

35  
2e



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

## METODOLOGÍA PARA LA IMPLANTACIÓN DEL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
ACTUARIO

PRESENTA:

**FRANCISCO FLORES HERNÁNDEZ**



FACULTAD DE CIENCIAS  
UNAM

DIRECTOR DE TESIS: ACT. FRANCISCO SÁNCHEZ VILLARREAL

MÉXICO, D.F.



FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCIÓN ESCOLAR

1997

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

M. en C. Virginia Abrin Batule  
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

"METODOLOGÍA PARA LA IMPLANTACIÓN DEL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD"

realizado por FLORES HERNÁNDEZ FRANCISCO

con número de cuenta 7510871-5 , pasante de la carrera de **Actuario**

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis  
Propietario

ACT. FRANCISCO SÁNCHEZ VILLARREAL

Propietario

ACT. MARÍA SUSANA BARRERA OCAMPO

Propietario

DR. JOAQUÍN CURIEL CANEDO

Suplente

ACT. ALBERTO DE LA ROSA ELIZALDE

Suplente

ACT. CARLOS FERNANDO LOZANO NATHAL

Consejo Departamental de Matemáticas

**Con todo mi amor y respeto**

**A MIS PADRES**

**y**

**Con todo mi agradecimiento**

**A MIS HERMANOS Y HERMANAS**

**A mi esposa por el apoyo que me brindó  
en estos años para el logro de este  
objetivo, que cierra y abre un capítulo más  
en mi vida.**

**El más sincero de los agradecimientos a mi profesor que me apoyó en todo momento y que tuvo la paciencia para asesorarme:  
Act. Francisco Sánchez Villarreal.**

# Contenido

---

## ***I. Administración de la Calidad***

1. Antecedentes del Control de Calidad	01
1.1. Calidad en la Antigüedad	
1.2. Calidad de la Época Medieval a principios del Siglo XX	
1.3. Calidad en el Siglo XX	
2. La Administración de la Calidad a través de diferentes autores	11
2.1. W. Edwards Deming	
2.2. Kaoru Ishikawa	
2.3. J. M. Juran	
2.4. Armand V. Feigenbaum	
3. La importancia del Control Estadístico en la Calidad	20

## ***II. Normas para el Aseguramiento de la Calidad***

1. ¿Qué son las Normas de Calidad?	22
2. Integración de las Normas Nacionales	25
3. Contenido de las Normas Nacionales	29
4. El Control Estadístico en las Normas Nacionales	31

## ***III. Aseguramiento de la Calidad en algunas empresas mexicanas***

1. Creencias acerca del Aseguramiento de la Calidad	33
2. Errores en la implantación del Aseguramiento de la Calidad	36
2.1. Implantar una teoría sin considerar las características propias del entorno	
2.2. Falta de involucramiento del personal adecuado	
2.3. Los ejecutivos esperan resultados de la noche a la mañana	
2.4. Se considera a la calidad un programa no un proceso	
2.5. Se anteponen restricciones de gasto a la necesidad de la	

	calidad	
	2.6. Recursos equívocos asignados a la implantación de la calidad	
	2.7. Los trabajos urgentes no dejan tiempo para los trabajos importantes	
3.	Prácticas comunes en el Aseguramiento de la Calidad	39
	3.1. Empresas de manufactura y similares	
	3.2. Empresas de servicio	
	3.3. Áreas de soporte administrativo y financiero en todas las empresas	

#### ***IV. Técnicas Estadísticas Básicas para el Aseguramiento de la Calidad***

1.	Las Técnicas Estadísticas como parte del Aseguramiento de la Calidad	46
	1.1. Diagramas de Pareto	
	1.2. Diagramas de Causa-Efecto	
2.	Técnicas de estadística descriptiva	54
	2.1. Recolección de datos	
	2.2. Cuadros estadísticos	
	2.3. Tablas de Frecuencias	
	2.4. Agrupamiento de datos	
	2.5. Histogramas	
	2.6. Medidas de posición: Media, Mediana, Moda y Rango medio	
	2.7. Medidas de dispersión o de variabilidad: Varianza, Desviación Estándar y Rango	
	2.8. Otras medidas: Cuartiles, Percentiles, Coeficiente de variación y Valor tipificado de la desviación estándar	
3.	Distribuciones de Probabilidad	74
	3.1. Variable aleatoria	
	3.2. Función de probabilidad discreta	
	3.3. Función de probabilidad continua	

3.4. Esperanza matemática y Momentos	
3.5. Distribución de probabilidad Binomial	
3.6. Distribución de probabilidad Normal	
4. Inferencia Estadística	87
4.1. Distribución Muestral	
4.2. Estimación de Parámetros	
4.3. Prueba de Hipótesis	
5. Control estadístico de Procesos	115

## ***V. Metodología para implantar el Aseguramiento de la Calidad***

1. Introducción y bases de la metodología	123
2. Etapas de la metodología	129
2.1. Definición. Identificación del problema u oportunidad	
2.2. Análisis. Definición de los requerimientos	
2.3. Diseño. Actualización y/o creación de procedimientos y programas	
2.4. Desarrollo. Ejecución/Conversión del diseño	
2.5. Pruebas. Ejecución de las pruebas integrales	
2.6. Implantación. Establecimiento de los procedimientos y programas	
2.7. Seguimiento. "Monitoreo" y regreso a la etapa uno	

## ***VI. Conclusiones*** 166

### ***Apéndices***

A Tabla normal de áreas	i
B Tabla de factores de gráficas de control	ii

### ***Bibliografía*** iii

# I Administración de la Calidad

---

## 1. Antecedentes del Control de Calidad

### 1.1. Calidad en la Antigüedad

Cada acto hecho por un individuo, un grupo de individuos o una organización para asegurar que un producto cumple un estándar deseado o especificado puede justificadamente ser visto como una actividad de control de calidad. Visto de esta forma, el control de calidad es casi, si no exactamente, tan viejo como la raza humana. Es bastante lógico pensar que, en los tiempos más tempranos, los actos de control de calidad no fueron conscientes, sino además fueron efectuados subconscientemente como parte de las actividades diarias, sin comunicación y restringidos a la individualidad. La historia y evolución del control de calidad están, por lo tanto, ligadas con los avances tecnológicos de la raza humana.

Para tener una clara perspectiva de los desarrollos recientes en control de calidad, pensemos que una gran diferencia entre el hombre y los animales es que el hombre controla su medio ambiente y particularmente su producción y sus herramientas.

### Los desarrollos de las antiguas civilizaciones

Aparentemente la raza humana empezó la creación y uso de las herramientas en la edad de piedra, según se infiere de los descubrimientos hechos en el norte de Londres. Muchos años después, hace unos 150,000 años hubo una pequeña mejora en el desarrollo de estas herramientas; pero no es sino hasta hace unos 10,000 años cuando el hombre empezó a ensamblar las partes, como se puede comprobar en los hoyos de las herramientas de esos días.

A través de este largo período, aparentemente cada hombre desarrolló sus propias herramientas de acuerdo a sus necesidades. Se supone que hace aproximadamente 5,000 años los egipcios hicieron y usaron, con cierto límite, arcos y flechas intercambiables.

No se sabe precisamente cuándo inició el control de calidad. Sin embargo hallazgos arqueológicos y restos de estructuras antiguas indican que para el tiempo de la construcción de las pirámides egipcias, esfuerzos conscientes en control de calidad empezaron a emerger. La perfección de las pirámides, la perfección de las obras maestras de los griegos y la resistencia en la estructura arquitectónica romana testifican esfuerzos conscientes para el control de calidad.

El cálculo del área de un círculo y del valor del factor  $\pi$  por parte de los antiguos egipcios fue más exacto que cualquier otro calculado por otras antiguas civilizaciones.

Los antiguos griegos también dejaron un legado en control de calidad. Su precisión y calidad en la literatura, matemáticas, arquitectura y la artesanía, fueron resultado de un desarrollo perfecto y de una gran expresión artística, mismos que posteriormente fueron usados como modelos para otras obras.

Los antiguos romanos también dejaron un legado en control de calidad con su arquitectura e ingeniería que aún persisten debido a su gran calidad y que también han sido usados como modelos para otras construcciones.

## 1.2. Calidad desde la Época Medieval hasta principios del siglo XX

### La Edad Media

En la Edad Media y hasta los años 1800, la producción de bienes y suministro de servicios estuvieron esencialmente limitados a individuos o,

a lo más, a un grupo de personas. El trabajador individual o grupo de trabajadores controlaban la calidad de los productos. Una peculiaridad de esta era fue que el productor y el inspector eran la misma persona y por lo tanto los estándares de calidad eran auto-establecidos. La decisión de conformidad entre la calidad del producto o el servicio y la necesidad del cliente eran hechas por el productor. Sin embargo esta época no estuvo totalmente carente de organización en el control de calidad, fue en este período que los gremios de artesanos fueron más productivos en Europa. Estos gremios fueron asociaciones medievales de maestros artesanos que se organizaron para ganar protección, tener una buena economía y bienestar social de sus miembros. Estos regularon la economía local urbana, mantuvieron precios estables bajo condiciones estables y especificaron estándares para la calidad de los bienes, estipulando las condiciones de trabajo y las medidas de los bienes, al igual que regularon cada detalle de manufactura, desde la línea de material hasta la terminación del producto. Estas actividades de regulación en la manufactura pudieron haber sido uno de sus más directos esfuerzos en el control de calidad.

No fue sino hasta 1787 que tuvimos la introducción del concepto de partes intercambiables y sólo hasta hace poco el hombre inició el estudio de la producción en masa.

De los años 1800 a la década de los años 1920

Límites de tolerancia "pasa", 1840 y "pasa, no pasa", 1870. Desde el punto de vista ideológico, es significativo que los primeros pasos dados hayan sido bajo la influencia del concepto de ciencia exacta. De acuerdo con esto la intención fue producir piezas de dimensiones exactas. Este proceso nos parece muy extraño hoy en día que estamos acostumbrados al uso de tolerancias. Pero no fue sino hasta 1840 que el concepto de límite de tolerancia "pasa" fue introducido y hasta 1870 que encontramos los límites de tolerancia "pasa, no pasa".

¿Por qué estos tres pasos: "exacto", "pasa", "no pasa"? La respuesta es muy sencilla, las manufactureras rápidamente se percataron de que no podrían hacer cosas exactamente iguales con respecto a una calidad dada: más aún, no era necesario que éstas fueran exactamente iguales y además era muy costoso tratar de hacer esto. De aquí que en 1840 aproximadamente las manufactureras se hayan ido fácilmente de los requerimientos de exactitud a los de límite de tolerancia "pasa". Veamos cómo funcionó esto: si tomamos, por ejemplo, un diseño que implique el uso de una flecha cilíndrica en un sostén, podríamos asegurar el intercambio simplemente usando un apropiado "pasa" en la medición del enchufe del sostén y un apropiado "pasa" en la medición del anillo sobre la flecha. En este caso, las diferencias entre las dimensiones de las dos mediciones "pasa" dieron un determinado espacio muerto. Sin embargo, aun utilizando tal método de medición, el espacio muerto no fue el máximo. Las manufactureras rápidamente se dieron cuenta de que la falta de ajuste entre una parte y sus mediciones "pasa" podrían resultar con suficiente movimiento entre la flecha y su sostén como para ser rechazada y por esta razón éstas trataron de mantener el ajuste entre la parte y sus mediciones "pasa" tan cerca como fuera posible. Esto implicaba algunas de las mismas dificultades que se habían experimentado tratando de elaborar las partes exactamente iguales. La introducción de la medición "pasa, no pasa" en 1870 fue por lo tanto un gran paso en el que se fijaron los límites de tolerancia superior e inferior para el ajuste de las partes, lo que dio a las manufactureras más libertad con una resultante de reducción en los costos. Todo lo que éstas tenían que hacer era mantenerse dentro de los límites de tolerancia - no tenían que desperdiciar tiempo tratando de ser innecesariamente exactas.

Con la industrialización a finales del siglo XIX y principios del XX la complejidad en la manufactura se incrementó. El crecimiento en la tecnología dio como resultado la necesidad de que varios trabajadores desempeñaran tareas similares o bien muy específicas. Con esto nació el supervisor y además el dueño se hizo presente en las fábricas debido a la

competencia. Por lo tanto la creación de estándares, además de la toma de decisiones clave en control de calidad fueron hechas por el dueño. Hasta aquí todavía los gerentes tenían que supervisar el trabajo de los grupos formados para garantizar que los productos estuvieran conforme a las metas y los estándares establecidos.

Conforme avanzó el siglo XIX la complejidad de la manufactura se incrementó y los supervisores tenían cada vez más gente a su cargo, de tal forma que las organizaciones pronto se dieron cuenta de que necesitaban a un inspector que verificara la calidad de los productos, permitiendo así al supervisor y a los trabajadores dedicarse a la manufactura y producción.

Hacia finales del siglo XIX la necesidad de diseminar el conocimiento técnico a través de publicaciones fue reconocido, por lo que en esta época se publicó el "*Journal of the American Statistical Society*".

No obstante el establecimiento de los límites de tolerancia y la diseminación de los conocimientos técnicos que fueron de gran importancia, algo más quedaba por hacer. Los límites son necesariamente establecidos de tal forma que siempre hay en la producción una pieza cuyas características de calidad caen fuera de sus rangos especificados y es por lo tanto defectuosa. Desechar o modificar esas piezas implica costos de producción. Pero encontrar las causas desconocidas de tales defectos y tratar de corregirlos también cuesta dinero. De aquí que después de introducir los límites de tolerancia "pasa, no pasa", aun quedaba el problema de tratar de reducir la fracción "p" de defectos a un punto donde la tasa de incremento en el costo de control fuera igual a la tasa de incremento en el ahorro acarreado a través del decremento en el número de partes rechazadas.

Sin embargo, el problema de disminuir el porcentaje de defectos, no era el único por resolverse. Las pruebas para muchas características de calidad -

resistencia, composición química, tiempo de duración de un fusible, etcétera - eran destructivas. De aquí que no cada parte de la producción podía ser probada y los ingenieros debían recurrir al uso de muestras, pero ¿qué tan grande debería ser la muestra tomada en un caso dado con el fin de ganar una adecuada seguridad en la calidad?

Las rutinas de calidad que empleaban los inspectores a principios de los años 1900 no eran suficientes para algunas compañías. Compañías como "*Western Electric*" que trabajaba bajo contrato de la "*American Bell Telephone Company*" buscaban métodos más rigurosos para el control de calidad que pudieran generar confianza en sus instrumentos y aplicaciones. A raíz de esta necesidad en 1924 se formó el Departamento de Ingeniería de Inspección de los "*Western Electric's Bell Telephone Laboratories*". Entre los integrantes de este grupo estaban H. F. Dodge, W.A. Shewhart, W.E. Deming y H.G. Romig.

El desarrollo de sus teorías y los métodos de control y aseguramiento de la calidad dieron como resultado la creación de la primera gráfica de control, diseñada por Shewhart, dando origen a la introducción de la operación del control estadístico. Además de la gráfica también desarrollaron los siguientes conceptos: riesgo del consumidor "consumer's risk", riesgo del productor "producer's risk", probabilidad de aceptación "probability of acceptance", curvas características de la operación "operating characteristic (OC) curves", porcentaje defectuoso tolerado por lote "lot tolerance percent defective (LTPD)", inspección total promedio "average total inspection (ATI)", muestras dobles "double sampling", riesgos tipo A y tipo B "type A and type B risks", muestreo de inspección por atributos "sampling inspection by attributes", tablas de muestreo para límites de calidad fuera del promedio "average outgoing quality limit (AOQL) sampling tables" y muestreos múltiples "multiple sampling", entre otros.

### 1.3. Calidad en el Siglo XX

De los años 1930 a la fecha.

El mayor desarrollo en la década de los años '30 fue la aplicación de la técnica de muestreo de aceptación y la diseminación de la idea de la gráfica de Shewhart. En esta década Pearson en Inglaterra desarrolló los "British Standards Institution Standard Number 600", mientras en Estados Unidos J. Scanlon desarrolló un plan para que los trabajadores, supervisores y gerentes conjuntamente trabajaran para mejorar la calidad del trabajo.

Los años '40 vieron nacer lo que se conoce actualmente como control de calidad estadístico. La "American Standards Association (ASA)", bajo requerimiento del departamento de guerra, se involucró en la aplicación del control de calidad para la manufactura de productos; de estos requerimientos salieron algunos estándares como el AWS Z1.1. "Guide to Quality Control" y AWS Z1.2. "Control Charts Methods of Analyzing Data". En esta década, debido a los requerimientos de calidad que exigía la industria de la guerra, se continuó con el desarrollo de los procedimientos de inspección estándar y de igual forma se mejoraron los procedimientos de muestreo por atributos y análisis secuencial. También en este periodo se desarrollaron muchas medidas de calidad en los laboratorios debido a la importancia de sus productos.

La década de los años '50 se distinguió por la marcada modificación a los estándares previamente establecidos y a la creación de otros. En estos años se publicaron los estándares MIL-STD-105A que sufrieron modificaciones hasta llegar a los MIL-STD-105D. Se introdujo el concepto de confiabilidad que asegura que el producto se producirá de acuerdo a lo planeado, con cierta probabilidad de éxito en un tiempo dado. El control de calidad se diseminó por todo el mundo sobre todo en el Japón. Los años '50 vieron la creación de nuevos métodos estadísticos para el control de calidad como en Gran Bretaña en donde se introdujo la gráfica de sumas acumulativas (CUSUM).

En los años '60 se inició una nueva era que Feigenbaum describió como Control Total de Calidad. Esencialmente antes de los años '60 las actividades del control de calidad se asociaron con la línea de producción. Las técnicas estadísticas no eran utilizadas en aquellos problemas en los cuales los gerentes estaban más interesados. El control total de calidad propugnó la idea de que todos los departamentos, no sólo el departamento de control de calidad, tuvieran responsabilidades de control de calidad. Por lo tanto cada departamento tenía algo que ver con la garantía del control de calidad. Al mismo tiempo que se empezó a manejar el concepto de control total de calidad, se inició el concepto de Cero Defectos.

Otro concepto importante que involucraba a los supervisores y los trabajadores, se creó en Japón: los Círculos de Calidad. Éste hace que los trabajadores discutan problemas de calidad con sus supervisores y además permite la capacitación en técnicas de control de calidad. En esta década surgieron varias publicaciones como *Quality Progress* (Progreso de la Calidad), el *Journal of Quality Technology* (Diario de Tecnología de la Calidad) y la revista *Quality* (Calidad), entre otras.

En la década de los setenta, el control de calidad entró completamente a otra etapa. Esta fue denominada por Ishikawa como la etapa de "*Companywide Quality Control*" (Control de Calidad a lo largo de la Compañía) y como "*Total Quality Control Organizationwide*" (Control Total de Calidad a lo largo de la Organización) por Feigenbaum. Esta fase se caracterizó por el marcado énfasis en la participación de cada trabajador, desde el presidente de la compañía hasta el operador del equipo. Un documento escrito por Deming parece indicar que los japoneses iniciaron esta fase desde principios de los años cincuenta. Hasta esta década existían varias definiciones de control de calidad debido a la intensa actividad en esta área. Fue hasta 1978 que el Instituto Nacional Norteamericano de Estándares (ANSI) definió el control de calidad como "*the totality of*

*features and characteristics of a product or service that bear on its ability to satisfy given needs*" (La totalidad de cualidades y características de un producto o servicio en las que se apoya su habilidad de satisfacer ciertas necesidades). A principios de los años setenta también se empezó a manejar el concepto de costo de calidad, que involucraba ya los costos preventivos, de evaluación, internos y externos.

En el año de 1976 Ishikawa introdujo en Japón el diagrama de pescado o diagrama de causa y efecto, mismo que permite considerar todas las causas que originan los problemas particulares de calidad en un producto dado.

En estos años Taguchi promovió (recordemos que estos métodos fueron hechos en la década de los cincuenta) el uso de métodos estadísticos para la mejora del diseño del producto; éstos incluyen parámetros y tolerancia de diseño, la función de pérdida de la calidad y el diseño de experimentos, entre otros.

Finalmente en estos años se inició el uso de la computadora para el aseguramiento de la calidad, tanto para el control de procesos como para el control de servicios. Mediante la computadora se integró el diseño de las partes y productos manufacturados con la inspección y prueba de los mismos.

Si cada una de las eras está marcada cada vez por una mayor actividad en el control de calidad, la década de los '80 podría definirse como la era de los "slogans" (lemas). Aunque estos lemas no eran nuevos para estas fechas, las industrias norteamericanas, en un esfuerzo por permanecer en el mercado, constantemente bombardeaban a los consumidores. No obstante que estos lemas no agregaban valor al control de calidad de los productos, lograban poner en manos del público la importancia de la calidad de los productos. Se dio un gran empuje a la administración de la calidad, sobre todo en el aspecto humano. Los ochenta se caracterizaron por un gran auge

en técnicas estadísticas de control de calidad. El problema para entonces lo representaba la forma en que estos métodos se implantarían, vía el personal, lo que representaba el reto desde el punto de vista humano a través de todos los integrantes de la organización. La administración de calidad reconoce la importancia de sistema total de una organización y busca caminos efectivos para integrar los esfuerzos a lo largo de un gran número de gente con un gran número de máquinas y una impresionante cantidad de información.

Juran afirma que el 80 por ciento de los problemas en calidad provienen de la dirección/ gerencia, de tal forma que la administración de la calidad ha llegado a ser crucial para la sobrevivencia de las industrias.

Como en otros campos de la tecnología, el control de calidad y su aseguramiento han experimentado un gran crecimiento en las aplicaciones por computadora, por lo que se puso de manifiesto la importancia de ésta en la administración de la calidad.

Los desarrollos más recientes y eventos continuos, son representados por actividades como aseguramiento del diseño, procuración (gestión o logro) del aseguramiento de la calidad, control de calidad en la producción y auditoría en el control de calidad.

Las tendencias futuras están representadas por: i) los requerimientos - en cuanto a calidad se refiere - de los clientes se han incrementado en forma importante, ii) como resultado de este incremento los clientes exigen mayor calidad en todos los productos y iii) los costos de la calidad se incrementan considerablemente en las compañías que deciden seguir mejorando sus productos y por tanto permanecer en el mercado.

## **2. La administración de la calidad a través de diferentes autores**

### **2.1. W. Edwards Deming**

Deming explica que al aumentar la calidad se incrementa la productividad, ya que se evita el retrabajo o reprocesos y existen menos desperdicios. El consumidor es la pieza más importante de la línea de producción. La calidad se debe orientar a las necesidades del consumidor, presente y futuro.

El mejoramiento de la calidad debe iniciar desde la dirección y es responsabilidad de cada una de las áreas de la empresa adquirir un compromiso total: los directivos, las plantas, los ingenieros, los operarios, los proveedores, todo el mundo. De igual forma se debe entrar en acción y no sólo platicar acerca de calidad; deben evitar los lemas y exhortaciones que no conducen a ningún lado ya que lo que el trabajador necesita es conocimiento y dirección para mejorar la calidad, no alguien que le esté presionando para que haga mejor su trabajo, sin saber siquiera si lo que está desempeñando es lo adecuado y correcto. Esto es importante debido a que el progreso sustancial debe provenir de una acción sobre el sistema, lo cual es responsabilidad de la dirección.

Es importante que los directivos se preocupen más por el mejoramiento continuo y constante de sus productos y servicios en vez de preocuparse por las ganancias de los próximos tres meses. Es más importante saber si la empresa sobrevivirá durante los próximos tres, cinco, diez, veinte años, que ver si tendrán utilidades en los meses inmediatos.

El control estadístico abrió las puertas a la innovación y creatividad, permitiendo así la identificación de las variaciones y el control del proceso.

Deming garantiza que siguiendo su gestión de los catorce puntos, además de trabajar en lo que él denomina las enfermedades mortales y los obstáculos, se generará la base para la transformación de la empresa. Este enfoque sirve para cualquier tipo de organización, sea ésta pequeña o grande, de manufactura o de servicios o solamente una división.

A continuación se enlistan los catorce puntos de su gestión:

- 1.- Generar constancia en el propósito de mejorar el producto y el servicio, con el objetivo de llegar a ser competitivos y permanecer en el negocio, así como proporcionar puestos de trabajo.
- 2.- Adoptar la nueva filosofía. Nos encontramos en una nueva era económica. Los directivos occidentales deben estar conscientes del reto, deben aprender sus responsabilidades y hacerse cargo del liderazgo para cambiar.
- 3.- Dejar de depender de la inspección para lograr la calidad. Eliminar la necesidad de la inspección en masa, incorporando la calidad dentro del producto en primer lugar.
- 4.- Acabar con la práctica de hacer negocios sobre la base del precio. En vez de ello, disminuir el costo total. Tender a tener un solo proveedor para cualquier artículo, con una relación a largo plazo de lealtad y confianza.
- 5.- Mejorar constantemente el sistema de producción y servicio para mejorar la calidad y la productividad así como reducir los costos continuamente.
- 6.- Implantar la formación en el trabajo, de tal forma que todo el personal adquiera el conocimiento de la empresa.
- 7.- Implantar el liderazgo. El objetivo de la supervisión debería consistir en ayudar a las personas, a las máquinas y aparatos para que hagan un trabajo mejor. Se necesita revisar la actividad de supervisión de la gerencia y de los mandos medios.
- 8.- Desechar el miedo, de manera que cada uno pueda trabajar con eficacia para la compañía.

9.- Derribar la barrera entre los departamentos. Las personas en investigación, diseño, ventas y producción deben trabajar en equipo para prever los problemas de producción y durante el uso del producto que pudieran surgir con el producto o el servicio.

10.- Eliminar los lemas, exhortaciones y metas para pedir a la mano de obra cero defectos y nuevos niveles de productividad. Tales exhortaciones sólo crean unas relaciones adversas, ya que el grueso de las causas de la baja calidad y baja productividad pertenecen al sistema y por tanto caen más allá de las posibilidades de la mano de obra.

11.- a) Eliminar los estándares de trabajo (cuotas) en planta, sustituyéndolos por un buen liderazgo. b) Eliminar la gestión por objetivos, números y objetivos numéricos, sustituyéndolos por un buen liderazgo.

12.- a) Eliminar las barreras que privan al trabajador de su derecho a estar orgulloso de su trabajo. La responsabilidad de los supervisores debe virar de los meros números a la calidad. b) Eliminar las barreras que privan al personal de dirección y de ingeniería de su derecho a estar orgullosos de su trabajo. Esto quiere decir, entre otras, la abolición de la calificación anual o por méritos y de la gestión por objetivos.

13.- Implantar un programa vigoroso de educación y auto-superación de mejora.

14.- Poner a todo el personal de la compañía a trabajar para conseguir la transformación. La transformación es tarea de todos.

## 2.2. Kaoru Ishikawa

Ishikawa define el control de calidad de la siguiente manera "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". La interpretación de la palabra calidad para Ishikawa significa en su sentido más limitado calidad del producto y en su sentido más amplio significa calidad del trabajo, calidad del servicio, calidad de la información, calidad del proceso, calidad de la división,

calidad de las personas incluyendo a los trabajadores, ingenieros, gerentes y ejecutivos, calidad del sistema, etc., es decir controlar la calidad en todas sus manifestaciones.

El control se describe con las palabras "planear, hacer, verificar, actuar" y se definen seis pasos para el sistema "Círculo de Control":

Planear:

- 1.- Definir metas y objetivos
- 2.- Determinar métodos para alcanzar las metas

Hacer:

- 3.- Dar educación y capacitación
- 4.- Realizar el trabajo

Verificar:

- 5.- Verificar los efectos de la realización del trabajo

Actuar:

- 6.- Empezar la acción apropiada de acuerdo al punto cinco

Si a estos pasos se les aplican métodos estadísticos, el proceso se convierte en control estadístico. Respecto a la calidad se convierte en control de calidad estadístico y respecto al costo se convierte en control estadístico de costos.

Ishikawa enfatiza que el control de calidad se hace para lograr aquella calidad que cumpla los requisitos de los consumidores y para lograrla ésta debe incorporarse dentro de cada diseño y cada proceso, ya que no puede crearse mediante la inspección. El concepto básico que sustenta el control es la prevención de errores repetidos.

Uno de los conceptos importantes es la Garantía de Calidad, asegurar la calidad en un producto de modo que el cliente pueda comprarlo con confianza y utilizarlo largo tiempo con confianza y satisfacción. La Garantía de Calidad se basa en el principio de que los responsables de ésta son las divisiones de diseño y manufactura y no de la división de inspección. Este principio da como resultado que los mismos trabajadores

inspeccionen su trabajo antes de que lo pasen a la siguiente sección, lo que implica mayor énfasis en el control de procesos y en el desarrollo de nuevos productos en el cual deberán de participar todas las áreas de la compañía.

El Control Total de Calidad o Control de Calidad en Toda la Empresa, como la denomina Ishikawa, es el control de calidad con participación de todas las divisiones y todos los empleados. Esto significa que todo individuo en cada división de la empresa deberá estudiar, practicar y participar en el control de calidad, además también considera que a la empresa se deben integrar los subcontratistas, los sistemas de distribución y las filiales. Esta integración incluye no sólo el control de calidad, sino el control de costos, cantidades y fechas de entrega. Los círculos de control de calidad deben ser usados a través de toda la empresa como parte del control total de calidad.

El Control Total de Calidad es administración con hechos y el Control de Calidad debe ser uno de los principales objetivos dentro de la empresa, el cual combina el conocimientos con la acción.

La forma en que una empresa puede transformarse es mediante la aplicación del control de calidad a través del control total de calidad, considerando los siguientes puntos:

- 1) Primero la calidad, no las utilidades a corto plazo.
- 2) Orientación hacia el consumidor, no hacia el productor. Pensar desde el punto de vista de los demás.
- 3) El proceso siguiente es su cliente, hay que derribar las barreras del "seccionalismo".
- 4) Utilizar datos y números en las presentaciones, utilización de métodos estadísticos.
- 5) Respeto a la humanidad como filosofía administrativa, administración totalmente participativa

## 6) Administración interfuncional.

### 2.3. J. M. Juran

Juran nos explica que en la actualidad la pérdida de las ventas debido a la competencia en calidad ha caído en más del 25 % para muchas empresas. De igual forma los costos por la mala calidad se han incrementado hasta en un 40 % aproximadamente.

Si bien la creación de productos altamente funcionales ha ayudado a la humanidad, también existe la posibilidad, debido a la mala planificación de la calidad, de ocasionar daños muy grandes, por ejemplo explosiones en plantas nucleares o medicamentos que ocasionan fuertes daños colaterales.

En la década de los ochenta muchos directivos se percataron de que la crisis se debía a la mala planificación por lo que emprendieron campañas de conscientización, mediante el uso de carteles, lemas, gritos de combate, etc. Esta campaña logró conscientizar a la gente en el comportamiento hacia la calidad pero no trajo consigo acciones para el mejoramiento de la planificación de la calidad.

Se deberá manejar un enfoque nuevo que nos permita satisfacer las necesidades modernas de calidad; este enfoque debe considerar que la calidad tiene múltiples significados. Uno de ellos es que la calidad es el comportamiento del producto, es decir es el resultado de las características del producto que crean satisfacción y hacen que los clientes compren el producto. Otro es la ausencia de deficiencias, las deficiencias crean insatisfacción en el producto y hacen que el cliente se queje.

Una definición sencilla para calidad es "adecuación al uso". Los clientes son aquellas personas en las que nuestros productos y procesos repercuten, éstos pueden ser internos o externos a nuestra empresa. Los productos los consideraremos como bienes o servicios.

La administración de la calidad se realiza mediante la llamada trilogía de Juran que consiste en planificar, controlar y mejorar la calidad y que además no es nueva ya que ha sido usada anteriormente por los financieros.

La trilogía comienza con la **planificación de la calidad**. El objeto de planificar la calidad es suministrar a las fuerzas operativas los medios para producir productos que puedan satisfacer las necesidades de los clientes, productos tales como facturas, película de polietileno, contratos de ventas, llamadas de asistencia técnica y diseños nuevos para los bienes.

Una vez que se ha completado la planificación, el plan se pasa a las fuerzas operativas. Su trabajo es producir el producto. Al ir progresando las operaciones, vemos que el proceso es deficiente; se pierde el 20 % del esfuerzo operativo, porque el trabajo se tiene que rehacer debido a las deficiencias de la calidad. Esta pérdida se hace crónica porque el proceso se planificó así. Bajo patrones convencionales de responsabilidad, las fuerzas operativas son incapaces de eliminar esa pérdida crónica planificada. En vez de ello, lo que hacen es realizar el **control de calidad** para evitar que las cosas empeoren. El control incluye apagar incendios y ejecutar actividades no planeadas.

Al ajustar y retrabajar los productos, la pérdida crónica desciende a un nivel muy por debajo del que se planificó originalmente. Esta ventaja se logró por el tercer proceso de la trilogía: **mejora de la calidad**. En efecto, se comprendió que la pérdida crónica también era una oportunidad para mejorar, de modo que se tomaron medidas para no dejar escapar esa oportunidad.

La planificación de la calidad consiste en desarrollar los productos y procesos necesarios para satisfacer las necesidades de los clientes, a través de una serie invariable de actividades de planificación específicas que van seguidas una tras otra por medio de una cadena de unión de entrada-salida,

el concepto del triple papel - cliente, procesador y proveedor -, unidades de medida comunes y medios comunes para evaluar la calidad. Estas actividades de planificación específicas son las siguientes:

- 1) Identificar quiénes son los clientes.
- 2) Determinar las necesidades de esos clientes.
- 3) Traducir esas necesidades a nuestro lenguaje.
- 4) Establecer unidades de medida.
- 5) Establecer medida.
- 6) Desarrollar un producto que pueda responder a esas necesidades.
- 7) Aprovechar las características del producto de forma que satisfaga nuestras necesidades así como las de los clientes.
- 8) Desarrollar un proceso que sea capaz de producir el producto.
- 9) Aprovechar el proceso
- 10) Demostrar que el proceso puede producir el producto bajo las condiciones operativas.
- 11) Transferir el proceso a las fuerzas operativas

#### 2.4. Armand V. Feigenbaum

El Dr. Feigenbaum originó el concepto de Control Total de Calidad (CTC) en los años cincuenta. Para el Dr. Feigenbaum el CTC es un sistema efectivo para integrar los esfuerzos en materia de desarrollo de calidad, mantenimiento de calidad y mejoramiento de calidad realizados por diversos grupos en una organización con el fin de situar a las áreas de mercadotecnia, ingeniería, producción y servicio en los niveles más económicos para la producción de bienes y servicios y que además permita la completa satisfacción del cliente. Igualmente comenta que la calidad es en esencia una forma de administrar la organización.

El control de calidad se ha confundido durante años con materias o métodos particulares como las gráficas de control, medición de variaciones, diseño de experimentos, etcétera y en realidad éstos son sólo una parte de lo que el control de calidad debe incluir.

Los principios fundamentales y las diferencias básicas con los otros conceptos, es lo que provee una efectividad genuina: el control debe iniciar con la identificación de los requerimientos de calidad del cliente y terminar solamente cuando el producto ha sido puesto en las manos del cliente, quien queda satisfecho. El CTC guía las acciones coordinadas de la gente, las máquinas y la información para lograr estas metas.

La razón de este amplio alcance es que la calidad de cualquier producto es afectada en muchas etapas del ciclo industrial. Estas ocho etapas del ciclo comprenden a las áreas de Mercadotecnia, Ingeniería, Compras, Manufactura, Supervisión de Manufactura y Operaciones, Inspección Mecánica y Prueba Funcional, Embarques e Instalación y Servicios.

De acuerdo con el Dr. Feigenbaum existen doce puntos fundamentales que nos permiten identificar un sólido sistema de calidad y éstos son en forma general los siguientes:

- 1) Controlar la calidad en forma integrada a lo largo de toda la compañía
- 2) Proveer enlaces con la alta gerencia para la toma de decisiones de calidad de primera
- 3) Promover un presupuesto y técnicas suficientemente competitivas para lograr calidad y confiabilidad durante la vida del producto
- 4) Establecer el control de calidad como un conjunto de disciplinas a ser aplicadas a través del negocio y no como una simple función de la organización
- 5) Hacer equipo con el cliente para controlar la calidad y tener una retroalimentación positiva
- 6) Establecer claramente estructuras e informes de los costos de calidad
- 7) Hacer que la motivación de calidad sea un proceso continuo de metas y medidas de calidad
- 8) Estructurar una contribución tecnológica única para la planta y la compañía a través de calidad y confiabilidad

- 9) Proveer una medida continua y un seguimiento a la satisfacción real del cliente con el producto en uso
- 10) Proveer un servicio bueno, rápido y económico al producto
- 11) Integrar seguridad en el producto y consideraciones del control y responsabilidad del producto de acuerdo al programa de calidad
- 12) Agregar un mayor alcance de trabajo en toda la compañía para las funciones de calidad

### **3. La importancia del control estadístico en la calidad**

Como puede observarse todos los grandes pensadores de la calidad le dan un lugar muy importante al control estadístico dentro de sus ideas o metodologías para el mejoramiento de la calidad. A continuación se mencionan de manera breve algunos de los puntos importantes que cada experto incluye dentro de su idea o metodología:

El Dr. W. Edwards Deming, menciona en uno de sus catorce puntos que: se debe mejorar siempre y constantemente el sistema de producción y servicio, para mejorar la calidad y la productividad y así reducir los costos continuamente. La forma de mejorar estos sistemas es mediante la mejora de los procesos, mejora que se lleva a cabo con el control estadístico. El control estadístico abrió las puertas a la innovación y creatividad, permitiendo así la identificación de las variaciones y el control del proceso.

Todo el personal de la empresa debe recibir capacitación profesional en control estadístico de calidad y no la que actualmente se lleva a cabo impartida por improvisados.

Dentro del enfoque administrativo que le da Juran a la calidad resulta interesante mencionar sus ideas respecto a: contar con una técnica para

medir la calidad en el desarrollo y control de los productos así como dar un enfoque bastante sencillo y práctico a éstas. De igual forma comenta que si no existe una medida estándar no podrán ser tomadas las decisiones importantes para el mejoramiento de la calidad, mismas que están regidas por el control estadístico.

Ishikawa menciona que si un gerente no utiliza cifras y métodos estadísticos y sólo se vale de su propia experiencia, su sexto sentido y sus corazonadas, está reconociendo que su empresa no posee una alta tecnología. Como resultado de la mejor actitud gerencial tenemos una importante y sobresaliente utilización de datos, cifras y métodos estadísticos.

Feigenbaum menciona que la estadística ha llegado a ser más y más aceptada y usada en la industria y por lo tanto día con día juega un papel muy importante en el CTC. También menciona que los métodos estadísticos usados en el CTC hoy en día son prácticos y no son vistos como una ciencia pura.

## II Normas para el aseguramiento de la calidad

---

### 1. ¿Qué son las normas de calidad?

Las normas de calidad hoy en día juegan un papel muy importante tanto en la producción de bienes como en las empresas de servicios. Se trata de elementos que sirven para determinar si un producto o servicio fue realizado con calidad y además cumple con las especificaciones y los requisitos de buen funcionamiento, seguridad, mantenimiento, buena presentación, duración, entre otros, que fueron estipulados para satisfacer las necesidades del cliente.

Existen instituciones a nivel mundial y nacional que se encargan de investigar, analizar, definir, establecer, publicar y difundir las normas para el aseguramiento de la calidad que se aplican a los productos y/o servicios en cuestión. En el ámbito internacional existen entre otras: la "*International Organization for Standardization (ISO)*", Organización Internacional para la Estandarización y la "*American National Standards Institute (ANSI)*", Instituto de Estándares Nacional Norteamericano; en el nacional existe la Dirección General de Normas (DGN), dirección perteneciente a la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Las normas de calidad definen todas las reglas, conceptos y términos que se requieren para el aseguramiento de la calidad que se aplican a productos y/o servicios, entre un proveedor y su cliente. Cabe aclarar que dentro de una misma empresa existe esta relación de cliente-proveedor.

Con el fin de facilitar la comunicación y la comprensión de los términos generales que se emplean entre el personal involucrado con el

aseguramiento de la calidad, así como de los términos usados específicamente en la normatividad nacional de sistemas de calidad, se proporcionan los términos y definiciones fundamentales relativos a los conceptos de aseguramiento de calidad aplicables a productos y/o servicios, para la elaboración y uso de normas y especificaciones de aseguramiento de calidad, facilitando el entendimiento mutuo y comprensión de las mismas.

**Por producto o servicio se entiende:**

- El resultado de actividades o procesos (productos materiales o tangibles; productos no materiales o intangibles, tales como un programa de computadora, un diseño o proyecto o un instructivo).
- Actividades o procesos (tales como la prestación de un servicio o la ejecución de un proceso de producción).

**Aseguramiento de calidad:** conjunto de actividades planeadas y sistemáticas, que lleva a cabo una empresa, con el objeto de brindar la confianza apropiada, de que un producto o servicio cumple con los requisitos de calidad especificados.

**Auditor:** individuo calificado y certificado cuya experiencia y entrenamiento le permiten reportar deficiencias o desviaciones, evaluar y orientar acciones correctivas, además de ejecutar cualquier actividad dentro de una auditoría

**Auditoría de calidad:** examen sistemático e independiente para determinar si las actividades de calidad y sus resultados cumplen con las disposiciones preestablecidas y si éstas son implantadas eficazmente y son adecuadas para alcanzar los objetivos.

**Inspección:** actividades tales como medir, examinar, probar o ensayar una o más características de un producto o servicio y comparar a éstas, con las exigencias y requisitos especificados para determinar su conformidad.

**Calidad:** Conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades explícitas o implícitas preestablecidas.

**Ciclo de la calidad:** modelo conceptual de las actividades interdependientes que influyen sobre la calidad de un producto o servicio a lo largo de todas sus fases, desde la identificación de las necesidades del cliente, hasta la evaluación del grado de satisfacción de éstas.

**Control de calidad:** conjunto de métodos y actividades de carácter operativo, que se utilizan para satisfacer el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos.

**Defecto:** el no cumplimiento de los requisitos de uso propuestos o señalados.

**No conformidad:** el no cumplimiento de los requisitos establecidos.

**Especificación:** Documento que establece los requisitos o exigencias que el producto o servicio debe cumplir.

**Fiabilidad:** Capacidad de un producto, elemento o dispositivo para cumplir una función requerida bajo las condiciones dadas y para un período de tiempo establecido.

El término de fiabilidad también se utiliza como una característica de fiabilidad que designa una probabilidad de buen funcionamiento (éxito) o un porcentaje de éxitos.

**Gestión de calidad:** función general de la gestión que determina e implanta la política de calidad que incluye la planeación estratégica, la asignación de recursos y otras acciones sistemáticas en el campo de la calidad, tales como la planeación de la calidad, desarrollo de actividades operacionales y de evaluación relativas a la calidad.

**Grado / Clase:** indicador de categoría o de rango referido a las propiedades o características de un producto o servicio, para cubrir diversas necesidades destinadas a un mismo uso funcional.

**Revisión del diseño/proyecto:** examen formal, documentado, completo y sistemático de un diseño, con el fin de evaluar los requisitos iniciales del

diseño y la capacidad del mismo para alcanzar estos requisitos, identificar problemas y proponer soluciones.

**Sistema de calidad:** estructura organizacional, conjunto de recursos, responsabilidades y procedimientos establecidos para asegurar que los productos, procesos o servicios cumplan satisfactoriamente con el fin al que están destinados y que están dirigidos hacia la gestión de la calidad.

**Vigilancia de la calidad/Seguimiento de la calidad:** verificación y seguimiento permanente del estado de los procedimientos, los métodos, las condiciones de ejecución, los procesos, los productos y servicios, así como el análisis de los registros en relación a las referencias establecidas con el fin de asegurar que se cumplan los requisitos de calidad especificados.

Es importante mencionar que estos términos y conceptos también son usados en concordancia por las diferentes asociaciones internacionales.

## **2. Integración de las normas nacionales**

Algunas de las normas definidas en el ámbito nacional han sido realizadas tomando en cuenta las normas internacionales, lo cual es una ventaja ya que esto implica que los productos y/o servicios nacionales pueden ser competitivos a nivel mundial.

Las normas para el aseguramiento de la calidad incluyen desde la definición del vocabulario, la definición de los requerimientos para el desarrollo de los productos y/o servicios hasta la forma de entrega y/o prestación de éstos.

En las publicaciones emitidas por las instituciones mencionadas anteriormente, se puede encontrar en forma explícita cada una de estas normas existentes para el aseguramiento de la calidad.

En forma general podemos mencionar que en México existen, entre otras, las normas (definidas y publicadas por la DGN) para:

- A) Proporcionar las directrices generales a todas las empresas, para propósitos de la gestión de calidad
- B) Proporcionar los modelos para el aseguramiento de la calidad que son aplicables al desarrollo de proyectos, diseños, fabricación, la instalación y el servicio
- C) Fines externos de aseguramiento de calidad en situaciones contractuales
- D) La calificación y certificación de auditores, así como la realización de inspección y auditorías de calidad
- E) Normar los criterios para los organismos de certificación de; sistemas de calidad, de productos y de personal
- F) Reglamentar los criterios generales referentes a la declaración de conformidad de los proveedores
- G) Definir los criterios generales para la operación de los laboratorios de pruebas, así como para la evaluación de los mismos
- H) Normar los criterios generales relativos a los organismos de acreditamiento de laboratorios

En forma particular para los efectos de este trabajo se mencionan algunas de las normas que pueden ayudar específicamente en el aseguramiento de calidad:

1. Sistemas de calidad; Vocabulario. *NOM-CC-1.*

Esta norma nos ayuda a establecer los términos y definiciones empleadas en el campo del aseguramiento de la calidad, con el fin de que todos los involucrados en el proceso de la calidad tengan el mismo entendimiento respecto a todo el lenguaje, términos y conceptos usado en este tema.

2. Sistemas de calidad-gestión de calidad; Guía para la selección y el uso de normas de aseguramiento de calidad. *NOM-CC-2.*

Con esta norma podemos fácilmente establecer las diferencias e interrelaciones entre los principales conceptos de calidad. También nos proporciona la guía para la selección y uso de las normas de sistemas de calidad que pueden ser empleadas para propósitos de la gestión interna de calidad y para propósitos externos de aseguramiento de calidad. La selección se hará con base a las normas existentes que publica la DGN para el ámbito nacional.

3. Sistemas de calidad; Modelo para el aseguramiento de la calidad aplicable al proyecto/diseño, la fabricación, la instalación y el servicio. *NOM-CC-3*.

El propósito de la presente norma es el de orientar la integración de los elementos que conforman el sistema de aseguramiento de calidad de un proveedor que tiene la responsabilidad de efectuar las actividades desde el diseño/proyecto hasta el servicio al cliente. Esta también es utilizada para regular las relaciones contractuales entre las partes (proveedor y cliente), así como para la evaluación de dichos sistemas

De la misma manera esta norma nos ayuda a establecer los requisitos mínimos que debe cumplir el sistema de aseguramiento de calidad de un proveedor que tiene la responsabilidad de proyectar y/o diseñar, fabricar e instalar un producto y proporcionar el servicio correspondiente al producto.

Los requisitos establecidos en esta norma, tienen el objetivo de evitar productos no conformes en todas sus etapas, desde el proyecto o diseño, hasta el final de la vida útil del producto, incluyendo los servicios al cliente. En el caso de productos no conformes, se busca su detección, identificación y segregación, así como la implantación de acciones correctivas de manera oportuna.

4. Sistemas de calidad; Modelo para el aseguramiento de la calidad aplicable a la fabricación e instalación. *NOM-CC-4*.

La presente norma trata los mismos puntos que la inmediata anterior, con la diferencia que ésta es aplicable para cuando el proveedor tiene la responsabilidad de fabricar e instalar un producto y/o servicio.

5. Sistemas de calidad; Modelo para el aseguramiento de la calidad aplicable a la inspección y pruebas finales. *NOM-CC-5*.

El propósito de la presente norma es el de orientar la integración de los elementos que conforman el sistema de aseguramiento de calidad de un proveedor que tiene la responsabilidad de asegurar la conformidad de los productos y/o servicios, mediante la inspección y pruebas de aceptación. Esta norma establece los requisitos mínimos que debe cumplir el sistema de aseguramiento de calidad de un proveedor que tiene la responsabilidad de inspeccionar y efectuar las pruebas finales de aceptación correspondientes al producto.

6. Sistemas de calidad; Gestión de la calidad y elementos de un sistema de calidad. Directrices generales. *NOM-CC-6*.

Esta norma oficial mexicana describe los elementos básicos por medio de los cuales un sistema de calidad puede ser desarrollado e implantado.

La selección de los elementos apropiados contenidos en esta norma y la extensión en que son adoptados y aplicados por una empresa dependerá de factores tales como: mercado, naturaleza del producto, proceso de producción y necesidad del consumidor. Cabe aclarar que esta norma no pretende ser una lista de verificación del cumplimiento de requisitos de un sistema de calidad, sólo presenta las directrices generales de un sistema de calidad.

Igualmente la Dirección General de Normas publica en el Diario Oficial de la Federación las Normas Oficiales Mexicanas específicas para cada producto y/o servicio, que regirán en cuanto a calidad se refiere, a las empresas instaladas en México.

En éstas se mencionan las características, reglas y especificaciones que deben cumplir los productos y/o servicios desde el punto de vista técnico

así como estadístico. Es fundamental tener el conocimiento de estas normas ya que sin ellas no se tendrían parámetros para poder comparar la calidad de los productos tanto a nivel nacional como internacional.

### **3. Contenido de las normas nacionales**

En estas normas se mencionan todos los puntos que deben cumplir, los proveedores, los clientes, los auditores, los terceros, los laboratorios de certificación y en general todos los entes involucrados en el proceso de aseguramiento de calidad, desde el inicio de un proyecto hasta su entrega y servicio al cliente.

En forma general y resumida, de acuerdo a las directrices y al ciclo o espiral de calidad adoptado para las normas mexicanas, a continuación se mencionan algunos de los puntos básicos que incluyen estas normas y que son requeridos para considerar que una empresa está aplicando un sistema para el aseguramiento de calidad, con reconocimiento oficial:

- Definición de las responsabilidades del cliente
- Definición de las responsabilidades del proveedor
- Disposiciones legales
- Requisitos del sistema de calidad
  - Definición de las políticas de calidad de la empresa
  - Definición de responsabilidades y autoridad
  - Asignación de recursos y personal de verificación
  - Nombramiento del representante de la dirección
  - Nombramiento del representante del cliente
  - Establecimiento de la revisión del sistema de calidad por la dirección
- Establecimiento del sistema de calidad a utilizar
- Definición del manual de aseguramiento de la calidad

- Manual de procedimientos del programa de aseguramiento de la calidad
  - Control de diseño
  - Control de procesos
  - Inspección y pruebas
  - Productos no conformes
  - Acciones correctivas
  - Registros de calidad
  - Auditorías de calidad
  - Técnicas estadísticas
- Plan de inspección, verificación y pruebas
- Revisión de contrato
  - Planeación del proyecto y/o diseño
  - Datos iniciales y finales del proyecto y/o diseño
  - Criterios de aceptación
  - Definición precisa de la norma de calidad, aplicable al producto
  - Verificación de los productos adquiridos
- Control de procesos
  - Métodos de trabajo
  - Características y tolerancias
  - Puntos de control, prueba e inspección

Como puede notarse las normas son en pocas palabras, las reglas para la gestión de los sistemas de aseguramiento de la calidad, desde la definición del contrato y los requisitos definidos por el cliente hasta las aplicaciones estadísticas que deben formar parte del sistema de aseguramiento de la calidad.

Dentro de estas normas sólo se menciona que los métodos estadísticos a utilizar por parte de los proveedores deben cumplir con los requisitos (en cuanto a procedimientos y documentación se refiere) establecidos por la

DGN y dejan al libre albedrío del proveedor la selección del método estadístico óptimo de acuerdo a sus necesidades.

Las normas para la aplicación de los estándares estadísticos - como pueden ser las especificaciones, tolerancias, métodos de verificación y tamaños de muestras entre otros - para los productos y/o servicios son realizados por la DGN y publicados en el Diario Oficial de la Federación y en las Normas Oficiales Mexicanas.

#### **4. El Control estadístico en las normas nacionales**

Dentro de la norma NOM-CC-6 "Sistemas de calidad; Gestión de la calidad y elementos de un sistema de calidad, directrices generales" existe un punto en donde se menciona el uso de métodos estadísticos. En seguida se resume la información contenida al respecto en esta norma.

Uso de métodos estadísticos.

Antes de mencionar el enfoque estadístico, se menciona el concepto manejado en esta norma respecto al ciclo o espiral de la calidad.

El ciclo generalmente se aplica e interactúa en todas las actividades relativas a la calidad de un producto y/o servicio existiendo una influencia mutua entre ellas. Este involucra todas las fases, desde la identificación inicial hasta la satisfacción final de los requisitos y expectativas de los usuarios. Estas fases y actividades pueden incluir las siguientes: Mercadotecnia e Investigación de mercado, Diseño/Especificaciones de Ingeniería y Desarrollo del producto, Adquisiciones, Planeación y Desarrollo de procesos, Producción, Inspección y Pruebas, Empaque y Almacenamiento, Distribución y Ventas, Instalación y Operación, Asistencia técnica y Mantenimiento y finalmente Disposición después del uso.

La correcta aplicación de métodos estadísticos modernos - dentro de un ciclo de calidad como el arriba mencionado - es un elemento importante en todas las fases de la espiral de la calidad y no está limitado a la producción o a sus fases posteriores, como puede ser la inspección. El uso de métodos estadísticos se puede aplicar a:

- A. Análisis del mercado
- B. Diseño del producto
- C. Especificaciones de fiabilidad, predicciones de durabilidad
- D. Estudio de capacidad de los procesos y su control
- E. Determinación de los niveles de calidad / Planes de inspección
- F. Análisis de resultados / Evaluación de funcionamiento / Análisis de defectos

#### **Técnicas estadísticas**

Algunos métodos estadísticos específicos que pueden aplicarse a las fases antes mencionadas pueden ser los siguientes:

- A. Diseño de experimentos / Análisis de la varianza / Análisis de regresión
- B. Pruebas de significación / Bondad de ajuste
- C. Análisis multivariado / Análisis factorial / Componentes principales
- D. Gráficas o cartas de control
- E. Inspección por muestreo estadístico

### **III Aseguramiento de la calidad en algunas empresas mexicanas**

---

#### **1. Creencias acerca del aseguramiento de la calidad**

Actualmente muchas empresas en México están tratando, desesperada e infructuosamente, de implantar lo que ellos entienden por control de calidad. En la mayoría de los casos estas empresas - pequeñas, medianas, grandes, de manufactura o servicio - fracasan debido a que están mal informadas, mal asesoradas o no cuentan con el personal capacitado para implantar el aseguramiento de la calidad en una empresa.

Muy a menudo confunden al aseguramiento de la calidad con lo que es el control de calidad y solamente establecen criterios para tratar de controlar los procesos o los recursos humanos con el fin de obtener buenos productos o servicios.

Los dueños o dirigentes de las empresas creen que formando un grupo de personas, que se dediquen completamente al control de calidad dentro de la empresa, será suficiente para que sus productos o servicios tengan la calidad necesaria para ser competitivos en el mercado.

Muchos de los ejecutivos entusiasmados crean sus áreas de calidad, esperanzados en que estas áreas hagan magia y de la noche a la mañana obtengan resultados espectaculares y sorprendentes, sin embargo, al percatarse de que no es así caen desmoralizados y pierden la fe en estos grupos, convirtiéndolos en una parte más del departamento de inspección.

Una creencia muy divulgada en nuestro país es que los trabajadores son irresponsables y negligentes y por tanto hay que vigilarlos y exigirles para que realicen el trabajo con calidad, sin embargo y de acuerdo con lo que comenta el Dr. Juran, lo que está mal es el sistema de la empresa y no el trabajador.

Sin tener el conocimiento preciso, creen que sus productos cumplen con las normas de calidad nacionales porque alguna vez les comentaron algo acerca de las normas o porque alguien de la compañía asistió a un curso o plática sobre las normas de calidad.

El área administrativa de las empresas crea sus áreas de calidad porque se han dado cuenta o han leído que los japoneses están teniendo muy buenos resultados con la aplicación del control total de calidad, aunque no saben cómo hacerlo e improvisan al personal inadecuadamente.

En algunas empresas se establecen controles para garantizar la calidad, aunque desconocen las normas que rigen al mercado mexicano.

Escogen la teoría que más les gusta y creen que puede aplicarse a su empresa, sin considerar sus carencias, fortalezas y recursos, tanto humanos como materiales.

Algunas empresas de servicio, debido a que están mal asesoradas, aplican las teorías del control de calidad como si se tratara de empresas manufactureras, trayendo como consecuencia el fracaso rotundo de la aplicación del aseguramiento de la calidad, además de vacunar a los ejecutivos contra la calidad.

Algunos dirigentes y dueños creen que el aseguramiento de la calidad es un departamento que se dedica a inspeccionar los productos y a determinar si

cumplen o no con lo que se ha especificado como norma para que el producto sea de calidad.

Los ejecutivos, y más bien los dueños de las empresas, creen que es más caro mantener un grupo de personas que estén implantando el aseguramiento de la calidad dentro de la empresa que mantener un grupo para inspección y para retrabajos.

Una vez implantado el control de calidad en las empresas los ejecutivos creen que ya no tienen que dedicarle más tiempo a este trabajo y se olvidan de hacerle seguimiento y mejorarlo día con día.

Evidentemente debido a la desinformación en el ámbito de la calidad y a la falta de capacitación del personal involucrado los errores que se cometen son interminables ocasionando que muchos empresarios y dirigentes le dediquen el mínimo indispensable, en cuanto a recursos, tiempo y dinero se refiere, al aseguramiento de la calidad en sus empresas, dejando en muchas ocasiones solamente una área dedicada a la inspección de los productos.

Esta desinformación se debe en muchas ocasiones a los malos artículos que aparecen en las revistas o en los cursos que pretenden enseñar teorías estadísticas que resultan inentendibles para la gente que no tiene las suficientes bases para asimilar estos conceptos. También resulta contraproducente el hecho de que en las últimas décadas se maneje a la calidad como la panacea para la solución de todos los problemas de la empresa, además de que se le considera un tema de moda dentro de las empresas.

En la siguiente sección se mencionan los errores más comunes que se han cometido en algunas de las empresas que han pasado por el duro transe de implantar el aseguramiento de la calidad.

## **2. Errores en la implantación del aseguramiento de la calidad**

### **2.1. Implantar una teoría sin considerar las características propias del entorno**

El error que más comúnmente se comete día a día es el querer implantar el aseguramiento de la calidad en una empresa, sea ésta de manufactura o de servicio, tal cual se plantea en cualesquiera de las teorías existentes hoy en día, sin considerar el propio entorno laboral. Evidentemente al tratar de aplicar las teorías tal cual las mencionan los libros se va al fracaso rotundo, ya que las condiciones son diferentes en cada nación además de ser diferentes en cada empresa.

Además al tratar de implantar una teoría determinada en una empresa se contrata a un experto en dicha teoría sin considerar siquiera si esta persona cuenta con conocimientos, aunque sea superficiales del tipo de empresa en donde se aplicará dicha teoría, o con la experiencia laboral propia de la empresa y del tipo de producto que se está produciendo o servicio que se está proveyendo.

Generalmente sólo se considera una capacitación superficial al encargado de la implantación del aseguramiento de la calidad en la empresa, con lo cual lo único que se asegura es el fracaso de la implantación del aseguramiento de la calidad.

### **2.2. Falta de involucramiento del personal adecuado**

Una de las causas principales de tantos fracasos es el no considerar a todos los empleados y trabajadores directamente involucrados en este proceso.

Cuando la dirección toma la decisión de implantar un sistema para el aseguramiento de la calidad, forma un grupo y hace que éste se encargue de todo el proceso, sin considerar a los trabajadores o a los responsables del sistema vigente de trabajo. De tal forma que los resultados de estos grupos, - generalmente formado por dos tipo de personas; las técnicas (estadísticos o pseudo-estadísticos) y las administrativas (los líderes administrativos

encargados de la implantación) - son el establecimiento e imposición de procedimientos y reglas para el mejoramiento de la calidad en los productos y/o servicios, que muchas veces no tienen nada que ver con los problemas reales o de raíz que ocasionan la falta de calidad en éstos.

### 2.3. Los ejecutivos esperan resultados de la noche a la mañana

Otro de los factores importantes a considerar es el tiempo que los ejecutivos le dan a los responsables para implantar el aseguramiento de la calidad. Los ejecutivos no entienden que el implantar un proceso para el logro de la calidad se lleva tiempo, debido a que deben involucrarse muchas de las áreas de la empresa, así como posiblemente cambiar el sistema de trabajo y en ocasiones la actitud en algunas áreas.

Los funcionarios quisieran ver resultados de la noche a la mañana, debido a que la iniciativa para implantar el aseguramiento de la calidad en muchos casos se deriva de la caída de las ventas o el reclamo de la garantía del producto.

Es muy importante considerar que los esfuerzos, por implantar el aseguramiento de la calidad, no deben darse como "patadas de ahogado", ya que los controles y procedimientos para obtener calidad en nuestros productos y/o servicios deben considerarse como parte vital de nuestro sistema de producción.

### 2.4. Se considera a la calidad un programa no un proceso

Otro de los errores fuertes es que una vez implantado (más o menos con buenos resultados) el aseguramiento de la calidad se piense que se logró el objetivo y entonces ya no se le dedique más tiempo y recursos a la calidad. Es decir pensar que el aseguramiento de la calidad es un programa. Recordemos que el aseguramiento de la calidad no es un programa sino un proceso. Cuando se logran buenos resultados se piensa que el trabajo está terminado, sin embargo a la vuelta de la esquina nuevamente se presentan problemas que ocasionan mala calidad en el servicio y/o producto, por lo

tanto los funcionarios o dueños piensan que los esfuerzos dedicados a tratar de asegurar la calidad no sirvieron.

#### 2.5. Se anteponen las restricciones de gasto a la necesidad de la calidad

Actualmente, como todo mundo lo sabe, las empresas están preocupadas por obtener utilidades a corto plazo, por lo que quisieran tener resultados de inmediato para no tener que estar invirtiendo durante mucho tiempo en un grupo de calidad. Esto trae como consecuencia que la gente que se contrata para estas tareas específicas de aseguramiento de la calidad no tenga la experiencia requerida, o que el grupo interno que se forma no reciba la capacitación profesional requerida para el desempeño de sus funciones y, como consecuencia, se obtengan resultados mediocres e inútiles que ocasionarán más problemas y pérdidas de tiempo, dinero y esfuerzo, además de la falta de credibilidad de la alta dirección en el aseguramiento de la calidad, regresando con esto al clásico control de calidad mal aplicado.

#### 2.6. Recursos equívocos asignados a la implantación de la calidad

En las empresas de servicio se requiere de una satisfacción al cliente sumamente alta al momento de estar prestando el servicio, ya que en la mayoría de estas empresas el cliente regresa si el servicio fue bueno. Igualmente en muchas empresas de servicio los trabajos elaborados no presentan un patrón repetitivo, se llevan a cabo una sola vez, misma que se toma como experiencia para darle servicio al cliente en las subsecuentes ocasiones. Debido a esto es necesario un enfoque diferente respecto al que se maneja en la industria manufacturera.

En la actualidad en nuestro ámbito nacional se ha trabajado mucho en la manufactura lo que ha dado como resultado generar expertos en el control de la calidad de la manufactura. El problema se presenta cuando estos expertos son exportados a las empresas de servicios y no se les da una capacitación exhaustiva acerca del nuevo mercado en el que sus servicios fueron contratados. Debido a esto, los expertos, en muchas ocasiones se ven

demasiado restringidos ya que el medio ambiente de la manufactura es completamente diferente a muchas empresas de servicio.

### **2.7. Los trabajos urgentes no dejan tiempo para los trabajos importantes**

Actualmente se ve a la calidad como algo importante para sobrevivir en el mercado, sin embargo paradójicamente también se le ve como un estorbo, ya que quita mucho tiempo el tratar de enmendar los caminos erróneos y no hay tiempo para esto, ya que se está retrabajando lo que se hizo mal.

Esto parece broma, sin embargo es la triste realidad en muchas empresas que no tienen suficientes recursos para mejorar sus procedimientos. El error aquí es permitir que se siga dando el ciclo negativo y no poner un alto, aunque esto signifique no tener el mismo nivel de producción en el momento de la interrupción del ciclo negativo.

## **3. Prácticas comunes en el aseguramiento de la calidad**

Como ya se mencionó en párrafos anteriores una de las prácticas más comunes, principalmente en la industria de la manufactura y similares, es aplicar el control de calidad, específicamente a la producción, creyendo que se está aplicando el concepto de Aseguramiento de la Calidad. En muchos casos no se tiene el éxito esperado ya que solamente se cubre una parte de las causas que originan los problemas. Evidentemente también existen empresas que tienen éxito o que creen tenerlo, aunque si hicieran algunos arreglos se darían cuenta de que pueden mejorar considerablemente.

Con el fin de mostrar algunas de las prácticas actualmente usadas por parte de empresas de manufactura y similares, así como empresas de servicio, se mencionarán algunos ejemplos específicos de éstas.

### 3.1. Empresas de manufactura y similares

Actualmente en la industria automotriz (ensambladoras y de autopartes) se están empleando técnicas muy particulares, propias de este tipo de industria, como lo son; "Justo a tiempo" con algunos de sus proveedores, "kanban" para el surtimiento de material en la línea y círculos de calidad entre los trabajadores y algunos empleados directamente relacionados con la línea de producción.

Algunas empresas automotrices han desarrollado sus propios métodos para asegurar la calidad en sus productos, sin embargo el alcance real de estos métodos en muchas ocasiones se limita a las áreas de producción, dejando de lado o restándoles importancia a las diferentes áreas administrativas o de distribución o desarrollo.

La aplicación de estas técnicas y métodos han tenido buenos resultados principalmente en la línea de producción y en algunas áreas de control de materiales, sin embargo aún hace falta trabajar en las diferentes áreas de la empresa como pueden ser:

- a) Mercadotecnia: hace falta investigar el mercado para satisfacer los requerimientos de los clientes finales (actualmente la industria automotriz mexicana impone sus modelos, es decir no hace estudios de mercadeo para determinar cuáles son las preferencias de los clientes finales)
- b) Reclamaciones: se deberán investigar las reclamaciones y/o quejas de los clientes para mejorar el producto y no sólo corregir los defectos (actualmente las empresas automotrices y de autopartes sólo se dedican a resolver los problemas que se derivan de las quejas y reclamaciones, sin llevar a cabo un estudio profundo que les permita mejorar el producto)
- c) Ingeniería: realizar la investigación necesaria en las áreas de ingeniería, que permita hacer mejoras a los productos, de acuerdo a los requerimientos reales del cliente (hoy en día los ejecutivos de estas empresas están más preocupados por los cambios que permitan reducir el

costo de producción que por modificar los productos para satisfacer los requerimientos de los clientes)

- d) Compras: llevar a cabo negociaciones entre ensambladoras y empresas de autopartes de tal forma que se permita a los proveedores ser confiables y que pueda en un momento determinado trabajar con el concepto "Justo a Tiempo" (las empresas automotrices actualmente tienen justo a tiempo con varios proveedores, pero aún hace falta mejorar las negociaciones con muchos otros, de tal forma que no solamente la automotriz salga beneficiada sino también la proveedora)

Existen muchas otras áreas administrativas, financieras y de producción que aún pueden seguir mejorando dentro de este tipo de industria tanto por parte de la ensambladora como por parte de la gran cantidad de empresas que proveen el material a éstas.

### 3.2. Empresas de servicio

En la industria informática, como en cualquier otra industria, se están haciendo esfuerzos muy importantes para garantizar la calidad de los productos y/o servicios. Aunque en muchas ocasiones mal encauzada, debido a que los expertos de la calidad no entienden este tipo de empresas y se ha visto que en muchos casos quieren aplicar un control de calidad como si se tratara de procesos repetitivos, sin considerar que estos casos se realizan una sola vez, aunque se ejecuten "n" veces posteriormente.

En este tipo de empresas se pone de manifiesto que el Aseguramiento de la Calidad no puede ser solamente un procedimiento o método que esté dedicado al control específico de un proceso sino más bien a un todo como lo es la empresa.

Entre otras áreas, en donde se puede mejorar aplicando el concepto de Aseguramiento de la calidad, se encuentran:

- a) Atención al cliente; en la mayoría de los casos se vende, instala o termina un producto y/o servicio y no se le da seguimiento, de tal forma que no sabemos si el producto y/o servicio fue apropiado para resolver las necesidades del cliente (actualmente las empresas de informática realizan sus trabajos y olvidan al cliente, dejándolo con un problema ya que el cliente siempre necesitará de apoyo de expertos para explotar sus recursos informáticos)
- b) Diseño para el desarrollo o adaptación de Sistemas: el entendimiento de la calidad aquí es crucial debido a que si no se lleva a cabo un buen diseño para el desarrollo o adaptación de un sistema entonces se le ofrecerá al cliente un pésimo producto. Entendamos por calidad el cumplimiento de los requerimientos del cliente a través de la aplicación correcta de las metodologías existentes para el desarrollo y/o adaptación de sistemas (actualmente muchas empresas poseen una metodología para el desarrollo o instalación de sistemas y otras tantas no, el problema se presenta debido a que no se sigue la metodología -en el caso de que exista - como debería de ser, implicando esto muchos retrabajos en las etapas finales del desarrollo y muchos problemas después de implantar el sistema)
- c) Elaboración de un modelo funcional y de datos: es muy importante considerar todas y cada una de las áreas de la empresa, ya que de no hacerlo se escapan muchas relaciones interdisciplinarias que posteriormente afectarán a la misma empresa, debido a que no se tendrán los enlaces necesarios para el flujo de información entre cada una de ellas, teniendo muchos problemas de comunicación y fallas en los sistemas automatizados. La calidad se entiende una vez más como la garantía de cumplir con los requerimientos del cliente a través del uso de la metodología adecuada para que los modelos a crear satisfagan todas las necesidades de intercomunicación dentro de la empresa
- d) La venta de sistemas de información: la forma en que actualmente se hace la venta de aplicaciones ya desarrolladas es completamente inadecuada. Generalmente el proveedor trata de vender a toda costa la

aplicación, sin entender el negocio del cliente y a su vez el cliente no está dispuesto a dedicarle tiempo al diseño de una nueva solución adecuada a sus necesidades. El problema se presenta, entre otras cosas, porque el proveedor está más preocupado por las ganancias inmediatas que por establecer y mantener una relación a largo plazo de beneficio mutuo con el cliente.

### 3.3. Áreas de soporte administrativo y financiero en todas las empresas

Uno de los grandes problemas dentro de la mayoría de las empresas se presenta cuando las áreas de apoyo administrativo, financiero y de recursos humanos no entienden que son proveedores de las áreas de producción de la empresa (entiéndase por áreas de producción aquellas en las cuales se elabora el producto y/o servicio que se entregará al cliente).

Los ejemplos son innumerables, aquí se mencionan sólo algunos para no pasarlos por alto y para entender que el Aseguramiento de la Calidad es en toda la empresa y a todos los niveles y no solamente en las áreas de producción.

- a) "Yo no tengo clientes" dicen los administrativos; no sienten la urgencia o necesidad de cumplir con su trabajo de acuerdo a los estándares definidos o en el tiempo indicado, además no atienden con prontitud los requerimientos de todo el personal. No quieren entender que todos formamos parte de una cadena de proveedores y clientes a la vez.
- b) "Los gastos deben ser recortados en todas las áreas" comentan los financieros; no consideran que es muy importante mantener vivas las áreas de mejora y desarrollo de nuevos productos, además de capacitar a toda la gente de la empresa para que puedan realizar el trabajo, y proporcionar día con día mejores ideas para hacerlo óptimo.
- c) "No existe gente en el mercado con la experiencia que necesita la empresa"; en recursos humanos no consideran que posiblemente se tenga que contratar a la persona con el perfil más cercano y entonces prepararle

una capacitación profunda y amplia para que esta persona rinda los frutos esperados y pueda ser productiva.

En todas las industrias sean éstas de manufactura, distribución, extracción, gubernamentales o de servicio, se han presentado muchos problemas antes de lograr la implantación del Aseguramiento de la Calidad, sin embargo no es imposible, como lo demuestran muchas empresas que hoy en día han resuelto una gran cantidad de sus problemas derivados de la mala calidad en sus productos y/o en sus formas de trabajo.

De acuerdo a los ejemplos mencionados anteriormente se puede notar que los problemas que tienen que enfrentar los que han tratado de implantar, y en muchos casos lo han logrado, el Aseguramiento de la Calidad no son pocos ni nada fáciles de resolver. Si unimos las creencias a los problemas más comunes, mencionados anteriormente, nos daremos cuenta de que es inevitable caer en las prácticas comunes que fueron comentadas antes. No obstante se debe iniciar el proceso que nos lleve a la excelencia en nuestras actividades diarias.

Cabe mencionar además que existen muchos lugares en donde poder informarse correcta y adecuadamente. Como se mencionó anteriormente existe la dirección de normas y procedimientos de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, que actualmente imparte pláticas, cursos, y programas para ayudar a las empresas. Por otro lado existen instituciones como la UNAM, el IMP o el IMECA en donde se pueden conseguir cursos o información respecto a control de calidad. También existen empresas privadas muy serias que se dedican específicamente a la consultoría, capacitación y certificación.

Con el fin de ayudar a los ejecutivos, supervisores, gerentes dueños de empresa, sean éstas pequeñas o medianas, en la ardua labor de entender qué es lo que deben hacer y qué pasos seguir con el fin de implantar el

Aseguramiento de la Calidad en sus empresas, se presenta en el capítulo quinto una propuesta para la implantación del Aseguramiento de la Calidad.

Recordemos que los principios administrativos fundamentales son aplicables a todas las empresas sean éstas de distribución, servicio o manufactura, pequeñas, medianas o grandes, de tal forma que, apoyadas en estos principios la propuesta presentada aplica por igual a cualquier empresa.

En el siguiente capítulo son mencionadas las herramientas técnicas que serán utilizadas en la propuesta, éstas nos ayudarán a determinar las áreas en las cuales se tiene la oportunidad de mejorar, igualmente nos ayudarán a medir los avances y logros que se van obteniendo, así como a controlar las variaciones que se van presentando al tratar de mejorar y/o establecer los procedimientos para la implantación del Aseguramiento de la Calidad.

## **IV Técnicas estadísticas básicas para el aseguramiento de la calidad**

---

### **1. Las técnicas estadísticas como parte del Aseguramiento de la Calidad**

En el presente capítulo se muestran algunas de las técnicas estadísticas básicas que han sido utilizadas en diferentes empresas y que han contribuido al éxito en la implantación del Aseguramiento de la Calidad.

Cabe recordar que las técnicas estadísticas son sólo una parte de los métodos que actualmente existen para el Aseguramiento de la Calidad y que además deben ser utilizadas con eficacia o de lo contrario su uso se revierte, es decir complican más los procesos. También resulta importante recordar que para el desempeño de estas actividades específicas, es recomendable asignar en la medida de lo posible a personas que tengan bases o conocimientos estadísticos o en su defecto capacitar de una manera profesional a las personas que se harán cargo de la aplicación de estas herramientas.

El enfoque con el que se exponen las herramientas estadísticas, en este trabajo, tiene como propósito mostrar una forma sencilla y metodológica de aplicar éstas a los problemas que se presentan en el trabajo diario, es decir, se explicarán de forma tal que su aplicación resulte pragmática. Al final del presente trabajo se podrá encontrar una bibliografía para aquéllos que deseen mayor conocimiento al respecto.

Las herramientas estadísticas utilizadas en el Aseguramiento de la Calidad para detectar problemas, áreas de mejora, áreas para aplicar los círculos de

calidad, para hacer una revisión del diseño, para el seguimiento de la calidad, para medir la variación, para controlar los procesos, para determinar la calidad de un producto y/o servicio, para aceptar o rechazar un producto son muchas, muy variadas y en algunos casos complejas, por lo que se recomienda iniciar con las aquí mencionadas ya que son sencillas y de uso común, además se puede encontrar fácilmente mucha bibliografía y gente experimentada que en un momento determinado pueda ayudar y asesorar en el uso y aplicación de las mismas. Posteriormente, cuando se dominen éstas, los interesados podrán ir introduciéndose poco a poco en otras técnicas más complejas y sofisticadas.

### 1.1. Diagramas de Pareto

Los problemas de calidad se presentan como pérdidas (productos defectuosos y sus costos). Es muy importante aclarar el patrón de la distribución de la pérdida. La mayoría de las pérdidas se deben a un número reducido de defectos, y estos defectos pueden atribuirse a un número muy pequeño de causas. Si se identifican las causas de este número reducido de defectos *vitales*, podremos eliminar casi todas las pérdidas, concentrándonos en esas causas particulares y dejando de lado por el momento otros muchos defectos triviales. El uso del diagrama de Pareto permite solucionar este tipo de problemas con eficiencia.

En las cuestiones de calidad el Dr. Juran aplicó el método del diagrama como fórmula para clasificar los problemas de calidad en los pocos vitales y los muchos triviales, y llamó a este método *análisis de Pareto*. Señaló que, en muchos casos, la mayoría de los defectos y de su costo se deben a un número relativamente pequeño de causas.

Existen Diagramas de Pareto para Fenómenos y para Causas.

Diagramas de Pareto de fenómenos

Este diagrama relaciona los resultados indeseables, como los que se presentan a continuación, y se utiliza para averiguar cuál es el principal problema:

- i) Calidad: defectos, fracasos, quejas, artículos devueltos, retrabajos, reparaciones
- ii) Costo: magnitud de las pérdidas, gastos
- iii) Entrega: escasez de inventarios, demoras en los pagos, demoras en la entrega
- iv) Seguridad: accidentes, errores, interrupciones

#### Diagramas de Pareto de Causas

Este diagrama relaciona los resultados indeseables, como los que se presentan a continuación, y se utiliza para averiguar cuál es el principal problema:

- i) Operario: turno, grupo, edad, experiencia, destreza
- ii) Máquina: máquinas, equipos, herramientas, organizaciones, modelos, instrumentos
- iii) Materia prima: productor, planta, lote, clase
- iv) Método operacional: condiciones, órdenes, disposiciones, métodos

A continuación se muestra con un ejemplo la manera de aplicar este análisis. Considere la producción de los "cofres" para camionetas de cierta ensambladora.

**Paso 1** Decida qué problemas va a investigar y cómo recopilará los datos (en las secciones siguientes se muestran algunos cuadros estadísticos):

**Paso 2** Diseñe una tabla para conteo de datos, por ejemplo como la siguiente

Tipos de defecto	Conteo	Total
Fractura		10
Rayado	. . .	42
Mancha		6
Tensión	. . . . .	104
Rajadura		4
Burbuja		20
Otros		14
<b>Total</b>		<b>200</b>

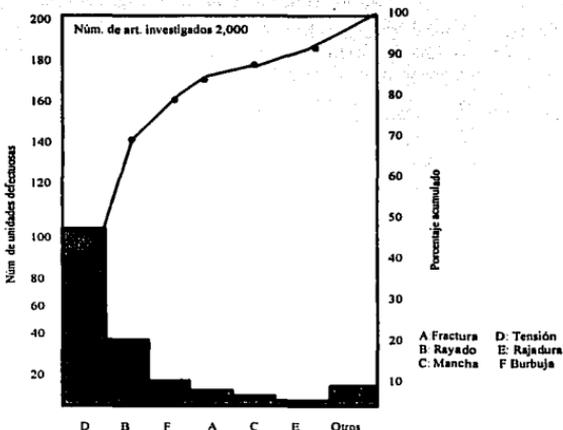
Paso 3 Elabore una tabla de datos para el diagrama de Pareto

Tipo de defecto	Número de defectos	Número total de defectos acumulados	Composición porcentual por defecto	Porcentaje acumulado de defectos
Tensión	104	104	52	52
Rayado	42	146	21	73
Burbuja	20	166	10	83
Fractura	10	176	5	88
Mancha	6	182	3	91
Rajadura	4	186	2	93
Otros	14	200	7	100
Total	200	-	100	-

Paso 4 Dibujar la gráfica como se muestra a continuación

Diagrama de Pareto para art. defectuosos

Agosto 1 - Septiembre 30



No olvide hacer un diagrama de Pareto de causas. Después de haber identificado el problema por medio de un diagrama de Pareto de fenómenos, para solucionarlo es necesario identificar las causas. Por lo que es vital hacer un diagrama de Pareto de causas.

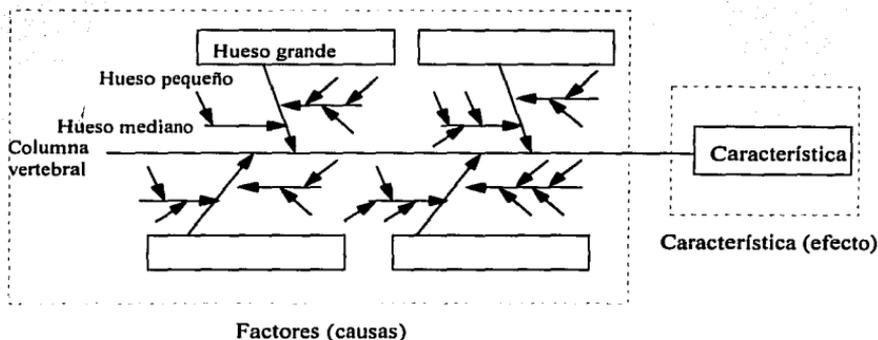
### 1.2. Diagramas de Causa-Efecto

Los resultados de los procesos y/o servicios son atribuibles a una multitud de factores, afortunadamente siempre es posible encontrar la relación causa-efecto de esos factores. En la práctica podemos determinar la estructura de estos procesos o servicios, o también, encontrar una relación múltiple de causa - efecto observándolos sistemáticamente. Es difícil solucionar problemas complicados sin tener en cuenta esta estructura o relación, la cual consta de una cadena de causas y efectos. El método para expresar esto en forma sencilla y fácil es un diagrama de causa-efecto.

En problemas de calidad este diagrama ha resultado ser muy práctico, por lo que se ha convertido en un método ampliamente utilizado por industrias de todo tipo, como una herramienta para el control de la calidad.

El diagrama muestra la relación entre una característica de calidad, ya sea de un producto o un servicio, y los factores que intervienen en dicha característica.

Elaborar un diagrama de causa-efecto que sea útil no es tarea fácil. Puede afirmarse que quienes tienen éxito en la identificación (o diagnóstico) de problemas de control de calidad son aquellos que tienen éxito en hacer diagramas de causa-efecto que sean útiles. Hay muchas maneras de hacer el diagrama, y también recibe diferentes nombres: diagrama de espina de pescado o diagrama de árbol, una representación de la estructura se muestra a continuación



A continuación se describe un método muy usual del diagrama de causa-efecto para el diagnóstico de causas.

Paso 1 Describa el efecto o atributo de calidad.

**Paso 2** Escoja una característica de calidad y escríbala en el lado derecho de una hoja de papel, dibuje de izquierda a derecha la línea de la espina dorsal y encierre la característica en un rectángulo. En seguida, escriba las causas primarias que afectan a la característica de calidad, en forma de grandes huesos, encerrados también en rectángulos.

**Paso 3** Escriba las causas (causas secundarias) que afectan a los grandes huesos (causas primarias) como huesos medianos, y escriba las causas (causas terciarias) que afectan a los huesos medianos como huesos pequeños.

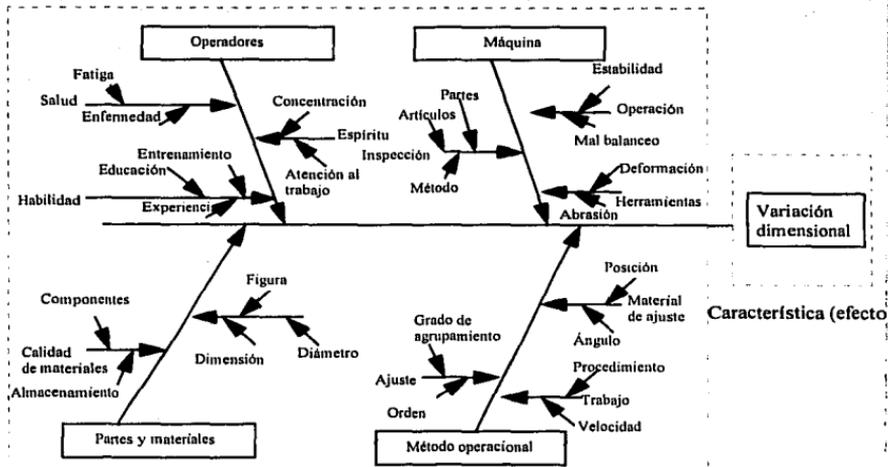
**Paso 4** Asigne la importancia de cada factor, y marque los factores particularmente importantes que parecen tener un efecto significativo sobre la característica de calidad.

**Paso 5** Registre cualquier información que pueda ser de utilidad.

**Consideraciones para la construcción de diagramas:**

- 1) Identifique todos los factores relevantes mediante consulta y discusión entre muchas personas
- 2) Exprese la característica tan concretamente como sea posible
- 3) Haga un diagrama para cada característica
- 4) Escoja una característica y unos factores medibles
- 5) Observe la variación en la característica de calidad cuando reflexione en los huesos grandes
- 6) Descubra factores sobre los que sea posible actuar
- 7) Trate de mejorar continuamente el diagrama mientras lo use

A continuación se presenta un ejemplo de un diagrama de causa-efecto de los defectos de dimensión en los artículos fabricados en una industria manufacturera



Típicamente los diagramas aquí mencionados se utilizan conjuntamente en la identificación y diagnóstico de las principales causas de los problemas de calidad.

La manera de usarlos es elaborar inicialmente un diagrama de Pareto que nos arroje la distribución de los síntomas según el tipo de defecto y posteriormente se analizan los datos sobre los defectos mediante un diagrama de causa-efecto y se plantean teorías sobre sus causas.

- 1) Elabore un diagrama de Pareto
- 2) Elabore un diagrama de Causa-efecto
- 3) Analice y plantee las teorías
- 4) Elabore nuevamente un diagrama de Pareto para continuar con el proceso de mejora continua.

## **2. Técnicas de estadística descriptiva**

### **2.1. Recolección de datos**

Actualmente la información juega un papel vital en todas las actividades de la vida diaria, por lo que es muy importante saber coleccionar y manejar los datos, que al ser interpretados (o procesados) se convierten en información, ya que a través de éstos conocemos los hechos pertinentes y con base en ellos tomamos decisiones y acciones apropiadas y específicas.

Los datos poseen características atribuibles como son: peso, tamaño, dimensión, color, edad, sexo, sección de producción, hora de producción, entre muchos otros. Los datos deben dividirse de acuerdo a sus características, ya que se establecerán categorías con el fin de poder hacer mediciones y comparaciones adecuadas para llevar a cabo un análisis estadístico correcto, que permita hacer descripciones y/o inferencias acerca de ciertos fenómenos o poblaciones estudiadas.

Los datos pueden ser cualitativos o cuantitativos: Los cualitativos hacen referencia a los atributos de los mismos por ejemplo: El género en una población, la nacionalidad, el color de piel de una población o el color de un producto específico; la característica de estos datos es que no tiene medida numérica. Los cuantitativos, en contraste con los cualitativos, tienen la característica de poder ser medidos numéricamente, por ejemplo la longitud de un tornillo, el peso o la estatura de las mujeres en una población.

Antes de iniciar la recolección de cualquier tipo de datos deberán considerarse los siguientes puntos:

- Definir el objetivo de dicha recolección
- Determinar el tipo de información requerida
- Identificar el tipo de datos que deben recogerse

Una vez identificados los tipos de datos a recogerse los siguientes pasos serán:

- Hacer una división de un grupo en varios subgrupos, para facilitar la obtención de muestras
- Tomar muestras de los diferentes subgrupos que permitan realizar la comparación de las características de éstos
- Tomar las mediciones de los datos seleccionados en las muestras de cada subgrupo

Debe considerarse muy detenidamente la forma de tomar las mediciones ya que en muchas ocasiones, a pesar de una buena selección de datos y de una buena muestra, los resultados no son confiables debido a errores en el registro, en la medición misma, en la inspección visual o a que se han tomado las mediciones con instrumentos inapropiados. En la mayoría de los casos siempre se esperan variaciones, de no encontrarlas o de encontrar muy poca variación lo más seguro es que el instrumento de medición no sea lo suficientemente fino para detectar las variaciones. No importa qué tipo de datos estemos midiendo, siempre observaremos variación en los resultados si nuestro instrumento para medir posee suficiente precisión.

Deben establecerse criterios objetivos para el sistema de medición de los datos, éstos deben estar fundamentados en las técnicas usadas en el área de estudio. Actualmente existen medidas establecidas por la Dirección General de Normas mexicanas, sin embargo no todas las áreas de la industria están cubiertas, por lo que es muy importante documentarse ( en caso de no existir documentación en ninguna de las instituciones mencionadas en el punto tres del capítulo anterior, se puede conseguir en las organizaciones internacionales a través de las instituciones como el IMP, la UNAM, el ITAM o consultando bases de datos internacionales ) y establecer dichos criterios de medición, con el fin de verificar que las medidas sean objetivas, validas y confiables.

Una vez recogidos los datos es importante organizarlos adecuadamente, de tal manera que se facilite su manejo. Deben considerarse los siguientes puntos:

- El origen de los datos debe identificarse claramente
- Los datos tienen que registrarse de una manera sencilla, de tal forma que permita su fácil manejo, ya que estos serán usados para posteriores cálculos estadísticos

En múltiples ocasiones es necesario recabar estos datos en forma constante por lo que se deberá diseñar, de acuerdo a cada necesidad, un cuadro estadístico en el cual aparezcan las características de los datos a registrar. El objetivo principal de éstos es:

- Facilitar la recolección de los datos
- Organizar automáticamente los datos para facilitar los cálculos estadísticos

## 2.2. Cuadros estadísticos

¿Cómo presentar los datos recopilados en la forma más apropiada y eficaz?. Existen varias formas de presentar los datos. A continuación se explica una de las formas más sencillas para presentar los datos: los Cuadros Estadísticos, que son de mucha utilidad para el análisis e interpretación de los datos obtenidos.

Esta manera de presentar los datos consiste en construir tablas con las siguientes características:

- Título
- Encabezado
- Cuerpo
- Fuentes o Procedencia

Dependiendo de las necesidades de clasificación de los datos se pueden construir tablas simples, dobles, triples, etc. Para la construcción de estos

cuadros se debe determinar el orden de importancia de los datos, así los de mayor interés se colocarán en las columnas y los de menor en renglones.

i) Registro de información recopilada: A continuación se presenta un cuadro muy sencillo que muestra el registro de las observaciones realizadas en tres turnos, durante 20 días laborables en la sección de pintado de carrocerías en una empresa automotriz mexicana, las piezas fueron tomadas al azar de la producción diaria. Normalmente el tipo de cuadro usado para clasificar estos datos es el siguiente:

**Cuadro:** Registro de la información recopilada  
Revisión de piezas seleccionadas en cada turno, muestra del área de pintura

Fecha	Turno			Total
	1ero	2do	3ero	
Feb. 01	12	13	12	37
Feb. 02	12	13	14	39
Feb. 03	11	14	12	37
.....	.....	.....	.....	.....
Feb. 19	13	12	12	37
Feb. 20	12	12	13	37

ii) Registro de las variaciones y distribución de los datos observados: Considere ahora un ejemplo para clasificar u ordenar las variaciones, y así definir la distribución de un proceso de producción. Suponga que está interesado en conocer las variaciones en las dimensiones de cierta clase de partes cuya especificación de troquelado es  $5.500 \pm .250$ . Para estudiar y analizar las variaciones y la forma en que se distribuyen los valores característicos del proceso, se usan generalmente este tipo de cuadros.

**Cuadro:** Registro de la distribución de un proceso de producción  
Variaciones en las dimensiones del troquelado. Área: Troquelado primera sección .

Específica.	Desvia.	R	E	G	I	S	T	R	O	S	No. de Observa.
		1			5				10		
	-0.4										
	-0.3	X									1
	-0.2	X	X								2
	-0.1	X	X	X	X						4
5.300	0	X	X	X	X	X					5
	0.1	X	X	X							3
	0.2	X	X								2
	0.3	X									1
	0.4	X									1
T o t a l											19

El objetivo del cuadro anterior es proporcionar un registro de las variaciones y mostrar la forma en que éstas se distribuyen, además de preparar los datos recopilados para que sean usados en cálculos posteriores (como pueden ser la media, varianza, etc.). Este tipo de cuadros ahorrará mucho tiempo al momento de hacer el análisis estadístico, ya que no se tendrán que reclasificar o retribajar los datos observados. Ahora consideremos un cuadro para registrar artículos defectuosos.

iii) Registro de artículos o productos defectuosos. Suponga ahora que está interesado en practicar una inspección final de cierto producto de plástico moldeado. El inspector hace una marca en el registro cada vez que encuentra un producto que no cumple con las especificaciones para el uso definido. De esta forma al final del día puede fácilmente calcular el número total de productos defectuosos que se detectaron.

Este simple conocimiento del número de inconformidades no resuelve el problema o define las acciones correctivas, sin embargo al usar un cuadro estadístico, como el que a continuación se muestra, se pueden obtener importantes fuentes de error que permitan iniciar el análisis de las causas y por lo tanto las acciones que mejoren los procesos de producción.

Es importante, como se mencionó anteriormente, identificar claramente el origen de los datos, es decir debe estar bien claro de qué sección o área, turno, personal, etc. vienen los datos recopilados, con el propósito de ahorrar retrabajos y evitar que haya cualquier problema al momento de hacer cualquier cálculo estadístico como se verá más adelante.

Como se puede observar en el cuadro estadístico, el total de defectos es 42 de un total de 1,525 piezas. Sin embargo, el número total de defectos fue de 62 ya que en ocasiones se encontraron dos o más defectos en una misma pieza. Debido a esto es importante definir con anticipación cómo se considerarán los defectos cuando se encuentre más de uno en una misma pieza.

**Cuadro:** Revisión de piezas defectuosas  
Inspección final por turno

Producto:	Fecha:	Número de orden:
Etapa de manufactura: Insp. final	Sección:	Turno:
Tipo de defecto: Rayones, rajado, incompleto, deformado	Número del lote:	Hora:
Número total inspeccionado: 1,525	Nombre del inspector:	
Observaciones: Se inspeccionaron todas las piezas		
Tipo	Registro	Subtotal
Rayas superficiales	//// // // // //	17
Rajaduras	/// // // /	11
Incompleto	//// // // // // // // // /	26
Deforme	///	3
Otros	////	5
	<b>Total:</b>	<b>62</b>
Total rechazados	//// // // // // // // // // // // // // //	42

iv) Registro para localización de defectos en los productos. El objetivo de este tipo de cuadros es mostrar en dónde es más probable que se encuentre el defecto del producto. Generalmente este tipo de cuadros se divide en dos partes la primera representa los diagramas o dibujos a escala en los cuales se

hacen los registros, de manera que se pueda localizar el lugar del defecto y la segunda representa la ocurrencia y frecuencia de éstos.

El siguiente cuadro fue utilizado por un fabricante de maquinaria en la inspección de partes metálicas, para aceptarlas o rechazarlas según sus características de porosidad. Anteriormente al proveedor se le regresaban los lotes con productos defectuosos, indicándole que el lote no cumplía con el máximo permitido de defectos, si acaso dándole la cantidad de defectos encontrados en el lote. Evidentemente esto no hacía que la calidad mejorara, ya que sólo se le indicaba al proveedor que su lote no cumplía con los requisitos de aceptación. Después de utilizar este tipo de cuadros como informes de inspección que indicaban dónde podría presentarse la porosidad, la calidad mejoró sustancialmente ya que resultaba mucho más fácil encontrar las causas de la falla.

#### Revisión de piezas metálicas. Inspección de partes defectuosas

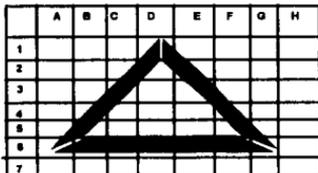
---

Número y nombre del producto : Triángulo base

Material: Acero y aluminio

Fabricante: Industrias la Mexicana

#### 1. Esquema o dibujo de localización del defecto



## 2. Cuadro de localización del defecto

**Cuadro:** Registro para localización de defectos en los productos

Horizontal Vertical	1	2	3	4	5	6	7	Total
A					/			1
B								
C								
D								
E	///		////					9
F			/	//				3
G								
H								
Total	3		7	2	1			13

Este tipo de cuadros lleva fácilmente a la acción y es indispensable para el diagnóstico del proceso, porque frecuentemente es posible encontrar la causa de los defectos examinando los productos en los cuales se presentan y observando cuidadosamente el proceso para determinar por qué los defectos se concentran en esos puntos.

v) Registro de las causas del defecto. Los cuadros estadísticos en ocasiones se usan para dividir un grupo en subgrupos con el fin de encontrar las causas de los defectos. El cuadro siguiente muestra la ocurrencia de los defectos en ciertos picaportes, asignables a maquinaria, trabajadores, días y tipo de defecto. Podemos ver de inmediato que el trabajador B produce muchas unidades defectuosas. El miércoles, todos los trabajadores producían muchas unidades defectuosas, una búsqueda de las causas mostró que el trabajador B no estaba cambiando los dados con suficiente frecuencia y que los miércoles las materias primas tenían una composición con mayor probabilidad para causar defectos.

**Cuadro: Registro de las causas del defecto**  
**Revisión diaria de piezas defectuosas en las máquinas 1 y 2 .**

Equipo	Opera.	Lun		Mar		Mie		Jue		Vie		Sab	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
Maq.1	A	oo x •	o x	ooo	o xx	ooo xxx •	ooo o xxx •	ooo o x ••	o xx	ooo o	oo	o	xx •
	B	o xx •	oo xxx •	ooo oo xx	ooo xx	ooo oo xx •	ooo o x •	ooo oo xx ••	o x	oo xx •	ooo oo	oo	o x xx •
Maq.2	C	oo x	o x	oo	•	ooo oo	ooo ooo x	oo	o •	oo	oo	o	o Δ □
	D	oo x	o x	oo Δ	•	ooo •	ooo oo x	oo •	oo Δ	oo ΔΔ □	oo	o	oo x xx

o: Rayado en la superficie  
 •: Forma inadecuada

x: Porosidad  
 □: Otros

Δ: Terminado defectuoso

Además de todos los ejemplos descritos, hay un sin número de clases de cuadros estadísticos para registrar la información que es utilizada en las fábricas e instituciones. Los cuadros se diseñan considerando primero el propósito de la recolección de los datos y haciendo luego varias modificaciones creativas a fin de que los datos puedan recogerse y registrarse fácilmente y de manera adecuada al objetivo.

### 2.3. Tablas de Frecuencias

Utilicemos un ejemplo para entender las tablas de frecuencias. Considere la producción de tornillos de un lote (totalidad de tornillos producidos durante la primera hora del primer turno laborable). Los resultados de la muestra seleccionada son los siguientes:

**Cuadro:** Registro de las desviaciones en la longitud de tornillos  
Variaciones en la longitud de los tornillos 1era. hora del primer turno.

Especificación	Desviación	R e g i s t r o						Observaciones
		1	2	3	4	5	6	
5.0	0.0	X						1
	0.5	X	X					2
	0.8	X	X	X				3
5.1	1.0	X	X	X	X			4
	1.5	X	X	X	X	X		5
	1.8	X	X	X	X			4
	2.0	X	X	X				3
	2.3	X	X					2
	2.8	X						1
5.3	3.0							0
								25

En este cuadro ya aparecen los datos ordenados en forma ascendente. En este caso al número de veces que se repiten cada una de las longitudes de la columna "Desviaciones" se les llama frecuencias, en nuestro ejemplo frecuencia de las desviaciones en la longitud de los tornillos fabricados en la primera hora del primer turno. Con estas frecuencias se forma un cuadro que se denomina tabla de frecuencias.

**Cuadro:** Tabla de frecuencias  
Registro de las frec. de clase de la long. de los tornillos

Clases (mm)	Frecuencias
0.0	1
0.5	2
0.8	3
1.0	4
1.5	5
1.8	4
2.0	3
2.3	2
2.8	1
3.0	0

En este cuadro se nota que hay 5 tornillos con una desviación igual a 1.5mm., es decir hay 5 tornillos que se han desviado 1.5mm. de la especificación, por lo que la frecuencia es de 5 unidades.

La tabla de frecuencias indica la forma en que los datos se distribuyen. Estos cuadros son muy utilizados cuando la cantidad de observaciones es muy grande y su manejo se vuelve complicado.

Existe otra forma que puede ayudar a analizar los datos observados a través de estas tablas, ésta es la tabla de frecuencias acumuladas. Estas tablas nos ayudan a contestar algunas preguntas como: ¿cuántos radios de una remesa tienen más de cinco defectos? o ¿cuántos defectos se encontraron en un artículo determinado hasta el punto de trabajo número 16 de la línea de producción? Para poder proporcionar información hay que ordenar los datos en una tabla de frecuencias acumuladas. Tomando el ejemplo anterior se puede formar una tabla de frecuencias acumuladas.

**Cuadro:** Tabla de frecuencias acumuladas

Frecuencias acumuladas de la longitud de los tornillos

Espec.	Frecuen.	Inferior a: (IA)	Frecuencia Acumulada
0.0	1	0.0	1
0.5	2	0.5	3
0.8	3	0.8	6
1.0	4	1.0	10
1.5	5	1.5	15
1.8	4	1.8	19
2.0	3	2.0	22
2.3	2	2.3	24
2.8	1	2.8	25
3.0	0	3.0	25
	25		

La columna Frecuencias Acumuladas indica el número de tornillos que tienen una longitud igual o menor a la longitud correspondiente definida en la columna Espec., por ejemplo el número 15 de la columna Frecuencias Acumuladas indica que hay 15 tornillos que tienen una variación o desviación igual o inferior a 1.5 mm.

La manera en que los datos se distribuyen, de acuerdo a las diferentes circunstancias debidas al tiempo, el hombre, las máquinas, los insumos, etc., nos proporcionan una idea del comportamiento de los procesos. En muchos casos una representación como la de cualquiera de los cuadros explicados anteriormente proporcionan información clara, precisa y concisa del proceso en cuestión.

#### 2.4. Agrupamiento de datos

Quando se está tratando con una gran cantidad de datos, es conveniente agruparlos en intervalos adecuados, que nos permitan representar gráficamente la situación, así como ayudarnos a calcular los demás estadísticos descriptivos. Los criterios básicos para el agrupamiento de datos en intervalos son:

- i) tener de 5 a 12 intervalos
- ii) cada intervalo debe tener la misma longitud
- iii) los intervalos deben establecerse de modo que cada dato pertenezca exactamente a uno y sólo uno de los intervalos, para esto al fijar los límites del intervalo se usa un lugar decimal más de los que aparecen en los datos originales. Considere los siguientes datos:

**Cuadro: Resultado de los datos observados en las muestras**

Muestra número	Medición de tornillos									
1 - 10	2.510	2.517	2.522	2.522	2.510	2.511	2.519	2.532	2.543	2.525
11 - 20	2.527	2.536	2.506	2.541	2.512	2.515	2.521	2.536	2.529	2.524
21 - 30	2.529	2.523	2.523	2.523	2.519	2.528	2.543	2.538	2.518	2.534
31 - 40	2.520	2.514	2.512	2.534	2.526	2.530	2.532	2.526	2.523	2.520
41 - 50	2.535	2.523	2.526	2.525	2.532	2.522	2.502	2.530	2.522	2.514
51 - 60	2.533	2.510	2.542	2.524	2.530	2.521	2.522	2.535	2.540	2.528
61 - 70	2.525	2.515	2.520	2.519	2.526	2.527	2.522	2.542	2.540	2.528
71 - 80	2.531	2.545	2.524	2.522	2.520	2.519	2.519	2.529	2.522	2.513
81 - 90	2.518	2.527	2.511	2.519	2.531	2.527	2.529	2.528	2.519	2.521

Procedimiento para el agrupamiento de datos:

1. Se determinan las puntuaciones alta y baja. Alta = 2.545 y Baja = 2.502

2. Se determina el rango.  $R = A - B = 2.545 - 2.505 = 0.043$ . El número de intervalos o clases deben cubrir una longitud igual a 0,043
3. Se selecciona el número de intervalos o clases, que multiplicadas por su longitud, abarque el rango. Con 9 intervalos de 0.005 de longitud cada uno abarcamos el rango
4. Se determinan los límites de los intervalos o clases. Divida entre dos la longitud definida del intervalo y réstelo de la puntuación Baja, así el límite inferior del primer intervalo es 2.4995 (aproximadamente 2.5005). Continúe sumando a este número la longitud definida del intervalo hasta completar los 9 intervalos; entonces tenemos 2.5005, 2.5055, 2.5105, 2.5155, 2.5205, 2.5255, 2.5305, 2.5355, 2.5405, 2.5455.
5. Se calcula el punto medio de cada intervalo. Para el primer intervalo tenemos que  $(2.5005 + 2.5055) / 2 = 2.503$ , etc.. Con el cálculo de los datos anteriores tenemos la siguiente tabla

**Cuadro: Agrupamiento de datos en intervalos**

Límites del intervalo	Punto medio de la clase	Frecuencia s de clase	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada relativa
2.5005 - 2.5055	2.503	1	1	0.01	0.01
2.5055 - 2.5105	2.508	4	5	0.04	0.06
2.5105 - 2.5155	2.513	9	14	0.10	0.16
2.5155 - 2.5205	2.518	14	28	0.16	0.31
2.5205 - 2.5255	2.523	22	50	0.24	0.56
2.5255 - 2.5305	2.528	19	69	0.21	0.77
2.5305 - 2.5355	2.533	10	79	0.11	0.88
2.5355 - 2.5405	2.538	5	84	0.06	0.93
2.5405 - 2.5455	2.543	6	90	0.07	1.00
TOTAL		90		1.00	

La anterior tabla es llamada tabla de distribución de frecuencias agrupadas.

La frecuencia relativa para cada frecuencia de clase se calcula dividiendo la frecuencia de clase entre 90. Lo que esto nos indica es el porcentaje de la frecuencia de cada clase.

De igual manera la frecuencia acumulada relativa se obtiene dividiendo la frecuencia acumulada de clase entre 90. Lo que esto nos indica es el porcentaje de la frecuencia acumulada de cada clase.

## 2.5. Histogramas

Para especificar gráficamente la distribución de frecuencias de datos agrupados, se construye un histograma de frecuencias. El histograma es una gráfica de barras donde la base de cada rectángulo representa un intervalo y la altura representa el número de datos en el mismo. A continuación se muestra el histograma de frecuencia para los datos agrupados de la medición de tornillos.

Trace un eje cartesiano; en el eje horizontal marque la escala con la unidad de medida utilizada, dejando un espacio igual al intervalo de clase. Marque el eje vertical con una escala de frecuencias, marque la escala horizontal con los límites de los valores de clase. Utilice los intervalos de clase como línea de base, dibuje un rectángulo cuya altura corresponda a la frecuencia de esa clase, para cada uno de los intervalos, como se muestra a continuación:



Histograma de los datos agrupados en intervalos

Ahora, si se consideran los puntos medios de los intervalos de clase y se unen mediante una línea recta, se obtiene un polígono de frecuencias, como se muestra en la figura siguiente:

### Variación en la longitud de los tornillos



Polígono de frecuencias de los datos agrupados

#### 2.6. Medidas de posición: Media, Mediana, Moda y Rango medio

El objetivo de esta sección es establecer las medidas que representen lo mejor posible a los datos observados. Estas medidas pueden ser de posición o de dispersión. Dentro de las medidas de posición existen las centrales como son la media, mediana, moda y rango medio.

Una de las aplicaciones importantes de estas medidas es que en lugar de estudiar todos los datos de, por ejemplo, la producción total diaria de artículos manufacturados o el total de productos defectuosos durante la semana de producción, solamente se estudian sus parámetros, ya que éstos representan a la totalidad de esos productos. Otra de las bondades de utilizar estas medidas es que se a través de ellas se pueden comparar lotes completos de producción o lotes de artículos a estudiar.

Las medidas de tendencia central son valores numéricos que tienden a localizar el punto medio de un conjunto de datos.

La **Media** nos da el valor promedio del conjunto de datos observados y nos indica cual es la tendencia central de los mismos.

media:  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  (suma de los valores de todos los datos, divididos entre el número de datos)

Por ejemplo: Suponga que se obtuvo una muestra de los tornillos fabricados en la primer hora del primer turno del día lunes de la empresa Tornillos milimétricos S.A. de C.V.. Las especificaciones para la longitud de estos tornillos es de 7 mm más menos 1mm. Los resultados fueron los siguientes: Longitud de los tornillos en mm. 7,7,8,8,6,7,8,6,7,6,8,7,6,8,6,7,6,7,8,6,7,8

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = (7+7+8+8+6+7+8+6+7+6+8+7+6+8+6+7+6+7+8+6+7+8) / 22 = 7$$

En este ejemplo se muestra fácilmente que la tendencia de la longitud de los tornillos es 7 mm., es decir se está cumpliendo con la especificación definida.

La **Mediana** se determina ordenando los datos de menor a mayor de acuerdo con su magnitud y tomando el número que está a la mitad. Si el número de cifras de los datos es par, la media de los dos números que ocupan la posición media se denomina mediana.

Posición de la mediana =  $i = (n + 1) / 2$  en donde  $n$  es el número de valores de los datos observados e  $i$  la posición que la mediana ocupa en los datos arreglados por rango.

Continuando con el ejemplo tenemos: 6,6,6,6,6,6,7,7,7,7,7,7,7,8,8,8,8,8,8,8 entonces  $i = (n + 1) / 2 = (22 + 1) / 2 = 11.5$  es decir la mediana está a medio camino entre los valores de los datos 11 y 12, por lo que la mediana es la suma de estos valores divididos entre dos, es decir 7, nótese que hay 7 valores que son menores a 7 y también 7 valores que son mayores a 7.

La **Moda** es el valor que ocurre con mayor frecuencia en conjunto de datos. En el ejemplo anterior los números 6, 7 y 8 se repiten con mucha frecuencia, sin embargo el que se repite con mayor frecuencia es el 7, por lo que éste es tomado como moda.

El **Rango medio** es un número situado exactamente a medio camino entre el valor más bajo y el valor más alto del conjunto de datos ya ordenados por magnitud. Se determina sacando el promedio de los valores alto y bajo. Suponga que se tienen los siguientes datos: 3, 4, 5, 6, 4, 6, 7, 9, 10, 2, 4, 12, 9, 10, 6, entonces se ordenan los datos observados y tenemos 2, 3, 4, 4, 4, 5, 6, 6, 6, 7, 9, 9, 10, 10, 12

$$\text{Rango medio} = (\text{valor más bajo} + \text{valor más alto}) / 2 = (2 + 12) / 2 = 7$$

## 2.7. Medidas de Dispersión o de Variabilidad: Rango, Varianza y Desviación estándar

Una vez determinado el "punto medio" de un conjunto de datos, nuestra búsqueda de información se dirigirá de inmediato a las medidas de dispersión, como lo son el rango, la varianza y la desviación estándar. Estos valores describen la cantidad de dispersión o variabilidad que puede encontrarse entre los datos.

El **Rango** es la medida más simple de la dispersión de los datos. Éste es la diferencia entre el valor más bajo y el más alto del conjunto de datos. El rango para el ejemplo inmediato anterior es de 10. El rango es una medida de la distancia a lo largo de todo el conjunto de datos, y no considera la media.

Las medidas de dispersión que nos miden la variabilidad alrededor de la media son la Varianza y la Desviación Estándar. Con el fin de desarrollar una medida de dispersión alrededor de la media, considere el concepto de desviación a partir de la media.

Para un conjunto de datos, la desviación de la media de cualquier medición  $x_i$  es  $x_i - \bar{x}$ . Considere el ejemplo de la longitud de los tornillos en mm. 7, 7,8,8,6,7,8,6,7,6,8,7,6,8,6,7,6,7,8,6,7,8 entonces la media está dada por:

$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 7$ , y para el dato cuyo valor es 8 calculamos que su desviación

de la media es  $x_i - \bar{x} = (8 - 7) = 1$ . Sin embargo para el dato cuyo valor es 6 tendremos una desviación de la media de -1. Esto implica que al sumar las desviaciones para determinar una medida, ésta se anulará debido a las desviaciones positivas y negativas.

Para evitar esto se considera el valor absoluto de las desviaciones y además se divide entre el número de mediciones para obtener un valor que nos permita medir la desviación media, por lo tanto la desviación media está definida por:

$$\text{desviación media} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|.$$

Además del valor absoluto para evitar la cancelación de las desviaciones, existe la función cuadrática que tiene la misma propiedad (se considera el cuadrado de las desviaciones ya que desde un punto de vista matemático es más conveniente que el valor absoluto).

Con este concepto de desviación media podemos definir la **Varianza** de un conjunto de datos como:

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

La varianza definida en el párrafo anterior es una medida de la dispersión del conjunto de datos respecto de la media, ésta se calcula elevando las desviaciones al cuadrado. Esto indica que, por ejemplo, para el caso de la longitud de los tornillos la "unidad de varianza" es longitud al cuadrado. Si consideramos, por ejemplo, la diferencia de mililitros entre el llenado de una

botella de leche y otra, entonces estaremos hablando de que la unidad de varianza es mililitros al cuadrado.

Para superar esta insuficiencia de la varianza y disponer de una medida de la dispersión para las longitudes, que se exprese en "longitudes" y no en longitudes al cuadrado (o de "mililitros" y no en mililitros al cuadrado) se calcula la raíz cuadrada de la varianza. Al resultado de sacar raíz cuadrada a la varianza se le llama **Desviación estándar** del conjunto de datos y que está dada por la fórmula siguiente:

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

**2.8. Otras medidas: Cuartiles, Percentiles, Coeficiente de variación y Valor tipificado de la desviación estándar**

En primer lugar, para estas medidas, se deben poner en orden de mayor a menor todos los datos.

Los **cuartiles** son números que dividen los datos ordenados en cuartas partes: Por lo tanto existen tres cuartiles; Primer cuartil es un número tal que la cuarta parte de los datos tiene menor valor y tres cuartas partes mayor valor que éste. Segundo cuartil es un número que es igual a la mediana y Tercer cuartil es un número tal que tres cuartas partes de los datos tienen menor valor y una cuarta parte mayor valor que éste.

Cuando tenemos una gran cantidad de datos es preferible utilizar los **percentiles**; que son números tales que dividen al conjunto de datos en 100 partes iguales. El *n-ésimo* percentil,  $P_n$ , es el número con la propiedad de que  $n$  por ciento de los datos ordenados tiene menor valor que él (y obviamente  $100 - n$  por ciento mayor que él)

El **coeficiente de variación** se utiliza principalmente para comparar la variación o dispersión entre diferentes conjuntos de datos y se define como:

$$C.V. = s / \bar{x}$$

Una de las aplicaciones de este coeficiente se da cuando los datos son muy asimétricos, por lo que el C.V. tiende a ser muy grande y por tanto se requiere una gran cantidad de datos (los datos dependen del experimento en ocasiones se usan 40 datos) para obtener una desviación típica confiable y segura.

Finalmente se presenta otra medida de ubicación que es, la **puntuación estándar o valor tipificado de la desviación estándar**. Esta es una puntuación de posición en términos de la desviación estándar, con referencia a la media. La fórmula está dada por:

$$\text{Puntuación estándar} = (x_i - \bar{x}) / s$$

Por ejemplo, se tienen los datos de los resultados de un examen que se aplicó a los responsables de la inspección de calidad en cierta empresa de manufactura; la media es 65.25 y la desviación estándar es igual a 12.5. Entonces si tenemos un puntaje individual de 90, la puntuación estándar será:

$$\text{Puntuación estándar} = (x_i - \bar{x}) / s = (90 - 65.25) / 12.5 = 1.98.$$

Esto significa que la puntuación de 90 está, aproximadamente, a 2 desviaciones estándar por encima de la media. Es decir el individuo obtuvo un resultado dos veces mejor que la media evaluada.

### 3. Distribuciones de Probabilidad

En el punto anterior se mencionaron las distribuciones de frecuencia. La idea de distribución de frecuencia es paralela a la de distribución de probabilidad. La distribución de probabilidad es una función que relaciona mediciones con probabilidades. En una distribución de frecuencias, la suma de las frecuencias debe ser "n", y en una distribución de probabilidad, la suma de las probabilidades debe ser uno. Las distribuciones de probabilidad más importantes son las distribuciones teóricas.

Las características básicas de las distribuciones de frecuencia y probabilidad son semejantes, pero con la diferencia importante de que, por lo general, las distribuciones de probabilidad representan distribuciones teóricas o hipotéticas y las de frecuencias representan observaciones obtenidas de experimentos reales. Así, una distribución de probabilidad dice lo que se puede esperar observar en una distribución de frecuencia.

Las distribuciones que aquí mencionaré son la Binomial y la Normal, pero antes veamos los siguientes puntos.

#### 3.1. Variable aleatoria

Los experimentos en los cuales los resultados no son esencialmente los mismos a pesar de que las condiciones sean aproximadamente idénticas se denominan *experimentos aleatorios*.

Al conjunto que consiste de todos los resultados de un experimento aleatorio se le denomina *espacio muestral*.

Una *variable aleatoria* es una función con un valor real definido en un espacio muestral, generalmente denotada por  $X$  o  $Y$ . Es decir  $X$  o  $Y$  es una

función cuyo dominio de definición es el conjunto de puntos muestrales cuyo rango es un conjunto de números reales.

Dado que el objetivo de este capítulo son las distribuciones de probabilidad, es necesario que una medida de probabilidad sea asignada al espacio muestral asociado con la variable aleatoria  $X$ , por lo tanto asumiremos que cualquier espacio muestral tiene asociada una medida de probabilidad.

La mayoría de las variables aleatorias que ocurren en experimentos repetitivos se pueden contabilizar, por ejemplo la variable aleatoria puede ser el número de defectos en un artículo manufacturado o la cantidad de accidentes que ocurren en una planta de ensamble en un año, tales variables asumen solamente valores enteros no negativos. Una variable aleatoria que toma un número finito o infinito contable de valores se denomina *variable aleatoria discreta*.

Considere que una máquina despachadora de café regula el llenado de los paquetes en donde es vendido el café, el peso de dichos paquetes puede oscilar entre 950 gr. o 1,050 gr., por lo que la variable aleatoria puede tomar cualquier valor entre los 950 y 1,050 gr., esto implica que el peso de los paquetes puede tomar un número infinito no contable de valores. Una *variable aleatoria continua* es aquella que puede tomar cualquier valor en algún intervalo de valores dado.

### 3.2. Función de probabilidad discreta

Después de que una variable aleatoria  $X$  ha sido definida en un espacio muestral, usualmente el interés se centra en determinar la probabilidad de que  $X$  tome valores específicos en su rango de valores posibles.

Para el propósito de calcular las probabilidades relacionadas con variables aleatorias discretas es conveniente introducir una función llamada función de probabilidad discreta.

**Definición:** Sea  $X$  una variable aleatoria discreta. Entonces la función  $f$  definida por  $f(x) = P(X = x)$  es llamada la **función de probabilidad discreta de  $X$** .

En general  $f(x)$  es una función de probabilidad si cumple con:

1)  $f(x) \geq 0$

2)  $\sum_x f(x) = 1$  suma sobre todas las  $x$  del espacio muestral

Es decir la función de probabilidad es una regla de correspondencia entre la variable aleatoria de un evento y la probabilidad asignada a ese mismo evento en el espacio muestral.

A menudo la función de probabilidad discreta consiste meramente en una tabla de valores. El propósito de introducir esta función es simplificar la notación y los cálculos de probabilidad relacionadas con la variable aleatoria. Después de que la función ha sido determinada ya no es necesario calcular las probabilidades de los eventos de la variable aleatoria sumando las probabilidades de los puntos del espacio muestral.

La graficación de esta función puede estar representada por un histograma (la elaboración de estas gráficas se mencionó en el capítulo anterior).

**Definición:** Sea  $X$  una variable aleatoria discreta. Entonces la función  $F$  definida por:

$$F(x) = P(X \leq x) = \sum_{u \leq x} f(u)$$

es llamada la **función de distribución de la variable aleatoria discreta  $X$** . En donde la suma a la derecha es sobre todos los valores de la variable aleatoria  $u$  para los cuales  $u \leq x$ .

Esta función da la probabilidad de que  $X$  asuma un valor menor o igual que  $x$  en contraste con la función  $f$ , la cual da la probabilidad de que  $X$  asuma el valor particular  $x$ .

### 3.3. Función de probabilidad continua

Si  $X$  es una variable aleatoria continua, la probabilidad de que  $X$  tome un valor determinado generalmente es cero. Por tanto no podemos definir una función de probabilidad en la misma forma que para una variable aleatoria discreta. Para llegar a una función de probabilidad para una variable aleatoria continua notamos que la probabilidad de que  $X$  se encuentre entre dos valores diferentes tiene significado.

Por ejemplo se selecciona en forma aleatoria una placa de acero que puede tener una longitud comprendida en el rango de 10.1416 a 10.2832 cm. En este caso cada número real en el rango representa un posible valor para la longitud de la placa. Aquí el espacio muestral puede ser considerado como continuo e infinito.

Para el propósito de calcular las probabilidades relacionadas con variables aleatorias continuas es conveniente introducir una función llamada función de probabilidad continua.

Definición: Sea  $X$  una variable aleatoria continua. Una función de probabilidad para una variable aleatoria continua  $X$  (o *función de densidad*) es una función  $f$  que posee las siguientes propiedades:

i)  $f(x) \geq 0$

ii)  $f(x) \neq P(X = x)$

iii)  $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$  suma sobre todas las  $x$  del espacio muestral

iii)  $\int_a^b f(x)dx = P(a < X < b)$  en donde  $a$  y  $b$  son dos valores de  $x$  que satisfacen que  $a < b$

La función de distribución para la variable aleatoria continua  $X$  está definida por:

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt$$

Esta función da el suceso compuesto, que consta de todos los puntos de muestra que satisfacen los valores de  $X$  iguales o menores a  $x$ .

### 3.4. Esperanza matemática y momentos

Un concepto muy importante es el de esperanza matemática, o valor esperado de una variable aleatoria. Esta es una herramienta muy útil para el estudio de las propiedades de las distribuciones.

El valor esperado de una variable aleatoria discreta  $X$ , que puede tomar los valores  $x_1, x_2, \dots, x_n$  y que además las probabilidades asociadas con esos valores son  $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)$ , se define como:

$$E(X) = x_1 f(x_1) + \dots + x_n f(x_n) = \sum_{i=1}^n x_i f(x_i)$$

Y para una variable aleatoria continua  $X$  que tiene una función de densidad

$$f(x) \text{ la esperanza de } X \text{ se define como: } E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

En forma general el valor esperado de una función  $g(x)$  de una variable aleatoria se define como:

$$E [ g ( x ) ] = \sum g(x)f(x) \quad \text{si } x \text{ es discreta}$$

$$E [ g ( x ) ] = \int g(x)f(x)dx \quad \text{si } x \text{ es continua}$$

No obstante que el valor esperado puede ser definido y calculado para la mayoría de las funciones, la esperanza de dos tipos de funciones es de interés en el estudio del control de calidad. La primera función es usada para determinar en dónde está centrada la distribución y la segunda es usada para determinar el grado de concentración de la distribución alrededor de la media.

La primera función, o primer momento, es llamado la media de la distribución que se denota por  $\mu$ , y se define como:

$$E ( X ) = \sum_{i=1}^n x_i f(x_i) \quad \text{si } x \text{ es discreta}$$

$$E ( X ) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx \quad \text{si } x \text{ es continua}$$

Y la segunda función, o segundo momento, es llamado la varianza de la distribución que se denota por  $\sigma^2$ , y se define como:

$$\sigma^2 = \sum (x - \mu)^2 f(x) \quad \text{si } x \text{ es discreta}$$

$$\sigma^2 = \int (x - \mu)^2 f(x) dx \quad \text{si } x \text{ es continua}$$

La raíz cuadrada positiva de la varianza se denota por  $\sigma$  y es llamada desviación estándar o desviación típica de la distribución. Esta es utilizada

en lugar de la varianza cuando es deseada una medida de concentración igual a la medida de la variable aleatoria.

### 3.5. Distribución de probabilidad Binomial

En muchas ocasiones, se realizan experimentos cuyos resultados pueden clasificarse en una de dos categorías: éxito o fracaso. Hay muchos ejemplos obvios, por ejemplo un producto manufacturado que realiza la tarea prescrita o no la realiza, un foco que prende o no, en fin existen muchos problemas de la vida real, que involucran *variables aleatorias discretas*, a los cuales se puede aplicar este modelo Binomial. En cualquier problema dado, es necesario conocer o estimar los valores de los parámetros éxito o fracaso.

Estos tipos de experimentos o problemas suelen llamarse experimentos de probabilidad Binomial y son experimentos compuestos de ensayos repetidos de un acto experimental básico, los cuales poseen las siguientes propiedades:

1. Cada ensayo tiene exactamente dos resultados posibles: éxito =  $p$  o fracaso =  $q = 1 - p$
2. Se hacen  $n$  ensayos. Donde  $n$  es un número entero positivo fijado con anticipación
3. Cada ensayo es independiente
4. La probabilidad de éxito para todos los ensayos es la misma

La independencia de los ensayos significa, en esencia, que el resultado de un ensayo no afecta en absoluto el resultado del ensayo siguiente o de cualquier otro en el experimento.

Sea  $p$  la probabilidad de que un ensayo ocurra en una sola prueba (llamada la probabilidad de éxito). Entonces  $q = 1 - p$  es la probabilidad de que el ensayo no ocurra en una sola prueba (llamada la probabilidad de fracaso). La probabilidad de que el suceso ocurra  $x$  veces en  $n$  pruebas (es decir que ocurran  $x$  éxitos y  $n - x$  fracasos) está dada por la función de probabilidad

$f(x) = P(X = x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{n-x}$  donde la variable aleatoria  $X$  denota el número de éxitos en  $n$  pruebas y  $x = 0, 1, \dots, n$ .

La fórmula anterior se puede escribir también de la siguiente manera

$(q + p)^n = \sum_{x=0}^n f(x) = 1$ . De aquí que los términos en la expansión Binomial de  $(q + p)^n$  dan la probabilidad de varios posibles resultados en su orden natural.

De acuerdo con esto se puede ver que la suma de todas las probabilidades para todos los valores posibles de  $x$ , de 0 a  $n$ , es 1.

Consideremos el siguiente ejemplo: Un manufacturero de partes que son requeridas en un dispositivo electrónico, garantiza que una caja de sus partes contendrá a lo más dos partes defectuosas. Si la caja contiene 20 partes y la experiencia ha demostrado que el proceso de manufactura produce un 2 por ciento de artículos defectuosos, cuál es la probabilidad de que una caja de sus partes satisfaga la garantía. Este problema puede considerarse como un problema de distribución Binomial, para el cual tenemos:

1. Cada parte tiene la posibilidad de estar defectuoso ( $p$ ) o de no estarlo  $q=1-p$
2. El número de ensayos es  $n = 20$  (contenido de las cajas)
3. Cada una de las 20 partes es independiente de cada una de las otras partes
4. Cada una de las partes tiene la misma probabilidad de éxito o fracaso

Y considerando la fórmula de la distribución Binomial tenemos

$$P(0) = \frac{20!}{0!20!} (.02)^0 (.98)^{20} = .668$$

$$P(1) = \frac{20!}{0!19!} (.02)^1 (.98)^{19} = .272$$

$$P(2) = \frac{20!}{2!18!} (.02)^2 (.98)^{18} = .053$$

Puesto que estos son eventos mutuamente excluyentes la probabilidad de que haya a lo más dos artículos defectuosos es la suma de estas probabilidades,

de aquí que el resultado deseado es  $P(X \leq 2) = .993$ . Este resultado muestra que la garantía del manufacturero será casi siempre satisfactoria. Algunos de los parámetros de la distribución binomial son las siguientes:

La media está dada por la fórmula  $\mu = np$

La varianza está dada por la fórmula  $\sigma^2 = npq$

La desviación típica está dada por la fórmula  $\sigma = \sqrt{npq}$

### 3.6. Distribución de probabilidad Normal

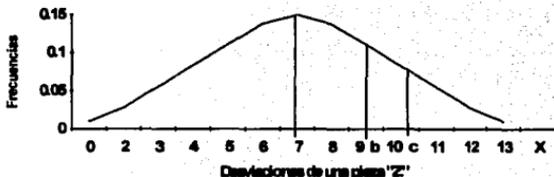
Sin cuestión alguna el modelo que ha probado ser el más útil de todas las distribuciones para las *variables aleatorias continuas* es la distribución normal. Esta distribución no solamente sirve como un modelo de distribución para las variables aleatorias continuas de la vida real, sino también surge de manera natural en muchas investigaciones teóricas.

La distribución normal está caracterizada por lo siguiente:

1. La probabilidad de ocurrencia se incrementa conforme la variable se aproxima al valor medio y decrece conforme la variable se desvía de dicho valor medio.
2. Las ocurrencias por arriba y por debajo del valor medio tienen la misma probabilidad.
3. No obstante la mayoría de las desviaciones de la media son pequeñas, las desviaciones extremadamente alejadas de ésta son posibles, pero raras, muy raras.

La probabilidad asignada al intervalo comprendido entre  $b$  y  $c$ , sobre el eje  $x$ , es el área comprendida entre los puntos  $b$  y  $c$ , la curva que describe la distribución normal y el eje  $x$ . Así la probabilidad de que un elemento escogido al azar, de una población normal, tenga una medida en el intervalo  $(b, c)$ , es el área determinada por la curva descrita por la distribución

normal, el eje  $X$  y las rectas  $x = b$  y  $x = c$ , la representación gráfica se muestra a continuación



La función de densidad para la distribución normal está dada por:

$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$  en donde  $\mu$  y  $\sigma$  son la media y la desviación típica respectivamente y  $-\infty < x < \infty$ .

La función de distribución correspondiente está dada por:

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-(u-\mu)^2/2\sigma^2} du$$

Para las funciones descritas arriba decimos que la variable aleatoria  $X$  está normalmente distribuida con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ .

Ahora consideremos un caso especial. Si hacemos que  $Z$  sea la variable normalizada correspondiente a  $X$ , es decir, si hacemos

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

entonces la media o el valor esperado de  $Z$  es 0 y la varianza es 1. En este caso la función de densidad para  $Z$  puede obtenerse de la función de distribución, sustituyendo la media y la varianza, con lo que tenemos

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}$$

resultado que frecuentemente se conoce como la función de densidad normal tipificada. Y la función de distribución correspondiente está dada por

$$F(z) = P(Z \leq z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-u^2/2} du$$

En ocasiones el valor  $z$  de la variable tipificada es llamado el valor tipificado. La función de distribución de  $z$  es una función solamente de su propia variable, es decir, no involucra ningún otro parámetro.

Uno de los objetivos es encontrar la probabilidad de un suceso por medio del área bajo la curva normal.

El punto medio de la curva normal permite calcular las proporciones de área comprendidas entre la media y el valor indicado utilizando la desviación típica. Por ejemplo:

- a) Cuando el valor indicado  $x_1$  se separa del valor medio  $\mu$  una desviación típica, la proporción de área entre  $x_1$  y  $\mu$  es 34.13 por ciento.
- b) Cuando  $x_2$  se separa dos desviaciones típicas, el área entre  $x_2$  y  $\mu$  es 47.73 por ciento.
- c) Y cuando  $x_3$  se separa tres desviaciones típicas, el área entre  $x_3$  y  $\mu$  es 49.86 por ciento.

Esto quiere decir que:

- La probabilidad de que el valor indicado (o la probabilidad del suceso) caiga entre  $\mu$  y una desviación típica es igual a 34.13
- La probabilidad de que el valor indicado (o la probabilidad del suceso) caiga entre  $\mu$  y dos desviaciones típicas es igual a 47.73

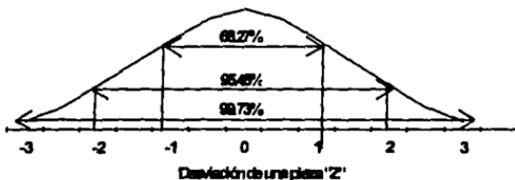
- La probabilidad de que el valor indicado (o la probabilidad del suceso) caiga entre  $\mu$  y tres desviaciones típicas es igual a 49,86

A continuación muestro la representación gráfica de la función de densidad, algunas ocasiones conocida como la curva normal tipificada. En esta representación gráfica indico las áreas dentro de 1, 2 y 3 desviaciones típicas de la media, esto quiere decir que:

$$P(-1 \leq Z \leq 1) = 0.6827, \quad P(-2 \leq Z \leq 2) = 0.9545, \quad P(-3 \leq Z \leq 3) = 0.9973$$

Como se aprecia en la siguiente gráfica el valor para tres desviaciones típicas es 99,73, por lo que en la práctica podemos despreciar la posibilidad de que el valor indicado caiga fuera de los límites  $\mu \pm 3\sigma$  (tres desviaciones típicas).

En el control de calidad esta regla es la base para determinar los límites de control en una hoja de control.



En el apéndice de tablas se presenta una tabla que da las áreas bajo esta curva, limitada por la ordenada  $z=0$  y cualquier valor positivo de  $z$ . A partir de esta tabla se pueden encontrar las áreas entre dos ordenadas cualesquiera utilizando la simetría de la curva alrededor de  $z=0$ .

Consideremos el siguiente ejemplo. Una máquina llena envases con una cantidad determinada de café. El peso del café en cada envase tiene una

distribución normal con una media de 510 gr. y una desviación estándar de 4 gr.. ¿Cuál es la probabilidad de que al tomar aleatoriamente un envase, éste contenga menos de 500 gr. de café?

Sea  $z$  = peso de café en cada envase. Entonces

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} e^{-(x-510)^2/2(4)^2}$$

La cantidad  $z = (x - 510) / 4$  tendrá la distribución normal tipificada  $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}$ , de tal forma que cuando  $x$  sea igual a 500,  $z$  será igual a  $(500 - 510) / 4 = 2.5$ , por tanto

$$P(x \leq 500) = P(z \leq 2.5) = \int_{-\infty}^{2.5} f(z) dz.$$

esta cantidad la encontramos en las tablas como 0.0048. Por lo que la probabilidad de que un envase seleccionado aleatoriamente contenga menos de 500 gr. de café es de 0.0048.

Algunos de los parámetros de la distribución normal estándar son los siguientes:

La media está dada por  $\mu$

La varianza está dada por  $\sigma^2$

La desviación típica está dada por  $\sigma$

#### 4. Inferencia Estadística

En los puntos anteriores nos hemos limitado a estudiar los datos observados digamos los datos "muestrales", recordemos que la descripción de los datos muestrales se lleva a cabo mediante las medidas de tendencia central, las de dispersión y su tipo de distribución.

Con frecuencia en la práctica estamos interesados en extraer conclusiones válidas respecto a un grupo de individuos u objetos. En la mayoría de los casos es muy difícil o prácticamente imposible hacer conteos, experimentos, estudios o cualquier otro tipo de análisis respecto a la totalidad de una población, por lo que solamente queda la opción de examinar una pequeña parte de dicha población, que se llama la muestra.

Los resultados hallados en la muestra nos proporcionan información con la cual se pueden deducir o inferir ciertos hechos respecto de la población. Este proceso es conocido como *inferencia estadística*, y al proceso de obtener muestras se le conoce como *muestreo*.

Ahora surge la siguiente pregunta ¿qué se puede deducir sobre la población de la cual se tomaron las observaciones o la muestra estudiada?

Hablando estadísticamente no sabemos cuál es el verdadero estado de una población. Sólo conocemos algo respecto a una muestra.

Cuando queremos estimar la media de una población, tomamos un conjunto de observaciones de esa población y calculamos la media de las observaciones. Un valor calculado a partir de una muestra, tal como la media de la muestra, es llamado un *estadístico*.

Es importante hacer notar que un parámetro que nos expresa una determinada característica de la población es una constante, aunque generalmente no es posible conocerlo debido a que resulta como se mencionó antes, en la mayoría de los casos, muy difícil contar con todos los datos de la población, ya sea por cuestiones económicas, de tiempo o de repetición, entre otras. Por tanto debemos calcular un estadístico a partir de una muestra, sin embargo dicho estadístico variará de muestra a muestra, así es que, aunque quisiéramos conocer el parámetro de la población solamente observamos muestras obtenidas de la población. Debido a esta imposibilidad tenemos que **estimar** el parámetro de la población a partir de un estadístico.

Para estimar un estadístico de la población debemos conocer la manera de obtener una muestra de la población, así como la distribución muestral de un estadístico.

#### 4.1. Distribución Muestral

Lógicamente, la confiabilidad de las conclusiones extraídas concernientes a una población dependen de si la muestra se ha escogido apropiadamente de tal modo que represente a la población lo suficientemente bien; así uno de los problemas importantes de la inferencia estadística es cómo escoger una muestra.

Una forma de hacer esto es asegurarse de que cada miembro de la población tenga igual oportunidad de encontrarse en la muestra. La forma en que se obtendrá una muestra con estas características será mediante el **muestreo aleatorio**, éste puede efectuarse a través de la extracción de lotes o utilizando una tabla de números aleatorios.

Consideraremos que se conoce una población cuando conozcamos la distribución de probabilidad  $f(x)$  de la variable aleatoria  $X$  asociada a la población. Así, si  $X$  está normalmente distribuida decimos que tenemos una población normal. En forma semejante, si  $X$  está binomialmente distribuida,

decimos que la población está binomialmente distribuida o que tenemos una población Binomial.

Las cantidades asociadas con  $f(x)$  como la media o desviación típica y las que se pueden obtener a través de éstas, como la mediana y los momentos, se conocen como *parámetros poblacionales*. Cuando nos dan la población de modo que conocemos  $f(x)$ , entonces los parámetros poblacionales también son conocidos. Sin embargo cuando no conocemos la distribución de probabilidad  $f(x)$  de la población, entonces no conocemos alguno o ninguno de sus parámetros poblacionales, por lo que habrá que estimarlos.

Podemos obtener muestras aleatorias de la población y con base en éstas obtener valores que nos sirvan para *estimar los parámetros poblacionales*.

Como se mencionó anteriormente un estadístico es un valor calculado a partir de la muestra, es decir cualesquier cantidades obtenidas de una muestra con el propósito de estimar un parámetro poblacional se llaman *estadísticos muestrales* o estadísticos.

Si consideramos todas las muestras posibles de tamaño  $n$  que pueden extraerse de la población y para cada muestra calcular su estadístico estaremos obteniendo la distribución del estadístico que corresponde a su *distribución muestral*. A partir de esta distribución obtendremos la media, varianza y desviación típica (en el contexto de distribución muestral a ésta última se le conoce como error típico), entre otros.

Se pueden definir varias distribuciones muestrales, por ejemplo la distribución muestral de las medias, de las medianas, de los rangos, de las varianzas, etc., sin embargo una de las distribuciones muestrales que reviste mayor importancia para el tema que nos ocupa es la distribución muestral de medias. También se menciona la distribución muestral de proporciones.

Sea  $f(x)$  la distribución de probabilidad de alguna población dada, de la cual extraemos una muestra de tamaño  $n$ , entonces la distribución de probabilidad del estadístico muestral  $\bar{X}$  se denomina **distribución muestral de medias**.

La **media** de la distribución muestral de medias, denotada por  $\mu_{\bar{X}}$ , está dada por:  $E(\bar{X}) = \mu_{\bar{X}} = \mu$  en donde  $\mu$  es la media de la población. Es decir el valor esperado de la media muestral es la media de la población.

Si una población es infinita o si el muestreo es con reemplazo, entonces la **varianza** de la distribución muestral de medias, denotada por  $\sigma_{\bar{X}}^2$ , está dada por:  $E[(\bar{X} - \mu)^2] = \sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{\sigma^2}{n}$ , en donde  $\sigma^2$  es la varianza de la población. La **desviación estándar o error típico** de la distribución muestral es:  $\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ .

Si la población es de tamaño  $N$ , el muestreo es sin reemplazo y el tamaño de la muestra es  $n \leq N$ , entonces la varianza de la distribución muestral de medias está dada por

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{\sigma^2}{n} \left( \frac{N-n}{N-1} \right)$$

De la misma manera en que se calculó la media y el error típico para la distribución muestral de medias ahora veamos el valor de los parámetros para la **distribución muestral de proporciones**

Si tomamos una población infinita (o muestreo con reemplazo), distribuida binomialmente, con probabilidades respectivas de fracaso o éxito  $p$  y  $q=1-p$ ,

considerando las posibles muestras de tamaño  $n$  extraídas de esta población y para cada muestra su estadístico correspondiente a la proporción  $P$  de éxitos obtenidos, entonces obtenemos una distribución muestral de proporciones cuya media y desviación típica están dadas por:

**Media** de la distribución muestral de proporciones

$$\mu_p = p$$

**Desviación típica** de la distribución muestral de proporciones

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Si la población es de tamaño  $N$ , el muestreo es sin reemplazo y el tamaño de la muestra es  $n \leq N$ , entonces la desviación típica de la distribución muestral de proporciones está dada por:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$$

Ahora, si la población de la cual se toman muestras está distribuida normalmente con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$  entonces la media muestral está normalmente distribuida con media  $\mu$  y varianza  $\frac{\sigma^2}{n}$ .

También si la población de la cual se toman las muestras tiene una distribución de probabilidad con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ , que no necesariamente tiene una distribución normal y que además la población es infinita o que el muestreo es con reemplazo, entonces la **variable tipificada asociada con  $X$** , que está dada por:

$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$  es normal asintóticamente de acuerdo con el teorema del límite central.

El *teorema del límite central* nos dice que si se toman muestras aleatorias de tamaño  $n$  de una población con media  $\mu$  y desviación estándar  $\sigma$ , la distribución de muestreo de las  $\bar{X}$  será una distribución aproximadamente normal; la media de la distribución de muestreo  $\mu_{\bar{X}}$  será igual a  $\mu$  y la desviación estándar de la distribución de muestreo  $\sigma_{\bar{X}}$  será igual a  $\sigma/\sqrt{n}$ . La aproximación será mejor al tomar muestras de mayor tamaño.

Veamos con un ejemplo la forma de calcular la probabilidad de que al seleccionar una muestra, ésta tenga un valor entre dos valores previamente definidos.

La resistencia a la tensión del acero inoxidable producido en la fábrica "Aceros México" había sido estable con una resistencia media de 90 kg./mm<sup>2</sup> y una desviación estándar de 2 kg./mm<sup>2</sup>. Se le dio mantenimiento a la máquina que produce estas placas de acero inoxidable. El supervisor de producción quiere estar seguro de que el mantenimiento dado a la máquina no ocasionará variación en la resistencia media de las placas, por lo que ha decidido tomar una muestra de 10 placas y revisarlas para determinar su resistencia.

El supervisor se hace las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuál es la mejor forma de escoger una muestra para determinar la resistencia de las placas?
- 2) ¿Cuál es la forma de calcular la probabilidad de que la media de la muestra seleccionada sea, igual o mayor a la media original, es decir igual o mayor a 92 kg./mm<sup>2</sup>?

Si el supervisor quisiera determinar de cuántas formas puede obtener una muestra y sus probabilidades, así como obtener la media de éstas, tendría que trabajar las  $\binom{90}{10} = 90! / 10! (90 - 10)!$  posibles muestras, lo cual resulta mucho muy complicado dada la gran cantidad de muestras.

Aplicando el teorema del límite central sabemos que la distribución de muestreo de la media es una distribución normal, aproximadamente, como se indica en la siguiente figura



Ahora buscar la probabilidad de selección de muestras con medias iguales o mayores a 92 kg./mm<sup>2</sup> equivale a calcular la probabilidad de encontrar medias iguales o mayores a 92 kg./mm<sup>2</sup> en la distribución de muestreo de la media. Dado que se tiene una distribución normal, ésta se halla calculando Z con la ayuda de la tabla normal de áreas:

$$Z = (\bar{X} - \mu) / (\sigma / \sqrt{n}), \quad \text{sabemos que } \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2 / 3.162 = .633,$$

entonces  $Z = (92 - 90) / .633 = 3.160$ , ahora en la tabla normal de áreas la proporción que corresponde a  $Z = 3.160$  es .0010; lo cual significa que la probabilidad de encontrar una media igual o mayor a 92 kg./mm<sup>2</sup> es 0.0010.

es decir, la probabilidad de seleccionar muestras con media igual o mayor a  $92 \text{ kg./mm}^2$  es 0.0010. Dicho de otra forma la probabilidad 0.0010 indica que solamente hay, aproximadamente 0.1 probabilidades en 100 de seleccionar dicha muestra.

Adelantándonos un poco a la siguiente sección, pero con el objetivo de clarificar un poco más, podría decirse del ejemplo anterior que no existe evidencia, o que es muy poca la evidencia, de que exista una diferencia en la media de la producción debido al mantenimiento hecho a la máquina.

#### 4.2 Estimación de Parámetros

En estadística, numerosos problemas están relacionados con la estimación de la media o la desviación estándar de una población dada, a partir del estudio de una muestra de tamaño  $n$ . Por ejemplo, a una empresa le puede interesar el número promedio de piezas defectuosas producidas por una cierta máquina; a un ingeniero especialista en computadoras le puede interesar la variabilidad en el funcionamiento de un tipo de computadoras personales.

Cuando es preciso estimar la media de una población, puede tomarse una muestra y designar la media muestral,  $\bar{x}$ , como el valor estimado.

La **Estimación Puntual** de un parámetro se obtiene al calcular el estadístico muestral correspondiente. Entonces, se designa el valor del estadístico muestral como estimación del parámetro de población.

Dos de las principales propiedades de dichos estimadores son las siguientes:

i) Cuando el valor esperado de un estadístico, empleado como estimador, es igual al parámetro de la población que se va a estimar, se dice que el estimador es **insesgado**.

Es decir, si  $E(\bar{X}) = \mu$  entonces diremos que  $\bar{\mu}$  (igual a  $\bar{X}$ ) es un estimador insesgado de  $\mu$ .

ii) Si las distribuciones muestrales de dos estadísticos tienen la misma media, el estadístico con la menor varianza se denomina estimador *eficiente* de la media.

Es decir, si  $E(\tilde{\theta}_1) = E(\tilde{\theta}_2) = \theta$  y  $V(\tilde{\theta}_1) < V(\tilde{\theta}_2)$ , entonces  $\tilde{\theta}_1$  es un estimador eficiente de la media.

En la práctica se utilizan estimadores sesgados o no eficientes, por la relativa facilidad con que algunas de ellas pueden obtenerse. Lógicamente se prefiere tener estimas que sean eficientes e insesgadas, pero esto no siempre es posible.

Un método para el cálculo de los "mejores" estimadores puntuales es el de *máxima verosimilitud*. Con este método se obtienen estimadores eficientes, sin embargo generalmente carecen de la propiedad de ser insesgados. Para ilustrar este método supongamos que la población tiene una función de densidad que contiene un parámetro poblacional, por ejemplo  $\theta$ , que se va a estimar por un estadístico determinado. Por tanto, la función de densidad puede obtenerse por  $f(x, \theta)$ . Suponiendo que hay  $n$  observaciones independientes  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , la función de densidad conjunta para estas observaciones es

$$L = f(x_1, \theta) f(x_2, \theta) \dots f(x_n, \theta), \text{ llamada verosimilitud.}$$

La máxima verosimilitud se obtiene derivando  $L$  respecto de  $\theta$  e igualándola a cero. Para lograr lo anterior se toma primero el logaritmo y luego la derivada, con lo cual resulta

$$\frac{1}{f(x_1, \theta)} \frac{\partial f(x_1, \theta)}{\partial \theta} + \dots + \frac{1}{f(x_n, \theta)} \frac{\partial f(x_n, \theta)}{\partial \theta} = 0.$$

Como ejemplo solamente se menciona que el estimador de máxima verosimilitud de  $\mu$  y  $\sigma^2$  para una población con distribución normal están dados por:

$\tilde{\mu} = \bar{X}$ . El valor esperado de  $\tilde{\mu}$  entonces será  $E(\tilde{\mu}) = \mu$

$\tilde{\sigma}^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$ . El valor esperado de  $\tilde{\sigma}^2$  entonces será  $E(\tilde{\sigma}^2) = \sigma^2$

Relaciones entre el error, el riesgo y el tamaño de la muestra.

Uno de los aspectos importantes del estimador  $\mu$  es la relación del error, el riesgo y el tamaño de la muestra. Aunque ya se mostró que  $\bar{X}$  es un buen estimador de  $\mu$ , es obvio señalar que hay una discrepancia o "error" entre  $\bar{X}$  y  $\mu$ ; entonces para confiar en  $\bar{X}$  como estimador de  $\mu$  se debe reconocer el error  $e = \bar{X} - \mu$  y además el riesgo (o probabilidad) que representa tal error. Veamos la forma de calcular dicho riesgo.

Consideremos el ejemplo de una ensambladora de autos, suponga que se toma una muestra de focos de tamaño  $n = 36$  y que la desviación típica  $\sigma$  de estos focos respecto a la media de dicha muestra es de 18. Por otra parte la política de la empresa es no tener más de 3 focos defectuosos por remesa, entonces para poder tomar una decisión del total de la remesa de focos el gerente de calidad tendrá que buscar el riesgo o en otras palabras la probabilidad de tener un "error" igual o mayor a 3 focos defectuosos. Es decir, que  $e = \bar{X} - \mu$  sea igual o mayor a 3 focos defectuosos.

Dado que se tiene una distribución normal (gracias al teorema del límite central), la probabilidad se halla calculando Z con la ayuda de la tabla normal de áreas. Por lo que:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = e / \sigma_{\bar{x}} = 3 / 3 = 1, \text{ sabemos que } \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 18 / 6 = 3,$$

dado que Z=1, la probabilidad o riesgo es de 0.1587 + 0.1587 = 0.3174

Es decir el riesgo es de aproximadamente 0.3174 veces en 100 de tener un error de  $e = 3$  defectos o más, cuando se selecciona una muestra de tamaño  $n=36$ .

Ahora analicemos qué sucede con el riesgo si  $n$  aumenta, intuitivamente parecerá lógico que el riesgo disminuye. Si en lugar de tomar una muestra de tamaño  $n = 36$  tomamos una de 2000 la probabilidad de que haya un error de 3 defectos o más es muy pequeña, es decir el riesgo de que allí aparezca tal error es muy pequeño. En otras palabras dado un cierto error, cuando el tamaño de la muestra crece el riesgo de cometer tal error disminuye. Esto se puede ejemplificar como sigue: si  $n = 36$ ,  $e = 3$  y  $\sigma = 18$  como en el ejemplo anterior sabemos que sucede, ahora si se incrementa el tamaño de la muestra hasta  $n = 81$ , el error típico resulta  $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 18 / 9 = 2$ , dado que  $Z = 1.5$  la probabilidad o riesgo es de 0.0668 + 0.0668 = 0.1336 veces en 100. Es decir cuando el tamaño de la muestra crece de  $n = 36$  a  $n = 81$ , el riesgo disminuye de 0.3174 a 0.1336.

Una de las preguntas interesantes de contestar es ¿de qué tamaño debe ser la muestra que mantiene un cierto error dentro de un determinado límite con un riesgo determinado? Por ejemplo si se fija un riesgo de 0.0456, la proporción en cada extremo de la curva normal es de 0.0228, considerando la tabla normal tenemos que z corresponde a 2.0, entonces si  $\sigma = 18$ , tenemos que  $Z = e / \sigma_{\bar{x}}$ , sustituyendo y despejando llegamos a que  $n = \frac{z^2 \sigma^2}{e^2}$ , de acuerdo

con el ejemplo, tenemos que  $Z = 2$ ,  $\sigma = 18$  y  $e = 3$ , entonces el tamaño  $n$  de la muestra requerida para mantener la probabilidad o riesgo de tener un error de menos de 3 puntos es de 144.

La **Estimación por Intervalos** considera la estimación de un parámetro  $\mu$  dentro de un intervalo previamente definido. Supongamos que  $a$  y  $b$  son valores constantes que se obtienen de las observaciones de la muestra, así el valor del parámetro  $\mu$  puede ser cualquier valor entre  $a$  y  $b$ , i.e.  $a < \mu < b$ .

Este tipo de estimación de parámetros es de mucha utilidad en el aseguramiento de la calidad. Por ejemplo se puede decir que la media de los defectos de un artículo determinado se encuentran entre 20 y 30 artículos.

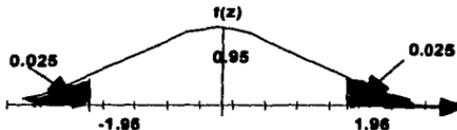
El cálculo de este parámetro está basada en que  $\bar{X}$  es asintóticamente normal con media  $\mu$  y desviación típica  $\sigma$  debido al teorema del límite central. De aquí que si deseamos estimar  $\mu$  empleando una muestra seleccionada,

entonces de acuerdo al teorema del límite central, tenemos que:  $Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$

y además por la tabla normal de áreas sabemos que al valor de  $Z = 1.96$  le corresponde una probabilidad de 0.95, por lo que podemos escribir la

probabilidad de que  $-1.96 < \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} < 1.96 = 0.95$ , de donde obtenemos  $P$  (

$\bar{X} - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} ) = 0.95$ . Este intervalo se muestra gráficamente en la siguiente figura



Región simétrica en la cual la variable normal estándar  $z$  cae con un 95% de confianza.

Ahora, cuando se selecciona una muestra los valores del intervalo quedan fijos, por lo que la probabilidad de que  $\mu$  esté dentro de este intervalo se convierte en 1 ó 0, por lo que no sería correcto decir que se tiene una probabilidad auténtica, entonces lo que se hará de acuerdo con las teorías de J. Neyman es denominar a este intervalo como *intervalo de confianza* y al valor 0.95 el *coeficiente de confianza* para distinguirlos de las verdaderas probabilidades.

Lo anterior se puede resumir de la siguiente manera: Si se seleccionan repetidamente 100 veces muestras de tamaño  $n$ , tendremos 100 intervalos semejantes a  $\bar{X} - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  y esperamos que 95 de estos intervalos incluyan el estimador  $\bar{X}$ .

Consideremos el siguiente ejemplo.

En una fábrica de cojinetes se tomó una muestra aleatoria de 200 cojinetes producidos por una determinada máquina durante una semana. Las medidas de los diámetros de dichos cojinetes fueron tomados y registrados siendo la media de 0.824 centímetros y una desviación típica de 0.042 centímetros. Se desea estimar la media del diámetro de todos los cojinetes que se producen en la fábrica.

Es muy común utilizar un coeficiente de confianza del 95% o del 99%; se efectúan los dos cálculos para mayor ejemplificación.

1) Si el coeficiente de confianza  $(1 - \alpha) = 95 \%$ , entonces  $\alpha = .05$  por lo que el valor de  $Z = 1.96$  de acuerdo con la tabla normal.

$$2) \bar{X} = 0.824$$

$$3) \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0.042 / 14.14 = 0.00297$$

4) De acuerdo con estos datos tenemos que el intervalo de confianza está dado por:

$$\bar{X} - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ sustituyendo tenemos}$$

$$0.824 - 1.96 (0.00297) < \mu < 0.824 + 1.96 (0.00297)$$

$$0.8181 < \mu < 0.8298$$

Lo que representa que de cada 100 muestras de tamaño  $n = 200$  que se seleccionen, tendremos 100 intervalos semejantes al obtenido y esperamos que en 95 de estos intervalos esté contenido el verdadero parámetro  $\mu$ .

Para el caso de  $(1 - \alpha) = 99 \%$ , tenemos que  $\alpha = .01$  por lo que el valor de  $Z = 2.58$  de acuerdo con la tabla normal y siguiendo los mismos pasos tenemos:

$$0.824 - 2.58 (0.00297) < \mu < 0.824 + 2.58 (0.00297)$$

$$0.8163 < \mu < 0.8316$$

Lo que representa que de cada 100 muestras de tamaño  $n = 200$  que se seleccionen, tendremos 100 intervalos semejantes al obtenido y esperamos

que en 99 de estos intervalos esté contenido el verdadero parámetro  $\mu$ . A los valores de 0.8163 y 0.8316 se les denomina *límites de confianza*.

### ***Intervalos de Confianza para Medias***

*Cuando la muestra  $n \geq 30$ .* Si la población es infinita o bien el muestreo es con reemplazo en una población finita, los límites de confianza para la media poblacional están dados por:

$$\bar{X} \pm Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \text{ en donde } Z \text{ es el coeficiente de confianza}$$

Si el muestreo es sin reemplazo en una población finita de tamaño  $N$  los límites de confianza para la media poblacional están dados por:

$$\bar{X} \pm Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}, \text{ en donde } Z \text{ es el coeficiente de confianza.}$$

*Cuando la muestra  $n \leq 30$ .* En el caso de que  $\sigma$  sea conocida podremos seguir usando la fórmula anterior, asumiendo que respecto a muestras pequeñas la población es normal o se aproxima a una normal. Sin embargo si no conocemos  $\sigma$ , entonces no podremos usar la misma fórmula, ya que el estimador  $s$  de  $\sigma$  está sujeto a una marcada variabilidad de una muestra a otra debido a que éstas son pequeñas. Sin embargo partiendo de una población normal es posible deducir los límites de confianza de la media poblacional que están dados por:

$$\bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}}, \text{ en donde } t \text{ es el coeficiente de confianza y representa a}$$

una función de distribución denominada  $t$  de Student con  $v$  grados de libertad ( $v < 30$ ). Los valores dados en percentiles  $t_p(v)$  de la distribución  $t$  están

tabulados para un rango de valores de  $v$  en el apéndice de la tabla de distribución  $t$  de Student. La forma del cálculo de los valores es similar a la de la tabla normal.

### ***Intervalos de Confianza para Proporciones***

Si el estadístico  $S$  es la proporción de éxitos en una muestra de tamaño  $n \geq 30$  extraída de una población Binomial en la que  $p$  es la proporción de éxito (es decir la probabilidad de éxito), y la población es infinita o finita pero con reemplazo los límites de confianza para  $p$  están dados por:

$$P \pm Z \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}, \text{ donde } P \text{ es la proporción de éxitos en la muestra de tamaño } n$$

Si la población en cuestión es finita de tamaño  $N$ , los límites de confianza está dados por:

$$P \pm Z \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}, \text{ donde } P \text{ es la proporción de éxitos en la muestra de tamaño } N.$$

### ***Intervalos de Confianza para Diferencias y Sumas***

Sabemos que la media y la desviación típica de la distribución muestral de la diferencia de estadísticos están dadas por:

$$\mu_{s_1-s_2} = \mu_{s_1} - \mu_{s_2} \quad \text{y} \quad \sigma_{s_1-s_2} = \sqrt{\sigma_{s_1}^2 + \sigma_{s_2}^2}, \text{ en donde las muestras}$$

son totalmente independientes entre sí, es decir las variables aleatorias  $S_1$  y  $S_2$  son independientes.

Ahora si  $S_1$  y  $S_2$  son las medias muestrales de dos poblaciones infinitas, denotadas por  $\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$ , respectivamente, entonces los límites de confianza para la distribución muestral de la **diferencia de dos medias poblacionales** para distribuciones muestrales aproximadamente normales, están dados por:

$$\bar{X}_1 - \bar{X}_2 \pm Z \sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \bar{X}_1 - \bar{X}_2 \pm Z \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}, \text{ este}$$

resultado también es válido para poblaciones finitas si el muestreo es con remplazo.

Análogamente, los límites de confianza para la **diferencia de dos proporciones poblacionales**, siendo las poblaciones infinitas, están dados por:

$$P_1 - P_2 \pm Z \sigma_{P_1 - P_2} = P_1 - P_2 \pm Z \sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}, \text{ en}$$

donde  $P_1$  y  $P_2$  son las dos proporciones muestrales,  $n_1$  y  $n_2$  son los tamaños de las dos muestras tomadas de las poblaciones, y  $p_1$  y  $p_2$  son las proporciones en las dos poblaciones estimadas por  $P_1$  y  $P_2$ .

### 4.3 Prueba de hipótesis

Muy a menudo, en la práctica se tienen que tomar decisiones sobre poblaciones, partiendo de la información muestral de las mismas. Tales decisiones se llaman *decisiones estadísticas*. Por ejemplo en un experimento farmacéutico se quiere decidir, a partir de los datos del muestreo, si una nueva medicina es efectiva en el alivio de cierta alergia, o en la industria manufacturera si un artículo eléctrico es más efectivo que otro.

Consideremos ahora otro punto fundamental de la técnica estadística, que es vital para el aseguramiento de la calidad, la prueba de hipótesis.

Para llegar a tomar decisiones respecto de las población que se estudian conviene hacer suposiciones acerca de las mismas. A estos supuestos que podrían resultar ser, o no, ciertos se les denomina *hipótesis estadísticas*, que generalmente se hacen respecto de las distribuciones de probabilidad de las poblaciones.

En la vida real cuando se llevan a cabo estudios, por ejemplo de aseguramiento de la calidad, el interesado se enfrenta con problemas como: a) decidir si los artículos defectuosos provienen de la máquina "A", por lo que se formula la hipótesis de que los artículos defectuosos no provienen de la máquina "A"; b) decidir si la máquina "A" es mejor que otras máquinas, entonces se formula la hipótesis de que no hay diferencia entre las máquinas, es decir, cualquier diferencia observada se debe a fluctuaciones en el muestreo de la misma población. En muchos casos como éstos se formulan las hipótesis estadísticas con el solo propósito de rechazarlas o invalidarlas. A estas hipótesis se les llama también *hipótesis nulas* y se denotan por  $H_0$ .

Cualquier hipótesis que difiera de una hipótesis dada se llama *hipótesis alternativa* y se denota  $H_1$ . Por ejemplo si una hipótesis es que los artículos

no defectuosos provienen de la máquina "A", la hipótesis alternativa puede ser que los artículos defectuosos provienen de la máquina "A".

Si suponemos que una hipótesis específica es verdadera y los resultados obtenidos de una muestra aleatoria difieren notablemente de los que se esperaban con dicha hipótesis y con la variación propia del muestreo, entonces concluiremos que las diferencias obtenidas son *significativas* y estaremos en condiciones de rechazar la hipótesis o al menos de no aceptarla de acuerdo con las evidencias obtenidas. Tomando el ejemplo anterior, si de 100 artículos tomados de la máquina "A" observamos que 80 son defectuosos entonces, estaríamos inclinados a rechazar la hipótesis de que los artículos no defectuosos provienen de la máquina "A", aunque sería posible que fuese un rechazo equivocado.

Los procedimientos para decidir si una hipótesis es aceptada o rechazada o el determinar si las muestras tomadas difieren significativamente de los resultados esperados se llaman *ensayos de hipótesis, ensayos de significación o reglas de decisión*.

Si se toma la decisión de rechazar una hipótesis cuando debería ser aceptada, se dice que se comete el *error de tipo I*. Si por el contrario, se acepta una hipótesis que debería ser rechazada, se dice que se comete el *error de tipo II*. En cualquiera de los dos casos se comete un error al tomar una decisión equivocada.

Para que cualquier regla de decisión sea buena, debe diseñarse de forma tal que minimice los errores de decisión. Esto es un poco complicado ya que para un tamaño de muestra dado, un intento de disminuir un tipo de error, va generalmente acompañado por un incremento en el otro tipo de error. En la práctica un tipo de error puede tener más importancia que el otro, y así se tiende a conseguir poner una limitación al error de mayor importancia. La

única forma de reducir al mismo tiempo ambos tipos de error es incrementar el tamaño de la muestra, lo cual puede o no ser posible.

La probabilidad máxima con la que en el ensayo de una hipótesis se puede cometer un error del tipo I se denomina *nivel de significación* del ensayo. Esta probabilidad se denota por  $\alpha$ ; ésta generalmente se fija antes de la extracción de las muestras, de tal forma que los resultados obtenidos de las observaciones no influyan en la toma de decisión.

En la práctica se suelen utilizar niveles de significación del 0.05 ó 0.01, aunque esto depende mucho del experimento que se esté llevando a cabo. Por ejemplo si se selecciona un nivel de significación del 0.05 ó 5 % al diseñar un ensayo de hipótesis, esto quiere decir que existen cinco posibilidades de cien en que se rechazaría la hipótesis cuando debería ser aceptada, es decir, se tiene un 95 % de confianza de que se tome la decisión adecuada. En tal caso se dice que la hipótesis ha sido rechazada al nivel de significación del 0.05, lo que significa que se puede cometer error con una probabilidad de 0.05.

#### *Ensayos para la Distribución Normal*

Suponga que con una hipótesis dada, la distribución muestral de un estadístico  $S$  es una distribución normal con media  $\mu_s$  y desviación típica  $\sigma_s$ , entonces la distribución de la variable tipificada dada por  $Z = (S - \mu_s) / \sigma_s$  es una normal tipificada, con media 0 y varianza 1, su forma gráfica se presenta a continuación;



Como se muestra en la gráfica se tiene un 95 % de confianza de que, si la hipótesis es cierta, el valor de  $z$  obtenido de una muestra real para el estadístico  $S$  se encontrará entre  $-1.96$  y  $1.96$ , ya que el área bajo la curva normal entre estos valores es  $0.95$ . Sin embargo en caso de que al elegir una muestra aleatoria se encuentra que  $z$  para ese estadístico se halla fuera del recorrido  $-1.96$  a  $1.96$ , quiere decir que es un suceso con probabilidad de  $0.05$  (área sombreada en la gráfica) de que la hipótesis fuese verdadera. Por lo que se puede decir que esta  $z$  difiere significativamente de la que se esperaría bajo esta hipótesis y estaríamos inclinándonos a rechazar dicha hipótesis.

El área sombreada de la gráfica,  $0.05$  es el nivel de significación del ensayo. Representa la probabilidad de cometer error al rechazar la hipótesis, es decir, la probabilidad de cometer error del tipo I. Por lo que se dice que la hipótesis se rechaza al nivel de significación del  $0.05$  o que la  $z$  obtenida del estadístico muestral dado es significativa al nivel de significación del  $0.05$ .

EL conjunto de las  $z$  que se encuentran fuera del rango  $-1.96$  a  $1.96$  constituyen lo que se denomina *región crítica* o *región de rechazo de la hipótesis* o simplemente región de significación, mientras que las que se encuentran dentro de ese recorrido constituyen la *región de aceptación de la hipótesis* o región de no significación.

Hasta aquí con la información proporcionada se puede formular la siguiente regla de decisión:

a) Se rechaza la hipótesis al nivel de significación del 0.05 si la  $z$  obtenida para el estadístico  $S$  se encuentra fuera del recorrido  $-1.96$  a  $1.96$  (es decir  $z > 1.96$  ó  $z < -1.96$ ). Esto equivale a decir que el estadístico muestral observado es significativo al nivel del 0.05.

b) No se rechaza la hipótesis (o puede no tomarse decisión alguna) en caso contrario.

Generalmente se considera por conveniencia que se deben tomar los niveles de significación de forma tal que el error  $\alpha$  sea aquél que primordialmente nos interesa evitar. Aunque se pueden utilizar otros niveles de significación como 0.01, por lo que se sustituiría 1.96 en todo lo visto anteriormente por 2.58.

#### *Pruebas unilaterales y bilaterales*

Existen diferentes formas de plantear la hipótesis, dependiendo de los intereses del experimento. En el ensayo anterior se atendía a los valores extremos del estadístico  $S$  o su correspondiente  $z$  a ambos lados de la media, es decir en las dos "colas" de la distribución. Debido a esto tales ensayos se denominan *hipótesis bilaterales o de dos colas*.

También, con frecuencia se puede estar solamente interesado en los valores extremos a un solo lado de la media, es decir, en una "cola" de la distribución, como por ejemplo cuando se está ensayando la hipótesis de que un proceso es mejor que otro, que es diferente a ensayar si un proceso es mejor o peor que otro. A estos ensayos se les denomina *ensayos unilaterales o de una sola cola*, para estos casos la región crítica es una región a un lado de la distribución, con área igual al nivel de significación. A continuación se presenta un cuadro con información referente a los valores críticos de  $z$  para

ensayos de una y dos colas a niveles de significación, para otros valores de  $z$  se puede utilizar la tabla normal de áreas bajo la curva.

Nivel de significación $\alpha$	0.10	0.05	0.01	0.005	0.002
Valores críticos de $z$ para ensayos unilaterales	-1.28 ó 1.28	-1.645 ó 1.645	-2.33 ó 2.33	-2.58 ó 2.58	-2.88 ó 2.88
Valores críticos de $z$ para ensayos bilaterales	-1.645 y 1.645	-1.96 y 1.96	-2.58 y 2.58	-2.81 y 2.81	-3.08 y 3.08

### *Pruebas para muestras grandes*

Las distribuciones muestrales de muchos estadísticos son distribuciones normales, o aproximadamente normales, con media  $\mu$ , y desviación típica  $\sigma$ . Para tales casos se pueden utilizar los resultados anteriores para formular reglas de decisión. Se presentan algunos casos de interés práctico. Cada uno de los casos considera que la población es infinita o el muestreo es con reemplazo.

### *Regla de decisión para Medias*

*Prueba para  $\mu = a$* , tenemos que:

- i) La media muestral está dada por  $S = \bar{X}$
- ii) La media poblacional es  $\mu_s = \mu_{\bar{X}} = \mu$
- iii) La desviación típica poblacional  $\sigma$  es  $\sigma_s = \sigma_{\bar{X}} = \sigma/\sqrt{n}$ , donde  $n$  es el tamaño de la muestra
- iv) La variable tipificada está dada por  $Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ , en caso de ser necesario se utiliza la desviación muestral observada  $s$  ó  $\bar{s}$ , para estimar  $\sigma$ .

Para probar la hipótesis nula  $H_0$  de que la media poblacional es  $\mu = a$  utilizaremos el estadístico  $t_v$ , entonces utilizando una prueba de dos colas aceptamos  $H_0$ , o al menos no la rechazamos, con un nivel de significación de 0.05 si para una muestra específica de tamaño  $n$  con media  $\bar{x}$  se cumple la siguiente desigualdad  $-1.96 \leq \frac{\bar{x} - a}{\sigma/\sqrt{n}} \leq 1.96$  y la rechazamos si ésta no se cumple.

**Prueba para  $\mu > a$**

Para probar esta hipótesis, media poblacional mayor que  $a$  utilizamos la hipótesis nula  $H_0$  de que  $\mu$  es igual a  $a$ , entonces utilizando un ensayo de una cola, aceptamos  $H_0$ , o al menos no la rechazamos, a un nivel de 0.05 si

$$\frac{\bar{x} - a}{\sigma/\sqrt{n}} < 1.645$$

**Prueba para  $\mu < a$**

Para probar esta hipótesis, media poblacional menor que  $a$  utilizamos la hipótesis nula  $H_0$  de que  $\mu$  es igual a  $a$ , entonces utilizando un ensayo de una cola, aceptamos  $H_0$ , o al menos no la rechazamos, a un nivel de 0.05 si

$$\frac{\bar{x} - a}{\sigma/\sqrt{n}} > -1.645$$

**Regla de decisión para Proporciones**

Tenemos que:

- i) La proporción de "éxitos" en una muestra dada por  $S = P$

ii) La media poblacional es  $\mu_x = \mu_p = p$ , donde  $p$  es la proporción de éxitos en la población

iii) La desviación típica poblacional es  $\sigma_x = \sigma_p = \sqrt{pq/n}$ , donde  $q = 1-p$  y  $n$  es el tamaño de la muestra

iv) La variable tipificada está dada por  $Z = \frac{P-p}{\sqrt{pq/n}}$ , en caso de que  $P = X/n$ , donde  $X$  es el número real de éxitos en una muestra iv) se convierte en

$$Z = \frac{X - np}{\sqrt{npq}}$$

Las pruebas de hipótesis realizadas para las medias aplican de igual manera para las proporciones.

### *Reglas de decisión para Diferencias de Medias*

Sean  $\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$  las medias muestrales obtenidas en dos muestras grandes de tamaño  $n_1$  y  $n_2$  extraídas de poblaciones respectivas cuyas medias son  $\mu_1$  y  $\mu_2$  y desviaciones típicas  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ . La hipótesis nula  $H_0$ , considerada es que no hay diferencia entre las medias poblacionales, es decir,  $\mu_1 = \mu_2$ .

Si  $\mu_1 = \mu_2$  entonces

$$\mu_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = 0 \quad \text{y} \quad \sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}, \text{ en caso de ser necesario se utilizan}$$

las desviaciones típicas muestrales  $s_1$  y  $s_2$ , ó  $\bar{s}_1$  y  $\bar{s}_2$ , para estimar  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ .

Y utilizando la variable tipificada

$$z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - 0}{\sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}}$$

al igual que en las hipótesis realizadas para las medias se pueden ensayar la hipótesis nula contra la hipótesis alternativa.

### **Reglas de decisión para Diferencias de Proporciones**

Sean  $P_1$  y  $P_2$  las proporciones muestrales de dos grandes muestras de tamaño  $n_1$  y  $n_2$  extraídas de poblaciones respectivas cuyas proporciones son  $p_1$  y  $p_2$ . La hipótesis nula  $H_0$ , considerada es que no hay diferencia entre los parámetros poblacionales, es decir,  $p_1 = p_2$ , con lo que las muestras son realmente extraídas de la misma población.

Haciendo  $p_1 = p_2 = p$ , se ve que la distribución muestral de la diferencia de proporciones se distribuye aproximadamente como una normal con media y desviación típica dadas por:

$$\mu_{\bar{p}_1 - \bar{p}_2} = 0 \text{ y } \sigma_{\bar{p}_1 - \bar{p}_2} = \sqrt{p(1-p) \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}, \text{ en caso de ser necesario}$$

se utiliza a  $\bar{P} = \frac{n_1 P_1 + n_2 P_2}{n_1 + n_2}$  como una estima de la proporción poblacional

$p$ .

Y utilizando la variable tipificada

$$Z = \frac{P_1 - P_2 - 0}{\sigma_{P_1 - P_2}} = \frac{P_1 - P_2}{\sigma_{P_1 - P_2}}$$

al igual que en las hipótesis realizadas para las medias se pueden ensayar la diferencias observadas a un nivel de significación apropiado para la hipótesis nula contra la hipótesis alternativa.

#### *Pruebas para muestras pequeñas*

En el caso de muestras con  $n < 30$  podemos formular pruebas de hipótesis y significación utilizando otras distribuciones además de la normal, como la *t* de Student, chi-cuadrado o *F*. Estas distribuciones incluyen la teoría de muestreo exacto y son válidas aún cuando las muestras son grandes, en cuyo caso se reducen a las dadas anteriormente.

#### *Regla de decisión para Medias*

Para probar la hipótesis  $H_0$  de que una población normal tiene como media a  $\mu$  utilizamos

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{n-1} = \frac{\bar{X} - \mu}{\hat{\sigma}} \sqrt{n}, \text{ donde } \bar{X} \text{ es la media de una}$$

muestra de tamaño  $n$

Esta fórmula es análoga al utilizar la variable tipificada para  $Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$  para grandes  $n$ , excepto que en lugar de  $\sigma$  se utiliza  $\hat{\sigma} = \sqrt{n/(n-1)}S$ . La

diferencia estriba en que mientras  $Z$  se distribuye normalmente,  $T$  se distribuye como una  $t$  de Student.

Pruebas de hipótesis similares a las que se definieron para las reglas de decisión para medias de muestras grandes, pueden hacerse también aquí empleando valores críticos de  $t$  en lugar de valores críticos de  $z$ .

#### *Reglas de decisión para Diferencia de medias*

Supongamos que se extraen en forma aleatoria dos muestras de tamaño  $n_1$  y  $n_2$  de poblaciones normales cuyas desviaciones típicas son iguales  $\sigma_1 = \sigma_2$ . Supóngase también que estas dos muestras tienen medias y desviaciones típicas dadas por  $\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$  y  $S_1$  y  $S_2$  respectivamente. Para probar la hipótesis  $H_0$  de que las muestras provienen de la misma población, es decir,  $\mu_1 = \mu_2$ , lo mismo que  $\sigma_1 = \sigma_2$ , se utiliza el valor de  $t$  dado por:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad \text{donde} \quad \sigma = \sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

La distribución  $T$  es una distribución de Student con  $v = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad.

## 5. Control Estadístico de Procesos

En la mayoría de los casos la producción y administración de sistemas involucran una combinación de materiales, máquinas y gente. Las funciones de cada uno y a la vez de todos estos componentes pueden llegar a ser sencillas o muy complejas.

Cada uno de estos componentes tienen una variabilidad inherente o natural, las causas de ésta, generalmente *no pueden* ser aisladas. Además de esta variabilidad existe otra que resulta ser no natural, misma que *si puede* ser aislada y por lo tanto controlada y reducida al mínimo posible.

Suponga que la preparación de un larguero para ensamblar un camión de carga pesada involucra la perforación de 6 hoyos. El operador toma el larguero lo fija con la prensa y con el taladro eléctrico efectúa las perforaciones, al finalizar coloca el larguero en el siguiente punto de la línea de ensamble. Ahora la pregunta es ¿cuáles pueden ser las causas o fuentes de variación?

Primera, el material con el que está hecho el larguero podría tener alguna variabilidad de unidad a unidad. Algunas unidades podrían ser más duras que otras, unas podrían ser más porosas que otras o la longitud de la unidad puede ser diferente de unidad a unidad. Las causas de la variación en el material podrían ser muchas, desde mala compra del material hasta una pobre especificación del material requerido. Una de las causas más comunes se debe a que el proveedor carece del conocimiento de qué es lo que el comprador realmente desea.

La segunda fuente de la variación es la máquina. Cada proceso tiene un cierto rango de capacidad dentro del cual opera. Los límites de este rango son conocidos como los límites naturales del proceso. Este rango natural de

variabilidad a menudo es conocido como *proceso* o como *capacidad de la máquina*. Un proceso utiliza cualquier tipo de recursos con el propósito de producir un bien tangible o intangible. En contraste con los límites naturales las especificaciones generalmente son arbitrarias puesto que los objetivos del diseño las determinan. Sin embargo muy a menudo los límites arbitrarios son diseñados sin las consideraciones propias del diseño o las necesidades de un procedimiento de producción económico; esto típicamente lleva a la definición de un doble estándar, debido a que se define qué se desea y en realidad qué será aceptado.

La tercera causa de variación, el hombre, es la más variable de todas ellas. Las decisiones y las acciones de la gente afectan directamente la variabilidad en toda su extensión, afectando también a las otras fuentes de variaciones, los materiales y las máquinas.

El control de procesos inicia con el entendimiento de la variabilidad del proceso en sí. Las características del proceso reflejan todas las variabilidades del proceso. Por ejemplo, la perforación de los hoyos en el larguero arrojan cierta variabilidad, la cual resulta de la combinación de todas las variaciones debidas al material, las máquinas y el hombre que participaron en la perforación de los hoyos en el larguero. De aquí que, para entender apropiadamente la variabilidad de todo el proceso, es esencial monitorear algunas características importantes del producto.

Sea  $x$  la medida de la característica del producto;  $x$  es una variable aleatoria cuya función de densidad  $f(x)$  es una función de todas las variabilidades que entran en el proceso de producción. Una estimación de  $f(x)$  entonces llega a ser la base del entendimiento del comportamiento del proceso de producción.

El procedimiento para controlar el proceso involucraría los siguientes pasos:

1. Estimar la función de densidad  $f(x)$  de una característica de calidad importante del resultado (o salida). Preferentemente, ésta debería ser la misma característica que está sujeta a las "especificaciones" establecidas.
2. Basado en esta estimación, tratar de contestar la siguiente pregunta: ¿Es el producto (o una proporción aceptable de este producto) satisfactorio y conforme a las especificaciones? si la respuesta es "sí", se dice que el proceso está "bajo control" y no es necesaria ninguna acción.
3. Si la respuesta es "no" entonces la siguiente pregunta a contestar es: ¿Puede ser cambiada esta respuesta a "sí" mediante ajustes que beneficien el proceso?, si la respuesta a esta pregunta es "no" la capacidad del proceso es inadecuada para producir satisfactoriamente los artículos, conforme a las especificaciones. En este caso se tendrían que adoptar alguna de las siguientes alternativas: (1) separación de los productos que cumplen con la especificación de los que no la cumplen, (2) cambiar el proceso utilizando uno de mayor precisión o (3) cambiar el diseño del producto.
4. Si la respuesta en el punto anterior es "sí" el paso final es determinar los ajustes apropiados al proceso.

Para ilustrar este procedimiento consideremos el siguiente ejemplo:

Se construye una máquina de producirá cojinetes de bolas teniendo un diámetro medio de 0.574 centímetros y una desviación típica de 0.008 centímetros. Para determinar si la máquina está adecuadamente construida para dicho fin, se toma una muestra de 6 cojinetes cada 2 horas y se observa el diámetro medio de la muestra. Para este fin diseñaremos una regla de decisión mediante la cual se pueda estar razonablemente cierto de que la calidad del producto está de acuerdo con las normas requeridas y mostraremos gráficamente cómo se representaría esta regla de decisión

- La características de calidad es: el diámetro de los cojinetes de bolas
- La especificación es:  $0.570 \pm 0.005$  centímetros
- Se seleccionan una muestra de 6 cojines

- La media de la muestra seleccionada es igual a 0.574
- La desviación típica de la muestra seleccionada es igual a 0.008
- Fecha de producción: 17 de enero de 1996
- Turno de producción: 1er turno entre las 9:30 hrs. y las 10:00 hrs.

El primer paso es estimar la función de densidad. Asumimos que la forma de la distribución de probabilidad es una "distribución normal". También suponemos que no hay cambio en la distribución durante el periodo de tiempo en que se produjeron los cojines seleccionados.

La estimación de los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$  de la distribución normal están dados por

El estadístico  $\mu = 0,574$

El estadístico  $\sigma = 0.008$

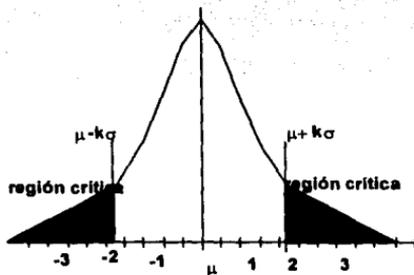
Para el segundo paso crearemos una gráfica de control. Hay muchas gráficas de control, para situaciones diferentes de control que involucran diferentes patrones de variabilidad. Sin embargo todas tienen una característica en común y son interpretadas en la misma manera. En cada caso la gráfica de control es una prueba de hipótesis. Consideraremos la prueba de hipótesis de que la media de la distribución es estable, por lo que crearemos una gráfica de control de la siguiente manera:

Hipótesis nula:  $H_0: \mu = 0.574$

Hipótesis alternativa  $H_1: \mu \neq 0.574$

Si  $H_0$  es verdadera entonces los cojines observados estarán distribuidos con la media y desviación mencionadas. Consecuentemente la probabilidad de que alguna observación pudiera ser mayor a  $\mu_{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}}$  o menor a  $\mu_{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}}$ , pudiera ser el área sombreada ilustrada en la siguiente figura

### Región crítica. Probabilidad de cometer el error tipo I



La región fuera de los límites  $\mu_{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{X}}$  y  $\mu_{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{X}}$  es considerada como la región crítica, esto es la probabilidad de cometer el error tipo I es igual a  $\alpha$  (es decir el error de rechazar  $H_0$  cuando  $H_0$  es verdadera). Si los patrones de variabilidad son estables estos límites serán idénticos para todas las observaciones.

Con una confianza del 99.73% se puede decir que los límites superior e inferior están dados por:

$$\text{Límite de control superior} = \mu_{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{X}} = 0.564$$

$$\text{Límite de control inferior} = \mu_{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{X}} = 0.584$$

De acuerdo con estos resultados formulemos la regla de decisión como sigue:

- (1) Si la media muestral cae dentro del intervalo 0.564 a 0.584 centímetros, se supone que la máquina es adecuada para el trabajo pedido.
- (2) De otro modo, la máquina no será adecuada y habrá que buscar la razón de su ineptitud.

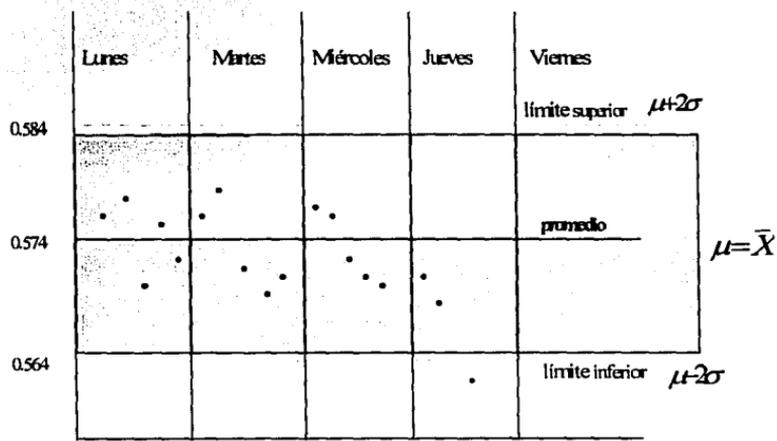
Ahora para tener un registro de las medias muestrales se elabora un gráfico de control tal como se muestra a continuación, llamado gráfico de control de calidad. Cada vez que se observe una media muestral se representa por un

punto en el gráfico. Mientras los puntos muestrales se encuentren entre los límites 0.564 y 0.584 centímetros, el proceso estará bajo control.

Cuando un punto se salga de estos límites tal como sucedió con la muestra tomada el jueves, existe la posibilidad de que algo falló y es necesaria una investigación de la falla, en este caso se debe tomar una de las alternativas, ya mencionadas:

1. Separar los productos satisfactorios de los no satisfactorios a través de la inspección
2. Cambiar el proceso
3. Cambiar el diseño del producto.

Gráfica de control de las muestras observadas de la producción de los ejinetes



Los siguientes pasos son una recomendación a seguir para establecer una gráfica de control estadístico:

- Elegir la característica que debe graficarse, dando una prioridad alta a aquella que presenta una tasa alta de defectos. Un análisis de Pareto puede establecer las prioridades. Elegir el método de medición que proporcionará el tipo de datos necesarios para el diagnóstico del problema
- Elegir el tipo de gráfica de Control, existen gráficas para: Promedios de  $\bar{X}$ ; Rangos  $R$ ; Porcentaje de no conformidad  $p$ ; Número de no conformidad  $c$ . (Dado que el objetivo de este trabajo no es las gráficas de control no se explican aquí con detalle, sin embargo se ofrece una vasta bibliografía para los lectores interesados)
- Decidir la línea central que debe usarse y la base para calcular los límites. La línea central puede ser el promedio de los datos históricos, o el promedio deseado. Estos límites generalmente se establecen a  $\pm 3\sigma$  (más menos 3 desviaciones estándar), aunque se pueden elegir otros dependiendo de la aplicación
- Seleccionar el "subgrupo racional". Cada punto en una gráfica de control representa una muestra que consiste de varias unidades de grupo
- Proveer un sistema de recolección de datos (cuadros estadísticos). Ya que la gráfica servirá como herramienta cotidiana y la medición deberá ser simple y sin errores
- Calcular los límites de control y proporcionar instrucciones específicas sobre la interpretación de los resultados y las acciones que debe tomar cada persona en producción. Las fórmulas de los límites de control para los tres tipos básicos de gráficas se muestran en la siguiente tabla

Los siguiente son los Gráficos de Control más comunes

Gráfica para	Línea central	Límite inferior	Límite superior
Promedios de $\bar{X}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$	$\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$
Rangos $R$	$\bar{R}$	$D_3 \bar{R}$	$D_4 \bar{R}$
Porcentaje de no conformidad $p$	$\bar{p}$	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
Número de no conformidad $c$	$\bar{c}$	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$

Estas fórmulas se basan en  $\pm 3$  desviaciones estándar y usan una línea central igual al promedio de los datos utilizados al calcular estos límites. En la tabla B del apéndice se dan los valores de los factores  $A_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$  que se usaron en las fórmulas. Anualmente una revista llamada "Quality Progress" publica un directorio que incluye software para calcular parámetros muestrales y límites de control.

- Y finalmente graficar los datos e interpretar los resultados obtenidos a través de las diferentes herramientas

## **V Metodología para implantar el aseguramiento de la calidad**

---

### **1. Introducción y bases de la metodología**

Metodología para la implantación del aseguramiento de la calidad.

La mayoría de los métodos o procedimientos que se utilizan en las empresas mexicanas para el aseguramiento de la calidad utilizan métodos administrativos apoyados en algunas herramientas estadísticas. Desde hace unas cuatro décadas más o menos, estudiosos de la Calidad han desarrollado y creado procedimientos, reglas, diagramas, unos muy apegados a la administración y otros muy apegados a las herramientas estadísticas y en algunos casos una combinación de ambas. Sin embargo en forma general éstas no consideran sus procedimientos desde un punto de vista metodológico. Es decir algunas sugieren la aplicación de un método estadístico o la aplicación de ciertos pasos o la elaboración de diagramas y con esto desarrollan las medidas pertinentes para la solución de los problemas detectados.

La mayoría de los autores de métodos de control de calidad hablan de muchas y muy variadas áreas dentro de las empresas y consecuentemente sugieren procedimientos para el control de calidad en cada uno de estos departamentos o áreas, por ejemplo: control de calidad para subcontratos y compras, control de calidad en el mercadeo, control de calidad en las áreas administrativas y la alta gerencia, control de calidad en el área de ingeniería, control de calidad de los proveedores. Igualmente hablan de las diferentes técnicas y acciones a tomar para lograr la calidad por ejemplo: Planeación de la calidad e ingresos por las ventas, costos de la calidad, organización para la calidad, desarrollo de una cultura de calidad, control de calidad en toda la empresa, diseño para la calidad, auditorías para el control de calidad, etcétera.

Como podemos darnos cuenta, con tan solo echar un vistazo a la literatura existente alrededor del control de calidad, la información actual acerca de la calidad puede llegar a ser dañina si no se cuenta con una visión adecuada para la utilización de cualquiera de los métodos o técnicas propuestas por los autores o "gurús" de la calidad.

A pesar de esto, si se cuenta con un objetivo específico y medible, apoyándose adecuadamente en el material correcto y basándose en una metodología probada que permita incluir cualquier herramienta, procedimiento o técnica, de cualquiera de las propuestas hechas por los reconocidos estadísticos a nivel mundial; además de apoyarnos en las normas mundiales del aseguramiento de la calidad, es muy factible establecer el aseguramiento de la calidad en las empresas que lo requieran, aun sin contar con grandes recursos económicos.

En México algunas empresas han tomado dichos elementos y han elaborado sus propios procedimientos o "métodos" para tratar de tener bajo control la calidad de sus productos y/o servicios, sin embargo debido al desconocimiento de algunas de las herramientas, como la estadística por ejemplo, caen en errores o inexactitudes que no les permiten establecer adecuadamente el aseguramiento de la calidad.

El objetivo principal de este trabajo es generar una metodología que provea a las empresas una herramienta que les permita seguir, paso a paso, verificando cada uno de éstos, desde la detección de un problema o de una oportunidad de mejora hasta la implantación exitosa de cada una de las actividades requeridas para el aseguramiento de la calidad.

Para el logro de este objetivo se creará una metodología basada en el enfoque de sistemas, que se apoye en cualquier tipo de ayuda existente enfocada a la calidad, sea ésta administrativa, tecnológica o estadística y principalmente de las herramientas, ya probadas en innumerables empresas del mundo, que se han mostrado a lo largo de este trabajo.

El desarrollo de la metodología está basado en el ciclo de vida de sistemas (metodología totalmente probada debido a su extensivo uso en múltiples y variados sectores industriales, financieros y de servicio), que consta principalmente de las siguientes etapas: definición, análisis, diseño, desarrollo y pruebas, implantación y seguimiento.

Esta metodología provee un enfoque efectivo para el manejo de los sistemas, mismo que facilita la vida de los proyectos desde su principio hasta su fin, ya que es repetible y perfectamente medible.

Al aplicar una metodología en una empresa se mejora la eficiencia, debido a que se sigue el mismo enfoque a través de todas las áreas de la empresa en donde sea necesario, establecer o mejorar la calidad de los productos o servicios.

Los principales beneficios que pueden esperarse del uso de esta metodología son:

- Reducir riesgos debido al uso de una metodología totalmente probada, pudiéndose ésta adecuar fácilmente a la filosofía de las empresas
- Consistencia debido a la aplicación en las diferentes áreas de la empresa
- Participación en todo el proceso, si así se requiere del usuario final, quien disfrutará el beneficio de los productos o servicios
- Alta productividad debido al uso de herramientas compatibles y consistentes a lo largo de la empresa, así como de las habilidades adquiridas por el uso de los mismos procedimientos

La metodología combina todas las actividades necesarias para la selección, diseño, desarrollo, implantación y mantenimiento. A continuación se describen brevemente las siete etapas de la metodología propuesta:

- Etapa de Definición: En esta etapa la empresa deberá delinear las oportunidades de mejora, así como los problemas, de tal forma que con

base en esto se desarrolle una planificación de proyectos para establecer los retos a cumplir:

- **Etapa de Análisis:** En esta etapa la empresa deberá definir los requerimientos del proyecto para resolver los problemas identificados o para mejorar las áreas de oportunidad identificadas y así optimizar sus productos y servicios para satisfacción del cliente
- **La etapa de Diseño:** En esta etapa la empresa deberá: (a) si el proyecto está enfocado en los procedimientos o funcionalidad de cierta área específica, entonces conjuntamente con todas y cada una de las áreas internas que están involucradas (también con áreas externas si aplica), determinar el enfoque más apropiado para la creación, corrección o mejora de los procedimientos; (b) si el proyecto está enfocado en los productos o servicios, entonces conjuntamente con los usuarios finales, determinar el diseño requerido para crear, mejorar o corregir los diseños
- **La etapa de Desarrollo:** En esta etapa la empresa deberá: (a) convertir los diseños en procedimientos, programas y documentación; (b) conjuntamente con el usuario final o las áreas involucradas verificar que los requerimientos definidos en la etapa de análisis hayan sido plasmados en procesos y productos que habrán de ser utilizados para la producción de artículos y/o servicios
- **La etapa de Pruebas:** En esta etapa la empresa deberá: (a) hacer las pruebas unitarias a los procesos y programas desarrollados; (b) conjuntamente con el usuario final o las áreas involucradas verificar que los resultados de las pruebas hayan sido satisfactorios y en caso de no serlos, corregir y probar nuevamente; (c) probar todo el proceso desde su inicio hasta su terminación
- **La etapa de Implantación:** En esta etapa la empresa deberá instalar los nuevos procedimientos y programas, así como verificar la efectividad de los mismos y el entendimiento de las áreas involucradas y/o la satisfacción del usuario final

- La etapa de Seguimiento: En esta etapa la empresa deberá utilizar y controlar los procedimientos y programas implantados, y una vez puestos en marcha se iniciará nuevamente el ciclo de vida de éstos, volviendo a la identificación de áreas de oportunidad y de problemas

Para cada una de las etapas se describen los pasos que deben realizarse para lograr la culminación exitosa de las mismas. También se hace mención de las posibles herramientas estadísticas a utilizar en cada etapa. Por último se hace un lista de verificación para cada etapa de tal forma que se garantice que ésta se cumplió al cien por ciento.

Esta metodología nos permite, en cada etapa, hacer uso de las herramientas que mejor apliquen al área en donde se esté trabajando, es decir no se rige por ninguna herramienta en particular, las ayudas que aquí se sugieren no son limitativas, así que para aquellos lectores que conozcan herramientas estadísticas mucho más avanzadas podrán aplicarlas sin ningún problema.

### **Estructura de la metodología**

La metodología está estructurada en siete etapas:

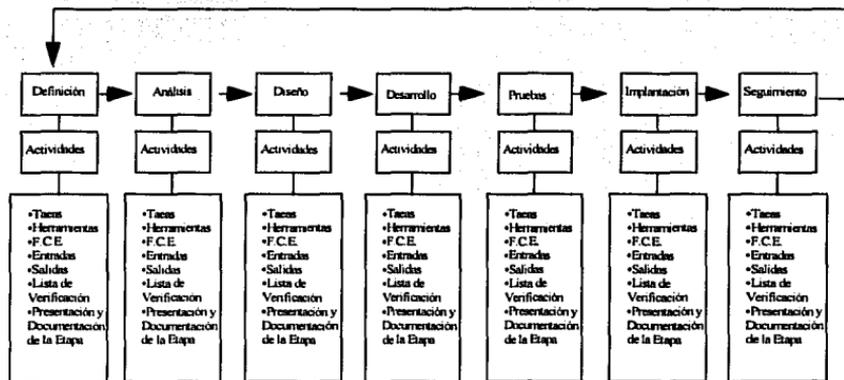
1. Definición
2. Análisis
3. Diseño
4. Desarrollo
5. Pruebas
6. Implantación
7. Seguimiento

Cada una de éstas está compuesta de actividades y las actividades están divididas a su vez en:

1. Tareas
2. Herramientas
3. Factores críticos de éxito
4. Entradas
5. Salidas
6. Lista de verificación
7. Presentación y documentación de la etapa

A continuación se presenta el esquema de la metodología

### *Metodología para la implantación del Aseguramiento de la Calidad*



## **2. Etapas de la metodología**

A continuación se describen las actividades y los siete puntos de cada etapa de la metodología. Es importante recordar que se debe involucrar, tanto como sea necesario, al usuario final de los productos y/o servicios, a todas las áreas de la empresa involucradas en las actividades y, en su caso, a los proveedores de la empresa.

### **2.1. Definición. Identificación del problema u oportunidad**

**Etapa de Definición:** En esta etapa la empresa deberá delinear las oportunidades de mejora, así como los problemas, de tal forma que con base en esto se desarrolle una planificación de proyectos para establecer los retos a cumplir. Esta etapa se compone de dos actividades: Definición del problema u oportunidad de mejora y Definición del proyecto.

#### *1) Definición del problema u oportunidad de mejora*

##### **Tareas:**

- Definir el impacto y alcance del problema u oportunidad
- Identificar las causas del problema u oportunidad
- Definir los criterios de solución
- Definir los requerimientos de alto nivel

##### **Herramientas**

- Modelo de aplicaciones
- Diagramas de flujo
- Modelo de funciones
- Lluvia de ideas
- Análisis de Pareto
- Análisis de encuestas de satisfacción del cliente
- Cuadros para recolección de datos

- Cuadros estadísticos
- Programas estadísticos ("software") para computadoras personales
- Programas de cómputo para la elaboración de diagramas de flujo, modelos organizacionales y funcionales

#### Factores Críticos de Éxito

- Entendimiento consistente de los procesos y servicios entre todos los involucrados: cliente, áreas internas y proveedores
- Entendimiento consistente de los requerimientos entre todos los involucrados: cliente, áreas internas y proveedores
- Cotejo de la definición de los problemas u oportunidades con las metas y objetivos de la empresa, del cliente y de los proveedores
- Aplicar las herramientas estadísticas

#### Entradas

- Productos, Servicios, Procesos, Operaciones y Organizaciones afectadas y no afectadas
- Diagramas funcionales
- Metas y Objetivos del cliente
- Metas y Objetivos del proveedor
- Metas y Objetivos de la empresa
- Información de entrevistas al cliente
- Filosofía de administración del cliente
- Modelo de negocio de la empresa
- Estrategia de información tecnológica
- Problemas o áreas de oportunidad respecto a la información de la empresa
- Problemas y oportunidades: operación, procesos y satisfacción del cliente
- Organigrama de la empresa
- Causas del problema y fuentes de las áreas de oportunidad
- Requerimiento para el inicio de los trabajos

- Enunciados del trabajo a realizar
- Plan estratégico de negocios
- Documentación del proyecto

#### Salidas

- Productos, Servicios, Operación y Organizaciones afectadas y no afectadas perfectamente identificados
- Diagramas funcionales entendidos y documentados
- Modelo de negocios estructurado y revisado
- Perfecta identificación de los problemas y oportunidades operacionales
- Perfecta identificación de los problemas y oportunidades informáticos
- Identificación plena de las fuentes de los problemas y/o oportunidades
- Requerimientos de alto nivel
- Criterios de solución
- Documentación de la definición del problema u oportunidad

#### 2) *Definición del proyecto*

##### Tareas:

- Identificar las alternativas de solución
- Evaluar las alternativas de solución
- Hacer las recomendaciones para la solución
- Definir el proyecto para la solución seleccionada

##### Herramientas

- Modelo del Proceso
- Diagramas de flujo
- Modelo de funciones
- Lluvia de ideas
- Cuadros para recolección de datos
- Cuadros estadísticos

- Estándares y Especificaciones
- Método de los cuatro pasos: Por qué, Qué, Cómo, Quién

#### **Factores Críticos de Éxito**

- Claridad en el alcance del proyecto
- Validación del plan del proyecto
- Aplicar las herramientas estadísticas

#### **Entradas**

- Soluciones alternas
- Modelo de Procesos
- Estándares para los Productos o Servicios
- Normas de la ISO
- Normas internacionales
- Normas locales
- Estándares de la empresa
- Evaluación de alternativas
- Definición de requerimientos de alto nivel
- Plan de aplicación que abarque todas las áreas involucradas
- Identificación de las Causas de los problemas y Fuentes de oportunidad
- Recomendaciones
- Criterios de solución

#### **Salidas**

- Alternativas de solución
- Revisión y visto bueno de los diferentes niveles y áreas involucradas
- Resultado de la evaluación de las alternativas recomendadas
- Definición y plan del proyecto
- Selección de la solución recomendada
- Documentación de la definición y plan del proyecto

A continuación se da la lista de los puntos que se deberán verificar antes de pasar a la siguiente etapa, la documentación necesaria para el inicio de la siguiente etapa y los informes que se requieren para tener actualizados a todos los involucrados.

#### Lista de verificación

- ¿Los requerimientos de alto nivel desarrollados son suficientes para que se evalúen las prioridades de mejora/corrección en los productos y/o en los procesos?
- ¿La planificación contempla la participación del cliente, el proveedor y todas las áreas involucradas?
- ¿Han sido estimados los costos y el tiempo, además de las habilidades y herramientas requeridas, para cumplir con las expectativas del proyecto?
- ¿Se verificaron los beneficios a obtener versus los costos y tiempo estimados del proyecto?
- ¿Se verificó con el cliente que lo definido en el proyecto es lo que realmente desea y necesita?
- ¿Existe un plan de trabajo documentado con responsables, especificaciones, tiempos y estándares?
- ¿Está el grupo de trabajo convencido de que la solución seleccionada cumplirá con las expectativas de mejora/corrección?

#### Informes y documentación de la etapa

- Generación de la carpeta de trabajo
- Documentación bajo el estándar que se defina para este proyecto
- Informe para la presentación de los trabajos realizados a todos los niveles y a la alta gerencia
- Documentos de aceptación y visto bueno de cada una de las áreas involucradas

## 2.2. Análisis. Definición de los requerimientos

El objetivo de esta etapa es estudiar y analizar la definición de los problemas y las oportunidades de mejora identificadas en la etapa anterior para resolverlos o implantar mejoras que permitan lograr una ventaja competitiva en productos y/o servicios. Además del análisis de la definición de los requisitos, estándares y medidas para el desempeño de las actividades o procedimientos a corregir o mejorar. Esta etapa se compone de tres actividades; Análisis y Definición de la situación actual; Análisis y Definición de los requerimientos nuevos del negocio; Análisis y Definición de los procesos y/o servicios a corregir o mejorar.

### *1) Análisis y Definición de la situación actual*

#### Tareas

- Análisis de la situación actual

#### Herramientas

- Programas de cómputo para la elaboración de diagramas de flujo, modelos organizacionales y funcionales
- Diagramas de Causa - Efecto

#### Factores Críticos de éxito

- Claro entendimiento de la situación actual entre las diferentes áreas involucradas
- Identificación de todas y cada una de las áreas de sus funciones y la interrelación entre éstas, incluyendo a los clientes y proveedores

#### Entradas

- Modelo de funciones
- Diagramas de flujo
- Modelo del Proceso

- Requerimientos de alto nivel
- Documentación de las Normas y Especificaciones de los procedimientos, procesos, productos y servicios actuales

#### Salidas

- Normas y Especificaciones de los procedimientos, procesos, productos y servicios actuales
- Funciones actuales
- Organización actual

## 2) *Análisis y Definición de los requerimientos nuevos del negocio*

#### Tareas

- Definir los procedimientos, procesos, productos y servicios actuales del negocio
- Definición de los procedimientos, procesos, productos y servicios nuevos del negocio
- Establecer el control de cambios para la implantación de los requerimientos

#### Herramientas

- Procedimientos para el control de cambios, para las industrias de manufactura se puede encontrar "software" y "hardware" específico; y para la industria de servicios existen variados métodos administrativos.
- Programas estadísticos ("software") para computadoras personales
- Programas de cómputo para la elaboración de diagramas de flujo, modelos organizacionales y funcionales
- Diagramas de Causa - Efecto
- Histogramas
- Diagramas de dispersión
- Gráficas de Control
- Control estadístico del proceso

### **Factores Críticos de Éxito**

- Representación exacta de la situación actual
- Participación de todas las áreas involucradas en los procesos y/o servicios
- Plan detallado describiendo cómo documentar, manejar y controlar los cambios
- Enfocarse en los requerimientos que deben ser cumplidos y no en cómo se van a cumplir
- Aplicar las herramientas estadísticas

### **Entradas**

- Situación actual del negocio
- Situación actual de los procedimientos, funciones, procesos, productos y servicios
- Modelo de negocios de las áreas involucradas y de la empresa
- Modelo de los procedimientos como son los procesos, productos y servicios
- Normas ISO
- Normas nacionales (si existen)
- Especificaciones de los procedimientos, procesos, productos y servicios
- Definición de requerimientos de alto nivel
- Plan de aplicación que abarque todas las áreas involucradas
- Criterios de solución
- Definición y plan del proyecto
- Documentación de la definición y plan del proyecto

### **Salidas**

- Resultados de los estudios de las gráficas de control y el control del proceso y de todas las herramientas utilizadas
- Definición detallada de los nuevos procedimientos, procesos, productos y servicios

- Normas y Especificaciones de desempeño de los nuevos procedimientos, procesos, productos y servicios
- Definición y plan del proyecto
- Documentación del proyecto

### *3) Análisis y Definición detallada de los requerimientos nuevos del negocio*

#### Tareas

- Definición detallada de todos los elementos requeridos para los nuevos procedimientos, procesos, productos y servicios
- Definición detallada de las normas, especificaciones, niveles de servicio para los nuevos procedimientos, procesos, productos y servicios
- Definición de la logística para la implantación de los nuevos procedimientos, procesos, productos y servicios

#### Herramientas

- Estándares para el cumplimiento de las normas y especificaciones
- Procedimientos para el control de cambios, para las industrias de manufactura se puede encontrar "software" y "hardware" específico; para la industria de servicios existen variados métodos administrativos
- Programas estadísticos ("software") para computadoras personales
- Programas de cómputo para la elaboración de diagramas de flujo, modelos organizacionales y funcionales
- Gráficas de Control
- Control estadístico del proceso

#### Factores Críticos de Éxito

- Cambio, corrección, adición y mejora de los manuales y la documentación actuales para el desempeño de los nuevos procedimientos, procesos, productos y servicios
- Establecimiento del control de procesos estadístico

- Participación de todas las áreas involucradas incluyendo a los clientes y proveedores
- Confirmación y visto bueno de todas las áreas involucradas en este proceso de mejora

#### **Entradas**

- Resultados del uso de todas las herramientas estadísticas
- Modelo funcional y de negocios para los nuevos procedimientos y/o productos o servicios
- Requerimientos detallados de los nuevos requerimientos
- Elementos definidos, específicos y detallados, para el cambio o modificación de los procesos
- Logística de los cambios

#### **Salidas**

- Descripción de los resultados del uso de todas las herramientas estadísticas
- Definición detallada del modelo funcional y de negocios para los nuevos procedimientos, productos y servicios
- Requerimientos detallados de los nuevos requerimientos
- Descripciones específicas y detalladas de todos los elementos necesarios para el cambio o modificación de los procesos
- Plan documentado y detallado de la logística para la implantación de los nuevos procesos

A continuación se presenta la lista de los puntos que se deberán verificar antes de pasar a la siguiente etapa, la documentación necesaria para el inicio de la siguiente etapa y los informes que se requieren para tener actualizados a todos los involucrados.

### Lista de verificación

- ¿Todas las áreas involucradas, incluyendo a los clientes y proveedores, revisaron la situación actual y los nuevos requerimientos para corregir o mejorar los procedimientos, productos y servicios actuales?
- ¿Están todas las nuevas definiciones enfocadas a resolver los problemas o mejorar la situación actual?
- ¿Fueron las nuevas iniciativas evaluadas contra el plan de negocios a futuro?
- ¿El personal que está llevando a cabo las pruebas estadísticas conoce bien las herramientas estadísticas?
- ¿Se están utilizando todas las herramientas estadísticas requeridas?
- ¿Están todas las funciones y procesos incluidas con suficiente detalle?
- ¿Se hicieron todas las entrevistas a los clientes para determinar sus necesidades?
- ¿Se hicieron todas las reuniones necesarias con los proveedores para determinar las necesidades de la empresa?
- ¿Las especificaciones y estándares cumplen con las normas de calidad definidas en el mercado nacional e internacional?
- ¿Se especificaron todos los criterios para la prueba de los nuevos requerimientos?

### Informes y documentación de la etapa

- Actualización de la carpeta de trabajo
- Documentación bajo el estándar que se defina para este proyecto
- Informe para la presentación de los trabajos realizados a todos los niveles y a la alta gerencia
- Documentos de aceptación y visto bueno de cada una de las áreas involucradas

### 2.3. **Diseño, Actualización y/o creación de procedimientos y programas**

El objetivo de esta etapa es diseñar los nuevos procedimientos, procesos, productos y servicios definidos en forma detallada en la etapa anterior. Este diseño deberá incluir a todas las áreas que están involucradas, incluyendo a los clientes y proveedores. Se determinará en forma conjunta el enfoque más apropiado para la creación, corrección o mejora de los requerimientos. Esta etapa se compone de cuatro actividades: Diseño de los nuevos requerimientos (procedimientos, procesos, productos y servicios); Diseño de la organización, basada en los nuevos requerimientos; Diseño técnico de los requerimientos, incluyendo el equipo tecnológico requerido; Diseño de la conversión del esquema actual al nuevo.

#### *1) Diseño de los nuevos requerimientos*

##### **Tareas:**

- Diseñar las entradas y salidas de los procedimientos, procesos, productos y servicios
- Diseñar los nuevos requerimientos
- Establecer las normas de calidad
- Definir los niveles de desempeño
- Diseñar el comportamiento de los requerimientos, es decir las especificaciones y los niveles de servicio
- Diseñar las nuevas funciones resultantes de los nuevos requerimientos
- Diseñar las herramientas estadísticas adecuadas para el control

##### **Herramientas**

- Procedimiento de control de cambios
- Normas de Calidad
- Normas nacionales e internacionales
- Procedimientos y estándares propios de la industria
- Pruebas de hipótesis estadísticas

- Control de procesos estadísticos
- Gráficas de control
- Histogramas
- Cuadros estadísticos
- Programas estadísticos de cómputo

#### Factores Críticos de Éxito

- Participación total las áreas involucradas, clientes y proveedores
- Revisión y Aprobación de todas la áreas involucradas de los clientes y de los proveedores

#### Entradas

- Diseño de los nuevos requerimientos
- Niveles de servicio
- Especificaciones de desempeño de los nuevos diseños
- Normas de calidad
- Definición detallada de todos los elementos analizados
- Modelo de negocios
- Diagramas de flujo
- Equipo tecnológico requerido
- Formas para la documentación del diseño
- Comportamiento del modelo de negocios

#### Salidas

- Diseño específico, preciso y detallado de los nuevos requerimientos
- Diseño detallado de todas las variables que intervienen en el diseño del nuevo requerimiento
- Especificaciones del nivel de desempeño
- Especificación de las normas de calidad nacional e internacional
- Comportamiento del negocio con el nuevo diseño y las nuevas funciones

## **2) Diseño de la organización**

### **Tareas**

- Definición de las funciones de trabajo
- Definición del control de la documentación
- Diseño de la organización
- Integración de las guías para el usuario (operador o prestador del servicio)
- Definición de los requerimientos de capacitación

### **Herramientas**

- Procedimiento de control de cambios
- Procedimientos y programas de cómputo para diseños de ingeniería
- Diseños de servicios al cliente a través de los métodos de aseguramiento de la calidad
- Programas de cómputo para el diseño de herramientas, equipo, procedimientos, modelos, etc.
- Conceptos administrativos enfocados al mejoramiento de la organización
- Conceptos administrativos enfocados al mejoramiento de los procesos
- Auditores certificados para la aceptación y visto bueno de las normas y especificaciones del nivel de desempeño en la operación, de la elaboración de productos y de los servicios al cliente

### **Factores Críticos de Éxito**

- Análisis de toda la documentación existente del proyecto para garantizar el buen desarrollo de los diseños en la siguiente etapa
- Personal con buenos conocimientos estadísticos
- Instrucciones claras para el desarrollo de los diseños
- Diseños fáciles para que el usuario final pueda manejar fácilmente los productos o para que reciba un servicio eficiente
- Definición eficiente de la organización para el diseño de los requerimientos

## Entradas

- Inventario de los recursos humanos
- Equipo, herramienta, procedimientos, procesos y servicios a crear, modificar, cambiar o mejorar
- Organización actual
- Documentación detallada de las especificaciones para los diseños de los requerimientos
- Especificaciones para el diseño de los requerimientos
- Funciones físicas
- Comportamiento del modelo de los requerimientos

## Salidas

- Organización para el diseño
- Documentación de los diseños
- Especificaciones para los diseños
- Especificaciones para la guía del usuario
- Especificación para el programa de capacitación

### *3) Diseño técnico de los requerimientos*

#### Tareas

- Definir la maquinaria, el equipo y software requeridos para todas las áreas involucradas, incluyendo a los proveedores
- Diseñar los programas y herramental requeridos
- Diseñar el equipo requerido para las cuestiones administrativas
- Evaluar las alternativas de maquinaria, equipo y software
- Seleccionar el equipo requerido
- Diseñar los procedimientos operativos
- Diseñar los programas de trabajo
- Diseño de la estructura y flujo de los nuevos procedimientos y procesos

### **Herramientas**

- Procedimiento de control de cambios
- Procedimientos y programas de cómputo para diseños de ingeniería
- Programas de cómputo para el diseño de herramental, equipo, procedimientos, modelos, etc.
- Auditores certificados para la aceptación y visto bueno de las normas y especificaciones del nivel de desempeño en la operación, de la elaboración de productos y de los servicios al cliente

### **Factores Críticos de Éxito**

- Costeabilidad
- Integración con otros equipos, maquinarias, herramientas o procedimientos administrativos
- Viabilidad a largo plazo
- Consistencia, facilidad en el mantenimiento del equipo
- Equipo y diseño eficientes que permitan cumplir con las especificaciones de calidad y de costo beneficio de los requerimientos
- Cumplimiento con las interfaces requeridas

### **Entradas**

- Criterios para la selección del equipo
- Estrategia tecnológica
- Criterios de solución
- Evaluación tecnológica
- Especificaciones para la arquitectura de los equipos y maquinarias basada en los diseños requeridos
- Niveles de desempeño
- Funciones físicas
- Especificación de los programas
- Modelo del comportamiento de los nuevos requerimientos de acuerdo con el herramental y la maquinaria

- Diagrama de flujo de las nuevas funciones
- Estructura técnica y administrativa de los requerimientos basadas en la nueva tecnología

#### Salidas

- Definición de criterios de selección del equipo requerido
- Selección del equipo, maquinaria, software y equipo administrativo
- Plan de adquisición del nuevo equipo para los nuevos requerimientos
- Evaluación tecnológica
- Plan de migración a los nuevos procedimientos
- Especificación detallada y precisa de todos los requerimientos
- Especificación de las guías para los operadores o prestadores de servicio
- Modelo del comportamiento de los requerimientos
- Diagramas de flujo
- Plan maestro para el desarrollo de los requerimientos

#### *4) Diseño de la conversión del esquema actual al nuevo*

##### Tareas

- Desarrollo del enfoque para la conversión del equipo, maquinaria y software requeridos
- Desarrollo del plan para la conversión
- Desarrollo del plan para la conversión de todos los elementos de los requerimientos, como datos, criterios, niveles de servicio, normas de calidad

##### Herramientas

- Procedimiento de control de cambios
- Normas de calidad
- Especificaciones de niveles de servicio
- Pruebas de hipótesis

### **Factores Críticos de Éxito**

- Programas efectivos para la conversión de maquinarias y equipo
- Programas efectivos para el cambio de procedimientos y funciones
- Pruebas de hipótesis para comprobar la efectividad del nuevo equipo

### **Entradas**

- Organización, productos, servicios, funciones y operaciones afectadas por los requerimientos
- Documentación de las especificaciones
- Arquitectura del nuevo equipo, maquinas y procedimientos
- Definición de los elementos de los requerimientos
- Diagramas de flujo
- Organización, productos, servicios, funciones y operaciones no afectadas por los requerimientos

### **Salidas**

- Plan de conversión
- Especificaciones detalladas y precisas de los nuevos requerimientos para su desarrollo

A continuación se da la lista de los puntos que se deberán verificar antes de pasar a la siguiente etapa, la documentación necesaria para el inicio de la siguiente etapa y los informes que se requieren para tener actualizados a todos los involucrados.

### **Lista de verificación**

- ¿Quedan algunos problemas aún sin resolver?
- ¿Todas las áreas involucradas han dado su aprobación para la adquisición de equipo, cambio de los procedimientos, diseño de los requerimientos, creación de nuevas funciones?
- ¿Hasta dónde está el cliente involucrado?

- ¿Todos los planes de prueba y los procedimientos fueron revisados contra los requerimientos?
- ¿Han sido revisados los niveles de satisfacción del cliente contra los nuevos niveles que darán los nuevos requerimientos?
- ¿Los planes anteriores a esta etapa han sido concluidos exitosamente?
- ¿El procedimiento de control de cambios ha sido actualizado hasta esta etapa?
- ¿Todas las áreas involucradas, incluyendo a los clientes y proveedores, entienden y están de acuerdo en los cambios que se harán a los procedimientos operativos y administrativos y de servicio, así como los cambios que se harán a la organización, que son requeridos para la implantación de los requerimientos?

#### Informes y documentación de la etapa

- Actualización de la carpeta de trabajo
- Documentación bajo el estándar que se defina para este proyecto
- Informe para la presentación de los trabajos realizados a todos los niveles y a la alta gerencia
- Documentos de aceptación y visto bueno de cada una de las áreas involucradas
- Manuales para todas las áreas involucradas en los requerimientos

#### 2.4. Desarrollo. Ejecución/Conversión del diseño

El objetivo de esta etapa es convertir los diseños en procedimientos, procesos, productos y servicios, desarrollándolos de acuerdo con los requerimientos definidos y analizados en las primeras etapas. Esta etapa se compone de cinco actividades: Ejecución/Conversión del diseño; Pruebas unitarias; Desarrollo de la documentación; Desarrollo del material para capacitación y Prueba de componentes administrativos.

## **1) Ejecución y/o conversión del diseño**

### **Tareas**

- **Ejecución y documentación de los diseños para los procedimientos, procesos, productos y servicios**
- **Preparar los flujos de trabajo para la pruebas de los desarrollos**
- **Desarrollar la secuencia de pasos e instrucciones necesarias para la ejecución de los procedimientos, procesos, productos y servicios desarrollados, tanto técnicos como administrativos**

### **Herramientas**

- **Procedimiento de Control de Cambios**
- **Estándares de organismos públicos del sector correspondiente**
- **Estándares nacionales e internacionales de calidad (ISO)**
- **Conceptos y procedimientos de ingeniería del sector correspondiente**
- **Conceptos y procedimientos administrativos del sector correspondiente**
- **Control estadístico de procesos**

### **Factores Críticos de Éxito**

- **Cumplimiento con las especificaciones**
- **Cumplimiento con los estándares**
- **Utilizar los conceptos estadísticos para definir los niveles de servicio, de producción y de los productos**
- **Atender y cumplir con los requerimientos de los clientes**

### **Entradas**

- **Ambiente para el desarrollo de los diseños**
- **Especificación detallada de los diseños**
- **Programa maestro de todos los diseños a convertir**
- **Plan de trabajo para las pruebas unitarias**

## Salidas

- Nuevos requerimientos listos para ser probados
- Procedimiento para la ejecución de los nuevos requerimientos
- Flujos de trabajo para las pruebas

## 2) Pruebas unitarias

### Tareas

- Desarrollar el plan de pruebas unitarias
- Desarrollar los casos de prueba unitarios
- Efectuar las pruebas unitarias de los requerimientos

### Herramientas

- Procedimiento de control de cambios
- Control estadístico de procesos
- Gráficas de control
- Pruebas de hipótesis
- Equipo adquirido para los requerimientos

### Factores Críticos de Éxito

- Apego al plan de pruebas
- Control de cambios para cualquier cambio en las especificaciones o en los requerimientos
- Verificación de los resultados de las pruebas versus los resultados esperados

### Entradas

- Especificaciones detalladas y precisas de los requerimientos
- Instrucciones de trabajo para las pruebas
- Casos unitarios de cada requerimiento para las pruebas
- Elementos específicos de cada requerimiento para las pruebas
- Plan unitario para las pruebas

#### Salidas

- Requerimientos probados
- Documentación de los casos y los elementos de prueba

### 3) *Desarrollo de la documentación*

#### Tareas

- Desarrollar la guía de los usuarios
- Desarrollar la guía del operador
- Actualizar la documentación existente

#### Herramientas

- Procedimiento de control de cambios
- Gráficas de control

#### Factores Críticos de Éxito

- Documentación existente y disponible para los usuarios y operadores
- Documentación clara y específica, fácil de usar

#### Entradas

- Documentación de los requerimientos detallados
- Especificación para la guía del operador
- Especificación para la guía del usuario
- Documentación del proyecto

#### Salidas

- Guía del operador
- Guía del usuario
- Especificaciones claras y precisas para la producción y/o servicios
- Documentación del proyecto

#### **4) Desarrollo del material para capacitación**

##### **Tareas**

- Desarrollar el plan para la capacitación
- Desarrollar el material para el instructor
- Desarrollar el material para el curso

##### **Herramientas**

- Algún software específico para la capacitación
- Paquetes de simulación para la capacitación

##### **Factores Críticos de Éxito**

- Dar la capacitación en el momento adecuado

##### **Entradas**

- Inventario del curso
- Especificaciones del programa de capacitación
- Guía del usuario

##### **Salidas**

- Material para el instructor
- Material para el usuario y operador
- Plan de capacitación

#### **5) Prueba de componentes administrativos**

##### **Tareas**

- Desarrollar el plan de pruebas para los componentes administrativos
- Desarrollar el plan de casos de prueba para los componentes administrativos
- Desarrollar el plan de prueba para todos los elementos de los componentes administrativos
- Probar los componentes administrativos

### Herramientas

- Procedimiento de control de cambios
- Conceptos de métodos y procedimientos administrativos enfocados al establecimiento del aseguramiento de la calidad

### Factores Críticos de Éxito

- Cumplimiento y apego al plan de trabajo

### Entradas

- Especificaciones de los procedimientos y servicios administrativos o no técnicos
- Requerimientos de negocio
- Material del instructor
- Especificaciones de trabajo
- Casos de prueba de todos los elementos de los requerimientos
- Guía del usuario
- Guía del operador

### Salidas

- Casos de prueba
- Plan de prueba
- Plan para la prueba de todos los elementos de los requerimientos
- Resultados de las pruebas de los componentes administrativos y de servicios
- Procedimientos administrativos y de servicios probados

A continuación se da la lista de los puntos que se deberán verificar antes de pasar a la siguiente etapa, la documentación necesaria para el inicio de la siguiente etapa y los informes que se requieren para tener actualizados a todos los involucrados.

### Lista de verificación

- ¿Ha cambiado el alcance del proyecto?
- ¿Han sido todos los elementos certificados versus los requerimientos del proyecto?
- ¿Fueron integrados al diseño técnico los cambios aprobados?
- ¿Toda la documentación existente fue actualizada para reflejar los cambios o nuevos procesos del proyecto?
- ¿Han sido revisados los niveles de satisfacción del cliente contra los nuevos niveles que darán los nuevos requerimientos?
- ¿Se identificaron las causas de los problemas que se presentaron y se corrigieron para evitar futuros problemas?
- ¿El procedimiento de control de cambios ha sido actualizado hasta esta etapa?
- ¿Todas las áreas involucradas, incluyendo a los clientes y proveedores, entienden y están de acuerdo en los procedimientos, procesos, productos y servicios creados?

### Informes y documentación de la etapa

- Actualización de la carpeta de trabajo
- Documentación bajo el estándar que se defina para este proyecto
- Informe para la presentación de los trabajos realizados a todos los niveles y a la alta gerencia
- Documentos de aceptación y visto bueno de cada una de las áreas involucradas
- Manuales para todas las áreas involucradas en los requerimientos

### 2.5. Pruebas. Ejecución de las pruebas integrales

El objetivo de esta etapa es probar en una forma integral y conjunta todos los elementos del proyecto que fueron definidos en las etapas iniciales, para garantizar el cumplimiento de los requerimientos. En esta etapa la

participación de todos los involucrados es esencial, incluyendo a los clientes y proveedores. Esta etapa se compone de dos actividades: Prueba del proyecto y Aceptación de todos los involucrados.

### *1) Prueba del proyecto*

#### Tareas

- Desarrollar el plan de pruebas del proyecto
- Desarrollar el plan de casos de pruebas del proyecto
- Desarrollar el plan de pruebas de todos los elementos del proyecto
- Ejecutar el plan de pruebas del proyecto

#### Herramientas

- Procedimiento de control de cambios
- Control estadístico de procesos
- Gráficas de control
- Pruebas de hipótesis
- Histogramas
- Cuadros Estadísticos de datos
- Estándares de la industria correspondiente
- Estándares administrativos y de servicio
- Normas internacionales y locales de calidad

#### Factores Críticos de Éxito

- Probar que los resultados de la prueba del proyecto esta cumpliendo las expectativas
- Personal capacitado en la industria correspondiente
- Personal capacitado en el conocimiento estadístico

#### Entradas

- Casos de prueba
- Plan de pruebas

- Procedimientos, procesos, productos y servicios a probar
- Diagrama de flujo
- Funciones nuevas a probar
- Procedimientos y componentes administrativos y de servicios a probar

#### Salidas

- Resultados de las pruebas
- Resultados de los casos de prueba y de los planes de trabajo
- Proyecto con todos sus componentes técnicos, administrativos y de servicio totalmente probados

#### 2) *Aceptación de todos los involucrados*

##### Tareas:

- Desarrollo del plan de pruebas para aceptación y visto bueno de todas las áreas involucradas, incluyendo a los clientes y proveedores
- Desarrollo del plan de casos de prueba
- Prueba del proyecto para la aceptación de los requerimientos

##### Herramientas

- Procedimiento de control de cambios
- Estándares del proyecto
- Normas nacionales e internacionales correspondientes a la industria o sector de servicios
- Auditores externos certificados en calidad
- Niveles de servicio y desempeño
- Procesos de simulación para pruebas
- Control estadístico de procesos

##### Factores Críticos de Éxito

- Participación de todos las áreas involucradas en el proyecto, incluyendo clientes y proveedores

- Participación de auditores externos certificados en aseguramiento de la calidad
- Entendimiento de los resultados y su significado

#### Entradas

- Organización actual
- Documentación de los diseños
- Modelo operacional
- Modelo funcional
- Especificaciones detalladas de los requerimientos
- Modelo de comportamiento del proyecto
- Plan y casos de prueba
- Diagrama operacional y funcional
- Componentes administrativos probados
- Proyecto probado
- Pruebas para aceptación de todas las áreas involucradas
- Guía del cliente, del usuario y de las áreas operativas

#### Salidas

- Documentación aprobada y firmada por parte de todas las áreas involucradas incluyendo a los proveedores
- Documentación de los casos de prueba aceptados
- Documentación de los elementos de prueba
- Documentación de los resultados de los casos de prueba
- Documentación de los resultados de todas las pruebas
- Proyecto de los requerimientos aprobado

A continuación se da la lista de los puntos que se deberán verificar antes de pasar a la siguiente etapa, la documentación necesaria para el inicio de la siguiente etapa y los informes que se requieren para tener actualizados a todos los involucrados.

### Lista de verificación

- ¿Se descubrió alguna otra área de oportunidad durante esta etapa?
- ¿Se aplicó correctamente el procedimiento de control de cambios, de tal forma que los cambios que se presentaron en la prueba están satisfactoriamente corregidos y aprobados?
- ¿Están todos los defectos significativos perfectamente identificados, corregidos, resueltos y aprobados por todas las áreas involucradas?
- ¿Los requerimientos del proyecto cumplen con los requerimientos del cliente?
- ¿Se utilizaron las herramientas apropiadas para efectuar las pruebas?
- ¿Hubo participación por parte de auditores certificados en aseguramiento de la calidad?
- ¿Están todas las áreas listas para la implantación de los nuevos requerimientos?

### Informes y documentación de la etapa

- Actualización de la carpeta de trabajo
- Documentación bajo el estándar que se defina para este proyecto
- Informe para la presentación de los trabajos realizados a todos los niveles y a la alta gerencia
- Documentos de aceptación y visto bueno de cada una de las áreas involucradas
- Manuales para todas las áreas involucradas en los requerimientos

### 2.6. Implantación. Establecimiento de los procedimientos y programas

El objetivo de esta etapa es instalar, instrumentar e implantar todos los elementos creados o modificados para cumplir con los requerimientos del proyecto. Verificar los productos creados para iniciar su puesta en producción. Esta etapa se compone de tres actividades: Planificación de la implantación; Implantación; y Post-implantación.

## **1) Planificación de la implantación**

### **Tareas**

- **Desarrollar el plan para la instalación**
- **Desarrollar un plan de contingencia**

### **Herramientas**

- **Procedimiento de control de cambios**
- **Procedimientos de instalación de equipos e instrumentos correspondientes al sector industrial o de servicios**
- **Resultados de las pruebas del control estadístico de procesos**

### **Factores Críticos de Éxito**

- **Entendimiento del plan de instalación**
- **Plan de contingencia**
- **Participación del personal adecuado**

### **Entradas**

- **Plan de conversión**
- **Plan de instrumentación de la maquinaria y equipo requerido**
- **Plan de implantación**
- **Plan de migración**
- **Plan de capacitación**

### **Salidas**

- **Plan de contingencia de regreso al antiguo esquema en caso de errores graves**
- **Plan de implantación**

## **2) Implantación**

### **Tareas:**

- **Instalación del equipo, software, paquetes e instrumentos requeridos**

- Conversión al nuevo equipo
- Instalación de las aplicaciones
- Implantación de las nuevas funciones y procedimientos
- Capacitación al usuario y a los operadores
- Apoyo para el inicio de la producción

#### Herramientas

- Procedimiento de control de cambios
- Estándares de instalación para el equipo, paquetes, maquinaria y software nuevos
- Normas de calidad para la implantación de los procedimientos, proceso, etc..

#### Factores Críticos de Éxito

- Normas de calidad nacional e internacional
- Inmediata identificación y corrección de los problemas de última hora
- Disposición de todas las áreas involucradas para aceptar todos los elementos nuevos y los modificados para la instalación del proyecto

#### Entradas

- Aprobación del proyecto por parte de todas las áreas involucradas
- Procedimientos, procesos, productos y servicios nuevos, así como los modificados
- Maquinaria, equipo, paquetes, software para los nuevos requerimientos
- Plan de implantación
- Material del instructor
- Guía de operación
- Guía del usuario
- Plataforma tecnológica para la instrumentación

### Salidas

- Reporte de la implantación de todos los elementos para la liberación a producción del proyecto
- Instrumentación de todo el equipo, maquinaria, etc..
- Puesta en marcha en ambiente de producción
- Salidas de producción
- Proyecto en producción
- Estadísticas de los resultados del proyecto
- Reporte de capacitación

### 3) Post-implantación

#### Tareas

- Seguimiento al proyecto en producción, al menos durante dos ciclos
- Revisión de la implantación
- Liberación de cada uno de los elementos creados o modificados a sus áreas respectivas

#### Herramientas

- Procedimiento de control de cambios
- Normas de calidad para la implantación de los procedimientos, proceso, etc..
- Control estadístico de procesos
- Histogramas

#### Factores Críticos de Éxito

- Habilidad de cada una de las áreas para manejarse de manera autosuficiente
- Cumplimiento con las expectativas del cliente

#### Entradas

- Seguimiento a la producción

- Resultados de todos los requerimientos definidos e implantados
- Producción del proyecto
- Estadísticas de los resultados del proyecto

#### Salidas

- Proyecto en producción
- Informes del seguimiento
- Auditoria de los procedimientos, procesos, productos y servicios
- Producción resultante del nuevo Proyecto en producción
- Reporte de terminación del proyecto
- Estadísticas de los resultados del proyecto

A continuación se da la lista de los puntos que se deberán verificar antes de pasar a la siguiente etapa, la documentación necesaria para el inicio de la siguiente etapa y los informes que se requieren para tener actualizados a todos los involucrados.

#### Lista de verificación

- ¿Todas las áreas involucradas aceptaron los resultados del proyecto y firmaron de aceptación y visto bueno?
- ¿Está el cliente satisfecho con el proyecto?
- ¿El proyecto cumple con todos los estándares de la industria y de calidad definidos por los organismos nacionales e internacionales?
- ¿El proyecto cumple con los requerimientos iniciales del cliente?
- ¿Fueron las técnicas y las normas adecuadas para el desarrollo del proyecto?

#### Informes y documentación de la etapa

- Actualización de la carpeta de trabajo
- Documentación bajo el estándar que se define para este proyecto

- Informe para la presentación de los trabajos realizados a todos los niveles y a la alta gerencia
- Documentos de aceptación y visto bueno de cada una de las áreas involucradas
- Manuales para todas las áreas involucradas en los requerimientos

## 2.7. Seguimiento. "Monitoreo" y regreso a la etapa uno

El objetivo de esta etapa es operar y controlar el proyecto (ya incorporado al sistema total de producción), convertido en ambiente de producción. Y posiblemente sea necesario actualizarlo porque se presenten problemas y/o nuevos requerimientos de mejora. Para esto se deberá reunir nuevamente a todas las áreas que estén involucradas para iniciar nuevamente los trabajos basándose en esta metodología. Esta etapa se compone de dos actividades: Operación del sistema de producción; Control y Evolución del sistema de producción.

### 1) Operación del sistema de producción

#### Tareas

- Ejecución de los procedimientos de producción
- Ejecución de los procedimientos, procesos, productos y servicios de todas las áreas involucradas

#### Herramientas

- Procedimiento de control de cambios
- Control estadístico de procesos
- Gráficas de control
- Diagramas de Pareto
- Diagramas de Causa - Efecto
- Histogramas

### **Factores Críticos de Éxito**

- Disponibilidad del sistema de producción
- Prontitud en la identificación de problemas u oportunidades de mejora

### **Entradas**

- Guías de operación
- Normas de calidad nacional e internacional
- Guías de usuario
- Encuestas de satisfacción al cliente

### **Salidas**

- Informes de incidencias
- Informes estadísticos
- Reportes de producción
- Informes de los requerimientos del cliente
- Informes de las encuestas de satisfacción al cliente

## **2) Control y Evolución del sistema de producción**

### **Tareas**

- Evaluación de las salidas del sistema
- Afinación del sistema
- Iniciar la solución de variación
- Corregir los problemas de producción
- Auditoría a los niveles de desempeño del sistema
- Desarrollo de mejoras

### **Herramientas**

- Procedimiento de control de cambios
- Control estadístico de procesos
- Gráficas de control

- Diagramas de Pareto
- Diagramas de Causa - Efecto
- Histogramas
- Auditores externos para el control de calidad

#### Factores Críticos de Éxito

- Sistema disponible
- Rentabilidad y eficiencia máxima del sistema
- Satisfacción del cliente con el sistema de producción o con las mejoras hechas al mismo

#### Entradas

- Resultados de la producción
- Requerimientos para mejora
- Solicitudes de corrección al sistema de producción
- Informes estadísticos del sistema en producción
- Variaciones en la producción

#### Salidas

- Mejoras implantadas
- Correcciones terminadas
- Variaciones identificadas y corregidas
- Requerimientos para servicios de proyectos muy grandes

A continuación se da la lista de los puntos que se deberán verificar antes de pasar a la siguiente etapa, la documentación necesaria para el inicio de la siguiente etapa y los informes que se requieren para tener actualizados a todos los involucrados.

#### Lista de verificación

- ¿Las necesidades del cliente están siendo cubiertas totalmente?

- ¿Hay áreas que necesitan mejoras en el sistema total de producción, incluyendo las áreas comerciales y administrativas?
- ¿Están siendo entregados en tiempo los productos y servicios al cliente?
- ¿Se están proveyendo entre si, todas las áreas involucradas, los elementos necesarios para la producción?
- ¿Es eficiente la capacitación a las áreas operativas?
- ¿Todas las facilidades están siendo utilizadas para obtener los resultados esperados?
- ¿Se continúan haciendo las encuestas de satisfacción a cliente, en forma periódica?

#### Informes y documentación de la etapa

- Actualización de la carpeta de trabajo
- Documentación bajo el estándar que se defina para este proyecto
- Informe para la presentación de los trabajos realizados a todos los niveles y a la alta gerencia
- Documentos de aceptación y visto bueno de cada una de las áreas involucradas
- Manuales para todas las áreas involucradas en los requerimientos

## VI Conclusiones

---

La historia nos demuestra que el hombre siempre ha buscado la perfección en todos los ámbitos, desde los más elementales hasta los más sofisticados.

Cada una de las creaciones de la humanidad que han contribuido a su desarrollo, tanto para fines materiales como espirituales, desde tiempos muy remotos buscan el bienestar de la humanidad. ¿Se puede imaginar que estas creaciones no cumplieran su objetivo, o que no lo cumplieran totalmente? Efectivamente sería muy molesto e incluso muy peligroso. Pudiera ser que las molestias toparan solamente en malestares leves: mal funcionamiento de un producto, poca durabilidad de un artículo o fallas continuas de un servicio o producto, pero imagine que un avión o una planta generadora de energía nuclear fallaran (como ya ha sucedido) ... sería un caos, y de leves molestias se pasaría a una catástrofe. Además de estos peligros, está la gran competencia de las empresas en lucha por el mercado, lucha que toda la vida ha sido muy fuerte.

Estas grandes variables hacen que todos los productos y servicios estén regidos por un alto control de calidad.

En la búsqueda del perfeccionamiento, han surgido muchos estudiosos desde épocas muy antiguas hasta nuestros días. El siglo XXI será testigo de los frutos que se obtendrán debido al perfeccionamiento logrado en el siglo XX. Una de las bases fundamentales, comunes a todos los métodos y técnicas creadas por los estudiosos, es la estadística; sin ésta el control y aseguramiento de la calidad sería tarea realmente compleja y algo difícil de lograr.

Para alcanzar el aseguramiento de la calidad es preciso crear medidas que faciliten su cumplimiento, no solamente por el hecho de lograr la satisfacción del cliente, sino por medidas de seguridad hacia la ecología, las personas, la sociedad, etc. Para satisfacer esto existen organismos en cada país, que determinan las normas de seguridad, de uso, de eficacia, de vida útil de un producto, de procedimientos, de servicio, y todas las normas requeridas para salvaguardar el bienestar, además de lograr la satisfacción del cliente.

En México existen normas nacionales que se basan en normas internacionales. Estas normas pueden ser obtenidas de las diferentes instituciones gubernamentales y de organismos privados dedicados a la certificación, la instrucción y en general a la ayuda en todos los aspectos de calidad.

Muchas empresas en México, desde la apertura comercial al mundo a principios de la década de los años '70, han iniciado esfuerzos para implantar procedimientos que les faciliten la producción de artículos o servicios de calidad con el fin de competir con los mercados internacionales. En algunas empresas, sobre todo en las grandes empresas, esto se ha logrado e incluso se han obtenido premios a nivel internacional, permitiendo la exportación de sus productos.

Empresas consideradas como medianas y/o pequeñas tratan de proveer productos y servicios que sean competitivos en un mercado local y global, siempre muy competidos; sin embargo, debido a la falta de una educación orientada a la calidad, los esfuerzos no siempre están bien encauzados, ya porque las personas encargadas del aseguramiento de la calidad no son las apropiadas o porque los directores esperan resultados inmediatos o, sencillamente, porque no saben cómo hacerlo. Esta falta de calidad reflejada en altos costos, pérdida de rentabilidad debida a retrabajos, costos de garantía, baja productividad y pérdida de penetración en el mercado, aunado a la cíclica crisis mexicana, están contribuyendo a que las pequeñas y

medianas empresas mexicanas pierdan, día con día, el mercado nacional y además, paulatinamente, vayan desapareciendo.

Para poder producir y ofrecer servicios de calidad, que cumplan con los requisitos y especificaciones de las normas domésticas e internacionales de calidad, es muy importante entender qué es el Aseguramiento de la Calidad. Como resultado de este entendimiento las empresas mexicanas estarán preparadas para iniciar el camino exitoso rumbo a la calidad y así poder competir tanto a nivel doméstico como mundial.

El Aseguramiento de la Calidad no debe entenderse como un programa o una actividad, que hoy se inicia y mañana se termina; debe entenderse como una forma de vida, una forma de ser y actuar tanto personal como profesionalmente. Para poder aprender esta forma de vida y poder aplicarla en todas las fases de nuestra existencia es muy importante ser disciplinado. Se deben aprender y seguir las actividades que nos guíen a la excelencia en todas las facetas de nuestra vida personal y profesional. Una de las formas, para poder ser diligentes y disciplinados es a través del uso de metodologías, obviamente, teniendo muy claras las metas que uno quiere lograr.

Actualmente existen "n" metodologías para la implantación del Aseguramiento de la Calidad, las cuales reciben muchos y muy variados nombres, dependiendo del autor y el enfoque; sin embargo ninguna de ellas es explícita, además de que todas ellas obvian la parte estadística, si es que llegan a mencionarla. La estadística es vital para el Aseguramiento de la Calidad y sin ella sería prácticamente imposible lograr el éxito, como sucede muy a menudo.

La estadística, como parte fundamental del Aseguramiento de la Calidad, debe ser aplicada por expertos en la materia, ya que la experiencia nos dice que los encargados de estas actividades típicamente son personal improvisado y generalmente sus resultados son muy pobres y dejan mucho que desear,

ocasionando con esto que los esfuerzos de otras áreas no den los frutos esperados.

La gama de las técnicas estadísticas es muy abundante, va desde el simple agrupamiento de datos basada en la estadística descriptiva, hasta la estimación más sofisticada de parámetros basada en la teoría de las probabilidades y las matemáticas elevadas. Es muy importante documentarse y entender el tipo de técnica necesaria para cada situación. Si se carece del conocimiento necesario para la utilización de técnicas muy elevadas, es obligatorio, con carácter de sobrevivencia, adquirir el conocimiento para aplicar cualquiera de estas técnicas.

Actualmente en el mundo de información en el que vivimos es muy fácil adquirir este tipo de conocimientos a través de cursos, diplomados, maestrías, grupos que se dedican a la certificación de empresas, asesores en calidad, congresos de calidad, libros, artículos, publicaciones científicas, instituciones que otorgan premios nacionales e internacionales, etc. De la misma forma, también se puede adquirir una muy variada gama de "software" estadístico para computadoras personales, con precios que van desde los muy económicos hasta los muy costosos, dependiendo de la necesidad que se tenga.

Garantizando que se cuenta con el personal adecuado en cada una de las áreas de la empresa y contando con el experto en la aplicación de las técnicas estadísticas podemos iniciar la utilización de la Metodología para la implantación del Aseguramiento de la Calidad:

La metodología propuesta garantiza el resultado exitoso de cualquier proyecto para la implantación del Aseguramiento de la Calidad, ya que cuenta con las etapas adecuadas y las actividades específicas en cada una de éstas. También cuenta con los elementos de entrada necesarios para iniciar

cada una de las actividades, así como con los elementos que se deben obtener al final de cada actividad y cada etapa.

La utilización de esta metodología nos garantiza el éxito de la implantación del Aseguramiento de la Calidad debido a que está basada en el enfoque de sistemas clásico, que actualmente es usado en múltiples sistemas: financieros, administrativos, comerciales, de información, de ingeniería, etc. y que ha sido totalmente probado.

Finalmente el utilizar y aplicar una metodología para el Aseguramiento de la Calidad -como la que aquí propongo- combinada con bases estadísticas firmes, debe indudablemente conducir a quién la utilice, al éxito en la elaboración de productos y en el desempeño de servicios, con la calidad y excelencia que nuestro México necesita cada día con más urgencia.

## Apéndices

Tabla A: Áreas bajo la curva normal tipificada de 0 a z.

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0754
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2258	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2996	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4303	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990
3.1	.4990	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
3.2	.4993	.4993	.4994	.4994	.4994	.4994	.4994	.4995	.4995	.4995
3.3	.4995	.4995	.4995	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4997
3.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4998
3.5	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998
3.6	.4998	.4998	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.7	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.8	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.9	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000

**Tabla B**

Factores de gráficas de control para  $\bar{X}$  y  $R$ ; factores para estimar  $s$  y  $R$ .

Límites de control superior para  $\bar{X} = LCS_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$

Límites de control inferior para  $\bar{X} = LCI_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$

Límites de control superior para  $R = LCS_R = D_4 \bar{R}$

Límites de control inferior para  $R = LCI_R = D_3 \bar{R}$

donde  $s = \bar{R}/d_2$

Número de observaciones en una muestra	$A_2$	$D_3$	$D_4$	Factores para la estimación de $\bar{R}$ : $d_2 = \bar{R}/s$
2	1.880	0	3.268	1.128
3	1.023	0	2.574	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.114	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.777	3.078
11	0.285	0.256	1.744	3.173
12	0.266	0.284	1.717	3.258
13	0.249	0.308	1.692	3.336
14	0.235	0.329	1.671	3.407
15	0.223	0.348	1.652	3.472

## **Bibliografía**

---

### **Libros Consultados**

- Armand Vallin Feigenbaum; Total Quality Control; Ed. McGraw-Hill New York third edition 1983.
- Acheson J. Duncan; Quality Control and Industrial Statistics; Ed. Richard D. Irwin Inc Fourth edition 1974.
- Bertrand L. Hansen, Prabhakar M. Ghare; Quality control and Application; Ed. Prentice-Hall, Inc., 1987.
- C. West Churchman; El Enfoque de Sistemas; Ed. Diana, S.A., 15a. impresión 1990.
- D.R. Cox and E. J. Snell; Applied Statistics Principles and Examples; Ed. Chapman and Hall New York 1981.
- Eugene L. Grant, Richard S. Leavenworth; Control Estadístico de Calidad; Ed. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. (CECSA) primera edición 1986, quinta impresión 1990.
- Howard S. Gitlow, Shelly J. Gitlow; Cómo Mejorar la Calidad y la Productividad con el Método Deming, (traducción Margarita Cárdenas); Ed. Norma S.A., 1994.

- Hitoshi Kume; *Herramientas Estadísticas Básicas para el Mejoramiento de la Calidad*; Ed. Norma S.A., 1992.
- Jerry Banks; *Principles of Quality Control*; Ed. J. Wiley New York, 1989.
- J. M. Juran, F.M. Gryna; *Análisis y Planeación de la Calidad*; Ed. McGraw-Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V., tercera edición, 1995.
- Joseph M. Juran; *Juran y la Planificación para la Calidad*; Ed. Díaz de Santos Madrid, 1990.
- Kaoru Ishikawa; *Guide to Quality Control*; Ed. Asian Productivity Organization 1982, 9th printing 1991.
- Kaoru Ishikawa; *¿Qué es el Control Total de Calidad?, la Modalidad Japonesa* (traducción del japonés al inglés por David J. Lu, del inglés al español por Margarita Cárdenas); Ed. Norma S.A., 1991.
- K.D.C. Stoodly, T. Lewis, C.L.S. Stainton; *Applied Statistical Technics*; Ed. Ellis Horwood Series, Mathematical and Its Applications, 1980.
- Murray R. Spiegel; *Probabilidad y Estadística*; Ed. McGraw-Hill, Inc., (traducido de la primera edición en inglés 1975), reimpresión 1992.
- Paul G. Hoel; *Introduction to Mathematical Statistics*; Ed. John Wiley & Sons, Inc., fifth edition, 1984.
- Paul G. Hoel, Sidney C. Port, Charles J. Stone; *Introduction to Statistical Theory*; Ed. Houghton Mifflin Company Boston 1971.

- Robert V. Hogg, Allen T. Craig; Introduction to Mathematical Statistics; Ed. Macmillan Publishing Co., Inc. New York fourth edition.
- Robert R. Johnson; Elementary Statistics; Ed. PWS-Kent Publishing Company, fifth edition.
- Stephen S. Willoughby; Probabilidad y Estadística; Ed. Publicaciones Cultural, S.A., 1969.
- Taro Yamane; Estadística; Ed. Arla, tercera edición.
- Walter Andrew Shewhart (Una transcripción de William Edwards Deming); Statistical Method From the View Point of Quality Control; Ed. Dover New York, 1986.
- W. Edwards Deming; Calidad, Productividad y Competitividad, la Salida de la Crisis; Ed. Díaz de Santos, S.A. Madrid, 1989.

#### **Normas Consultadas**

- Normas Oficiales Mexicanas Enero - Mayo 1993; Diario Oficial de la Federación, Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos.
- Norma Oficial Mexicana NOM-CC-1-1990 a NOM-CC-8-1990 y NOM-CC-9-1992 a NOM-CC-15-1992; Publicadas por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.