



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
6  
28  
UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

INCORPORADA A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

LA INGENIERIA DE CALIDAD COMO  
MEDIO PARA AUMENTAR  
LA PRODUCTIVIDAD

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
**P R E S E N T A :**  
**FRANCISCO CARDENAS GUZMAN**

Director de Tesis: Ing. José Manuel Cajigas Romero

México, D. F.

1990

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
INTRODUCCION	i
<b>CAPITULO</b>	
<b>I LA CALIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD</b>	
1.1 La empresa y metas de la administración	5
1.2 Productividad	11
1.3 Por qué la calidad y metas de la industria	13
1.4 Qué es calidad?	16
1.5 La calidad y la productividad	21
<b>II CONTROL DE CALIDAD A LO ANCHO DE LA EMPRESA</b>	
2.1 Control de calidad	25
2.1.1 Control	25
2.1.2 Control de calidad	28
2.2 Control total de calidad	35
2.2.1 Control de calidad a lo ancho de la empresa	35
2.2.2 Las etapas del control de calidad a lo ancho de la empresa	40
2.3 Circuitos de calidad	53
<b>III INGENIERIA DE CALIDAD</b>	
3.1 Ingeniería de calidad	58
3.2 Función de pérdida de calidad	62

1.2.1	Pérdida de calidad . . . . .	62
1.2.2	Límites de especificación y calidad . . . . .	63
1.2.3	Función de pérdida de cali- dad . . . . .	66
1.2.4	Tolerancia en niveles $m\sigma_1$ tipos . . . . .	68
1.2.5	Función de pérdida de cali- dad promedio . . . . .	70
1.2.6	Función de pérdida en que el valor nominal es mejor . . . . .	72
1.2.7	Función de pérdida en que el valor menor es mejor . . . . .	73
1.2.8	Función de pérdida en que el valor mayor es mejor . . . . .	75
1.3	La calidad fuera de línea . . . . .	76
1.3.1	La calidad final y los cog- nos de manufactura . . . . .	78
1.3.2	Calidad fuera de línea (in- geniería de calidad) . . . . .	82
<b>IV DISEÑO DE PARÁMETROS</b>		
4.1	El diseño de parámetros . . . . .	92
4.2	Arreglos ortogonales . . . . .	96
4.2.1	Factores y arreglos orto- gonales . . . . .	96
4.2.2	Definición de ortogonalidad . . . . .	103
4.2.3	El arreglo ortogonal $L_8(2^7)$ . . . . .	105
4.3	Interacción y gráficas lineales . . . . .	108
4.4	Análisis regular . . . . .	113
4.4.1	Suma total de los cuadrados . . . . .	113
4.4.2	Análisis de varianza . . . . .	116
4.4.3	El estimado de los efectos factoriales y de las condi- ciones óptimas . . . . .	127

<b>V</b>	<b>APLICACION DE LA INGENIERIA DE CALIDAD EN EL DESARROLLO DE UN PLASTISOL</b>	
5.1	Antecedentes . . . . .	130
5.2	El producto y el proceso . . . . .	131
5.3	Desarrolla del experimento . . . . .	135
5.4	Resultados del experimento . . . . .	151
<b>IV</b>	<b>CONCLUSION</b> . . . . .	<b>154</b>
	<b>APENDICE</b> . . . . .	<b>166</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> . . . . .	<b>173</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
2.1 Elementos principales de un sistema de control . . . . .	27
2.2 Círculo de comunicaciones corporati- vas . . . . .	36
2.3 Etapas del control de calidad . . . . .	41
2.4 La transmisión de la calidad . . . . .	46
3.1 Límites de especificación . . . . .	64
3.2 Robusticidad de un producto . . . . .	65
3.3 Representación cuadrática de la fun- ción de pérdida de calidad . . . . .	68
3.4 Características de la función de pérdida en que el valor nominal es mejor . . . . .	73
3.5 Características de la función de pérdida en que el valor menor es mejor . . . . .	74
3.6 Características de la función de pérdida en que el valor mayor es mejor . . . . .	77
3.7 El mejoramiento en el diseño del proceso reduce las imperfecciones de manufactura . . . . .	80
4.1 Diagrama causa-efecto de la poro- sidad de los paneles de rejilla . . . . .	98
4.2 Gráfica lineal de $L_9$ . . . . .	111
5.1 Proceso de fabricación del plas- tisol . . . . .	133
5.2 Gráficas lineales . . . . .	141

## INTRODUCCION

Las circunstancias socioeconómicas de nuestro país, han evolucionado y cambiado, cambios y evoluciones a las que hay que hacerle frente reordenando y modificando nuestra manera de actuar.

A principios de la década de los ochentas México dependía en su totalidad de las exportaciones petroleras (siendo nuestra principal fuente de exportación), pero las situaciones que vivió la industria petrolera y la economía en general nos ha impulsado a depender de los productos no petroleros. Para poder concurrir a dichos mercados, es imperativo que nuestros productos sean competitivos en calidad y precio. Simplemente es un hecho, en ese mercado o somos competitivos o nos vamos a la quiebra.

Ahora bien, en el mercado doméstico se terminó la época en que una mala administración y el impacto en los costos los pagaba el cliente. La estabilidad financiera de las empresas ya no se debe basar en la habilidad para incrementar el precio y mantener los márgenes de utilidad históricos. La estabilidad financiera depende de la habilidad para administrar mejor nuestros recursos y reducir el costo del producto, a través de una mayor productividad y optima-

La ingeniería de calidad es el nombre de esta metodología, creada por Genichi Taguchi, la cual se basa en el diseño de parámetros para reducir la variabilidad de los productos y procesos alrededor del valor nominal con la finalidad de que la calidad sea siempre constante y que debido a esa variabilidad no se cause la insatisfacción del cliente y aumento por esta causa los costos de garantía y de reparación y le cause una pérdida a la sociedad.

El objetivo que se pretende lograr con esta tesis es la de presentar la metodología de Taguchi de una forma que se pueda implantar paso a paso en una empresa, siguiendo una secuencia lógica y estructurada. En el primer capítulo se define la calidad, la importancia que tiene en una empresa y su impacto en la productividad. Lo que es el control de calidad a lo ancho de la empresa y los pasos que se necesitan para que una empresa maneje el despliegue de la función de calidad a través de la función de pérdida de calidad constituyen los temas del segundo capítulo.

El capítulo tercero desarrolla lo que pretende la ingeniería de calidad a través de la función de pérdida de calidad para evitarle una pérdida a la sociedad. A renglón seguido en el capítulo cuarto, se explica de una forma teórica como utilizar el diseño de parámetros para reducir la variabilidad del producto o proceso.



## INTRODUCCION

Las circunstancias socioeconómicas de nuestro país, han evolucionado y cambiado, cambios y evoluciones a las que hay que hacerle frente reordenando y modificando nuestra manera de actuar.

A principios de la década de los ochentas México dependía en su totalidad de las exportaciones petroleras (siendo nuestra principal fuente de exportación), pero las situaciones que vivió la industria petrolera y la economía en general nos ha impulsado a depender de los productos no petroleros. Para poder concurrir a dichos mercados, es imperativo que nuestros productos sean competitivos en calidad y precio. Simplemente es un hecho, en ese mercado o se nos competitivos o nos vamos a la quiebra.

Ahora bien, en el mercado doméstico se terminó la época en que una mala administración y el impacto en los costos los pagaba el cliente. La estabilidad financiera de las empresas ya no se debe basar en la habilidad para incrementar el precio y mantener los márgenes de utilidad históricos. La estabilidad financiera depende de la habilidad para administrar mejor nuestros recursos y reducir el costo del producto, a través de una mayor productividad y optimi-

cción de nuestros costos. Seguramente el que no asimile e implemente esos cambios desaparecerá del mercado.

Bajo estas circunstancias y a partir de la entrada de México al Gatt se ha hablado mucho de la calidad; que la calidad de los productos mexicanos debe mejorar, hay que implantar sistemas de control de calidad en las empresas a semejanza de las empresas japonesas y americanas. Esto me impulsó a estudiar el tema de la calidad.

De este estudio pude observar que hay diversas opiniones sobre lo que es la calidad y que a su vez hay distintos enfoques para implantar un sistema de control de calidad - dentro de una empresa. Siendo el objetivo que se pretende en todas estas opiniones, la de satisfacer a los clientes - al mismo tiempo que se logra ser competitivo.

El estudio que realicé sobre la calidad me llevó a una técnica nueva que se desarrolló en Japón y que en los Estados Unidos se empezó a aplicar a partir de 1983. La idea central de este método es que por una mala calidad del producto se genera una pérdida a la sociedad.

La razón de que es una metodología moderna y que se espera a ser más productivos, optimizando mejor nuestros costos y recursos es lo que me motivó a hacer esta tesis.

La ingeniería de calidad es el nombre de esta metodología, creada por Genichi Taguchi, la cual se basa en el diseño de parámetros para reducir la variabilidad de los productos y procesos alrededor del valor nominal con la finalidad de que su calidad sea siempre constante y que debido a esa variabilidad no se cause la insatisfacción del cliente y asimismo por esta causa los costos de garantía y de reparación y le cause una pérdida a la sociedad.

El objetivo que se pretende lograr con esta tesis es la de presentar la metodología de Taguchi de una forma que se pueda implantar paso a paso en una empresa, siguiendo una secuencia lógica y estructurada. En el primer capítulo se define la calidad, la importancia que tiene en una empresa y su impacto en la productividad. Lo que es el control de calidad a lo ancho de la empresa y los pasos que se necesitan para que una empresa maneje el despliegue de la función de calidad a través de la función de pérdida de calidad constituyen los temas del segundo capítulo.

El capítulo tercero desarrolla lo que pretende la ingeniería de calidad a través de la función de pérdida de calidad para evitarle una pérdida a la sociedad. A renglón seguido en el capítulo cuarto, se explica de una forma teórica como utilizar el diseño de parámetros para reducir la variabilidad del producto o proceso.

El capítulo quinto muestra el uso práctico de la ingeniería de calidad en el desarrollo de un plastisol para mejorar la calidad del mismo. Quedando sólo en el capítulo sexto la conclusión acerca de la importancia y el uso de esta técnica en México.

Espero que esta tesis aporte la idea de que existen metodologías que a pesar de los problemas económicos que vivimos, las empresas puedan seguir trabajando con sus propios recursos optimizando los costos, que lleguen a ser más competitivos y que contribuya a crear un México fuerte y más justo para todos.

## CAPITULO I

### LA CALIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD

#### 1.1 La empresa y metas de la administración

La empresa, es un sistema interrelacionado de personas, máquinas o instalaciones. Es un conjunto maravilloso de flujo de información, dinero, materiales y productos, que tiene una infinidad de conexiones con el mundo exterior; ya que la médula misma de sus actividades se ve alterada constantemente como resultado de los descubrimientos científicos y los avances tecnológicos.

Cada empresa representa sólo una parte de la enorme actividad mundial a cuyas vinculaciones económicas, sociales y culturales siempre cambiantes se tiene que adaptar. No importa que tan grande y competente sea, ninguna empresa puede esperar que sus avances científicos, tecnológicos y administrativos representen sólo una fracción de lo que la ciencia y tecnología inventará y desarrollará.

Para que las empresas tengan la mejor oportunidad de éxito hay que invertirlos grandes cantidades de capital. Asimismo, la empresa debe estar en situación de comerciali-

zar ampliamente sus productos, muchas veces en el mercado internacional, debe tener el personal suficiente para las funciones de apoyo y una labor de investigación y desarrollo, para asegurar así su mercado y desarrollar nuevos productos creando en esta medida el capital invertido a la vez que se realiza todo el potencial de la empresa. Sin embargo, el uso de ese capital va asociado a un costo. Siendo por lo tanto, el objetivo de la administración maximizar el rendimiento de ese capital y hacer que la diferencia entre ese rendimiento y el costo sea la más grande posible.

Es por esto que la administración debe tener cuidado de no ser superada en el frente tecnológico por la tecnología superior de un competidor. La administración debe ser capaz de ajustarse al avance tecnológico, que podría volver obsoletos los productos de la empresa. Ese avance puede ofrecer nuevas aplicaciones y oportunidades de capitalizar las posibilidades tecnológicas de la empresa. La meta permanente de situarse en una posición tecnológica se traduce en objetivos de corto plazo tales como llevar a cabo una investigación y desarrollo de magnitud y calidad adecuadas, contar con el personal técnico suficiente y mantener una relación amplia con los avances tecnológicos del exterior.

La meta de la administración tiende a ser la de satisfacer a todos, figurando entre ellos los accionistas, los banqueros y los acreedores, sus empleados en general los

membros de la administración, los clientes, los acreedores, el gobierno, la comunidad en que se localiza y el público en general. Cada grupo tiene metas y objetivos diferentes con diferentes grados de especificidad y complejidad. Sus juicios de valores son parcialmente predecibles lo cual implica que a su vez son parcialmente impredecibles y no son necesariamente correctos. Los componentes varían en cuanto a la cantidad de información que poseen respecto a la empresa y respecto al mundo exterior con el cual aquella se tiene que relacionar. Cada uno tiene una interpretación de los hechos en forma diferente y no aplican los mismos criterios. Por lo tanto, hay una gran diversidad en su manera de medir los resultados ya sean satisfactorios o insatisfactorios.

El accionista se verá beneficiado con una buena administración si esta última maximiza el precio en el mercado de sus acciones. Esto influye en la posibilidad de concertar fusiones y adquisiciones benéficas, aumentará directamente en la moral de la administración y de los empleados en general y afectará indirectamente a la confianza general que se tiene de la empresa y, por lo tanto a sus posibilidades de comercializar sus productos.

La administración debe tener en cuenta a sus acreedores de los cuales obtiene préstamos. La obtención de esos recursos exige una situación financiera satisfactoria y unas

utilidades que constituyen evidencia suficiente de que el préstamo será reembolsado tal como se prometió. Mientras menos se tenga que recurrir a préstamos, y mientras mayor sea la certeza de que en el futuro ya no se necesitará de él, el endeudamiento existente ni de otro mayor, más baja será la tasa de interés y por lo tanto el costo de capital obtenido.

Los empleados son factores clave para el éxito de la empresa requiriendo cada uno de ellos atención especial dependiendo obviamente de cada categoría, interesándoseles a cada uno de ellos su ingreso neto, los beneficios generales, la seguridad en el trabajo, las oportunidades de mejorar y la imagen general de la empresa, que sólo se logran si la administración vuelve competitiva a la empresa.

La meta de la administración debe ser la de tener satisfecho al cliente dándole un producto confiable, competitivo en costo y precio y que haga lo que el cliente espera. La administración de la empresa debe estar preparada para facilitar como meta una estrecha relación con el cliente durante la creación, desarrollo y producción del artículo y más tarde en su aplicación, servicio y reparación una vez efectuada la venta.

Ya que ninguna empresa es autosuficiente, es importante contar con un grupo de proveedores dispuestos a colabore-



rar estableciendo una relación amplia y estrecha en el que se incluya un intercambio considerable de información tecnológica. Los productos de la empresa dependen en parte de los productos del proveedor y se requiere una coordinación efectiva para que los resultados minimicen costos y sean armoniosos. A su vez, el proveedor se sentirá inclinado a trabajar con una empresa que tenga una estabilidad financiera y cuente con un programa de mercadotecnia y desarrollo de productos lo suficientemente firme como para permitirle conservar su sitio en el mercado competitivo.

La administración de la empresa debe entender la relación que desea tener con el gobierno. Debe armonizar las planes de la empresa con los de aquél y ajustar sus metas y objetivos de manera que resistan el impacto y la influencia que éste ejerce.

Muchos de los objetivos son de corto plazo y temporal, las muchas veces éstos son un paso hacia las metas de largo plazo que se pueden considerar como permanentes. Los altibajos están presente por doquier y ninguna empresa, cualquiera que sea su grado de complejidad avanza sin tropiezos. Es necesario reaccionar con rapidez ante la crisis y ser capaz de evitarlas previéndolas con anticipación. A veces se presenta la ocasión de introducir cambios en la organización, en las finanzas, en las líneas de productos o en el personal administrativo y esas alteraciones pueden incluir

objetivos que aunque preferentemente guardan consistencia con una meta de largo plazo, pueden ser temporales. El riesgo siempre va a estar presente en todos los aspectos de la empresa y la administración debe lograr la compatibilidad entre la aceptación de los riesgos, inherente en la búsqueda de utilidades y el beneficio que la operación arriesgada puede apartar. La empresa no es sin embargo un ente lo bastante complejo y difícil de vigilar y controlar en todos sus aspectos como para que no se puedan establecer disciplinas intelectuales y reglas que sean capaces de gobernar completamente su comportamiento. No obstante, se dispone de mucho conocimiento acumulado y de métodos de eficacia comprobada para dirigir los asuntos de una empresa.

La administración de la empresa trata siempre de lograr sus objetivos, de satisfacer a los diferentes grupos ligados con ella; pero muchas veces ha visto que ya una vez agotados los recursos convencionales para sostenerse en el mercado o aumentar sus utilidades, que en muchos casos se han visto disminuidos, busca un método por todas partes con tal de salir adelante. Ese método con el cual puede aumentar su productividad lo tiene dentro de la misma empresa, en la gente, en la disposición que ésta tenga de salir adelante y de hacer las cosas bien. Esa herramienta que todavía no ha sido descubierta por las empresas, en particular las mexicanas, es la calidad.

Este capítulo definirá en una forma muy general el concepto de lo que es la productividad para dar paso después a buscar un sólo concepto de calidad como una herramienta de la productividad y los beneficios que de ésta se obtendrán.

## 1.2 Productividad

La palabra productividad ha llegado a ser una palabra muy sonada últimamente y casi es raro no encontrarla en algún contexto o en otro. De hecho, el término productividad a menudo es usado para promover un producto o servicio tal como si fuera una herramienta de la mercadotecnia. Todo ésto no es malo, pero parece haber una gran confusión acerca del término.

El término productividad es asociable a la facultad de producir, ésta es el deseo de producir, no fue sino hasta principios de éste siglo, sin embargo, que el término adquirió un significado más preciso como una relación entre la salida y los medios empleados para producir esa salida.

E aunque se han dado muchas definiciones éstas no han sido del todo claras ya que mucha gente a menudo confunde el término productividad con el término producción. Además se piensa que con una mayor producción, hay una mayor pro -

ductividad. Para esclarecer estos conceptos E.S. Buffa<sup>1</sup> da la definición más acertada de producción entendiéndola como "el proceso mediante el cual se crean bienes o servicios" y por otra parte D.J. Sumanch<sup>2</sup> expresa que la productividad es la concuerda con la eficiente utilización de los recursos (entradas) en producir bienes y/o servicios (salidas).

De lo anterior se desprende que:

$$\text{PRODUCTIVIDAD} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumos}} = \frac{\text{resultados logrados}}{\text{recursos empleados}}$$

Es muy a menudo también que se confunda el término productividad con el de eficiencia y con el de efectividad.

Eficiencia es la relación de las salidas reales logradas a las salidas esperadas.

Efectividad es el grado de cumplimiento de los objetivos.

En otras palabras el que tan bien se cumplieron un con

1 Elwood S. Buffa, "Sistemas de producción e inventario, planeación y control" 1984, México, Limusa, pág. 18.

2 Sumanch, D.J., "Productivity Measurement and Evaluation - Models for Manufacturing Companies, 1979, Ph.D. dissertation, Illinois Institute of Technology, pág. 80.

junto de resultados refleja la efectividad mientras el que tan bien los recursos fueron utilizados para cumplir los resultados se refiere a la eficiencia. La productividad es una combinación de ambas efectividad y eficiencia; así la efectividad está relacionada con la ejecución mientras que la eficiencia va relacionada a la utilización de recursos.

La eficiencia y la efectividad no necesitan ir juntas, porque la eficiencia implica un cierto nivel de rango de resultados que es aceptable pero no necesariamente deseable.

P. Mali<sup>3</sup> relaciona juntos los términos productividad, efectividad, eficiencia de la siguiente manera.

$$\begin{aligned} \text{Índice de Productividad} &= \frac{\text{resultados logrados}}{\text{recursos consumidos}} \\ &= \frac{\text{efectividad}}{\text{eficiencia}} \end{aligned}$$

### 1.3 Por qué la calidad y metas de la industria

El hombre ha exhibido a lo largo de su historia ciertas necesidades básicas como el comer o vestirse las cuales las ha satisfecho con el dominio que ha ejercido sobre la

<sup>3</sup> Mali P, Improving Total Productivity, "Strategies for Business, Government, and Not-for-Profit Organizations 1978, New York, pág. 685.

naturaleza. Una vez satisfechas sus necesidades primarias se le han ido presentando otras las cuales las ha ido solucionando creándole seguridad, comodidad, realización artística y humana, en general, podemos decir que ha mejorado su nivel de vida. Debido a la evolución del mundo estas necesidades que aunque, en principio han sido y son las mismas han cambiado así como los medios utilizados para satisfacerlas. La evolución de estas necesidades se puede ejemplificar con el vestido, en un principio el hombre para cubrirse de las inclemencias del tiempo usaba los animales para que sus pieles le sirvieran como un medio de protección, actualmente, se sigue teniendo la necesidad de vestirse, pero el hombre ya no recurre a la caza, sino que con la ayuda de la industria textil, que ha creado diferentes materiales y ha llegado a implantar inclusive una moda, ha satisfecho esta necesidad.

Es así, que la industria ha sabido responder según el momento histórico en que se ha desarrollado, por satisfacer las necesidades del hombre; pero a su vez ha creado otras necesidades, como es el caso de la transportación a la comunicación; Si se balancean el nivel de necesidades humanas y las necesidades creadas por la industria vemos que ha surgido el reconocimiento de diferentes niveles de excelencia en los productos y servicios. Como ejemplo de esto se puede poner a la transportación. Un hombre para poderse trasladar de un lugar a otro, lo puede hacer por medio de un camión -

de pasajeros o usarlo económico según o hacer uso de su lujo. Cada uno por separado cumple con la necesidad de transportarse pero al mismo tiempo cada uno va a crear diferentes niveles de necesidad. Así el camión de pasajeros le debe dar al usuario un buen servicio como el de la comodidad, la puntualidad, etc. Por su parte, el sedán le dará al usuario la economía de su uso, el que no sufra algún desperfecto y su fácil manejo. En cambio el usuario de un Rolls-Royce busca posiblemente el lujo que le proporciona el automóvil como el aire acondicionado, un buen radio o una alta posición social.

Podemos concluir, por lo tanto que cualquier institución humana ya sea una industria, una escuela, un hospital, el gobierno están comprometidos en producir y proporcionar productos o servicios a las seres humanos. Pero esta relación sólo es constructiva si los bienes y servicios responden a todas las necesidades del usuario en precio, fecha de entrega y de "listo para usarse". Listo para usarse, es un concepto usado por J. M. Juran<sup>4</sup> en el cual cualquier producto exitosamente sirve a los propósitos del cliente durante su uso y que popularmente se le ha conocido como "calidad".

Es que nuestro nivel de vida ha cambiado debido a la

4 J.M. Juran, "Quality Control Handbook", 1979, Mc Graw - Hill, pp. 2-3.

evolución del mundo dependemos totalmente de la ejecución y operación satisfactoria de productos y servicios aumentando explosivamente la demanda del cliente por una mayor durabilidad y confiabilidad de esos productos y servicios. En estos casos, si una industria trata de ser competitiva debe proporcionar un producto o servicio en el cual su calidad haya sido diseñada, producida y conservada a un costo económico y que satisfaga por entero al consumidor.

#### 1.4. Qué es calidad

El proceso de industrialización de nuestro país se dio en base a la promoción de empresas en una economía protegida de la competencia exterior; es decir, se les aseguró el mercado interno para la comercialización de su producción. Las mismas empresas olvidaron a la parte más importante de su estabilidad en el mercado, el cliente. Y no sólo lo olvidaron sino que lo fastidiaban llegando a considerar un enemigo, vendiéndole los productos que ellas querían. Esto puede ser ilustrado con innumerables ejemplos como una lavadora que no lava, o el caso de la estufa que se tiene que prender con un cerillo o inclusive el caso de las autoservilletas llegando a convertirse su fabricación en un artefacto. No atendían a lo que el cliente solicitaba ni a las demandas de los concesionarios basados en su conocimiento de las preferencias del comprador. En vez de esto se decidía ponerle a un coche transmisión automática a otros mil pin-



tarlos de verde o de azul, pero si el hipotético cliente lo quería rojo (pues que se fastidia).<sup>5</sup>

Esta estrategia dio como resultado que el factor de la calidad no fuese necesariamente un requisito para poder vender sus productos. Por la parte del fabricante porque no - habiendo competencia con otros productos sabía que no era - factor importante para conquistar y conservar el mercado y, por parte del consumidor porque al no haber alternativas no tenía que elegir entre un producto y algún otro.

Pero este modelo se ha ido agotando como consecuencia de las condiciones económicas que se empezaron a presentar a finales de los años setentas. Surgiendo la necesidad de promover, apoyar e incrementar las exportaciones de productos no petroleros, con el requisito de que fueran competitivos en calidad y precio.

Adicionalmente el país, se enfrenta a serios problemas. El más grave es el proceso inflacionario que ha dado por resultado un mercado interno decreciente. Esto ha hecho primero que el cliente haya venido acrecentando sus demandas - de calidad en una forma muy aguda. Esto a su vez también - ha sido influenciado por tecnologías nuevas que han hecho -

5 Leo Jacocca, "Jacocca. Autobiografía de un triunfador" - 1985, México, Grijalvo, pág. 217.

posible la aparición de productos que ofrecen un mayor número de funciones y que a su vez los han hecho mucho más complejos. En segundo lugar, esas exigencias crecientes del consumidor de productos de alta calidad harán que las prácticas y técnicas fabriles se modernicen como el caso de la automatización que conlleva un 15 a 20% más en el control de calidad y en tercer término porque los costos de calidad han subido mucho y se pueden apreciar mejor si se ve el costo de producir artículos defectuosos.

A lo largo de este capítulo hemos estado hablando mucho de calidad sin haberlo llegado a definir. Además de que hemos usado mucho los términos de satisfacer, clientes y necesidades.

Por lo tanto, lo que hemos querido decir al usar todos esos términos es sólo esto: Calidad es satisfacer las necesidades de los clientes.

Este término con frecuencia se ha empleado para denotar un lujo o caracteres extras que cuestan más. Ha tenido el significado de lo mejor en un sentido absoluto. Incluso se ha llegado a entender como métodos de clasificación de vendedores, técnicas en inspección por muestras, controles en el proceso, sistemas de calibración, aplicación de técnicas estadísticas, una cierta forma de inspección de muestras como una porción de estadística industrial, como

trabajo relativo a la confiabilidad o como un mero acto de inspección o prueba.

La calidad es determinada por el cliente y no por el ingeniero o el departamento de mercadotecnia y la gerencia general. Es una experiencia real del cliente medida contra sus requisitos. La calidad es "la resultante total de las características del producto y servicio de mercadotecnia, - ingeniería y fabricación, mantenimiento a través de los cuales el producto o servicio en uso satisfará las necesidades del cliente".<sup>6</sup>

La calidad es producir artículos sin defectos desde un principio, ya que producir artículos defectuosos requerirán modificaciones por no cumplir con las normas preestablecidas. Se requerirá de trabajo adicional para convertirlas en productos aceptables; por tanto deben de clasificarse como defectuosos. Siempre se debe tener presente de hacer productos buenos que puedan ser despachados y ensamblados sin pasar por ajustes o correcciones directamente del primer proceso hasta el final. En este sentido, por lo tanto, se puede decir que calidad es dar al cliente o a la siguiente etapa del proceso lo que requiere ya sea un producto o servicio adecuado para su uso y hacer éste de tal modo que cada tarea se realice correctamente desde la primera vez.

<sup>6</sup> Armand V. Feigenbaum, "Control total de la calidad", 1986, México CECSA, pág. 33.

La inspección realmente puede revelar la presencia de defectos sin que el resultado final sea una verdadera garantía de calidad si se producen artículos defectuosos en diversas etapas del proceso fabril, no bastará la inspección estricta para eliminarlos. Si en vez de acudir a la inspección dejamos de producir artículos defectuosos desde el comienzo, es decir, si controlamos los factores del proceso que ocasionan productos defectuosos se ahorrará mucho dinero, que de otra manera se gastaría en inspección. Antes, el tema de la actividad histórica de inspección era "los partes y productos malos no pasarán" el tema nuevo es "háganse bien desde un principio". Acentuándose así la importancia de la prevención de defectos de tal suerte que la rutina de inspección no constituya una necesidad ineludible.

Al hablar de calidad no se puede definir ésta sin tener en cuenta el precio. Porque por muy buena que sea la calidad el producto o servicio no podrá satisfacer al cliente si el precio es excesivo. Esto cobra importancia al planear y diseñar la calidad, ya que no puede haber control de calidad que haga caso omiso del precio, de las utilidades y del control de costos. El precio y la calidad son dos caras de la misma moneda, ya que al diseñarse cierto producto se debe tener presente que sea de bajo costo, esto por razones evidentes, y además ha de ser fácil de fabricar. Ya que ensamblar dos piezas es más cómodo y fiable que encajar tres. Todo esto siempre pensando en lo que desea el cliente.

ta, de como poder satisfacerla sin poner en peligro las realidades cosas que espera del producto. El propósito de las condiciones que satisfacen al consumidor es aquella calidad que establece el balance apropiado entre el costo del producto y servicio y el valor vendido al cliente.

Para tener utilidades la estética y el precio es lo que vende el producto pero la calidad es el factor que garantiza la continuidad de estas ventas. Cuando se trata de que el público perciba las características y prestaciones que configuran el término calidad no basta con el recurso de una buena agencia de publicidad, ni tampoco las conferencias de prensa. La única solución es siempre construir buenos productos, venderlos a un precio competitivo y después de su venta, atender su mantenimiento y servicio como es debido.

### 1.5 La calidad y la productividad

Las nuevas demandas explosivas sociales y económicas para una utilización mucho más efectiva de los materiales y procesos que hacen que los productos y servicios de hoy estén basados cada vez más en la tecnología, junto con las nuevas patrones de trabajo en las fábricas y oficinas y la internacionalización del mercado se han convertido en influencias principales de lo que los programas de control de calidad deben ser hoy.

Es así que la calidad y la productividad son dos caras de la misma moneda. Todo lo que contribuye a realizar la calidad incide positivamente en la productividad. En el momento que se mejora la calidad disminuye el costo de garantía al cliente al igual que los gastos de revisión y de mantenimiento. Si se empieza por hacer bien las cosas los costos de estudio tecnológico y de disposición de las máquinas y herramientas también disminuyen, a la vez que empieza a crecer la confianza y lealtad del comprador.

Ha sido aceptado que la mecanización combinada con un alto grado de especialización en las tareas diera como resultado una alta productividad, costos bajos, trabajadores satisfechos y buena calidad. Pero esto, sin embargo, ha tenido cada vez menos aplicación, ya que la relación que una vez existió entre niveles más altos de producción, inversión en equipo solamente y los niveles resultantes más altos de productividad del trabajador, han ido desapareciendo. Descubriéndose que muchas de las operaciones que habían sido aplicadas en los conceptos de producción tradicionales como es el caso del enfoque taylorista, tienen muchos problemas de aplicación con los problemas actuales para lograr la productividad, la calidad y hasta la motivación del personal.

El nuevo patrón de trabajo con calidad está ampliando la concentración de la productividad, de la atención tradicional orientada hacia la planta hacia una mayor salida de

producto y servicio por unidad de entrada de recurso. Ahora los patrones se están moviendo hacia el concepto de productividad del negocio orientada hacia el mercado, medida por una mayor salida de producto y servicio más vendible de buena calidad por unidad de entrada.

Actualmente una empresa que ofrezca un producto malo no podrá tener utilidades, ya que el producto que no puede ser vendido es porque no cumple las características que exige el consumidor o uno que debe ser retirado porque no es confiable o uno que regresa con mucha frecuencia para servicio. Esto representa una salida improductiva del valor negativo del negocio para la empresa que lo vendió, no importa que tan eficiente productivamente pueda haber sido el proceso de fabricación. Por eso, la productividad se incrementará poniendo énfasis en el control positivo de la calidad en vez de esperar a descubrir las fallas y reprocesar. La mayoría de esas fallas siguen siendo descubiertas en la planta, pero las técnicas que se usan para localizarlas son excesivamente costosas y provocan muchas pérdidas. Si no hubiera fallas, los inspectores serían innecesarios, pero éstos existen debido a que sólo existen defectos y artículos defectuosos, viéndose por lo tanto, reducida la productividad global de la empresa.

Por otra parte, muchos de los productos que pueden fallar no son detectados en la planta, afectando al consumi-

dar cuyos costos de operación y mantenimiento son muchas veces comparables al precio de compra o mayores o al mercader. Cuya tasa de retorno sobre el producto puede ser igual o exceder el margen de utilidades.

El costo por una mala calidad llega a representar el 15 ó 20% de los costos, Además hasta el 25% de los activos, el 25% del personal, 40% del espacio y 50% del inventario se pueden atribuir al manejo o tratamiento de componentes o productos defectuosos. Las compañías que lleguen a comprender la magnitud de la oportunidad, e incluyan el mejoramiento de la calidad como una clave en la estrategia competitiva pueden reducir los costos de calidad en un 90%, mejorar el rendimiento sobre la inversión y las utilidades.

Asimismo la calidad del producto y la participación en el mercado se relacionan ya que las empresas que ofrecen productos y servicios de alta calidad, por lo general tendrán una gran participación en el mercado y son las primeras en entrar en él. La gerencia debe empezar a reconocer que la calidad de producto y/o servicio puede ser un área estratégica crucial-inclusive más crítica que el precio- en la lucha internacional por la conquista del mercado. Para que así del aumento que tengan de sus utilidades satisfagan no sólo a sus clientes, sino a todos aquellos que tengan que ver directa e indirectamente con la empresa.



## CAPITULO II

### CONTROL DE CALIDAD A LO ANCHO DE LA EMPRESA

#### 2.1 Control de calidad

##### 2.1.1 Control

El término control puede ser definido al considerar el uso de cualquier enfoque racional para dominar las perversidades del medio ambiente natural o tecnológico. El objetivo más general de la teoría del control, es hacer operable un sistema de una forma más deseable, hacerlo más confiable, más conveniente o más económico.

El control ha adquirido diversos significados, es una palabra que generalmente se usa para designar regulación, dirección o comando.<sup>1</sup> El control es una importante forma de coordinar diversas actividades hacia el cumplimiento de un objetivo. La función de control regula el producto del sistema, midiendo el funcionamiento real contra el esperado. La función de control relaciona los medios y los fines, es

---

<sup>1</sup> Joseph J. Distefano, "Retroalimentación y sistemas de Control". Mc. Graw Hill, 1981, pág. 1.

aquí donde, la retroalimentación continúa respecto a la actividad de una organización, es importante para mantener su estabilidad en el tiempo, o sea, evaluar como trabaja el sistema y que tan bien son utilizados los recursos.

Esta función se puede definir como la base del proceso administrativo que mantiene la actividad de la organización dentro de límites permitidos a partir de lo esperado.

Es así que el control en una organización, como una fase del sistema de decisiones, observa el funcionamiento y proporciona información que se puede usar en el ajuste de medios y fines. Con ciertos objetivos y los planes necesarios para cumplirlos, la función de control involucra la medida de la situación actual, la comparación con las normas, así como la retroalimentación que puede ser usada para coordinar las actividades administrativas, orientándolas en la dirección correcta. De aquí que existen cuatro elementos principales en los sistemas de control (figura 2.1) que son:

- 1.- Sistema operativo en el cual se fijarán las normas de funcionamiento para una característica medible y controlable. Esta definición de normas de funcionamiento involucra criterios contra los cuales serán comparados los resultados.
- Estos criterios pueden ser cualitativos o cuantitativos. Las normas son fijadas de

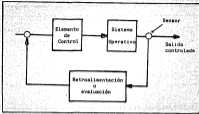


Figura 2.1

Elementos principales de un sistema de control

acuerdo a la situación y áreas particulares, tales como:

- Costos
- Productividad
- Actitudes
- Responsabilidad pública
- Utilización de recursos
- Competitividad
- Penetración en el mercado
- Etcétera

2. Un sensor o medio para detectar dicha característica.
3. Retroalimentación o evaluación es la que está

blecerá una relación funcional de la salida controlada y las normas establecidas.

- 4.- Los elementos de control, los cuales ejercerán una acción correctiva de las desviaciones que sufran las normas y planes, realizando cambios en el sistema a fin de hacer correcciones oportunas para reformar el plan original que debe llevar el objetivo.

### 2.1.2 Control de Calidad

Generalmente se ha empleado un significado muy reducido del control de calidad, tratando de mantener en todo momento un producto o servicio dentro de las especificaciones o normas establecidas. Sin embargo, si usamos la palabra calidad con el enfoque de satisfacer las necesidades de los clientes, el control de calidad implicaría mantener el producto bajo ciertas normas o especificaciones establecidas por Ingeniería del Producto para que satisfaga las necesidades del cliente a un bajo costo de fabricación.

Para llevar a cabo este control de calidad se han seguido cuatro pasos:

- 1.- Establecimiento de estándares. En el cual se determinan los estándares requeridos para los costos de calidad, para el funcionamiento, seguridad y para la confiabilidad del producto.

- 2.- Estimación de conformidad. Comparación de la concordancia entre el producto manufacturado a el servicio ofrecido y los estándares.
- 3.- Ejercer acción cuando sea necesario. Es aplicar la corrección necesaria de los problemas cuando se han rebasado los estándares.
- 4.- Hacer planes de mejoramiento. Desarrollar un esfuerzo continuado para mejorar los estándares de los costos, en la seguridad y la confiabilidad del producto.

Este control de calidad ha fallado, debido a un aumento en los costos de la empresa ya que se ha gastado mucho dinero en inspección y en corregir lo que se hace mal. Por otra parte, también ha tenido sus manifestaciones en el suministro deficiente de materias primas del Departamento de Producción con otros departamentos. Estas deficiencias hacen que el proceso productivo de las empresas inicien su labor de transformación y elaboración en situaciones desfavorables, lo que origina fuertes dificultades para producir un bien con la calidad requerida por el mercado. Ha fallado porque la empresa ha olvidado una de las premisas fundamentales para producir con la calidad debida, la de mantener el equipo e maquinaria en las mejores condiciones de operación. Ha fallado porque la empresa ha tenido un enfoque defensivo en su administración que ha sido el cuidar su producto después que ha salido de la línea y no ha seguido un enfoque de prevención, o

lo que muchas empresas han denominado "administración ofensiva", que trata de atacar los problemas a través del sistema cliente-proveedor sirviéndole como retroalimentación para que diseñe productos sin defectos. "Una empresa que tenga actividades de diseño de productos (si es una administración emprendedora y futurista) dispondrá de factores que le permitan alcanzar sus objetivos y enfrentarse a nuevos retos".<sup>2</sup> Por lo tanto, las empresas que no se dediquen a las actividades de investigación y desarrollo y apliquen esos nuevos conocimientos, se distinguirán por su comportamiento o administración tradicionalista y conservadora.

El control de calidad lo debemos entender como un conjunto de esfuerzos efectivos de los diferentes grupos de una organización, para la integración, desarrollo y la superación de la calidad de un producto a fin de hacer posible su fabricación y servicio a satisfacción completa del consumidor y a un nivel económico. "Practicar el control de calidad es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor".<sup>3</sup>

2 Oscar Enriquez Salván, "Realidades sobre el control de calidad en las empresas mexicanas", Centro de Estudios, Revista Instituto Tecnológico de Veracruz, 1986, pág. 60.

3 Kaoru Ishikawa, "¿Qué es el control total de la calidad?", Edt. Norma, 1986, pág. 40.

El control de calidad se hace con el fin de producir los artículos que satisfagan los requisitos de los consumidores. Es indispensable porque se establecen los niveles de calidad exigidos por los clientes y no sólo cumplir con las normas nacionales o internacionales. Esto es debido a que el gusto y necesidades del consumidor son cambiantes, varían veces al año y las normas nacionales o internacionales aunque cumplen los requisitos de funcionalidad, seguridad y servicio, generalmente no se mantienen al día con los requisitos de los consumidores. Lo importante es saber detectar esas necesidades de los clientes, que muchas veces son subjetivas, ya que ellos no conocen del aspecto técnico de un producto, y traducirlas a normas o estándares que puedan ser medidas en el proceso productivo y que así cumplir con esos requisitos. Esto se puede ejemplificar de la siguiente manera: "Al hacer una encuesta sobre las necesidades y requisitos de un automóvil" se determinó que el cliente quería que la puerta de su carro no pesara al abrirse, que al abrirse se evitara la caída de agua al brazo, que no rebotara para evitar un golpe de la puerta al regresarse, que fuera fácil de abrir por fuera y por dentro, que la manivela fuera fácil de alcanzarse, que proporcionara seguridad por si hubiera algún accidente, etc. Al ir traduciendo todos estos requisitos al lenguaje técnico, se determinaron esas necesidades en función de esfuerzos, tamaños, localizaciones, dirección de operación, etc. Así que se determinó que la puerta para más tenerse abierta y que no se regresara necesitaba un esfuerzo

de 7 libras como máximo"<sup>4</sup>. Este es un proceso largo pero no complicado, en el que se estandarizan las necesidades de los clientes, se trabaja en base a ellas y se cumple automáticamente las normas nacionales e internacionales.

Siempre se debe tener presente la orientación hacia el consumidor y evitar la actitud que se ha tenido hasta ahora en que los que proporcionan un bien o servicio piensen que le están haciendo un favor al consumidor vendiéndole sus productos.

Hay que establecer un sistema de entrada de mercados y no uno de salida de productos, en donde los requisitos del consumidor sean de particular importancia, estudiando sus opiniones y requisitos y que se tengan en cuenta al diseñar, manufacturar y vender sus productos. Haciendo esto se tendrá calidad no sólo en el producto sino también calidad del trabajo, calidad del servicio, calidad de la información, calidad del proceso, calidad de las personas incluyendo trabajadores, ingenieros, gerentes y ejecutivos, calidad del sistema, calidad de la empresa, etc. Siendo el enfoque básico controlar la calidad en todas sus manifestaciones.

Por muy buena que sea la calidad, el producto no podrá

4 Fuente: Chrysler de México, "Expansión de la función de Calidad", "Quality Function Deployment", Depto. de Planeación Avanzada de Calidad y Métodos, Dirección de Calidad Febrero 1983.



satisfacer al cliente si su precio es excesivo. No se puede definir la calidad sin tener en cuenta el precio. Esto es relevante porque no puede haber control de calidad que haga caso omiso del precio, las utilidades y el control de costos. Por eso es importante que todos los departamentos trabajen juntos diseñando un elemento que cuente ante todo con un diseño que se traduzca en una pieza ligera, que sea de bajo costo y que sea fácil de fabricar. "He aquí la clave de la calidad": "Mi diseño es algo fuera de serie". Esta es una frase que he tenido que escuchar durante años, y muchas veces me veo obligada a pensar: "Si, es tan genial que no podemos construirlo"<sup>5</sup>.

Al hablar de precio también hay que hablar del volumen de producción. Si una empresa no puede proporcionar cifras para la cantidad producida, la cantidad de desechos o el número de defectos o correcciones necesarias, no podrá determinar su porcentaje defectuoso ni la tasa de correcciones. Sin estos datos no podrá haber control de calidad. Una oferta insuficiente de un producto que tiene demanda será perjudicial para los clientes. Una oferta excesiva significa desperdicio de mano de obra, materias primas y energía. Por eso los japoneses trabajan con un sistema de inventarios just to a tiempo que consiste en "producir y entregar bienes ter-

<sup>5</sup> Lee Iacocca, with Sonny Elaineffeld "Talking Straight" New York, Bantam, 1988, pág. 255.

minados justo a tiempo para ser vendidos, subensambles justo a tiempo para ser ensamblados, partes fabricadas justo a tiempo para ir en los subensambles y proporcionar materiales justo a tiempo para ser transformados en partes fabricadas<sup>5</sup>. Con este sistema los japoneses producen pequeñas cantidades justo a tiempo, lo cual les permite controlar mejor su calidad ya que con pequeñas cantidades se puede detectar algún producto defectuoso, siendo el propio obrero su propio inspector, no dejando pasar ese producto defectuoso y regresándolo al trabajador anterior para que vea su falla. Con este sistema se garantiza que el cliente obtenga el producto con los requisitos que él necesita. En cambio, si se trabaja con grandes cantidades de inventario, no se garantiza la calidad del producto, ya que el trabajador al detectar un objeto defectuoso lo pasa al siguiente proceso porque dice que al fin la mayoría de los productos son buenos y uno malo no afecta y por otra parte, ya es mucho su trabajo y no puede perder el tiempo en revisar concienzudamente lo que hace, lo que recibe y es regresarlo al proceso anterior para que se corrija.

Es por esto que el control de calidad y el control de costos van de la mano porque para hacer un buen control de costos hay que aplicar un buen control de calidad. Cuando

<sup>5</sup> Richard J. Schonberger, "Japanese Manufacturing Techniques", Free Press 1982, pág. 16.

este control se extiende al volumen de producción no se puede hacer un buen control de la producción si hay fluctuaciones en el porcentaje defectuosa.

## 2.2 Control total de calidad

### 2.2.1 Control de calidad a lo ancho de la empresa

El fundamento de este concepto de calidad total y su diferencia básica con relación a otros conceptos, es que para proporcionar una efectividad genuina, el control debe iniciarse con la identificación de los requisitos de calidad - del cliente y uso final, sólo cuando el producto ha sido colocado en las manos de un cliente quien permanece satisfecho. El control total de la calidad guía las acciones coordinadas de personas, máquinas e información para lograr ese objetivo. La razón de esto es que la calidad de todo producto se halla efectuada en muchos de los pasos del círculo de comunicaciones corporativas, que se ilustra en la figura 2.2.

"El círculo de comunicaciones corporativas transfiere - la información del consumidor a través de rutas largas y circuitos a varios departamentos de la organización, regresando al consumidor como producto distribuido".<sup>7</sup>

7. Chrysler de México "Quality Function Deployment", Depto. Planeación Avanzada de Calidad y Métodos. Dirección de Calidad, Febrero de 1988.

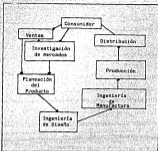


Figura 2.2

### Círculo de comunicaciones corporativas

En el control total de la calidad, se entiende un significado de participación total, o sea que todos los empleados de la fábrica asumen su parte de responsabilidad por el control de la calidad. El departamento de Producción tiene la responsabilidad primaria, pero la solución de los problemas de calidad exige la interacción entre el personal de producción y otras personas, especialmente con la gente de ventas, mercadotecnia, los ingenieros de diseño, los ingenieros de fabricación, el personal del departamento de control de cali

dad, el personal de compras, el de mantenimiento. Todos participan continuamente en los proyectos de mejoramiento de la calidad y están listos para responder con rapidez a las irregularidades que involucren problemas.

El Control Total de la Calidad es un "sistema efectivo de los esfuerzos de varios grupos en una organización para la integración y desarrollo del mantenimiento y de la supervisión de la calidad con el fin de hacer posible la mercadotecnia, ingeniería, fabricación y servicios a satisfacción total del consumidor y al nivel más económico".<sup>8</sup>

Feigenbaum sugirió que el Control Total de la Calidad - estuviera respaldado por una función gerencial bien organizada, cuya única área de especialización fuera la calidad de los productos y cuya única área de operación fuera el control de calidad. Él abogaba porque el Control Total de Calidad estuviera en manos de especialistas, afirmando que "la responsabilidad de la verificación de la calidad recae... sobre quienes producen las piezas".<sup>9</sup>

Sin embargo, a pesar de que Feigenbaum fue el que introdujo el término de Control Total de Calidad en el Japón; la

8 A. V. Feigenbaum "Control Total de la Calidad", CECOSA, 1986, pág. 86.

9 A.V. Feigenbaum, op. cit., pág. 42.

modalidad japonesa es diferente, porque has insistido en que todas las divisiones y todos los empleados deben participar en el estudio y la promoción del Control de Calidad. Este Control Total de la Calidad no se ha visto como un movimiento exclusivo de especialistas y con el objeto de que no se pensara que se estaba imitando la modalidad del Sr. Feigenbaum se le denominó Control de Calidad a lo ancho de la empresa "CWQC" (del inglés "company-wide quality control") que es "la generación de productos buenos y de bajo costo, dividiendo los beneficios entre los consumidores, empleados y proveedores mientras se mejora la calidad de vida de las personas".<sup>10</sup>

El Control de Calidad a lo ancho de la empresa significa sencillamente que todo individuo en cada división de la empresa deberá estudiar, practicar y participar en el control de calidad. Se optó por educar a cada miembro de la división y dejar que cada persona aplique y promueva el control de calidad, al fin y al cabo "el control de calidad empieza con educación y termina con educación".<sup>11</sup>

Es importante que el Control de Calidad a lo ancho de

10 Kaoru Ishikawa, "What is Company Wide Quality Control?" Artículo presentado a los ejecutivos de Ford en Mayo de 1983.

11 Kaoru Ishikawa, "¿Qué es el Control Total de la Calidad?" Editorial Norma pág. 85.

la empresa fomente no sólo el control de la calidad, que es esencial, sino al mismo tiempo el control de costos, de utilidades y precios, el control de cantidades (volumen de producción, ventas y existencias) y el control de fechas de entrega. Este método se basa en la suposición fundamental del control de calidad, de que el fabricante debe desarrollar, producir y vender artículos que satisfagan las necesidades de los consumidores. Si no se conoce el costo, no se pueden hacer diseños ni planificación de calidad. Si el control de costos se maneja estrictamente, se sabrá qué utilidades pueden derivarse de la eliminación de ciertos problemas. En cuanto a las cantidades, si éstas no se conocen con exactitud, se desconocerá la tasa de defectos y la de correcciones, y el control de calidad no progresará. Si por el contrario no se determinan las normas, el índice de rendimientos y la carga de trabajo, no habrá una manera de encontrar los costos y por tanto no se podrá efectuar ningún control de costos. De igual manera, si el porcentaje de defectos es muy amplio y si hay muchos lotes rechazados no se podrá hacer un control de la producción ni de las fechas de entrega. En pocas palabras la administración tiene que ser integrada.

En resumen el control de calidad a lo ancho de la empresa toma la tecnología del control de calidad en la etapa de desplegar la "voz del consumidor" a través de la compañía y movilizar a todos los empleados a enfocarse sobre mejoras -- continuas en la calidad y costos. Este costo no se refle-

ra al costo de asegurar la conformidad y el manejo y corrección del material defectuoso.

En el control de calidad a lo ancho de la empresa, el costo es "la pérdida causada a la sociedad" y el cual está determinado por los costos de diseño, la eficiencia en manufactura, el ensamble, las ventas, el servicio a los clientes y la contribución a la sociedad.

### 2.2.2 Las etapas del control de calidad a lo ancho de la empresa

El control total de calidad es un camino de pasos hacia el control de calidad a lo ancho de la empresa. Cuatro las primeras tres de las siete etapas<sup>12</sup> de calidad que se muestran en la figura 2.3.

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

La inspección después de la producción es la forma tradicional del control de calidad. Los especialistas son llamados para que desarrollen los planes de muestreo estadístico, las curvas características de operación y las tablas pa-

12 L. P. Sullivan, "The seven stages in company-wide Quality Control". Quality Progress, May 1986, págs. 77-83.



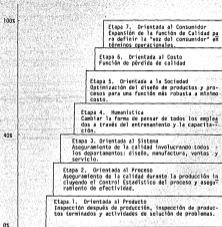


Figura 2.3

Etapas del control de calidad

ra los niveles de calidad de operación. Las actividades del control de calidad usualmente incluyen los bienes terminados y el personal de calidad es el responsable de definir las causas de los defectos, desarrollar las acciones correctivas y evaluar los resultados.

Esta método de pensar de corrección de defectos ha sido la forma tradicional de la actividad de calidad, creyéndose que la calidad se puede mejorar por medio de la solución de problemas. En realidad el enfoque reaccionario de calidad manifestado a través de la fijación de problemas es una garantía en contra del mejoramiento de la calidad.

La administración debe auditar el sistema más que el producto, para poner énfasis en cambiar el mejoramiento del sistema para la calidad. El aseguramiento de la calidad por medio de la inspección nunca trata con las anomalías del proceso, ya que siempre están escondidas.

## Etapas 2. Control de calidad durante la producción

(orientada al proceso)

El aseguramiento de la calidad durante la producción se basa principalmente en el control estadístico del proceso. El uso de ésta ha aumentado la productividad de muchas empresas, mientras que otras no lo han hecho debido a que hacen un uso inapropiado del control estadístico del proceso y a

una carencia de conocimiento en el diseño óptimo del producto y del proceso. Ambas causas pueden ser mitigadas a través de la educación y el entrenamiento, el cual debe empezar por los niveles más altos de la administración,

El error más común y serio es la idea de que el control estadístico del proceso es una técnica o método para controlar la salida del proceso. Se tiene la idea de que la tarea es observar el proceso y cuando las partes están fuera de los límites de control o se empieza una tendencia hacia el límite de control, se hacen los ajustes del proceso para centrarlo. Y mientras se mantengan las salidas del proceso dentro de los límites del control, se estará bien con una calidad perfecta.

Sin embargo, esta forma de pensar no reconoce el poder que tienen las cartas de control. Ese poder recae en la habilidad de ayudar a identificar las causas de variabilidad y separar las causas comunes de las causas especiales de tal manera que se pueda reducir la variabilidad del proceso. Por lo tanto, es importante y deseable tener algunos puntos fuera de control porque representan causas de variabilidad ante las que se puede reaccionar. Y si no hay puntos fuera de los límites, no habrá ninguna acción para mejorar.

La regla para un proceso en control es tener dos tercios de los puntos dentro de un tercio de los límites y va-

ntos puntos fuera de los límites. El siguiente paso es cambiar el proceso hasta ubicar todos los puntos dentro de los límites, y volver a mostrar para identificar algunos puntos fuera de los límites. La ventaja principal es reducir constantemente la variabilidad a través de la mejora en la capacidad del proceso, el cual se refleja en los cambios que tienen lugar en los límites de control de amplios a estrechos.

### Etapas 3. Aseguramiento de calidad involucrando todos los departamentos (orientado al sistema)

El enfoque de sistemas orientado a la calidad ha sido muy popular y en muchos casos la estructura de la empresa ha sido cambiada para reflejar este pensamiento: las organizaciones separadas han sido creadas para desarrollar la función de la ingeniería de sistemas e interactuar con las diferentes actividades asociadas con el diseño manufactura y ensamble. Conceptualmente, ésta es una buena idea pero su éxito ha estado limitado debido a que la administración se enfoca a la solución de problemas y a la carencia del conocimiento estadístico. Los equipos de calidad que se han formado han sido menos efectivos en movilizar el esfuerzo para el mejoramiento continuo de la calidad.

Si muchas empresas en lugar de trabajar con una típica organización vertical fuerte, que está organizada en las fun-

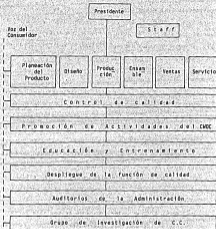
ciones de los departamentos separados y en que el control de calidad es usualmente identificado con las actividades de manufactura y ensamble, trabajarán con una organización hori--zontal con una interacción muy fuerte con un control de cali--dad evidente en todas las actividades. La voz del consumidor se transmitiría más fácilmente, como se puede ver en la figu--ra 2.4.

Las etapas 1, 2 y 3 han sido identificadas con los as--pectos tecnológicos del control de calidad a lo ancho de la empresa que ha demostrado grandes mejoras en el mejoramiento de la calidad. Pero un problema en los mercados de hoy es una menor calidad debido a costos mayores que hacen que no se pueda competir en los mercados internacionales. Las eta--pas restantes del control de calidad a lo ancho de la empre--sa han contribuido en gran medida en mejorar la calidad, pe--ro también han tenido un papel importante en la reducción de costos. De hecho, la fuerza conductora del desarrollo de es--tos métodos ha sido el mejoramiento de costos para ser más competitivos en los mercados internacionales.

#### Etapas 4. Educación y entrenamiento

(aspectos humanísticos de la calidad)

Sólo a través de la educación se puede cambiar la mane--ra de pensar de la gente. el entrenamiento es hecho sólo pa--ra mejorar las habilidades. Se debe hacer un gran esfuerzo



**Figura 2.4**  
**La transmisión de la calidad**

es la continuación de la educación para cambiar la manera de pensar de los empleados. Si se contrata al personal sobre la base de que tan listas son, entonces se obtendrá de él lo que era al principio; por otro lado si se contrata al personal sobre la base de cómo piensan, siempre se obtendrá más de ellos ampliando su conocimiento a través de la educación.

La capacidad del personal es más importante que la capacidad del proceso y la principal tarea de la administración es mejorar la capacidad de todos los empleados; a través de la educación. Los trabajadores deben estar conscientes que la mejora de ellos mismos es su trabajo más importante, el mejoramiento del producto y del proceso será una consecuencia automática del mejoramiento del personal.

La educación y el entrenamiento se reflejan en menores costos de producción a través de la optimización del diseño de productos y procesos, donde se requieren niveles adecuados de conocimientos técnicos; también se genera un impacto sobre el desarrollo organizacional del control. Los empleados de todos los niveles pueden operar más independientemente si son apropiadamente educados y entrenados. Esto tiene un impacto directo sobre el número de empleados y de niveles entre la línea de los trabajadores y la administración superior. Cada persona conoce su trabajo y tiene flexibilidad para ubicarse rápidamente en trabajos diferentes, requiriéndose poca supervisión, ya que se le ha entrenado para tener

responsabilidad, independientemente de cambios en las condiciones. La estrategia en educación y entrenamiento recomien da que el entrenamiento técnico sea hecho por los propios di rectivos más que por entrenadores independientes. La alta ge rencia entrena a sus subordinados inmediatos y de esa forma se sigue la cadena. Otro aspecto importante de la educación y el entrenamiento es la rotación de trabajo para ejecutivos y administradores. Esto amplía sus conocimientos y contribuye a facilitar la interacción horizontal desarrollando el en tendimiento común de los asuntos intradepartamentales. "Lo que los empleados necesitan es educación para lograr que piensen y luego cambien su manera de pensar".<sup>13</sup>

Sin una educación y entrenamiento, intenso el control de calidad a lo ancho de la empresa no se puede desarrollar. Por lo tanto esta etapa es realmente la primera en la secuen cia del control de calidad a lo ancho de la empresa y las si guientes etapas serían imposibles sin ésta.

Etago 5. Optimización en el diseño de productos y procesos para una función más robusta (orientada a la sociedad)

La optimización en el diseño es una manera muy poderosa de asegurar los bajos costos y la alta calidad. Uno de los

<sup>13</sup> Kaoru Ishikawa "Qué es el Control Total de la Calidad". Editorial Norma, 1988, pág. 35.



desarrollos más significativos han sido los métodos de diseño óptimo desarrollado por la Ingeniería de Calidad. La definición de calidad que viene de este término tan nebuloso y elusivo, es la característica que evita la pérdida hacia la sociedad desde que el producto se embarca. Esta pérdida es medida en términos monetarios y se vincula con la tecnología del producto. Esta función de pérdida hace que el ingeniero sea bilingüe, ya que le permite hablar el lenguaje de cosas y dinero. La calidad se infunde en todos los aspectos de la vida del producto y la filosofía inherente es integrada a través de toda la estructura corporativa.

La Ingeniería de Calidad por lo tanto, es un sistema integrado para desarrollar especificaciones, la Ingeniería de éstas especificaciones y fabricar el producto de acuerdo con las especificaciones, siendo el costo la vía para optimizar el diseño de productos y procesos y simultáneamente mejorar la calidad.

#### Etapas 5. La función de pérdida (orientada a los costos)

La pérdida de calidad es la pérdida financiera generada a la sociedad después de que el producto se embarca, incluyendo los costos internos si el producto es embarcado o no. Este costo es medido en unidades monetarias y está relacionado a las características cuantificables del producto.

En la definición de la calidad via la función de pérdida se vinculó la pérdida financiera con las especificaciones funcionales a través de una relación cuadrática.

La fórmula de la función de pérdida es como sigue:

$$\text{Pérdida} = K \cdot (\text{desviación media al cuadrado}) \text{ esto es:} \\ L(y) = K \cdot (y-m)^2$$

En esta fórmula, L es la pérdida causada a la sociedad por desviaciones de un valor nominal  $m$ , K es una constante desarrollada por cada empresa, que está compuesta idealmente de todas las costas internas, costas de garantía, el costo al consumidor y el costo a la sociedad. Cuando la función de calidad se empieza a usar no es importante que K represente la totalidad de la pérdida a la sociedad; se podrá limitar a considerar los costos internos considerando costas de garantía y conforme se va ganando experiencia, se puede cuantificar la pérdida a clientes y a la sociedad. Y finalmente la  $m$  es el valor de la característica del producto.

El resultado de la función de pérdida será, en tales situaciones que la pérdida a la sociedad es siempre mayor que la ganancia del productor, resultando el productor peor que un ladrón.

La función de pérdida se construye sobre una definición

de calidad como "uniformidad alrededor de un valor objetivo de las características". Los límites de especificación son irrelevantes para este propósito, porque estamos interesados en el costo global causado por el producto y en que la pérdida aumenta al desviarse más del valor objetivo de la característica, sin considerar si se está o no dentro de específicas clases.

La función de pérdidas tiene la ventaja única de superar los sistemas de control de costos tradicionales que pueden ser inhibidores del mejoramiento de la calidad ya que a través de la función de pérdida se pueden justificar inversiones para mejorar calidad y ayudar a establecer prioridades en estas mejoras. Esto es muy importante porque las compañías deben ser competitivas tanto en costos, como en calidad. En consecuencia, los diseños de procesos y productos deben optimizarse para mejorar tanto calidad, como costos, esto se refiere a todos los procesos y a todos los productos no solamente a aquellos con deficiencias obvias en calidad.

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

El despliegue de la función de calidad es un enfoque -- que lleva al control de calidad al desarrollo del producto. Es un mecanismo formal para asegurar que la voz del consumi-

der es escuchada a través del desarrollo del producto. También identifica formas específicas para asegurar que los requerimientos del cliente se realizan por todas las actividades funcionales de la compañía.

Las necesidades del cliente expresadas en sus propias palabras -"la voz del consumidor"- es la información original que debe ser traducida al lenguaje técnico. Se busca que el cliente identifique sus requisitos primarios de las características de calidad. Sin embargo, a menudo mencionan requerimientos de segundo a tercer nivel cuando se les pregunta qué es lo que quieren.

Por ejemplo, los pasajeros de una aerolínea pueden decir que ellos quieren arribar a tiempo o comer una comida bien preparada (son requerimientos de segundo a tercer nivel) y no decir nada acerca de la seguridad del vuelo (obviamente un requerimiento principal). Debido a que los requerimientos del cliente son incompletos las compañías deben llenar las lagunas reveladas por la matriz de calidad requeridas. Se trabaja a menudo con los requerimientos del segundo o tercer nivel para llegar a los requerimientos principales. Por lo tanto, se debe establecer una forma sistemática de asegurar responsabilidad para expander la voz del consumidor y traducir esos requisitos en parámetros de diseño y producción. Lo que es importante, es incorporar las actividades del despliegue de la función de calidad a lo ancho de la em-

prisa y llevarlas a cabo sistemáticamente y continuamente como funciones de rutina. Sólo sobre tales bases estas herramientas pueden probar su efectividad. La determinación de proyectar los valores de calidad al mismo tiempo que el desarrollo de un nuevo producto involucra una estrategia corporativa del producto, los diseños conflictivos del producto también llama a una estrategia corporativa de alto nivel. Ambas actividades requieren que la alta administración se involucre positivamente.

### 2.3 Círculos de calidad

La voz del consumidor debe ser llevada a lo ancho de toda la empresa y esto sólo se logra con la participación de todas las personas desde el presidente de la compañía hasta el empleado con el menor nivel. Es una forma muy humana de analizar todos los problemas y buscarle la mejor solución para que se pueda aumentar la productividad de la empresa. La formación de los círculos de calidad es una cuestión de actitud, es cuestión de querer hacer las cosas; y como es una actividad acorde con la naturaleza humana, si se pueden aplicar, ya que el hombre es hombre y existe el vínculo de ser social que es común en toda la humanidad.

La explicación de la popularidad de los círculos radica en su función única. Lo que hacen es participar con la administración para localizar y resolver problemas de coordina-

ción y productividad. Los círculos, en otras palabras, identifican lo que está mal en la organización y dan la respuesta al problema. Los círculos de calidad fueron desarrollados para alcanzar una alta calidad, mejorar la productividad y aumentar la moralidad de los trabajadores a un costo relativamente bajo.

Los círculos típicamente consisten de 3 a 10 trabajadores que están permanentemente asignados a ese círculo. Todos los empleados son estimulados a participar. Cada círculo de empleados forma un grupo de trabajo natural que está relacionado con los restantes de algún modo. Los trabajos de cada círculo son coordinados por un líder para estudiar cualquier problema de producción o servicio que está en el ámbito de su trabajo.

En la mayoría de los casos, un círculo desarrolla un proyecto que propone una respuesta a los problemas del sistema dentro de un periodo que va de 3 a 6 meses. Ordinariamente, cada círculo se reúne de 1 hora a 2 cada semana. Un proyecto típico puede involucrar un problema que ha sido identificado por uno o más miembros del círculo. Ellos sugieren la relevancia del problema y discuten con otros miembros del círculo, incluido el coordinador. El grupo puede entonces estudiar de manera sistemática el problema recolectando estadísticas sobre su tipo y naturaleza. Al final del periodo de estudio de 6 semanas, los miembros se reúnen nuevamente

para analizar los datos y determinar la fuente del problema. Una vez que el problema ha sido identificado se sugiere los pasos que deberán ser tomados para corregirlo. Si estos pasos pueden ser desarrollados totalmente por los miembros del círculo, ellos instrumentan sus sugerencias. Si el problema es más general, entonces los miembros recurren a la formación de un círculo más amplio que vea sobre la respuesta del problema, o bien, recomienda a los niveles superiores de la administración la solución que debería de ser dada. Finalmente, la solución es identificada e implantada, reconociéndose públicamente su éxito.

Los círculos de calidad comenzaron después de la Segunda Guerra Mundial, cuando se reconoció la necesidad de que las técnicas estadísticas clásicas de control de calidad fueran dominadas por los responsables de la producción y en base a los resultados de estos análisis, estos mismos trabajadores propusieran las respuestas a los problemas identificados de calidad y productividad.

La estadística no es el único elemento crucial en el éxito de los círculos. La combinación de las técnicas de medición más la atención al aspecto humano de la organización, ha producido los resultados conocidos de los círculos de calidad. El éxito de los círculos no solamente depende de la técnica sino de su exacto entendimiento en los aspectos humanos para mejorar su productividad. Ya que si a las personas

se les trata como máquinas el trabajo pierde todo interés y deja de ser una fuente de satisfacciones. En tales condiciones no es posible esperar productos de buena calidad y confiabilidad. Los propósitos fundamentales de los círculos de calidad son:

- 1.- Contribuir al mejoramiento y desarrollo de la empresa.
- 2.- Atender a los aspectos humanos y propiciar ambientes de trabajo agradables que resulten significativos para el trabajador.
- 3.- Estimular y explayar las capacidades humanas totalmente en sus múltiples posibilidades.

Tal vez, la mayor contribución de los círculos de calidad se refiere al tratamiento del trabajador. No importa qué tanto las empresas estén mecanizadas, lo importante es que el individuo sea tratado en sus manifestaciones humanas. La gente utiliza mucho tiempo de su vida en el lugar de su trabajo. Debe ser mucho más deseable trabajar en un ambiente agradable, donde el aspecto humanístico es considerado y donde las personas sientan que su trabajo es realmente significativo. La administración debe crear las condiciones posibles y ententes ser paciente para permitir que el esfuerzo y la moralidad se desarrollen naturalmente. Las actividades del círculo deberían ser definidas para que la moralidad gradualmente sea elevada como una consecuencia natural de tomar participación en las actividades. Mientras es un objetivo -



crear relaciones armónicas, la palabra crear no debería ser interpretada como hacer una cosa por la fuerza. Lo que constituye el aspecto humano es la habilidad para pensar. Un trabajador debería estar ubicado donde la gente pueda pensar y usar su sabiduría. Debe ser un objetivo de las actividades de los círculos de calidad, el desarrollar esto.

## CAPITULO III

### INGENIERIA DE CALIDAD

#### 3.1 Ingeniería de calidad

Como se vió anteriormente, el objetivo principal de la empresa no es la calidad, sino el obtener utilidades y la calidad es solamente un medio para incrementarlas. Una empresa que vende productos malos no podrá incrementar sus utilidades y eso se debe a que los productos no cumplen con los requisitos de los consumidores, a pesar de que se encuentran dentro de los límites de especificación, ya que ese requisito o meta nominal varía y no se le da al consumidor un producto siempre constante.

Este problema de variabilidad ocurre en mayor o menor grado en productos y servicios suministrados por el hombre. Las máquinas se descomponen, la energía eléctrica falla, el retraso de los aviones, el mal servicio en un restaurante, etc. Por lo tanto, se debe considerar ahora las pérdidas causadas por esa variabilidad y la forma de colocar las especificaciones para prevenir muchos de estos problemas.

Ya no se debe considerar el mejoramiento en la calidad

debido a la aplicación intensiva de los métodos tradicionales de control de calidad, que han tenido y seguirán teniendo grandes resultados en su mayoría, como es el caso de redirigir la fuerza de trabajo a resolver los problemas de calidad, pruebas del producto más sofisticadas, inspecciones adicionales en el producto y el proceso, auditorías de calidad, etc. También, por otro lado, las reducciones en los costos se han venido dando como resultado de muchas de las maneras tradicionales de como reducir la fuerza de trabajo, reducir los gastos de operación, etc. Ahora debemos considerar un pensamiento más moderno de calidad. Hay que considerar a la calidad como una uniformidad del producto o servicio, alrededor de la meta nominal, más que la conformidad con los límites de especificación.

Ahora la calidad ya no puede ser un objetivo final, sino un medio para tener menores costos de manufactura. Debemos ser más de cerca nuestras objetivos para reemplazar la definición de conformidad de los límites de especificación con la idea de reducir la variabilidad alrededor de la meta nominal. Debemos comprender que cualquier desviación sobre la meta nominal reduce la confiabilidad y también incrementa el costo en la forma de pérdida de la planta y del cliente. Ya que usualmente no nos fijamos en la variación del proceso, sino que vemos que las partes se encuentren dentro de los límites de especificación usando un chequeo pasa-no pasa, y no vemos que las partes pueden variar hacia arriba o hacia abaj-

jo de la meta nominal de un día para otro, aún estando dentro de los límites de especificación. Es aquí donde rechazamos la idea de que las especificaciones se usan para controlar la calidad y que sólo resulta en un aumento en los costos, ya que se debe de inspeccionar para determinar si las partes están dentro de los límites y rechazar aquellas que están fuera. De esta forma la calidad no podrá mejorarse si se controlan los límites de especificación, porque el objetivo ahora es lograr la uniformidad alrededor de la meta.

Los métodos tradicionales de control de calidad están relacionados principalmente con la función del producto y cumplimiento con las especificaciones de ingeniería. La nueva perspectiva de la calidad es totalmente diferente y se basa en la pérdida del consumidor debida a la variabilidad en la función del producto, así como también en los cambios en el ambiente de operación y diferencias entre productos de un mismo diseño. La metodología usada para calcular los costos y el mejoramiento de la calidad a través de la aplicación de la función de pérdida, se la conoce como "Ingeniería de Calidad".

Esta metodología fue desarrollada por el Dr. Genichi Taguchi. En la cual define la calidad como "La pérdida que un producto causa a la sociedad después de que el producto se embarca"<sup>1</sup>. Entonces el objetivo de la Ingeniería de Calidad es llegar a minimizar la pérdida asociada a la calidad.

El objetivo de Taguchi fue el de introducir una metodología que mejorara la eficiencia del diseño experimental. Con este fin desarrolló una serie de técnicas que hacen uso de los arreglos ortogonales y gráficas lineales para analizar la interacción de las variables y reducir su influencia. La influencia significa la selección de niveles óptimos de variables controlables, que amortiguan los efectos de los factores ambientales y condiciones de uso<sup>1</sup>. Con esto, se trata de diseñar un producto cuyo funcionamiento sea estable y que sea menos sensible a las variaciones sin añadir un costo. La Ingeniería de Calidad, trata de crear un diseño que sea robusto con respecto a todos los factores de ruido. Los factores de ruido son los factores que causan la variabilidad en las funciones del producto<sup>2</sup>. Por otra parte la robusticidad implica que las características funcionales del producto o proceso no sean sensibles a variaciones debidas a los factores de ruido. Para realizar esta robusticidad, los esfuerzos en calidad deben comenzar durante el diseño del producto y en las etapas de manufactura. Con la metodología de Taguchi se pueden diseñar matemáticamente productos o procesos, usando los componentes de bajo costo y lograr la mínima variabilidad ajustando el punto de influencia para

- 
- 1 Genichi Taguchi, "Introduction to Quality Engineering - Designing Quality into Products and Processes", Asian Productivity Organization, 1986, pág. 1.
  - 2 L.P. Sullivan, "Reducing Variability: A new approach to Quality", Quality Progress, July, 1984, pág. 20.
  - 3 Genichi Taguchi, Op. cit, pág. 73.

los requerimientos del producto y la producción.

### 3.2 Función de pérdida de calidad

#### 3.2.1 Pérdida de calidad

Un producto generalmente se vende por su prestigio, o sea, por su función y su precio. Un producto pierde su reputación y su participación en el mercado porque su calidad es mala.

La calidad de un producto es la pérdida causada a la sociedad desde que el producto se embarca. La esencia de estas palabras es que la pérdida generada a la sociedad desde que el producto se embarca hacia el cliente determina su conciencia. Y por consiguiente, entre menor es la pérdida más deseable es el producto.

Entre las pérdidas causadas a la sociedad por un producto se puede incluir la falta de reconocer los requerimientos del cliente de listo para usarse, la falta de reconocer su actividad ideal, los efectos por daños colaterales causados por el producto y la variabilidad en la función del producto.

La pérdida dominante es la causada por variaciones funcionales. el control de calidad tradicional se origina en un esfuerzo por controlar los problemas causados por las varia-

ciones funcionales. Sin embargo, la carencia de técnicas para la evaluación cuantitativa de variaciones funcionales ha estorbado al mejoramiento efectivo de la calidad. Por medio de la función de pérdida se logra una cuantificación del costo de calidad. Esta medida principal de la calidad estará en función de su costo por desperdicio, retrabajo y reparaciones de garantía. Además de estos costos que ocurren en diferentes etapas del proceso de manufactura, es necesario tomar en cuenta los costos de pérdida de productividad causados por la variabilidad: costos de mantenimiento, equipo fuera de operación por fallas, exceso de inventario, exceso de personal y papeles, así como al tiempo perdido por reuniones improductivas con los proveedores, los distribuidores y los concesionarios. El objetivo de la ingeniería de calidad es minimizar la pérdida asociada con la calidad.

### 3.2.2 Límites de especificación y calidad

Los métodos tradicionales de satisfacer los requerimientos de los clientes controlando sus componentes y/o sus subsistemas han fallado. La figura 3.1 representa la inspección orientada a la producción por el concepto tradicional, donde todos los productos o procesos que existen o funcionan dentro de algunos límites pre establecidos son considerados igualmente buenos y todos los productos o procesos que están fuera de esos límites son considerados igualmente malos.



Figura 3.1

## Límites de especificación

Es como el caso de considerar a los alumnos de un salón de clase, aquel que obtuvo 59 puntos de 100 está reprobado y el que obtuvo 60 de 100 está pasado, pero si los 100 puntos representan la perfección, el que obtuvo los 60 puntos no se le puede considerar igual de bueno que aquel que obtuvo los 100 puntos, sólo por entrar en el área donde todos son aprobados.

Los límites de especificación sólo representan un criterio de aceptación y/o rechazo. Si se considera la analogía de un producto con el estudiante que pasó con 80% y que el nivel óptimo es el 100%, muchos clientes no aceptarán ese producto ya que se encuentra más cercano al límite en que falla y está más alejado del óptimo, si se le considera con un producto que pasó con un 95%, es por esto que al producto



con 60% no se le pueda considerar igual de buena con el que obtuvo 95% y mucho menos con el que obtuvo el 100%.

En la figura 3.2 se ve que la característica de calidad se mide graduada dependiendo de que tan cerca está su valor del valor nominal o mejor valor que se ha denotado con la letra  $\mu$ . Además también se ve que entre mayor sea el número de unidades que obtienen una desviación menor del valor nominal, el producto es más robusto y por lo tanto tendrá menores defectos y una menor pérdida a la sociedad (curva con líneas punteadas).

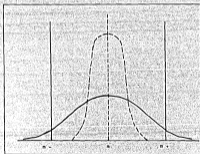


Figura 3.2  
Robusticidad de un producto

La pérdida de calidad ocurre cuando la característica de calidad se desvía del mejor valor. La calidad debe, por lo tanto, ser evaluada como una función de desviación de la característica del valor nominal. Esta nueva definición de la calidad del producto o servicio es la uniformidad del producto o servicio alrededor de la meta nominal y no la conformidad de esas características con los límites de especificación.

La calidad de un producto no puede ser mejorada a menos que la característica de calidad del producto pueda ser identificada y medida. Además, un continuo mejoramiento de calidad depende del conocimiento de los valores ideales de esas características de calidad. Cada característica de calidad es una entidad variable. Su valor puede ser diferente para diferentes unidades de producto, y también puede cambiar en el tiempo para una unidad dada. El objeto de un mejoramiento continuo en la calidad es reducir la variación de la calidad del producto alrededor de los valores deseados.

### 3.2.3 Función de pérdida de calidad

Si  $m$  es el valor nominal de cierto producto, la cuestión es a qué desviación de ese valor  $m$  el cliente rechazará ese producto. Esta desviación se la llama la tolerancia del cliente. Siendo  $Y$  el valor de la característica de calidad y  $L(Y)$  la pérdida debida a la diferencia entre  $Y$  y  $m$ ,  $L(Y)$

puede ser desarrollada por una serie de Taylor alrededor de  $m$  como sigue:

$$\begin{aligned} L(Y) &= L(m+y-m) \\ &= L(m) + \frac{L'(m)}{1!} (y-m) + \frac{L''(m)}{2!} (y-m)^2 + \dots \quad (3.1) \end{aligned}$$

Si se asume que  $L(m)=0$  y que  $L(y)$  es mínimo cuando  $Y=m$ , entonces  $L'(m)$  es cero. El tercer término de la ecuación de la función de pérdida se convierte en el primero y la pérdida puede ser aproximadamente como sigue:

$$\begin{aligned} L(Y) &= \frac{L''(m)}{2!} (Y-m)^2 \\ L(Y) &= K(Y-m)^2 \quad (3.2) \end{aligned}$$

Donde

$L(Y)$  = Pérdida en pesos cuando la característica de calidad tiene valor  $Y$ .

$Y$  = El valor de la característica de calidad.

$m$  = Meta o valor ideal de la característica  $Y$ .

$K$  = Constante

Como se muestra en la figura 3.3 esta representación cuadrática tiene las siguientes características:

- es mínima cuando  $y=m$
- se incrementa cuando  $y$  se desvía del valor ideal  $m$
- se expresa en unidades monetarias

**Figura 3.3**

**Representación cuadrática de la  
función de pérdida de calidad**

En realidad, para cada característica de calidad existe una función que define de una manera única la relación entre la pérdida económica y la desviación de la característica de calidad de su valor ideal.

**3.2.4 Tolerancia en niveles múltiples**

Si  $m_1$  es el valor mínimo de desviación y  $m_2$  es el valor máximo de desviación con respecto a  $m$  y si un producto los sobrepasa, la mayoría de los clientes opinan que se presenta una falla y el producto deberá ser reemplazado, reparado,

etc. Ahora si se considera a  $m$  como la media de  $m_1$  y  $m_2$  y  $\Delta_0$  la mitad de la diferencia entre ellas.

$$m = \frac{1}{2} (m_1 + m_2)$$

$$\Delta_0 = \frac{1}{2} (m_2 - m_1)$$

El rango que ocasiona la tolerancia del cliente está dada por:

$$r = \Delta_0$$

dado que

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

y considerando a  $A_0$  como la pérdida promedio que ocurre cuando  $|y-m|$  es  $\Delta_0$  entonces el coeficiente  $K$  se puede calcular de la siguiente manera:

$$A_0 = K(m - \Delta_0 - m)^2$$

$$K = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \quad (3.3)$$

la tolerancia  $\Delta$  se puede determinar si se conoce la pérdida  $A_0$  cuando no se cumple las tolerancias, quedando la función de pérdida.

$$L = \frac{A_0}{\Delta_0^2} (y-m)^2 \quad (3.4)$$

Substituyendo  $\Delta$  en el lado izquierdo de la ecuación y resolviendo para  $\Delta = |y-m|$  se obtiene:

$$\Delta = \frac{\Delta_0}{k} \times \sqrt{k}$$

y la tolerancia está dada de la siguiente manera:

$$\Delta = \sqrt{\frac{k}{k}} \times \Delta_0 \quad (3.5)$$

### 3.2.5. Función de pérdida de calidad promedio

La ecuación  $L(y) = K(y-m)^2$  es usada para cuantificar la pérdida debida a la calidad sobre una sola pieza de producto y para establecer las tolerancias de producción que están basadas sobre el costo de las contra-medidas y las expectativas del cliente. Generalmente, tales aspectos deberán basarse en niveles de calidad promedio y pérdidas. La función de pérdida de calidad promedio también se denota por  $L(y)$  es la pérdida promedio sobre  $n$  unidades de producto.

$$L(y) = \frac{K \{ (y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2 \}}{n}$$

$$L(y) = \frac{K \sum (Y_i - m)^2}{n}$$

La media de la desviación cuadrática RDC es:

$$RDC = \frac{(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2}{n}$$

$$MDC = \frac{1}{n} \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$MDC = \sigma^2 + (\bar{y} - m)^2 \quad (3.6)$$

donde  $\sigma^2$  = La variancia

$\bar{y}$  = Media de la característica analizada

Entonces se tiene:

$$L(Y) = K(MDC)$$

$$L(Y) = K[\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2] \quad (3.7)$$

En la práctica, el mejor valor de una característica no es siempre realizable. Por ejemplo, si se considera la resistencia a la tensión; entre mayor sea su resistencia a la tensión es lo mejor, pero no se tienen materiales con resistencia infinita. Por lo tanto la función de pérdida depende del tipo de característica a ser considerada, que puede ser:

- a) Nominal es mejor: dimensión, presión, viscosidad, juego, etc.
- b) Menor es mejor: desgaste, encogimiento, deterioración, impurezas, nivel de ruido, etc.
- c) Mayor es mejor: resistencia, vida, eficiencia, combustible, etc.
- d) Atributo clasificado: apariencia, porosidad, agrietamiento, etc. (clasificado como bueno o malo, grado A/B/C/D etc.)

### 3.2.6 Función de pérdida en que el valor nominal es mejor

Para las características en que el valor nominal  $m$  es el mejor y en donde se considera que la tolerancia del cliente está dada por  $m \pm \Delta_0$  la función de pérdida está dada por:

$$L = \frac{A_0}{\Delta_0^2} (\sigma^2 + (m - \bar{x})^2) \quad (3.8)$$

donde:

$A_0$  = La pérdida a la falla

$\sigma^2$  = La varianza

$\bar{x}$  = Media de la características considerada

Esta función se usa cuando las características de calidad se alejan de la meta nominal causando una pérdida debida a esa variación. Esto puede ser el caso de características nominales como la dimensión, presión, el voltaje, la viscosidad, etc.

La función de pérdida en que el valor nominal es mejor tiene las siguientes características.

En este caso:

- $K$  es una constante =  $A_0 / \Delta_0^2$
- $\Delta_0$  es la desviación de la meta nominal



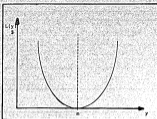


Figura 3.4

**Características de la función de pérdida en que el valor nominal es mejor**

- c) La pérdida es proporcional al cuadrado de la desviación del valor nominal.
- d)  $A_0$  es la pérdida a la falla

### 3.2.7. Función de pérdida en que el valor menor es mejor

La característica en que el valor menor es mejor, es en la cual no toma valores negativos y en que su meta es cero; o sea con aquellas en que se tiene un valor máximo determinado y todas las que se encuentren por abajo de él son mucho mejores. Esta característica generalmente se usa para los acabados de superficie, en el desgaste, en el endogamia, deterioración, impurezas, nivel de ruido etc.

La ecuación de la función de pérdida está dada por:

$$L(y) = Ky^2 \quad (3.9)$$

donde

$L(y)$  = Pérdida en pesos, cuando la característica de calidad tiene el valor  $y$

$y$  = El valor de la característica de calidad -

$K$  = Constante

Esta función tiene las siguientes características (Figura 3.5)

- Está expresada en unidades monetarias
- Es mínima cuando  $y=0$
- Decrece a medida que  $y$  disminuya

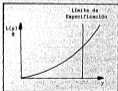


Figura 3.5  
Características de la función de pérdida  
en que el valor menor es mejor

### 3.2.B Función de pérdida en características en que el valor mayor es mejor

Un valor característico que no toma valores negativos y para que el valor más deseado es infinito se le llama mayor es mejor. Aunque es cierto que el mayor es mejor, es válido para características como la eficiencia térmica o el porcentaje no defectuosa, en que su valor máximo es 1.00 (100%), és to no es cierto para las características "mayor es mejor". La amplificación, la potencia, la fuerza, la capacidad y otras características que no tienen un valor nominal excepto "tan grande como sea posible" son también características ma yor es mejor. Las características mayor es mejor son aque- llas en las cuales se tiene un valor mínimo determinado y ta dos las que se encuentran por encima de él son mucho mejores.

Considérese a  $Y$  una característica con una función de pérdida  $L(y)$  donde  $(0 \leq Y \leq \infty)$ . En la vecindad de  $y = \infty$ ,  $L(y)$  tiene la siguiente expansión de Laurent:

$$L(y) = L(\infty) + \frac{L'(\infty)[1 + \frac{1}{2}(\frac{\infty}{y})^2] + \dots}{(1 - \frac{\infty}{y})^2}$$

En  $y = \infty$ , la pérdida es cero, y éste es el mínimo va- lor de la pérdida, entonces podemos estipular que:

$$L(\infty) = 0$$

$$L'(\infty) = 0$$

Esto lleva a que el primer término de la expansión de la función de pérdida sea:

$$L(y) = K \times \frac{1}{y} \quad (3.10)$$

donde:

$L(y)$  = Pérdida en pesos cuando la característica de calidad tiene el valor  $y$

$y$  = El valor de la característica de calidad

$K$  = Constante

Esto se puede usar como una aproximación de la función de pérdida. Si la pérdida  $L(y_0)$  en cualquier punto  $y$  y  $y_0$  es conocida, el coeficiente  $K$  puede ser encontrado como sigue:

$$K = y_0^2 \cdot L(y_0)$$

El punto  $y_0$  se puede tomar como el punto  $y_0$  en que el problema ocurre en el campo y si la pérdida en ese punto es  $A_0$  tenemos:

$$K = \frac{\Delta^2}{b} \cdot A_0 \quad (3.11)$$

Si hay un nivel de característica más alto con un nivel de especificación de no menos que  $y_0$ , y la pérdida cuando esta especificación no se satisface es  $A_0$ , entonces el coeficiente en la función de pérdida para esta característica la podemos encontrar en la fórmula

$$K = \frac{\Delta^2}{b} \cdot A_0 / b^2 \quad (3.12)$$

donde  $b$  es el coeficiente del efecto en el nivel de característica alto de la unidad de cambio en el nivel de característica bajo. Quedando la función de pérdida:

$$L(y) = \frac{\Delta_0^2 A_B}{y^2} \quad \text{o} \quad L(y) = \frac{\Delta_0^2 A_0}{y^2 b} \quad (3.13)$$

La función de pérdida tiene las siguientes características (figura 3.6)

- Se expresa en unidades monetarias
- Es mínima cuando  $y \rightarrow \infty$
- Decrece a medida que "y" aumenta

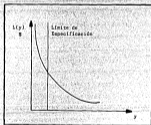


Figura 3.6

Características de la función de pérdida  
en que el valor mayor es mejor

### 3.3 La calidad fuera de línea

#### 3.3.1 La calidad final y los costos de manufactura

El ciclo de desarrollo de un producto puede ser dividido en tres etapas: diseño del producto, diseño del proceso y manufactura. Cada etapa del desarrollo del producto tiene muchos pasos. La calidad de un paso es la entrada del siguiente. Por lo tanto, todos los pasos, especialmente los puntos de transferencia, afectan a la calidad final y al costo. Sin embargo, por el incremento de complejidad en los productos modernos, el diseño del producto y del proceso juegan un papel importante. De hecho, el dominio que ejercen esas cuantas corporaciones en productos de alta tecnología tales como los automóviles, los robots industriales, los microprocesadores, los dispositivos ópticos y las máquinas herramientas se deben a la fuerza de los diseños de ingeniería de sus productos y procesos de manufactura.

Generalmente el desarrollo de un producto es afectado por variables ambientales (y variaciones humanas en la operación del producto), deterioro del producto, e imperfecciones de manufactura. Las imperfecciones de manufactura son las desviaciones de los parámetros actuales de la manufactura del producto, de sus valores nominales. Las imperfecciones de manufactura son causadas por incertidumbres inevitables en el proceso de manufactura y son responsables de su varia-

ción en el desempeño a través de las diferentes unidades de un producto.

Como se indica en la tabla 3.1 las contramedidas contra la variación de desempeño causada por las variables ambientales y el deterioro del producto pueden ser establecidas en el producto sólo en la etapa de desarrollo.

Etapa de Desarrollo del Producto	Fuentes de Variación		
	Variables Ambientales	Deterioro del Producto	Variaciones en Manufactura
Diseño del Producto	O	O	O
Diseño del Proceso	X	X	O
Manufactura	X	X	O

O Contramedidas posibles  
X Contramedidas imposibles

Tabla 3.1

Etapas en el desarrollo del producto en las cuales se pueden establecer contramedidas contra las diferentes fuentes de variación en el producto

Los costos de manufactura y las imperfecciones en manufactura en un producto, son ampliamente determinados por el diseño del proceso de manufactura. Con un proceso de diseño

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

dado, el aumentar los controles de proceso puede reducir las imperfecciones de manufactura<sup>4</sup>. (Ver la figura 3.7).

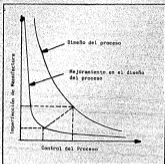


Figura 3.7

El mejoramiento en el diseño del proceso reduce las imperfecciones de manufactura

Pero ese control de proceso cuesta dinero. Por lo tanto es necesario reducir las imperfecciones en manufactura y las necesidades para el control del proceso, y esto como se puede ver en la figura 3.7, sólo se puede lograr mejorando

4 Baghu U. Eacker, "Taguchi Quality Philosophy, Analysis and Commentary", Quality Progress, 1986, pág. 26.



el diseño de proceso, moviendo la curva de costo hacia abajo. Aunque esta idea no es nueva, ya que Shewhart<sup>5</sup> enfatizó la importancia de llevar los procesos a un estado de control estadístico, porque éste es el primer paso en mejorar el diseño de un proceso existente.

Debido a la importancia en el diseño de productos y procesos, el control de calidad debe empezar como primer paso en el control del producto, en el diseño del producto y el proceso. Por eso el control de calidad fuera de línea se usa para mejorar la calidad del producto y manufacturabilidad y reducir el desarrollo del producto, manufactura y costos. Con el control de calidad fuera de línea, se identifican los niveles de parámetros en los que el efecto de las fuentes de ruido en la característica de respuesta es mínimo. Se identifican los niveles de parámetros que reducen el costo sin afectar la calidad. Se identifican los parámetros que tienen una gran influencia en la medida de la característica de respuesta, pero no afectan su variación.

Con el desempeño de esas características, todos los parámetros de especificación deben establecerse en términos de valores ideales y tolerancias alrededor de ese valor ideal. Es ampliamente usado en la industria establecer esas especi-

<sup>5</sup> Walter A. Shewhart, "Economic Control of Quality of Manufactured Product", American Society for Quality Control, 1937.

ficciones en términos solo de los intervalos de tolerancia.

### 3.3.2 Calidad fuera de línea (Ingeniería de Calidad)

Los factores que causan la variabilidad en las funciones del producto, se les llama factor de error o ruido. Éstos tienen tres tipos principales de ruido:

- 1) Ruido externo. Son las variables ambientales o condiciones de uso que alteran las funciones del producto. La temperatura, la humedad, el polvo, el factor humano, son algunos ejemplos de ruido externo.
- 2) Ruido interno o ruido por deterioro. Son los cambios que se presentan cuando un producto se deteriora durante su almacenamiento o queda inoperable durante su uso, éste causa que no pueda realizar sus funciones meta-objetivo.
- 3) Ruido por variación o ruido unidad a unidad. Son las diferencias que existen en cada producto, que son hechos bajo las mismas especificaciones.

Es por esto, que una empresa decida sobre un conjunto de funciones objetivo o meta, preparar las especificaciones necesarias y sus dibujos y empezar a manufacturar el producto. Algunas de las unidades de manufactura pueden estar den

tro de las funciones meta, mientras que otras no. El producto puede fallar después de un uso prolongado; puede funcionar bien bajo condiciones normales pero no a una alta temperatura o humedad, o cuando el suministro de voltaje es un 20% abajo del nominal, siendo éstos, como ya se vió, los problemas de ruido externo.

Una buena calidad funcional significa una pequeña variación funcional de todos los tipos de ruido. La idea de la calidad funcional es para que conserven sus funciones a pesar de las fluctuaciones en temperatura, humedad, voltaje u otros factores externos de ruido, aún cuando los componentes y materiales se degraden o se desgasten durante su uso y a pesar de su variabilidad de unidad a unidad. La calidad con respecto a la función objetivo, puede ser medida como el grado de variación del valor de la función meta u objetivo, el valor nominal o ideal determinado en las especificaciones,

El ruido interno es una variación en las constantes internas del producto mismo, causando variación en la función. La variación pueda ser fuera de tiempo (degradación del producto) o espacio (unidad a unidad). Si un producto mantiene su funcionamiento inicial indefinidamente, significa que tiene un alto grado de estabilidad. Si todas las unidades dan el mismo tipo de funcionamiento, el fabricante gana una reputación de confiabilidad y uniformidad. Por lo tanto, asegurar la calidad funcional significa encontrar los medios para

reducir el efecto de los tres tipos de ruido. El más importante es el diseño, que es un aspecto del control de calidad fuera de línea. Este control de calidad trata de asegurar la calidad antes de que el producto sea fabricado, o sea en el diseño, pues es cuando se pueden controlar todos los factores o errores que lo afectan. Es una técnica de prevención o una forma de administración ofensiva, que como se mencionó en el capítulo II, ataca los problemas a través del sistema cliente-proveedor.

El control de calidad fuera de línea se distingue del control de calidad en línea, ya que este último asegura la calidad en base a una corrección de defectos; gastando más dinero que el que se puede ahorrar con la prevención de defectos.

Debido a la importancia del diseño de productos y procesos, el control de calidad debe empezar con el primer paso en el control del producto. Los métodos del control de calidad fuera de línea son usados para mejorar la calidad del producto y su manufacturabilidad y así reducir el desarrollo del producto, su manufactura y los costos de vida. En este sentido la palabra control lleva un sentido más amplio, en el que se incluye la planeación de calidad y el mejoramiento de la calidad.

Un control de calidad efectivo requiere de los métodos

de control de calidad fuera de línea para que se enfoque en el mejoramiento de la calidad, más que en la evaluación de la calidad. Sin embargo, la función principal de este método es la evaluación de la calidad. Es como un termómetro, en que indica que la temperatura del paciente es muy alta, pero no es un medicamento.

Como una característica de funcionamiento, todos los parámetros de especificación del producto y proceso debe establecerse en términos de los valores ideales y las tolerancias alrededor de ese valor ideal. Es ampliamente usado en la industria, establecer esas especificaciones en términos sólo de los intervalos de tolerancia. Pero esta práctica puede algunas veces engañar al fabricante al producir productos cuyos parámetros están apenas dentro de los intervalos de tolerancia. Tales productos son de una calidad baja. Aún si todos los parámetros de un producto están dentro de los intervalos de tolerancia, el producto puede no funcionar satisfactoriamente debido a la interdependencia de los parámetros. Por ejemplo, si el tamaño de una puerta de un carro está cerca del límite de tolerancia inferior o está cerca del límite de tolerancia superior, la puerta puede no cerrar propiamente, ya que puede quedar muy floja o tenga problemas al cerrar por estar muy apretada. El funcionamiento de un producto es el mejor cuando todos sus parámetros son los valores ideales. Por lo tanto, el conocimiento de los valores

ideales de un producto o proceso encaminan hacia un continuo mejoramiento de la calidad.

Debido a esto Taguchi ha introducido tres pasos para asignar los valores nominales y tolerancias de los parámetros del producto y los procesos: diseño de sistemas, diseño de parámetros y diseño de tolerancias.<sup>6</sup>

#### Diseño de sistemas (Diseño primario o diseño funcional)

Este es el proceso de aplicar el conocimiento científico e ingenieril para producir un diseño de un prototipo básico funcional. El modelo prototipo define el conjunto inicial de parámetros del producto y el proceso. El diseño de Sistemas requiere del entendimiento de las necesidades del cliente y el medio de manufactura. Un producto no puede satisfacer las necesidades del cliente a menos que se diseñe para satisfacerlas. De forma análoga, el diseño de la manufactura requiere del entendimiento del medio de manufactura. En este paso es donde sobrevive la tecnología adecuada y se pregunta, por ejemplo, qué clase de circuitos pueden ser usados para convertir la corriente alterna a corriente directa, o qué reacción química puede ser usada para producir un de

6 Genichi Taguchi, "Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes", Asian Productivity Organization, 1988, pág. 76.

terminado producto químico. Es una investigación de la mejor tecnología disponible.

#### Diseño de parámetros

Esta es el proceso de identificar el conjunto de parámetros del producto o proceso para reducir la susceptibilidad en el diseño de ingeniería a las fuentes de variación. Después de que el diseño de sistema fue establecido, los niveles óptimos de los sistemas de parámetros tienen que ser definidos. Este paso trata con una investigación y desarrollo en base al diseño experimental, es identificar las causas que ocasionan que no se llegue al valor nominal y realizar los experimentos aislando todos los factores y sus niveles, para ver cual de todos ellos o con que combinación se llega al valor nominal o se tiene menos desviaciones. No se trata de ajustar al valor nominal, técnica que es muy usada en los procesos de manufactura y no en el diseño de procesos. A este término de ajuste o modificación se le conoce como calibración. Este sistema trata que cuando después de haber identificado la mejor tecnología de la literatura se diseña en base a qué es lo óptimo, construir el prototipo y si la salida se desvía del nivel objetivo hay que hacer las correcciones necesarias manejando todos los factores hasta obtener la salida nominal. Se trabaja con una meta, el diseño de un producto o proceso con una alta confiabilidad y estabilidad. No es el paso en el cual encontramos la combinación de los nive

les de parámetros que reduce el efecto del ruido interno. El diseño de todos los ruidos para obtener una salida constante. Este es el paso central en la investigación del diseño que responde al llamado diseño de productos y procesos que exhibe un alta confiabilidad bajo un alto grado de condiciones, a pesar del uso de una alta variabilidad y materiales y partes fáciles de deteriorar.

Estos son exactamente las ayudas del diseño experimental. Estudiando un gran número de factores y escoger la combinación óptima de niveles de factores. La base de un buen resultado en el diseño experimental es seleccionar las características objetivo y tener en mente los factores que la afectan. Esta es una buena medida del control de calidad donde la materia prima y sus componentes tienden a ser altamente variables, el diseño de parámetros debe buscar un alto grado de estabilidad. Si el producto o proceso puede ser diseñado para que sus características de salida sean resistentes a los ruidos externos e internos, entonces funcionarán satisfactoriamente a pesar de la variabilidad de sus partes componentes y sus costos además serán bajos. [Este es la idea de tener identificadas las tres fuentes de ruido.

El éxito del diseño experimental es el diseño secundario de procesos de encontrar la combinación óptima en los niveles de los parámetros. Es la razón de que muchos fabricantes producen productos de calidad inferior a pesar de su co



nocimiento de la literatura y uso de tecnologías de países altamente industrializados, es que sus ingenieros no experimentan. Ciegamente aceptan los parámetros dados en la literatura o de las especificaciones de sus socios más avanzados".<sup>7</sup>

#### Diseño de tolerancia.

Esta es el proceso de determinar las tolerancias alrededor del conjunto de valores nominales identificados por el diseño de parámetros. "Es una práctica común en la industria asignar las tolerancias por convención más que científicamente. Las tolerancias que son muy estrechas aumentan los costos de manufactura y las tolerancias que son muy amplias aumentan la variación funcional".<sup>8</sup>

Aquí los factores ambientales deben ser considerados junto con los parámetros del sistema. Asignamos todos estos factores en un arreglo ortogonal con niveles que reflejan su variabilidad de sus valores medios para encontrar el alcance del impacto en las características de salida.

Ahora estamos tratando de controlar los factores de ruido y mantenerlos dentro de tolerancia estrecha para que no aumenten los costos. Esto es porque cada esfuerzo posible -

7 Genichi Taguchi. Op. cit, pág. 70.

8 Raghur H. Eckler "Taguchi Quality Philosophy: analysis and Commentary" Quality-Progress, Dic. 1986, pág. 27.

debe ser hecho a incorporar medidas de diseño de calidad en el paso del diseño de parámetros. Por lo tanto, el diseño de las tolerancias involucra un cambio entre las pérdidas del cliente debidas a la variación funcional y el aumento de los costos de manufactura.

Con la calidad fuera de línea las partes componentes y los ensamblajes manufacturados alrededor del valor objetivo, no requieren de muchos ajustes. Como resultado de esto todo funciona bien, todo encaja y se ve bien; y los aumentos en productividad se realizan porque nadie tiene que ajustar las partes o afinar los ensamblajes. Además de que hay una ausencia de quejas de los clientes y sus correspondientes costos de garantía.

Como resultado de esta metodología las empresas deben ser más agresivas en capacitar a sus trabajadores, desarrollar a sus proveedores, al mismo tiempo que la administración trabaja en reducir la variabilidad de los procesos como una disciplina ofensiva para así tener ganancias en los costos y la calidad. "...Todos los empleados y proveedores deben empezar a pensar en la calidad de los productos y servicios no sólo en el sentido del cliente, sino también a la calidad de los procesos que los producen. De esta forma, debemos enfocar nuestros métodos a reducir la variabilidad de las salidas de los procesos, y no a cumplir con las especificaciones. Necesitamos un compromiso de calidad que abarque una integri

dad total del producto, diseños de alta calidad, una mano de obra superior interpretada desde el punto de vista del cliente soportada con un esfuerzo para reducir la variabilidad dentro de nuestros procesos. Es importante, que nuestras metas deben estar basadas en una filosofía de un mejoramiento que nunca termine".<sup>9</sup>

---

9. Donald E. Petersen, President of Ford Motor Company, "Internal Ford Communication dated March 3 1983". Quality Progress, 1984, pág. 24.

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO DE PARÁMETROS

#### 4.1 El diseño de parámetros

El diseño tradicional de experimentos consiste en el diseño de sistemas, en el que se simula y se prueba un sistema basado en cierta tecnología y una función deseada usando valores nominales establecidos; y el diseño de tolerancia que determina la variación permitible de los valores nominales establecidos durante el diseño del sistema, a través del análisis, prueba y consideración de la habilidad de los sistemas de manufactura.

Las contramedidas para reducir los efectos de los factores de ruido son acciones que se toman para negar efectos no deseados. En muchos casos las acciones tomadas para reducir la probabilidad de fallas pasadas o que están por ocurrir en el sistema ocasionan un aumento en el costo de diseño. De la misma forma las contramedidas aplicadas en el diseño de tolerancias también aumentan su costo.

La metodología desarrollada por Taguchi para crear un producto más robusto, reducir su sensibilidad a la variación

y deterioro con componentes y materiales menos caros que logren su mejor desempeño sin un aumento en los costos es lo que se llama el diseño de parámetros. Es un paso añadido al diseño de procesos que ocurre entre las fases del diseño de sistemas y el diseño de tolerancias. Es como se definió en el capítulo anterior, el proceso de identificar el conjunto de parámetros del producto o proceso para reducir la sensibilidad en el diseño de ingeniería a las fuentes de variación; es identificar las causas que ocasionan que no se llegue al valor nominal y realizar los experimentos involucrando todos los factores y sus niveles para ver cual de todos ellos actúan con que combinación se llega al valor nominal o se tiene menos desviaciones.

Retomando el objetivo de la ingeniería de calidad que es diseñar un producto o proceso estable que se desempeñe con la misma variación bajo todas las condiciones. Esto es descubrir un valor nominal que de la variación más pequeña causada por los factores de ruido. Si es posible teniendo una filosofía de reconocer el hecho de que cuando el nivel de un factor cambia su variancia cambia.

Después de que se decidió que sistema usar, el propósito del diseño de parámetros es seleccionar los niveles óptimos para el sistema de parámetros. Esta es la parte más importante del diseño de procesos porque se puede mejorar la calidad y reducir los costos.

Si el sistema de parámetros varía, el objetivo o salida "y" se desviará del valor nominal, causando una pérdida. La desviación en el valor característico "y", es causada no sólo por la variación en el sistema de parámetros sino también por la variación de las condiciones ambientales. Uno puede controlar la desviación del valor objetivo estableciendo tolerancias estrechas para los valores iniciales y las proporciones de deterioro de los componentes del sistema y sus materiales, pero esto aumenta el costo ya que requiere componentes y materiales de alta calidad y no tiene que ver con las variaciones ambientales.

El propósito del diseño de parámetros es ajustar los niveles paramétricos (valores medios y especificaciones) para que los valores no varíen mucho, aún si el sistema y los parámetros ambientales cambian. Es una búsqueda para los niveles paramétricos en que la característica "y" es estable a pesar del uso de componentes y materiales baratos. La condición más importante para diseñar un producto barato pero bueno es que tiene que ser barato. Empezando con componentes baratos y reduciendo su variabilidad alrededor del valor objetivo sin aumentar el costo, es una técnica avanzada de diseño también conocida como el uso de no linealidad. Esta técnica deja a los factores de error que afectan la salida sin cambio, o aún permiten que varíen más que antes; pero

continúan manteniendo las salidas estables".

En general Taguchi al dar a conocer su metodología se basó en casos prácticos desarrollándolos de una forma teórica a partir de la función de pérdida, explicando conceptos y deduciendo fórmulas según el caso que estuviera tratado, profundizando en conceptos estadísticos que muchas veces dio por conocidos, sin identificar cada etapa del diseño de parámetros en una forma ordenada que facilitara su comprensión.

En este capítulo tratamos de dar una visión amplia y ordenada de dicha metodología, situándonos en el inicio de la identificación de un problema de calidad e irlo resolviendo de una forma en que se llevaría a cabo en la práctica. Todo a través de la introducción de los conceptos teóricos que Taguchi definió para reducir la variabilidad del producto, interpretar sus resultados y reducir la pérdida que ese producto causa a la sociedad.

La metodología del diseño de parámetros consiste en determinar los factores que afectan a una característica de calidad dada. Ver si entre esos factores existe alguna interacción para que por medio de la ayuda de las gráficas líneas o de las tablas para este fin hechas por Taguchi, sig--

---

1. Genichi Taguchi "Introduction to Quality Engineering Designing Quality into Products and Processes" Asian Productivity Organization 1985 pag. 98.

narlos a un arreglo ortogonal y realizar el experimento variando cada factor en sus respectivos niveles. De cada experimento se desprende un resultado obteniendo un valor de calidad dado.

Este valor de calidad puede estar variando alrededor del valor objetivo, determinando por medio del análisis de varianza cual es el factor o los factores que más afectan a la calidad, o sea cual de esos factores presenta más variabilidad alrededor del valor objetivo. Este factor se indica por medio del porcentaje de contribución, que dependerá de que tan alejado esté del cero, implicando que dicho factor en tal nivel crea una desviación de un tanto por ciento alrededor de la meta.

De esta forma se pueden obtener las condiciones óptimas en base a los factores que presenten menos variación, determinando el promedio óptimo del proceso y obtener la pérdida que el producto causa a la sociedad a través de la ecuación de la función de pérdida.

## 4.2 Arreglos ortogonales

### 4.2.1 Factores y arreglos ortogonales

Con una perspectiva de calidad, la meta de la experimentación es siempre encontrar los caminos que minimizan la des



viación de las características de calidad del valor meta u objetivo. Esto sólo puede ser hecho identificando esos factores que impactan las características de calidad en cuestión y cambiando los niveles factoriales apropiados para que las desviaciones sean minimizadas. En otras palabras ¿Cuál es el mejor material? ¿Cuál es la mejor presión? ¿Cuál es la mejor temperatura? o ¿Cuál es la mejor fórmula química -- o el ciclo de tiempo, etc., que operará en combinación con otras para producir la salida deseada, ya sea longitud, ancho, durabilidad o menos imperfecciones? Para ganar una visión de lo que hace la experimentación, un factor se cambia mientras los otros permanecen constantes. El diseño experimental factorial permite a los efectos de numerosos factores ser investigados al mismo tiempo. Las variables cuyos efectos están siendo investigados se llaman factores y los valores asumidos por esos factores se llaman niveles.

Para ejemplificar el caso de los factores y sus niveles está el caso de los paneles de rejillas abiertas que son enviados a las plantas de ensamble de una industria automotriz desde los proveedores y ensamblados en el carro antes del proceso de pintura.<sup>2</sup> Las imperfecciones de la superficie en el acabado de la pintura causaba una baja capacidad de aproximadamente 77% para una planta de ensamble. El hecho de que

<sup>1</sup> D. E. Goodman "Mejoramiento del Proceso de Lámina Moldada"

<sup>2</sup> D. E. Goodman "Mejoramiento del Proceso de Lámina Moldada" Chrysler Motor Engineering.

las imperfecciones no fueron detectadas hasta que los componentes fueron embarcados, ensamblados y pintados creando serios efectos concernientes a la productividad para las plantas ensambladoras y el proveedor.

Después de estudiar las causas que producían la porosidad en los paneles se determinaron por medio de un diagrama causa-efecto (fig. 4.1) las causas de la mala calidad.

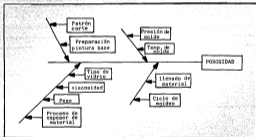


Figura 4.1

Diagrama causa-efecto de la porosidad de los paneles de rejilla

En atención a los efectos principales se escogieron cinco como los factores que afectaban al experimento teniendo cada uno de ellos dos niveles como se muestra en la tabla 4.1.

FACTOR DE VARIABLE	NO. DE NIVELES	NIVEL 1	NIVEL 2
PRECISION DE HOLOC	2	BAJA	ALTA
TEMPERATURA DE HOLOC	2	BAJA	ALTA
CICLO DE HOLOC	2	BAJO	ALTO
PATRON DE CORTE	2	METODO 1	METODO 2
ESPESOR DE MATERIAL	2	PROCESO 1	PROCESO 2

Tabla 4.1

Los niveles de los cinco factores que más afectan en la calidad

Estos cinco factores son los que más afectan a la cali-

dad del producto, que es la porosidad, y son los que interesarán en el diseño experimental.

El proceso experimental se realiza con un factor a la vez, tras los otros permaneces constantes. Con el caso de la presión, que es uno de los factores que tiene dos niveles, una presión alta y una presión baja, obtendremos un resultado de porosidad con la presión alta y otro resultado de porosidad al trabajar con la presión baja, manteniendo constantes los demás factores.

Si tenemos dos factores A y B y los niveles  $A_1, B_1, A_2, B_2$  sólo tenemos cuatro experimentos. Cuando un tercer factor con 2 niveles es incluido, por ejemplo C, el número total de experimentos es  $2^3$ . Si los ocho experimentos se realizan es posible determinar los efectos principales en la característica de calidad de variación A, B y C también como los efectos en la característica de calidad de la interacción entre esos factores.

La tabla 4.2 muestra un arreglo  $2^3$  y si sólo los efectos principales son los que nos interesan, las cuatro combinaciones marcadas con el asterisco (\*) en la tabla 4.3, se seleccionan y al arreglo mostrado en la tabla 4.4, se le llama arreglo ortogonal.

	B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>	
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
A <sub>1</sub>				
A <sub>2</sub>				

Tabla 4.2 Arreglo 2<sup>3</sup>

	B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>	
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
A <sub>1</sub>	+			+
A <sub>2</sub>		+	+	

Tabla 4.3 Arreglo 2<sup>3</sup>

EXP. NO.	A	B	C	RESULTADO
1	1	1	1	Y <sub>1</sub>
2	1	2	2	Y <sub>2</sub>
3	2	1	2	Y <sub>3</sub>
4	2	2	1	Y <sub>4</sub>

Tabla 4.4 Arreglo ortogonal L<sub>4</sub>(2<sup>3</sup>)

El arreglo ortogonal es un despliegue de experimentos que muestran las condiciones experimentales. En la tabla 4.4, el experimento 1, fue hecho con todos los factores a nivel 1; A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub> y la respuesta fue Y<sub>1</sub>. El experimento 2 fue hecho con el factor A, en el primer nivel A<sub>1</sub>, y con los factores B y C, en el segundo nivel y su respuesta fue Y<sub>2</sub>.

La misma consideración es hecha para el experimento 3 y 4.

El símbolo " $L_n(b^c)$ " es usado para representar un arreglo ortogonal donde:

- a = el número de corridas experimentales.
- b = el número de niveles de cada factor
- c = el número de columnas en el arreglo ortogonal.

El término ortogonal significa balance y es una mezcla con el layout experimental de la tabla 4.4, el efecto de A -- puede ser separado de los efectos B y C. Así también el -- efecto B puede ser separado de A y C.

Por ejemplo los factores A, B y C y sus respectivos niveles en un experimento químico son:

A = TEMPERATURA	$A_1 = 200^\circ\text{C}$	$A_2 = 250^\circ\text{C}$
B = ADITIVO	$B_1 = \text{NO}$	$B_2 = \text{SI}$
C = AGITACION	$C_1 = \text{BAJA VELOCIDAD}$	$C_2 = \text{ALTA VELOCIDAD}$

El experimento 1  $A_1 B_1 C_1$  significa que el experimento se corrió a una temperatura de  $200^\circ\text{C}$  sin el aditivo y agitado a una baja velocidad; obteniendo el resultado  $Y_1$ . Del mismo modo el experimento 2 fue hecho a una temperatura de  $200^\circ\text{C}$  con el aditivo y agitado a una alta velocidad; obteniendo el resultado  $Y_2$ .

El efecto del factor A se obtiene promediando los resultados en la condición  $A_1$ ; promediando los resultados en la condición  $A_2$  y encontrar su diferencia; entonces,

$$\begin{aligned}
 \text{EFECTO A} &= A_1 - A_2 \\
 &= (A_1 B_1 + A_1 B_2) - 1/2 (A_2 B_1 + A_2 B_2) \\
 &= 1/2 (Y_1 + Y_2) - 1/2 (Y_3 + Y_4) \quad (4.1)
 \end{aligned}$$

De la misma forma se obtienen los efectos B y C

$$\begin{aligned}
 \text{EFECTO B} &= B_1 - B_2 \\
 &= 1/2 (Y_1 + Y_3) - 1/2 (Y_2 + Y_4) \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{EFECTO C} &= C_1 - C_2 \\
 &= 1/2 (Y_1 + Y_4) - 1/2 (Y_2 + Y_3) \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

#### 4.2.2 Definición de ortogonalidad

Los arreglos ortogonales se pueden construir en lugar de "1" y "2" como se usa en la tabla 4.4 con los símbolos "+" y "-" como se usen en la tabla 4.5.

EXP. NO.	A	B	C	RESULTADO
1	-	-	-	$Y_1$
2	-	+	-	$Y_2$
3	+	-	+	$Y_3$
4	+	+	-	$Y_4$

Tabla 4.5 Arreglo Ortogonal  $L_4(2^3)$

Si se tiene una ecuación lineal con coeficiente constante  $C_1, C_2, \dots, C_n$  donde

$$L = C_1 Y_1 + C_2 Y_2 + \dots + C_n Y_n$$

y la suma de los coeficientes sea igual a cero

$$C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = 0$$

entonces la  $L$  se le llama contraste o comparación.

Si se tienen dos contrastes

$$L_1 = C_1 Y_1 + C_2 Y_2 + \dots + C_n Y_n$$

$$L_2 = C_1 Y_1 + C_2 Y_2 + \dots + C_n Y_n$$

La suma de los productos de sus coeficientes correspondientes es igual a cero.

$$C_1 C_1 + C_2 C_2 + \dots + C_n C_n = 0$$

las ecuaciones  $L_1$  y  $L_2$  son ortogonales;

Los arreglos ortogonales representados en conjunto de ecuaciones lineales. Usando las columnas del arreglo ortogonal de la tabla 4.5 para formar una ecuación lineal con  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  donde las  $C_i$  son 1 y el signo de los  $C_i$  son los elementos del arreglo. Se la columna 2 de la tabla 4.5 los signos de los experimentos 1, 2, 3 y 4 son  $-, +, +, -$  por lo que



to, los coeficientes  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  y  $C_4$  resultan  $-1$ ,  $-1$ ,  $+1$  y  $+1$ .

La ecuación lineal de la ecuación A es entonces

$$LA = -r_1 - r_2 + r_3 + r_4$$

Similarmente las ecuaciones lineales de las columnas 2 ó B y 3 ó C son:

$$LB = r_1 + r_2 - r_3 + r_4$$

$$LC = r_1 + r_2 + r_3 - r_4$$

La ortogonalidad de LA y LB se demuestra con la suma de los productos de sus coeficientes correspondientes es igual a CERO.

$$(-1)(-1) + (-1)(1) + (1)(-1) + (1)(1) = 0$$

#### 4.2.3 El arreglo ortogonal $L_4 (2^3)$

El arreglo ortogonal  $L_4 (2^3)$  donde tres factores pueden ser estudiados en cuatro corridas experimentales es raramente usado debido a su facilidad, ya que muchas condiciones experimentales requieren la consideración de un gran número de factores. El siguiente arreglo ortogonal de dos niveles es el  $L_8 (2^7)$ , donde un factor de dos niveles puede ser considerado en ocho corridas experimentales.

El arreglo de la tabla 4.6 es un arreglo ortogonal  $L_8 - (2^7)$  o simplemente arreglo ortogonal  $L_8$ .

FACTOR No.	A	B	C	D	E	F	G	RESULTADOS
1	1	1	1	1	1	1	1	$r_1$
2	1	1	1	2	2	2	2	$r_2$
3	1	2	2	1	1	2	2	$r_3$
4	1	2	2	2	2	1	1	$r_4$
5	2	1	2	1	2	1	2	$r_5$
6	2	1	2	2	1	2	1	$r_6$
7	2	2	1	1	2	2	1	$r_7$
8	2	2	1	2	1	1	2	$r_8$

Tabla 4.6  
Arreglo Ortogonal  $L_8 (2^7)$

Hay ocho renglones que representan ocho experimentos y están numerados del 1 al 8. Los elementos de las siete columnas consisten 1's y 2's. Hay cuatro 1's y cuatro 2's en cada columna. En cada par de columnas hay cuatro combinaciones de 1 y 2 llamadas (11), (12), (21) y (22). Cuando cada una de estas cuatro combinaciones ocurre en igual número de veces en un par dado de columnas, las dos columnas son ortogonales. Para asignar un experimento a la tabla  $L_8$ , el número de factores no puede exceder de siete. Cuando hay más de

ocho factores se deben usar arreglos más grandes. Cuando siete factores (A, B, C, D, E, F, G) con dos niveles cada uno se asignan a un  $L_8$ , ocho experimentos se realizan con ocho combinaciones de  $A_1, A_2, B_1, B_2, \dots, C_1$  y  $C_2$  en lugar de  $128 (2^7)$  experimentos y combinaciones como se muestra en la tabla 4.7.

				A <sub>1</sub>				A <sub>2</sub>			
				B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>		B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>	
				C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
E <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>								
		G <sub>2</sub>									
	F <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>									
		G <sub>2</sub>				F <sub>2</sub>					
E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>							F <sub>5</sub>		
		G <sub>2</sub>									
	F <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>								F <sub>7</sub>	
		G <sub>2</sub>									
E <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>									Y <sub>3</sub>
		G <sub>2</sub>									
	F <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>							Y <sub>4</sub>		
		G <sub>2</sub>									
E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>									
		G <sub>2</sub>									
	F <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>									
		G <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>								

Tabla 4.7

Ocho combinaciones en  $L_8$  y todos los experimentos factoriales

En la tabla 4.7, las ocho combinaciones de los factores A, B, C, D, E, F, G se indican en las celdas con las Y's.

Cualquier experimento se puede acomodar en un arreglo ortogonal, siempre que se verifique su ortogonalidad, implicando esto que hay arreglos de diferentes tamaños. Generalmente, los arreglos ortogonales más frecuentemente usados son: los  $L_9(3^4)$ ,  $L_{16}(2^{15})$ ,  $L_{27}(3^{13})$  y el  $L_{32}(2^{31})$ . Los  $L_{16}$  y  $L_{32}$  son arreglos para factores de dos niveles y los  $L_9$  y  $L_{27}$  son arreglos para factores de tres niveles.

#### 4.3 Interacción y gráficas lineales

La interacción entre dos factores es el término usado para describir la situación donde la condición del factor No. 1 modifica la respuesta debida a la condición del factor No. 2. Los efectos de interacción ocurren en situaciones de producción real. Los efectos de factores con un desigual número de niveles de factores debe ser investigado en el experimento. Estas situaciones a menudo requieren que existan 2 o 3 niveles de series en los arreglos ortogonales y que sean acomodadas en el arreglo ortogonal necesario.

Para entender la representación de los efectos de interacción hay que considerar al diseño de la tabla 4.8, donde  $A_1 B_1$  representa la respuesta a las condiciones A =  $A_1$  B =  $B_1$

y  $A_1 B_2$ , representa la respuesta a las condiciones  $A = A_1$  -  
 $B = B_2$ . Si no hubiera interacción entonces:

$$A_1 B_1 = A_2 B_1 = A_1 B_2 = A_2 B_2 \quad (4.4)$$

	$B_1$	$B_2$
$A_1$	$A_1 B_1$	$A_1 B_2$
$A_2$	$A_2 B_1$	$A_2 B_2$

Tabla 4.3  
 Condiciones de dos factores

Arreglando la ecuación (4.4) para que todos los términos con  $A_2$  sean agrupados juntos y todos los términos con  $A_1$  estén agrupados, tenemos

$$A_2 B_2 - A_2 B_1 - A_1 B_2 + A_1 B_1 = 0$$

La interacción  $A \times B$  es la diferencia entre el efecto de  $B$  en  $A_1$  y el efecto de  $B$  en  $A_2$  entonces

$$\begin{aligned} \text{Interacción } A \times B &= 1/4 (A_2 B_2 - A_2 B_1) - (A_1 B_2 - A_1 B_1) \\ &= 1/4 (A_1 B_1 - A_2 B_2) - (A_1 B_2 - A_2 B_1) \end{aligned}$$

Para un arreglo  $1_0$  la interacción  $A \times B$  se determina por:

$$\begin{aligned} \text{Interacción A x B} &= 1/4 (A_1B_1 + A_2B_2) - (A_1B_2 + A_2B_1) \\ &= 1/4 (Y_1 + Y_2 + Y_7 + Y_8) - (Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6) \end{aligned}$$

Si volvemos a la tabla 7 vemos que el factor C tiene asignado la columna 3 y su efecto es igual al de la interacción A x B.

$$\text{Efecto C} = 1/4 (Y_1 + Y_2 + Y_7 + Y_8) - (Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6)$$

Esto significa que cuando el efecto C se está calculando, también contendrá la interacción de los efectos A x B, y cuando los factores A, B, C se asignan a un arreglo  $L_8$  a las columnas 1, 2 y 3 respectivamente, la interacción A x B será confundida o mezclada con el efecto C. Para no confundir o asignar columnas a una interacción a la que le corresponde un factor se realizan las gráficas lineales.

Las gráficas lineales están hechas de puntos, líneas y números.

- Un punto se usa para indicar el efecto principal.
- Una línea representa una interacción entre los dos efectos principales que se conectan.
- El número asignado a los puntos y líneas indica la asignación de la columna.

En la figura 4.2 se muestra una gráfica lineal en la -



Figura 4.2  
Gráfica Lineal de  $L_9$

que hay cuatro efectos principales representados por los puntos 1, 2, 4 y 7 y tres interacciones (1 x 2), (2 x 4) y (1 x 4). Al asignarse el experimento a un arreglo ortogonal  $L_9$  implica que los efectos principales van a ir en la columna 1, 2, 4 y 7; la interacción entre las columnas 1 y 2 va en la columna 3, la interacción entre las columnas 1 y 4 va en la columna 5 y la interacción entre las columnas 2 y 4 va en la columna 6.

En general se puede decir que para asignar un experimento a un arreglo ortogonal se siguen cinco pasos:

- 1.- Basado en lo requerido contra los grados de libertad requeridos, escoger el arreglo ortogonal a analizar.
- 2.- Para cada columna escribir la expresión para la columna del efecto principal en términos del resultado  $y$ .
- 3.- Representar en términos del resultado el efecto

to de interacción de la combinación de cada -  
 dos columnas.

- 4.- Comparar los resultados de los pasos 2 y 3.- -  
 cuando la expresión del efecto principal (paso 2)  
 y la expresión para la interacción (paso 3)  
 sean idénticos, los efectos se confundirán.
- 5.- Usando la información de los pasos anteriores  
 hay que hacer la asignación de los efectos - -  
 principales y de las interacciones al arreglo  
 ortogonal.

Esta tediosa labor en determinar para cada arreglo ortog-  
 onal que columnas se confunden con cada interacción fue he-  
 cha por Taguchi, identificandolas en una serie de tablas, -  
 una específica para cada arreglo ortogonal. Estas tablas se  
 muestran en el apéndice. La tabla 4.9 es un ejemplo de di-  
 chas tablas.

Los números arriba de la tabla corresponden al número -  
 de la columna en el arreglo. Los números en el paréntesis -  
 al principio de cada renglón representa el número de la co-  
 luma con el cual está interactuando. El número en el ele-  
 mento identificado por el cruce de estos dos números de co-  
 luma por ejemplo 3, 4 es la columna cuya interacción (3 x 4)  
 es confundida, columna 7. Esta tabla ahorra tiempo en el di-  
 seño experimental.



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

Tabla 4.3

Interacción entre dos columnas para el arreglo L.

#### 4.4 Análisis regular

##### 4.4.1 Suma total de los cuadrados

Asociado con cada producto hay características de calidad que definen que también el producto realice sus funciones. Estas características de calidad pueden ser longitudes, anchos, viscosidades, flexibilidad del material, voltaje de salida, etc. En cada caso existen estándares por los cuales estas características tienen que ser medidas. Cuando una característica se desvía de este estándar o valor objetivo, ocurre una pérdida. La pérdida que puede ser el costo del fabricante por desperdicio, reparación o garantía del produc

es o el costo que el cliente tiene al tener un producto defectuoso se definió anteriormente por

$$L(x) = \frac{\text{PÉRDIDA DEBIDA A LA PRODUCCIÓN DE UN DEFECTO}}{(\text{Tolerancia}/2)^2} \times \text{MOC}$$

En esta ecuación la pérdida debida a la producción de un defecto es la pérdida al cliente, MOC es la media de la desviación cuadrática y la (tolerancia/2)<sup>2</sup>

es la  $\Delta$  en la especificación  $M \pm \Delta$ .

En el análisis el valor meta u objetivo es una cantidad paramétrica identificada como el estándar contra el cual todas las medidas o cálculos del mismo parámetro se deben evaluar. El valor meta no está limitado a un valor específico identificado por una actividad de diseño como el valor paramétrico que optimiza la efectividad del producto o su función. El valor objetivo o meta será representado por  $T_0$ .

Al tener ya identificadas y asignadas cada una de los efectos principales y sus interacciones, si las hay, en un arreglo ortogonal como el de la tabla 4.10 se realiza el experimento obteniendo un resultado.

Esto es, se realiza el experimento 1 con los factores A, B, C, en su primer nivel obteniendo el resultado  $r_1$ , el experimento 2 se realiza con el efecto A en el primer nivel

EXP. NO.	A	B	C	RESULTADO
1	1	1	1	$Y_1$
1	1	2	2	$Y_2$
3	2	1	2	$Y_3$
4	2	2	1	$Y_4$

Tabla 4.10  
Arreglo  $L_4 (2^3)$

y los efectos B y C en el segundo obteniendo un resultado  $Y_2$ . Así sucesivamente hasta obtener las 4 muestras. Entonces tenemos que:

$Y_1 = Y_1 - Y_0$  desviación de la primera muestra de valor objetivo.

$Y_2 = Y_2 - Y_0$  desviación de la segunda muestra del valor objetivo.

$Y_n = Y_n - Y_0$  desviación de la  $n$ -ésima muestra del valor objetivo.

tenemos:

$$S_c = Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2 \quad (4.7)$$

que se le llama la Suma Total de los cuadrados de las desviaciones del valor objetivo  $Y_0$ .

Los grados de libertad, un entero asociado con la esta

dística, es el número de los cuadrados independientes disponibles de la estadística asociada. Si los datos obtenidos de  $n$  muestras son usados para estimar la suma total de los cuadrados de las desviaciones del valor objetivo, el valor  $S_2$  se calcula por la ecuación (4.7). Si hay  $n$  cuadrados independientes, el número de grados de libertad denotados por  $f$  es igual a  $n$ .

La varianza por su parte se define como la suma total de los cuadrados de las desviaciones del parámetro de un valor específico dividida por los grados de libertad  $f$ . La varianza algunas veces se le llama a la media al cuadrado y se denota por

$$V = \frac{S_2}{f} \quad (4.8)$$

#### 4.4.2 Análisis de Varianza

Cuando en un experimento hay diferentes factores que afectan a una característica de calidad dada, el análisis de varianza es una forma sistemática de evaluar estadísticamente los datos experimentales. Matemáticamente, los cálculos del análisis de varianza son la representación de la magnitud de variación en una forma cuadrática. El objetivo de este análisis es descomponer la suma total de los cuadrados en todas sus fuentes de variación. Los datos tienen que ser colectados de tal manera que esas fuentes de variación sean

identificadas. La definición de qué datos hay que coleccionar y las condiciones bajo las cuales los datos tienen que ser coleccionados es el diseño del experimento.

Un diseño experimental efectivo requiere que el ingeniero de calidad identifique los factores que necesitan identificación. Sin este paso, la probabilidad de que con el diseño de experimentos se obtengan resultados satisfactorios es pequeña.

Todos los resultados que matemáticamente se obtienen al hacerse el análisis de varianzas se resumen en la tabla ANOVA 4.11, que al final tendrá como resultado el porcentaje en que cada factor contribuye a una mayor desviación del valor objetivo, y que se explicará como ir completándola.

Si todos los valores de las características de calidad fueran iguales al valor meta, todos los  $(T_j - T_g)$  serían ceros;  $S_e$  en la ecuación 4.7 sería también cero y la pérdida - también sería cero. Pero si el valor de la característica de calidad fuera diferente al valor meta, todas las pérdidas serían causadas por la desviación de la producción media de  $T_0$ .

Suponiendo, por otro lado, que las medidas obtenidas en las características de calidad se media  $T$  hubiera sido igual al valor objetivo  $T_g$ . En este caso, no se hubiera necesita-

FUENTES DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	VARIANZA	RAZON DE VARIACION	VALOR ESPERADO	SUMA NETA DE LOS CUADRADOS	PORCENTAJE DE CONTRIBUCION
	$f$	$S$	$V$	$F$	$E(\mu)$	$S^2_{\mu}$	$\mu^2$
MECIA	1	$S_{\mu}$	$V_{\mu}$	$F_{\mu}$	$\bar{y} + n\mu^2$	$S^2_{\mu}$	$\mu_{\mu}$
FACTOR A	1	$S_A$	$V_A$	$F_A$	$\bar{y} + \frac{1}{n} \sum \sigma^2 A^2$	$S^2_A$	$\mu_A$
ERROR (e)	$n-2$	$S_e$	$V_e$		$\bar{y} - \sigma^2$	$S^2_e$	$\mu_e$
TOTAL	$n$	$S_T$				$S^2_T$	100.00

Tabla 4.11

Tabla Anova

de ningún ajuste en la producción. Sin embargo, los valores de las características de calidad estarían variando arriba o abajo del valor meta ocasionando una variabilidad "Las medidas necesarias para minimizar tal variabilidad alrededor de la meta no serían las mismas medidas que se requerirían para ajustar al promedio o media del valor objetivo".<sup>3</sup>

La divergencia de la característica de calidad con respecto al valor objetivo es debida a la combinación de la desviación de la producción media al valor objetivo y la variación de las características de calidad de la producción individual con respecto a la producción media.

De la ecuación 4.7

$$s_T^2 = \gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \dots + \gamma_n^2$$

y usando la definición de  $\gamma_i$

$$s_T = \sum_{i=1}^n |\gamma_i - \gamma_0|^2$$

$$s_T = \sum_{i=1}^n |\gamma_i - \bar{\gamma} + \bar{\gamma} - \gamma_0|^2$$

$$s_T = \sum_{i=1}^n [(\gamma_i - \bar{\gamma}) + (\bar{\gamma} - \gamma_0)]^2$$

$$s_T = \sum_{i=1}^n [(\gamma_i - \bar{\gamma})^2 + 2(\gamma_i - \bar{\gamma}) + (\bar{\gamma} - \gamma_0)^2]$$

$$s_T = \sum_{i=1}^n |\gamma_i - \bar{\gamma}|^2 + n(\bar{\gamma} - \gamma_0)^2 \quad (4.8)$$

3. Tsui Wu "Quality Engineering Product, Process Design Optimization" American Supplier Institute Inc. 1988 pág. 57.

Sea  $m$  la desviación de la media de los datos de la meta

$$m = Y - Y_0$$

$Y$  como en la estadística la varianza,  $\sigma^2$  de  $n$  datos

$Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  con media  $\bar{Y}$  se define como

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n} \quad (4.11)$$

Usando las ecuaciones (4.10) y (4.11) en la ecuación (4.9) el valor esperado de  $S_T$ , denotado por  $E(S_T)$  es:

$$E(S_T) = n \sigma^2 + n m^2 \quad (4.12)$$

Por lo tanto, la suma de los cuadrados de las desviaciones del valor objetivo es  $n$  veces el estimado de  $m^2 + \sigma^2$ , donde  $n$  es el número de observaciones.

En el caso en que todas las desviaciones del valor objetivo por exactamente la misma cantidad,  $n, S_T$  es el estimado de  $n m^2$ . Por el otro lado, en que la media es igual a  $Y_0$ ,  $S_T$  es un estimado de  $n \sigma^2$ . Como previamente se dijo, en muchos casos,  $S_T$  incluye las contribuciones de ambas, la desviación de la media del valor objetivo y la variación alrededor de la media. La pérdida es causada por la desviación de la característica de su valor objetivo, siempre que la característica de calidad se desvía de su mejor valor se requieren tomar medidas para minimizar la desviación. Si la suma to-



tal de los cuadrados de estas desviaciones de  $\bar{Y}_0$  es descontada en sus constituyentes la magnitud de la desviación debido a  $m$ , y la magnitud de la variación debido a  $\sigma^2$  son cuantificadas y las acciones correctivas apropiadas pueden ser implementadas.

Las medidas requeridas que reducen la desviación del promedio de la producción del valor meta u objetivo son siempre diferentes de aquellos que reducen la variabilidad. Es necesario descomponer la suma total de los cuadrados,  $S_t$ , en dos partes, el cuadrado de la desviación de la media,  $m^2$ , y el promedio de los cuadrados de las desviaciones  $\sigma^2$  en  $S_m$  y  $S_e$  respectivamente.

$$S_t = (\text{número de datos}) \times (\text{media de las desviaciones del valor objetivo})^2 + (\text{variación individual})$$

$$S_t = S_m + S_e$$

La suma de los cuadrados del promedio de la desviación del valor objetivo  $S_m$  es llamado la variación de la media general y está dado por:

$$S_m = (\text{Desviación media del valor objetivo})^2 \times (\text{número de datos})$$

$$S_m = \frac{(\text{Total de desviaciones})^2}{\text{número de datos}} \quad (4.13)$$

La variación de la diferencia individual es llamado el

error de la suma de los cuadrados y es obtenida de restar la variación de la media general  $\bar{y}_m$  del total de la suma de cuadrados  $S_T$ .

$$S_e = S_T - S_m \quad (4.14)$$

Por lo tanto, de la suma total de los cuadrados de las desviaciones del valor objetivo,  $S_m$  es debido a la variación de la media general del valor objetivo y  $S_e$  es debido a la variación de las medidas individuales alrededor de la media.

Al tener un factor A con "a" niveles  $S_A$  puede ser evaluado como sigue:

Cuando A tiene "a" niveles y hay  $n_i$  experimentos en cada nivel.

$$S_A = \frac{(\text{total de } A_1)^2}{n_1} + \frac{(\text{total de } A_2)^2}{n_2} + \dots + \frac{(\text{total de } A_a)^2}{n_a} - \frac{[\text{TOTAL de } A_1, A_2, \dots, A_a]^2}{n_1 + n_2 + \dots + n_a} \quad (4.15)$$

y la suma total de los cuadrados de las desviaciones se descompone en  $S_m$ ,  $S_A$  y  $S_e$

$$S_T = S_m + S_A + S_e \quad (4.16)$$

El valor esperado de la variable  $Y$ , es definido como el

valor de la variable que comúnmente assume  $E(Y)$ . Como se demostró en la ecuación (4.12) que la suma total de los cuadrados  $S_L$  es un estimado de  $n\sigma^2 + m^2$ , el valor que más comúnmente assume  $S_L$  es una función del número de observaciones y tiene un valor esperado de

$$E(S_L) = n(\sigma^2 + m^2)$$

del mismo modo tenemos

$$E(S_M) = \sigma^2 + n m^2$$

y

$$E(S_E) = E(S_L - S_M) = (n-1) \sigma^2$$

Como la varianza es  $V = \frac{S}{P}$

$$E(V_L) = \sigma^2 + m^2$$

$$E(V_M) = \sigma^2 + n m^2$$

$$E(V_E) = \sigma^2 \quad (4.17)$$

El error de la varianza  $V_E = \sigma^2$  es el estimado de las diferencias individuales.

En general, la magnitud de la diferencia individual está incluida en cada suma de cuadrados en proporción a los grados de libertad. Por lo tanto, cada varianza que es la suma de cuadrados divididos por los grados de libertad incluye una porción del error de la varianza.

Como  $S_m$  es una porción de error de varianza  $S_m$  menos es el error de varianza es el error neto de la magnitud real de la desviación promedio. A la diferencia  $(S_m - \bar{y}^2)$  se le llama la suma neta de cuadrados y se le denota por  $S'_m$ . La porción de la varianza del error removida de  $S_m$  a la forma  $S'_m$  es añadida al error de la suma de los cuadrados a la forma de la suma neta de cuadrados de los errores  $S'_e$ .

$$S'_m = S_m - \bar{y}^2 \quad (4.18)$$

$$S'_e = S_e + \bar{y}^2 \quad (4.19)$$

La misma consideración que se tomó para obtener  $S'_m$  se tiene para obtener  $S'_a$ :

$$S'_a = S_a - \bar{a}^2 \quad (4.20)$$

La suma neta de los cuadrados  $S'_m$ ,  $S'_a$  y  $S'_e$  dividida por la suma total de los cuadrados  $S'_t$  y multiplicada por 100 se le llama porcentaje de contribución y se les denota por  $\rho_m$ ,  $\rho_a$ , y  $\rho_e$ .

Si la media de la característica de calidad en un proceso de manufactura se ajusta a que concuerde con el valor objetivo, el porcentaje de contribución de la media  $\rho_m$  llega a ser cero y el promedio del cuadrado del error de la calidad del producto concuerda con la varianza del error.

Es una de las metas del control de calidad ajustar el

promedio del nivel de calidad de cada característica de calidad a su valor objetivo, reducir el porcentaje de contribución  $\rho$  a cero. Por lo tanto, y como se habla dicho al inicio de este inciso el porcentaje de contribución es el resultado que hay que observar con más detalle es el análisis de varianzas, ya que entre más alejado esté del cero hay una desviación más grande alrededor del valor objetivo. A ese factor cuyo porcentaje de contribución es grande, es con el que hay que trabajar para que haya menos variabilidad en nuestro producto.

Una forma de que los resultados sean aceptados conforme lo obtenido en ANOVA y de que sean reproducibles es por medio de la prueba de significancia. Las pruebas - F - se usan para determinar estadísticamente si los contribuyentes en que la suma total de los cuadrados es descompuesto son significantes con respecto a los componentes que todavía quedan en el error de varianzas. La prueba de significancia se estaba usando para calcular las contribuciones individuales para determinar si  $Y_m$  y/o  $Y_a$  pueden ser considerados para ser más grandes que el error de varianzas.

Las razones de F son

$$F_m = \frac{Y_m}{Y_e} \quad (4.21)$$

$$F_a = \frac{Y_a}{Y_e} \quad (4.22)$$

y los valores obtenidos son entonces comparados con los valores de  $F$  de las tablas  $F$  del apéndice en que  $F = F(k, j)$  donde  $k$  y  $j$  son los grados de libertad del numerador y el denominador de las razones respectivas de  $F$  y  $\alpha$  es el nivel de significancia.

Si el efecto sobre la variación total de la media general, el valor calculado de  $F$ , probablemente será el mismo o menor que el correspondiente valor de  $F$  en la tabla  $F$ .

La expresión probablemente sea reemplazada por los niveles numéricos específicos, (usualmente 5% a 1%) dependiendo de que tabla  $F$  sea usada. Si la existencia de  $m \leq A$  se afirman porque los valores de  $F_m$  ó  $F_A$  obtenidos de los datos es más grande que los valores de la tabla  $F$  una conclusión incorrecta resulta un máximo de 5 de 100 veces.

El número 55, se le llama nivel de significancia. Cuando las razones de varianzas  $F_m$  ó  $F_A$  son más grande que el valor de  $F$  en el nivel de 5% y más pequeñas que el valor de  $F$  en el nivel de 1%, el efecto es llamado significativo en el nivel de 5%. (En este caso, se acostumbra poner un asterisco "\*" al valor en la columna de razón  $F$  en la tabla de análisis de varianzas y dos asteriscos son usados cuando el efecto es significativo en el nivel de 1%.

#### 4.4.3 El estimado de los efectos factoriales y de las condiciones óptimas

Como se vio el análisis de varianza se usa para identificar las fuentes que tienen un impacto significativo en una característica específica de calidad y en la medida de lo posible estimar la magnitud de esos efectos.

El símbolo " $\hat{\mu}$ " puesto arriba de algún valor (ej.  $\bar{m}$ ) indica que el valor es un estimado. Para una media general la ecuación que mejor estima la media es:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n)$$

conociéndose que entre mayor es el número de observaciones,  $n$ , el mejor valor  $\hat{\mu}$  da un valor más cercano de la media. De hecho la exactitud en que  $\hat{\mu}$  estima  $\mu$  es analíticamente representada por un intervalo de confianza:

$$\mu = \hat{\mu} \pm I. C. \quad (4.23)$$

$$I. C. = \sqrt{\frac{F_{\alpha}(1, J) \cdot V_e}{n}}$$

$F_{\alpha}(1, J)$  es el valor  $F$  de la tabla en un nivel de significancia  $\alpha$ , para 1 e  $J$  grados de libertad;

$V_e$  = es la varianza del error

$n$  = es el número de veces que se realizó el experimento.

El siguiente paso es determinar las condiciones en que se obtiene el mejor rendimiento. Pero hay que hacer notar, que no siempre las condiciones óptimas son las que dan el mejor rendimiento, sino las que dan las mejores utilidades. El rendimiento de esas condiciones se convierten en pesos y el nivel que resulta en la mayor diferencia entre el valor de la cantidad producida y el costo es la seleccionada.

Por ejemplo, uno de los factores en un experimento es la temperatura en la que tiene dos niveles en  $A_1 = 200^{\circ}\text{C}$  y el  $A_2 = 250^{\circ}\text{C}$ . Después de determinar que el nivel  $A_2$  es una condición óptima para obtener una mejor característica de calidad hay que ver si también económicamente esta condición es factible. Porque para trabajar con una temperatura de  $250^{\circ}\text{C}$  es más caro debido a que se tiene que usar más combustible para lograrlo y ese aumento de combustible hace que nuestro costo sea mayor que el usar la temperatura de  $200^{\circ}\text{C}$ . O simplemente en base al costo del combustible es indistinto trabajar con una temperatura de  $200^{\circ}\text{C}$  ó  $250^{\circ}\text{C}$ , ya que nuestro costo no aumenta demasiado el usar una temperatura u otra.

Ya que se tienen seleccionadas las condiciones óptimas, el promedio óptimo del proceso se estimará con la siguiente ecuación.

$$\bar{\mu} = \bar{A} \sqrt{F_{\alpha}(1, J)} \sqrt{V_e + \frac{1}{n}} \quad (4.24)$$



donde  $\mu$  es el estimado del promedio del proceso cuando las condiciones óptimas fueren seleccionadas.

$\mu$  = (Medio de todos los datos,  $\bar{T}$ ) + (El rendimiento sobre  $\bar{T}$  cuando el nivel  $a$  del factor A es usado) + (El rendimiento sobre  $\bar{T}$  cuando el nivel  $b$  del factor B es usado) + ... + (el rendimiento sobre  $\bar{T}$  cuando el nivel  $a$  del factor H es usado)

$$\mu = \bar{T} + (\bar{A}_a - \bar{T}) + (\bar{B}_b - \bar{T}) + \dots + (\bar{H}_a - \bar{T})$$

$$\mu = \bar{A}_a + \bar{B}_b + \dots + \bar{H}_a - (h - 1) \bar{T}$$

$\sigma_e^2$  = es la variancia del error.

$n_g$  = Número total de experimentos

No. de grados de libertad de los efectos factoriales

El promedio óptimo del proceso  $\mu_o$  es el valor que será usado en la ecuación de la función de pérdida, para determinar que tanto será nuestra pérdida al alejarnos del valor objetivo.

## CAPITULO V

### APLICACION DE LA INGENIERIA DE CALIDAD EN EL DESARROLLO DE UN PLASTISOL

#### 5.1 Antecedentes

Una empresa de la industria química quiere producir un tipo de plastisol para ser proveedor de la industria automotriz. Con ese fin, la empresa firmó un contrato de asistencia técnica con una empresa alemana. La asistencia técnica consiste en la colaboración de un técnico alemán dentro de la Compañía para ayudar a resolver los problemas que se presenten durante la elaboración de ese plastisol en México. Este se producirá con materias primas nacionales y un contrato, elaborado en Alemania, que es uno de los componentes principales para la producción del plastisol.

Al tener el respaldo de la empresa alemana, una planta ensambladora de autos aceptó trabajar junto con la empresa química, para así poder desarrollar el plastisol, en base a las especificaciones propias del proceso. La obtención del plastisol será de beneficio para la planta ensambladora, ya que podrá trabajar de una manera similar a la Compañía matriz en Europa, con varios proveedores, para que en el momento

to es que el producto no cumpla los estándares de calidad, se sustituya por el producto de la competencia. De esta forma, la planta aquí en México, trabajará con dos proveedores en vez de hacerla con uno sólo como lo ha venido haciendo.

## 5.2 El producto y el proceso

El plastisol es una pasta a base de suspensiones de PVC líquidas en plastificantes, que se usan para el recubrimiento de las partes bajas de un vehículo automotriz. Sirve también como un medio de unión, principalmente en las láminas, para evitar la corrosión y la entrada de agua.

Las principales materias primas son:

a) PVC, es un tipo de resina en forma de polvos que tiene como propiedad hacer galar el producto y con una determinada cantidad de plastificante le dará diferentes viscosidades. Hay unos tipos de suspensiones que tienen partículas más grandes con superficies más pequeñas que no pueden absorber tanto plastificante y hacer que la viscosidad sea más baja. Normalmente, el tipo de PVC que se usa son polvos de emulsión. En la fórmula se puede usar un tipo de suspensión hasta el 40%, haciendo que la viscosidad baje y evita que haya partículas grandes para facilitar su aplicación.

100% Plastificantes

100% PVC emulsión



Alta Viscosidad

100% Plastificante

80% PVC emulsión



Baja Viscosidad

80% PVC suspensión

b) Plastificante, es un aceite de desiloftalato que tiene la tarea de que el producto tenga elasticidad y que junto con el PVC forme una pasta. Cuando hay más cantidad de plastificante dentro del producto éste es más suave y su viscosidad va a ser baja.

c) Cargas, generalmente el tipo de carga que se usa es el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), dándole al producto final una adherencia determinada, cierta dureza y dependiendo del tipo de partícula, varía su viscosidad. Si la partícula es fina se absorbe más cantidad de plastificante y la viscosidad es más alta. Con el tipo de Carbonato de Calcio natural la viscosidad que se obtiene es baja y con el Carbonato de Calcio precipitado se tiene una viscosidad alta.

Estas materias primas son las más relevantes y junto a las que abajo se listan se utilizan para producir el plástico.

Colorantes

Estabilizadores

Promotor de Adherencia

El proceso de fabricación del plastisol es el que se muestra en la figura 5.1



Figura 5.1

#### Proceso de fabricación del plastisol

La mezcla de las materias primas se hace con una mezcla dorada que trabaja al vacío para sacar el aire del producto y evitar que después se formen burbujas.

Primero se mezclan las partes líquidas como el concéntrico y el plastificante, después las partes sólidas como el PVC, las cargas y los pigmentos hasta que se obtenga una pasta homogénea.

Una vez que se ha obtenido la masa homogénea se almacena por dos o tres días para no tener un cambio en la viscosidad del producto; verificando después sus propiedades, ajustando la viscosidad con gas nitrógeno para que el producto esté

con sus propiedades ajustadas se filtra por medio de una bomba sin aire hacia un filtro que le quita los aglomerados al producto que ocasionan obstrucciones durante la aplicación.

Antes del envasado se prueba el producto por medio de una bomba y una pistola para verificar dentro de la planta las propiedades del producto durante la aplicación. El plastisol después se envasa en tanques de 300 Kg. y se envía a la planta ensambladora aplicándolo en el automóvil antes del proceso de pintura. La aplicación se hace por medio del sistema Airless, que consiste en aplicar el plastisol por medio de una pistola con bomba a presión a través de boquillas finas hasta de 0.3 mm. Es importante que el plastisol tenga una baja viscosidad y que después de la aplicación tenga un buen punto de flujo para evitar el escurrimiento.

La planta ensambladora quiere que el plastisol que el proveedor le envía, cumpla con los estándares de calidad que ella determina, porque son los que se apegan a las características de su proceso de pintura. Esos estándares de calidad son los siguientes:

#### Especificación para Plastisol Espreable.<sup>1</sup>

Color: Blanco

1 Fuente: Volkswagen de México, Depto. de Desarrollo de Nuevos Productos y Control de Calidad.

Densidad: 1.35 - 1.45 gr/ml a 20°C

Viscosidad: 2000 mPa s Rheomat 113 punto 12

Almacenamiento: No debe presentar cambio por 3 meses.

Lamina: Primario E.C. Catódico y Anódico.

Aplicación: Airless con mínimo overspray

Espesor de películas: 0.5 a 5µm. sin escurrimiento

Curado: a) Curado total a través de los hornos de producción de pintura.

b) Curado total bajo condiciones de laboratorio.

15 min. a 100°C

15 min. a 140°C

15 min. a 160°C

15 min. a 180°C

Elasticidad: Duro y elástico en el rango de 35 -60°C

Resistencia a la corrosión: Un ciclo de 8 hrs. de humedad y 16 hrs. al ambiente.

Cámara Salina: 1 mm. de penetración.

### 5.3 Desarrollo del experimento

El desarrollo del plastisol se basó en las especificaciones del cliente que son propias de su proceso productivo y además varían de cliente a cliente.

Para encontrar la fórmula óptima se lleva un proceso largo de experimentación, en que por medio de tanteos en ca-

de componente se varía el porcentaje que cada uno ocupa dentro de la fórmula.

El proceso inicia con el análisis del plastisol de la competencia verificando sus características de calidad con las especificaciones de la planta ensambladora. Una propiedad importante que se verifica es la viscosidad del plastisol, ya que ha trabajado de una forma más o menos constante dentro de la línea.

Una vez realizadas las pruebas del producto de la competencia, se desarrolla una fórmula, dentro del laboratorio, en base a las condiciones generales de un plastisol para tratar de igualar nuestro producto a las condiciones de trabajo del producto de la competencia.

Esta parte del desarrollo del plastisol es la que ha llevado más tiempo, ya que se ha modificado el porcentaje de cada componente dentro de la fórmula y las características que se han obtenido del producto final cuando están en combinación con los demás componentes. Todo este proceso de experimentación se realiza por lotes, al cual por sí mismo se tardado; además, el material obtenido debe reposar por lo que la verificación con los estándares de calidad establecidos lo hace aún más tardado.

Después de obtenida una fórmula mejorada, buscamos una



mejora en la viscosidad y la adherencia para que haya un equilibrio dentro de la fórmula. En esta parte de desarrollo se ha corregido el material para que se mejorara y para que cumpliera con los estándares de calidad exigidos, controlando la adherencia con el aumento o disminución del gas nitrato o disminuir la cantidad del plastificante para hacer el material más duro o controlar su peso específico, si está muy alto bajando el contenido de las cargas y si está muy bajo aumentando el contenido de las cargas.

Ya que se obtuvo la fórmula mejorada se ajusta la viscosidad en base a la especificación y al material de la competencia. Se lleva a cabo la prueba de almacenamiento y se ve el cambio tenido en la viscosidad, realizando una prueba de aplicación.

Después de haber hecho todo este proceso que ha llevado mucho tiempo se obtiene un producto estable con una viscosidad de 1600 mpa s seg.

Este resultado aunque fue un gran logro en el proceso estaba muy alejado del estándar que marcaba la planta ensambladora.

Para tratar de mejorar el material se decidió usar la metodología de Taguchi. En base al uso de un arreglo ortogonal al realizar el experimento con los factores que hasta ese

momento se consideraban los más importantes y determinar - -  
cual de ellos era el más relevante para su control y que se  
pudiera acercar más al estándar de calidad. Esto se supuso  
que ahorraría mucho tiempo en el desarrollo de la fórmula, -  
ya que no se modificaría el porcentaje de cada componente y  
la relación que tendría con los otros. Sinó que en base a -  
la experiencia obtenida se masajará un número de niveles pa-  
ra cada factor importante.

Por otra parte, el desarrollo que se llevaba hasta esta  
parte del proceso se tomó como positivo, ya que ayudó a de-  
terminar una composición más estable de la fórmula y ver la  
manera en que la presencia de cada componente tenía sobre -  
las características finales del producto como eran la viscosi-  
dad, la adherencia y el peso específico.

Una vez determinado el uso del método Taguchi para el -  
desarrollo del plástisol, se analizaron las características  
de calidad y por medio del grupo de trabajo del departamento  
de producción y control de calidad se decidió que la viscosi-  
dad sería la característica a controlar, ya que ésta varia -  
según el porcentaje que ocupe cada materia prima dentro de -  
la fórmula. También porque ésta a su vez tiene gran importan-  
cia en la aplicación, para que no se tapen los conductos de  
la bomba y la boquilla fluyendo fácilmente el material y del-  
te el escurrimiento después de la aplicación. Por lo tanto,  
el valor objetivo que se persigue es el de una viscosidad de

2000 mpa x seg. Esta característica de calidad se manejará como nominal es mejor, ya que los valores que se obtienen de la viscosidad pueden estar arriba o abajo del valor objetivo.

Lo que se pretende lograr con el desarrollo de este experimento es subir la viscosidad promedio obtenida de 1800 mpa x seg a lo más cercano posible a 2000 mpa x seg. y analizar qué factor es el que más influye para lograr esta característica.

El desarrollo del proceso descrito anteriormente ayudó a determinar qué factores son los más importantes para obtener una cierta viscosidad del producto y determinar de una manera general el porcentaje que debe tener cada materia prima en la fórmula y es el que se muestra en la tabla 5.1

Materia Prima	(%)
PVC	30 - 35
Carga	38 - 42
Plastificante	20 - 30
Promotor de Adherencia	0.8 - 1.2
Estabilizadores	1.3 - 1.7
Colorantes	1 - 2

Tabla 5.1  
Materias primas del plástico

Para el desarrollo del experimento se determinó que se iban a manejar las materias primas como factores con dos niveles cada uno en función de los proveedores existentes. Al analizar cada factor se descartaron los colorantes y los estabilizadores, ya que el porcentaje que ocupan en la fórmula del plastisol es muy pequeño y no influyen de una manera significativa en la viscosidad que va a tener el producto final. Por otra parte, se va a considerar la velocidad de la mezcladora como un factor, ya que la viscosidad dependerá de qué tan rápidos giren las espas.

En la tabla 5.2 se muestran las variables que intervendrán en el proceso y sus respectivos niveles.

Variable	Nivel 1	Nivel 2
A PVC Emulsión	Proveedor 1	Proveedor 2
B PVC Suspensión	Proveedor 1	Proveedor 2
C Cargas	Fino	Grueso
D Plastificante	Proveedor 1	Proveedor 2
E Velocidad	Alta	Baja

Tabla 5.2

Variables principales con sus dos niveles

A la adición de estos factores tenemos la interacción entre el factor A y el factor B. El factor A, o sea el PVC

en emisión tiene como respuesta una viscosidad alta e interactuando con el factor B, el PBC en suspensión, la viscosidad baja. Esto va a implicar que la condición del factor A modifique la respuesta debida a la condición del factor B.

A fin de poder evaluar los resultados del experimento, éste se realizará dos veces, dando como resultado un error experimental, ya que tendremos dos respuestas que nos indiquen lo confiable o no del experimento en función de la aproximación de ambos resultados.

El arreglo ortogonal se construyó en base a la siguiente gráfica lineal en la que hay 6 factores y una interacción.



Figura 6.2

### Gráficas lineales

La asignación de las columnas se hizo en base a las tablas de identificación que están en el apéndice. De esas tablas consultamos la correspondiente a un arreglo  $L_8$ , la cual nos dice que la interacción entre el efecto 1 y el efecto 2 va a ir en la columna 3.

Por lo tanto, el arreglo ortogonal que resulta es un arreglo  $L_8(2^7)$ , donde se va a tener 8 corridas experimentales con 7 columnas y que se presenta en la tabla 5.3.

COL	A							RESPUESTA		TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	R1	R2	
EXP	X							R1	R2	TOTAL
	A	B	C	D	E	F	G			
1	1	1	1	1	1	1	1	1940	1960	3900
2	1	1	1	2	2	2	2	1748	1708	3456
3	1	2	2	1	1	2	2	1840	1908	3748
4	1	2	2	2	2	1	1	1910	1854	3764
5	2	1	2	1	2	1	2	1692	1732	3424
6	2	1	2	2	1	2	1	1822	1882	3704
7	2	2	1	1	2	2	1	1880	1862	3642
8	2	2	1	2	1	1	2	1798	1852	3650
										29306

Tabla 5.3  
Arreglo ortogonal  $L_8(2^7)$  del experimento

De la tabla 5.3 podemos ver lo siguiente, que hay 8 corridas experimentales con dos respuestas cada una; esto es, el experimento 1 se corrió con todos los factores en el nivel 1 y se obtuvo una respuesta  $R_1$ , de 1940 mps x seg. se volvió a correr el mismo experimento con todos los factores en el nivel 1 y se obtuvo otra respuesta,  $R_2$ , de 1960 mps x seg. Después se corrió el experimento No. 2 con los facto-

res A y B en el primer nivel junto con su interacción y las otras factares en el nivel 2 obteniéndose una respuesta  $R_1$  de 1746 mpa x seg. Con las mismas condiciones se corrió por segunda vez el experimento 2 y se obtuvo una respuesta,  $R_2$ , de 1708 mpa x seg. Las mismas consideraciones se tienen para las otras 6 corridas experimentales.

La columna de "Total" es sólo la suma de las respuestas  $R_1 + R_2$  dando un total general de 29308 mpa x seg.

Con los datos que se desprenden de la tabla 5.7 calcula mos  $S_T$ .

$$S_T = Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 + \dots + Y_{16}^2 - C_T$$

$$S_T = \frac{(Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{16})^2}{16}$$

$$C_T = \frac{1293063^2}{16} = 53677602$$

$$\begin{aligned} S_T &= (19401)^2 + (19601)^2 + (1746)^2 + (1708)^2 + (1840)^2 \\ &+ (1900)^2 + (1910)^2 + (1898)^2 + (1892)^2 + (1737)^2 \\ &+ (1823)^2 + (1887)^2 + (1850)^2 + (1862)^2 + (1796)^2 \\ &+ (1857)^2 - 53677602 \end{aligned}$$

$$S_T = 99789.75$$

Considerando las fórmulas que abajo se listan, que se dieron a conocer en el capítulo IV, se forma la tabla Anova (Tabla 5.4).

$$S_n = \frac{(R_1 - R_2)^2}{18}$$

$$S' = Y - V_e$$

$$V = \frac{S}{F}$$

$$S' = S_e - 47e$$

$$F = \frac{V}{V_e}$$

EFFECTO	F	S	V	F	F(Pool)	S'	RND S
A	1	9900.25	9900.25	6.973	7.187	8322.77	0.67
B	1	7056.00	7056.00	4.969	5.122	9478.52	5.71
AB	1	16.00	16.00	0.011	0.012	-1361.48	-1.37
C	1	1521.00	1521.00	1.071	1.104	143.52	0.14
D	1	30625.00	30625.00	21.569	22.233	29247.52	29.41
E	1	2256.25	2256.25	1.569	1.638	678.77	0.68
e	1	37056.25	37056.25	26.098	26.902	36676.77	35.88
ERROR	8	11369.00	1419.88				
POOL	11	15152.25	1377.48			20662.16	20.78
TOTAL	15	99789.75	6652.65			99450.57	100.00

Tabla 5.4

## Tabla Anova del experimento

De la tabla Anova vemos que todos los efectos tienen un grado de libertad, dando un total de 15,F que son los grados



de libertad de los efectos y  $B$  del error. La columna 5 se formó restando la suma de los valores del efecto en el primer nivel menos la suma de los valores del efecto en el segundo nivel. El total de esa columna es  $S_1$ , calculado con anterioridad y  $S_2$  es la resta de  $S_1$  menos la suma de  $S$  de los efectos. La columna 7 es el cociente que resulta de dividir la columna 5 entre la 7.

Para continuar con el análisis de la Tabla Anova obtenemos primero los valores de  $F$  (ver tablas  $F$  del apéndice) para 1 y 15 grados de libertad con sus dos niveles de significancia, 0.05 y 0.01, siendo esos valores los que siguen:

$$F_{0.05}(1,15) = 4.54$$

$$F_{0.01}(1,15) = 8.68$$

Después calculamos los valores de  $F$  que resultan de dividir la columna 6 entre  $Ve$ . Con los datos desprendidos, se determinará estadísticamente si los constituyentes en que la suma total de los cuadrados,  $S_1$ , se descompone, son significantes con respecto a los componentes que todavía quedan en el error de variación. (Indicando si las  $F$  de los efectos individuales pueden ser considerados más grandes que el error de variación. De esta consideración se desprende, que los efectos  $\theta$  y  $\epsilon$  son significantes en el nivel de 1%, ya que sus valores de 71.56 y 36.098 son más grandes que el valor de  $F$  en 1% (8.68) por su parte, los efectos  $A$  y  $B$  son significantes en un 5% o en el nivel de 5% ya que sus valores de

6.97 y 4.96 son más grandes que el valor de  $F$  en 5% (4.54) y más pequeñas que el valor de  $F$  en 1% (8.68). Los demás efectos se consideran insignificantes ya que sus valores son menores al de  $F$  en 5%.

A fin de corroborar la significancia de los efectos, consideramos los efectos A3B, C y E, que fueron los efectos insignificantes, dentro del error, para ver si ahora los efectos pueden ser considerados más grandes que el error de varianza. Insertamos la columna  $P_{001}$  e insignificante y a continuación sumamos los valores de  $S$  de los efectos A3B, C y E al error. Ahora los grados de libertad del error son 11 y el valor  $F_e$  es la división de  $S_e$  entre  $F_e$ . La columna  $F - (P_{001})$  se calcula dividiendo la columna  $F$  entre  $F_e (P_{001})$ .

De aquí se vuelve a desprender que los efectos B y e siguen siendo significantes en el nivel de 1% y que los efectos A y B continúan en la significancia de 5%.

Calculamos después la columna  $S'$  que es la resta de la columna  $Y$  menos el valor de  $Y_e (P_{001})$  y  $S'$  es la suma de  $S_e - 48e$ . Estos valores nos sirven para calcular el porcentaje de contribución  $R_{R0}$ ; al dividir  $S'$  entre  $S_T$ , que contiene todos los porcentajes debido a la variación de cada factor individual del valor medio.

Del análisis de la tabla Anova concluimos que el factor

D es el que más contribuye a alejarnos del valor nominal de la viscosidad (2000 mpa x seg.) es un 29.41%. Aunque el porcentaje de contribución del factor  $\alpha$ , que se tomó como el error experimental fue de 35.88% y más grande que el porcentaje del factor D es porque en ese error se contemplan las diferencias entre los resultados R1 y R2 de cada corrida experimental además de los errores debidos a los instrumentos por una mala calibración o errores de lectura de parte del operario y errores que pudieron haber afectado las condiciones del experimento y que no se consideraron muy significativos.

Los efectos A y B también influyen en la calidad de nuestro producto ya que sus valores de 8.57% y 5.71% respectivamente indican qué tanto se alejan del valor nominal. Pero, sin embargo, no implican un factor determinante que requiera de corrección inmediata ya que hay otro que afecta la calidad en un 29.4%. El porcentaje de contribución del error indica que las desviaciones de nuestros resultados están variando en un 29.4% alrededor del valor objetivo.

Ahora tendremos que determinar la mejor condición de los factores en base a sus niveles, siendo la condición óptima la que menos desviación tenga del valor objetivo. Hay que obtener el promedio de las sumas de los niveles de cada factor de la siguiente forma: para obtener la condición del factor A en el primer nivel se suman los resultados totales

de A cuando se hicieron en el nivel 1 y se dividió entre B ya que el experimento fue realizado dos veces:

$$A_1 = \frac{3500 + 3446 + 3740 + 3768}{4} = 1856.5$$

$$A_2 = \frac{3479 + 3710 + 3682 + 3653}{4} = 1808.75$$

Tomando en cuenta las mismas consideraciones para los demás factores tenemos la tabla 5.5 que muestra la viscosidad obtenida en cada nivel:

FACTOR	A	B	AxB	C	D	E	$\sigma$
1ER. NIVEL	1856.5	1870.625	1837.625	1871.375	1875.375	1843.5	1879.75
2DO. NIVEL	1808.75	1892.625	1800.625	1871.625	1882.625	1819.75	1860.5
TOTAL	3665.25	3663.25	3638.25	3643.25	3658.25	3663.25	3663.25

Tabla 5.5  
Suma de niveles de las variables

Observando esta tabla se obtiene la condición óptima que es:

$$A_1 B_2 C_1 D_1 E_1$$

o sea, se obtendrán mejores resultados en base a la viscosi-

dad si trabajamos con el PVC en emulsión del proveedor 1, con el PVC en suspensión del proveedor 2 con cargas finas, el plastificante del proveedor 1 y a una alta velocidad de mezclado.

Asumiendo a  $A_1$ ,  $B_2$ ,  $C_1$ ,  $D_1$ ,  $E_1$  como los niveles correctos, el promedio óptimo del proceso lo obtenemos:

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{Y}} \pm \sqrt{F_{0.05} (1, 15) \cdot V_{e_1} \frac{1}{n_e}}$$

$$\hat{\mu} = \bar{Y} = (A_1 - \bar{Y}_1) + (B_2 - \bar{Y}_2) + (C_1 - \bar{Y}_3) + (D_1 - \bar{Y}_4) + (E_1 - \bar{Y}_5)$$

$$\hat{\mu} = \bar{A}_1 + \bar{B}_2 + \bar{C}_1 + \bar{D}_1 + \bar{E}_1 = 4\bar{Y}$$

$$n_e = \frac{\text{No. de experimentos}}{\text{No. de grados de libertad de los efectos factoriales}}$$

Sustituyendo los respectivos valores tenemos:

$$\bar{Y} = \frac{29206}{16} = 1825.37$$

$$n_e = \frac{16}{5} = 3.2$$

$$\hat{\mu} = 1856.5 + 1852.625 + 1841.37 + 1875.37 + 1843.5 = 4(1831.62)$$

$$\hat{\mu} = 1942.87$$

$$C.I. = \pm \sqrt{F_{0.05} (1, 15) (1377.48) \frac{(1)}{3.2}}$$

$$C.T. = \pm \sqrt{(4.54) (1377.44) (173.2)}$$

$$C.T. = \pm 44.20$$

$$\mu = 1942.87 \pm 44.20$$

El valor nominal óptimo de la viscosidad es de 2000 mpa x seg. y cuando ese valor difiere en más de 150 mpa x seg. se tiene una pérdida de 14500,00 por kilogramo.

Lo que estamos manejando una característica de calidad nominal es mejor y cuyo concepto fue introducido en el capítulo III, tenemos:

$$k = \frac{A_0}{\Delta_0^2}$$

$$k = \frac{14500}{(150)^2}$$

$$k = 0.2$$

La función de pérdida para nominal es mejor es:

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

Antes de emplear la metodología de Taguchi obtuvimos una viscosidad de 1600 mpa x seg. y cuantificando esa pérdida tenemos:

$$L(Y) = 0.2 (1600 - 2000)^2$$

$L(Y) = 32.000,00$  por kilogramo

Al emplear la metodología Taguchi se obtuvo una viscosidad promedio de 1942.87 mpa x seg. implicando ésto una pérdida de:

$$L(Y) = 5,2 (1942,87 - 2000)^2$$

$L(Y) = 5652,65$  por kilogramo

Es decir, la pérdida se redujo de \$ 32.000,00 a \$ 5652,65 por kilogramo.

#### 5.4 Resultados del Experimento

La aplicación del método Taguchi en el desarrollo del plastisol nos ahorró tiempo, que se hubiera perdido en la experimentación, ya que se pudo determinar una causa que había que controlar para subir la viscosidad del producto. Ese resultado se consiguió gracias al análisis de varianzas en que se determinó con un 99% de certeza que el factor  $B_1$ , el plastificante, habría que controlarlo primero para subir la viscosidad y después para evitar la variación existente alrededor del valor nominal. La acción que se tomó para reducir esa variación fue reduciendo la cantidad de plastificante dentro de la fórmula.

Fue importante el uso de esta metodología ya que los departamentos de producción y control de calidad trabajaron

juntos, primero al determinar los factores más importantes en relación a la viscosidad del producto, ya que implicaron un control más directo tanto de esos factores como del proceso en general. En segundo término esa colaboración de ambos departamentos trajo como consecuencia que un departamento coparticipara mejor las funciones operativas del otro implicando una reducción de trabas burocráticas, y que la importancia de la labor de un departamento dependerá del buen desempeño del otro departamento. Por su parte, la determinación de esos factores trajo como consecuencia que el proceso de experimentación fuera corto debido a que no se tuvo que experimentar con la combinación de todos los factores con sus dos niveles. De haberse realizado la experimentación de esa forma se tendrían que haber hecho 1024 experimentos [ $2^{10}$ , 10 factores con dos niveles cada uno]. El resultado del método Taguchi en esta etapa fue que se corrieron 8 experimentos con dos resultados cada uno, o sea, 16 experimentos en total.

Al aumentarse la viscosidad del producto se obtuvo una pérdida de \$652.85 por kilogramo, que es mucho menor a la que se tenía cuando se manejaba una viscosidad de 1800 mpa x seg. que era de \$32,000 por kilogramo. Cabe hacer la aclaración que la pérdida en este experimento se tomó como lo que costaría no vender el producto si el estándar hubiera sido de 2000 mpa x seg. y sin ninguna tolerancia. El desarrollo del producto debe ser el de acercarse a ese valor nominal para reducir esa pérdida, asimismo se hará el producto



más robusto, con menos variabilidad, implicando que la calidad será constante. Al ser constante el producto se reducirán las inspecciones y correcciones que se estaban haciendo regularmente.

## CAPITULO VI

### CONCLUSION

La metodología de Taguchi que se refiere a la función de pérdida, al diseño de parámetros, la calidad en línea y el diseño de experimentos usando los arreglos ortogonales, es una herramienta que en México hará cambiar la manera de pensar de muchas empresas. Tal vez no es el uso completo de esta técnica pero sí en la forma en que se usará el término calidad, como la reducción del costo. Y posiblemente se oirá por ahí "estamos implementando la metodología de Taguchi para reducir nuestros costos". Habrá también un cambio al saber que existe otra técnica que va más allá del control estadístico del proceso.

Vivimos una época muy difícil en la que tenemos que ser competitivos y que tal vez se pueda lograr si somos capaces de efectuar un cambio en nuestro trabajo, en nuestra vida misma, que ayude a realizar esos objetivos de crecimiento, tanto de la empresa como de la sociedad y de la nación en general.

Tanto los seres humanos como las empresas debemos aprender a conservar lo mejor del pasado y cambiar de acuerdo a

los tiempos con bases sólidas y bien sustentadas. No hay que mantener sistemas empresariales entrópicos que refugian al cambio por lo cual el sistema mismo se desgastará y deteriorará. Las empresas necesitan innovar para hacer frente a esa descomposición, la cual debe ser un elemento permanente y desafío constante que debe llegar a ser una forma de expresión del espíritu creativo del ser humano. Posiblemente la crisis además de representar un peligro puede ser una buena oportunidad de autocuestionar lo que hemos venido haciendo, usar lo mejor que tenemos para luchar, luchar para vencer todas las adversidades, vencer para seguir adelante y no volver a caer.

La crisis es un problema difícil que no tiene solución de un día para otro y que no se resolverá con el despido masivo de los empleados para contener los costos de producción, sacrificando además la calidad en los productos y engañar a los clientes. Hay que usar nuestras recursos para salir adelante, para que se convierta en una fuerza impulsora que con realismo se traduce en un optimismo de superación.

El valor de la metodología de Taguchi es una forma de crear un cambio en las empresas ya que se lucharía por ser siempre mejores y evitarnos crearle una pérdida a la sociedad. Este método utiliza los recursos propios de la empresa que siempre es la mejor arma a un menor costo para salir

adelante. Este cambio es importante, porque con lo que hacemos, podemos mejorar la posición competitiva de la empresa y de los productos mexicanos.

Un resultado importante de la metodología de Taguchi es la redefinición de la calidad y el mejoramiento de la calidad. Con la idea central del diseño de parámetros de reducir los costos a través de reducir la variabilidad del producto, la definición de la calidad ya no puede ser cumplir con los límites establecidos, y el significado del mejoramiento de la calidad se ha cambiado, de corregir los problemas a reducir la variabilidad alrededor del valor objetivo. Además, a través del diseño de parámetros el mejoramiento de la calidad es automático y no necesita ser medido como calidad sino como mejoramiento de costos. De esta forma, el mejoramiento de la calidad trata con la reducción de costos. Y como otros indicadores de desempeño están basados en el costo, esta metodología transforma a la calidad de una forma emocional de desempeño a una estrategia corporativa para todos los empleados, que será evaluada como un ahorro anual de costos.

La función de pérdida de calidad tiene un impacto en el sistema financiero de la empresa, ya que crea una perspectiva económica que redefine el control de costos tradicional bajo la que operan la mayoría de las empresas. Todas las empresas tienen un sistema financiero que reembolsa

proporcionalmente las gastos de capital y el mejoramiento - es el diseño de los productos. Si nos basamos en la definición de calidad de cumplir con los límites de especificación sólo se tendrán mejoras cuando las partes estén dentro de las tolerancias. La función de pérdida de calidad cuantifica los ahorros anuales de costos como el mejoramiento - de las características del producto a través del valor objetivo. Estos ahorros son debido al diseño y el mejoramiento del proceso para reducir la variabilidad, que son mayores a los que se tendrían si sólo se cumplen las tolerancias.

Para que el diseño de parámetros sea efectivo, la función de planeación del producto y las actividades de ingeniería deben establecer el valor objetivo que cumplan con las necesidades de cada cliente. Los límites de especificación o las tolerancias que representan necesidades teóricas de ingeniería ya no se deben aceptar. Esto requiere un cambio en mercadotecnia y el conocimiento de la ingeniería para desarrollar los valores objetivos que dan el mejor nivel de función y apariencia. Cuando los valores objetivos son establecidos, la ingeniería debe optimizar los diseños del producto en la etapa de desarrollo del producto eliminando todos los ruidos para crear un producto más robusto.

Cambios significantes se pueden dar en los sistemas de manufactura ya que tradicionalmente las empresas creen que las partes dentro de especificación son buenas y no se pue-

de hacer más para mejorarlas. Para el diseño de parámetro desarrolla varios cambios que incluyen:

- 1.- Con un mejoramiento continuo a través de reducir la variabilidad, la inspección tradicional del control de calidad usando la técnica de pase-no pasa es remplazada por el análisis del valor objetivo. Este cambio efectivamente redirige el esfuerzo de calidad de corregir problemas a reducir la variabilidad. Además de que habrá un cambio en la manera de pensar de los ingenieros de producto, los operadores de línea, etc. al estar enfocados hacia el valor objetivo.
- 2.- Nuevos lineamientos para implantar una mejora del proceso, ya que anteriormente cuando se quería implantar un nuevo proceso o una nueva maquinaria no se optimizaban los recursos existentes. Ahora se puede optimizar esos recursos usando el diseño de parámetros antes de que el proyecto sea aprobado por un equipo nuevo y más moderno. Definitivamente los costos se reducen y se mejora la habilidad del proceso.
- 3.- Menos confianza en las cartas de control y el análisis de la habilidad del proceso, ya que si se implementa la calidad fuera de línea se reduce la necesidad del control esta-

distica del proceso y se cambia el enfoque - del control de calidad a la reducción de costos. El control estadístico del proceso no se basa en los costos, y por lo tanto tiende a estar en conflicto con los sistemas de costos. El método desarrollado por Taguchi incluye ecuaciones de costo que determinan la inspección óptima..

Todas las compañías son generalmente fuertes en la expansión vertical y débiles en una interacción horizontal. La metodología de Taguchi crea equipos de interacción y cambia la forma que tiene la empresa para mejorar la calidad. Se debe trabajar con equipos interdisciplinarios para desarrollar un mejor producto y prevenir los problemas, no asignar los problemas de un área específica para que los solucionen y de reportes colectivos que no funcionarán. Los cambios efectivos se harán con un despliegue de calidad horizontal a través de la voz del consumidor en lugar de un despliegue vertical a través de la voz del ejecutivo. Este mecanismo horizontal conocido como la expansión o despliegue de la función de calidad identifica los conflictos y diseña los requerimientos donde las aplicaciones del método Taguchi puedan ser benéficas.

Este método es una herramienta más que se puede utilizar para resolver un problema de calidad. De la cual el in

gestero industrial debe saber que es un instrumento que se debe utilizar con discernimiento según reclame la aplicación práctica. Debe saber que no es una metodología fácil que de un planteamiento estructurado para mejorar la calidad así, nada más por el simple hecho de aplicarlo y más aún, que también sea fácil de tomar una decisión. Ese planteamiento estructurado reside más en la calidad del medio para recabar hechos y cuando éstos ya se tienen, hay que predecir de la estructura y hacer lo que los hechos dicten. Las decisiones que se deben tomar tienen que salir de uno mismo, aplicar a los hechos de tal problema lo que uno haya aprendido y pueda servir. No hay que tomar esta metodología con tanta devoción por mucha que haya sido utilizada con tanto éxito para el desarrollo económico del Japón.

Esta técnica trata con una investigación y desarrollo en base al diseño experimental, identificando las causas que ocasionan que no se llegue al valor nominal establecido. Hay que atacar todos estos problemas o ruidos como los definió Taguchi, antes de que se presenten. Es trabajar con una administración ofensiva dentro de la empresa, teniendo en cuenta que es lo que queremos lograr y hacer lo necesario para conseguir ese fin, eliminando siempre lo que nos impedirá lograrlo. Hay que tener en cuenta que la metodología de Taguchi no se debe aplicar como si fuera una fórmula que los físicos y los químicos usan en sus laboratorios. Ya que dentro de un proceso y más todavía dentro de una empre-



se no se siguen esas leyes inmutables y su mercado no se puede predecir como el comportamiento de una máquina. Esa no - previsibilidad del proceso y de la empresa en su totalidad - es que hay seres humanos, hay obreros en la línea de producción que no son robots, como tampoco lo son los supervisores ni el mismo director general. Este factor hay que tomarlo - en cuenta porque pese a toda la automatización, son todavía las personas, con todos sus defectos y todas sus debilidades, quienes hacen que esos procesos funcionen, quienes mantienen unidos esos ladrillos, esas máquinas y esos sillares que forman la empresa.

Todo esto hay que tomarlo en cuenta al hacer el diseño del experimento, ya que no se trata sólo de un experimento - de laboratorio del que se pueden conseguir resultados altamente satisfactorios, ya que ese nivel baja cuando se lleva a la línea de producción. Todo es porque en el experimento no se contemplan todos los factores que realmente había - que considerar. Los cuales eran los consumidores y los proveedores.

Por eso hay que oír la voz del consumidor, para ver - que es lo que espera de nuestra empresa y nuestro producto. Se le debe oír porque él decide si somos los mejores o no. Él es el árbitro de nuestro negocio y nada más que - su opinión es la que debe contar, ya que él es el que paga.

se le escucha cuidadosamente o simplemente en la empresa - quien va a la quiebra.

Los proveedores son factores importantes del proceso y de la empresa misma, hay que trabajar junto con ellos para mejorar su producto y el nuestro. Es importante que el proveedor y sus trabajadores vean el producto final que fabrican, que consideren el resultado final de sus esfuerzos en ese producto que beneficiará a la sociedad. Ya que se tiene contemplada la idea final, el proveedor puede opinar sobre los problemas que se presentarán en la fabricación, para que juntos se le de la debida solución. Y no que el proveedor reciba los diseños, fabrique la parte, la ajuste a los estándares y la envíe para su ensamble. Después señala los problemas y cambios que hay que hacerse. Todo esto cae dentro de un proceso largo que es repetitivo y a su vez costoso.

Si consideramos estos factores y a la empresa misma en todas sus áreas, el diseño de nuestro producto y de nuestro proceso será más robusto, la empresa trabajará con una expansión de la función de calidad se tendrá a los clientes satisfechos, la productividad aumentará y las utilidades su bida.

La situación económica que vivimos es el que no hubo crecimiento de la producción, sino que al contrario decre-

ció en un 2.75, nos ha obligado a una apertura tal de fronteras, que ha producido una invasión de productos extranjeros a precios realmente bajos que han dejado fuera de la competencia a muchos productos mexicanos. Muchas empresas de nuestro país debido al excesivo proteccionismo del gobierno dejaron de producir artículos de calidad, menospreciando al cliente, ya que su mercado interno estaba seguro; además la idea de modernizarse y renovar su capacidad productiva se tomó a chutes y era como decirse; para que darle más vueltas al asunto, si con lo que ofrecemos tenemos una venta segura ya que nuestros clientes necesariamente nos van a tener que comprar. Ahora ven esa competencia internacional, que no sólo es en el extranjero sino que también dentro de nuestras fronteras, sólo reconoce la buena calidad a un menor precio, está causando la desesperación de muchas empresas y el cierre de otras. Y por consecuencia estamos viviendo un alto desempleo, tal vez el más grande de nuestra historia económica. Aunque, hay que reconocer que esa negligencia nos ha llevado a esa situación caótica que estamos padeciendo, no sirven los reproches de lo que no se realizó ayer y ver que nuestro pasado es la mejor lección de lo que produce la apatía, la falta de compromiso con nuestra empresa, con nosotros mismos y con la nación, hay que actuar y no lamentarse, se debe tomar una actitud positiva y enfrentar ese reto de nuestro tiempo que debe ser, no sólo el sobresalir, sino aumentar la productividad de las empresas. Y como se dijo en el capítulo I, que una bus

na herramienta con la que contamos es la calidad, que la tenemos en nosotros mismos, en la empresa y que además no nos cuesta sólo hay que sacarla y usarla.

Las empresas mexicanas que vean a la calidad como esa herramienta que les permita progresar y salir adelante, deben estar conscientes que hay que seguir paso a paso todas las etapas para trabajar con un despliegue de la función de calidad. No creer que vamos a estar a la altura de la competencia internacional si aplicamos las técnicas extranjeras que van al día, en una industria que tiene mucho retraso. Hay que trabajar según el nivel de calidad en que se encuentre una determinada empresa, en ir consiguiendo cada etapa de calidad a una velocidad tal de adaptación y de implantación de esas técnicas, para que no nos lleve mucho tiempo en reducir esa brecha tecnológica que nos llevan los países avanzados. Hay que ser objetivos: no se puede subir del primer escalón al séptimo de un sólo paso. Más no, con esto quiero decir que lo más nuevo no se puede aplicar en el momento en que vivimos, se debe aplicar después de un buen análisis según la situación particular de que se trate y que esa sea la mejor forma de lograr unos buenos resultados.

Por otra parte, el hilo negro no lo vamos a descubrir, otros ya lo hicieron por nosotros, nada más hay que adaptarlo a nuestras necesidades, a nuestra forma de pensar, a - -

nuestra ideología. Esto es importante ya que muchas empresas creen que con traer una tecnología extranjera, por buena y nueva que las dijeran que era, se van a tener esos buenos resultados como el de aumentar la calidad y la productividad que se dieran en el país de origen. Aquí en México las condiciones son otras, nada más hay que recordar, a manera de ejemplo, que en Japón cuando hay una huelga se aumenta la producción y en México los obreros dejan de trabajar. Con la calidad sucede lo mismo hay que aplicar lo que nos sirve, tomar la idea y adaptarla a nuestras necesidades.

## APPENDIX 1

C<sub>11</sub>(2<sup>7</sup>)

Col. No.	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
Group 1				Group 2			

Interactions Between Two Columns

Col. No.	1	2	3	4	5	6	7
(1)	2	2	3	4	7	6	
(2)	1	3	7	4	5		
(3)	7	3	5	4			
(4)	1	2	5				
(5)			4	3	2		
(6)					5	1	
(7)							(7)

Linear graph for C<sub>11</sub>C<sub>11</sub>(2<sup>11</sup>)

Col. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1
Group 1						Group 2					

Note: The interaction components for two given columns are confounded with the remaining nine columns. Sequential analysis is necessary to find the interactions. This array should therefore not be used for experiments requiring factoriality.



(11)



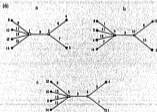
(12)



(13)







$L_8(2^7)$   $2^7$  Arrays

Row \ Col	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	2	1
8	3	2	1	3
9	3	3	3	1

$2^{11}$

Group 1    Group 2

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

Row \ Col	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	1	1	2	2
3	1	1	3	3	2	2	3	3
4	1	1	4	4	3	3	4	4
5	1	2	1	2	1	2	1	2
6	1	2	2	3	2	3	2	3
7	1	2	3	4	3	4	3	4
8	1	2	4	1	4	1	2	1
9	1	3	1	3	1	3	1	3
10	1	3	2	4	2	4	2	4
11	1	3	3	1	3	3	1	2
12	1	3	4	2	4	4	2	3
13	1	4	1	4	1	2	1	4
14	1	4	2	1	2	3	2	1
15	1	4	3	2	3	4	3	2
16	1	4	4	3	4	1	4	3
17	2	1	1	2	1	1	2	1
18	2	1	2	3	2	2	3	2
19	2	1	3	4	3	3	4	3
20	2	1	4	1	4	4	1	2
21	2	2	1	2	1	2	1	2
22	2	2	2	3	2	3	2	3
23	2	2	3	4	3	4	3	4
24	2	2	4	1	4	1	2	1
25	2	3	1	3	1	3	1	3
26	2	3	2	4	2	4	2	4
27	2	3	3	1	3	3	1	2
28	2	3	4	2	4	4	2	3
29	2	4	1	4	1	2	1	4
30	2	4	2	1	2	3	2	1
31	2	4	3	2	3	4	3	2
32	2	4	4	3	4	1	4	3

Group 1    Group 2

115

Interactions can be found without sacrificing columns, by using the two-way layout of columns 1 and 2.

The interactions between three-level columns, however, are partially confounded with the remaining three-level columns.

Log Q16

Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Group 1	Group 2			Group 3								

## Interactions Between Two Columns

Col	F <sub>12</sub>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
8	3	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
4												
3												
2												
1												

(1)



(2)



## APENDICE 2

Valores críticos de la distribución  $F$  $F_{\alpha; n_1, n_2}$ 

$n_2$	$n_1$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	229.0	240.5	250.0	258.0	265.0	271.0
2	18.51	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
3	10.13	9.21	8.58	8.12	7.81	7.58	7.41	7.28	7.18
4	7.71	6.94	6.50	6.20	6.00	5.85	5.73	5.63	5.55
5	6.61	5.93	5.61	5.38	5.23	5.10	5.00	4.92	4.85
6	5.99	5.44	5.16	4.93	4.79	4.68	4.59	4.52	4.46
7	5.59	5.15	4.91	4.70	4.57	4.47	4.39	4.33	4.28
8	5.31	4.90	4.68	4.48	4.37	4.28	4.21	4.15	4.10
9	5.10	4.71	4.51	4.33	4.23	4.15	4.09	4.04	4.00
10	4.96	4.58	4.40	4.23	4.14	4.07	4.01	3.96	3.92
11	4.86	4.49	4.32	4.16	4.07	4.01	3.95	3.90	3.86
12	4.79	4.43	4.27	4.12	4.03	3.97	3.91	3.86	3.82
13	4.74	4.38	4.23	4.08	4.00	3.94	3.88	3.83	3.79
14	4.70	4.35	4.20	4.05	3.97	3.91	3.85	3.80	3.76
15	4.66	4.31	4.16	4.01	3.93	3.87	3.81	3.76	3.72
16	4.63	4.28	4.13	3.98	3.90	3.84	3.78	3.73	3.69
17	4.61	4.26	4.11	3.96	3.88	3.82	3.76	3.71	3.67
18	4.59	4.24	4.09	3.94	3.86	3.80	3.74	3.69	3.65
19	4.58	4.23	4.08	3.93	3.85	3.79	3.73	3.68	3.64
20	4.56	4.22	4.07	3.92	3.84	3.78	3.72	3.67	3.63
25	4.52	4.17	4.02	3.87	3.79	3.73	3.67	3.62	3.58
30	4.49	4.14	3.99	3.84	3.76	3.70	3.64	3.59	3.55
40	4.45	4.10	3.95	3.80	3.72	3.66	3.60	3.55	3.51
50	4.43	4.08	3.93	3.78	3.70	3.64	3.58	3.53	3.49
60	4.42	4.07	3.92	3.77	3.69	3.63	3.57	3.52	3.48
70	4.41	4.06	3.91	3.76	3.68	3.62	3.56	3.51	3.47
80	4.40	4.05	3.90	3.75	3.67	3.61	3.55	3.50	3.46
90	4.39	4.04	3.89	3.74	3.66	3.60	3.54	3.49	3.45
100	4.39	4.04	3.89	3.74	3.66	3.60	3.54	3.49	3.45
120	4.38	4.03	3.88	3.73	3.65	3.59	3.53	3.48	3.44
150	4.37	4.02	3.87	3.72	3.64	3.58	3.52	3.47	3.43
200	4.36	4.01	3.86	3.71	3.63	3.57	3.51	3.46	3.42
∞	4.35	4.00	3.85	3.70	3.62	3.56	3.50	3.45	3.41



Valores críticos de la distribución  $F$  (continúa)

$$F_{\alpha}(n_1, n_2)$$

$n_1$	$n_2$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1601.2	1999.5	2402.1	2823.1	3268.0	3739.9	4232.0	4738.4	5253.1
2	19.59	19.00	18.17	16.23	14.26	12.25	10.20	8.13	6.15
3	24.12	20.87	20.46	18.71	16.24	13.80	11.67	9.49	7.15
4	21.20	18.00	18.59	17.09	14.32	12.20	10.00	7.80	5.66
5	18.26	15.27	15.86	14.79	12.87	10.67	8.46	6.26	4.11
6	15.75	14.93	14.98	14.11	12.73	10.40	8.20	6.00	3.85
7	13.23	13.11	13.40	12.81	12.06	10.15	8.00	5.84	3.61
8	11.25	11.63	12.29	12.01	11.63	9.27	7.14	5.03	3.35
9	10.56	11.03	11.99	11.81	11.56	8.80	6.67	4.87	3.11
10	10.04	10.76	11.55	11.59	11.44	8.28	6.20	4.68	2.88
11	9.60	10.51	11.27	11.47	11.31	7.87	5.80	4.54	2.68
12	9.19	10.33	11.05	11.41	11.06	7.47	5.40	4.38	2.50
13	8.80	10.16	10.84	11.21	10.86	7.07	5.00	4.24	2.34
14	8.43	10.01	10.64	11.04	10.69	6.68	4.63	4.11	2.20
15	8.08	9.86	10.48	10.89	10.56	6.30	4.27	4.00	2.08
16	7.75	9.73	10.29	10.71	10.40	5.93	3.93	3.89	1.97
17	7.43	9.61	10.11	10.57	10.26	5.57	3.61	3.79	1.88
18	7.13	9.50	10.00	10.46	10.13	5.22	3.30	3.69	1.80
19	6.84	9.40	9.91	10.36	10.02	4.88	3.01	3.61	1.73
20	6.56	9.31	9.83	10.27	9.91	4.55	2.74	3.53	1.66
21	6.30	9.23	9.76	10.19	9.81	4.23	2.48	3.46	1.60
22	6.05	9.15	9.69	10.11	9.72	3.92	2.23	3.40	1.55
23	5.81	9.08	9.63	10.04	9.63	3.62	2.00	3.34	1.50
24	5.58	9.01	9.57	9.97	9.54	3.33	1.77	3.28	1.46
25	5.35	8.94	9.51	9.91	9.45	3.05	1.55	3.23	1.42
26	5.13	8.87	9.45	9.85	9.37	2.78	1.34	3.17	1.38
27	4.92	8.81	9.40	9.80	9.29	2.52	1.14	3.12	1.34
28	4.71	8.75	9.35	9.75	9.21	2.27	0.95	3.07	1.31
29	4.51	8.69	9.30	9.70	9.13	2.02	0.77	3.02	1.27
30	4.31	8.64	9.25	9.65	9.05	1.78	0.60	2.97	1.24
40	3.11	8.18	8.74	9.21	8.61	1.19	0.17	2.89	1.09
50	2.58	8.00	8.53	9.01	8.36	0.81	0.00	2.83	1.02
100	1.83	7.59	8.10	8.48	7.87	0.36	0.00	2.66	0.86
∞	1.64	7.41	7.93	8.32	7.70	0.20	0.00	2.61	0.81

Valores críticos de la distribución F (porcentajes)

$$F_{\alpha}(p_1, p_2)$$

p <sub>2</sub>	p <sub>1</sub>									
	10	12	15	20	25	30	40	50	100	α
1	99.00	99.00	99.45	99.55	99.65	99.75	99.85	99.95	99.95	99.95
5	21.00	21.00	20.45	20.00	19.60	19.30	19.10	18.95	18.90	18.90
10	16.00	16.15	16.10	16.00	15.90	15.80	15.75	15.70	15.70	15.70
50	6.00	6.05	6.10	6.15	6.20	6.25	6.30	6.35	6.40	6.45
100	5.00	5.05	5.10	5.15	5.20	5.25	5.30	5.35	5.40	5.45
1	99.00	99.00	99.45	99.55	99.65	99.75	99.85	99.95	99.95	99.95
5	18.00	18.10	18.15	18.20	18.25	18.30	18.35	18.40	18.45	18.50
10	14.00	14.10	14.15	14.20	14.25	14.30	14.35	14.40	14.45	14.50
50	6.00	6.05	6.10	6.15	6.20	6.25	6.30	6.35	6.40	6.45
100	5.00	5.05	5.10	5.15	5.20	5.25	5.30	5.35	5.40	5.45
1	99.00	99.00	99.45	99.55	99.65	99.75	99.85	99.95	99.95	99.95
5	15.00	15.10	15.15	15.20	15.25	15.30	15.35	15.40	15.45	15.50
10	11.00	11.10	11.15	11.20	11.25	11.30	11.35	11.40	11.45	11.50
50	5.00	5.05	5.10	5.15	5.20	5.25	5.30	5.35	5.40	5.45
100	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45
1	99.00	99.00	99.45	99.55	99.65	99.75	99.85	99.95	99.95	99.95
5	12.00	12.10	12.15	12.20	12.25	12.30	12.35	12.40	12.45	12.50
10	8.00	8.10	8.15	8.20	8.25	8.30	8.35	8.40	8.45	8.50
50	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45
100	3.00	3.05	3.10	3.15	3.20	3.25	3.30	3.35	3.40	3.45
1	99.00	99.00	99.45	99.55	99.65	99.75	99.85	99.95	99.95	99.95
5	10.00	10.10	10.15	10.20	10.25	10.30	10.35	10.40	10.45	10.50
10	6.00	6.10	6.15	6.20	6.25	6.30	6.35	6.40	6.45	6.50
50	3.00	3.05	3.10	3.15	3.20	3.25	3.30	3.35	3.40	3.45
100	2.00	2.05	2.10	2.15	2.20	2.25	2.30	2.35	2.40	2.45
1	99.00	99.00	99.45	99.55	99.65	99.75	99.85	99.95	99.95	99.95
5	8.00	8.10	8.15	8.20	8.25	8.30	8.35	8.40	8.45	8.50
10	5.00	5.10	5.15	5.20	5.25	5.30	5.35	5.40	5.45	5.50
50	2.00	2.05	2.10	2.15	2.20	2.25	2.30	2.35	2.40	2.45
100	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45
1	99.00	99.00	99.45	99.55	99.65	99.75	99.85	99.95	99.95	99.95
5	6.00	6.10	6.15	6.20	6.25	6.30	6.35	6.40	6.45	6.50
10	4.00	4.10	4.15	4.20	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50
50	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95
100	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45
1	99.00	99.00	99.45	99.55	99.65	99.75	99.85	99.95	99.95	99.95
5	5.00	5.10	5.15	5.20	5.25	5.30	5.35	5.40	5.45	5.50
10	3.00	3.10	3.15	3.20	3.25	3.30	3.35	3.40	3.45	3.50
50	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45
100	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
1	99.00	99.00	99.45	99.55	99.65	99.75	99.85	99.95	99.95	99.95
5	4.00	4.10	4.15	4.20	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50
10	2.00	2.10	2.15	2.20	2.25	2.30	2.35	2.40	2.45	2.50
50	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
100	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65



## BIBLIOGRAFIA

1. Elwood S. Buffa, "Sistemas de producción e inventaria planeación y control", México, Limusa, 1984.
2. Joseph J. DiStefano, "Retroalimentación y sistemas de control", México, Mc Graw Hill, 1981.
3. Enriquez Galván Oscar, "Realidades sobre el control de calidad en las empresas mexicanas", Centro de graduados, Instituto Tecnológico de Veracruz, 1986.
4. Armand V. Feigenbaum, "Control total de calidad", México, C.E.C.S.A., 1984.
5. Jaconca Lee, "Jaconca autobiografía de un triunfador", México, Grijalvo, 1986.
6. Jaconca Lee with Sonny Kleinfeld, "Talking Straight", New York, Bantam, 1983.
7. Ishikawa Kaoru, "Qué es el control total de calidad?", México, Edit. Norma, 1984.
- 8.- Ishikawa Kaoru, "What is company-wide quality control?", Artículo presentado a los ejecutivos de Ford Motor Co., 1983.

- 9.- J.H. Juran "Quality Control Handbook", New York, Mc, Graw Hill, 1979.
- 10.- Raghu V. Kacker, "Taguchi quality philosophy analysis and Commentary", Quality Progress, Dec. 1986.
- 11.- Matti P., "Improving total Productivity, Strategies for Business Government and not-for-profit organizations", New York, 1978.
- 12.- Walter A Shewart, "Economic control of quality of manufactured product", American Society for Quality Control, 1987.
- 13.- Richard J. Schonberger, "Japanese manufacturing techniques", New York, Free Press, 1982.
- 14.- L.P. Sullivan, "The seven stages in company-wide quality control", Quality Progress, May 1986.
- 15.- L.P. Sullivan, "Reducing variability: A new approach to quality", Quality Progress, July 1984.
- 16.- Samantha B.J. "Productivity Measurement and evaluation models for manufacturing companies", Ph. D. dissertation, Illinois Institute of Technology, 1979.

- 17.- Taguchi Genichi, "Introduction to quality engineering designing quality into products and processes", Tokyo, Asian Productivity Organization, 1986.
- 18.- Huia Wu, "Quality engineering, product, process design optimization", American Supplier Institute Inc., 1986.
- 19.- Chrysler de México, "Expansión de la función de calidad (Quality Function Deployment)", Depto. de Planeación Avanzada de Calidad y Métodos, Feb 1988.
- 20.- Volkswagen de México, "Características de calidad de un plástico", Depto. de nuevos productos y control de calidad, Nov. 1988.