden representadas las causas, las cuales se anotan de izquierda a derecha. Lo que ocurre con mayor frecuencia a la izquierda y la de menor frecuencia a la derecha.

El eje vertical izquierdo se gradúa en tal forma que sirva para mostrar el número de productos defectuosos. El eje vertical derecho se gradúa en tal forma que muestre el porcentaje relativo acumulado. La escala se divide en cinco partes iguales para ubicar el porcentaje.

PASO 10.-Se ponen las barras correspondientes a los distintos factores o causas. La altura de las barras representa el número de veces que ocurrió la causa. Las barras se dibujan con la misma amplitud, conectadas unas con otras como en un histograma.

PASO 11.-Se colocan los puntos que representan el porcentaje relativo acumulado, teniendo para esto la graduación de la barra vertical derecha; los puntos se colocan en la posición que corresponda al extremo derecho de cada barra y se traza una curva del porcentaje relativo.

GRÁFICAS DE CONTROL

Es una herramienta estadística que detecta la viabilidad de un proceso. Sirve para solucionar problemas de calidades en los procesos para su control.

Se usa para:

- 1.-Controlar la calidad durante la producción.
- 2.-Pone de manifiesto la información de los registros de calidad.



3.-Para juzgar si la calidad está bien controlada.

Las gráficas de control más utilizadas (son 18):

Por Variables:

- Diagrama de promedios y rangos
- Diagrama de Medias y Rangos
- Diagramas de lecturas individuales
- Diagramas de Medias y desviación estándar

Por Atributo:

- Diagramas de porcentajes de piezas defectuosas.
- Diagramas de cantidad de unidades defectuosas.
- Diagramas de defectos por pieza.

Procedimiento:

PASO 1.-Se obtiene de la media de los datos.

$$X = \frac{n_1 x_1 + n_2 x_2 + \dots + n_k x_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

PASO 2.-Se obtiene la media de la desviación estándar.

$$S = \sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2 + \dots + n_k s_k^2}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}}$$

PASO 3.-Se calcula la media del tamaño de los grupos.

$$n = \frac{\text{suman}}{k}$$

PASO 4.-Se calcula el factor A_1

$$A_1 = 3 / \sqrt{n}$$

PASO 5.-Se calcula el factor B_4

$$B_4 = 1 + 3 / \sqrt{2n}$$

PASO 6.-Se calcula el factor B_3

$$B_3 = 1 - 3 / \sqrt{2N}$$

PASO 7.-Se obtiene el límite superior de control para las medias, fórmula:

$$L_s C_x = \bar{x} + A_1 s$$

PASO 8.-Se obtiene el límite inferior de control para las medias, fórmula:



$$L_1, C_1 = X - A_{1S}$$

PASO 9.-Se obtiene el límite superior de control para las desviaciones estándar.

$$L_1, C_1 = B_{4S}$$

PASO 10.-Se obtiene el límite de control para las desviaciones estándar, fórmula:

$$LSCs = B_{4S}$$

PASO 11.-Se gráfica la línea central, los límites de control para las medias y se incluye los puntos:

PASO 12.-Se grafican la línea central, los límites de control para desviaciones estándar y se incluye los puntos:

PASO 14.-Se interpreta la gráfica resultante:

HISTOGRAMA.

Un histograma es un gráfico que muestra la distribución de los datos. Se construye con los datos recogidos en una tabla de frecuencias, que es cuadro que divide el rango entero de datos en varias secciones iguales para comparar la frecuencia de la ocurrencia de cada sección. El histograma adopta una forma de un gráfico de barras, con columnas que representan la frecuencia con la que aparecen los datos de las diversas secciones del rango.

Procedimiento.

PASO 1.-Recoger como mínimo 50 y si es posible 100 datos de elementos. Expresa con N el número global de datos:

PASO 2.-Valores máximos y mínimos. Encontrar el valor máximo L y el mínimo S de los datos. Marque en cada columna de la tabla de datos el valor máximo y el mínimo.

PASO 3.-Determinar la amplitud de la sección. Dividir la distancia entre el valor máximo y el mínimo en un número apropiado de intervalos iguales. Primero dividir la diferencia entre L y S en un número k de secciones, calculando la amplitud h de cada sección. Diez es el valor usualmente seleccionado para k para producir una unidad de medida h de las cual será múltiple entero.

PASO 4.-Determinar los valores de los límites de sección. El valor del límite de una sección se especifica con una precisión de la mitad de la unidad de medida más pequeña. La primera sección tiene el valor mínimo como límite inferior. Calcular los límites superiores agregando la amplitud de la sección al límite inferior.

PASO 5.-Determinar el valor medio de las secciones. Se determina el valor medio entre límites de cada sección. Emplear este valor cuando calcule el valor medio y la desviación estándar de la tabla de frecuencias.

PASO 6.-Preparar una tabla de frecuencias. Registre los valores de los límites y medias de las secciones en sus columnas ordenadas de menor a mayor, asigne los elementos de datos uno a uno en las secciones apropiadas colocando una marca en la columna de chequeo. Totalice los datos en la columna de frecuencia para asegurar que el número de elementos de datos iguala N.

PASO 7.-Preparar un histograma



A lo largo del eje horizontal dibuje a escala las amplitudes de los valores de las secciones y a lo largo del eje vertical las frecuencias.

HOJAS DE CHEQUEO.

Una hoja de chequeo es un impreso, con formato de diagramas o tabla, preparado por anticipado para registrar datos, con ellos pueden recoger la información necesaria haciendo una marca de chequeo en la página. Las hojas de chequeo se emplean con los siguientes formatos:

1. Hojas de chequeo para registrar datos y hacer encuestas:

- Hojas de chequeo de artículos defectuosos.
- Hojas de chequeo de factor defectuoso.
- Hoja de chequeo de posición de defecto.

Procedimiento.

PASO 1.-Clasifique los objetivos

PASO 2.-Determinar el tipo de hoja de chequeo a utilizar según el problema.

PASO 3.-Decidir que artículo checar.

PASO 4.-Crear la hoja de chequeo:

TITULO	Expresar claramente el propósito de la inspección.
Objeto	Qué checar y dónde checarlo.
Método de chequeo	Lo que se debe emplear y procedimientos a seguir
Fecha y tiempo	Conque intervalos deben hacerse los chequeos
Verificar	Quien realizo el chequeo
Localización	Donde se hacen los chequeos
Resumen de conclusiones	Total , media, cálculo de proporciones dentro del total

PASO 5.-Registro de datos. Se hacen observaciones y se registran en la hoja de chequeo.

PASO 6.-Calcular y cuadrar los resultados de chequeo, se realizan cálculos para encontrar los totales, medias, proporciones.

PASO 7.-Examinar la hoja de chequeo

DIAGRAMA DE FLUJO.

Este método es gráfico, se utilizan símbolos (cuadros y círculos) para visualizar la operación y secuencia de un sistema.

En un programa de mejoramiento de calidad es muy útil preparar un diagrama de flujo que describa claramente el proceso real que se esta usando, esto permite que todo el personal entienda todo el proceso y se pueda identificar el problema visualizándolo.



DIAGRAMA DE DISPERSIÓN.

Si se tiene dos tipos de datos x e y , están relacionados de forma que si x aumenta o decrece, también aumenta o decrece y , existe correlación entre ellos. Un diagrama de dispersión es un gráfico que muestra la relación entre estos dos tipos de datos como se muestra.

Procedimiento.

PASO 1.-Recoger 30 a 50 pares de datos cuantitativos (x e y)

PASO 2.-Seleccionar unidades que expresen el rango de valores de x e y , dibujar una escala para x en el eje horizontal y una escala para y a lo largo del eje vertical.

PASO 3.-Dibuje los pares de datos (x,y) como puntos en un diagrama de dispersión.

Si en la tabla están registradas parejas iguales se emplea alguna forma de registro para distinguir la medición que se repite. A partir del diagrama de dispersión se puede observar si las variables x y " y " están relacionados entre si o no. La relación que puede existir entre dos variables es de dos tipos, lineal o curvilínea. Es lineal, si todos los puntos del diagrama están localizados cerca de una línea recta. La relación es curvilínea, si los puntos en el diagrama no se pueden aproximar a una recta.

APÉNDICE D

FORMULACION DE LA MISION.		
PARTICIPANTES. 1*	TORMENTA DE IDEAS ¿EN QUE NEGOCIO ESTAMOS?. 2*	PRIMER BORRADOR DE LA MISION. 3*
		FECHA: 4*

INSTRUCCIONES 1* Escriba el nombre y puesto de quienes participan en la reunion para formular la mision 2* Anote en un lugar visible la pregunta ¿En que negocio estamos? y escriba todas las opuniones 3* Revisar las opiniones y obtener las ideas fundamentales e intentar una primera definicion 4* Anotar fecha, proponer que cada uno lo revise por separado y establecer otra reunion de analisis hasta quedar completamente de acuerdo con la razon de ser del negocio

Guías para aplicar la metodología propuesta

PRESENTACION DE OBJETIVOS.			
AREA. 1*	IDEAS BASE PARA OBJETIVO. 2*	OBJETIVO OPERACIONAL. 3*	OBJETIVO DE CALIDAD. 4*

INSTRUCCIONES 1* Anotar el area que presenta el objetivo 2* Transcribir las ideas base para el objetivo 3* Esto es el objetivo propuesto que a traves un analisis riguroso

DEFINICION DE OBJETIVOS.		
BRECHA DE MEJORA CONTINUA. 1*	TORMENTA DE IDEAS; ACCIONES PARA ATENDER BRECHAS O QUE HACER PARA LOGRARLO. 2*	BASES PARA OBJETIVOS. 3*
		FECHA: 4*

INSTRUCCIONES 1* Escribir las necesidades de mejora 2* En un lugar visible anotar las ideas para lograrlas 3* Analizar las ideas y escribir

APÉNDICE D

bases para elaborar los objetivos 4* Anotar la fecha y convocar a nueva reunión en donde se lleven ideas de objetivos elaborados en diferentes áreas

DESCRIPCION DEL PROCESO. 1*	VARIABLES QUE AFECTAN LA CALIDAD. 2*	VARIABLES SELECCIONADAS PARA SU OBSERVACIÓN. 3*

VARIABLES SELECCIONADAS. 4*	TECNICAS DE RECOLECCION. 5*	OBSERVACIONES IMPORTANTES. 6*

INSTRUCCIONES: 1* Describir el proceso actual 2* Anotar las variables que afectan la calidad 3* Seleccionar las variables prioritarias para su observación. 4* Enlistar las variables seleccionadas 5* Determinar la técnica estadística que se va a emplear. 6* Mencionar las observaciones más importantes que se vayan obteniendo

Equipo de trabajo	Motivación	Ambiente agradable	Comunicación y capacitación
1.Puesto 2.Nombre 3.Actividad			

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA EN EL PROCESO	FECHA:
Tormenta de ideas	
Diagrama causa efecto	
Diagrama de pareto	
Consenso	
Jerarquizar	
Selección	
DETERMINACION DEL OBJETIVO DE CALIDAD	FECHA
ANALISIS DEL PROBLEMA	FECHA
Tormenta de ideas	

APÉNDICE D

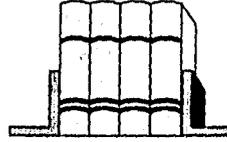
Diagrama Ishikawa	
Manejo, Registro y agrupamiento de datos	
Representación gráfica	
ANALISIS DE DATOS	FECHA
DISEÑO DEL EXPERIMENTO	FECHA
REALIZACION DEL EXPERIMENTO	FECHA
ANALISIS DE LA INFORMACIÓN	FECHA
INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS	FECHA

APÉNDICE D

CORRIDA CONFIRMATORIA	FECHA
RESULTADOS Y CONCLUSIONES	FECHA
NORMALIZACION	FECHA
QUE SE PUEDE MEJORAR	FECHA



BIBLIOGRAFÍA



1. Patrick M. Burgman, The Taguchi Way. " Manufacturing Engineering", Mayo, 1985.
2. Yuin Wu Willie Hobbs Moore Quality Engeneering-Product and Process Opimization, De American Supplier Institute, 1986.
3. Ronald L. Iman and W. J. Conover , A Modern Approach to Statistic, Ed.New York: Johnwiley Sons, 1983.
4. Yuin Wu , Orthogonal Arrays and Linear Graphs, Ed. American Supplier Institute,1986.
5. Burton Gunter , A perspective on the Taguchi Methods, Ed American Society for Quality Control, 1987.
- 6.Ryan Nancy, Los Métodos Taguchi y el DFC; Los cómo y los porqués para la Gerencia , Ed Panorama, 1995.
- 7.Tellez Sanchez Rubén, Ingeniería de calidad; mecanograma, Facultad de Ingeniería Ed. UNAM, 1989.
- 8.Taguchi Genichi, System of Experimental Desing, Ed. UNIPUB, 1991.
10. Ranjit Roy, Taguchi Method, Ed. NUKET, 1990.
11. G. Taguchi and S Konishi, Orthogonal Arrays and Linear Graphs, Ed. American Supplier Institute, 1987.
12. Philip J Ross, Taguchi Techniques for Quality Engineering, Ed. American Supplier Institute, 1988.
13. Luis D: Reyes Hermosillo, Introducción a la Ingeniería de Calidad, Ed. ITESM, 1994.
14. Informe Anual de labores, PEMEX, 1995; Ed. PEMEX
15. Ing Benitez, Fluidos de Perforación, Ed UNAM, 1994.

16. Manual de Fluidos de Perforación, IMP, Ed. IMP, 1995.
17. Luigni Valdez, La quinta generación Luigni Valdés, Ed. CANACINTRA, 1994.
18. Kaoura Ishikawa, Guía de Control de Calidad, Ed. UNIPUB, 1985.
19. Kaoura Ishikawa, Introducción al Control de Calidad, Ed. Diaz de Santo, 1994.
20. Kasuga de Yamazaki Hermelinda, Círculos de Calidad, Ed. México Grad, 1990.
- 21 Ingeniería de Calidad, ÍTESM, 1990. Ed. ITESM
22. Deming W. Edwards, Calidad y Productividad y Competitividad "La salida de la crisis", Ed. Diaz de Santo, 1994.
23. Juran, Joseph M., Juran y el liderazgo para la calidad: Manual de ejecutivos, Ed. Díaz de Santo, 1990.
24. Juran, Joseph M., Juran y Planificación para la Calidad , Ed. Diaz de Santo, 1990.,