



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

“CALIDAD EN LAS ORGANIZACIONES
(EMPRESAS E INSTITUCIONES DE PRODUCCIÓN
Y DE SERVICIOS). OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE
ETOXIQUN POR DISEÑO DE EXPERIMENTOS
METODO TAGUCHI”.

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P R E S E N T A
CORDOVA GUERRERO SERGIO HOMERO

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

ASESOR: ING. JUAN RAFAEL GARIBAY BERMÚDEZ

2005

M: 351087



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

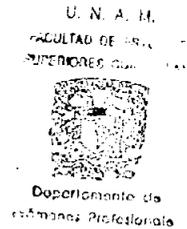
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen Garcia Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

"Calidad en las Organizaciones (Empresas e Instituciones de Producción y de Servicios).
 Optimización del Proceso de Etoxiquin por Diseño de Experimentos Método Taguchi."

que presenta el pasante Sergio Homero Córdova Guerrero

con número de cuenta 9459983-5 para obtener el título de:
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 7 de Septiembre de 2004

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>Ing. Juan Rafael Garibay Bermúdez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>II</u>	<u>Dra. Frida María León Rodríguez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Dr. Armando Aguilar Márquez</u>	<u>[Firma]</u>

Este trabajo esta dedicado a mis padres, a mi hermano,
a mis asesores y a mis compañeros que gracias
a su valiosa ayuda he salido adelante

INDICE

INTRODUCCION.	1
CAPITULO 1 SISTEMAS DE CALIDAD.	
1.1 Desarrollo histórico y evolución del control de calidad.	2
1.2 Teorías precursoras de la calidad.	3
1.2.1 Aplicación de la estadística (DR. EDWARD DEMING).	3
1.2.2 Cuatro pasos para la mejora continua (DR. KAORU ISHIKAWA)	5
1.2.3 Trilogía de Juran	7
1.2.4 La calidad total en la empresa (ARMAND V. FEINGENBAUM)	8
1.2.5 Principios absolutos de la calidad (PHILLIP CROSBY)	9
1.2.5.1 La calidad no cuesta	9
1.2.5.2 Cero defectos	9
1.3 Productividad y calidad	10
1.3.1 Justo a Tiempo	11
1.4 Organización internacional de normalización	11
1.4.1 Normas Internacionales Sobre Aseguramiento de Calidad	12
1.5 La calidad en México	13
1.5.1 La dirección general de normas mexicanas (D.G.N.)	14
1.5.2 Normas mexicanas de calidad	14
1.6 Aseguramiento y gestión de la calidad	15
CAPITULO 2 CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.	
2.1 Causas comunes y causas especiales	16
2.2 Gráficas de control	17
2.2.1 Medidas de tendencia central	17
2.2.2 Obtención de parámetros	18
2.2.3 Elaboración de las gráficas de control X - R	19
2.2.4 Adhesión, tendencia y series de las gráficas de control	22
2.3 Gráficas de control por atributos	26
2.3.1 Gráfica P	26
2.3.2 Gráfica NP	28
2.3.3 Gráfica C	29
2.3.4 Gráfica U	30
2.4 Muestreo por atributos	30
2.5 Técnicas para la solución de problemas	32
2.5.1 Diagrama de pareto	32
2.5.2 Diagrama causa-efecto	34
2.5.3 Círculos de calidad	35
CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.	
3.1 Variabilidad	36
3.2 Control de calidad en línea y fuera de línea	37
3.2.1 Control de calidad fuera de línea	39

3.2.2	Control de calidad en línea	41
3.3	Tipos de variables	42
3.4	Función de pérdida	43
3.4.1	Nominal es mejor	43
3.4.2	Más grande es mejor	44
3.4.3	Menor es mejor	45
3.5	Análisis de varianza	45
3.5.1	Anova de un camino	46
3.5.2	Método de bloques	46
3.5.3	Cuadro latino	49
3.6	Tipos de experimentos	49
3.6.1	Experimentos factoriales	49
3.6.2	Experimentación científica tradicional	50
3.6.3	Replicando experimentos	53
3.6.4	Interacciones de factores	53
3.6.5	Gráficas normales de efectos estimados	54
3.7	Diseños factoriales fraccionados	55
3.8	Análisis de varianza en el diseño	56
3.9	Método Taguchi	57
3.9.1	Selección de factores y/o interacciones	58
3.9.2	Selección del número de niveles	58
3.9.3	Selección del AO	58
3.9.4	Asignación de factores e interacciones	59
3.9.5	Conduciendo el experimento	61
3.9.6	Analizando resultados	62
3.9.7	Confirmación del experimento	62
3.10	Un enfoque final	72

CAPITULO 4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.

4.1	Generalidades	74
4.2	Política de calidad	74
4.3	Ubicación de la empresa	76
4.4	Organigrama	77
4.5	Actividades de la empresa	78
4.6	Diagrama de flujo de la elaboración del Etoxiquin	80
4.7	Reacción del Etoxiquin	81
4.7.1	Lavado de sales	81
4.7.2	Neutralización	82
4.7.3	Destilación	82
4.8	Especificaciones	82
4.9	Método para Tratamiento de Colas de Fosa	83
4.9.1	Tratamiento de Aguas	84
4.9.2	Reacción para obtener la parafenitidina en el tratamiento de aguas	84
4.9.3	Tratamiento de aguas residuales	84
4.9.3.1	Extracción alcalina	85
4.9.3.2	Extracción ácida	85

CAPITULO 5 APLICACIÓN DEL MÉTODO TAGUCHI.

5.0	Diseño de experimentos.	87
5.1	Objetivos.	87
5.2	Definición del problema.	87
5.3	Diagrama de Bloques Método Taguchi.	88
5.4	Selección de variables y posibles interacciones.	89
5.5	Datos del proceso.	89
5.6	Corrida del experimento.	90
5.7	Interpretando resultados.	96
5.8	Predicción de resultados.	98

CONCLUSIONES.	100
----------------------	-----

BIBLIOGRAFIA.	102
----------------------	-----

INTRODUCCIÓN:

Como consecuencia del tratado de libre comercio y de la actual situación económica del país, las empresas privadas y estatales para poder prevalecer dentro del ámbito de su competencia a nivel nacional; así como tratar de exportar productos o servicios, deben de producir mejor y a menor precio, por lo cual el valor de la eficiencia es más buscado en todos los procesos de la industria; debido a que la adquisición de maquinaria nueva es difícil por los altos costos en muchos casos de importación; asociado a esto se debe entonces de buscar que el equipo con que se cuenta se aproveche a su entera capacidad tratando que el nivel de rechazos se reduzca de una manera considerable; por esto cobra vital importancia el control de calidad y entre otros el diseño de experimentos buscando eficientar los procesos sin la necesidad de invertir capital adicional, es decir producir más y mejor con el mismo equipo o maquinaria y mismo personal, es en estos casos cuando el diseño de experimentos adquiere vital importancia; dentro de éstos se encuentra el Método Taguchi, el siguiente trabajo pretende dar a conocer el Método Taguchi no muy utilizado dentro de la industria dando solución a un problema real como es la optimización del proceso de obtención de etoxiquin Para lo cual el siguiente trabajo se estructuró de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se dan de manera general la teoría de calidad así como sus máximos exponentes que han promovido un proceso de mejoramiento continuo y que en su momento se han aplicado en la industria, una integración de las mismas ha servido para desarrollar nuevos conceptos. Entre otros autores tenemos a: Phillip B Crosby, Edwards Deming, Joseph Juran, Armand V. Feingenbaum, Kaouru Ishikawa. Así como una descripción breve de las normas de calidad aplicables actualmente a nivel mundial siendo estas las ISO 9000 adoptadas por México a través de la Dirección general de Normas (D.G.N.-SECOFI) en su serie NMX-CC.

En el capítulo 2 se dan un repaso al control estadístico del proceso (C.E.P.) necesario en todo proceso para disminuir su variación y determinar sus posibles causas.

En el capítulo 3.- se da a conocer el Diseño de experimentos por el método Taguchi.

En el capítulo 4- Se da a conocer el problema específico.

En el capítulo 5.- Se da a conocer el resultado del diseño de experimentos realizado para optimizar el proceso de producción del etoxiquin.

1. DESARROLLO HISTÓRICO Y EVOLUCIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD.

Desde el momento en que el hombre empezó a fabricar artículos para uso personal tuvo la necesidad de medir y controlar las dimensiones y características de sus productos.

A partir del establecimiento de una producción artesanal a finales de siglo XIII podemos identificar una primera etapa del control de calidad, los artesanos en talleres pequeños conocían bien su trabajo, sus productos e inclusive sus clientes y se esmeraban en la calidad, de la cual cada trabajador era responsable; en la mayor parte de los casos una persona podía inspeccionar todos los productos y establecer sus patrones de calidad. El gobierno establecía las normas de pesas y medidas.

Pero el crecimiento de la población mundial exigía mas productos, la Revolución Industrial, la producción en masa de artículos y la división del trabajo llegaron junto con el concepto de factoría moderna, en las cuales muchos hombres desempeñaban tareas similares que podían ser supervisadas por un capataz o mayordomo, quien asumía la responsabilidad de la calidad del trabajo, lo cual caracteriza una segunda etapa del control de calidad.

El sistema industrial moderno comenzó a seguir teorías de administración, en los Estados Unidos, Frederik Taylor fue uno de los precursores, su teoría daba a los ingenieros de producción la responsabilidad de los trabajadores. Era evidente que el responsable se encargaría de cumplir con los estándares de producción establecidos dejando a un lado las características de la calidad.

La producción en masa en una línea, dividió operaciones complejas en procedimientos simples en los cuales no se ocupase mano de obra especializada, dando como resultado productos de gran tecnología y bajos costos. Estos sistemas de fabricación implicaban un control sobre un gran número de trabajadores, como resultado se inicio una tercera etapa, la calidad por la inspección entre los años 1920-1940 surgen inspectores de tiempo completo, los cuales se encontraban separados de la producción y encabezados por un superintendente de área.

La segunda guerra mundial aceleró el paso de la tecnología y de la calidad, las necesidades de una enorme producción la llevaron a una rápida expansión de los conceptos del control estadístico de la calidad.

En efecto esta fase fue una extensión de la inspección que se transformó hasta lograr una mayor eficiencia de las organizaciones de inspección proporcionando implementos estadísticos, tales como el muestreo y gráficos de control lo que caracteriza la cuarta etapa del control de calidad.

CAPITULO 1: SISTEMAS DE CALIDAD.

En 1946 se instituyó la American Society For Quality Control (Sociedad Americana del Control de Calidad), en Estados Unidos.

En 1950 Edward Deming fue invitado a exponer sus teorías a los Japoneses quienes interesados en la reconstrucción de su país en la posguerra adoptaron sus teorías. La intención de Japón era cambiar la imagen de sus productos identificados por una baja calidad.

Deming los convenció de que la calidad Japonesa podía convertirse en la mejor del mundo si empleaban los métodos que él proponía. La calidad de las empresas japonesas mejoró la productividad y la posición competitiva se reforzaron en forma notable.

Con el paso de los años los consumidores se han hecho más selectivos de los productos, ya no se rigen solo por el precio ahora toman decisiones sobre la base de la calidad y la duración del producto.

En los años cincuenta's y sesenta's Armand V. Feigenbaum fijo los principios básicos del control total de la calidad, el cual existe en todas las áreas de una empresa. Esta etapa se enfatiza en el servicio al cliente y en las necesidades de usuario, caracterizándose como una quinta etapa del control de calidad.

La industria de los servicios también se a enfocado al uso del método de la calidad en bancos, hoteles, gobierno y otros sistemas de servicio. Hoy en día la administración se volvió hacia el mejoramiento de la calidad como medio de supervivencia organizacional. Existen muchas teorías y métodos tanto para la solución de problemas como para la implantación de sistemas completos referidos a la calidad de un producto con el fin de hacer posibles la fabricación y el servicio a satisfacción del cliente.

1.2. TEORÍAS PRECURSORAS DE LA CALIDAD.

Los diferentes exponentes de la calidad han expresado sus ideas a través de teorías. El enfoque de cada uno se basa en principios, y en puntos de vista particulares, con el fin de buscar la mejora continua de la calidad, apoyándose en la estadística. Las siguientes teorías han sobresalido en su aplicación.

1.2.1 APLICACIÓN DE LA ESTADÍSTICA (Dr. EDWARD DEMING).

El doctor Deming hace énfasis en que lo importante consiste, en crear un nuevo modelo conceptual de la gerencia para una nueva administración. Enumera los posibles obstáculos que impiden un buen desarrollo como "Las siete enfermedades mortales":

CAPITULO 1: SISTEMAS DE CALIDAD.

- 1.- La falta de constancia de los propósitos.
- 2.- Énfasis en las utilidades a corto plazo.
- 3.- Evaluación del desempeño.
- 4.- Movilidad de la gerencia.
- 5.- Manejo de la empresa sobre la base de cifras visibles.
En las empresas de Estados Unidos se anexan dos factores.
- 6.- Costos médicos excesivos.
- 7.- Costos de garantía excesivos.

El doctor Deming menciona "Es necesaria una filosofía básica de administración que sea compatible con los métodos estadísticos". Presenta su teoría en catorce puntos.

- 1.- Ser constante en el propósito de mejorar los productos y los servicios. Lo importante es permanecer en el negocio y proporcionar empleo por medio de la innovación la investigación y el constante mejoramiento.
- 2.- Adoptar una nueva filosofía. Se necesita una nueva filosofía en la que los errores y el negativismo sean inadmisibles.
- 3.- Dejar de depender de la inspección. La calidad no puede ser inspeccionada cuando sale de la línea de producción desechando o retrabajando productos defectuosos. La inspección del producto después de realizada la fabricación no funciona.
- 4.- Acabar con la práctica de adjudicar contratos de compra basándose únicamente en el precio. La compra de los componentes o subensambles debe estar basada en la calidad.
- 5.- Mejorar constantemente en el sistema de producción y servicio. Buscar la manera de reducir el desperdicio y mejorar la calidad, la variación del proceso debe medirse y controlarse continuamente.
- 6.- Instituir la capacitación y la educación en el trabajo. La capacitación es la adquisición de una habilidad repetitiva en un proceso de trabajo. Una educación en los métodos estadísticos permite a la dirección recabar información del proceso y del producto y usarla para controlar los resultados.
- 7.- Instituir la Supervisión. El objeto de la supervisión es orientar para hacer un mejor trabajo.
- 8.- Desterrar el temor. Para mejorar la calidad y la productividad es necesario que la gente se sienta segura. El conocimiento disipa el temor.

CAPITULO 1: SISTEMAS DE CALIDAD.

9.- Derribar las barreras entre departamentos. Con frecuencia las áreas de una empresa están compitiendo entre sí o tienen metas que chocan y no se trabaja en equipo para resolver los problemas.

10.- Eliminar los lemas. Las exhortaciones y los lemas para la fuerza laboral solo crean relaciones adversas; deje que la gente establezca sus propios lemas de trabajo.

11.- Eliminar las cuotas numéricas. Una cuota solo toma en cuenta los números no la calidad o los métodos; sustituya las cuotas numéricas por ayuda y supervisión.

12.- Derribar las barreras que impiden el sentimiento de orgullo de un trabajo bien hecho. La gente está ansiosa de hacer un buen trabajo y se siente angustiada cuando no puede hacerlo; en un proceso los trabajos anteriores deficientes y los materiales defectuosos constituyen un obstáculo para hacer un trabajo bien.

13.- Establecer un programa de educación y de reentrenamiento. Tanto la gerencia como la fuerza laboral tendrán que ser entrenados en el empleo de nuevos métodos incluyendo el trabajo en equipo y las técnicas estadísticas.

14.- Tomar medidas para lograr la transformación. Se requerirá un equipo con un plan de acción para llevar a cabo mejoras en la calidad.

1.2.2 CUATRO PASOS PARA LA MEJORA CONTINUA (Dr. KAORU ISHIKAWA).

El doctor Ishikawa con sus teorías y su asesoría a ayudado a muchas compañías del Japón y de otros países a alcanzar niveles prominentes mediante la aplicación del control estadístico de la calidad, el cual lo define como desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor.

Para alcanzar esta meta es preciso que en la empresa todos promuevan y participen en el control de calidad. El enfoque básico de la empresa Japonesa es llevar el control de calidad a todas las áreas siguiendo generalmente los siguientes pasos (ver figura 1.1):

- Planear.
- Hacer.
- Verificar.
- Actuar.

Planear.

- a) Determinar metas y objetivos. Si no se fijan políticas a seguir no se pueden establecer metas.

CAPITULO 1: SISTEMAS DE CALIDAD.

b) Determinar métodos para alcanzar las metas. Se deben de fijar métodos científicos y racionales para alcanzar las metas.

Hacer.

a) Dar educación y capacitación. Los superiores tienen la función de educar y desarrollar a subalternos para poderle delegar autoridad y otorgarle libertad para hacer su trabajo.

b) Realizar el trabajo. Si todo se hace de acuerdo a lo anterior la realización no debe de ofrecer ningún problema.

Verificar.

a) Verificar los efectos de la realización. Dar una orden o impartir instrucciones no basta como cumplimiento de la responsabilidad, es importante que se verifique la realización de toda actividad enfocada a la calidad.

Actuar.

a) Tomar la acción correctiva apropiada. La revisión de los efectos puede encontrar situaciones anormales, es necesario encontrar las causas de variación y tomar la acción que las corrija.

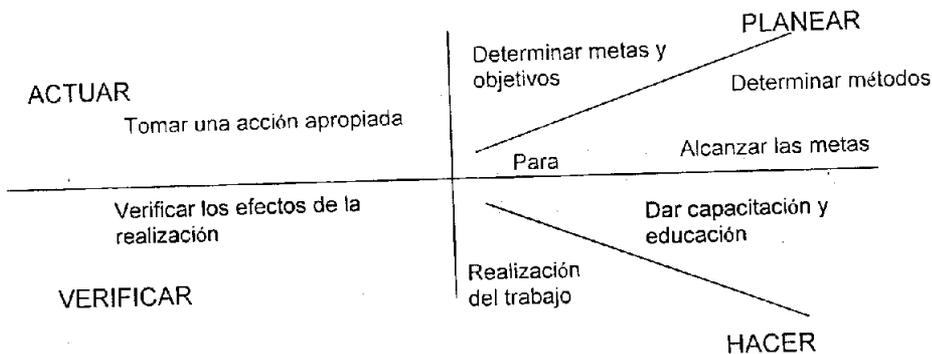


Figura 1.1 Ciclo de la mejora continua.

1.2.3 LA TRILOGÍA DE JURAN.

La trilogía de Juran empieza con la planificación de la calidad, el objeto de planificar es administrar las fuerzas productivas, los medios para que entreguen artículos que pueden satisfacer las necesidades de los clientes.

Una vez realizada la planeación de las actividades de producción se presentarán variaciones en el proceso y se encontrarán deficiencias en la calidad. Las fuerzas operativas no pueden eliminar la variación del proceso lo que se hace es controlar dicha variación para evitar que las cosas empeoren.

Aquí es donde tiene lugar la tercera parte de la trilogía a su debido tiempo la mejora de la calidad se hace latente al observarse una baja significativa en las desviaciones.

Se aprecia que la pérdida era una oportunidad para mejorar de tal forma que se tomaron medidas para incrementar la calidad del producto basándose en el comportamiento que se obtuvo. Así las lecciones aprendidas nos sirven para hacer una nueva planificación de la calidad, comenzar de nuevo las operaciones del proceso.

LA ESPIRAL DE JURAN

Esta espiral muestra la secuencia a seguir en las actividades para llevar un producto al mercado. En las empresas estas actividades son desarrolladas por cada departamento y cada uno a su vez le suministra su producto a otros departamentos que serán clientes de estos, quedando o no satisfechos con el trabajo desarrollado por el departamento anterior.

Los clientes internos son aquellas personas o áreas de la empresa, que son parte de la organización y hacia quien va dirigido nuestro trabajo.

Los clientes externos, menciona Juran, son aquellas personas que no forman parte de la organización pero a quienes llegan nuestros productos. Los clientes externos o consumidores tienen alta capacidad para sacar conclusiones sobre el compartimento del producto y deciden sobre la elección de nuestro artículo.



1.2.4 CALIDAD TOTAL EN LA EMPRESA (ARMAND V. FEINGENBAUM).

Feingenbaum define el control de calidad como un conjunto de esfuerzos efectivos de los diferentes grupos de una organización para la integración del desarrollo del mantenimiento y la superación de la calidad; con el fin de hacer posible la fabricación y servicio de un producto a satisfacción del cliente a un nivel económico.

FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD

- Mercados.
- Capital.
- Administración.
- Recursos humanos.
- Motivación.
- Maquinaria y mecanización.
- Métodos modernos de información.
- Materia.

El sistema de calidad esta formado por una red de actividades técnicas y procedimientos para poner en el mercado un producto que satisfaga determinados estándares de calidad.

La responsabilidad básica de la calidad recae en la alta gerencia de la empresa, basándose en cuatro taréas del control de calidad.

- Control del nuevo diseño. Comprende características mercantiles del producto seleccionadas, cuyas especificaciones de diseño y contabilidad se han establecido, así como del proceso mediante el cuál se producirá incluyendo la localización de posibles causas de deficiencias en la calidad antes de que la producción formal se inicie.
- Control de materiales adquiridos. Se refiere a la recepción y almacenamiento de partes o subensambles de proveedores o incluso de la misma empresa, cuya calidad corresponda a las especificaciones.
- Control del producto. La divergencia de las especificaciones de la calidad en el proceso de fabricación debe ser controlada y corregida, así mismo evitar la manufactura de productos defectuosos..
- Procesos especiales. Se aplican para estudios, investigaciones y pruebas a fin de localizar causas que ocasionen defectos en el producto, bajo una acción correctiva permanente. Los resultados de los procesos especiales giran en torno a mejoras del producto y el proceso, en las características de calidad así como los costos.

1.2.5 PRINCIPIOS ABSOLUTOS DE LA CALIDAD (PHILIP CROSBY).

La teoría que desarrolla Crosby propone cuatro principios absolutos relacionados con la calidad.

a) Calidad como cumplimiento con los requisitos. Eliminando problemas y de manera simultánea proponer que todo trabajo se haga bien desde la primera vez.

Tres objetivos para la dirección de la empresa:

- 1.- Establecer los requisitos a cumplir en la calidad.
- 2.- Suministrar los medios para cumplir con los requisitos.
- 3.- Dedicar tiempo a estimular y ayudar al cumplimiento de los requisitos.

b) El sistema de calidad es la prevención. Observar el proceso y determinar las posibles causas de error para controlarlas; la prevención de defectos se logra si comprendemos nuestro proceso.

c) El estándar de realización es "Cero Defectos". No se establecen niveles de calificación, solo la realización del trabajo bien desde la primera vez. El estándar de cero defectos es difícil de alcanzar pero debe tomarse como una actitud constante de mejoramiento.

d) La medida de la calidad es el precio del incumplimiento. Este precio de incumplimiento de los requisitos lo constituyen todos los gastos realizados en hacer las cosas mal. El precio del cumplimiento con los requisitos lo forman los gastos para que las cosas resulten bien.

1.2.5.1 LA CALIDAD NO CUESTA.

Una teoría que desarrolló Crosby es acerca del costo de la calidad; durante muchos años se ha pensado que la calidad es costosa, y a través de esta idea errónea toleramos defectos en la producción por creer que así reducimos costos al aceptar productos que no cumplen con el requisito.

No cuesta más ensamblar una pieza bien, que hacerlo mal, lo que cuesta es inspeccionar los productos hechos para descubrir errores y corregirlos.

Lo que en verdad cuesta son los errores y los defectos, no la calidad, por lo tanto nunca será más económico tolerar errores que hacerlo bien desde la primera vez.

1.2.5.2 CERO DEFECTOS.

La frecuencia con que ocurren los errores tienen tres causas de origen.

- 1.- Falta de conocimientos. Es fácil de detectar y puede corregirse con capacitación y adiestramiento.

2.- Falta de elementos de trabajo adecuados. Se puede evitar mediante la inspección constante de las herramientas.

3.- Falta de atención. Es un problema de actitud propia y es difícil de identificar. Se puede corregir poniendo a la persona en condiciones de tomar un interés propio en todo lo que realiza convenciéndole que su trabajo es; importante.

El plan cero defectos promueve un constante afán de hacer el trabajo bien a la primera vez, el concepto se basa en una reacción en cadena de un ciclo de instrucción y motivación promoviendo la unificación de fuerzas. Desde este punto de vista afecta directamente a la alta dirección y en un segundo plan a supervisores y empleados.

Es importante que la dirección de la empresa sienta interés por el plan, no solo por implantarlo, si no también hacer que este plan constituya parte de cada una de las actividades.

1.3 PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD.

La productividad no es una medida de la producción ni de la cantidad que se ha fabricado, es una medida de lo bien que se han combinado y utilizado los recursos para cumplir los resultados esperados.

La calidad y la productividad no se contraponen mas bien son complementarios y las mejoras en calidad resultan mejoras en productividad.

La productividad implica la interacción entre los factores que afectan el trabajo:

- Disposición y calidad de los materiales. - Capacidad y operaciones de la maquinaria empleada.
- Nivel de adiestramiento o grado de especialización del trabajador. - Condiciones críticas del medio ambiente.
- Métodos de trabajo y equipo.

La manera como se relacionen entre sí dichos factores se reflejará en la productividad y a su vez en la calidad.

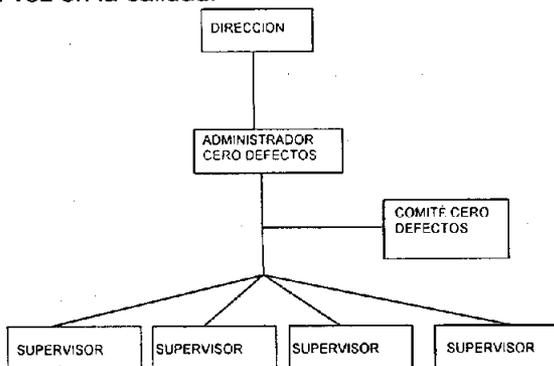


Figura 1.3 Plan cero defectos.

1.3.1 JUSTO A TIEMPO.

La idea del concepto justo a tiempo es; sencilla; producir y entregar artículos a tiempo para venderlos, submontajes para convertirlos en artículos terminados, partes fabricadas para incorporarlas a los submontajes y materiales adquiridos para transformarlos en partes.

La acción justo a tiempo jamás se logra, es mas bien un ideal que debe seguirse con dinamismo.

La idea justo a tiempo es que todos los materiales estén activamente en uso como elementos de la producción nunca en descanso acumulando costos de almacenaje; en un modo de operación al día con cantidades de producción y entrega que se aproximan a una sola unidad, y movimiento de materiales pieza por pieza.

La razón para que los lotes mínimos den lugar a menos desperdicio y mejor calidad; esto se puede explicarse en forma sencilla:

Si un trabajador hace cierto número de partes y se las pasa inmediatamente al trabajador siguiente, el primero se enterará muy pronto, en caso de que la parte no ajuste en una de las estaciones de trabajo, así los defectos se descubren rápidamente y sus causas pueden cortarse de raíz, se evitan la producción de grandes lotes que contienen un porcentaje de piezas defectuosas.

Estos son los principales autores que han aportado sus ideas, contribuyendo a la mejora continua de la calidad.

1.4. ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN.

Actualmente se manejan sistemas normalizados de la calidad, presentamos las características de la International Standard Organization (ISO), el cual ha tenido aceptación a nivel mundial.

Este organismo es una federación internacional de organismos de normalización que cuenta con miembros representantes de los países que lo forman. Su objetivo primordial es el de promover el desarrollo de las actividades de normalización en el mundo, facilitando el intercambio de bienes y servicios a nivel internacional para dar paso a la cooperación científica, tecnológica y económica.

Los resultados de los trabajos que publica esta organización son las normas internacionales.

Para fines de 1993 habia 182 comités técnicos 630 subcomités, 1918 grupos de trabajo y 24 grupos de estudio, en la organización dedicados a trabajar conjuntamente.

Para promover una norma internacional, se analiza un anteproyecto para ser probado por el comité técnico o subcomité, cuando se llega a un acuerdo se remite a la central, se hace circular por todos los organismos miembros y es; sometido a votación si el 75 %, de los votos es aprobatorio es aceptada como norma internacional ISO a establecido como periodo de revisión para cada norma un lapso de 5 años.

1.4.1 NORMAS INTERNACIONALES SOBRE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.

La normatividad ISO 9000 en su concepción fue vista como un sistema para administrar y asegurar la calidad dentro de un ambiente manufacturero.

Algunos puntos que contempla la normatividad ISO 9000:

- Suministra la información para convertir las políticas de calidad en acciones concretas.
- Las situaciones sobre una planta que este involucrada con el diseño y desarrollo de un producto y en su producción instalación y servicio.
- También aquellas situaciones donde la calidad se involucra en la producción a instalaciones continuas de un producto ya diseñado.
- En última instancia los casos donde solo se afectan inspección y pruebas finales.
- Aporta la tecnología de apoyo dentro de un sistema de aseguramiento de la calidad.

A continuación se da una breve descripción de la serie de normas internacionales ISO 9000.

a) Vocabulario ISO 8402 términos y definiciones.

Define los términos comunes empleados en la serie de normas posteriores y que pudieran crear confusión sobre el aseguramiento de calidad y facilitando la comunicación entre el personal involucrado.

b) Guías de uso y aplicación.

- 9000-1 selección y uso.
- 9000-2 aplicación de ISO 9001, 9002, 9003.
- 9000-3 aplicación de ISO 9001 a Software.
- 9000-4 aplicación para la gestión de seguridad funcional.

En esta sección se proporciona una guía para la selección y uso de las normas de calidad.

c) Modelos contractuales.

- 9001 Modelo de aseguramiento de calidad para diseño fabricación instalación y servicio.
- 9002 Modelo de aseguramiento de calidad para la fabricación instalación y servicio.
- 9003 Modelo de aseguramiento de calidad para inspección y pruebas finales.

Cada uno de los modelos establece sus requisitos mínimos, que conforma y deben cumplir el aseguramiento de la calidad de un proveedor que tiene la responsabilidad de efectuar actividades, desde el diseño hasta la utilización del producto.

Cada uno de los modelos, en su aplicación no excluye a los demás .

d) Administración de la calidad.

- 9004-1 Directrices de gestión de calidad.
- 9004-2 Directrices de gestión de calidad en servicios.
- 9004-3 Administración de calidad en materiales procesados.

CAPITULO 1: SISTEMAS DE CALIDAD.

- 9004-4 Directrices para la mejora de la calidad.
- 9004-5 Directrices para planes de calidad.
- 9004-6 Directrices para administración de proyectos.
- 9004-7 Directrices para administración de configuraciones.
- 9004-8 Aplicación de principios de calidad en la administración.

La serie ISO 9004 en sus secciones 1 a 8 nos da los elementos del sistema de calidad.

e) Tecnologías de soporte.

- 10011 Auditorías.
- 10012-1 Aseguramiento de calidad en confirmación metrológica.
- 10012-2 Aseguramiento de calidad para equipo metrológico.
- 10013 Manual de calidad.
- 10014 Economía de la calidad.
- 10015 Educación y formación continua.

Esta serie de normas ayudan a la evaluación registro y retroalimentación de la información dentro del sistema de calidad, se puede constatar que una parte primordial es el manual de calidad de la empresa, pues brinda una descripción adecuada y sirve como referencia permanente en la implantación y mantenimiento del aseguramiento de la calidad.

1.5 LA CALIDAD EN MÉXICO.

La industria mexicana esta pasando por uno de los momentos mas críticos pero quizá más significativos en su historia. Después de vivir cerca de 40 años con una serie de prácticas de proteccionismo industrial, entre otros factores provocaron un atraso considerable en materia de tecnologia productividad y protección ambiental; de pronto ante el reto de un libre comercio con países industrializados nos exige hacernos más competitivos en estos y otros sectores. Y hablar de competitividad nos lleva hablar de calidad.

Durante los últimos años las normas de calidad en México, han surgido como una función primaria en una organización industrial moderna. La importancia de la calidad esta influenciada por tendencias como la repetitividad de las piezas en un proceso, también influye el factor económico y la supervivencia de una empresa en el mercado nacional.

Las organizaciones industriales mexicanas privadas o gubernamentales proveen productos o servicios que pretenden satisfacer las necesidades del usuario. Tales requisitos son presentados como especificaciones; sin embargo las especificaciones técnicas no garantizan que deficiencias o desviaciones del proceso sean corregidas o incluso el sistema de organización de la calidad sea eficiente. Consecuentemente esto a conducido al desarrollo de normas de calidad que complementen los requisitos del producto y las especificaciones técnicas.

1.5. 1 LA DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS MEXICANAS (D. G. N.)

La Dirección General de Normas dependiente de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), es la encargada de regir la elaboración y difusión de las diversas normas incluyendo las normas sobre sistemas de calidad.

Los organismos de normalización en México, son instituciones reconocidas que forman parte del sistema nacional de normalización las cuales cubrirán una o varias ramas industriales, teniendo como objeto elaborar normas mexicanas; de cumplimiento voluntario (NOM) y obligatorio (NMX).

1.5. 2 NORMAS MEXICANAS DE CALIDAD.

En México existía un rezago de aproximadamente 30 años respecto a normas de sistemas de calidad. A través de la SECOFI- D. G. N., se ha desarrollado la normatividad requerida, al nivel de los países industrializados. En Agosto de 1988 D. G. N., distribuyó a las cámaras industriales y comités de normalización 3 anteproyectos de normas oficiales de calidad, basados en las normas ISO 9000.

En diciembre de 1990 se aprobaron las primeras 8 normas oficiales mexicanas de calidad a través de la D. G. N., y un comité de especialistas en evaluaciones de sistemas, debido a lo anterior y dado el interés mostrado por los diferentes sectores industriales de México en Febrero de 1992 se constituye el comité Mexicano para la atención de la ISO organizado de manera que se da respuesta a los documentos de mayor importancia; el comité nacional esta integrado por 24 subcomités en las diferentes áreas de la industria y el sector oficial.

México adopta un sistema de normalización de la Organización Internacional de Normalización con lo que se pretende un desarrollo en la calidad de los productos nacionales que lleven a nuestro país a abrirse a mercados internacionales así como un fomento en la calidad del mercado nacional.

La serie de normas Mexicanas de calidad NMX-CC-1 a 16 incluyen los requisitos para los sistemas de calidad los cuales son usados para lograr el desarrollo, la implantación y la aplicación en la administración de la calidad.

Cada empresa o institución que adopte los lineamientos de las normas mexicanas de calidad debe determinar los criterios del sistema de calidad que son aplicables y en base a los requisitos de la norma, la empresa debe definir como intentar aplicarlos, cumplirlos y controlarlos.

1.6 ASEGURAMIENTO Y GESTIÓN DE LA CALIDAD.

El aseguramiento y la gestión de la calidad son dos actividades relacionadas entre sí pero con una función diferente, cada una de ellas.

El aseguramiento de la calidad es el conjunto de actividades planeadas y sistemáticas; implantadas para dar confianza de que un elemento cumplirá los requisitos establecidos de calidad. Y tienen dos propósitos:

Propósitos internos. Proporciona confianza a la directiva de la organización.

Propósitos externos. En situaciones contractuales y de otro tipo debe proporcionar confianza al cliente.

Es importante conocer las etapas en que se involucra el aseguramiento de la calidad.

Análisis de contabilidad del producto. Desarrolla un sistema que permita predecir el rendimiento del producto y medir cual satisface las expectativas del usuario.

Aseguramiento del producto. El uso de un sistema de calidad eficaz en la producción de artículos y servicios.

Aseguramiento de los sistemas. Confirma en todas las áreas de la organización un eficiente control administrativo; realizando auditorías y evaluaciones en los sistemas, departamentos o programas, llevando un registro del control y detectando posibles fallas. La gestión de la calidad es el conjunto de acciones encaminadas a planificar, organizar y controlar la función de la calidad en una empresa. Son tres las acciones:

-Definición de políticas de calidad de la empresa.

-Definición de objetivos.

-Planificación estableciendo las estrategias y los recursos necesarios para alcanzar los objetivos.

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

En el presente capítulo describiremos las técnicas estadísticas que han demostrado ser una herramienta para mejorar la calidad de los productos manufacturados. El concepto de proceso esta relacionado con este capítulo, por lo cual es importante su definición:

Al referirnos a un proceso entendemos un conjunto interrelacionado de recursos que transforman elementos de entrada en elementos de salida.

Toda producción presentará diferencias entre los artículos pudiendo ser estas muy grandes o tan pequeñas que no puedan medirse, pero siempre estarán presentes, éste es el concepto de variación. En la práctica no existen dos productos que sean exactamente iguales; debido a que la perfección en la fabricación de un producto es muy costosa de alcanzar.

2.1.-CAUSAS COMUNES Y CAUSAS ESPECIALES.

La filosofía fundamental asociada con la producción económica de bienes, debe basarse en la prevención de defectos en lugar de su detección. Este enfoque requiere un sistema de control del proceso, el cual únicamente puede ser implementado con efectividad a través de las técnicas de estadística. Las decisiones para modificar o ajustar un proceso deben basarse en los datos que se deriven de las gráficas de control. El Dr. Walter Shewhart de los laboratorios Bell, mientras estudiaba los datos de un proceso en 1920, hizo por primera vez la distinción entre la variación controlada y no controlada, debido a lo cuál ahora nosotros distinguimos las causas comunes y las causas especiales. Él, desarrollo una simple pero poderosa herramienta para distinguir las causas especiales de las comunes siendo estas las gráficas de control. La variación puede analizarse en función de las causas que la originan, así distinguimos dos tipos:

Las causas comunes son propias del proceso, se presentan en las operaciones involucradas, requieren en su corrección un análisis y acciones sobre el sistema.

Las causas especiales o anormales originan variación pero no en todas las operaciones involucradas se presentarán, el descubrimiento de una causa especial y su arreglo es usualmente responsabilidad de alguien que este directamente relacionado con la operación; por lo regular para solucionar la variación de una causa especial se requiere de una acción local.

Podemos aprender mucho sobre el proceso analizando los resultados de su comportamiento, con esta información podemos corregirlo cuando sea necesario. Y las acciones que tomemos para mejorarlo estarán orientadas hacia el futuro, con la clara intención de prevenir que ocurra de nuevo el mismo problema. Solo efectuando un cambio a la vez y observando cuidadosamente los efectos. Este es el significado de mantener un proceso bajo control, apoyándose en técnicas y actividades de estadística. Siendo dos los elementos fundamentales del control estadístico.

- La variación del proceso medido con técnicas estadísticas.
- Muestreo.

2.2.-GRÁFICAS DE CONTROL.

Señala la presencia de causas especiales que deben ser corregidas cuando se presenten, así mismo pueden tomarse decisiones con base en el comportamiento del proceso, es decir puede predecirse su desempeño e implantar mejoras que requiera el sistema. Dichas mejoras pueden medirse como:

- Incremento del porcentaje de productos que estén dentro de las especificaciones.
- Disminución de productos que necesiten retrabajo o productos desechados.
- Incremento de la cantidad total de productos aceptables a través del proceso.

Las gráficas de control proporcionan un lenguaje común para comunicarse sobre el comportamiento del proceso, así mismo la variación debe ser medida y analizada constantemente sobre:

- Lotes de producto terminado.
- Equipos de proceso.
- Características críticas de calidad y sus estándares.
- Nuevos diseños.

LÍMITES DE CONTROL. Los límites de control son calculados para mostrar la extensión de la variación de cada subgrupo.

HABILIDAD DEL PROCESO. La habilidad esta determinada por la variación mínima que puede ser alcanzada, una vez que todas las causas especiales han sido eliminadas. En otras palabras representa el rendimiento del proceso bajo control estadístico siendo esta la base de la mejora continua.

DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS.

La tabulación o el registro por unidad y por número de veces que presenta una cierta característica del producto, dentro de una muestra en un lote examinado es una distribución de frecuencias.

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS.

Si graficamos la dimensión con la que es producida una pieza en nuestro proceso a través de barras. Este tipo de gráfica es conocida en estadística como histograma de frecuencias, que es una manera rápida de representar nuestros datos.

2.2.1.- MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

La manera de saber si un proceso es estable y predecible es a través del registro de los datos en las gráficas de control; haciéndose necesarios cálculos con los datos de las muestras para una representación adecuada.

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

MEDIA. Es la medida de tendencia central de mayor utilidad, definiéndose como el punto medio de una serie de lecturas.

$$X = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) / n$$

Siendo n el número de lecturas. Teniéndose diferentes series de lecturas se obtiene de media para muestras del mismo tamaño.

$$X = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_r) / r$$

Siendo r el número de medias.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR. Representa una medida de la dispersión de los valores de una muestra.

AMPLITUD O RANGO. Es la diferencia que existe entre el mayor y el menor de los valores de una serie.

$$R = X_{\text{mayor}} - X_{\text{menor}}$$

Rango promedio:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_r / r$$

2.2.2. OBTENCIÓN DE GRÁFICAS DE CONTROL POR VARIABLES.

GRÁFICAS DE CONTROL X – R

Las gráficas de control por variables son una herramienta poderosa que puede utilizarse cuando se dispone de mediciones de los resultados de un proceso. En una gráfica X – R la sección media X muestra cualquier cambio en el valor promedio del proceso mientras que la porción R muestra cualquier dispersión o variación del proceso.

Las gráficas de control por variables son particularmente útiles por varias razones:

- 1.- La mayoría de los procesos y sus resultados tienen características que son medibles por lo que su potencial de aplicación es amplia.
- 2.- Un valor medible contiene más información que una simple afirmación de sí o no.

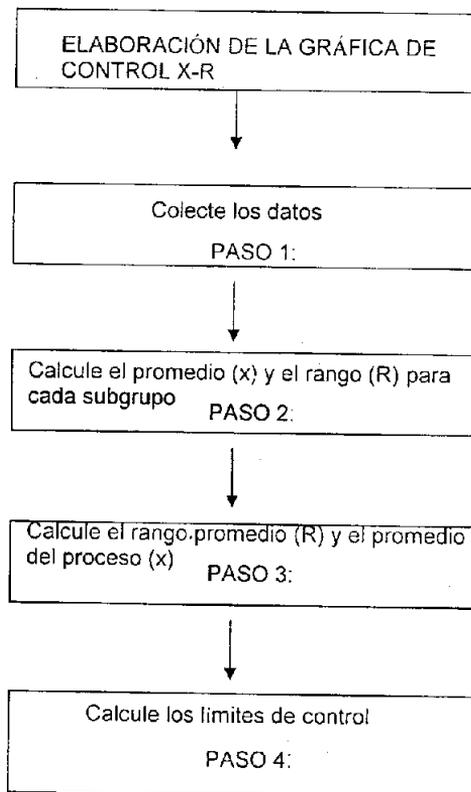
CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

3: A pesar de que el costo en la medición precisa de una pieza es mayor que el de establecer simplemente si la misma esta bien o no, como se requieren menos piezas para obtener más información sobre el proceso, en algunos casos los costos totales de inspección pueden ser menores.

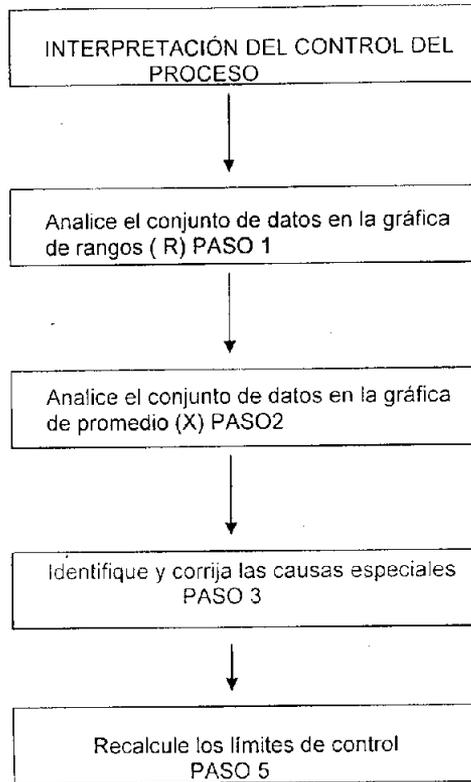
4.- Debido a que se requiere medir una menor cantidad de piezas para tomar decisiones confiables, el periodo de tiempo entre la producción de las piezas y la acción correctiva puede ser acortado significativamente.

2.2.3.-ELABORACIÓN DE LAS GRAFICAS DE CONTROL X-R

Una gráfica de control X-R muestra tanto el valor promedio (X) como el rango (R) de un proceso. La porción X de una gráfica muestra cualquier cambio en el valor promedio del proceso, mientras que la porción R muestra cualquier dispersión o variación del proceso. A continuación se describen los pasos para elaborar una gráfica de control X-R.



CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.



PASO I.- Colecte datos

Los datos son el resultado de la medición de las características de él producto seleccionado, los cuáles deben ser registrados y agrupados de acuerdo a lo siguiente. Seleccione la frecuencia y el tamaño de la muestra.

Para un estudio inicial de un proceso se obtienen subgrupos formados de 2 a 10 piezas producidas consecutivamente logrando que estén en condiciones similares de producción se recomiendan de 20 a 25 subgrupos obtenidos a intervalos de tiempo de 0.5 a 2 horas o diferentes según sea el problema específico para detectar si el proceso cambia con el tiempo.

Estableciendo la forma como se registrarán los datos.

Las gráficas de control normalmente son dibujadas con la gráfica X arriba de la gráfica R con sus respectivos valores para cada caso anotados en forma vertical, con los datos de identificación en la parte superior.

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

PASO 2 Calcule los promedios de medias y rangos para cada subgrupo.

Seleccione la escala para las gráficas y grafique en las ordenadas los valores promedios trace con puntos los promedios y los rangos en sus respectivas gráficas y unirlos con líneas, visualizando de esta manera la situación del proceso así como su tendencia.

PASO 3 Calcule los promedios de las medias de todos los subgrupos.

PASO 4 Calcule los límites de control.

Estos son calculados para mostrar la extensión de la variación de cada subgrupo estos están basados en el tamaño de los subgrupos y se calculan de la siguiente manera.

Se recomienda tomar muestras de 5 piezas, por que con menos piezas se pierde sensibilidad en la gráfica y con mas de 5 se obtiene muy poca información adicional.

$LSC_X = \bar{X} + A_2 R$ Límite superior de la media.

$LIC_X = \bar{X} - A_2 R$ Límite inferior de la media.

$LSC_R = D_4 R$ Límite superior de rangos.

$LIC_R = D_3 R$ Límite inferior de rangos.

Nota: Las constantes A_2 , D_3 , D_4 varían según el tamaño de la muestra y nos ayudan a fijar los límites de control, se obtienen de la siguiente tabla:

n	2	3	4	5	6	7	8
D_4	3.27	2.57	2.58	2.11	2.00	1.92	1.86
D_3	0	0	0	0	0	0.08	0.14
A_2	1.88	1.02	0.72	0.58	0.48	0.42	0.37

Tabla II 1 Constantes para los límites de control.

Interpretación del control del proceso.

PASO 1 Análisis de datos en la gráfica.

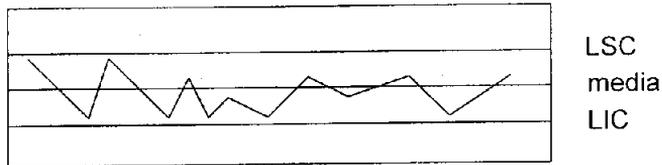
PUNTOS FUERA DE CONTROL. La variación de los puntos dentro de los límites de control es debida a causas comunes y la presencia de puntos más allá de los límites de control calculados; es la evidencia de una inconsistencia en el proceso debido a causas especiales.

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

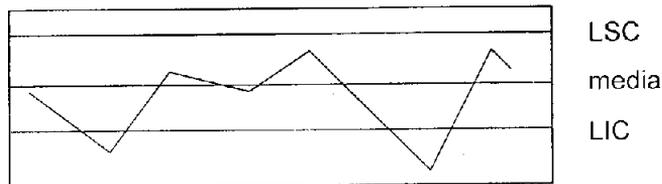
Los puntos fuera de los límites de control puede significar que:

- La variación de pieza en pieza ha empeorado significativamente.
- Los instrumentos o el sistema de medición han sido modificados.

Proceso controlado



Proceso no controlado



2.2.4.-ADHESIÓN, TENDENCIA Y SERIES DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL.

ADHESIÓN.

Una adhesión significa que una cantidad mayor a $2/3$ de los puntos graficados están concentrados en la línea central (ADHESIÓN CENTRAL). O bien la cantidad mayor a $1/3$ de los datos graficados están en los límites exteriores (ADHESIÓN A LOS LÍMITES DE CONTROL.).

En cualquiera de los casos verificar:

- Que las lecturas no sean alteradas u omitidas.
- Que no se mezclen subgrupos de tipo diferente de datos (diferente máquina operarios, equipo de medición o materiales).
- Verificar los límites de control.

TENDENCIA Y SERIES

Una serie es una sucesión de puntos que indican el inicio de una tendencia o desplazamiento del proceso. Si 7 o más intervalos consecutivos se presentan con valores crecientes o decrecientes la serie recibe el nombre de tendencia.

Una serie por arriba del rango promedio puede significar:

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

- Mayor dispersión de los resultados, lo cual puede provenir de una causa irregular y necesitar una acción correctiva inmediata, antes que se dispersen las mediciones.
- Un cambio en el sistema de medición.

A su vez una serie por debajo del rango promedio puede significar:

- Menor variación en los resultados, lo cual es una buena condición que debe analizarse para ampliar su aplicación.

PASO 2 Identificar y corregir las causas especiales.

Se analizará la operación fuera de control en la gráfica de rangos para determinar sus causas, corregir la condición y prevenir su repetición.

En el análisis del problema, la gráfica de control nos indicará cuando se inicia un problema y el tiempo transcurrido.

PASO 3 Recálculo de los límites de control.

Una vez identificadas las causas especiales de la variación se procede a corregirlas; los puntos fuera de control serán omitidos de la gráfica y recalculados los límites. En la siguiente gráfica se ejemplifica este paso. (Gráfica de control II).

Recálculo de los límites de control. Omitiendo los datos fuera de control se procede a calcular los nuevos valores para la gráfica.

La extensión de los límites de control es útil en el control de un proceso continuo, en el cual el tamaño de la muestra varia; así dichos límites servirán como referencia.

Para ajustar las líneas centrales y los límites de control para un nuevo tamaño de los subgrupos muestreados se procede como sigue:

Con base al tamaño de la muestra anterior, calculamos la desviación estándar.

Donde R es el promedio de los rangos de los subgrupos en los periodos en que los rangos estuvieron dentro de control, d_2 es una constante en función del tamaño de la muestra. Con base en los nuevos factores de la tabla II. 2 correspondientes a un nuevo tamaño de muestra. En dicha tabla vemos que nos ayudará a calcular el rango promedio nuevo y los límites de control nuevos a partir de esta constante d_2 .

PASO 4 Cálculo de la desviación estándar.

n	2	3	4	5	6	7	8
d_2	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85

Tabla II 2 Constantes de extensión de los límites de control.

$$\bar{\delta} = R/d_2 = 0.0040/2.33 = 0.0017$$

$$R_{\text{nuevo}} = \bar{\delta} \cdot d_2$$

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

$$LSC = X + A_2 * R_{nuevo}$$

$$LIC x = X - A_2 * R_{nuevo}$$

$$LSC r = D_4 * R_{nuevo}$$

$$LIC r = D_3 * R_{nuevo}$$

PASO 5 CÁLCULO DE LA HABILIDAD DEL PROCESO.

La habilidad de un sistema refleja una variación debida a causas comunes, siendo la distancia entre el promedio del proceso los límites de especificación.

El promedio de promedios es el mismo del proceso anterior, con los datos que se mantuvieron bajo control.

Ejemplo si los datos arrojados hubieran sido.

LIE = 1.620 Limite inferior especificado.

LSE = 1.630 Limite superior especificado.

$$Zs = LSE - X/\delta$$

Habilidad superior del proceso.

$$Zi = X - LIE/\delta$$

$$Zs = 1.630 - 1.625/0.0017 = 2.941$$

$$Zi = 1.625 - 1.620/0.0017 = 2.941$$

Zi habilidad inferior del proceso.

Pzs = 0.0016 valores encontrados en la tabla II.3 de la curva normal del apéndice

$$Pzi = 0.0016$$

$$Pz_{total} = Pzs + Pzi$$

Pz total = 0.0032 en porcentaje es 0.32% y del total de las piezas (100 - 0.32 = 99.68%).

Un proceso puede considerarse hábil cuando:

Para $\pm \delta$ el 68.27% de todas las lecturas de la distribución se encuentran dentro de una zona de la media, o bien dependiendo de lo estricto que sea el control sobre el proceso será:

$$\pm 2\delta = 95.45\%$$

$$\pm 3\delta = 99.73\%$$

$$\pm 4\delta = 99.996\%$$

Otra forma de evaluar la habilidad de los procesos es a través de los parámetros Cp y Cpk que es la habilidad potencial y la habilidad real respectivamente

$$Cp = W/6\delta = 0.010 / 0.0102 = 0.98 \quad W = LSE - LIE \text{ Variación especificada o permitida.}$$

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

Un valor de $C_p = 1$ Para $\pm 3\sigma$ es el requerimiento para decir que un proceso es potencialmente hábil.

$$M = LSE + LIE/2 = 1.630 + 1.620/2 = 1.625 \quad M = \text{Punto medio especificado.}$$

$$D = |M - X| = 1.625 - 1.625 = 0$$

$D =$ Diferencia entre el punto medio de la especificación y el promedio del proceso

$$K = 2D / W$$

$$K = 2(0) / 0.010 = 0$$

$$C_{pk} = C_p(1 - 0)$$

Habilidad real.

$$C_{pk} = C_p = 0.98 < 1 \quad \text{Un proceso hábil debe tener } C_{pk} \geq 1$$

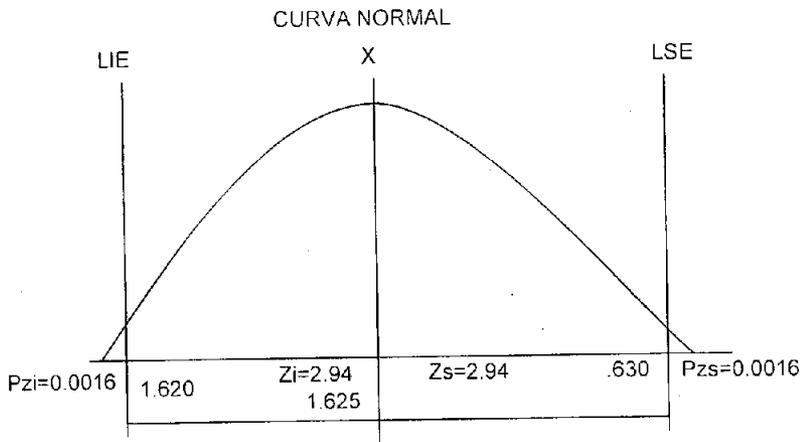


Figura 11.5 Curva Normal

PASO 6 Evaluación de la habilidad del proceso.

El objetivo principal debe ser el mejoramiento de la habilidad de un proceso, esto está dirigido a asegurar un nivel de rendimiento que sea consistente con las características del producto. Los procesos que no cumplan con un criterio de habilidad requerirán una acción inmediata, mediante la reducción de la variación de las causas comunes.

PASO 7 Corrección de la habilidad del proceso.

Las acciones para corregir los factores del proceso que generan variabilidad requieren que se efectúen los cambios necesarios en el sistema tales como calidad de materiales, condiciones ambientales, habilidades de máquinas y necesitarán de la aprobación de los niveles altos de la dirección.

PASO 8 Proceso modificado.

Tomadas las acciones correctivas en el sistema, se verificará a través de las gráficas de control la efectividad de las acciones tomadas.

2.3.- GRÁFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS.

Este tipo de gráficas es muy versátil, pueden aplicarse a cualquier proceso y los datos obtenidos están disponibles; también la sencillez de las gráficas las hace fácil de interpretar.

Los tipos de gráficas de control por atributos son:

1. P
2. Np
3. C
4. U

Los datos para este tipo de gráficas provienen de calibradores pasa/no pasa y de los criterios de aceptación que deben de estar bien definidos para su aplicación.

2.3 I.-GRÁFICA P

Se emplea para porcentaje de unidades defectuosas para tamaños de muestras no necesariamente constantes.

Es importante tener muy claro lo que significa una unidad defectuosa: Es la unidad que contiene cuando menos una separación de una característica de calidad y que ocurre con una severidad suficiente para ocasionar un producto que no satisface los requisitos de uso normalmente esperados o que tienen varias imperfecciones que combinadas ocasionan el fallo del producto.

PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE UNA GRÁFICA POR ATRIBUTOS.

Se plantea un ejemplo práctico para la ilustración de los pasos.

PASO I OBTENCIÓN DE DATOS.

Frecuencia y tamaño de muestra. La cantidad a controlar y los intervalos de producción de piezas que nos permitan una rápida retroalimentación.

Planteamiento de un ejemplo.

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

Y el número de unidades defectuosas por día, será el porcentaje defectuoso promedio.

$$p = 275 / 5498 = 0.05$$

PASO 3 CÁLCULO DE LOS LÍMITES DE CONTROL

Siendo n el tamaño de muestra promedio. Cuando p es pequeño el limite inferior puede resultar negativo, en estos casos no se considera el limite inferior de control.

$$LSCp = p + 3\sqrt{p(1-p)/\bar{n}}$$

$$LICp = p - 3\sqrt{p(1-p)/\bar{n}}$$

del ejemplo planteado, tenemos:

$$LSCp = 0.05 + 3 \sqrt{0.05(1 - 0.05)/220}$$

$$LSCp = 0.094$$

$$LICp = 0.05 - 3 \sqrt{0.05(1 - 0.05)/220}$$

$$LICp = 0.006$$

PASO 4 GRÁFICA DE DATOS.

Se anexa una gráfica de control para los datos obtenidos. Gráfica II.3

PASO 5 CÁLCULO DE HABILIDAD DEL PROCESO.

Los problemas que se presenten en el proceso deberán corregirse, tanto causas especiales como puntos fuera de control, una vez corregidos la gráfica reflejará la habilidad del proceso. Esto se expresa como el porcentaje que esta dentro de las especificaciones $(1 - P)$.

Del ejemplo planteado $p = 0.05$ del porcentaje total de piezas: $(1 - P) = 0.95$ expresado en porcentaje 95%.

2. 3. 2. GRAFICA Np.

La gráfica Np mide la cantidad de unidades defectuosas en una muestra inspeccionada. Las instrucciones para elaborar una gráfica Np son similares a las gráficas P , con algunas excepciones. Los tamaños de muestras inspeccionadas

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

deben ser iguales y lo suficientemente grandes para permitir la aparición de varios defectos en cada una de ellas. Se recomienda muestras mayores a 50 piezas.

CÁLCULO DE LOS LÍMITES DE CONTROL.

$$np = (np_1 + np_2 + np_3 + \dots + np_k) / k$$

$$LSC_{np} = np + 3 \sqrt{np} * (1 - (np/n))$$

$$LIC_{np} = np - 3 \sqrt{np} * (1 - (np/n))$$

Siendo k el número de subgrupos
np número de partes defectuosas promedio.

HABILIDAD DEL PROCESO.

Se expresa como la cantidad de unidades aprobadas en porcentaje.

2.3.3. GRÁFICA C.

Mide el número de defectos en cada pieza del lote seleccionado con un tamaño de muestra constante.

Es aplicable en dos situaciones:

- Cuando los defectos se expresan en promedio en una determinada cantidad del flujo continuo de material (por ejemplo para cada 100 metros de papel).
- Cuando los defectos pueden provenir de diferentes líneas de producción y pueden encontrarse en una unidad inspeccionada.

En las gráficas C el tamaño de la muestra debe ser constante, siendo C la ocurrencia de defectos.

$$C = c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_k / k$$

$$LSC_c = c + 3 \sqrt{c}$$

$$LIC_c = c - 3 \sqrt{c}$$

Siendo k el número de subgrupos.

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

2.3.4. GRÁFICA U.

La gráfica U mide defectos por unidad. Se aplica cuando la muestra puede incluir más de una unidad o el tamaño de la muestra varía. La aplicación se simplifica cuando no se excede el 25% del tamaño de la muestra promedio.

$$U = c1 + c2 + c3 + \dots + ck / n1 + n2 + \dots + nk$$

$$LSCu = U + 3 \sqrt{u/n}$$

$$LICu = U - 3 \sqrt{u/n}$$

2. 4. MUESTREO POR ATRIBUTOS.

La toma de muestras para determinar la calidad posiblemente es la idea más antigua que existe. El muestreo de aceptación se utiliza para cerciorarse de la calidad presentada por un lote, a través de la toma de muestras, y no precisamente para controlar la calidad. La obtención de muestras nos permitirá tomar decisiones acerca de la aceptación de los productos.

Los planes de muestreo por atributos son los más simples y más aplicables.

USO DE LAS TABLAS MIL-STD. (En Mexico Norma NOM-Z 12).

Este tipo de tablas se emplea cuando se desea una aceptación máxima a un nivel de calidad predeterminado.

NIVEL DE CALIDAD ACEPTABLE (NCA). Es el porcentaje máximo de unidades que no cumplen con los requisitos en un lote, que con propósitos de muestreo de aceptación puede considerarse satisfactorio como una media del proceso.

Para propósitos del muestreo es necesario tener presente el significado de algunos términos.

LOTE: Colección de unidades del producto de la cual se sacará una muestra y se le inspeccionará para determinar su conformidad con los criterios de aceptabilidad. Los lotes deben estar formados por unidades del mismo tipo, grado, clase o tamaño siendo esencial que pertenezcan a la misma serie de fabricación y hayan sido manufacturados en las mismas condiciones.

MUESTRA: Una muestra está formada por uno o más elementos del producto tomadas del lote o conjunto, efectuándose esta selección al azar. El número de elementos del producto en la muestra constituye el tamaño de la misma.

CLASES DE INSPECCIÓN.

La inspección normal se emplea cuando la rutina se desarrolla previniendo rechazos, bajo condiciones estables.

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

La inspección reducida; es razonable aplicarla cuando el número de rechazos es inferior al previsto o cuando a partir de la inspección normal, las condiciones permitan reducir una aplicación estricta de la inspección.

La inspección rigurosa es aplicable cuando el número de rechazos tiende a aumentar.

Bajo un orden se pueden aplicar las inspecciones, a menos que circunstancias especiales alteren nuestra organización para inspeccionar.

APLICACIÓN DE INSPECCIÓN NORMAL.

Inspección normal a rigurosa. Cuando durante la inspección normal de cinco lotes consecutivos hayan sido rechazados dos.

Inspección rigurosa a normal. Cuando durante la inspección rigurosa de cinco lotes consecutivos se acepten todos.

Inspección normal a reducida. Bajo las siguientes condiciones:

- a) 10 lotes bajo la inspección normal aceptados.
- b) Número total de defectos (o unidades defectuosas) sea igual o menor al número aplicable de la tabla del apéndice II. 5.
- c) La producción es estable.

Inspección reducida a normal. Cuando se cumplan cualquiera de las siguientes condiciones:

- a) Es rechazado un lote.
- b) Si la producción se hace irregular o se atrasa.

PLANES DE MUESTREO.

Indican el número de unidades del producto que han de inspeccionarse de cada lote, es decir el tamaño de la muestra, así como el criterio para determinar si es aceptado un lote de los productos.

MUESTREO SIMPLE O SENCILLO

Considera una sola muestra de cada lote, se inspecciona, se cuentan las unidades, que no cumplen con los requisitos (d) y se comparan con el número de aceptación (c) Si d es menor o igual que c se acepta el lote, si d es mayor que c se rechazará el lote.

MUESTREO DOBLE.

Considera dos muestras de cada lote, si el número de unidades defectuosas no están bajo el rango del número de aceptación se procede a obtener una segunda muestra. Sumados el número de defectuosos de las dos muestras se comparan con el número de aceptación nuevo para saber si se acepta o se rechaza el lote.

MUESTREO MULTIPLE.

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

Este plan extiende el concepto a una mayor cantidad posible de muestreos, antes de tomar una decisión.

En cada paso se acumulan y se cuentan las unidades que no cumplen con los requisitos, así mismo cada paso nos indicará cualquiera de las decisiones; aceptar, continuar o rechazar.

Un muestreo sencillo tiene la ventaja de aplicarse fácilmente, tiene una extracción de muestras rápida, en cambio los muestreos dobles múltiples los tamaños de las muestras son más pequeños, siendo generalmente menor el número total de unidades inspeccionadas, especialmente si la calidad es buena, se toman las decisiones con la primera muestra.

Si un lote es rechazado por encontrarse por debajo de las normas establecidas puede ser devuelto o conservado, dependiendo de la necesidad que se tenga de la mercancía o de los acuerdos que se tengan con el proveedor. Posiblemente haya una reducción de precios en los lotes rechazados.

Cuando el producto de un proveedor es rechazado con frecuencia se debe poner énfasis en los métodos de producción del proveedor para mejorarlos, así el muestreo de aceptación estará indirectamente mejorando el nivel de la calidad.

Si existe el rechazo de un lote se presentan dos opciones:

- a) Regresar el material al proveedor, lo cuál es una acción muy costosa, debido a la transportación perdida de tiempo, incluso un paro en la producción debido a inventarios limitados.
- b) Conservar el material y aplicar una inspección 100%. Cuando se requieren partes donde la única opción es una inspección 100%. Esto nos conduce a otro concepto; la calidad promedio de salida, que es el promedio de un grupo de lotes aceptados, comprendidos aquellos lotes aceptados normalmente y los lotes aceptados después de efectuar una inspección 100% y reponer las unidades defectuosas.

2. 5. TÉCNICAS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS.

Siempre que se vigile un proceso, se tendrá variación y como consecuencia se tendrá que aplicar acciones para evitar que se salga de control. Es importante conocer las causas que nos originan dicha variación y los efectos que de ellas tendremos, por esta razón es necesario contar con las técnicas que nos apoyan en la identificación de los problemas críticos.

2. 5. I. DIAGRAMA DE PARETO.

Este tipo de gráfica se conoce también como la teoría de 80 - 20, debido que al analizar las causas que originan un defecto, de mayor a menor de acuerdo a su

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

magnitud, nos daremos cuenta que el 20% de las causas son responsables del 80% de los defectos y el restante 80% de las causas originan solo el 20% de los defectos.

Para la mejor comprensión del método planteamos un ejemplo práctico: Haciendo un estudio de los problemas más frecuentes en refinerías, basado en los rechazos de válvulas tipo compuerta sobre defectos encontrados en los lotes durante un periodo de tiempo de Enero de 1992 a Enero de 1994, la causa de los rechazos se especifica como un mal funcionamiento.

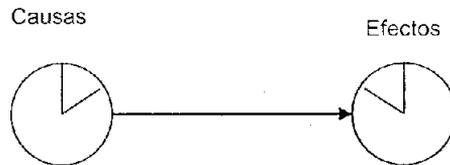


Figura II.7 Diagrama 80-20.

Enumeradas y clasificadas las características de no-conformidad por su frecuencia:

CARACTERÍSTICAS DEL RECHAZO	No DE VÁLVULAS	% RELATIVO	% ACUM
PRUEBA HIDROSTÁTICA	45	39.13	39.13
DAÑOS EN SELLOS	30	26.08	65.21
DAÑOS EN TRANSPORTE	11	9.56	74.77
PINTURA MAL APLICADA	10	8.69	83.46
DEFECTOS DE FUNDICIÓN	6	5.21	88.67
PLACAS DE IDENTIFICACIÓN	6	5.21	93.88
FUGA POR BUJE GUIA	5	4.34	98.22
MALA SELECCIÓN	2	1.74	100.0
	-----	-----	-----
TOTAL	115	100 %	100 %

El objetivo de analizar un diagrama de Pareto es identificar cuales son los principales problemas que afectan nuestro proceso para establecer un orden de importancia. Esto permitirá tener un mejor aprovechamiento de nuestros recursos al implantar acciones correctivas, a los problemas mas importantes. (Grafica II. 4. Diagrama de Pareto).

2. 5. 2- DIAGRAMA CAUSA - EFECTO.

Este diagrama es conocido también como una de las técnicas de análisis del Dr. Kaoru Ishikawa para solución de problemas.

La línea central nos conduce al problema particular a ser analizado, las causas que contribuyen al problema son flechas sobre la línea central se denomina causas mayores, subdivididas en causas menores y subcausas.

Este tipo de diagrama permite analizar los factores que intervienen en la calidad del producto, los factores determinantes son los siguientes:

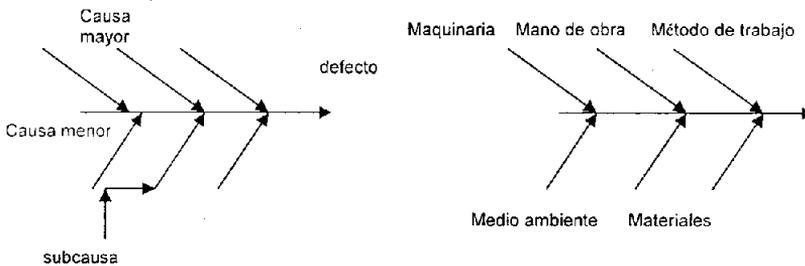


Figura 11.8 Diagrama Causa-Efecto

Maquinaria. Medio ambiente. Recursos Humanos. Métodos de trabajo. Materiales

Los diagramas causa-efecto ilustran con claridad las diversas causas que afectan un resultado, clasificándolas y relacionándolas. A continuación se describe la metodología para analizar un problema relacionado con la calidad.

Se aconseja no tomar acciones sobre varias causas al mismo tiempo, es importante llevar acciones una a la vez, esto nos permitirá conocer exactamente

CAPITULO 2: CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO.

cual de ellas provoca mayor dispersión en el proceso; de otra forma cuando el problema se presente no sabremos cuál fue la verdadera causa y no podremos solucionarlo verdaderamente.

Este tipo de diagramas simplifica el análisis y mejoran la solución de cada problema; además ayudan a visualizar mejor las situaciones y facilitan el entendimiento de problemas complejos (ver diagrama 11. 9).

2.5.3. CIRCULOS DE CALIDAD.

El concepto de los círculos de calidad fue introducido por los japoneses. El término "círculos de calidad se refiere tanto a una estructura y un proceso como a un grupo de personas que realizan actividades en equipo.

3.1. VARIABILIDAD

Los servicios o productos que proporciona el hombre están sujetos a variación en mayor o menor grado. Las máquinas se descomponen, la energía eléctrica falla, los aviones se retrasan, etc. Las especificaciones son para evitar esto; sin embargo, debemos de empezar a considerar la pérdida causada por ésta variabilidad.

Es evidente que si exploramos a los "gurus" de calidad, estos no están de acuerdo con su definición, Juran, define la calidad como cumplir con los requisitos mientras que Deming, la define Como: que la calidad debe ser " cubrir las necesidades presentes y futuras del consumidor". Todas estas definiciones son muy diferentes pero hay puntos comunes:

- La calidad es la medida del grado en que los requisitos y expectativas del cliente son satisfechas.
- La calidad no es estática ya, que las expectativas del cliente cambian.
 - Calidad incluye el desarrollo de las especificaciones del producto o servicio, así como los estándares que cumplan las - necesidades del cliente - y entonces manufacturar productos o dar servicios que los satisfagan.

Aquí es importante indicar dos situaciones:

- a) Calidad no se refiere a variedad, es decir, variedad no es calidad.
- b) Debemos de pensar que cuando hablamos de necesidades de clientes, debemos considerar las expresas.

Existe una definición adicional qua podría abarcar en un aspecto más grande a lo anterior:

"Calidad es la pérdida que un producto causa a la sociedad después de ser embarcado, diferente a cualquier pérdida causada por sus funciones intrínsecas".

Por pérdida Taguchi (a quién pertenece la definición y este "nuevo" enfoque de calidad) se refiere a las siguientes dos características:

- pérdidas causadas por variabilidad de la función.
- Pérdida causadas por efectos laterales peligrosos.

Un producto inaceptable el cuál es tirado o retrabajo previo al embarque es visto, por Taguchi como un costo a la compañía pero no una pérdida de calidad. Así mismo, la pérdida cuando un producto se comporta como se diseño no es considerado como una pérdida de calidad. Su razonamiento es, que tales situaciones reflejan problemas legales o culturales y no problemas de ingeniería.

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Cuando la definición habla de funciones intrínsecas se refiere a efectos laterales. Supóngase que se habla del alcohol como estimulante y que es causa de peleas o accidentes bajo su influencia. La intoxicación, sin embargo, es función del licor (o sea para lo que se fabricó) y no tendría sentido la fabricación de licor no intoxicante ya que el producto obtenido no tendría la función de licor y esto como se indicó, son patrones culturales.

3. 2 CONTROL DE CALIDAD EN LÍNEA Y FUERA DE LÍNEA.

Cuando hablamos de sistemas de calidad, se dividen los sistemas de calidad en dos partes:

Calidad de diseño.

Calidad de conformancia (Adecuación).

Taguchi se refiere a esto como:

Calidad fuera de línea (de producción).

Calidad en línea (de producción).

El control de Calidad fuera de línea tiene que ver con:

1. Identificar correctamente las necesidades y expectativas del cliente.
2. Diseñar un producto/servicio que conforme las expectativas del cliente.
3. Diseñar un producto el cual sea consistente y económicamente fabricado.
4. Desarrollar especificaciones claras y adecuadas así como procedimientos, estándares y equipo de manufactura.

Hay dos etapas en el control de calidad fuera de línea: etapa del diseño de producto y etapa del diseño del proceso.

Durante la etapa del diseño del producto un nuevo producto es desarrollado o un producto existente es modificado. La meta en este caso es desarrollar productos capaces de ser fabricados y que cumplan las expectativas de los clientes. Durante la etapa del diseño de procesos los ingenieros (personal) de producción y manufactura (supervisores) desarrollan procesos de manufactura que cumplan con las especificaciones desarrolladas durante el proceso de diseño.

Actividades 1, 2 y 3 son parte del diseño de producto, la actividad 4 toma lugar durante la etapa de diseño de proceso.

Taguchi, desarrolló un enfoque de tres pasos para asegurar la calidad en cada una de las dos etapas del control de calidad fuera de línea: diseño del sistema, diseño de parámetros y diseño de tolerancias.

Control de calidad en línea tiene que ver con manufacturar productos dentro de las especificaciones establecidas durante el diseño del producto usando los procedimientos desarrollados durante el diseño del proceso.

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

También el diseño de productos y procesos puede ser revisado si el feedback de los consumidores revela oportunidades de mejora. Las dos etapas en el control fuera de línea son: métodos de control de calidad en producción (con tres partes: diagnóstico de proceso y ajuste; predicción y corrección; medición y relación) el estado dos es, relaciones con el cliente.

CONTROL DE CALIDAD FUERA DE LÍNEA		
ETAPA 1 DISEÑO DEL PRODUCTO	TRATA DE: 1. IDENTIFICAR NECESIDADES DEL CLIENTE Y EXPECTATIVAS. 2. DISEÑA UN PRODUCTO QUE SE ADECUE A LAS NECESIDADES DEL CLIENTE Y EXPECTATIVAS 3. DISEÑA UN PRODUCTO EL CUAL PUEDA SER CONSISTENTE Y ECONÓMICAMENTE ÓPTIMO.	PASOS DE ASEGURAMIENTO: 1. DISEÑO DE SISTEMAS. 2. DISEÑO DE PARÁMETROS 3. DISEÑO DE TOLERANCIAS.
ETAPA 2 DISEÑO DEL PROCESO	TRATA DE: 1. DESARROLLAR ESTÁNDARES Y ESPECIFICACIONES CLARAS Y ADECUADAS, ASÍ COMO SELECCIONAR PROCEDIMIENTOS Y EQUIPOS PARA LA MANUFACTURA.	PASOS DE ASEGURAMIENTO: 1. DISEÑO DE SISTEMAS. 2. DISEÑO DE PARÁMETROS. 3. DISEÑO DE TOLERANCIAS.

CONTROL DE CALIDAD EN LÍNEA		
ETAPA 1 PRODUCCIÓN	TRATA DE: 1. MANUFACTURAR PRODUCTOS DENTRO DE ESPECIFICACIONES ESTABLECIDAS DURANTE EL DISEÑO DEL PRODUCTO USANDO PROCEDIMIENTOS DESARROLLADOS DURANTE EL DISEÑO DE PROCESOS.	FORMA 1 DIAGNÓSTICO Y AJUSTE DE PROCESO. FORMA 2 PREDICCIÓN Y CORRECCIÓN FORMA 3 MEDICIÓN Y ACCIÓN.
ETAPA 2 RELACIONES CON CLIENTES	TRATA DE: 1. DAR SERVICIO A CLIENTES Y USA LA INFORMACIÓN SOBRE PROBLEMAS EN CAMPO PARA MEJORAR EL DISEÑO DEL PRODUCTO Y EL PROCESO DE MANUFACTURA.	ACCIONES: 1. REPARAR, REEMPLAZAR O REEMBOLSAR. 2. RETROALIMENTACIÓN SOBRE PROBLEMAS DE CAMPO. 3. CAMBIAR LAS ESPECIFICACIONES O DISEÑO DEL PRODUCTO/PROCESO.

3. 2. 1. CONTROL DE CALIDAD FUERA DE LÍNEA.

ETAPA 1 DISEÑO DEL PRODUCTO.

1.- Diseño del sistema. Aplicando ingeniería y conocimiento científico para desarrollar un prototipo el cuál conforme los requerimientos del cliente. Selección inicial sobre partes, materiales y equipo de manufactura se hacen en este lapso. El énfasis aquí es usar la mejor tecnología disponible para cumplir los requisitos del cliente al menor costo. Debemos recalcar aquí que se desea cumplir con la tecnología disponible, partes de bajo costo y requisitos del cliente algo más que usar la última tecnología y partes costosas y/o exóticas.

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

2.- **Diseño de parámetros.** Consiste en determinar el ajuste óptimo de los parámetros del producto. La meta aquí es minimizar costos de manufactura y vida del producto disminuyendo la variación del comportamiento, esto incluye hacer robusto el diseño del producto, insensible a los factores de ruido. Un factor de ruido es una fuente no controlada de variación en la característica funcional del producto. Taguchi, identifica tres tipos de factores de ruido.

Ruido externo, sobre la variación en las condiciones ambientales.

Ruido interno o deterioro, tales como desgaste del producto, envejecimiento de materiales u otros cambios en los componentes por el uso.

Ruido de pieza a pieza, el cual es debido a diferencias en productos elaborados con la misma especificación causada por variabilidad en materiales maquinaria y procesos de ensamble.

El paso de diseño de parámetros incluye el uso de diseños experimentales para determinar el impacto de factores (ruidos), controlables e incontrolables sobre las características del producto.

La meta es ajustar factores controlables a niveles los cuáles hagan el producto robusto con respecto a los ruidos.

3.- **Diseño de tolerancias.** Establecer tolerancias alrededor del valor objetivo (nominal). La meta es reducir tolerancias amplias (para reducir costos de manufactura), mientras todavía se mantienen las características funcionales del producto en las fronteras especificadas.

ETAPA 2 DISEÑO DE PROCESO

1.- **Diseño de sistemas.** Selecciona el proceso de manufactura sobre la base del conocimiento del producto y tecnología de manufactura estándar. El enfoque aquí está en la adecuación a la especificación usando maquinaria y proceso existentes hasta donde sea posible.

2.- **Diseño de parámetros.** Determinan niveles apropiados para los parámetros controlables del proceso de producción.

La meta aquí es hacer el proceso robusto para minimizar los efectos del ruido sobre los procesos de producción y producto terminado. Diseños experimentales que se usan en este paso.

3.- **Diseño de tolerancias.** Establece tolerancias para los parámetros identificados para críticos durante el diseño de parámetros del proceso. Si los pasos de diseño y proceso del producto son pobremente llevados a cabo, podría ser necesario aquí ajustar tolerancias o especificaciones de los materiales más costosos o mejor equipo, elevando costos de manufactura.

3.2.2. CONTROL DE CALIDAD EN LÍNEA

ETAPA 1 PRODUCCIÓN

Taguchi define tres formas de control de calidad en línea:

- 1.- Diagnósticos de proceso y ajuste. El proceso es monitoreado a intervalos regulares y se hacen ajustes y correcciones, si es necesario.
- 2.- Predicción y corrección. Un parámetro de procesos es medido a intervalos regulares. Los datos son usados para proyectar tendencias en el proceso, donde se encuentre que el proceso esta muy alejado del objetivo, el proceso se ajusta para corregir la situación. Este modo que también se denomina feedback (retroalimentación) o (control hacia delante).
- 3.- Medición y acción. Calidad por inspección, cada unidad manufacturada es inspeccionada, unidades defectuosas son retrabajadas o tiradas a la basura. Esta es la más costosa y menos deseable forma de hacer control de calidad ya que no previene defectos en su ocurrencia o aún identificar todas las partes defectuosas.

ETAPA 2 RELACIONES CON EL CLIENTE.

Servicio a clientes puede incluir reparación o reemplazo de productos defectuosos o compensación por pérdidas; y proceso de manejo de quejas debería de ser más que una operación de relaciones públicas con el cliente. Información sobre tipos de quejas, fallas y percepciones de los clientes sobre el producto, deben de ser rápidamente retroalimentados a áreas relevantes de la organización para acciones correctivas.

La siguiente figura resume en que parte del ciclo "diseño manufacturado – entrega", es posible tratar con los tres tipos de ruido. Aquí la etapa de diseño del producto se llama investigación y desarrollo (I y D), y la etapa del diseño se llama ingeniería de producción. La figura nos indica donde es más factible y económico actuar y así evitar o reducir económicamente y de una manera más efectiva los ruidos.

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

DEPARTAMENTO			TIPO DE RUIDO		
			EXTERNO	INTERNO	PZA. A PZA
CONTROL DE CALIDAD FUERA DE LÍNEA	INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	1.DISEÑO DE SISTEMAS 2.DISEÑO DE PARAMETRO. 3. DISEÑO DE TOLERANCIA.	p p u	p p p	p p p
	INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN	1. DISEÑO DE SISTEMA. 2. DISEÑO DE PARÁMETRO. 3. DISEÑO DE TOLERANCIA.	i i i	i i i	p p p
CONTROL DE CALIDAD EN LÍNEA	PRODUCCIÓN	1. DIAGNOSTICO Y AJUSTE DE PROCESO 2. PREDICCIÓN Y CORRECCIÓN 3.MEDICIÓN Y ACCIÓN.	i i i	i i i	p p p
	RELACIONES CON CLIENTES	SERVICIO POST-VENTA	i	i	i

P = POSIBLE
 U = POSIBLE, PERO DEBE SER EL ÚLTIMO RECURSO
 i = IMPOSIBLE

3. 3. TIPOS DE VARIABLES.

Es popular como ya se indicó, el manejar el concepto de que calidad, es cumplir con las tolerancias, sin embargo, este punto de vista, toma solamente a los diseñadores y fabricantes y trae lo que se denomina el "gol de

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

campo". Esto se contrapone con los requerimientos del cliente; por lo que hay que recordar que en el football americano se otorgan tres puntos si el balón pasa por los postes sin importar donde entró hay una gran tolerancia. Al cliente no le importa que una T.V. cumpla con las especificaciones sino que cumpla con la mejor resolución.

Significa entonces que debemos sustituir las especificaciones por una mejor manera de definir las características de un producto/servicio:

HB (Higher is Better). Son características que entre más grande sean, son mejores.

NB (Nominal is Better). Son características que entre más se ajusten al valor nominal es mejor.

LB (Lower is Better). Son características que entre más pequeñas sean, es mejor.

El enfocar los requisitos del cliente en este enfoque permitirá mejorar continuamente al producto.

3. 4 FUNCIÓN DE PÉRDIDA.

Es evidente entonces, que es deseo del consumidor el tener productos más consistentes, parte a parte, y el deseo del productor es tener un producto de bajo costo. La pérdida a la sociedad se compone de los costos que se incurren en la producción, tanto como los costos encontrados durante su uso. Es deseo entonces de uniformizar los productos.

La función de pérdida es una expresión matemática que relaciona el costo contra el cumplimiento de la característica, demostrando que entre más nos acerque a la expectativa del cliente (característica) la pérdida disminuirá.

3.4.1 NOMINAL ES MEJOR.

La expresión de pérdida para una característica NB es:

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

donde:

L = Pérdida asociada (\$).

K = Constante que depende del costo y los límites de especificación

m = Valor nominal.

y = Valor particular.

La gráfica que define a esta pérdida es:

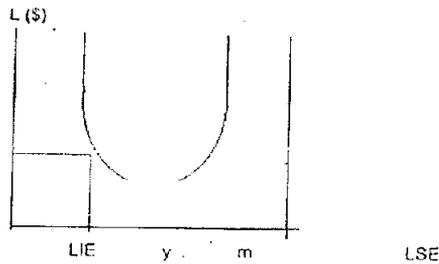


Figura 5 Gráfica que define, nominal es mejor.

Supóngase que en un proceso de maquinado la tolerancia es $\pm 0.010''$ ($\pm 0.25\text{mm}$). Si la parte se tira o repara por exceder el LSE o el LIE, tiene un costo de \$4.00, son una parte de la pérdida a la sociedad. Este costo se toma como referencia. Debido a lo anterior.

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

$$4.00 = k(y - m)^2$$

La pérdida de no cumplir se calcula cambiando a "y" por LSE (o LIE) y considerando un nominal de cero (que es independiente como se verá en el desarrollo).

$$k = 4.00 / (\text{LSE} - m)^2$$

$$k = 4.00 / (0.010 - 0)^2$$

$$k = 40,000$$

por lo tanto, ya tenemos la ecuación de la función de pérdida para este caso:

$$L = 40000 (y - 0.0)^2$$

por ejemplo, si hay un desplazamiento de 0.003 de más o menos, la pérdida asociada por pieza es 0.36; nótese que esta es una pérdida unitaria.

3. 4. 2 MAS GRANDE ES MEJOR.

Las letras en este caso significan lo mismo y la función y su gráfica es:

$$L = k(1 / y)$$

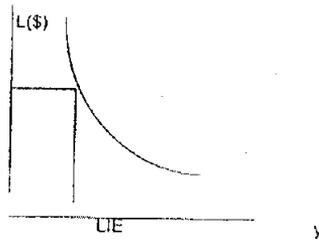
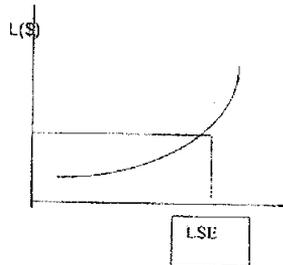


Figura 6 Gráfica que define más grande es mejor.

3. 4. 3 MENOR ES MEJOR.

La función de pérdida y su gráfica es:

$$L = k^* y^2$$



3.5 ANALISIS DE VARIANZA.

El objetivo de la experimentación es determinar el efecto de varios factores sobre la variable respuesta "y". Es evidente que una buena experimentación o planeación considerará a las variables más relevantes, las tratará adecuadamente y encontrará respuestas factibles y valiosas a la mejora del problema.

Los principios del diseño experimental se fundamentan en el análisis de varianza. Posteriormente, se dará una revisión a los métodos factoriales y se terminará con el método de Taguchi. En análisis de varianza veremos tres métodos.

3.5. 1 ANOVA DE UN CAMINO.

La varianza total que tiene un experimento será como puede entenderse, la aportación a la variación de cada una de las variables, es decir:

$$SST = SSA + SSB + SSC + \dots + SSE$$

FUENTES DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADROS	TABLA ANOVA DE GRADOS DE LIBERTAD	MEDIA CUADRADA	PRUEBA F
VARIABLE A SSA/SSE	SSA	M-1	SSA / m-1	
ERROR	SSE	N - m		
TOTAL	SST	N-1		

Las variables que más aporten, serán las que más influyan en el proceso. Así el análisis de varianza cuantifica esas contribuciones y las compara para determinar la influencia de las variables, construyéndose una tabla como la siguiente:

La tabla anterior es para una variable. Se pueden agregar mas variables como se vera mas adelante.

Los parámetros se estiman de la siguiente manera:

$$SST = \sum y_i^2 - G^2/N$$

$$SSA = (\sum y_i^2/n) - G^2/N$$

$$SSE = SST - SSA$$

Donde:

$$G = \text{Gran total} = \sum y$$

$$N = \text{Número de datos totales.}$$

$$G^2/N = \text{Factor de corrección}$$

3.5.2 MÉTODO DE BLOQUES.

Ahora el método cambia ya que al tener dos variables, la ecuación es:

$$SST = SSA + SSB + SSE$$

Las ecuaciones individuales de la tabla de ANOVA permanecen igual.

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

La prueba F tiene limitaciones que se tienen que tomar en cuenta. La prueba F sólo compara y dice si se acepta o no la hipótesis pero no indica que tan válida es la prueba, si los valores de tablas y los reales son muy cercanos o muy lejanos. La prueba F nos lleva a considerar sólo si el factor afecta al proceso cuando puede ser que no y no a la inversa. Por esto se necesitan de pruebas adicionales como:

- a) Por ciento de contribución.
- b) Arreglos ortogonales.

a) Por ciento de contribución.

La porción de la variación total observada en un experimento, atribuida a cada factor significativo y/o interacción esta reflejada en la contribución porcentual. El por ciento de contribución es una función de la suma de cuadrados de cada artículo significativo, el por ciento de contribución indica la fuerza relativa de un factor y/o interacción para reducir la variación. Si los niveles del factor y/o interacción fueran controlados adecuadamente, entonces la variación total puede ser reducida por la cantidad indicada por el por ciento de contribución.

Cuando se usa un experimento, para resolver un problema de producción la variación total observada deberá representar más del 75% de la variación observada en la producción. Este es un indicador, pero no una certeza, de que se incluyeron los factores apropiados en el experimento.

Se considera que la varianza debida a un factor o interacción contiene alguna cantidad de error, así para un factor A:

$$VA = VA' + Ve$$

Donde VA' es la cantidad esperada de varianza debido únicamente al factor A. así:

$$VA' = VA - Ve$$

Recordando que la definición de varianza para el factor A, es:

$$VA = SSA/uvA$$

Entonces:

$$VA = SS' A/uvA$$

y entonces: $SS' A/uvA = SSA/uvA - Ve,$

y si resolvemos $SS'A$

$$SS'A' = SSA - (uA) (Ve)$$

$SSA' A$ es la suma esperada de cuadrados debido al factor A.

La contribución porcentual se calcula como:

$$P = (SSA'A / SST) \times 100$$

Se adicionan entonces dos columnas más a la tabla de ANOVA para incluir estos

b) Arreglos ortogonales.

La prueba F sólo define, en una comparación la hipótesis de validez de influencia o no de una variable. Pero si esa variable son tres máquinas o tres operarios o cuatro catalizadores, ¿son estos conscientes individualmente?. Muchas pruebas de decisión industriales buscan comparar diferentes comportamientos de materiales, máquinas o condiciones para determinar cual es mejor. Evidentemente esta decisión no la da la prueba F.

Este apoyo lo dan los contrastes ortogonales. Son ortogonales por que garantizan independencia comparando la hipótesis de equivalencia entre variables.

Se requiere varias condiciones:

- a) Deberán aplicarse en matrices cuadradas y completas.
- b) Sólo se podrán generar tantas comparaciones (contrastos) como ecuaciones existen.

La secuencia de operaciones para los contrastes es:

$$SSK1 = \frac{\sum(T)^2}{N \sum (Ci^2)}$$

donde:

$\sum(T)^2$ es la suma del contraste al cuadrado (p.e. si los contrastes son:

$$C1 + C2 - 2C3 = 0, \text{ entonces}$$

$\sum(T)^2$ será la suma algebraica de los tratamientos al cuadrado).

N la cantidad de tratamientos.

$\sum(C_i)^2$ es la suma de los coeficientes de los contrastes de la ecuación original cada uno al cuadrado.

Ya que SSK / GL sera igual a σ , y como los G. L. del contraste ortogonal es uno, entonces $MSk1 = 1$.

entonces la razón $F = MSk1 / MSE$ con $F_{1,k,\alpha}$

3.5.3. CUADRADO LATINO.

Ahora complicaremos el problema, adicionando una variable mas dentro del arreglo. Cuando en un arreglo se manejan tres variables; A y B serán factores de variabilidad no deseada, y C un factor de estudio, un cuadro latino nos puede ayudar.

Una restricción de aleatoriedad del cuadrado es que no se deben repetir ni en lineas ni en columnas un mismo factor y que los arreglos, por esta razón de las variables ya están definidas.

El cálculo de la variable C es idéntico a los de A y B; solamente sumamos los niveles para calcular sus tratamientos y aplicamos las fórmulas normalmente.

3.6 TIPOS DE EXPERIMENTOS.

3.6.1 EXPERIMENTOS FACTORIALES.

Todos realizamos experimentos, desde usar un papel pH y ver su cambio de color. Medimos la fuerza necesaria para mover un block sobre la mesa. El jugador experimenta con diferentes bats y pelotas cuando juega béisbol. Buscamos mejorar nuestra experiencia, es decir la calidad de nuestros diseños y procesos. Mejorar significa:

- Optimizar el valor de respuesta promedio. El diseño experimental busca identificar cuales son las combinaciones o ajustes de niveles de los factores clave que produzcan el mejor valor promedio de las características de producto o proceso de interés.
- Minimizar el efecto de la variabilidad en el proceso o el comportamiento del producto. Esto también se denomina diseño robusto, y consiste en hacer al producto / servicio insensible a las variaciones externas.

Así podemos decir que un experimento es cualquier acto de observación. Es decir, es una serie de pruebas y evaluaciones que producen respuestas cuantificables.

3.6.2 EXPERIMENTACIÓN CIENTÍFICA TRADICIONAL.

La forma tradicional de experimentar es variar un factor a la vez, manteniendo los otros fijos, caso que no siempre es el adecuado. Este tipo de experimento aparece en la table siguiente:

	NIVELES DE FACTORES			RESPUESTA
	A	B	C	
CORRIDA				
1	1	1	1	Y1
2	2	1	1	Y2
3	1	2	1	Y3
4	1	1	2	Y4

¿Cómo se lleva a cabo esto?. Si el valor 1 es el nivel menor de la variable y el 2 el superior, el experimentador desea variar un nivel de la variable a la vez, manteniendo constantes las demás.

Supongamos, que hablamos de la resistencia de una viga y que los resultados son:

	NIVEL DE FACTORES			RESPUESTA
	A	B	C	
CORRIDA				
1	1	1	1	125
2	2	1	1	100
3	1	2	1	130
4	1	1	2	105

De acuerdo con esta información decimos que la respuesta se maximiza con la corrida 3 (A y C en 1 y B en 2).

2). Así mismo, en la tabla se ve que el cambiar A de 1 a 2 y manteniendo B y C en 1 disminuye el valor de la resistencia en 25 (125-100) otras relaciones pueden ser determinadas.

Sin embargo, esto se puede complicar, supongamos que A y B interactúan es decir, que no tienen efectos independientes sino que el efecto de un factor sobre la resistencia es afectado por el nivel de otro factor. Supongamos que las contribuciones de A y B sean:

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

CONTRIBUCIÓN DE LA RESISTENCIA DE A Y B

NIVEL		
A	B	
1	1	55
1	2	60
2	1	30
2	2	90

y que C contribuya en su nivel 1 con 70 y en 2 con 50. Entonces:

CORRIDA	NIVEL DE FACTORIES			RESPUESTA
	A	B	C	
1	1	1	1	55+70=125
2	2	1	1	30 + 70 = 100
3	1	2	1	60+70=130
4	1	1	2	55+50=105

De acuerdo a lo anterior nuevamente que la maximización la da la corrida 3 con A1, B2 y C1. Sin embargo si utilizamos A2 B2 y C1 la respuesta se maximiza ($90 + 70 = 160$). ¿En qué fallamos?, en usar un diseño equivocado. Tenemos 3 variables (A, B y C) y dos niveles (1 y 2). Así que deberían existir $2^3 = 8$ corridas. Los niveles pueden ser continuos (temperatura, presión densidad, etc.) o discretos (máquina A o B, operario 1 o 2, etc.) la respuesta (característica importante o relevante la cuál es función de los parámetros) será continua. Un diseño se muestra en la siguiente tabla.

CORRIDA NUMERO	NIVELES DE FACTORES			RESPUESTA
	A	B	C	
1	1	1	1	Y1
2	1	1	2	Y2
3	1	2	1	Y3
4	1	2	2	Y4
5	2	1	1	Y5
6	2	1	2	Y6
7	2	2	1	Y7
8	2	2	2	Y8

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Este diseño tiene la propiedad de ser ortogonal es decir permite la estimación de los efectos promedios de los factores sin temer que los resultados se distorsionen por los efectos de otros factores. ¿Cómo podemos determinar la ortogonalidad?

Dentro de la tabla anterior hacemos un truco. Los 1 se cambian por -1 y los 2 por 1. Al substituir multiplíquese los valores de cada línea y súmese a los valores de la siguiente línea, hasta completarlo. Si la suma total es 0 se dice que las columnas (efectos) son ortogonales.

El efecto de un factor sobre la respuesta es el cambio en la respuesta cuando el valor va de menos a más. Ese efecto sobre la respuesta se mide, para cada columna:

Efecto A = promedio de los valores "2" de A menos el promedio de los valores "1" de A.

Ejemplo:

El rendimiento de una reacción química se considera como una función de tres variables:

Formulación (F).

Velocidad de mezcla (S).

Temperatura (T).

Se llevo a cabo un experimento de 8 corridas, 2 niveles y 3 factores; los resultados de la experimentación son:

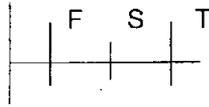
NIVEL	FORMULACIÓN	VELOCIDAD DE MEZCLA	TEMPERATURA
1	A	60 r.p.m.	70°
2	B	80 r.p.m.	82°

La combinación de factores da como resultado los valores de la tabla anexa (tabla 1).

La tabla es en sí muy específica para su llenado. Se colocan los valores del rendimiento de cada línea en los espacios en blanco y se realizan las operaciones indicadas en la parte inferior. El efecto, se indicó se calcula con el valor de 2 menos el valor del nivel 1

El primer indicador es justamente el efecto. Los efectos grandes nos van a indicar variables con mayor influencia, siendo entonces el primer indicador de su

influencia en el proceso. Para definir y visualizar esta influencia, se grafica de la siguiente manera.



Dependiendo el tipo de característica (LB, HB o NB), la gráfica ayuda para indicarnos que nivel debemos considerar para maximizar (minimizar) la respuesta. Obsérvese que en este, ejemplo no se consideraron interacciones

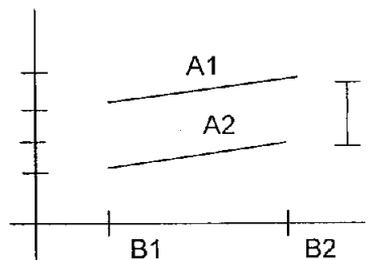
3.6.3 REPLICANDO EXPERIMENTOS.

En el ejemplo anterior se uso valor de respuesta. Este es un caso limitado, por las siguientes razones:

1. Los valores individuales tienen menos variabilidad que las medidas individuales.
2. Sin replicaciones, un solo dato puede distorsionar todo el análisis.
3. Datos de experimentos replicados pueden ser usados para determinar la variabilidad del proceso.
4. Con replicaciones se puede determinar cuales datos afectan la variabilidad y cuales el promedio.

3.6.4 INTERACCIONES DE FACTORES.

Cuando un factor afecta a la respuesta independientemente de los otros se dice que es aditivo. Sin embargo, algunas veces existe influencia de uno con otro, p. e. , que un oxidante sea más efectivo a baja que alta temperatura. Cuando el efecto de un factor es influido con el nivel de otro factor, decimos que hay una interacción. Los experimentos ortogonales te protegen contra un valor que artificialmente afecte al estimado de otro factor, pero no siempre protegen contra interacciones entre factores. Veamos los tipos de interacciones:



CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

¿Cómo se involucran las interacciones en una tabla de respuesta?

De la matriz donde aparecen los -1 y 1, nos será útil para calcular interacciones. Estas se generan multiplicando cada línea de las columnas para formar la interacción (es decir, A y B para forma AB). La tabla siguiente nos da los factores especiales e interacciones

ORDEN	EFECTOS PRINCIPALES				INTERACCIONES		
CUENTA	A	B	C	AB	AC	BC	
1	-1	-1	-1	1	1	1	1
2	-1	-1	1	1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	1	1	-1
4	-1	1	1	-1	-1	-1	1
5	1	-1	-1	-1	1	1	-1
6	1	-1	1	-1	-1	-1	1
7	1	1	-1	1	1	-1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

3.6.5 GRÁFICAS NORMALES DE EFECTOS ESTIMADOS.

Una vez determinados factores e interacciones surge una pregunta interesante: ¿Son realmente esos factores los que afectan o sólo son un resultado aleatorio? Para responder esto tenemos que graficar en papel para probabilidad normal según la siguiente técnica:

1. Ordénese los efectos de los factores del más pequeño al más grande (-8 es mayor que -1.8).
2. Grafique los puntos en el papel de probabilidad, en el eje "x" de la gráfica se identifican los factores, y en el eje "y" se grafican la escala de 7 (15) efectos.
3. Se suavizan los puntos con una línea recta.
4. Puntos que están cercanos a la línea no demuestran cualquier efecto significativo sobre la respuesta, aunque deberemos ser precavidos y reexperimentar para confirmar la respuesta.

Ejemplo: Un ingeniero desea maximizar el esfuerzo a la adhesión cuando se monta un circuito integrado sobre un substrato de vidrio metalizado. Cuatro factores son identificados como potencialmente afectando el esfuerzo: tipo adhesivo, material conductor, tiempo de curado y posteriormente del circuito integrado. El ingeniero decidió llevar un experimento de ocho corridas, usando dos niveles para cada uno de los cuatro factores. La variable respuesta será la adhesión medida en libras. Así los factores son:

ORDEN ALEATORIO DE LA CORRIDA	ORDEN ESTANDAR	TIPO DE ADHESIVO	MATERIAL CONDUCTOR	TIEMPO DE CURADO	POST RECUBRIMIENTO
	1	D2A	COBRE	90	ESTAÑO
	2	D2A	COBRE	120	PLATA
	3	D2A	NIQUEL	90	PLATA
	4	D2A	NIQUEL	120	ESTAÑO
	5	HIE	COBRE	90	PLATA
	6	HIE	COBRE	120	ESTAÑO
	7	HIE	NIQUEL	90	ESTAÑO
	8	HIE	NIQUEL	120	PLATA

ORDEN ESTANDAR	ESFUERZO DE ADHESION	MEDIDA DE LA MUESTRA
1	73.0,73.2,72.8,72.2,76.2	
2	87.7,86.4,86.9,87.9,86.4	
3	80.5,81.4,82.6,81.3,82.1	
4	79.8,77.8,81.3,79.8,78.2	
5	85.2,85.0,80.4,85.2,83.6	
6	78.0,75.5,83.1,81.2,79.9	
7	78.4,72.8,80.5,78.4,67.9	
8	90.2,87.4,92.9,90.0,91.1	

3. 7 DISEÑOS FACTORIALES FRACCIONADOS.

En el tema anterior vimos que si tenemos tres variables, generamos ocho pruebas, cuatro generan dieciséis etc.; de tal forma que el modelo es $K = N^{\circ}$ de pruebas, el cual incluye sus interacciones; sin embargo en un experimento con ocho variables necesitamos doscientos cincuenta y seis columnas para caracterizarlo completamente; obviamente no sólo es imposible sino poco factible. El experimentador consciente buscará minimizar sus corridas experimentales y eliminar variables o interacciones innecesarias, aunque esto confunda las relaciones (confounding).

Veamos la matriz con tres variables y ocho pruebas.

ORDEN	EFECTOS PRINCIPALES				INTERACCIONES		
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	-1	-1	1	1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	-1	1	1	-1	-1	1	-1
5	1	-1	-1	-1	-1	1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	1	1	-1	1	-1	-1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

3.8 ANÁLISIS DE VARIANZA EN EL DISEÑO

Cuando tenemos una hipótesis, es común encontrar paralelo a ella un error por el hecho de tomarla:

Error tipo I –Acepta una falsa hipótesis alternativa.

Error tipo II –Acepta una hipótesis nula falsa.

Un buen experimento debe mantener la probabilidad de ambos errores a un buen nivel; aunque esto es imposible ya que la disminución de uno incrementa al otro.

En este caso la hipótesis nula será que el factor bajo consideración no tiene efecto significativo en la respuesta. La hipótesis alternativa será que el factor tiene un efecto significativo en la respuesta.

Efecto significativo significa que es improbable que el estimado observado del efecto podría ser tan grande como es solo por casualidad, es decir que hay evidencia de un factor real.

Sin embargo, no establecía un criterio de que si un punto se saliese del comportamiento lineal, cuando significase esta discrepancia para ser considerado como influyente este factor.

Esto lo resolveremos con una tabla de ANOVA, pero con un criterio distinto, es decir, ya no por la discrepancia al modelo de la línea recta sino, cuando este estimado difiere de cero.

Para esto seguiremos el siguiente proceso:

a) Construir una tabla de ANOVA de la siguiente manera:

Columna de la tabla de respuesta	Factores	Estimado del efecto	Cuadrado del estimado
1	A		
2	B		
3	C		
4	AB = CD		
5	AC = BD		
6	AD = BC		
7	D		

b) Se asigna un grado de libertad a cada factor.

c) Se empieza a acumular (pooling up) partiendo de los valores más pequeños de él (acumulando también los grados de libertad) y se mide estadísticamente la prueba comparando con diferentes valores de F (1 %, 5 %, etc.).

d) La F de comparación se calcula como $F_{1,k,\%}$ donde K son los valores o variables que no influyen. Valores calculados de F mayores que la tabla F sugieren que el factor tiene influencia en la respuesta.

Cuando se usan experimentos replicados, el no efectos E 2 se basa en las varianzas de la muestra calculada para cada punto en el diseño experimental. Las varianzas de la muestra son los cuadrados de las desviaciones estándar de la muestra.

La fórmula para calcular el no-efecto E 2 basadas en las varianzas individuales de la muestra es:

$$E 2 = 4s^2 / N$$

Donde S2 es el promedio de las varianzas de la muestra calculadas al punto experimental y_i y N es el número de pruebas realizadas (número de puntos experimentales diferentes por el número de replicaciones). Los grados de libertad para el no-efecto es igual a N menos el número de diferentes experimentos.

3. 9 MÉTODO TAGUCHI

Hemos visto la estrategia de los estadistas occidentales sobre el DOE (aunque ya en la sección anterior se uso una contribución del método Taguchi, la relación S/N). Ahora veremos el punto de vista del Dr. Taguchi, los puntos de cómo se lleva a cabo el experimento en general son comunes a los diseños factoriales aquí podremos comentar y definir las diferencias.

Pasos en el diseño, conducción y análisis del experimento son :

1. Selección de los factores e interacciones a ser evaluados.
2. Selección del número de niveles en los factores.
3. Selección del AO apropiado.
4. Asignación de factores y/o interacciones a las columnas
5. Conducir la prueba.
6. Analizar los resultados.
7. Confirmar el experimento.

3.9. 1. SELECCIÓN DE FACTORES Y/O INTERACCIONES.

La determinación de cuáles factores investigar recae sobre las características de interés del producto o proceso. Existen varios métodos para determinar estos factores.

- Tormenta de ideas.
- Diagrama de flujo.
- Diagrama causa-efecto.

3.9. 2 SELECCIÓN DEL NÚMERO DE NIVELES.

Normalmente se manejan dos niveles al inicio, para disminuir el tamaño del experimento original. Hay que recordar que el número de grados de libertad para un factor, es el número de grados de libertad menos 1; aumentando el número de niveles para un factor, se aumenta el número de grados totales para un experimento, el cuál es función del número total de pruebas. Un grado de libertad para cada factor, minimiza el número de pruebas.

3.9.3 SELECCIÓN DEL AO.

Grados de libertad - La selección del AO a usar depende de éstas características;

- a) El número de factores e interacciones de interés.
- b) El número de niveles de los factores de interés.

Estos dos puntos determinan el total de grados de libertad requeridos para todo el experimento. Hay que recordar que el número de grados de libertad para cada factor es el número de niveles menos 1.

$$VA = KA - 1$$

Los grados de libertad para una interacción es el producto de los grados de libertad de los factores involucrados.

$$VAXB = (VA) (VB)$$

El mínimo de grados de libertad requeridos para el experimento es la suma de todos los grados de libertad de las interacciones y los factores.

Arreglos ortogonales.

Para dos niveles existen:

L4 L8 L12 L16 L32

Para tres niveles son:

L9 L18 L27

La letra L significa "latín" (del arreglo); el número indica la cantidad de pruebas. Los grados totales de libertad disponibles en un AO es igual al número de pruebas menos 1

$$VLN=N-1$$

Selección del AO.

Cuando un arreglo particular es seleccionado para un experimento, la siguiente inigualdad debe ser satisfecha:

$$VLN \geq v \text{ requeridos para factores e interacciones.}$$

Para esto, primero decidimos usar un arreglo de dos o tres niveles. Cuando los grados de libertad requeridos estén intermedios entre dos arreglos, se elegirá el siguiente arreglo mayor. Cuando las interacciones requieran un arreglo ortogonal mayor se deberá buscar el mejor que limite o elimine o defina su separación.

3.9.4 ASIGNACIÓN DE FACTORES E INTERACCIONES.

Taguchi ha encontrado dos herramientas para ayudar en la asignación de factores e interacciones.

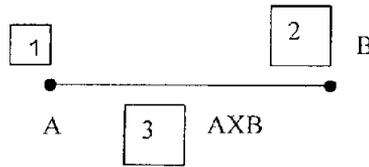
a) Gráficas lineales.

b) Gráficas triangulares.

Cada AO tiene un conjunto específico de gráficas lineales y tablas triangulares asociadas con él.

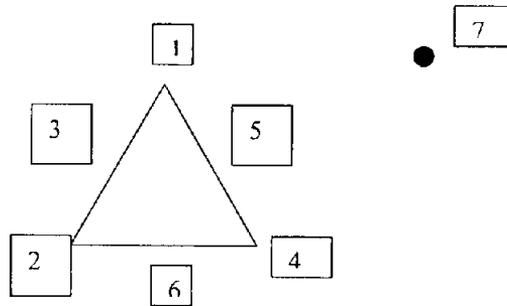
Las gráficas lineales indican varias columnas a las que los factores pueden ser asignados y las columnas consecuentemente evaluadas en las interacciones que generan. Las tablas triangulares contienen todas las posibilidades interacciones entre factores (columnas).

El más simple AO es el L4 con gráfica lineal como esta:



Esta gráfica indica que el factor A se coloca en la columna 1, el factor B en 2 y la interacción AxB en 3. Recuérdese que un experimento L4 tiene cuatro corridas y tres columnas. El punto representa factor, y además que se tiene una columna disponible para un factor de dos niveles con un grado de libertad. La línea representa la columna donde se evalúa la interacción de los dos niveles que une.

El siguiente AO es el de L8, donde se aprecia la posible combinación de asignación de factores.



Tablas triangulares.

Las tablas triangulares enlistan todas las relaciones posibles de las columnas de interacción. La siguiente es una tabla triangular L4:

COLUMNA	2	3
1	3	2
2	1	1

El primer factor asignado a un AO puede ser colocado en cualquier columna, la 2 por ejemplo. La tabla indica que la interacción de AxB estará en 1. Cualquier asignación de factores A y B matemática y estadísticamente equivalente. Todas las gráficas de dos niveles funcionan exactamente igual.

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Confusión de efectos principales e interacciones.

Para ver esto utilizaremos el ejemplo de la tabla L8. Supóngase que tenemos 3 variables A, B y C. Entonces según el L8 se colocan en 1, 2 y 4 (véase los vértices del triángulo) la tabla triangular (véase el apéndice) localice la interacción triple $AxBxC$, encontrando que la interacción del factor A y la interacción BxC . Otras combinaciones daran lo mismo:

$$A \times (B \times C) = AxBxC$$

$$1 \quad 6 \quad 7$$

$$B \times (A \times C) = AxBxC$$

$$2 \quad 5 \quad 7$$

$$C \times (A \times B) = AxBxC$$

$$4 \quad 3 \quad 7$$

La asignación resultante queda:

	COLUMNA					
1	2	3	4	5	6	7
A	B	AxB	C	AxC	BxC	AxBxC

Si un factor D, se agrega, se asigna inmediatamente a 7 y automáticamente se confunde con $AxBxC$. Cualquier otra elección confundirá a D con una interacción doble. Una interacción triple es poco probable de ocurrir y si así fuera, seria de menor magnitud que el factor principal:

	COLUMNA					
1	2	3	4	5	6	7
A	B	AxB	C	AxC	BXC	AxBxC
$BxCxD$	$AxCxD$	CxD	$AxBxD$	BxD	AxD	D

Al agregarse una quinta variable, evidentemente la confusión crece más. Las únicas columnas disponibles son 3, 5 y 6, entonces el asignar E lo estamos confundiendo con una interacción doble. El apéndice de la tabla de resolución nos indicará mejor estas condiciones.

3.9.5 CONDUCIENDO EL EXPERIMENTO.

Una vez que los factores son asignados, se deberá seguir una estrategia específica. Aunque los factores se asignan a la columna la estrategia de experimentación se da en las líneas. Lo aleatorio de las corridas y su replica es fundamental para que los factores no controlados o desconocidos que varían en el

experimento no varíen en el resultado. La elección del tipo de aleatorización (completa, repetición simple, completa entre bloques) puede afectar la ANOVA, sin así serlo.

3.9.6 ANALIZANDO RESULTADOS.

Una vez considerada la experimentación y la elaboración de la tabla de ANOVA, se procede a estimar los errores de la varianza, a esto se denomina acumular errores.

Se toma, en la columna de F el menor efecto contra el más grande para verificar si la significancia existe. Si ninguna F significativa existe, entonces los dos efectos menos significativos se acumulan para evaluar al siguiente más grande, hasta que una relación significativa exista.

3.9.7 CONFIRMACIÓN DEL EXPERIMENTO.

Esta es la última parte de la experimentación. Las condiciones óptimas son ajustadas por los factores significativos, así como, a sus niveles y varias pruebas se hacen bajo condiciones constantes. El promedio del experimento de confirmación se compara con el resultado dado. Este es un paso importantísimo y no debe ser omitido.

Por ejemplo:

Una fundición de pistones de aluminio tenía problemas al final del proceso de fabricación ya que no se obtenía la dureza adecuada para un producto particular. La dureza se media en la escala Rockwell B. Los ingenieros se interesaron en el efecto del contenido de magnesio y cobre en la dureza de la fundición. Según especificaciones el contenido de cobre podría ser de 3.5 a 4.5% y el contenido de magnesio podría ser de 1.2 a 1.8%.

A = % de Cobre A1 = 3.5 A2 = 4.5
B = % Magnesio B1 = 1.2 B2 = 1.8

Los datos experimentales fueron:

COLUMNA	A1	A2
B1	76,78	73,74
B2	77,78	79,80

La variación total se descompone en:

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

$$SST = SSA + SSB + SSAxB + SSe$$

Podríamos resolver el problema con un arreglo L4, sin embargo consideraremos un arreglo L8. La tabla anterior codificada (x-70) queda:

COLUMNA	A1	A2
B1	6,8	3,4
B2	7,8	9,10

Que en un L4 quedaría :

PRUEBA A	FACTORES			DATOS
	A	B	AxB	(Y-70)
1	1	1	1	6,8
2	1	2	2	7,8
3	2	1	2	3,4
4	2	2	1	9,10

En un L8 sería:

FACTORES E INTERACCIONES

A B AxB

PRUEBA	COLUMNA								Y
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
2	1	1	1	2	2	2	2	2	8
3	1	2	2	1	1	2	2	2	7
4	1	2	2	2	2	1	1	1	8
5	2	1	2	1	2	1	2	2	3
6	2	1	2	2	1	2	1	1	4
7	2	2	1	1	2	2	1	2	9
8	2	2	1	2	1	1	2	2	10

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Calculamos los SS, con ayuda de los parámetros (tabla codificada).

A1 = 29	B1 = 21	T = 55
A2 = 26	B2 = 34	
NA1 = 4	NB1 = 4	N = 8
NA2 = 4	NB2 = 4	

La variación total:

$$SST = \sum y^2 - T^2/N = 62 + 82 + \dots + 102 = 552 / 8 = 40.875.$$

$$SSA = \sum (A_i^2/nA_i) - T^2/N = (29^2 + 26^2) / 4 - 55^2 / 8 = 1.1125.$$

Para este caso especial, un experimento de dos variables con tamaño de muestras iguales, la fórmula se puede codificar en:

$$SSA = (A_1 - A_2)^2 / N$$

Así:

$$SSA = (29 - 26)^2 / 8 = 1.125$$

Y

$$SSB = (B_1 - B_2)^2 / N = (21 - 34)^2 / 8 = 21.125.$$

Para la interacción nos queda:

$$SSAxB = \sum (A_i B_j)^2 / nA_i B_j - (T^2/N) - SSA - SSB$$

Así

$$A_1 B_1 = 14$$

$$A_2 B_1 = 7$$

$$A_1 B_2 = 15$$

$$A_2 B_2 = 19$$

El incluir un L8, deja pendientes las columnas 4, 5, 6 y 7, entonces:

$$SS4 = (41 - 42)^2 / N = (25 - 30)^2 / 8 = 3.125$$

$$SS5 = (51 - 52)^2 / N = (27 - 28)^2 / 8 = 0.125$$

$$SS6 = (61 - 62)^2 / N = (27 - 28)^2 / 8 = 0.125$$

$$SS7 = (71 - 72)^2 / N = (27 - 28)^2 / 8 = 0.125$$

$$Sse = SS4 + SS5 + SS6 + SS7 = 3.50$$

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

La tabla de ANOVA queda:

	FACTORES			
FUENTE	SS	v	V	F
A	1.125	1	1.125	
B	21.125	1	21.125	
AxB	15.125	1	15.125	
COL4	3.125	1	3.125	
COL5	0.125	1	0.125	
COL6	0.125	1	0.125	
COL7	0.125	1	0.125	
(TOTAL	40.875	7		

Si acumulamos el error queda:

	FACTORES			
FUENTE	SS	v	V	F
B	21.125	1	22.83 ^a	
AxB	15.125	1	16.35 ^b	
Ep	4.625	5		
T	40.875	7		

A al 99% de confianza.

B al 95% de confianza.

Evidentemente falto replicar para tener más información

Taguchi, ha incluido en sus análisis los factores de ruido, anteriormente los ingenieros trataban a los factores de ruido controlandolos y aislaban componentes sensibles a las vibraciones, acondicionaban lugares en los cuales la temperatura era un factor clave o aseguraban las consistencias de materias primas a través de inspección intensa. Taguchi propone que tales acciones de control sean usadas como último recurso, ya que frecuentemente son muy costosos. En lugar de esto él recomienda que, a través de la experimentación, se busquen los niveles de los parámetros de diseño que minimizan el impacto de los factores de control, son entonces ajustados a aquellos niveles que hagan al producto robusto insensible a los factores de ruido.

Tres enfoques han sido sugeridos para diseñar experimentos en factores de control de ruido:

Enfoque 1:

No hagas el intento de controlar los factores de ruido durante el experimento. En lugar, corre pruebas replicadas para combinaciones seleccionadas de factores de control y mide la variabilidad del proceso con la medición de desviaciones estándar calculadas para cada punto experimental. El medio ambiente en el cual el experimento es llevado a cabo deberá ser tan cercano al uso actual o al proceso de manufactura como sea posible.

Enfoque 2:

Identifica factores de ruido, previos a la experimentación e incluye tanto a los factores de ruido como a los de control en el diseño experimental. p.e; si hay seis factores de control y dos de ruido, un experimento de 16 corridas puede ser llevado. Deberán evaluarse las interacciones y ajustar los niveles de los factores de control que minimicen el efecto de los factores de ruido.

Enfoque 3:

Seleccione un diseño experimental para los factores de control. Taguchi llamó esta matriz de diseño como arreglo interno. Seleccione un segundo diseño experimental para los factores de ruido. A esto se le llama arreglo externo, para cada combinación de factores en el arreglo interno corre la combinación de factores en el arreglo externo.

Existe un gran debate sobre el mejor enfoque. El enfoque 3 propuesto por Taguchi, puede verse como un caso especial del enfoque, en el cual las restricciones son impuestas en la asignación de factores a las columnas de una matriz de diseño.

Los arreglos tanto internos como externos son ortogonales por lo que no hay confusión entre variables o interacciones. Sin embargo, el enfoque 3 requiere una gran cantidad de pruebas y a pesar de esto si existirá confusión entre factores e interacciones.

Hay autores que recomiendan más el enfoque 1 y 2. Factores de ruido considerados críticos deberán ser tratados como factores de control si es posible. La variabilidad debida a los factores de ruido los cuales no son controlados, pueden estos evaluarse replicando el experimento y calculando desviaciones estándar en cada punto.

Ejemplo de un experimento con arreglo interno-externo.

El ANOVA para un experimento de AO con arreglo interno-externo es algo más complicado que un arreglo AO exclusivamente debido a las fuentes de variación adicionales. El arreglo interno adiciona fuentes de variación pero debido a su estructura agrega muchas interacciones.

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

El experimento citado anteriormente es incompleto. Existen cinco factores que son de interes, así como, las consistencia de la dureza de la parte sin importar la posición.

Los factores son:

FACTORES Y NIVELES DE LA FUNCIÓN

FACTORES	NIVEL 1	NIVEL 2
A% COBRE	LIE	LSE
B% MAGNESIO	LIE	LSE
C% ZINC	LIE	LSE
D AGUA FRÍA	SI	NO
E AIRE FRÍO	SI	NO
P POSICIÓN (EN LA COLADA)	I	II

Las réplicas de la experimentación fueron:

	A	B	AxB	C	D	E	e						
			COLUM- NAS										
PRUE- BAS	1	2	3	4	5	6	7		I			II	
1	1	1	1	1	1	1	1	71	71	72	75	74	75
2	1	1	1	2	2	2	2	72	72	72	71	69	71
3	1	2	2	1	1	2	2	55	55	55	68	67	68
4	1	2	2	2	2	1	1	76	74	74	72	74	74
5	2	1	2	1	2	1	2	78	78	77	78	78	76
6	2	1	2	2	1	2	1	63	69	65	69	73	66
7	2	2	1	1	2	2	1	74	70	72	72	70	74
8	2	2	1	2	1	1	2	75	72	71	73	74	73

Nótese que sólo tres pistones se evaluaron en dureza en dos diferentes lugares.

Los resultados se concentran en la siguiente tabla:

RESULTADOS CONDENSADOS DEL EXPERIMENTO.

TABLA SECUNDARIA			TABLA PRIMARIA	
PRUEBAS	TOTALES		PRUEBAS	TOTAL
	I	II		
1	214	224	1	438
2	216	211	2	427
3	165	203	3	368
4	224	220	4	444
5	233	232	5	465
6	197	208	6	405
7	216	216	7	432
8	218	220	8	438
TOTAL	1683	1734	TOTAL	3417

La primera porción de la tabla contiene la variación debida a factores de control, ya que la posición y la repetición han sido condensadas en un resultado. Ya que ese valor varía de prueba a prueba es una función de influencia de los factores de control únicamente. La segunda parte de la tabla contiene la variación debida a factores de control y de ruido y las repeticiones se han reunido en un solo valor. La tabla anterior (la segunda), la tabla terciaria contiene la variación total debida a factores de control, factores de ruido y al error; así los SST, se calculan de los datos:

Primario:

$$SST = \xi(y_i^2/n_i - T^2/N)$$

Así:

$$SST = 4382/6 + 4272/6 + + 4382/6 - 34172/48 = 994.15$$

Secundario:

$$SST2 = \xi y^2/n^2 - T^2/N$$

$$= 21422/3 + 2162/3 + + 220 2/3 - 3417 2/48 = 1279.31$$

Terciaio:

$$SST3 = \xi y^3^2 - T^2/N$$

$$71 2 + 711 2 + + 73 2 - 3417 2/48 = 1361.31$$

La variación debida a factores de control (columnas internas) puede ser evaluada usando la tabla primaria, el total de defectos de la columna debe ser igual a SST I. La variación debida a factores de control, factores de ruido y las interacciones control-ruido puede ser calculadas de la tabla secundaria; el total de todos esos efectos debe ser igual a SST2. La variación debida a los factores de control,

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

factores de ruido, interacciones control-ruido y error, pueden ser evaluadas usando la tabla terciaria, el total de esos efectos debe ser SST3. Se pueden calcular los efectos de las columnas internas, los factores de ruido y el error.

La tabla para la interacción del % Cu y la posición Se muestra en la tabla siguiente.

		POSICIÓN	
		I	II
%Cu	1	819	858
	2	864	876

La condición en cada tratamiento se obtiene sumando los datos bajo cada situación particular.

En este caso pruebas 1 a 4 (nivel 1) y posición 1 dan 819; pruebas 5 y 8 (nivel 2) y posición 1 dan 864; y así los demás. Cada columna del AO interno para otros factores se determina de la misma manera:

$$\begin{aligned}
 SS_{A \times \text{posición}} &= \xi(y_i^2/n_i) - SSA - SSP - T^2/N. \\
 &= (819^2 + 864^2 + 858^2 + 876^2/12) - 82.69 - 54.19 - 34172/48 \\
 &= 15.18
 \end{aligned}$$

La tabla se completa así:
 Die Cast Experiment
 ANOVA (Raw Data)

FUENTE	SS	v	V
A	82.69	1	82.69
B	58.52	1	58.52
C	2.52	1	2.52
D	295.02	1	295.02
E	487.69	1	487.69
AxB	58.52	1	58.52
E1	9.19	1	9.19
SST 1	994.15	7	
P	54.19	1	54.19
AxP	15.18	1	15.18
BxP	9.19	1	9.19
CXP	38.52	1	38.52
DxP	105.02	1	105.02

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

ExP	28.52	1	28.52
AxBxP	28.52	1	28.52
E2	6.02	1	6.02
SST2	1279.31	15	
E3	82.00	32	2.56
SST3	1361.31	47	

Una forma del ANOVA es:
 Die Cast Experiment
 ANOVA (Raw Data)

FUENTE	SS	v	V	F	P
A	82.69	1	82.69	9.10	5.41
D	295.02	1	295.02	32.46	21.00
E	487.69	1	487.69	53.65	35.16
DxP	105.02	1	105.02	11.55	7.05
E1	390.89	43	9.09		31.38
	-----	-----			-----
SST3	1361.31	47			100.00

Con al menos 99% de confiabilidad.

El enfriamiento por agua por la interacción de posición es estadísticamente significativo en este caso pero ya que la posición es un factor de ruido la única opción es seleccionar el nivel adecuado para el enfriamiento. Una gráfica de los resultados de las condiciones de la interacción de tratamientos hará más clara la selección.

D	P	PROMEDIO RHNb
1	1	66.17
1	2	71.25
2	1	74.08
2	2	73.25

Una gráfica de estos resultados es la siguiente:

Nótese que la dureza promedio de D2 es mayor y más consistente a pesar del factor de ruido. Usando el nivel 2 del factor D es un diseño de parámetros con respecto a la dureza del componente. Los promedios de los factores A, D y E son:

AA1 = 69.88 DA1 = 68.71 EA1 = 74.38
 AA2 = 72.50 DA2 = 73.67 EA2 = 68.00

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Los resultados promedio estimados cuando estos tres factores están a su mejor nivel es:

$$\begin{aligned} \mu_{A2,D2,E1} &= A2\lambda + D2\lambda + E1\lambda - 2T \\ &= 72.5 + 73.67 + 74.38 - 2(71.19) = 78.18 \end{aligned}$$

Ahora analizaremos los datos con la relación S/N:

Pruebas	Dureza S/N S/N,db
1	37.26
2	37.04
3	35.61
4	37.38
5	37.78
6	36.56
7	37.14
8	37.26

La tabla de ANOVA es (los datos de S/N se consideran como un punto para cada prueba):

Tabla de ANOVA S/N (sumario)

FUENTE	SS	v	V
A	0.26	1	0.26
B	0.19	1	0.19
C	0.02	1	0.02
D	0.88	1	0.88
E	1.39	1	1.39
AxB	0.23	1	0.23
E	0.05	1	0.05
	-----	-----	
T	3.02	7	

Se acumula de la siguiente manera:
S/N POOLED ANOVA

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

FUENTE	SS	v	V	F	P
D	0.88	1	0.88	5.87	24.17
E	1.39	1	1.39	9.27	41.06
EP	0.75	5	0.15	53.65	34.77
T	3.02	7			100.00

*Con al menos 99% de confiabilidad.

Los promedios de D y E son

$$\begin{aligned} DA1 &= 36.67 & EA1 &= 37.42 \\ DA2 &= 37.34 & EA2 &= 36.59 \end{aligned}$$

La media estimada es:

$$\begin{aligned} \mu_{D,E1} &= D2A + E1A - 2T \\ &= 37.34 + 37.42 - 37.01 = 37.75 \end{aligned}$$

Los factores para este experimento son entonces:

Factor	Promedio de efecto	Variabilidad del efecto
A	(2)*	
D	(2)*	(2)**
E	(1)*	(1)***

NOTA: Los números entre paréntesis indican el mejor nivel.

*al menos 99% de confianza.

**al menos 90% de confianza.

***al menos 95% de confianza.

3.10 UN ENFOQUE FINAL.

Hay un considerable debate sobre las diferencias entre diseño de experimentos tradicional y el enfoque Taguchi. Desafortunadamente, hay gente que ha exagerado esas diferencias fuera de proporción y reclama que los métodos occidentales son inefectivos o que los métodos Taguchi no son válidos. La verdad es que los métodos que Taguchi propone han sido usados por ingenieros durante años; pero Taguchi hizo esos diseños más atractivos para los ingenieros presentando casos de estudio en lugar de fórmulas matemáticas.

Sin embargo, tiene fuertes críticas y diferencias metodológicas por su complejidad, limitaciones y restricciones sobre su alcance así como confusión al momento de interpretar resultados, acusándolo también de resultados a corto plazo y

CAPITULO 3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

limitaciones de interpretación en los resultados.

No se trata de minimizar la labor del Dr. Taguchi pero quizá su mayor aportación sea el que haya hecho conciencia del valor de usar los diseños experimentales para evaluar el impacto de los factores sobre el producto y la variabilidad del proceso.

Se deja al estudiante revisar y evaluar los argumentos sobre la validez los métodos de experimentación así como sus fuerzas y debilidades.

4.1 GENERALIDADES.

INDUSTRIAS PETROTEC DE MÉXICO, S.A. de C.V, es una empresa dedicada a la elaboración de antioxidantes para consumo humano, fungicidas, bactericidas, y antioxidantes para la industria agropecuaria.

Es una empresa que se preocupa por satisfacer totalmente los requisitos de sus clientes y garantizarlos permanentemente, de tal manera que se ha decidido establecer un sistema de calidad, definido y documentado.

Esta empresa reconoce y enfatiza la gran importancia hacia el mejoramiento continuo de la calidad de la fabricación de sus productos, de esta manera los clientes depositan plena y totalmente la confianza en esta empresa para tener la certeza que el producto suministrado por INDUSTRIAS PETROTEC DE MÉXICO, S.A. DE C.V. sea sinónimo de calidad. Así mismo se establece por escrito de manera clara y concisa todas las directrices, procedimientos e indicaciones que promuevan el desempeño eficiente de todo su personal.

INDUSTRIAS PETROTEC DE MÉXICO, S.A. DE C.V. es una empresa enfocada hacia el área agroindustrial principalmente, elaborando conservadores, inhibidores de hongos, bactericidas y saborizantes de consumo agropecuario. De la misma forma desarrolla antioxidantes especiales para la protección de grasas y aceites vegetales de consumo humano, ya que la oxidación degrada los ácidos grasos de la misma provocando rancidez y pérdida del valor nutricional de los alimentos que lo contienen.

4.2 POLÍTICA DE CALIDAD

En INDUSTRIAS PETROTEC DE MÉXICO S.A. de C.V. se busca sistemáticamente la calidad total de toda su gente, de productos y servicios, que la ubique como una empresa confiable.

El compromiso es mejorar continuamente los sistemas y procedimientos, para asegurar que los productos y servicios cumplan con las normas de calidad, así como anticiparse a las expectativas de los clientes quienes son la razón de ser.

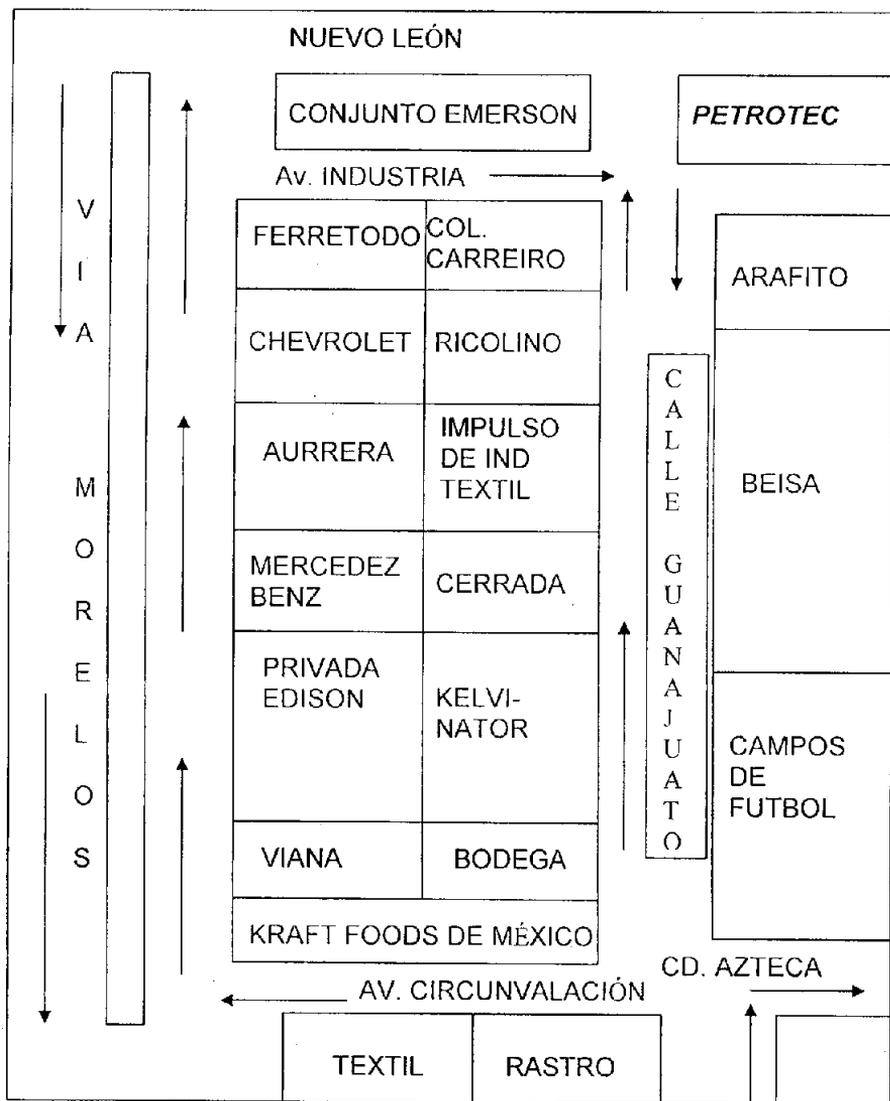
En general, la formulación de alimentos para animales incluye suplementos vitamínicos y minerales, así como grasas para aumentar el nivel energético, por lo cual, el alimento terminado es muy susceptible a oxidarse si no se protege con un antioxidante. Los granos de alimentos balanceados preparados se contaminan con microorganismos en forma natural por la acción del viento, insectos o de cualquier otro factor, esta carga puede proliferar debido a las condiciones de almacenamiento, así como de factores ambientales, temperatura, humedad relativa, humedad del material, etc.

CAPITULO 4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.

Coincide la importancia que implica para los productores de alimento balanceado el tener materia prima y producto terminado protegidos contra la oxidación y libre de contaminación fúngica, bacterias y consecuentemente de mico toxinas, ha desarrollado después de diversas pruebas e investigaciones una amplia variedad de conservadores (antioxidantes), inhibidores de hongos, así como bactericidas que previenen la contaminación por salmonella principalmente, todos estos productos en presentación líquida y polvo. Preocupada por satisfacer las necesidades de sus clientes se encuentra en constante mejora de usos de productos actuales y desarrollo de nuevos productos por lo que cuenta con un departamento de investigación y desarrollo, servicio técnico al cliente, control de calidad, todos con una sola consigna, la satisfacción del cliente.

4.3 UBICACIÓN DE LA EMPRESA.

Industrias Petrotec de México, S.A. de C.V. se encuentra ubicada en calle Guanajuato N° 49-A, Col. Santa María Tulpetlac , Municipio Ecatepec de Morelos, Edo. México. C.P 55400
Tel. 57 75 43 80, 57 76 94 23.



4.5 ACTIVIDADES DE LA EMPRESA.

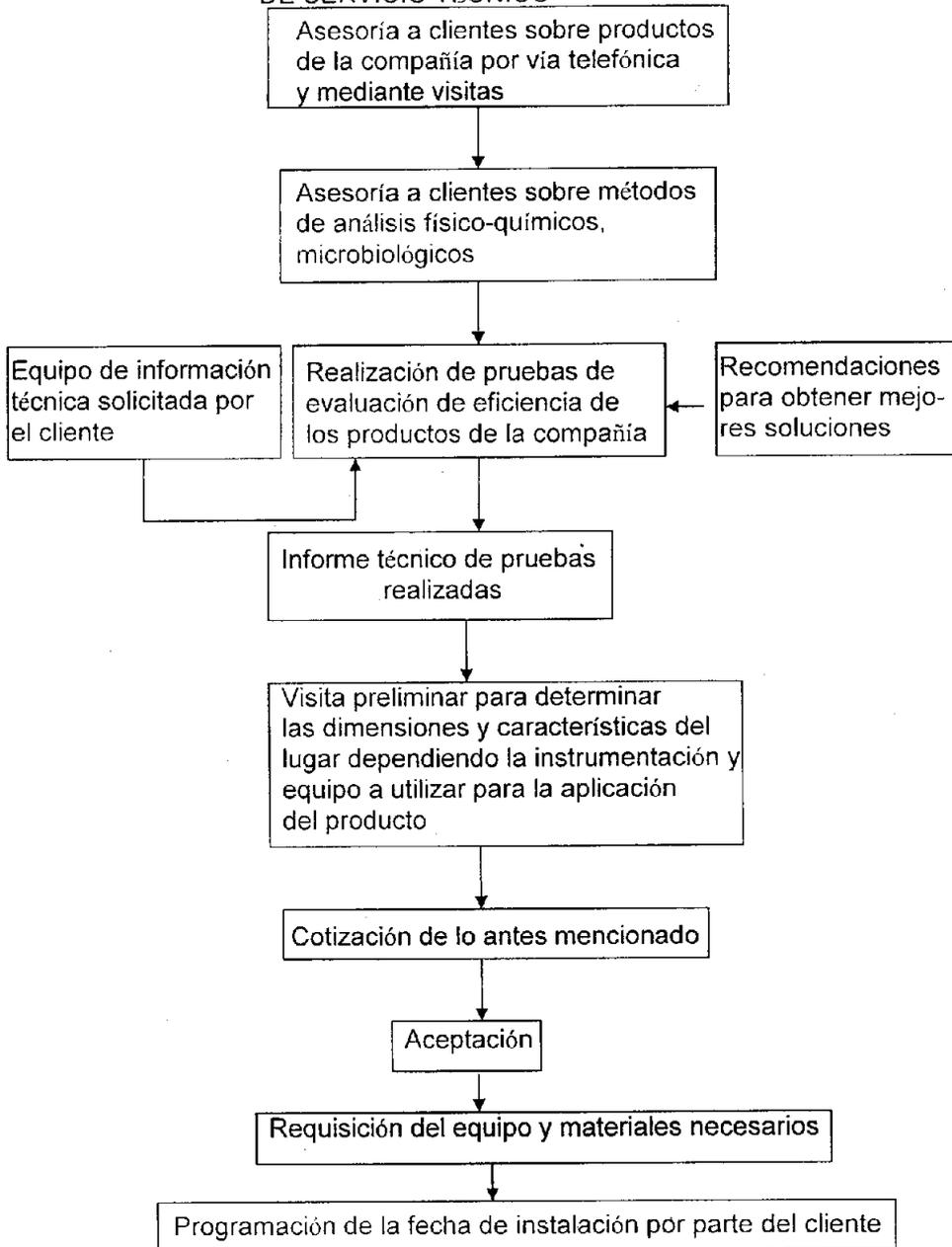
Como ya se mencionó Industrias Petrotec de México, S.A. de C.V. se dedica a la elaboración de bactericidas, fungicidas, antioxidantes y antes de poder vender uno de estos productos, Industrias Petrotec provee a sus clientes de una asesoría técnica sobre sus productos vía telefónica y mediante visitas, para así informarle al cliente que tipo de producto es el que mas le conviene de acuerdo con las necesidades que éste tenga. Así mismo provee los métodos de análisis que se realizan a los productos que se fabrican para que estos evalúen el producto y así exista la certeza de que se cumplen los requerimientos que estos demandan.

Además realiza análisis microbiológicos a muestras de granos y alimento que tenga el cliente. A su vez se realizan pruebas de evaluación de eficacia de los productos con el cliente, realizando para ello reportes de análisis los cuales contienen comentarios y recomendaciones para que se obtengan las mejores soluciones con el producto.

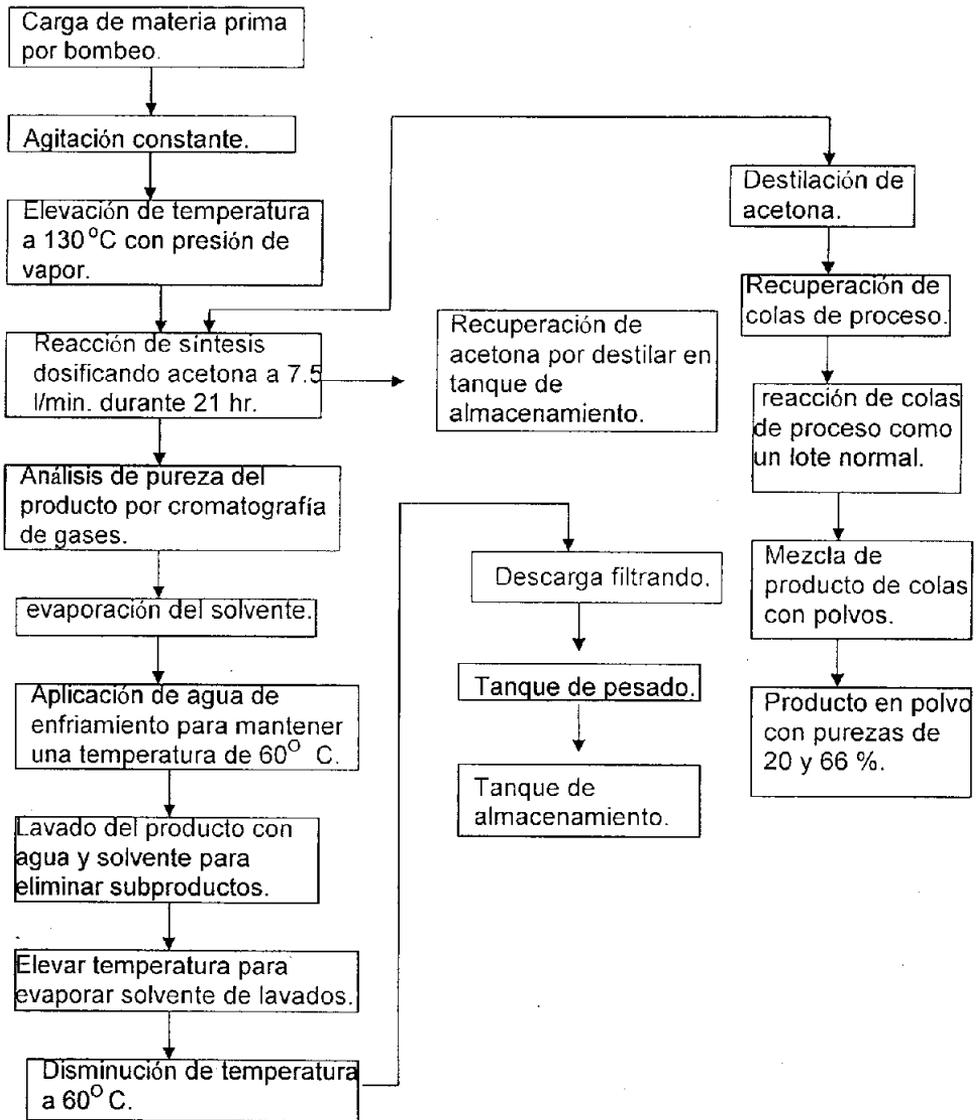
A continuación se presenta un diagrama de bloques que describe el proceso de servicio y atención que esta empresa brinda a sus clientes.

CAPITULO 4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.

SERVICIO A CLIENTES DEPARTAMENTO DE SERVICIO TÉCNICO



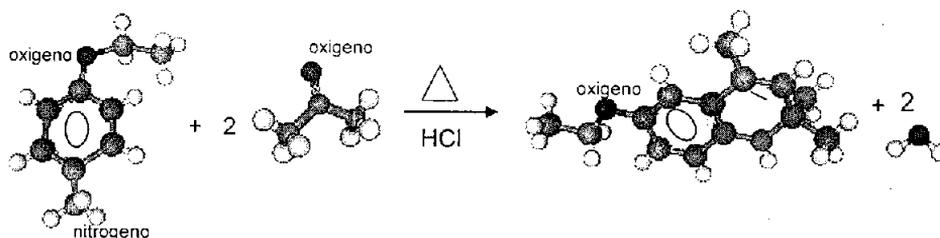
4.6 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACIÓN DE ETOXIQUÍN.



4.7 REACCIÓN DEL ETOXIQUÍN.

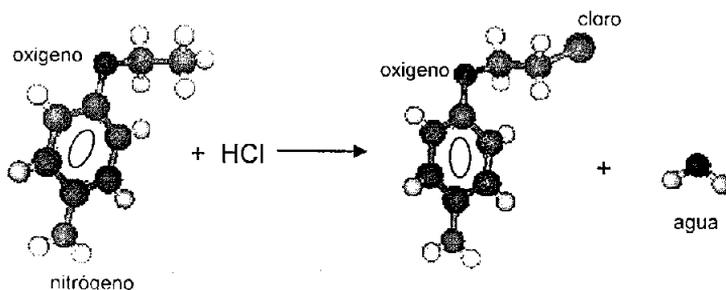
La obtención del antioxidante Etoxiquin, es una reacción de tipo de síntesis, la cual se lleva a cabo mediante la reacción de la acetona y la parafenitidina en medio ácido (HCl como catalizador). La reacción se realiza a una temperatura de $\pm 130^\circ \text{C}$. La principal característica de este proceso es la adición continua de acetona a flujo establecido. Durante la reacción se obtienen subproductos, dentro de los cuales se encuentra el agua. Dicho material "envenena" la reacción, por lo que se hace necesario destilarla continuamente junto con la acetona que no reacciona.

LA REACCIÓN DEL ETOXIQUÍN SE PRESENTA ACONTINUACIÓN.



4.7.1 LAVADO DE SALES.

Una vez terminada la reacción y quedando el %PFTD arriba de 2%, es necesario abatirla, con el fin de tenerla un rango de 1.5 a 2 %, por lo que es necesario agregar HCl, para convertir la PFTD en exceso en sal, dicha reacción es la siguiente.



CAPITULO 4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.

Una vez realizado este paso es importante una buena decantación, con el fin de sacar todas las sales existentes en el producto. Así como tener una temperatura de 60°C, debido a que esta temperatura ayuda a que las sales se solubilizan y se tenga una mejor separación del producto con las sales.

4.7.2 NEUTRALIZACIÓN.

Una vez terminado los lavados de sales el siguiente paso es la neutralización, esta es con el fin de llegar a un pH de 6.6 a 7.7, debido a que con este pH, el producto tiene una mejor efectividad.

4.7.3 DESTILACIÓN.

La operación de destilación consiste en llevar un líquido o mezcla líquida hasta el estado de vapor esta operación permite separar componentes de una mezcla líquida con puntos de ebullición diferentes y luego condensarlo de nuevo al estado líquido.

4.8 ESPECIFICACIONES.

Uso.	Antioxidante empleado para evitar la degradación de vitaminas, carotenos, xantofilas, grasas y alimentos balanceados.	
Componentes.	Etoxiquina. Dimeros y trimeros de Etoxiquina. Parafenitidina.	
Presentación.	Tambo metálico con peso neto de 200 Kg.	
Propiedades.	Aspecto físico.	Líquido.
	Pureza.	92.0 % min.
	Parafenitidina.	1.5 -2.0 % max.
	Solvente.	0.5 % max.
	Color.	Café oscuro.
	Densidad.	1.020 -1.040 g/ ml a 25° C.
	Viscosidad.	350 - 550 cps a 25° C.
	PH.	6.0 - 8.0 .
Almacenaje.	Almacenar en lugar fresco y seco.	

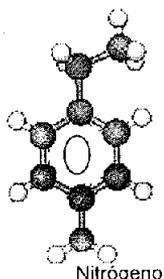
4.9 MÉTODO PARA TRATAMIENTO DE COLAS DE FOSA.

OBJETIVO:

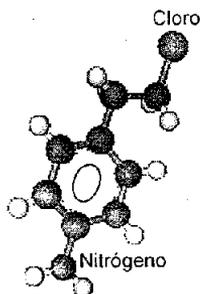
El objetivo primordial de este tratamiento es recuperar la mayor parte de Parafenitidina, así como producto final (ETQ), que se obtiene en los lavados de sales (lavados ácidos) de la fabricación de Etoxiquin, y así elevar el rendimiento del proceso de Etoxiquin.

DESARROLLO.

Marco teórico. La Parafenitidina es un compuesto aromático que contiene un radical etilo, además de un radical amino.



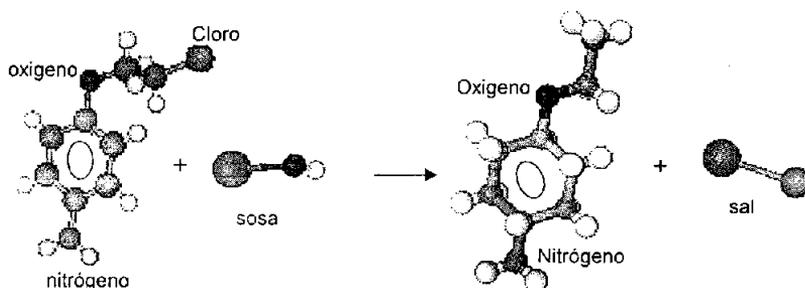
En una reacción completa para la elaboración de Etoxiquin, es necesario agotar la Parafenitidina hasta un máximo de 2.0 % como producto final, en el método actual para el ETQ se para la reacción con un máximo de 4.0 % de PFTD, por lo que la cantidad restante se debe de agotar con ácido clorhídrico, el ion Cl^- descompone al radical etilo, formado una sal de la siguiente forma:



Esta sal es soluble en agua por lo que su descomposición debe ser agregando hidróxido de sodio para que esta al reaccionar con el cloro libere la PFTD.

4.9.1 TRATAMIENTO DE AGUAS.

4.9.2 REACCIÓN PARA OBTENER LA PARAFENITIDINA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS.



La obtención de la PFTD es por medio de un solvente polar (tolueno) pero a su vez disuelve al ETQ que se haya arrastrado durante la decantación al tener un material orgánico se separa del inorgánico en la decantación tendremos agua residual y la mezcla de orgánicos se conoce como colas de fosa, estas colas de fosa son sometidas a destilación para eliminar el solvente y obtener la PFTD y ETQ de este modo se puede reaccionar la PFTD que se recupero y formamos el Etoxiquín de colas.

4.9.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

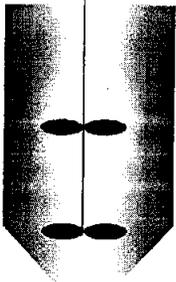
El tratamiento de aguas residuales se lleva acabo para obtener la PFTD y ETQ que se haya disuelto en el agua y también para cumplir con normas de ecología.

El tratamiento consiste en extracciones por medio de un solvente (Tolueno) en medio alcalino y medio ácido.

4.9.3.1 EXTRACCIÓN ALCALINA.

M

Extracción alcalina.

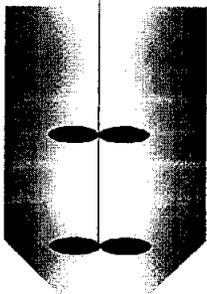


En el tanque 2 de PTA se adiciona Tolueno en una cantidad de 50% de Acuerdo al volumen del agua se homogeniza por medio de agitación y recirculación durante 30 min. Y se decanta, la fase inorgánica es enviada Al tanque 3 de PTA y la orgánica es considerada también como colas de Fosa.

4.9.3.2 EXTRACCION ÁCIDA.

M

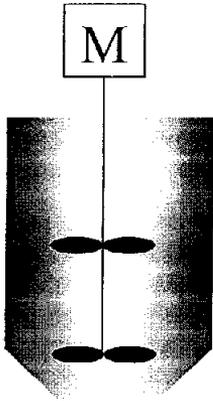
EXTRACCIÓN ÁCIDA.



En el tanque 3 de PTA se adiciona Tolueno en una cantidad de 50% de Acuerdo al volumen del agua, se homogeniza por medio de agitación y recirculación durante 30 min. Se adiciona también HCl hasta pH= 3 - 5 al tener este pH se reposa y decanta la fase inorgánica es enviada al Tanque 1 de PTA y la fase orgánica es considerada como colas de fosa.

4.9.3.3 NEUTRALIZACIÓN.

NEUTRALIZACIÓN.



En el tanque 1 de PTA se adiciona NaOH hasta $\text{pH} = 6 - 8$. Posteriormente se introduce vapor hasta $\text{temp} = 65 - 75$ °C. Aquí se nota una separación de fases debido a los pesos de los materiales el agua es decantada a la alcantarilla y la fase orgánica es embazada y considerada también como colas de fosa.

5. DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

- Se requiere obtener un buen rendimiento del proceso de etoxiquin, para la elaboración de los antioxidantes D-66 y D-20.

5.1 OBJETIVOS.

- Desarrollar un método de prueba para la evaluación del ruido del rendimiento del etoxiquin.
- Obtener resultados objetivos y repetibles
- Enfocar los esfuerzos en los contribuyentes del ruido ofreciendo una mejor respuesta.

5.2 DEFINICION DEL PROBLEMA.

- Rendimientos con ruido son una fuente de insatisfacción del cliente.
- El ruido del rendimiento es una función de muchas variables en cada una de las siguientes áreas:
 - Calidad de las materias Primas.
 - Diseño del proceso.
 - Producción y equipo utilizado.

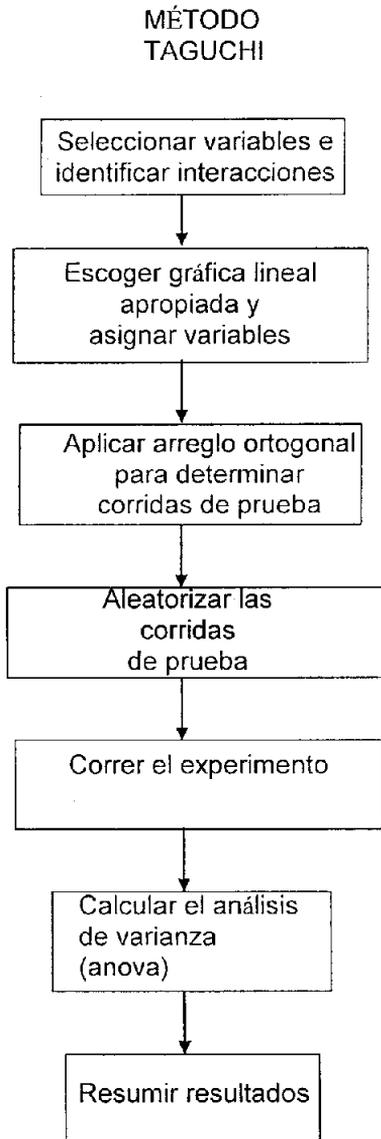
Personal involucrado

Ing. José Antonio Meza Acevedo	(Jefe de producción)
Ing. Joel Castro Colmenares	(Gerente de producción)
Ing. Martha Verónica Martínez	(Jefa de control de calidad)
Sergio Homero Córdova Gro.	(Supervisor de Producción)
Joel Flores	(Operador de reactores)

Conclusiones obtenidas por el grupo:

Es necesario ajustar los parámetros del proceso.

5.3 Diagrama de Bloques Método Taguchi.



5.4 Selección de variables y posibles interacciones.

Después de realizar una tormenta de ideas entre las áreas involucradas en el problema se llegó a la conclusión que los factores que más afectan el rendimiento del proceso, son:

- El tipo de catalizador.
- La temperatura de operación.
- La viscosidad.
- Presión.

También se llegó a la conclusión de estudiar la posible interacción entre el catalizador y la temperatura.

5.5 Datos del proceso.

Catalizador	Temperatura	Viscosidad	Presión	Reactor 3	Reactor 7
A	118	392	0.3	2653	2534
A	118	422	0.6	2532	2436
A	156	392	0.6	2074	2058
A	156	422	0.3	2126	2118
B	118	392	0.6	2425	2350
B	118	422	0.3	2045	2038
B	156	392	0.3	2170	2144
B	156	422	0.6	2000	1959

5.6 Corrida del Experimento.

23/05/2005 19:54:40

Welcome to Minitab, press F1 for help.
 Retrieving project from file: 'C:\Archivos de programa\MINITAB
 14\Data\Etoxiquin.MPJ'

Taguchi Análisis: Reactor 3, Reactor 7 versus Catalizador, Temperatura, ...

Linear Model Análisis: SN ratios versus Catalizador, Temperatura, ...

Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	66.9209	0.2041	327.924	0.000
Cataliza A	0.3307	0.2041	1.620	0.247
Temperat 118	0.5600	0.2041	2.744	0.111
Viscosid 392	0.2805	0.2041	1.374	0.303
Presion 0.3	-0.0006	0.2041	-0.003	0.998
Cataliza*Temperat A 118	0.2729	0.2041	1.337	0.313

S = 0.5772 R-Sq = 87.4% R-Sq(adj) = 55.8%

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Catalizador	1	0.87481	0.87481	0.87481	2.63	0.247
Temperatura	1	2.50894	2.50894	2.50894	7.53	0.111
Viscosidad	1	0.62931	0.62931	0.62931	1.89	0.303
Presion	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.998
Cat.*Temp.	1	0.59590	0.59590	0.59590	1.79	0.313
Residual Error	2	0.66634	0.66634	0.33317		
Total	7	5.27531				

CAPITULO 5 APLICACIÓN DEL MÉTODO TAGUCHI.

Linear Model Analysis: Means versus Catalizador, Temperatura, Viscosidad,

...

Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2228.88	50.96	43.734	0.001
Cataliza A	87.50	50.96	1.717	0.228
Temperat 118	147.75	50.96	2.899	0.101
Viscosid 392	72.13	50.96	1.415	0.293
Presion 0.3	-0.38	50.96	-0.007	0.995
Cataliza*Temperat A 118	74.62	50.96	1.464	0.281

S = 144.1 R-Sq = 88.6% R-Sq(adj) = 60.0%

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Catalizador	1	61250	61250	61250	2.95	0.228
Temperatura	1	174641	174641	174641	8.40	0.101
Viscosidad	1	41616	41616	41616	2.00	0.293
Presion	1	1	1	1	0.00	0.995
Cat.*Temp.	1	44551	44551	44551	2.14	0.281
Residual Error	2	41557	41557	20779		
Total	7	363616				

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

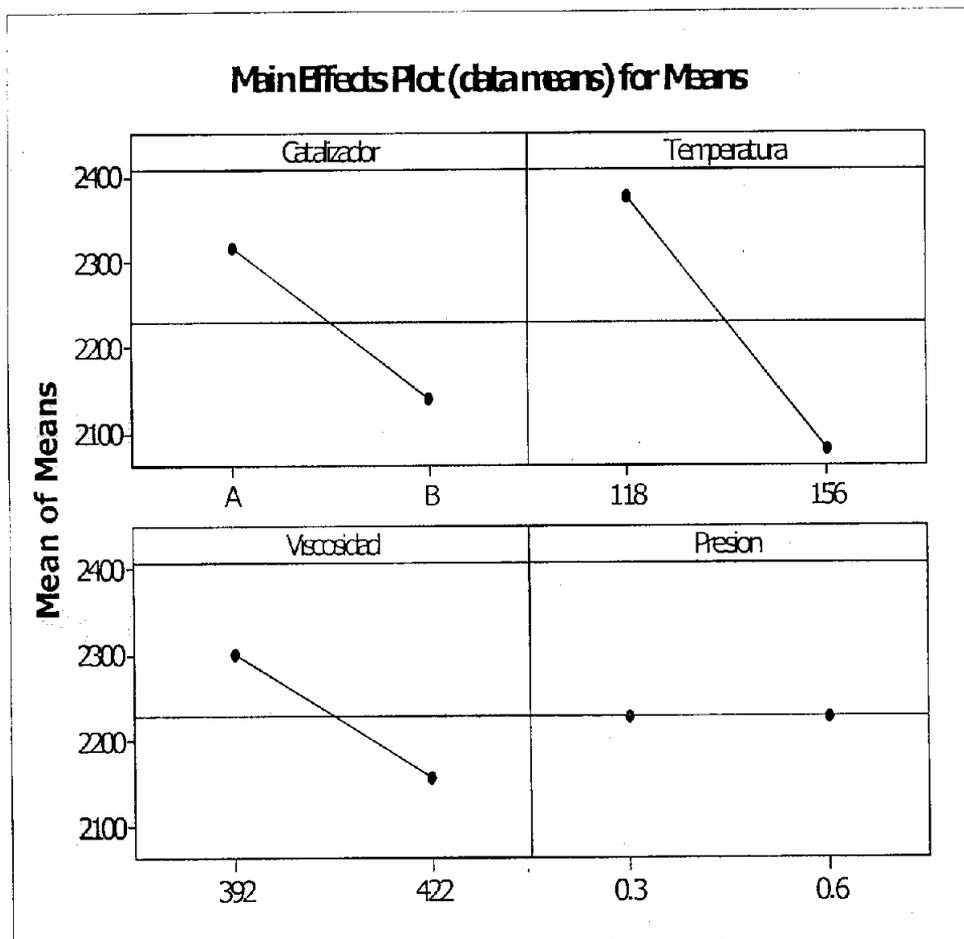
Level	Catalizador	Temperatura	Viscosidad	Presion
1	67.25	67.48	67.20	66.92
2	66.59	66.36	66.64	66.92
Delta	0.66	1.12	0.56	0.00
Rank	2	1	3	4

CAPITULO 5 APLICACIÓN DEL MÉTODO TAGUCHI.

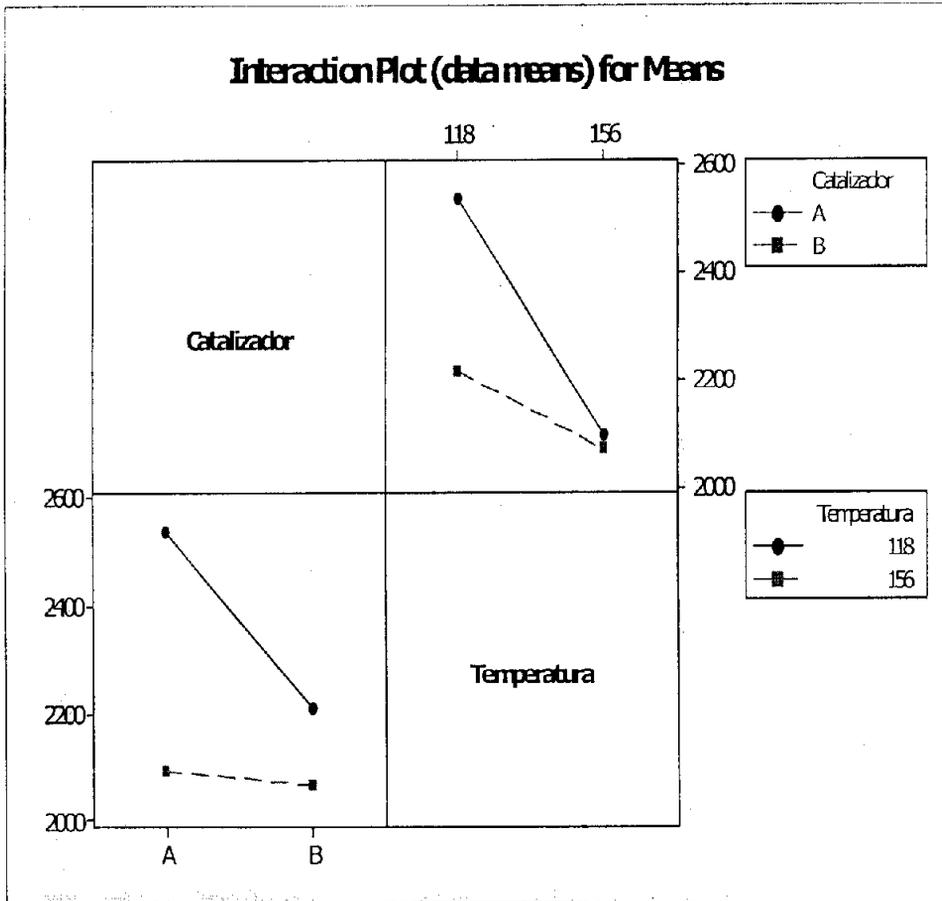
Response Table for Means

Level	Catalizador	Temperatura	Viscosidad	Presion
1	2316	2377	2301	2229
2	2141	2081	2157	2229
Delta	175	296	144	1
Rank	2	1	3	4

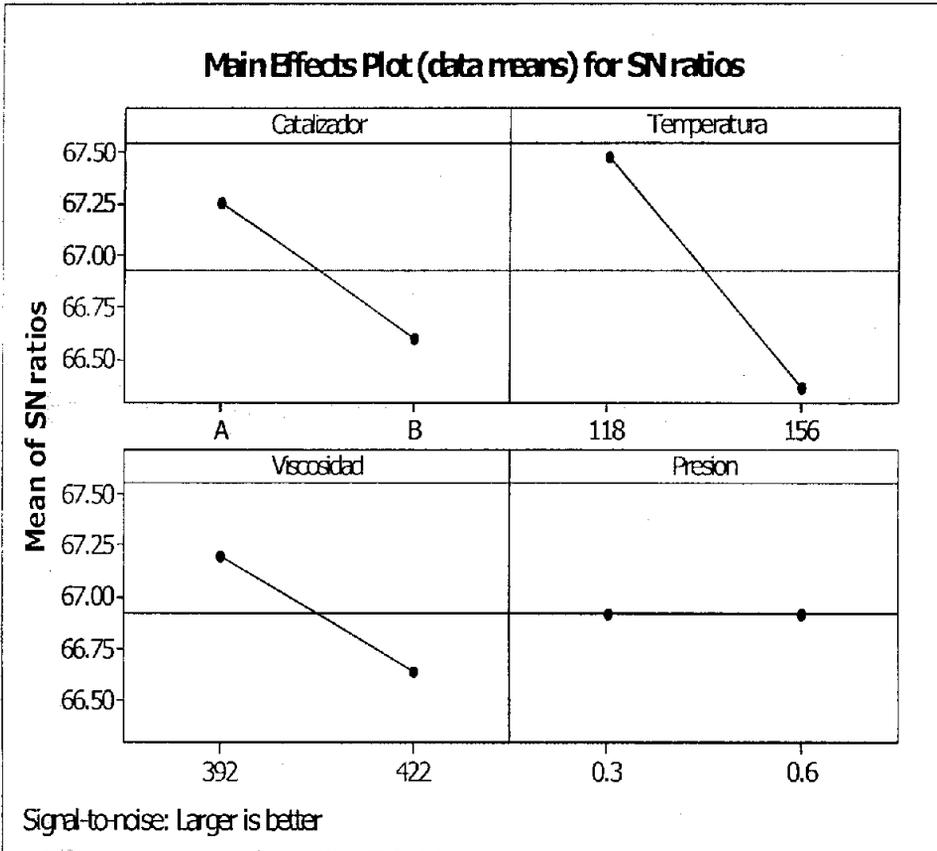
Main Effects Plot (data means) for Means.



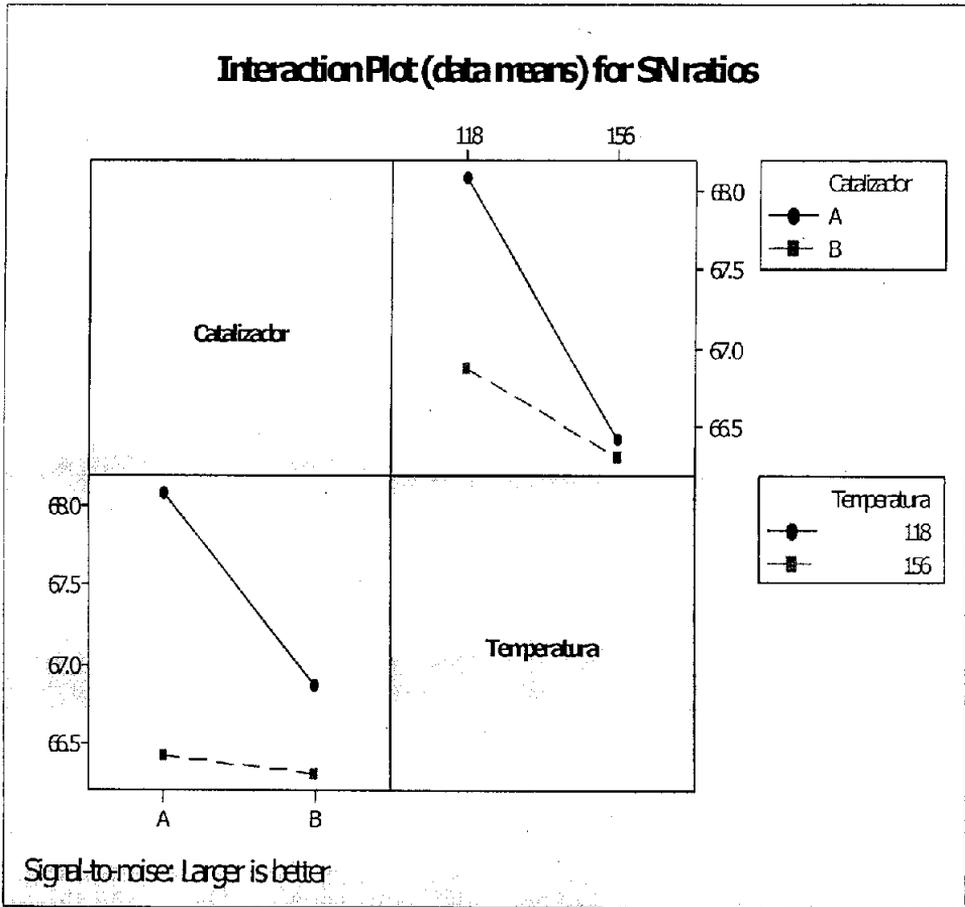
Interaction Plot (data means) for Means.



Main Effects Plot (data means) for SN ratios.



Interaction Plot (data means) for SN ratios.



5.7 Interpretando los resultados.

Cada análisis del modelo lineal provee los coeficientes de cada factor al nivel bajo, sus valores p y un análisis de la tabla de varianza. Se usan los resultados para determinar si los factores se relacionan significativamente a los datos de respuesta y la importancia relativa de cada factor en el modelo.

El orden de los coeficientes por el valor absoluto indica la importancia relativa de cada factor a la respuesta; el factor con el coeficiente más grande tiene el mayor impacto. La secuencial y ajuste de la suma de cuadrados en el análisis de la tabla de varianza también indica la importancia relativa de cada factor; el factor con la suma más grande de cuadrados tiene el mayor impacto. Estos resultados reflejan los rangos de factor en las tablas de respuesta.

En este caso se generaron los resultados para las relaciones S/N y promedios. Para las relaciones de S/N, todos los factores y las condiciones de la interacción son significantes. Para los promedios, catalizador ($p=0.228$), temperatura ($p=0.101$), y la interacción de catalizador con la temperatura ($p=0.281$) es significativa. Sin embargo, porque ambos factores están envueltos en la interacción, necesitamos entender la interacción antes de que se pueda considerar el efecto de cada factor individualmente.

Las tablas de respuesta muestran el promedio de cada característica de la respuesta (las relaciones de S/N, promedios) para cada nivel de cada factor. Las tablas incluyen rangos basados en las estadísticas delta las cuales comparan la magnitud relativa de los efectos. La estadística Delta es el promedio mas alto, menos el promedio mas bajo de cada factor

CAPITULO 5 APLICACIÓN DEL MÉTODO TAGUCHI.

Minitab asigna rangos basados en los valores del Delta; rango 1 al valor delta más alto, rango 2 al segundo más alto, y así sucesivamente. Se usaron los promedios del nivel en las tablas de respuesta para determinar qué nivel de cada factor proporciona el mejor resultado.

En este caso, los rangos indican que es la temperatura la que tiene la mayor influencia en la relación de S/N y el promedio. Para la relación de S/N, la presión tiene la segunda mayor influencia, seguida por el catalizador y la viscosidad. Para los promedios, el catalizador es el segundo de mayor influencia, seguida por la viscosidad y la presión.

Para este caso, como la meta es aumentar el rendimiento del producto, se requieren niveles de factor que produzcan la media más alta. En los experimentos de Taguchi, nosotros queremos siempre aumentar al máximo la relación S/N. Los promedios nivelados en las tablas de respuesta muestran que se aumentaron al máximo las relaciones S/N y los promedios, cuando el catalizador era A, la temperatura era 118, viscosidad 392 y la presión era 0.6. Examinando los cálculos de los efectos principales y los cálculos de la interacción se confirman estos resultados. Los cálculos de interacción se demuestran en el catalizador y el rendimiento de la reacción se maximiza cuando la temperatura es de 118.

Basado en estos resultados podemos concluir que los valores para obtener un buen rendimiento en la reacción son:

Catalizador	A
Temperatura	118
Viscosidad	392
Presión	0.6

5.8 Predicción de resultados:

Ahora suponemos, que nosotros queremos predecir los resultados para obtener un buen rendimiento en el proceso de etoxiquin. Como ya se vio en el punto anterior, se identificaron cuatro factores, los cuales pensamos que influirían en el rendimiento de la reacción: catalizador, temperatura, presión y viscosidad y como ya se menciona; en este método entre más grande sea el valor de la relación S/N, mejor será nuestro diseño nuestra meta es aumentar la relación S/N y promedios. Se escogieron los ajustes de: catalizador A, temperatura 118, viscosidad 392 y presión 0.6. Obteniéndose los siguientes resultados:

En el cual nos muestra la relación S/N y el promedio de obtención de producto.

03/06/2005 19:35:20

Welcome to Minitab, press F1 for help.
Retrieving project from file: 'C:\Archivos de
programa\MINITAB
14\Data\Etoxiquin.MPJ'

Taguchi Analysis: Reactor 3, Reactor 7 versus Catalizador, Temperatura, ...

Predicted values

S/N Ratio	Mean
24.1494	2611.25

Factor levels for predictions

Catalizador	Temperatura	Viscosidad	Presion
A	118	392	0.6

Finalmente se volvió a correr el experimento con los ajustes de los factores de proceso que se realizaron, obteniéndose una mejora en el rendimiento de la reacción, con los siguientes resultados:

Predicted values

S/N Ratio	Mean
28.1672	2689.11

Factor levels for predictions.

CONCLUSIONES.

El doctor Taguchi ha combinado métodos de ingeniería y estadística para mejorar costos y calidad.

Optimizando el diseño de productos y procesos de manufactura. Las herramientas básicas para lograrlo son la función de pérdida y la relación señal-ruido que nos permiten identificar en las etapas tempranas del desarrollo de un producto las áreas de mejoría al mínimo costo posible.

El consumidor tiene necesidades y expectativas que frecuentemente difieren de las del fabricante, por lo cual debemos de aprender de esas necesidades lo suficiente para ser capaces de identificar objetivos racionales en nuestros procesos y reconocer el costo que ocasionan las desviaciones, por lo que se requiere desarrollar e implementar maneras eficientes de reducir la variación del proceso con respecto al objetivo.

A continuación se describen los 6 puntos de Taguchi.

- 1.- Una dimensión importante de la calidad de un producto es la pérdida total generada a la sociedad.
- 2.- En una economía competitiva el mejoramiento continuo de la calidad incluye la reducción incesante de la variación de las características del producto con respecto al objetivo.
- 3.- La pérdida del consumidor debida a la variación del comportamiento de un producto, es con frecuencia (aproximadamente) proporcional al cuadrado de la desviación de la característica de su objetivo.
- 4.- La calidad y el costo final de un producto manufacturado, son determinados en gran medida por el diseño de ingeniería del producto y su proceso de manufactura.
- 5.- La variación en el comportamiento de un producto o proceso, se puede reducir aprovechando los efectos no lineales de los parámetros de las características.

6.- La planeación de experimentos estadísticos se emplea para identificar los valores óptimos de parámetros en productos y procesos que permiten reducir la variabilidad.

En el caso abordado en este trabajo, mediante el empleo del Método Taguchi este nos permitió el mejorar notablemente la eficiencia del proceso teniendo como consecuencia una reducción de costos para la empresa que elabora este antioxidante.

BIBLIOGRAFÍA.

- Administración y Control de la Calidad
James R Evans, William Lindsay, THOMSON EDITORES, 2001
- Introducción al Diseño de Experimentos Método Taguchi
M.I. Burke, QUALITY PLANNING DEPARTMENT COMPONENT, 1987
- Diseño robusto utilizando los Métodos Taguchi
Yuin Wu y Alan Wu, DIAZ SANTOS, 1997
- Designing Products that are Robust to the Environment
Box, G. y Jones, S. ,1989
- Introducción al Diseño de Experimentos Método Taguchi
Quality Planning Department, Component and Quality Strategy
Engineering Office
September 1987
- Taguchi Techniques For Quality Engineering.
Ross. Mc GRAW HILL, 1988