

# Las 7 Herramientas Básicas de la Calidad

Descripción de las  
herramientas  
estadísticas para  
mejorar la calidad  
aumentar  
productividad

**Juan Manuel Izar Landeta**  
**Jorge Horacio González Ortiz**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media  
San Luis Potosí, S.L.P. México, 2004

# **Las 7 Herramientas Básicas de la Calidad**

Juan Manuel Izar Landeta  
Jorge Horacio González Ortiz

# Las 7 Herramientas Básicas de la Calidad

Descripción de las 7 herramientas estadísticas para mejorar la calidad y aumentar la productividad

Juan Manuel Izar Landeta  
Jorge Horacio González Ortiz

Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media

---

San Luis Potosí, S.L.P., México, 2004

**Diseño y diagramación:**  
Carlos F. Lobato Moreno

**Corrección:**  
José de Jesús Rivera Espinosa

Derechos reservados *by*

© Universidad Autónoma de San Luis Potosí

© Juan Manuel Izar Landeta y Jorge Horacio González Ortíz

ISBN 970-705-021-7  
0810-00409-A 0255

---

Editorial Universitaria Potosina

# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	9
<b>Prólogo</b>	11
<b>Objetivos</b>	17
<b>Capítulo I</b>	
<b><i>LA CALIDAD: INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES</i></b>	19
1.1 Introducción	19
1.2 Definiciones	23
1.3 Inicios de la calidad como una disciplina aplicada	25
1.4 Los Gurús de la calidad y sus aportaciones	
W. Edwards Deming	25
Joseph M. Juran	34
Armand V. Feigenbaum	38
Phillip B. Crosby	41
Kaoru Ishikawa	43
Genichi Taguchi	46
Shigeo Shingo	48
1.5 ISO – 9000	49
1.6 Un comentario final sobre los gurús de la calidad	51

<b>Capítulo II</b>	
<b>TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS PARA EL MEJORAMIENTO</b>	<b>53</b>
2.1 Introducción	53
2.2 Conceptos estadísticos básicos	
¿Para qué nos sirve la estadística?	56
Variación	58
Universo y muestras	60
Medidas de tendencia central	62
Medidas de dispersión	64
Curva normal	67
2.3 Muestreo y control estadístico	69
2.4 Trabajo en equipo	70
Tipos de equipos	70
Ventajas de trabajar en equipo	71
La capacitación, un ingrediente fundamental	71
2.5 Herramientas básicas del mejoramiento en equipo	75
Tormenta de ideas	75
Multivoto	80
Matriz de prioridades	83
Diagrama de afinidad	85
2.6 Las 7 herramientas estadísticas	88
2.7 Proceso de solución de problemas en equipo	90
<b>Capítulo III</b>	
<b>LA HOJA DE REGISTRO DE DATOS</b>	<b>97</b>
3.1 Introducción	97
3.2 Objetivos de la Hoja de Registro de Datos	97
3.3 Tipos de Hoja de Registro de Datos	98
Hoja de registro de artículos defectuosos	98
Hoja para distribución del proceso de producción	102
Hoja de registro de localización de defectos	103
Hoja de registro para diagramas estratificados	104

Hoja de registro para calificaciones	106
Hoja de registro para diagramas de dispersión	109
3.4 Conclusiones	109
<b>Capítulo IV</b>	
<b><i>EL DIAGRAMA DE PARETO</i></b>	111
4.1 Introducción	111
4.2 Procedimiento de elaboración y aplicaciones	112
<b>Capítulo V</b>	
<b><i>EL HISTOGRAMA</i></b>	121
5.1 Introducción	121
5.2 Procedimiento de elaboración y aplicaciones	121
5.3 Habilidad del proceso	127
<b>Capítulo VI</b>	
<b><i>EL DIAGRAMA DE ESTRATIFICACIÓN</i></b>	147
6.1 Introducción	147
6.2 Procedimiento de elaboración y aplicaciones	147
<b>Capítulo VII</b>	
<b><i>EL DIAGRAMA CAUSA - EFECTO</i></b>	155
7.1 Introducción	155
7.2 Metodología de elaboración y aplicaciones	156
<b>Capítulo VIII</b>	
<b><i>EL DIAGRAMA DE DISPERSIÓN Y EL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN</i></b>	163
8.1 Introducción	163
8.2 Tabla de correlación	164
8.3 Análisis de correlación	168

8.4 Regresión; aplicación en una variable independiente	169
8.5 Regresión; aplicación en dos variables independientes	178
<b>Capítulo IX</b>	
<b>LOS GRÁFICOS DE CONTROL</b>	185
9.1 Introducción	185
9.2 Causas comunes y causas especiales de variación	188
9.3 Guía para la selección	188
9.4 Especificación de ingeniería	189
9.5 Gráfico de control por variables $\bar{X} - R$	190
9.6 Interpretación de resultados a través de la capacidad del proceso	202
9.7 Gráfico de control por atributos	206
<b>Glosario</b>	211
<b>Bibliografía</b>	215

# Agradecimientos

---

**E**n mi paso por la industria tuve la fortuna de conocer a muchas personas y recibir su influencia. Quiero en esta oportunidad dedicar este libro a esa gente que se cruzó en mi camino, pues lo que ahora soy en alguna medida se lo debo a ustedes. A mi madre, hermanos, por su cariño. A mi esposa e hijos por su comprensión y fe en mí. A Juan Manuel por su amistad.

**Jorge Horacio**

Les agradezco por su apoyo y comprensión a Ina y mis hijos. A mis padres y hermanos por su cariño. A Jorge por su amistad y por haber aceptado participar en este arduo trabajo, que espero valga la pena como un medio de mejora en nuestros diarios quehaceres.

**Juan Manuel**



# Prólogo

*Todos somos la solución* ■

Se encontraban cuatro ejecutivos alrededor de la mesa oval de juntas de la compañía para la cual trabajaban. La firma tenía varios años rescatando un prestigio que se perdió por falta de atención a los clientes. Se cumplía la regla: "Ganar un cliente es difícil, perderlo es fácil, recuperarlo casi imposible". Conflictos internos desviaron al personal de su objetivo de servicio y se perdió el mercado. Pero ahora era diferente, ahora el futuro les sonreía. Un cambio en la materia prima de la industria refresquera obligaría a la mayoría de los embotelladores, a incrementar su capacidad en tanquería de acero inoxidable. Por razones de precio, la antigua azúcar de caña sería sustituida por azúcar de frutas (fructuosa), esto haría el ciclo de elaboración más barato pero más complejo y entonces, se requerirían más tanques de preparación, así, parte de los beneficios económicos que el embotellador recibiría por el uso de la nueva azúcar, pasaría a ser de la compañía a través de la venta de tanques.

Era la oportunidad que habían estado esperando para penetrar y expandir el mercado y recuperar la posición perdida demostrando una nueva actitud, todo a través de un nuevo y novedoso producto. Tenían frente a ellos la posibilidad de vender centenares de tanques a la industria. Incluso, el pedido del primer tanque se había hecho, el prototipo estaba fincado.

–Tiene que ser un tanque diferente– decía el director general. –Será un tanque en el cual estarán puestos los ojos de todo el país, su calidad debe ser única y su diseño novedoso; no me interesa por ahora el costo de producción, quiero lo mejor –.

Mi objetivo como gerente de planta era claro, fabricar un tanque robusto, hermoso, cero mantenimiento e integrar el arte de la tecnología de control en él. El objetivo

de mercadotecnia era empezar a promocionar nuestra obra y captar así el mayor número de pedidos de tanques en el país. Recogiendo nuestras agendas nos retiramos rápidamente, cada cual a dar indicaciones para que el proyecto se hiciera una realidad.

Mandé llamar a mi cuerpo de ingeniería y a mi cuerpo de producción, deberían estar completamente informados, pues nada podía fallar. Durante la espera, contesté una llamada de mi esposa, en la cual me pedía no olvidar ir a la fiesta de fin de cursos de los niños y cumplir con la promesa de llevarlos de vacaciones, promesa que ya había roto en repetidas ocasiones y estimaba que hacerlo una vez más, podría tener consecuencias irreversibles en nuestro matrimonio, le prometí confirmárselo.

Después de tres semanas de arduo trabajo nuestra obra estaba terminada, el tanque era en verdad hermoso, parecía una pieza de joyería. Se realizó una celebración en planta, donde fueron invitados algunos directores y dueños de firmas embotelladoras.

Y ahí estaba, lucía como un platillo volador, el brillo del acero inoxidable perfectamente pulido lo hacía ver pequeño, aún y cuando su capacidad era de 25,000 litros. Un robusto reductor de velocidades en la parte inferior lo hacía lucir poderoso. Las solicitudes de cotizaciones no se hicieron esperar, los clientes querían nuestro tanque.

Ni tres días pasaron cuando el primer tanque estaba siendo remolcado hacia la planta de la embotelladora de Jalisco. El cuerpo de servicio de la compañía fue a instalarlo y a ponerlo en marcha, se capacitó a su personal en la operación.

El corazón del tanque era el sistema de agitación, el cual estaba formado por un enorme reductor de velocidad, un motor eléctrico y un sistema de poleas y bandas que transmitían el movimiento. Transformaba la alta velocidad de un motor de 5 caballos en potentes rotaciones de una turbina que, a razón de 60 revoluciones por minuto, agitaba el producto de manera tan violenta que era capaz de disolver el azúcar en el agua en apenas unos minutos.

—El mecanismo fue un éxito, ingeniero—, me comentaron los técnicos al regreso de la instalación, muy satisfechos del trabajo realizado.

No habían pasado muchos días, me encontraba en la oficina, cuando el teléfono sonó ferozmente y como siempre amablemente contesté. Era un mensaje de la

embotelladora de Jalisco donde me decían: “Se quemó el motor del tanque”. Algo consternado por la noticia e incrédulo, le pedí a mi *gerente de servicios* se pusiera en contacto con la embotelladora y aclarara lo que debería de ser un error. Mientras tanto, me comuniqué al almacén central para verificar la existencia de otro motor, sólo por si fuera necesario. Una hora después, el *gerente de servicios* subió a mi oficina para informarme que no era un error, había hablado con el *jefe de embotellado* y efectivamente el motor eléctrico se había quemado. Le pedí a mi *jefe de aseguramiento* que verificara los certificados de calidad del proveedor, los cuales garantizan que el motor que recibimos cumple con las especificaciones mínimas. Un técnico fue enviado ese mismo día, con un motor nuevo para que fuese cambiado, seguramente algo en la parte interna del motor hubo de fallar y originó esto, humedad tal vez. Le solicité a mi *gerente de servicios* que diera seguimiento a este problema y me informara continuamente. Al día siguiente me reciben con la grata noticia de que se cambió el motor y las pruebas fueron un éxito, ordené entonces la liberación de nuestro técnico para que se integrara a otras tareas y proseguimos la ardua labor dentro de nuestra planta.

Al siguiente día nuevamente tengo un llamado de embotelladora de Jalisco en donde el *jefe de embotellado* pide hablar conmigo y sin más me dice: –Su motor falló otra vez, nuevamente se quemó–, traté de tomar algunos datos como referencia, pero de una manera un tanto hosca me dio a entender que mejor fuéramos a reparar el problema. Consternado, mandé hablar a mi *gerente de ingeniería* y le comenté el hecho, le pedí además que hiciera un análisis de las causas posibles y en cuanto las tuviera, realizara una junta con el gerente de servicios, en la que personalmente también participaría, para no fallar. Mientras tanto, hablé al *jefe de mantenimiento* para que de forma urgente preparara un motor de mayor caballaje, ya que debería trasladarse ese mismo día. Ahora el equipo de servicio estaría formado por una persona de servicios y una persona de ingeniería, debíamos conjuntar al técnico hábil con el teórico capacitado para que pudiesen tomar mejores decisiones en este problema. Ordené también a los ingenieros planear su estancia por mayor tiempo, hasta asegurarse que todo estaba bajo control.

Pasaron tres días durante los cuales el desempeño del tanque fue normal, regresó mi equipo de personas a la compañía y tras darles la bienvenida, realizamos una junta para conversar sobre el origen del problema. Fue una junta donde se habló mucho sobre las posibles causas, pero la verdad era que no habían encontrado una que de manera clara y definitiva hubiera sido el origen del problema, incluso el gerente de ingeniería mencionó que la pintura del motor se estaba desprendiendo,

producto de un incremento anormal en la temperatura del mismo, lo cual probaba que el problema aún existía y que lo único que evitaba el que nuevamente el motor se quemara, era el exceso en diseño que teníamos en los elementos; la situación parecía estable, pero no lo era.

Días después recibí en mi oficina un llamado del presidente de nuestra compañía a nivel Latinoamérica, de una manera muy acelerada me dijo: –Ingeniero, están a punto de arruinarse las buenas relaciones con la cadena Jalisco, me dicen que no puedes poner en operación un tanque y que están perdiendo mucho dinero y cobertura de mercado y además cancelarán los pedidos de corcholata–. Traté de explicarle, pero no me dio oportunidad, solamente me dijo –ve por favor ahorita mismo y tú resuelve el problema–. Fui con mi director a informarle y de manera irónica me dijo: –Te habló a ti el presidente, es tu problema, resuélvelo–. Era el momento de la verdad, durante el cual se vería de qué madera estamos hechos. Un gerente de planta se pasa la vida pensando en cómo evitar la catástrofe, nuestra catástrofe y hoy las cosas no eran sencillas.

Fui a casa para empacar alguna ropa y los utensilios usuales de un viaje. Mi esposa e hijos insistían en acompañarme pues estaban de vacaciones, –no tiene sentido– les dije, –es un viaje de trabajo durante el cual voy a estar muy ocupado y no podré estar con ustedes -. Mi esposa parecía no entender y me informó que así como yo me iba, también ella se iría pero con su madre, unos días... sin hijos. Le pedí que me ayudara, que yo no sabía qué hacer con los niños, mamá estaba una vez más enferma y no me los podría cuidar. Al fin y tras confirmarle que iríamos muy pronto de vacaciones accedió y salí apresuradamente a la planta. Sin consultar a la embotelladora, tomé mi automóvil y me dirigí a Guadalajara, pero antes comenté a los especialistas del equipo de servicio y a los gerentes de ingeniería y servicio, que los esperaba a determinada hora en la embotelladora para tener una reunión. Llegando a la embotelladora estaba en la puerta para recibirme un hombre de alrededor de 50 años, era el *jefe de embotellado*, quien cruzado de brazos y golpeándose el mentón, me dijo: - Ingeniero, el problema tiene que quedar resuelto hoy mismo, desde mañana empezarán a cobrar el diferencial de producción que estoy teniendo por culpa de la ineficiencia de su tanque -. Le expliqué que entendía su disgusto y su posición, y que mi presencia era para resolver el problema, no hizo más que mencionar - tienes hasta el día de mañana a las 6 de la mañana, el licenciado está muy molesto -; después de escuchar la amenaza y entender que estaba en todo su derecho y era su posición hacerlo, me dirigí al interior de la planta; mientras caminaba dudé de mí, tuve temor.

Llegó mi equipo de servicio y mis gerentes y estuvimos verificando una vez más lo obvio, Pero, "¿qué más?, ¿qué más?", me preguntaba continuamente. Todo estaba normal, apoyamos al equipo de producción de la embotelladora para elevar su eficiencia, contener así el problema y a la vez ganar tiempo para encontrar la causa. Estuvimos 48 horas continuas dentro de la planta verificando hora tras hora las condiciones del tanque y ayudando a que la eficiencia de producción no bajara. ¡No había falla! ¿Qué estaba pasando?, no me podía retirar de esa compañía sin haber encontrado la solución de raíz al problema, nada me podría salvar si no encontraba una respuesta a la situación y en verdad no la tenía.

Un día por la noche, durante la cual mandamos traer la cena para no despegarnos del tanque, invité a los operadores del tercer turno a compartir los alimentos. –Ustedes ponen los refrescos y yo el lonche–, les dije y así lo hicimos. Terminada la cena, estuvimos conversando de todas las posibles causas por las que el motor se pudo dañar, la charla se alargó un poco y estuve anotando las opiniones que cada uno expresaba, escribía sobre los restos del papel envoltura de la cena, se valía que dijieran todo; todos estábamos en confianza y así entonces las barbaridades eran bienvenidas, además para mí, las alternativas estaban agotadas y así, cualquier idea era buena. Lo hice en una espina de pescado, bajo el procedimiento de las 7 M's. Uno de ellos dijo, –mire "inge", si quiere que **se solucione el problema** corran al Beto, ya se lo dije al jefe de embotellado pero no hace nada–. Su comentario arrancó la risa de algunos, a mí me desubicó y me hizo pensar que entre ellos debería haber problemas personales. Por no lastimar al joven, le seguí la corriente, –¿quién es Beto?–, le pregunté, –Beto es el despachador del almacén de la noche, ¡de veras! córranlo y ya; el tanque va a funcionar bien–. –Bueno, ¿y qué tiene que ver una cosa con otra?–, pregunté. Él insistía: –córranlo de verdad, y todo se arregla–. –Bueno, pero ¿qué tiene que ver Beto el del almacén de la noche, con un motor eléctrico, parte de un sistema motriz de un tanque agitador que se quemara?

–Mire– me dijo –el Beto es el que en la noche carga el tanque con azúcar–.

–Sí ¿y?–

–El azúcar la despacha en el carro de carga, de esos patines con ruedas, sube como 28 costales, que son los que hay que echarle al tanque, entonces el Beto lo que hace es que carga el carro, se viene todo ese pasillo largo corriendo a todo lo que da y antes de llegar, él se sube al carro y el carro se va solito y se estampa contra el reductor, ahí se frena y entonces yo he visto que ese golpe mueve al reductor, lo saca de su lugar, y el motor sufre el desalineamiento, luego, luego huele a quemado, ya después poco a poco y por el mismo trabajo regresa a su lugar, pienso yo -. En ese momento una sonrisa se dibujó en mi cara y palmeé la espalda del joven.

Se terminó la sesión y me dirigí al sistema de agitación para constatar que lo anterior fuese posible y lo era, el sistema de sujeción no era rígido y permitía ese desalineamiento temporal, durante el cual el motor se forzaba y se resentía. El golpe no se marcaba en el reductor debido a la fortaleza del fierro colado con que estaba construido.

Existen herramientas de sentido común, formas de pensamiento diferentes que son tan efectivas en la solución de problemas como las complejas teorías matemáticas, el caso es saber distinguir dónde aplicar unas y otras. En ocasiones, tanto conocimiento nos quita agilidad y complica lo que es sencillo. El aprecio por las cosas rebuscadas es una lamentable vanidad que lleva exactamente a nada y a ninguna parte, es una ociosidad. La solución a los problemas puede estar en la opinión del más humilde.

Colocamos una barandilla para proteger el tanque de golpes y explicamos a todo el personal el origen del problema y todo se aclaró en buenos términos.

El día de mi regreso, fueron a despedirme al estacionamiento de la embotelladora mis amigos, se acercó también el *jefe de embotellado* que ya entonces me confesó que hacía muchos años había trabajado para nuestra compañía haciendo tanques y a la fecha, no entendía por qué un día lo despidieron. Después de este episodio, entablé una buena relación profesional con él.

Regresé a casa y pude llevar a mi familia de vacaciones ese verano y sentado con mi esposa frente a un hermoso atardecer afianzamos nuestra relación, mientras los niños jugueteaban con las olas del mar.

Esta vivencia nos enseñó a los integrantes de nuestra organización que el elemento más importante en un sistema es el elemento humano, que toda iniciativa de mejoramiento y de solución de problemas debe partir de él y resolverse a través de él. Debemos aprender a escuchar a la gente, tomemos en cuenta sus opiniones, hagámoslos partícipes del proceso, comulguemos con una misión y seamos congruentes con ella, dotemos al personal de metodologías simples que faciliten la comunicación objetiva y el trabajo en equipo, resolvamos los problemas que la gente tiene en su trabajo y ellos se encargarán entonces de resolver los nuestros. Las 7 herramientas estadísticas constituyen una metodología simple que podemos poner en práctica en nuestras organizaciones, para lograr una mejor comunicación, propiciar el trabajo colaborativo y establecer un proceso de mejoramiento continuo.

**Jorge Horacio González**

# Objetivos

---

Este libro está dirigido a estudiantes de nivel medio superior y superior y a todos los profesionales interesados en encontrar formas para intentar mejorar las organizaciones a las que pertenecen. Podría utilizarse como texto de apoyo para la formación en calidad en las instituciones educativas y en los centros de trabajo.

Al terminar el proceso de aprendizaje de este texto, el lector podría contar con los conocimientos para:

- Señalar las principales razones por las que sería conveniente utilizar las 7 herramientas estadísticas en las organizaciones.
- Poder contribuir en el esfuerzo que hace su organización en buscar mejorar la calidad y la productividad.
- Impulsar el desarrollo personal del lector al poner en práctica esta tecnología administrativa en su quehacer diario.
- Fomentar el pensamiento estadístico como un rasgo de su persona y de la cultura de su organización.



# Capítulo I

## *La Calidad: Introducción y Antecedentes*

### 1.1 INTRODUCCIÓN

#### ***Breve historia de la Calidad***

El concepto de calidad siempre ha existido; está implícito en las leyes de la naturaleza; la misma teoría de la evolución de Charles Darwin nos sugiere que la naturaleza realiza cambios aleatorios en los seres vivos, mutaciones que cambian sus características y aptitudes adaptándolas a las exigencias del entorno, haciéndolas de mayor calidad. Según esta teoría los que son de mayor calidad sobreviven y dominan su raza, los otros tienden a desaparecer.

En la primera etapa de desarrollo del hombre su principal actividad era abastecerse de comida, vivía de la recolección. Al respecto, el cavernícola no hacía otra cosa que seleccionar los productos, no tenía posibilidades de variar la calidad, tan sólo de escogerla.

En la siguiente etapa, el hombre se hizo fabricante de sus propios utensilios, la etapa de la usufactura, que quiere decir, la elaboración de un producto para usarlo él mismo. Elaboraba herramientas como los cuchillos, los arcos, las flechas, vasijas, vestimentas; se dedicó a la crianza de algunos animales, hizo sus viviendas, se inició en la agricultura y de esta manera se pudo establecer por periodos más prolongados en los lugares, dejó de ser nómada. Ya no era la naturaleza la única responsable de la producción y de la calidad, ahora el humano empezó a tener actividades de manejar la calidad. Así pues, la calidad dejó de ser un oficio de recolección y selección y se adicionó a esto, las acciones por mejorar los productos que él hacía. En esta etapa las personas que elaboraban productos eran los mismos que los utilizaban, de esa manera el fabricante tenía el 100 % de

la información acerca del desempeño del 100% de sus productos, información de retroalimentación para mejorar la calidad de éstos.

Con el crecimiento demográfico de las tribus, éstas se transformaron en comunidades, los líderes se transformaron en gobernantes, este tipo de sociedades demandaron mayor organización de las tareas, de ahí nació la especialización de los trabajos, la versatilidad que debían tener las personas para satisfacer sus propias demandas se transformó entonces en manufactura. Los artesanos se hicieron especialistas en la fabricación de cierto tipo de instrumentos, el usuario y el productor dejaron de ser la misma persona, la comercialización sin embargo, siguió en manos del productor.

Durante esta época nació la actividad de capacitación de los artesanos. Los usuarios no tenían más que pocas opciones para comprar y así comparar la calidad. Conforme los pueblos crecieron, se incrementó la demanda y con ello se provocó la necesidad de más artesanos, que realizaban la misma actividad para satisfacer la demanda, surgió así la competencia entre ellos. Con ella, nació la creatividad expresada en nuevas formas de producción. La comercialización se separó en esos momentos de los centros de producción, perdiéndose así la comunicación directa entre los fabricantes del producto y los usuarios, pues aparecieron los intermediarios.

El crecimiento demográfico generó la proximidad entre los pueblos y el comercio entre ellos y con esto se desarrollaron las herramientas para la inspección y medición de los productos. En la antigua China, en el año 1600 a.C., bajo el poder de las dinastías Shang y Zhou, los talleres de artesanos eran propiedad del gobierno, el control de la calidad de este sistema se llevaba a través de dos organizaciones, una dedicada a la normalización y al establecimiento de estándares de calidad y la otra dedicada a la productividad. Es ésta la referencia más antigua que se tiene de una organización formal dedicada al control de calidad.

Vinieron los grandes proyectos de construcción, como las murallas y las pirámides, que exigían una gran cantidad de obreros, aparecieron en esa época los instrumentos de medición como la plomada, el nivel, la escuadra, los rodillos para conseguir superficies aplanadas. De lo anterior, se tiene conocimiento por los jeroglíficos, que esto aparece por el año 1450 a.C.

No fue sino en la revolución industrial de Inglaterra en 1750 d.C. con la introducción de maquinaria motorizada en la industria textil y metalúrgica, que las fábricas

desplazaron a los talleres y con esto inició la producción en masa. Con el uso de la maquinaria cambió el énfasis de la administración de la calidad, ya no preocupaba principalmente la destreza del trabajador, sino el desempeño de las máquinas y los procesos de fabricación.

La búsqueda del mejor desempeño de las fábricas, hace que a mediados del siglo XIX surja en E.U.A. la administración científica con Frederick W. Taylor, quien logró multiplicar varias veces los niveles de productividad mediante la aplicación de la Ingeniería Industrial. Esta época fue llamada la Segunda Revolución Industrial, y en esos tiempos se abrieron fábricas grandes como la de automóviles de Henry Ford, grandes recursos fueron dedicados a la investigación y desarrollo de la industria para la solución de algunos problemas de calidad, pero más que nada de productividad, aunque estos métodos de trabajo fueron criticados porque eran desmoralizantes, se creyó que los beneficios económicos adicionales a los trabajadores, compensaban las consecuencias sociales.

En 1926 la compañía Bell, subsidiaria de AT&T en E.U.A. inicia las primeras aplicaciones del Control Estadístico de Proceso (C.E.P.), el uso de las gráficas de control inventada por Walter A. Shewhart. Al C.E.P. se le llama el lenguaje de las máquinas. Las estrategias de calidad dejaron de ser correctivas como anteriormente lo eran y empezaron a predecir los defectos y a tomar acciones antes de que aparecieran, se aplicaron estrategias preventivas. Durante la Segunda Guerra Mundial hubo un gran impulso por la productividad, fue entonces que debido a los grandes volúmenes se tuvo que implementar la inspección por muestreo y la prevención de los defectos a través del control estadístico del proceso.

Al terminar la guerra y debido al gran desabasto, la calidad sufrió un gran tropiezo pues la producción y los volúmenes, eran más importantes que la calidad y como se fabricaba, se vendía.

Fue hasta después de 1945 que Japón se dio a la tarea de levantarse de los grandes destrozos de la guerra, cuando contrató a algunos expertos americanos para que impartieran los primeros cursos de control estadístico del proceso a fabricantes locales. En ese tiempo Japón se distinguía por su mala calidad. Se embarcaron en un proyecto nacional para incrementar la calidad de los productos japoneses y se logró actuar colectivamente uniendo el esfuerzo de todas las empresas.

Fue en 1950 cuando un consultor de E.U.A., especialista en Estadística y Calidad llamado Edwards Deming empezó a visitar Japón. Deming tuvo como alum-

nos a los líderes empresariales. En 1954 arribó a Japón J. M. Juran quien también impartió cursos de Administración de la Calidad. Habrá que resaltar que los avances obtenidos en Japón por Deming y Juran se debieron en gran parte a que el pueblo japonés tiene como rasgo cultural el trabajo en equipo y el respeto por la ancianidad. Tanto Deming como Juran fueron ignorados en su país, se enfrentaron a la soberbia de los tradicionalistas y sus teorías eran consideradas obvias y de sentido común.

En 1960 aparecieron en Japón los círculos de calidad dentro de las empresas, que consistían en un grupo de 5 a 8 trabajadores que se reunían en su lugar de trabajo para analizar los problemas de calidad y la búsqueda de soluciones. Los equipos eran entrenados en herramientas básicas de calidad, ellos mismos instrumentaban sus soluciones y proponían otras a la administración. En Estados Unidos destacan como empresas que trabajan con círculos de calidad: Ford Motors Co., AT&T y en Japón destacan empresas como Toyota y Sony. En el período de la postguerra los empresarios buscaban formas de producir barato, se dieron cuenta que el impacto que la calidad tenía sobre la productividad era muy fuerte y entonces se rompió el paradigma « la calidad cuesta» y se comprobó que la no calidad cuesta más.

El mundo empezó a demandar mayor variedad de los productos ofrecidos sin elevar los costos, los especialistas de calidad aconsejaban orientar los esfuerzos de calidad hacia el desarrollo de la capacidad de los procesos. Japón descubrió la importancia de investigar el nuevo enfoque de la calidad: enfoque hacia el cliente. La calidad es un juicio de valor relativo que un cliente le da a un producto o a un servicio con base a la capacidad que tiene este producto para satisfacer sus necesidades.

Apareció el Control Total de la Calidad en la década de 1970, el cual consiste en la participación de todos los trabajadores en la mejora continua de la calidad de todas las actividades que se realizan en la empresa.

En 1967 el Milagro Japonés se reconoce mundialmente durante un congreso mundial de Calidad en Estocolmo, Suecia.

En la década de 1980, la Organización Internacional de Estándares (I.S.O.), impulsada sobre todo por la industria automotriz y motivada por la apertura hacia los mercados internacionales, genera las normas ISO 9000, teniendo como objetivo el que todas las compañías que trabajan para este mercado pudieran hablar solamente en un lenguaje, el lenguaje de las empresas, el lenguaje de la calidad.

## 1.2 DEFINICIONES

La calidad forma parte intrínseca de la naturaleza, es un conjunto de conceptos que se encuentran ahí para implementarse y hacer las cosas mejor, hay que descubrirlos y al conocerlos nos parece un proceso lógico, de sentido común. Al igual que el hombre fue descubriendo las leyes de la Física como la gravedad y la inercia, hemos descubierto los conceptos de calidad que ahora podemos poner en práctica en la administración de cualquier tipo de organizaciones que involucre seres humanos, oficinas, escuelas, industrias o incluso en la familia, siempre con el objetivo de mejorar la calidad de vida del ser humano.

A continuación daremos algunas definiciones útiles de los conceptos relacionados con el tema de la calidad:

Es lo que el cliente necesita.

Es hacer las cosas bien a la primera.

Es cero defectos.

Es hacer las cosas bien de una vez y para siempre, siempre.

Es adecuación al uso.

Es cumplir especificaciones.

Es un compromiso individual por mejorar cada uno de nuestros actos, sobrepasando con ello lo que el entorno espera de nosotros.

### PRODUCTO

Lo que se vende al cliente, ya sea un bien o un servicio.

### SERVICIO

Atención que se presta al cliente, ya sea por sí sola, o bien, ligada a la adquisición de un producto o artículo.

### CLIENTE

Quien nos compra el producto, el usuario.

### PROVEEDOR

Aquella persona física o moral que provee el producto o servicio.

### PROCESO

Combinación de máquinas, herramientas, métodos, materiales y operadores, que buscan actuar en conjunto, a través de una secuencia de acciones, para dar como resultado un producto o servicio con determinada calidad.

### SISTEMA

Conjunto ordenado de métodos y procedimientos para llevar a cabo una función, el cual está delimitado en el universo, pudiendo ser abierto, si intercambia actividades con el exterior, o cerrado, si no lo hace.

### ACCIÓN CORRECTIVA

Serie de actividades encaminadas a mejorar algo, o bien, a solucionar un problema.

### ACCIÓN PREVENTIVA

Serie de actividades encaminadas a prevenir algún hecho no deseable.

### DEFECTO

Falla en la fabricación de un producto o en la prestación de un servicio, o bien que éste no reúne los requisitos previstos para hacerlo adecuado al uso para el cual se produjo.

El no cumplimiento de los requisitos de uso propuestos.

### ESPECIFICACIÓN

Requisitos o exigencias que un producto o servicio debe reunir.

### ATRIBUTOS

Datos cualitativos sobre las características de un producto o servicio, los cuales pueden ser usados para el análisis estadístico.

### EFICACIA

Es hacer lo adecuado, es decir, lo que sea bueno para la persona o la organización.

Resolver problemas, siempre.

### EFICIENCIA

Es hacer las cosas, obteniendo los mejores resultados con el mínimo de recursos.

Resolver problemas para siempre.

### EFFECTIVIDAD

Es lograr lo previsto de antemano, es decir, obtener lo planeado.

## PRODUCTIVIDAD

Es la relación de la producción dividida entre los insumos (mano de obra, materiales, energía, capital). Es también común en la práctica encontrar a la productividad expresada como los artículos producidos por unidad de tiempo.

### 1.3 INICIOS DE LA CALIDAD COMO UNA DISCIPLINA APLICADA

Edwards Deming visitó Japón al principio de la década de 1950, para dictar algunas conferencias sobre el tema de la Calidad, lo cual interesó a los japoneses, quienes casi de inmediato comenzaron a llevar estas teorías al medio industrial, adaptadas a la mentalidad japonesa, muy distinta de la occidental, observando que al mejorar la calidad de los productos, la productividad también se mejoraba, pues había menos desperdicios y menos retrabajo para procesar artículos defectuosos. De esta forma, Japón pasó del lamentable estado en el que se hallaba tras la segunda guerra mundial, a ser hoy en día, líder en muchos de los campos productivos de bienes y servicios. Este país, que cuenta con un poco menos de 400,000 kilómetros cuadrados (aproximadamente una quinta parte de nuestro país), ha mostrado al mundo entero, que al trabajar con calidad, se satisface a los clientes, se ganan los mercados y las organizaciones prosperan.

### 1.4 LOS GURÚS DE LA CALIDAD Y SUS APORTACIONES

#### ***W. EDWARDS DEMING***

Licenciado en ingeniería, especialista en la aplicación de las técnicas de muestreo estadístico, Deming obtuvo el grado de Doctor en matemáticas y física, fue el mejor alumno de W.A. Shewhart, famoso estadístico de los laboratorios Bell, quien en 1925 desarrolló las técnicas del control estadístico de procesos y las gráficas de control. El prestigio de Deming está relacionado con el éxito de la industria japonesa, del cual es considerado en gran parte responsable.

Con sus elocuentes conferencias a los líderes empresariales japoneses en 1950, logró un cambio en su mentalidad administrativa y los convenció de que la calidad era un arma estratégica. Sus seminarios fueron tan bien recibidos, que se le invitó a retornar en 1951 y 1952.

Con argumentos contundentes demostraba los altos costos en que una empresa incurre cuando no tiene un proceso planeado para administrar su calidad, el desperdicio de materiales y productos rechazados, el costo de retrabajar dos o

más veces los productos para eliminarles defectos, o las reposiciones y las compensaciones pagadas a los clientes por las fallas en los mismos.

Deming comparó los costos en el caso de los esfuerzos para aplicar los principios del control de calidad, y demostró que cualquier empresa podía obtener el doble de utilidades sin tener que construir otra fábrica, tan sólo administrando correctamente y reduciendo las pérdidas, denominadas "costos de calidad"

Hoy, en Japón se le considera un héroe nacional por su contribución a la calidad japonesa. En 1960, el emperador de Japón lo reconoció con la Segunda Orden del Tesoro Sagrado, uno de los máximos honores imperiales.

En 1951, la industria japonesa instituyó el Premio Deming a la Calidad, que se entrega a las industrias destacadas por la mejora en su calidad y a las personas que contribuyen a desarrollar el conocimiento de la calidad y confiabilidad de los productos.

### **APORTACIONES DE E. DEMING**

- Deming destacó por su impulso al uso del control estadístico de procesos para la administración de la calidad; motivó a los administradores a tomar decisiones con base en datos estadísticos y a evitar el sobrecontrol en los procesos, promovió el cambio planeado y sistemático a través del círculo de Shewhart, que la gente acabó por llamar *Círculo de Deming*.
- En sus mensajes a administradores, definió 14 puntos que éstos deben adoptar para asegurar la posición competitiva de sus empresas. Los criterios implican una nueva filosofía de negocios que busca permanencia en el largo plazo, en la que las decisiones se toman buscando la lealtad de los clientes, en vez de utilidades a corto plazo.
- Busca rediseñar las operaciones y los métodos de supervisión, para devolver al trabajador la dignidad de su trabajo al ser tomado en cuenta y valorar su capacidad para participar en el cambio.

### **CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO**

Como fue ya mencionado anteriormente, un proceso es una combinación de máquinas, herramientas, métodos, materiales y operadores, que buscan actuar en conjunto, a través de una secuencia de acciones, para dar como resultado un producto o servicio con determinada calidad.

El control estadístico de procesos es un lenguaje matemático con el cual los administradores y operadores pueden entender "lo que las máquinas dicen". Podemos preguntarnos ¿Por qué ocurren fallas? y los datos estadísticos del proceso nos darán la respuesta. Podemos distinguir las diferencias que se experimentan con el tiempo y cuáles son las causas de su variación.

Cuando es posible predecir estadísticamente en qué rango se presentará la variación de un proceso, los operadores pueden planificar su trabajo para cumplir la calidad exigida por los clientes.

### EL CÍRCULO DE DEMING O CÍRCULO DE CALIDAD DE SHEWHART

Deming impulsó a los japoneses a adoptar un enfoque sistemático para la solución de problemas. El enfoque conocido como *Círculo de Deming* o PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), impulsó también a la alta gerencia a participar más activamente en los programas de mejora de la calidad de la compañía.

El *Círculo de Deming* representa los pasos de un cambio planeado, donde las decisiones se toman científicamente, y no con base en apreciaciones.

El *Círculo de Calidad* consiste en cuatro etapas:

1. Planear. En ella se desarrollan las siguientes actividades:

- Primero se define la visión o metas: dónde se quiere estar en un tiempo dado (lugar, posición en la compañía o ingresos); en otras palabras, se establece el objetivo de la mejora.
- Establecido el objetivo, la persona realiza un diagnóstico para determinar la situación actual en todos los aspectos y definir su problemática o áreas de mejora, seleccionando las más importantes o las que más impacto tengan en su vida.
- Posteriormente se define una teoría de solución que permite llevar a la(s) variable(s) a mejorar a un punto óptimo.
- Finalmente, se define un plan de trabajo a implementar y se prueba la teoría de solución.

En esta etapa se define la estrategia que vamos a adoptar.

2. Hacer. En esta etapa, básicamente se pone en práctica el plan de trabajo, estableciendo algún control de seguimiento para asegurar el apego al programa.

Para llevar el control de la implementación, existen herramientas como la gráfica de Gantt o la Lista de Verificación de Tareas Realizadas, que permiten observar de manera gráfica el avance del proceso.

En esta etapa debemos asegurarnos que el nivel de conocimiento de los involucrados es suficiente para comprender y seguir el plan, las instrucciones. La capacitación juega un papel importante, sin capacitación no hay cambio.

3. Verificar. Se lleva a cabo la verificación, en la que se validan los resultados obtenidos y se comparan con los planeados. Para realizarla, es importante que se hayan establecido indicadores de resultados ya que "lo que no se puede medir, no se puede mejorar, al menos en forma sistemática".

Uno de los ejemplos más claros de la verificación de un resultado son los exámenes parciales en los ciclos escolares. A través de ellos, tanto el alumno como el maestro se dan una idea del aprovechamiento logrado y son capaces de tomar acciones correctivas. Se recomienda la aplicación de auditorías internas y externas.

4. Actuar. Para concluir las etapas del círculo de calidad, se actúa. Esto quiere decir que, si al verificar los resultados, se lograron los beneficios deseados, es importante sistematizar y documentar los cambios realizados, para asegurar la continuidad de los beneficios.

Si por el contrario, no se lograron los resultados, se actúa replanteando la teoría de solución hasta lograr los beneficios esperados.

El círculo de calidad se transforma en un proceso de mejora continua en la medida en que se utilice en forma sistemática: una vez logrados los objetivos del primer esfuerzo, se establece un proceso permanente de *Planear, Hacer, Verificar* y *Actuar* cuantas veces sea necesario, hasta resolver la problemática deseada.

## LOS 14 PUNTOS DE DEMING

Deming estableció los 14 puntos para la construcción de una cultura de administración de la calidad. Sus criterios marcan la pauta a seguir en el nuevo estilo administrativo y buscan erradicar las barreras para que el trabajador pueda sentir orgullo por su trabajo y para que los administradores asuman su responsabilidad respecto a la calidad.

Los 14 puntos pueden ser aplicados en cualquier tipo de industria, pequeña o

grande, de servicio o manufacturera, incluso en un departamento de una empresa, en la escuela, el hogar o la vida personal.

Los catorce puntos de la filosofía de Deming son:

1. Crear constancia del propósito de mejorar productos y servicios. Crear un plan para ser competitivo y asegurar la permanencia del negocio a corto, mediano y largo plazo, mediante:
  - a) La innovación:
    - Crear nuevos productos y/o servicios.
    - Crear nuevas tecnologías.
    - Desarrollar nuevos procesos y materiales.
  - b) La investigación y educación.
  - c) La mejora continua del diseño de los productos y servicios con un enfoque centrado en el cliente.
  - d) El mantenimiento de instalaciones y equipos.
  
2. Adoptar la nueva filosofía para entrar en la nueva era económica, conociendo las responsabilidades de la administración y estableciendo un liderazgo dirigido al cambio. Esta situación hace que la cultura de vivir con el error o los productos defectuosos no tengan cabida en un entorno de calidad, pues no le aseguran a la compañía su permanencia en el mercado. Los artículos defectuosos no son gratis. Corregir un defecto puede costar tanto o más que producir un artículo nuevo. El cambio de cultura no es fácil, lleva tiempo y constancia de propósito. Sólo la alta gerencia puede lograr este cambio para mejorar la competitividad del negocio y asegurar el éxito futuro.
  
3. Terminar con la dependencia de la inspección. La cultura de inspeccionar el 100 por ciento de la producción reconoce que con el proceso no pueden hacerse las cosas correctamente, o que las especificaciones no tienen razón de ser. La inspección siempre es tardía, ineficaz y costosa. Enviar producto de más en una orden o pedido para compensar los defectuosos, degradar un producto o reprocesarlo para que alcance la norma, no son acciones correctivas del proceso.

El nuevo objetivo de la inspección es la auditoría para comprobar las medidas preventivas o detectar cambios en el proceso. La calidad no viene de la inspección, sino del mejoramiento del proceso. Y esto es extensivo para todas las actividades que se desarrollan dentro de la organización.

4. Terminar con la práctica de decidir negocios con base en los precios. Ya no podemos dejar que la competitividad de un producto esté basada únicamente en el precio, menos ahora que las necesidades del cliente recaen en la uniformidad y confiabilidad de los productos.

El precio de un producto no tiene significado si no cumple con la medida de calidad por la que se está comprando y si continuamos con la práctica de comprar con base en el precio, encontraremos en muchas ocasiones productos de baja calidad y alto costo, o sea "Lo barato, sale caro". Por esa razón hay que buscar minimizar los costos totales y desarrollar proveedores confiables para cada artículo.

5. Mejorar el sistema de producción y servicios en forma constante y permanente para mejorar la calidad y productividad, y reducir los costos. Debemos trabajar en forma continua y reducir los desperdicios y errores, buscando mejorar la calidad en todas y cada una de las actividades de la organización. Un aumento continuo de la calidad producirá una mejora continua en la productividad.

La mejora en los procesos está en manos de la alta administración, con la aportación de los trabajadores que, aunque es vital, es generalmente limitada. La administración debe buscar la participación activa de los expertos en la materia: ingenieros, especialistas en producción, investigadores de mercado, vendedores, etc., para apoyar la mejora continua como cultura de trabajo.

6. Instituir métodos de entrenamiento en el trabajo. Históricamente, la capacitación y el adiestramiento se habían restringido a los conocimientos que los maestros transmitían a sus aprendices. En la historia moderna de la industria, estos procesos se han visto muy favorecidos y es común encontrar trabajadores pobremente entrenados o sin ningún entrenamiento. Los conocimientos que se requieren para adoptar esta filosofía son amplios, por lo que el entrenamiento debe reforzarse totalmente, evaluando la destreza y habilidades desarrolladas con métodos estadísticos que permitan decidir si es completo o no. Un gran problema del entrenamiento y la supervisión es que no hay un estándar fijo de cuál es un trabajo aceptable y cuál no lo es. El estándar se ligaba con la necesidad del supervisor de alcanzar su cuota diaria de producción en términos de cantidad y no de calidad.

7. Adoptar e instituir el liderazgo. La supervisión era una función mal entendida, confundida en muchas ocasiones con una vigilancia que no aportaba nada positivo al trabajador, sino todo lo contrario. La supervisión debe realizarse sobre

el sistema y es responsabilidad de la administración. Su principal aportación debe ser eliminar las barreras que impiden al trabajador hacer sus tareas con orgullo. El supervisor debe ser un líder que guíe a los trabajadores e informe a la alta administración acerca de las condiciones de las instalaciones, materiales y equipos que necesitan ser corregidos para optimizar la operación, defectos heredados, maquinaria sin mantenimiento, herramientas inadecuadas, etc.

8. Expulsar el miedo. Muchas personas, en especial quienes ocupan posiciones administrativas, no entienden lo que hacen, lo que está bien o mal y mucho menos saben qué hacer para aclararlo. Muchos tienen miedo de preguntar acerca de las tareas a realizar, en qué consisten, qué es aceptable y qué no, o tomar una posición al respecto.

Para lograr una mejor calidad y productividad, es necesario que la gente se sienta segura y no tenga miedo de expresar sus ideas, aclarar dudas, pedir instrucciones más precisas o informar acerca de las condiciones que dañan la calidad y la productividad.

Algunos resultados del miedo se presentan en el hecho de que los supervisores registran incorrectamente los resultados de una inspección, por temor a exceder su cuota de defectos en la producción. El miedo es un síntoma de fallas en la contratación, la capacitación, la supervisión y de la desatención a las metas de la empresa. El miedo desaparecerá en la medida en que la administración se vuelva un apoyo y los empleados desarrollen confianza en ella.

9. Romper las barreras entre los departamentos. El personal de los departamentos de Investigación, Diseño, Compra de Materiales, Venta y Recibo de Materiales, debe conocer los problemas que ocasionan los materiales y las especificaciones de cada una de las diferentes áreas de producción y ensamble. Desconocerlos traerá como consecuencia pérdidas en producción por el reproceso causado al usar materiales inadecuados. ¿Porqué no invertir tiempo en la fábrica para ver los problemas y oír acerca de ellos?
10. Eliminar las frases hechas, exhortaciones y las metas numéricas, como "cero defectos", o niveles de productividad, sin ofrecer un método para lograrlos. Estas exhortaciones provocan que el bloque de problemas que pertenecen al sistema presione a los trabajadores a resolverlos. Lo que se requiere no es una exhortación, sino una guía proporcionada por la gerencia para el mejoramiento del trabajo. La administración puede publicar carteles, donde explique a los trabajadores los esfuerzos que están realizando mes a mes para mejo-

rar los sistemas y aumentar la calidad y la productividad, sin impactar las cargas de trabajo. La gente entendería con esto que la administración está asumiendo su responsabilidad.

11. Eliminar los estándares de trabajo y metas numéricas, pues normalmente éstos sustituyen al liderazgo. Las cuotas que toman en cuenta sólo la cantidad, ignorando la calidad, son una garantía de ineficiencia y de alto costo. Los estándares de trabajo garantizan que la compañía obtendrá cierta cantidad de artículos defectuosos y desperdicios, especificando que nunca se mejorarán. Los estándares establecidos en este sentido, son manifestaciones de la incapacidad de entender y proporcionar una supervisión apropiada.

La gerencia que está interesada en incrementar sus utilidades, deberá eliminar estándares de trabajo que no incluyan los parámetros de calidad y costo.

12. Eliminar barreras que impidan alcanzar el sentimiento de orgullo al trabajador. ¿Cómo puede estar alguien orgulloso de su trabajo si no sabe cuándo éste es aceptable o no?

Los problemas que se presentan en tal caso son:

- Inspectores que no saben cuándo el trabajo está bien y cuándo no.
- Los instrumentos de calibración no sirven.
- Los supervisores presionan por cantidad y no por calidad.
- Materiales defectuosos.
- Se corrigen errores de pasos anteriores.
- Se cumple con las cuotas preestablecidas.
- Máquinas descompuestas o desajustadas.

Estas barreras pueden ser uno de los más importantes obstáculos para la reducción de costos y el mejoramiento de la producción. Sólo la administración puede eliminar las barreras que impiden al trabajador sentir orgullo por el trabajo que desarrolla.

13. Instituir un programa activo de educación y autodesarrollo para empleados. Es necesario que la administración incorpore algunos métodos estadísticos sencillos para el control de la operación diaria. Para ello se requiere capacitar a las personas en el uso de la estadística y su aplicación en tareas de compras, calidad, ventas, etcétera. Unas pocas horas bajo la guía de un instructor competente suelen bastar para empezar con los trabajadores y supervisores que deseen adoptar estos métodos.

14. Involucrar a todo el personal en la transformación. La alta administración requerirá la orientación de un consultor experimentado, aunque éste no podrá asumir las obligaciones que a ella competen. Una tarea importante del consultor será formar maestros e instructores en métodos estadísticos, pero la principal será desarrollar junto con un estadístico de la compañía, una estructura de calidad que pueda desarrollar sus funciones sin la necesidad de su presencia.

### PLAN DE ACCIÓN

Deming provee también un plan de acción para el cambio de siete puntos, que van desde la problemática de administración en la aplicación de los 14 puntos, hasta las grandes causas de quiebra y obstáculos que afectan a la mayor parte de las compañías del mundo.

- Muy poca constancia en el propósito.
- Énfasis en las utilidades a corto plazo.
- Administrar con base en la evaluación del desempeño y reconocimientos al mérito.
- Demasiados cambios en la administración.

Los obstáculos que Deming vio, además de las causas de quiebra, son variados: motivación, educación, uso de estándares de trabajo y dependencia de nuevas tecnologías.

Los pasos del plan de acción de siete puntos de Deming son los siguientes:

1. Generación del plan de acción para eliminar la problemática de la administración en la aplicación de los 14 puntos, para resolver los problemas críticos y reconocer los obstáculos.
2. La administración debe generar un sentimiento de orgullo y energía hacia el plan de acción.
3. La administración debe explicar a los empleados del porqué de la necesidad del cambio.
4. División de todas las actividades de la empresa en etapas, identificando los clientes de cada una de ellas. Se inicia una mejora continua de los métodos en cada etapa, trabajando en equipo para la mejora de la calidad.

5. Iniciar tan pronto como sea posible la construcción de una organización que conduzca a la mejora continua. El *Círculo de Deming* es el procedimiento más útil para mejorar cualquier etapa.
6. Todos los trabajadores deberán tomar parte en los equipos para mejorar las entradas y salidas de cada etapa.
7. Involucramiento de todos los empleados en la construcción de la organización para la calidad.

### **JOSEPH M. JURAN**

Nacido en Estados Unidos, inició su carrera profesional como ingeniero electricista en 1924, y en 1951 publicó su primer libro, *el Manual de Control de Calidad*, que lo encumbró internacionalmente. En el primer capítulo del manual titulado "La economía de la calidad", presentó su famosa analogía de los costos de calidad: "Hay oro en la mina". Al igual que Deming, Juran fue también invitado a Japón a principios de los cincuenta por la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros (JUSE), con el fin de conducir seminarios para ejecutivos de nivel alto y medio. Sus conferencias tienen un fuerte contenido administrativo enfocado a la planeación, organización y responsabilidades de la administración en la calidad y en la necesidad de establecer metas y objetivos para la mejora.

Enfaticó que el control de la calidad debe realizarse como una parte integral del control administrativo.

La amplia experiencia laboral de Juran como ingeniero, ejecutivo industrial, administrador público, profesor universitario, árbitro laboral, director corporativo y consultor, lo ha hecho enriquecer su ámbito dedicándose no sólo a la calidad, sino a los principios comunes de la actividad administrativa.

Ha recibido más de 30 medallas honoríficas en 12 países y, como Deming, la más alta condecoración que puede obtener un ciudadano extranjero en Japón: la Segunda Orden del Tesoro Sagrado, que le fue entregada por el emperador, como reconocimiento al desarrollo del control de calidad en Japón y la facilitación de los lazos de amistad entre ese país y los Estados Unidos.

### **APORTACIONES DE JURAN**

Hay muchos aspectos en el mensaje de calidad de Juran. Algunos de los prin-

cipales son su definición de la calidad de un producto como "adecuación al uso"; su "trilogía de la calidad"; el concepto de "autocontrol" y la "secuencia universal del mejoramiento".

### **ADECUACION AL USO**

La adecuación al uso implica todas aquellas características de un producto que el usuario reconoce que lo benefician. La adecuación al uso siempre será determinada por el usuario, no por el productor, el vendedor o la persona que repara el producto.

La calidad de diseño es la parte de la calidad que asegura que el producto fabricado satisfaga las necesidades del usuario y que su diseño contemple el uso que se le va a dar. Para que esto se lleve a cabo tiene que realizarse primero una completa investigación del mercado, donde se definen cada una de las características del producto y las necesidades del cliente, para posteriormente establecer las especificaciones del proceso.

La disponibilidad es otro factor de calidad de la adecuación al uso. Esta parte de la calidad del producto se define durante el uso del producto y tiene que ver con su desempeño y su vida útil. Si falla una semana después de comprado, entonces no tiene buena disponibilidad, aunque aparentemente haya sido la mejor opción de compra. Debe asegurarse que el producto, una vez recibido por el usuario, proporcione el servicio para el que fue diseñado, en forma continua y confiable y, en el caso en que se requiera mantenimiento, éste sea sencillo de realizar, con instrucciones fáciles de entender y de uso amigable.

Por último, el servicio técnico del producto define la parte de la calidad que tiene que ver con el factor humano de la compañía. El servicio de soporte técnico debe tener una velocidad de respuesta óptima, ser íntegro y competente, es decir, que los empleados estén bien capacitados y den la confianza al cliente de que está en buenas manos.

### **LA TRILOGÍA DE LA CALIDAD**

De acuerdo con Juran, el mejoramiento de la calidad se compone de tres tipos de acciones:

- Planeación de la calidad.
- Control de calidad.
- Mejora de nivel o cambio significativo (*breakthrough*).

En un proceso existente, se empieza con las acciones de control y en uno nuevo, con las de planeación.

*Acciones de control.* Un proceso no se puede mejorar si antes no está bajo control, o sea, que su variación tenga un comportamiento normal. Los procesos que no están bajo control presentan la influencia de causas especiales de variación, cuyos efectos son tan grandes que no permiten ver las partes del proceso que se deben cambiar. Las oportunidades de mejora son externas al sistema. Realizar acciones en el sitio de trabajo, implica eliminar las causas especiales. Así, se reduce la variación del proceso a través del personal directamente involucrado, pero normalmente no se cambia el nivel promedio de calidad.

*Acciones de mejora de nivel.* Éstas van encaminadas a realizar cambios en el proceso que nos permitan alcanzar mejores niveles promedio de calidad, para lo cual hay que atacar las causas comunes más importantes, estas acciones son responsabilidad de la gerencia.

*Acciones de planeación de Calidad.* En ellas trabajamos para integrar los cambios y nuevos diseños de forma permanente a la operación normal del proceso, buscando asegurar no perder lo ganado. Los cambios pueden provenir de acciones de mejora, de acciones de control o de rediseño, para satisfacer nuevos requerimientos del mercado.

## PLANEACIÓN DE LA CALIDAD

En su libro de *Planeación para la Calidad*, Juran presenta una guía para desarrollar la planeación de la calidad en toda empresa. Su creencia principal es que "La calidad no se da por accidente, debe ser planeada". La planeación de la calidad es el proceso de preparación para alcanzar objetivos de calidad. "El mapa de la planeación de la calidad" de Juran consiste en los siguientes pasos:

1. Identificar quién es el cliente.
2. Determinar las necesidades de los clientes.
3. Traducir esas necesidades al lenguaje de la compañía.
4. Desarrollar un producto que pueda responder a esas necesidades.
5. Optimizar las características del producto, de forma que cubran las necesidades de la empresa.

6. Desarrollar un proceso que pueda producir el producto.
7. Optimizar el proceso.
8. Probar que el proceso pueda producir el producto en condiciones normales de operación.
9. Transferir el proceso a operación.

## **AUTOCONTROL**

Tanto Deming como Juran sostienen que el 85% de los problemas de calidad son responsabilidad de la administración y no de los trabajadores. La razón es que en la mayoría de las compañías estadounidenses, los administradores no han organizado el trabajo para llevar a sus trabajadores a un estado de AUTOCONTROL.

Cuando el trabajo se organiza de manera que le permita a una persona tener control total sobre el logro del resultado planeado, la persona puede decir que el trabajo está en un estado de AUTOCONTROL y que sólo así se le puede hacer responsable de los resultados en calidad y cantidad. "AUTOCONTROL" es un término aplicable tanto a la gerencia de una compañía como a una persona que trabaja en un turno. Para que alguien pueda decir que está en un estado de autocontrol, debe tener los siguientes elementos:

1. Saber cuál es el resultado que se espera de su puesto, cuáles son los niveles de calidad que debe obtener.
2. Tener los medios para saber si lo está logrando; esto es, contar con los indicadores y sistemas de medición para conocer la calidad que está produciendo y tener la información en el tiempo preciso.
3. Tener los recursos para lograr estos niveles de calidad, o para corregirlos en caso de desviación. Ello implica estar perfectamente capacitado para desempeñar su trabajo, tomar medidas correctivas y preventivas, tomar a tiempo las decisiones requeridas y contar con las herramientas y materiales necesarios.

Para Juran, toda la compañía tiene una responsabilidad especial en la mejora de la calidad. Todos los departamentos forman parte de una cadena interna de servicios que se deben apoyar para un mismo fin. Así lo expresó en el modelo de la espiral de la calidad. El trabajo de Juran enfatiza la necesidad de contar con herramientas y conocimientos específicos para conducir con éxito la función de calidad. Resalta la necesidad de vigilar continuamente al cliente en todas las fun-

ciones. Juran cree que el entrenamiento a largo plazo para incrementar la calidad debería iniciarse en los niveles altos de la organización, aunque sabe que esto irrita a los altos ejecutivos. Los altos ejecutivos creen, instintivamente, que ellos saben lo que se necesita hacer, y que la capacitación es para otros, los trabajadores, supervisores e ingenieros. Es tiempo para reexaminar estas creencias.

### **ARMAND V. FEIGENBAUM**

El doctor Armand V. Feigenbaum es el creador del concepto de calidad total, en el cual sostiene que un acercamiento sistemático o total de la calidad requiere la participación de todos los departamentos de la empresa –no sólo de producción– en el proceso de calidad. La idea es construir la calidad desde las etapas iniciales, en lugar de inspeccionarla y controlarla después de lo hecho.

### **APORTACIONES DE FEIGENBAUM**

En su libro *Principios de control de calidad: principios, prácticas y administración*, Feigenbaum propone inicialmente cambiar los métodos técnicos de control de calidad, al control de calidad como método para hacer negocio. De este modo, pone énfasis en el punto de vista administrativo y considera a las relaciones humanas como fundamento de las actividades de control de calidad.

Feigenbaum sostiene que los métodos individuales, como la estadística o el mantenimiento preventivo, son segmentos de un programa exhaustivo de Control de Calidad. El sistema de calidad lo define de la siguiente manera: Un sistema eficaz para coordinar el mantenimiento de la calidad y los esfuerzos de mejora de varios grupos en una organización, de tal forma que se optimice el costo de producción para permitir la completa satisfacción de los clientes.

Feigenbaum subraya que la "calidad" no significa "mejor" sino "lo mejor para el cliente en servicio y precio". En el control de calidad, la palabra "control" representa una herramienta de la administración, consistente en cuatro pasos:

- a) Definir las características de calidad que son importantes.
- b) Establecer estándares deseados para esas características.
- c) Actuar cuando se exceden los estándares.
- d) Planear mejoras en los estándares de calidad.

El control de calidad es visto como parte de todas las fases de los procesos de

producción en la industria, desde la especificación del cliente hasta la venta del producto al mismo, pasando por diseño, ingeniería y ensamble, terminando con el empaque y embarque del producto al cliente, y la satisfacción de éste con el servicio.

Se requiere establecer controles eficaces sobre los factores que afectan la calidad del producto en todas las etapas importantes del proceso de producción. Estos controles o trabajos de control de calidad se clasifican en:

- a) Control de nuevos diseños.
- b) Control de recepción de materiales.
- c) Control del producto.
- d) Estudios especiales de proceso.

Feigenbaum argumenta que los métodos estadísticos se usan en un programa de control de calidad cuándo y dónde se requieren y pueden ser útiles. Sin embargo, dichos métodos son sólo parte del patrón de control de calidad administrativo.

El punto de vista estadístico tiene un profundo efecto en el control de calidad moderno. Particularmente, en el reconocimiento de la variación en calidad de un producto, la cual debe estudiarse constantemente en:

- Lotes de productos.
- Equipos en operación.
- Diferentes lotes del mismo artículo.
- Las características cruciales para la calidad.

Finalmente, Feigenbaum propone que el programa debe desarrollarse de manera gradual dentro de la planta o empresa.

Los programas de control total de la calidad son altamente eficaces en el aspecto de costos, pues sus resultados en el nivel de satisfacción del cliente reducen los costos de operación y de servicio y mejoran la utilización de los recursos. Además, con ellos se crea un valioso marco de tiempos estándar de trabajo.

Un sistema de Calidad Total puede definirse como sigue: El acuerdo, en todos los niveles de la empresa, para establecer una estructura de operación documentada en forma efectiva, técnicamente integrada, con procedimientos administrativos y rutas para coordinar las actividades del personal, la operación de las máqui-

nas y la información en el más práctico camino para asegurar la satisfacción del cliente y optimizar los costos de calidad.

## **COSTOS DE CALIDAD**

Los costos de calidad pueden definirse como aquellos costos indirectos incurridos por una industria para asegurar al cliente un producto de calidad. Se dividen, de acuerdo con su origen en:

- Costos de prevención.
- Costos de evaluación.
- Costos de fallas internas.
- Costos de fallas externas.

*Los costos de prevención.* Son aquellos en que se incurre para evitar las fallas y sus costos. Los conceptos usualmente manejados en esta categoría son:

- Costos de planeación.
- Revisión de nuevos productos.
- Entrenamiento.
- Control de procesos.
- Adquisición y análisis de los datos de calidad.
- Reportes de calidad.
- Inversiones en proyectos de mejora.

*Los costos de evaluación.* Son aquellos en que se incurre al medir las condiciones del producto en sus etapas de producción. Los conceptos considerados en esta etapa son:

- Inspección de materias primas.
- Inspección y pruebas del proceso del producto.
- Mantenimiento de la precisión de los equipos de medición.
- Evaluación de inventarios.

*Los costos de fallas internas.* Son aquellos incurridos por la generación de defectos durante la operación hasta antes del embarque del producto. Los conceptos incluidos son:

- Desperdicios.
- Reprocesos.
- Pruebas.
- Fallas de equipo.
- Pérdidas por rendimientos.

*Los costos de fallas externas.* Son generados por defectos en el producto una vez que son embarcados. Los conceptos en esta área son:

- Ajuste de precio por reclamaciones.
- Retorno de productos.
- Descuentos.
- Cargos por garantía.

### **PHILLIP B. CROSBY**

Crosby, carismático consultor en calidad en los Estados Unidos, se ha distinguido por ser un excelente vendedor de los conceptos de calidad total en las empresas. Presidente de su propia empresa de consultoría y del Colegio de Calidad en Winter Park, Florida, se inició como inspector de calidad, y trabajó en la compañía telefónica ITT (International Telephone and Telegraph Corp.) como Director de Calidad y Vicepresidente Corporativo, responsable de la calidad de todas las dependencias de la compañía en todo el mundo.

En 1979 publicó su libro *La Calidad No Cuesta*, en el cual concibe el gasto para asegurar la calidad de un producto, como la inversión de mayor rentabilidad que una compañía puede hacer, de tal forma que la calidad se paga sola con sus beneficios. De aquí su afirmación de que "La calidad no cuesta, es gratis".

Crosby dice que "Hacer las cosas bien la primera vez, no añade costo al producto o al servicio; pero si se hacen mal, hay que corregirlas posteriormente, y esto sí representa costos extra para el productor y el cliente".

Según sus estimaciones, las organizaciones que no aplican la administración de la calidad gastan del 20 al 40% de sus ventas en retrabajos, desperdicios, descuentos por calidad inferior, pago de garantías y daños a los clientes, y otros costos relacionados con la mala calidad. Sostiene que la calidad no es sólo responsabilidad del departamento de calidad o del de producción, sino de todos los empleados de la organización. La calidad está en la gente que hace las cosas, no con las cosas que hace la gente.

Más adelante, Crosby publicó otro bestseller llamado *Calidad sin Lágrimas*, en el cual explica cómo el involucramiento de toda la organización en el proceso de la calidad se resume en el trabajo en equipo.

## **APORTACIONES DE CROSBY LOS CUATRO FUNDAMENTOS DE LA CALIDAD**

La administración por calidad se basa en cuatro principios fundamentales:

1. La calidad se define como el cumplimiento de los requisitos, no como la excelencia.
2. El sistema para asegurar la calidad es la prevención, no la evaluación.
3. El estándar de desempeño tiene que ser cero defectos, no el “así está bien”
4. La calidad se mide por los costos del incumplimiento, no por los indicadores del proceso.

## **LOS 14 PASOS DE LA ADMINISTRACIÓN POR CALIDAD**

Para aplicar los cuatro principios fundamentales de la calidad a todas las acciones de la organización, es necesario que los empleados formen parte de un programa de mejora de la calidad y sigan los catorce pasos de la administración por calidad:

1. Establecer el compromiso de la dirección con la calidad.
2. Formar el equipo para la mejora de la calidad (EMC).
3. Capacitar al personal en el tema de la calidad.
4. Establecer mediciones de calidad.
5. Evaluar los costos de calidad.
6. Crear conciencia sobre la calidad.
7. Tomar acciones correctivas.
8. Planificar el día “cero defectos”.
9. Festejar el día “cero defectos”.
10. Establecer metas.
11. Eliminar la causa del error.
12. Dar reconocimiento.
13. Formar consejos de calidad.
14. Repetir todo el proceso.

Toda organización que aplica la administración por calidad atraviesa por seis etapas de cambio, llamadas las 6C's.

1. Comprensión.
2. Compromiso.
3. Competencia.
4. Comunicación.
5. Corrección.
6. Continuidad.

1. La comprensión comienza en el nivel directivo, con la identificación y comprensión total de los cuatro principios fundamentales de la administración por calidad y termina con la comprensión de todo el personal.
2. En el compromiso, la organización, liderada por la administración, establece un compromiso con la calidad y con sus cuatro principios fundamentales.
3. Para lograr la competencia, se define un método o plan en la organización que garantice que todos entienden y tienen oportunidad de participar en el mejoramiento de la calidad.
4. La organización debe contar con un plan de comunicación que ayude a documentar y difundir las historias de éxito.
5. La corrección implica contar con un sistema formal que incluya a todos los departamentos y empleados, para que arranquen los problemas de incumplimiento.
6. Para garantizar la continuidad se debe dar a la calidad la prioridad número uno entre los aspectos importantes del negocio.

Otra responsabilidad de la administración es aportar las tres T's: Tiempo, Talento y Tesoro:

1. El directivo debe invertir su tiempo en las actividades del programa de calidad.
2. Debe aportar su capacidad y conocimiento participando en el equipo de mejoramiento continuo, en algunos equipos de acciones correctivas y en actividades de calidad.
3. Debe aprobar los recursos para la implantación de soluciones propuestas por los equipos de acción en calidad.

### **KAORU ISHIKAWA**

El doctor Ishikawa obtuvo la licenciatura en química aplicada en 1939, en el Departamento de Ingeniería de la Universidad de Tokio. Fue Profesor Asistente y después Profesor de dicha Universidad, donde obtuvo su Doctorado en Ingeniería en 1960. Ha sido reconocido con diversos premios: el *Deming*, el *Nippon Keizai Press*, el *Industries Standardization* por sus escritos sobre el control de calidad y en 1971, el *Grant* de la Asociación Americana de Control de Calidad, por su Programa de Educación en Control de Calidad.

## **APORTACIONES DE ISHIKAWA**

Ishikawa puso especial atención en desarrollar el uso de métodos estadísticos prácticos y accesibles para la industria. En forma sencilla, su trabajo se centra en la recopilación y presentación de datos, el uso del diagrama de Pareto para priorizar las mejoras de calidad y el diagrama causa-efecto, también llamado diagrama de Ishikawa o espina de pescado.

De hecho, una valiosa aportación de Ishikawa es el diagrama causa-efecto que lleva su nombre. Ishikawa lo desarrolló en la Universidad de Tokio en 1943, para explicar a los ingenieros de la acerera Kawasaki la relación entre algunos factores y la calidad del producto. El diagrama fue adoptado después en toda la industria japonesa y extranjera.

## **CONTROL DE CALIDAD EN TODA LA EMPRESA**

A Ishikawa se le relaciona con el movimiento de control de calidad en toda la empresa, iniciado en Japón entre 1955 y 1960, después de las visitas de Deming y Juran. De acuerdo con él, el control de calidad en Japón se caracteriza por la participación de todos, desde los altos directivos hasta los empleados de más bajo rango, más que por los métodos estadísticos de estudio.

Así como en el proceso participan los departamentos de ingeniería, diseño, investigación y producción, lo hacen también los de ventas, materiales y los administrativos como planeación, contabilidad y recursos humanos.

Los conceptos y métodos de control de calidad se usan lo mismo para resolver problemas en los procesos de producción, control del abastecimiento de materiales, control del diseño de nuevos productos, así como para apoyar a la alta dirección en la revisión de políticas, solución de problemas de ventas, personal y administración. Las auditorías de calidad, internas y externas, forman parte de esta actividad.

El doctor Ishikawa expone que el movimiento de control de calidad en toda la empresa no se dirige sólo a la calidad del producto, sino también a la calidad del servicio después de la venta, la calidad de la administración, de la compañía, del ser humano, etc. Los efectos que se logran son:

1. La calidad del producto se ve mejorada y llega a ser más uniforme; se reducen los defectos.
2. Mejora la confiabilidad de los productos.

3. Bajan los costos.
4. Los niveles de producción se incrementan, es posible elaborar programas más racionales.
5. Se reducen los desperdicios y reprocesos.
6. Se establece y mejora la técnica.
7. Se reducen los gastos por inspección y pruebas.
8. Se racionalizan más los contratos entre vendedor y comprador.
9. Crece el mercado para las ventas.
10. Mejora la relación entre los departamentos.
11. Disminuyen los datos y reportes falsos.
12. Se discute con más libertad y democracia.
13. Las juntas se realizan más tranquilamente.
14. Las reparaciones y las instalaciones de equipo y servicios se hacen más racionalmente.
15. Mejoran las relaciones humanas.

### **CÍRCULOS DE CALIDAD**

La naturaleza y los objetivos de los círculos de calidad varían según la empresa en que se implanten. En Japón, se trata por lo general de un grupo voluntario de 5 a 10 trabajadores del mismo taller, quienes se reúnen regularmente, encabezados por un supervisor, asistente de supervisor o un trabajador líder. Las metas de los círculos de calidad son:

1. Contribuir a la mejora y el desarrollo de la empresa.
2. Respetar las relaciones humanas y construir talleres que ofrezcan satisfacción en el trabajo.
3. Descubrir las capacidades humanas mejorando su potencial.

Los miembros de los círculos de calidad aprenden a dominar el control estadístico de calidad y otros métodos relacionados y usados para mejorar la calidad, estandarizar la operación y lograr resultados significativos en la mejora de la calidad, reducción de costos, aumentar la productividad y la seguridad. Se enseñan siete herramientas a todos los empleados:

1. La gráfica de Pareto.
2. El diagrama Causa-Efecto.
3. La estratificación.
4. La hoja de verificación.
5. El histograma.
6. El diagrama de dispersión.
7. Gráficos de control.

Los miembros del círculo reciben capacitación continua en las áreas de control y mejora. Cuando es posible, el mismo círculo pone en práctica las soluciones aprendidas; en otras ocasiones, sus integrantes presionan para que las realice la alta gerencia, siempre dispuesta a escuchar y a actuar, dado su compromiso con los círculos. Los miembros de los círculos reciben reconocimientos no financieros por las mejoras conseguidas.

Aún en Japón, muchos círculos de calidad han fracasado, bien sea por el escaso interés de la administración o por su intervención excesiva. En cambio, muchos han tenido éxito. Los círculos han llegado a contar con más de 10 millones de integrantes, sus beneficios suelen considerarse menores, pero si se suman las mejoras obtenidas, las ventajas para la empresa aumentan sustancialmente. Acaso sea más importante la alta participación y motivación generadas a través de:

- Una atmósfera en la que los empleados buscan continuamente la manera de resolver problemas.
- Una gran conciencia comercial.
- Un cambio de actitud.

En el mundo occidental, a los círculos de calidad se les ha "vendido" con insistencia como una forma de mejorar la calidad. Sin embargo, no pueden utilizarse ingenuamente; se necesita adaptarlos a las empresas con sumo cuidado. De hecho, se han realizado diversas adaptaciones, con diversos grados de eficacia y éxito en algunas compañías y fracaso en otras.

### **GENICHI TAGUCHI**

Ingeniero en Electrónica con Doctorado en Estadística, el doctor Taguchi trabajó

para el Departamento de Astronomía de la Fuerza Naval Imperial Japonesa, en el Ministerio de Salud Pública y Bienestar, el Instituto de Matemáticas y Estadística del Ministerio de Educación. Ha sido profesor universitario y consultor en Calidad y Estadística en Japón.

En 1950, trabajando para el Laboratorio de Comunicaciones Eléctricas de la compañía de Teléfonos y Telégrafos Nipón, desarrolló sus propios métodos estadísticos de diseño de experimentos aplicados al incremento de productividad y calidad en la industria. Publicó su primer libro en 1951.

## **APORTACIONES DE TAGUCHI**

### **DISEÑO ROBUSTO**

El doctor Taguchi es creador del concepto "Diseño robusto", el cual basa su estrategia para lograr la satisfacción del cliente, en exceder sus expectativas de calidad.

Normalmente, al diseñar un producto lo hacemos pensando en que al fabricarlo, toda la producción tendrá la misma calidad y despreciamos la variabilidad de los procesos de manufactura, es decir, que el producto fluctuará en un rango determinado de calidad. Buscamos diseñarlo en la forma más económica posible, aunque no se cumpla con las especificaciones del cliente en un pequeño porcentaje; a esto se le llama "una calidad aceptable". Cuando el cliente no tiene otra opción de compra, al productor le resulta más económico reponer algunos productos defectuosos que asegurarse de no producirlos. Pero esto, a la larga, acaba con la credibilidad de la compañía y aleja a los clientes.

El diseño robusto implica desarrollar un producto que sobrepase las expectativas del cliente en sus características más importantes y ahorrar dinero en las que al cliente no le interesan. Implica diseñar un proceso de producción capaz de fabricar el producto con todo su rango de variación normal, dentro de las especificaciones del proceso.

Taguchi establece que es más barato trabajar en el diseño de los productos y sus procesos de fabricación, que en el control de calidad de los mismos, porque las acciones de mejora de calidad son más económicas, en cuanto más cercanas estén a la etapa de diseño.

Es más económico un diseño robusto del producto en las características más importantes para el cliente, que pagar los costos del control de procesos y las reclamaciones por fallas.

En el diseño robusto de un producto se minimiza su posibilidad de falla, buscando que tenga la mínima variación en las características de calidad importantes para el cliente y en consecuencia, se minimiza el costo de calidad.

Parecería que podríamos caer en buscar productos infalibles y de producción cara, pero la metodología de Taguchi, precisamente, nos ayuda a reducir otros costos además de los costos de control de calidad, que a fin de cuentas redundan en procesos de producción más económicos.

La metodología para mejorar el diseño de los productos y sus procesos de manufactura, simplifica la utilización de las técnicas de diseño de experimentos, haciendo las aplicaciones estadísticas lo suficientemente prácticas y sencillas como para que los trabajadores, con un mínimo apoyo de los especialistas, puedan integrarlas a sus procesos.

Para orientar el trabajo de mejora de la calidad hacia el diseño, Taguchi definió la calidad de otra forma, desde el punto de vista de las consecuencias que tiene para el cliente el que las características de calidad del producto se alejen del valor ideal. Para Taguchi la calidad es:

“ La mínima pérdida ocasionada a la sociedad, desde el envío del producto al cliente hasta su uso total”.

Estas pérdidas incluyen no sólo los costos de calidad de la compañía que inciden en elevar su precio, sino también los costos ocasionados a cualquier persona que se ve afectada por la calidad del producto.

## **SHIGEO SHINGO**

Shigeo Shingo es quizás el menos conocido de los gurús de la calidad japoneses en América y Europa. No obstante que su impacto en la industria japonesa y recientemente en algunas industrias de Estados Unidos, ha sido bastante grande. A decir de algunos especialistas en economía, “es uno de los gurús en calidad que más impacto ha tenido en el nivel de vida de los pueblos”, debido a que sus contribuciones a las técnicas modernas de manufactura ayudaron a las empresas a abatir los costos en un 60 y hasta en un 80 por ciento.

Shingo nació en Saga, Japón, en 1903 y se graduó de Ingeniero Mecánico en el Colegio Técnico de Yamanaski en 1930. Fue empleado por la fábrica ferroviaria Taipei en Taiwán, donde conoció la administración científica.

En 1945 llegó a ser un profesional de la consultoría administrativa, con la Asociación de Administración de Japón. Más tarde fue Administrador del Departamento de Educación, del Departamento de Computación y de la Oficina Fukioko. En 1951, conoció y aplicó por primera vez el Control de Calidad Estadístico. En 1955 tomó a su cargo las áreas de Capacitación e Ingeniería Industrial en la Toyota Motor Company, para capacitar tanto a empleados como a proveedores de 100 compañías. Ahí conoció a Taichi Ohno, el director de Producción de Toyota y juntos desarrollaron una serie de innovaciones en el campo de la administración de la producción, a las cuales se les llama "el sistema de producción de Toyota".

De 1956 a 1958, en la compañía Mitsubishi Heavy Industries en Nagasaki, Shingo fue responsable de reducir el tiempo de ensamble de cascos de super tanques de 65,000 toneladas, de cuatro meses a dos meses. Esto establece un nuevo récord mundial en la construcción de barcos, lo cual cambió el sistema de expansión de cada astillero en Japón.

En 1968, en la compañía Saga Ironworks, creó el sistema preautomatizado, cuyo uso posteriormente se extendió a todo el Japón. En 1970, se le galardonó con la condecoración de la Cinta Amarilla por sus servicios en la mejora de la producción y elaboró el sistema "SMED" (Cambio Rápido de Datos en un Minuto), que forma parte del Sistema Justo a Tiempo.

## 1.5 ISO 9000

### ¿QUÉ ES?

La serie ISO 9000 es el primer y principal sistema global integrado para optimizar la eficacia de la calidad de una empresa u organización, al crear un marco para la mejora continua.

ISO son las siglas de la Organización Internacional de Normalización.

La Organización Internacional de Normalización (ISO), con sede en Ginebra, es una federación mundial de los cuerpos nacionales de normalización de aproximadamente 110 países. Es una organización no gubernamental que se estableció en 1947. El resultado principal del trabajo del ISO son los acuerdos que se publican como normas internacionales. Los miembros nacionales proporcionan la participación de cada país con apoyo financiero a las operaciones centrales de ISO, por medio del pago de cuotas de membresía.

El cuerpo hermano de ISO, también con base en Ginebra, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), maneja las normas eléctricas y electrotécnicas dejando a ISO todas las demás normas de productos y gerenciales.

Estos conceptos están en una dinámica de cambio continuo y es entonces recomendable documentarse en las últimas ediciones para mantenerse actualizado.

### ¿QUÉ IMPULSA A LAS NORMAS?

La norma ISO 9000 es parte de la tendencia mundial, que algunos científicos llaman dominante. La difusión de las normas es un proceso que facilita su propio crecimiento, casi biológico y éste se ha descrito como "efecto en cascada". El mecanismo específico que provoca este crecimiento de tipo biológico es la interacción entre clientes y proveedores. A medida que los compradores sofisticados exigen las normas a sus proveedores inmediatos, éstos a su vez, transmiten la demanda a sus proveedores, de modo que cae en cascada por la cadena de abastecimiento.

Un buen ejemplo es un importante usuario de material impreso y de empaque para productos de software, que se venden en todo el mundo, empacados en cartones. Esta empresa exige que sus proveedores de material impreso y empaque, le abastezcan materiales con integridad ecológica. Los proveedores pasan la demanda a los molinos papeleros y de cartón, que a su vez insisten que la madera venga de los bosques administrados. El mecanismo para vigilar esto es la corriente de abastecimiento de un sistema ISO 9000/ISO 14000 en cada instalación, desde la imprenta y la empresa de empaque hasta el bosque, con lo cual cumple las sugerencias pedidas por el usuario.

Si el proceso supone un desarrollo biológico o social, entonces podría ser un cierto tipo de necesidad, una respuesta adaptada a las necesidades industriales y sociales, impulsadas en primera instancia por la crisis de la energía y de la ecología y hoy en día por las demandas de un mundo cada vez más regulado para una mayor responsabilidad. El proceso puede ser no menos que una manifestación de la creciente necesidad del mundo de precisión y orden, tal vez no sea exagerado decir que aún los conceptos de verdad y honestidad se incorporan en el nuevo régimen, se les legisla y están sujetos a verificación de terceras personas.

Las nuevas normas de administración se desarrollan sobre elementos como especificaciones exactas, procedimientos e instrucciones precisas, procesos, la reducción al mínimo de basura y desperdicios, la aptitud del propósito, la

consistencia de los productos y las restricciones honestas y correctas, la evaluación del desempeño, la salud y la seguridad de los trabajadores y la comunidad y la protección del entorno.

### ¿QUÉ REQUIERE LA NORMATIVA ISO 9000?

- Tener documentados todos nuestros procesos (Operativos y Administrativos).
- Que las actividades sean realizadas de acuerdo a lo documentado.
- Contar con la evidencia para comprobar que se ha trabajado de acuerdo a lo descrito.

Un requerimiento más ha sido añadido por la industria automotriz: el cual ellos mismos cumplen y lo exigen a sus proveedores.

- Mantener en continuo mejoramiento los procesos.

### UNA COMPAÑÍA ISO 9000

ISO 9001 a 9003 son requerimientos estandarizados internacionalmente para mantener un sistema ordenado de operación dentro de una compañía. Una compañía puede ser certificada en uno o más de los estándares ISO.

Para recibir la certificación, una organización de inspección neutral conocida audita a la compañía. Si la compañía pasa la inspección, recibe el certificado de aprobación.

### ¿CÓMO SE EVALÚA / APRUEBA EL SISTEMA DE CALIDAD?

El sistema de calidad se establece, inspecciona y evalúa por medio de auditorías internas, se realiza una certificación a través de compañías certificadoras externas y al menos cada año deberá ser recertificada por estas instituciones. La certificación no es para siempre, se puede perder si el sistema no se respeta. Una certificación se logra por todos y se pierde por uno.

## 1.6 UN COMENTARIO FINAL SOBRE LOS GURÚS DE LA CALIDAD

Como parte final de esta breve presentación de los grandes autores del tema de la calidad, podemos comentar que Deming es muy técnico, orientado básicamente al aspecto estadístico y numérico de la calidad, al igual que Ishikawa, quien

además, a diferencia de aquel, está muy encaminado al estilo oriental del trabajo en equipo, con consenso de decisiones. Juran también se considera técnico y en especial, muy enfocado a la cuestión financiera. En contraparte a los anteriores, Crosby dirige sus esfuerzos al aspecto humano, es decir, a considerar las emociones y los sentimientos del trabajador. Feigenbaum también se caracteriza por el estilo occidental de orientarse a los procedimientos y a los resultados. Shingo llevó al piso de las fábricas los conceptos de la filosofía de la calidad, ideó técnicas que al ser aplicadas, mejoran la productividad de las instituciones de manera sorprendente y eficaz. ISO conjuga en una serie de normas de aplicación práctica, las mismas ideas de los gurús, y una vez implementadas en la organización son el Sistema de Calidad de la institución.

# Capítulo II

## *Técnicas y herramientas para el mejoramiento*

### 2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo presentaremos una breve explicación de la utilidad de las 7 herramientas estadísticas básicas de la calidad, las cuales constituyen una valiosa ayuda para disminuir los productos defectuosos y encaminarse hacia la excelencia. Pasamos después a hacer un breve repaso de algunos conceptos básicos sobre estadística con el fin de facilitar la comprensión de los temas aquí expuestos y la interpretación de los resultados obtenidos. Posteriormente hablaremos sobre trabajo en equipo y sobre herramientas para trabajar con ideas, pues la implementación y uso de las 7 herramientas de la calidad en grupo, debe darse dentro de un ambiente colaborativo y el conocimiento y dominio de estos temas podría facilitar su implementación en las organizaciones. Aun cuando en este texto hacemos una breve descripción de las herramientas más comunes para trabajar con grupos, recomendamos que se profundice en esto consultando en obras especializadas, existe mucha bibliografía sobre estos temas.

Para empezar debemos decir que las herramientas, deben ser utilizadas como formas de apoyo dentro de un proceso de solución de problemas. Las 7 herramientas no son un proceso en sí mismas. Por esto deben utilizarse de una manera inteligente, para que cumplan con su propósito, que es detectar problemas, para luego encontrar sus causas, solucionarlas y prevenirlas, de modo que ya no se repitan. Las 7 herramientas no son una metodología de solución de problemas. Las herramientas dan objetividad y precisión a las observaciones que se hacen de un proceso o procedimiento establecido para llevar a cabo algo, de tal forma que acaban con las suposiciones del observador y hacen que no valgan los sentimientos o ideas, sino que el pensamiento se centre en los hechos, es decir,

en las relaciones causa – efecto de lo que sucede, ya que cualquier cosa que acontece, encierra tras de ella algo oculto; es aquí donde las herramientas estadísticas ayudan a encontrar eso que está tras los problemas.

Adicionalmente, las herramientas mejoran la economía de la empresa, pues favorecen una mejor calidad, menor costo de inspección y disminuyen el desperdicio, lo cual ayuda a incrementar las ganancias.

Estas herramientas son sencillas, no se necesitan matemáticas avanzadas para entenderlas, sino simple aritmética, lo cual las pone al alcance de cualquier empleado de una organización. Por esto señalan Deming y Shewhart que en cualquier empresa de hoy, el pensamiento estadístico debe prevalecer en TODOS sus integrantes y no sólo en los matemáticos o en los especialistas, agregando que el término estadística debe entenderse como la metodología mediante la cual es posible obtener conclusiones a partir de datos numéricos. Aquí es pertinente señalar, que aún cuando la habilidad para tener un pensamiento estadístico puede desarrollarse mediante la educación y el entrenamiento, es preciso estar convencidos que con ello podemos resolver la mayoría de los problemas que se presentan en el trabajo.

Muchas de las veces en la fabricación de un producto, las funciones de especificación, producción e inspección se contraponen unas con otras, lo cual puede resolverse con el control estadístico del proceso, mismo que nos sirve para encontrar las verdaderas causas de los problemas, constituyéndose en base fundamental para su mejora.

En nuestra mentalidad mexicana, situación que tenemos que reconocer con tristeza, elaborar productos defectuosos se ha convertido en una parte del ambiente al que estamos acostumbrados en la industria, lo cual no debe seguir así. Se tiene más que probado por nuestros colegas japoneses, que los defectos pueden evitarse, para ello es necesaria una nueva mentalidad y una nueva cultura empresarial, la cultura de calidad, que apoyándose en el trabajo en equipo y en las herramientas estadísticas, ayudan a centrar nuestra atención en el proceso y en los hechos que suceden y no sólo en las personas y en cuestiones subjetivas que no nos llevan a ninguna parte.

Primero señalaremos que se debe entender por problema a todo hecho no deseado que ocurre en nuestro trabajo, es decir, algo que resulta no adecuado, una oportunidad de mejorar. Además, la causa de cualquier defecto o problema es la variación, que es parte de la naturaleza misma.

Por lo que toca al aspecto productivo de las empresas, existen factores que repercuten directamente en la calidad de un producto: la materia prima, la mano de obra, la maquinaria, el método de producción y la inspección, entre otros. En estos factores, podemos señalar que el azar juega un papel muy importante.

Por lo que toca a la materia prima, podemos comentar que su calidad varía, en su textura, su contenido, sus ingredientes, sus dimensiones, en fin, sus características cambian.

Por lo que respecta a la mano de obra, con mucha mayor razón podemos esperar cambios cuando las personas son distintas. Muchas veces el mismo hombre se encuentra en diferente situación física o estado anímico, lo cual repercute en su desempeño, introduciendo con ello la variación.

En cuanto a la maquinaria, las condiciones de la misma cambian con el tiempo, pues aquella se desgasta, se desajusta, se deteriora, lo cual trae consigo que los productos que se fabrican con ella, varíen.

Los métodos de trabajo inciden directamente en la calidad del producto, métodos correctos nos llevan a tener menos artículos defectuosos, menos fatiga en las personas y accidentes de trabajo, tiempos de ciclo menores y con lo anterior, disminución de la variación.

Finalmente, los métodos de inspección también tienen lo suyo, pues los calibradores que se emplean sufren desajustes y desgaste. Cuando se trata de inspecciones sensoriales, los criterios de los inspectores pueden cambiar para decidir si un producto es defectuoso o no lo es. Asimismo, aún cuando la inspección no altera el producto, sí hará que ante criterios de inspección diferentes, un producto pase como bueno o no lo haga.

Por todo lo anterior podemos señalar enfáticamente que cualquier proceso de manufactura, es un sitio ideal para que exista la variación.

No obstante lo anterior, no hay que olvidar que la calidad no significa cero variabilidad, sino cero defectos, es decir, que un producto sea adecuado al uso y para ello reúna las especificaciones que lo hacen útil para el fin propuesto. Lo que es un hecho es que si las variaciones del proceso se reducen, los productos defectuosos también disminuirán si mantenemos nuestro proceso dentro de control estadístico.

Aún cuando las causas posibles de las variaciones en cualquier proceso de manufactura son diversas, no todas afectan por igual a la calidad del producto, por ello es muy importante un acertado diagnóstico del proceso, consiste en identificar aquellas causas de entre muchas posibles, que ocasionan los problemas. Para este diagnóstico preciso, las herramientas estadísticas constituyen una valiosa ayuda, que permite distinguir lo cierto de lo que no lo es y encausar nuestros esfuerzos correctamente.

## 2.2 CONCEPTOS ESTADÍSTICOS BÁSICOS

### ¿PARA QUÉ NOS SIRVE LA ESTADÍSTICA?

Algunas personas creen que la estadística es difícil o que es poco interesante o muy problemática, pero todos usamos la estadística. El uso de la estadística básica está muy generalizada y nos ayuda en la toma de decisiones en nuestra vida cotidiana. Veamos un ejemplo simple:

Si usted quiere comprar una casa habitación, necesita investigar el precio promedio de las casas. Esto le ayudará a tener una buena idea del precio de las viviendas en el mercado. Cuando compramos alimentos, ropa o cualquier artículo, nos fijamos en los precios de diferentes marcas. Al comparar las diferentes marcas y averiguar el precio promedio, está usando la estadística.

Es común usar la estadística en los deportes, por ejemplo, en el fútbol;

- La cantidad de partidos ganados.
- La cantidad de partidos perdidos.
- El promedio de goles anotados por partido.

Esta información estadística nos ayuda a saber qué equipo es el mejor o quién es el jugador que anota más goles.

Ahora podemos darnos cuenta que usamos la estadística con mucha frecuencia, por lo tanto podemos usarla en nuestro trabajo para mejorarlo.

Cuando una persona toma la decisión de mejorar la calidad de sí misma y por consiguiente la calidad de sus acciones y en el cumplimiento de sus compromisos, se obtiene el mejoramiento de la calidad de su área de influencia.

*Proceso.* Sistema integrado que tiene entradas y salidas; un proceso de produc-

ción es la combinación de materia prima, mano de obra, métodos, maquinaria y medio ambiente para fabricar bienes o prestar servicios.

*Variables.* Los productos tienen características de calidad que se pueden medir [siempre deben tener un significado físico, entendible a las personas], a estas características se les conoce como variables.

Desde el punto de vista estadístico existen dos tipos de variables:

- a. Variables continuas: La manera de conocerlas es que pueden tomar valores enteros y fraccionarios. Para estas variables debe existir un instrumento de medición con el cual se puedan medir. Un ejemplo es el peso de una pieza, puede ser 3.785 kg.
- b. Variables discretas [también conocidas como atributos]: Éstas no se miden con un instrumento de medición, sino con un juicio de:
  - (1) Sentidos humanos: Vista, olfato, tacto, gusto, oído.
  - (2) Calibradores: Patrón pasa- no pasa.
  - (3) Conteo: Número de piezas malas en un lote.
  - (4) Pruebas al producto: Se califica cómo pasa o no pasa.

Un ejemplo es lleno o vacío, prendido o apagado. Al aplicar alguna herramienta estadística es importante tomar en cuenta el tipo de variable que se tiene.

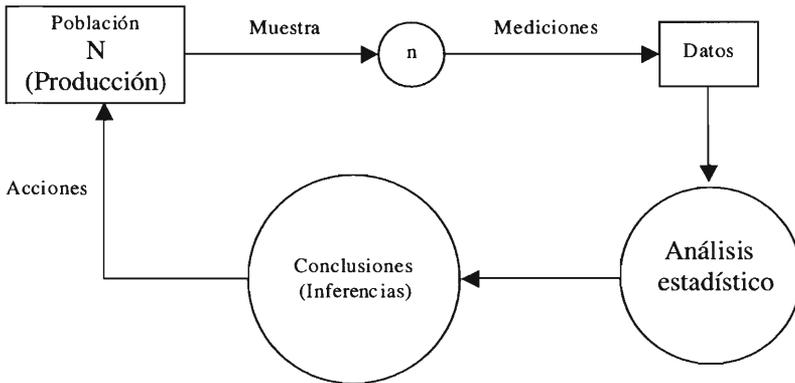
*Dato.* Es el valor que se obtiene al tomar las mediciones de un lote. Éstos pueden ser usados en dos formas: Como datos agrupados y como datos no agrupados. Esto es importante, pues incluso las fórmulas básicas de la estadística como la media y la desviación estándar difieren para cada uno de ellos.

*Control.* Son todas aquellas actividades o acciones dirigidas a mantener un proceso en el estado deseado. Es la vigilancia periódica y continua sobre el desarrollo de un proceso o la calidad de un producto, para comprobar que cumple con las especificaciones establecidas.

*Estadística.* La estadística estudia el fenómeno de variabilidad en los procesos, ayuda a conocer el estado del proceso. Cuando se conocen sus resultados se pueden establecer acciones para mejorarlo. Es la ciencia que tiene como objetivo reunir, clasificar y contar los datos procedentes de la observación de un fenómeno o proceso. Los analiza para poder representarlos y sacar conclusiones para toda la población.

El objetivo de la estadística es sacar conclusiones para una población basados en la información contenida en una muestra.

Figura II.1.- Esquema del flujo de acción de la estadística.



## VARIACIÓN

“Es del mismo color”, “Son idénticos”, “Todos los hombres son iguales”. Estas frases dicen que dos cosas son iguales. En la vida real no existen dos cosas que sean exactamente iguales. No existen dos colores iguales, dos cosas idénticas, así como no existen personas que sean iguales.

Si por ejemplo observáramos “ dos gotas de agua” le parecerían iguales pero son diferentes. Una puede ser una micra más grande que la otra. Una puede estar más alargada que la otra. Podríamos citar varias diferencias, éstas pueden ser muy pequeñas, pero hace que las cosas no sean iguales.

Se le llama variación a las diferencias entre las cosas.

### Un ejemplo de variación:

Si fabricamos un producto, queremos hacerlo sin defectos, pero, ¿qué pasa? Normalmente se producen partes defectuosas porque hay variación en todas las cosas. La causa de los defectos es universal y se llama variación y ésta puede ser muy pequeña o muy grande.

Pero... ¿Qué debemos hacer para reducir el número de defectos?. Necesitamos conocer las causas particulares que hacen que un producto resulte defectuoso y que esos defectos en los productos pueden desaparecer si se eliminan esas causas.

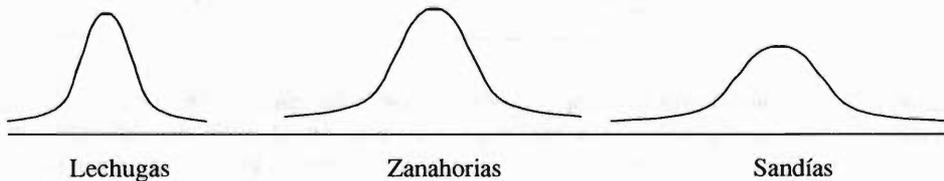
Necesitamos una herramienta que muestre las diferencias hay entre los productos. Una herramienta que podemos utilizar para medir la variación, es el control estadístico del proceso.

**Otro ejemplo de variación es el siguiente:**

Un campesino tiene frutas y verduras en su granja, las cuales se dividen en tres clases (lechugas, zanahorias y sandías); toma todas las lechugas y las ordena en grupos de acuerdo a su peso.

Posteriormente, observa cómo el número de lechugas es mayor en los grupos de peso medio y se van reduciendo conforme son más ligeras o más pesadas. Lo mismo sucede con las zanahorias y las sandías. Cuando el campesino ordena los productos por su peso, él puede ver la tendencia. Podríamos representar los grupos de la siguiente manera:

**Figura II.2.-** Distribución de los productos por su peso.



Se puede ver que la tendencia se asemeja a una curva. Cada lado es igual al otro. Algunas veces se les llama imágenes simétricas, porque si se divide la curva por la mitad, cada lado será igual al otro.

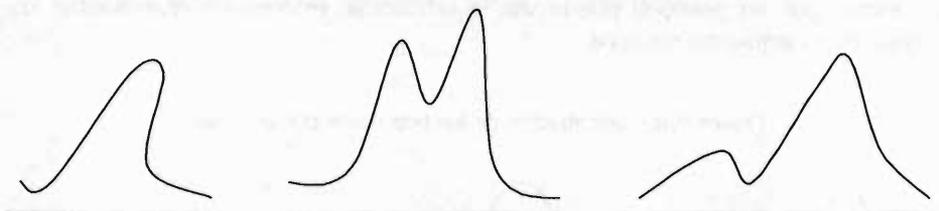
Esta tendencia es la misma para casi todos los fenómenos o eventos donde la variación es natural, debido a que las cosas funcionan normalmente.

En todos los eventos que presenten una variación normal, la curva de distribución de esta variación será parecida a una campana similar a la de la figura II.2, denominada curva normal.

Una de las distribuciones de frecuencia más importantes en estadística es la distribución normal. Muchos de los procedimientos usados en este texto se basan en el conocimiento de esta distribución. Su apariencia física es la de una curva simétrica en forma de campana que se extiende hasta el infinito, asintóticamente en ambas direcciones, positiva y negativamente, se utiliza igual que cualquier otra curva de distribución. La frecuencia relativa con la cual una variable tomará valores entre dos puntos es el área bajo la curva entre dichos puntos, sobre el eje horizontal.

¿Cómo sabremos si un cambio es irregular o si la variación es anormal? La variación anormal cambia la tendencia mencionada anteriormente, cambia la curva normal. Si existen eventos o situaciones anormales, la tendencia cambiaría como lo muestran las siguientes figuras.

Figura II.3.- Distribuciones no normales



Cuando observemos una tendencia que no sigue la forma de una curva normal, sabremos que la variación que existe es anormal, en el caso del ejemplo del campesino este tipo de comportamiento se podría deber a la mezcla de cosecha de dos campos diferentes.

### **UNIVERSOS Y MUESTRAS**

*Universo o población.* Se representa por la letra "N", siendo la totalidad de los elementos que forman el conjunto de interés y pueden ser todos los productos fabricados por un turno, el total de ventas en un año, la cantidad de personas que visitan un lugar, etc.

Digamos que estamos fabricando bujías. Fabricamos cerca de 5 000 piezas cada hora. Hay muchas dimensiones que tenemos que controlar. Tenemos que contro-

lar varios diámetros, longitudes, radios, espesores, distancias entre cuerdas, etc., de cada una de las piezas.

Sería muy difícil inspeccionar las características de cada una de las 5 000 bujías. Si tratáramos de obtener la longitud de cada bujía, tendríamos que hacer 5 000 mediciones. Si requiriéramos 7 segundos para medir la longitud, necesitaríamos 35 000 segundos (o casi 10 horas) solamente para examinar la característica de longitud de las 5 000 bujías que fabricáramos en una hora de producción.

En la mayor parte de los casos, resulta poco práctico e incosteable analizar la totalidad de los elementos o partes que componen una población; es preferible seleccionar unas cuantas partes para estudiarlas. Las partes o piezas seleccionadas son llamadas muestras.

Una muestra está integrada por algunos elementos de la población. La muestra se representa con la letra "n". Para que la muestra "n" sea representativa de la población "N", es necesario que los elementos que la integran sean escogidos de manera aleatoria o al azar, lo que significa que todos tengan la misma probabilidad de ser escogidos.

Si todos los elementos de una población tienen la misma probabilidad de ser elegidos y de esta manera obtenemos una muestra, a esta muestra la llamaríamos muestra representativa de la población.

Entonces, ¿cómo podríamos saber si las piezas fabricadas cumplen con las características de calidad sin inspeccionarlas todas? Para esto debemos usar un plan de muestreo.

En un plan de muestreo se inspeccionan unas cuantas piezas de las que se fabrican. Al inspeccionar estas piezas podemos deducir como está la totalidad de piezas en el proceso.

Existen diferentes tipos de planes de muestreo. Es importante escoger el plan de muestreo que nos dé la información que requerimos de acuerdo al proceso.

*Muestreo consecutivo*, significa tomar unas cuantas piezas en orden. Un plan es un bosquejo de cómo se debe hacer algo. Plan de muestreo consecutivo es tomar unas cuantas piezas en el orden en que son fabricadas.

Es importante que escojamos un plan de muestro consecutivo, porque nos dice exactamente cuándo cambia algo. Después podemos hallar la causa de esos cambios. Quizá todo esté funcionando muy bien, entonces podemos averiguar la causa y tratar de reproducir esas condiciones en otras líneas de producción. Es importante descubrir la causa del problema para que así podamos corregirla.

Si estamos produciendo 5 000 piezas cada hora podemos examinar, por ejemplo, las piezas número 21, 22, 23, 24, 25, o 3264, 3265, 3266, 3267, 3268. Es importante que en este plan de muestreo examinemos las piezas en el orden en que las fabricamos.

Ya que tomamos piezas en orden, podemos saber cómo son hechas. También podemos saber en qué máquina se fabricaron las piezas. Si encontramos un problema con una pieza, podemos saber exactamente dónde debemos buscar la causa del problema.

Una de las ventajas del muestreo consecutivo es que nos ayuda a encontrar cuándo nuestro proceso empieza a cambiar. Sería un desastre descubrir al fin de nuestra jornada que todas las piezas son malas. Pero nos ayuda mucho y nos ahorra tiempo y dinero el poder ver cuándo las cosas empiezan a funcionar mal. Utilizar un plan de muestreo consecutivo nos permite ver si tenemos un problema antes de que sea demasiado tarde.

### ***MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL***

Cuando tenemos un dato central, que es típico o representativo de un conjunto de datos referentes todos al mismo asunto, se conoce como medida de tendencia central.

Al hablar de un dato central, significa que hay cantidades menores y mayores, sin embargo, el dato central representa a todas las cantidades.

El dato central se puede obtener a partir del cálculo del promedio, o escogiendo la cantidad que ocupa el lugar central en nuestros datos una vez ordenados.

Existen diferentes tipos de medidas de centralización, las más comunes son la media, la mediana, y la moda.

**Media.** De un conjunto de  $N$  números  $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_N$ , de una muestra o población es igual a la suma del conjunto de datos dividida entre el número de datos. Se representa por  $\bar{X}$  para una muestra y por  $\mu$  para una población.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N} = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} \quad \text{Ec. (II.1)}$$

**Ejemplo II.1.-** Encontrar la media de los números 8, 3, 5, 12 y 10:

**Solución:**

$$\bar{X} = \frac{8+3+5+12+10}{5} = \frac{38}{5} = 7.6$$

**Mediana.** La mediana de un conjunto de datos ordenados según su magnitud, ya sea ascendente o descendente, es el valor que ocupa la posición central dentro del conjunto de datos (cuando se tiene un número impar de datos), o el promedio de los dos valores medios (cuando el número de datos es par).

**Ejemplo II.2.-** Encontrar la mediana de los números; 3, 4, 4, 5, 6, 8, 8, 9 y 10.

**Solución:** La mediana es 6.

**Ejemplo II.3.-** Encontrar la mediana de los números; 5, 5, 7, 9, 11, 12, 15 y 18.

**Solución:** La mediana es:

$$\frac{1}{2}(9+11) = 10$$

**Moda.** La moda de una serie de números es aquel valor que más se repite, es decir, es el valor más común. La moda puede no existir, incluso si existe puede no ser única.

**Ejemplo II.4.-** Encontrar la moda de los siguientes números: 2, 2, 5, 7, 9, 9, 9, 10, 10, 11, 12 y 18.

**Solución:** La moda es el 9.

**Ejemplo II.5.-** Encontrar la moda de los siguientes números: 3, 5, 8, 10, 12, 15, 16.

**Solución:** No tiene moda.

**Ejemplo II.6.-** Encontrar la moda de los números: 2, 3, 4, 4, 4, 5, 5, 7, 7, 7 y 9. **Solución:** Existen 2 modas: 4 y 7.

Cuando tenemos una serie de datos y determinamos para ellos los valores de la media, la mediana y la moda, la comparación entre estos valores nos puede indicar lo siguiente:

- Cuando tenemos valores iguales o muy próximos entre ellos, podemos suponer que la curva de distribución es simétrica.
- Cuando los valores son diferentes, el mejor estimador central será el valor que se encuentre entre los otros dos.

### **MEDIDAS DE DISPERSIÓN**

Para poder tener una mejor idea del grado en que los datos numéricos se relacionan entre sí, no basta con el cálculo del promedio, se necesita saber qué tanto difieren entre sí, es decir, el grado de dispersión alrededor de un valor medio o entre ellos.

Existen diferentes medidas de dispersión, las más empleadas son el rango y la desviación estándar.

**Rango.** El rango es la diferencia que existe entre el número mayor y el menor de un conjunto de datos. Para calcular el rango tomamos el número mayor y le restamos el menor del conjunto de datos. Veamos el siguiente ejemplo.

**Ejemplo II.7.-** los goles anotados en los partidos de futbol de nuestro equipo, los cuales fueron: 3, 4, 3, 2, 3, 2, 4, 1 y 5. Encontrar el rango.

#### **Solución:**

Podemos decir que el rango va desde el número mayor de goles que es 5, hasta el número menor que es 1, el rango es 4, es decir:  $5 - 1 = 4$ . O sea 2 arriba de la media y 2 debajo de ésta. Calculemos entonces el promedio.

$$X = \frac{3+4+3+2+3+2+4+1+5}{9} = \frac{27}{9} = 3 \text{ goles}$$

En promedio se anotan por partido 3 goles y se han anotado desde 1 gol (3-2) hasta 5 goles (3 + 2).

## LA IMPORTANCIA DEL RANGO

Si no se sabe nadar: ¿puede entrar sin problemas en un lago que tiene una profundidad promedio de 65 cm?, probablemente va a decir "Sí", pero, aunque el promedio sea 65 cm, quizá se ahogue.

La razón es la siguiente: si el agua tiene una profundidad de 65 cm promedio, es posible que el rango de profundidades consideradas varíe de 10 cm a 200 cm. El hecho de que la profundidad tenga un promedio de solamente 65 cm no significa que el lago entero tiene una profundidad uniforme de 65 cm. Notamos entonces que el valor de la media, es una información insuficiente y resulta mejor si la acompañamos del rango.

## DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Es la medida de dispersión que nos indica qué tan distantes pueden estar los valores del grupo de los datos, de su promedio. Se representa con una "s" para una población y con una "s" para la muestra.

La desviación estándar es una medida más precisa que el rango, por lo tanto, es de las medidas más usadas de dispersión y variabilidad.

Para calcularla se siguen 6 pasos:

1. Se calcula el promedio de los datos que se tienen.
2. Se obtiene la diferencia de cada dato en particular menos el promedio.
3. Se eleva al cuadrado cada una de las diferencias.
4. Se suman todas las diferencias al cuadrado.
5. Se divide la suma entre el número de datos o entre el número de datos menos uno según sea el caso, si se desea obtener la desviación estándar muestral o poblacional. Ver las ecuaciones II.2 y II.3.
6. Se obtiene la raíz cuadrada de la división anterior.

La fórmula es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{(para una muestra) Ec. (II.2)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (\text{para una población}) \text{ Ec. (II.3)}$$

**Ejemplo II.8.-** Se ha medido el desgaste de una herramienta de corte después de un turno y se tiene la siguiente muestra de datos en milésimas de pulgada. Encontrar la desviación estándar de los datos.

40, 0, 12, 18, 10, 15, 25, 30, 22 y 28.

**Solución:**

**Paso 1.** Obtengamos el promedio

$$\bar{X} = \frac{40 + 0 + 12 + 18 + 10 + 15 + 25 + 30 + 22 + 28}{10} = \frac{200}{10} = 20$$

**Paso 2.** Calculemos las diferencias entre cada dato y el promedio.

40 - 20 = 20	15 - 20 = -5
0 - 20 = -20	25 - 20 = 5
12 - 20 = -8	30 - 20 = 10
18 - 20 = -2	22 - 20 = 2
10 - 20 = -10	28 - 20 = 8

**Paso 3.** Elevemos al cuadrado las diferencias.

20 <sup>2</sup> = 400	-5 <sup>2</sup> = 25
-20 <sup>2</sup> = 400	5 <sup>2</sup> = 25
-8 <sup>2</sup> = 64	10 <sup>2</sup> = 100
-2 <sup>2</sup> = 4	2 <sup>2</sup> = 4
-10 <sup>2</sup> = 100	8 <sup>2</sup> = 64

**Paso 4.** Obtengamos la suma de las diferencias elevadas al cuadrado.

$$\text{Suma} = 1186$$

**Paso 5.** Dividir entre el número de datos menos uno, pues es una muestra de datos.

$$1186/9 = 131.78$$

Paso 6. Obtengamos la raíz cuadrada.

$$S = \sqrt{131.78} = 11.48 \text{ milésimas de pulgada}$$

El promedio de los datos es 20 milésimas de pulgada y su desviación estándar es 11.48 milésimas de pulgada. Lo cual podemos interpretar de la siguiente forma; el desgaste promedio de las herramientas es 20 milésimas como podemos observar, hay herramientas que se desgastan más y otras que se desgastan menos, la dispersión de los datos va desde 20 milésimas menos 11.48 milésimas hasta 20 milésimas más 11.48 milésimas. Mientras más pequeña es la desviación estándar, significa que nuestros datos están más agrupados, que la diferencia entre ellos es menor y su comportamiento es más parecido. En este caso no podemos establecer ningún juicio derivado de estos datos, ya que no contamos con alguna especificación a cumplir.

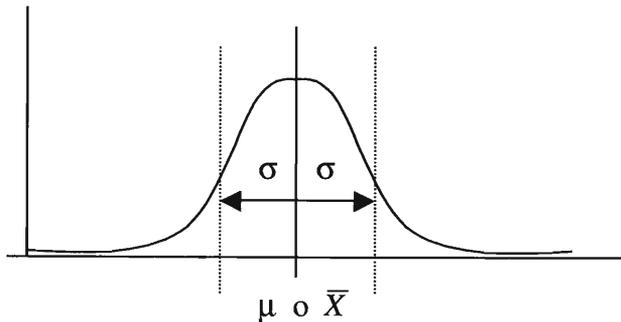
### ***CURVA NORMAL***

Al principio del siglo XIX y de manera simultánea, K.F. Gauss y P.S. Laplace habían puesto en uso lo que ahora llamamos la curva de errores o distribución normal, también denominada “campana de Gauss” que es la forma que adoptan los procesos naturales. A mediados de siglo surgió la idea de que casi todos los fenómenos biológicos, alturas, pesos, inteligencia y otros, pueden describirse por medio de las curvas de esta forma. Fue Pearson quien le asignó el nombre de *curva normal*.

Una de las distribuciones de frecuencia más importantes en estadística es la distribución normal. Muchos de los procedimientos usados en este texto se basan en el conocimiento de esta distribución. Su apariencia física es la de una curva simétrica en forma de campana que se extiende hasta el infinito, asintóticamente en ambas direcciones, positiva y negativamente, se utiliza igual que cualquier otra curva de distribución. La frecuencia relativa con la cual una variable tomará valores entre dos puntos es el área bajo la curva entre dichos puntos, sobre el eje horizontal.

Las áreas bajo la curva normal representan las probabilidades de distribución normal. Como en el caso de los histogramas que describen otras distribuciones, el área total bajo la curva se hace 1 y por lo tanto, las áreas bajo la curva normal pueden considerarse como proporciones, probabilidades, o cuando se multiplican por cien, como porcentajes.

Figura II.4.- Curva de distribución normal



Gauss dedujo su fórmula matemática:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad \text{Ec. (II.4)}$$

Donde:

$X$  = Datos

$\sigma$  = Desviación estándar o dispersión de la distribución.

$\mu$  = La media o centro de la distribución.

$e$  = Número de Euler (2.718...)

$\pi$  = Pi o número de Ludolf (3.14159...)

### ***CARACTERÍSTICAS DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL***

Las aplicaciones de la curva normal y algunas de sus características más importantes son:

1. De acuerdo a su modo de distribución, el máximo valor de las frecuencias  $f(x)$ , ocurre en la  $\bar{X}$  ó  $\mu$
2. Media, mediana y moda, se localizan en el mismo sitio, es decir, al centro y sirven como puntos de simetría.
3. La probabilidad de ocurrencia aumenta a medida que la variable se acerca a su valor medio y disminuye cuando se desvía de dicho valor medio.

4. La distribución es simétrica respecto a la media. Es decir, el 50% de la población está arriba del valor de la media y el 50% está debajo de la media.
5. La población se distribuye aproximadamente como sigue:
  - 68.3% Dentro de más - menos una desviación estándar.
  - 95.5% Dentro de más - menos 2 desviaciones estándar.
  - 99.7% Dentro de más - menos 3 desviaciones estándar.

Lo anterior a partir de la media, ya que éste es su punto de simetría.

## 2.3 MUESTREO Y CONTROL ESTADÍSTICO

El control estadístico de la calidad comprende todas las técnicas y actividades encausadas hacia la manufactura de productos eficazmente utilizables, con mínimo costo, con seguridad de funcionamiento y de duración razonable, analiza e identifica las causas de variación en la calidad y se apoya en la idea de que la calidad puede definirse, medirse y controlarse, y que es el resultado de un análisis formal y de acción correcta que se toma a la vista de los resultados obtenidos.

El objetivo del control estadístico de la calidad es establecer rutinas y procedimientos de inspección normalizados; entre estos métodos encontramos la Inspección por Muestreo. Ésta apoyada principalmente en las teorías del cálculo de probabilidades. Las normas de muestreo están basadas en la aplicación de la Norma Americana de la Militar Estándar.

La Inspección por Muestreo o Plan de Muestreo es la técnica que mejor se adapta a la inspección de materias primas, piezas, conjuntos y elementos manufacturados.

La Inspección por Muestreo se puede llevar a cabo de 2 formas:

- Inspección por Variables.
- Inspección por Atributos.

La Inspección por Variables es medir, examinar, comprobar, calibrar y emplear cualquier procedimiento que permita comparar la variabilidad del producto con respecto a planos, dibujos y especificaciones del mismo.

La Inspección por Atributos es aquella que permite clasificar al producto en aceptable o defectuoso respecto a una característica o especificación, o bien, una especificación determinada, sobre todo visualmente.

Si al examinar las piezas o elementos a inspeccionar notamos que una característica o medida no se ajusta a lo establecido por las especificaciones, diremos que la pieza está defectuosa. El objetivo de la estadística es sacar conclusiones para **una población** basada en la información contenida en una muestra, así entonces la importancia del muestreo es fundamental para la elaboración de análisis estadísticos. Recomendamos profundizar en este tema, en libros especializados, como el texto número 12 de la bibliografía incluida al final.

## 2.4 TRABAJO EN EQUIPO

Se ha comprobado que una estrategia de gran éxito para el mejoramiento de la calidad, es el trabajo en equipo, esto es la participación de todos los empleados en la solución de los problemas.

Para formar un equipo de trabajo es necesario que sus integrantes aprendan sobre cómo trabajar en equipo, pues no es una función humana natural, a trabajar en equipo se aprende. Sabemos que trabajar en equipo no es lo mismo que trabajar en grupo. El trabajo en equipo requiere de un ambiente organizacional que lo permita y lo promueva, del conocimiento de las habilidades y características de cada uno de sus integrantes, del respeto entre los integrantes, así como de la utilización de una metodología de trabajo en equipo y de herramientas de consenso y de solución de problemas.

Para tener éxito en el uso de las 7 Herramientas Estadísticas, es indispensable un equipo de personas comprometidas, que todos los que estén involucrados participen en él. Generar la participación de los involucrados en el proceso de cambio, constituye una garantía de éxito. Las personas al ver que dan resultados positivos, se motivarán a participar con mayor entusiasmo, provocándose así un efecto de sinergia que es fundamental. El efecto de sinergia se logra cuando los miembros de un equipo hacen uso de las mejores habilidades de cada uno y logran juntos un resultado superior al mejor resultado individual acumulado.

Nadie tiene la verdad absoluta, todos tenemos parcialidades de ésta y si somos capaces de sumar opiniones de manera sucesiva, nos aproximaremos a ella.

### **TIPOS DE EQUIPOS**

Existen básicamente dos tipos diferentes de equipos de trabajo:

*Los grupos naturales:* Formados por personas de un mismo departamento que trabajan en la solución de problemas internos, con poca influencia de otros departamentos.

*Los equipos interdepartamentales:* Aquellos que cuentan con la participación de funcionarios de diferentes departamentos o áreas, que reciben los efectos del problema o de su posible solución.

Al atacar los problemas con equipos interdepartamentales, se enriquecen las habilidades y conocimientos con que cuenta el grupo para resolver problemas; además, se involucra desde un principio a departamentos cuya colaboración será necesaria en el momento de poner en práctica la solución.

### **VENTAJAS DE TRABAJAR EN EQUIPO**

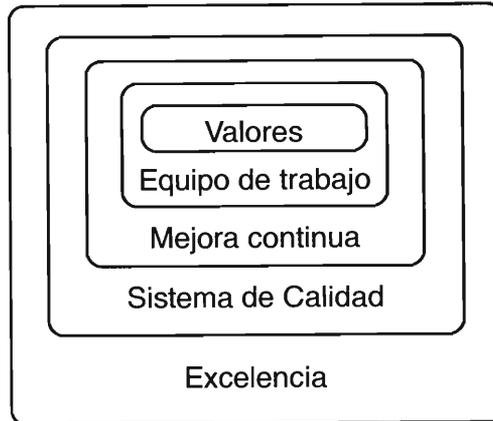
Hay muchas razones para promover los equipos de trabajo. Primero que todo, es generalmente más divertido jugar en equipo que solo. Las personas son básicamente seres sociales, cuando éstas son forzadas a aislarse o si se comportan como si lo estuvieran, normalmente no son felices. Una persona infeliz no produce en situaciones de participación. La persona que es parte de un equipo puede tener ventajas de la fortaleza y sabiduría de los diversos miembros de ese equipo cuando éstos están entrenados y motivados.

Queremos que la gente tenga objetivos hacia los cuales dirigirse, sin embargo no resulta fácil proporcionar objetivos individuales. Un equipo puede recibir retroalimentación y realizar cambios de acuerdo a ello, de manera más sencilla que un individuo. Un equipo puede dirigir su actuación hacia metas mayores relacionadas con el proceso. Un equipo puede comunicarse con sus clientes y proveedores en formas que no sería posible hacerlo individualmente.

### **LA CAPACITACIÓN, UN INGREDIENTE FUNDAMENTAL**

Antes de pretender aplicar las herramientas de mejoramiento, es importante tener un grupo capacitado para trabajar en equipo y antes de pretender integrar un equipo, debemos asegurarnos que los valores de trabajo de las personas que integran el equipo estén alineados. Ver figura II.5.

**Figura II.5.-** Secuencia de requerimientos necesarios para tomar el camino hacia la excelencia.



Pero estamos frente a una realidad; ya contamos con empleados dentro de nuestras instituciones y además, existe una rotación de personal que significa un flujo continuo de personas nuevas a las organizaciones.

La escala de valores de las personas es muy diversa, cada uno tenemos nuestra propia manera de ver las cosas, de interpretar el mundo y cada cual tiene creencias diferentes. No se debe pretender que los integrantes de un equipo tengan valores iguales, o iguales personalidades, pero sí, que los valores en el trabajo y sus objetivos laborales sean similares. Para lograr esto, es necesario realizar ejercicios de visión; una visión, es una declaración acerca de lo que será el futuro de la organización. Es elaborada por un grupo grande o pequeño pero multidisciplinario de implicados clave de la compañía. Es una afirmación de lo que nosotros queremos ser y hacer, con ella se penetra en preocupaciones y necesidades enraizadas, ella debe comprometer nuestros corazones y nuestros espíritus. La visión es un estado deseado al que queremos llegar y con una visión común, todos los integrantes de la corporación alinearemos nuestros esfuerzos en un solo sentido.

La segunda consideración fundamental es durante la contratación del personal, el proceso de selección del personal debe ser cuidadoso y llevado paso a paso, poner a los candidatos previamente a prueba y compartir la decisión con la gente

con la cual formarán equipo. Los contratados deben ser confiables pues resulta más fácil en nuestro medio contratar personal que removerlo, ya que normalmente cometemos el error de conservar a la gente incompetente y poco confiable y contrarrestar sus efectos, ideando procesos elaborados y contratando más personal o servicios adicionales.

La tercera consideración es la capacitación, es la otra cara de la moneda de la confianza. Cuando contratamos a un individuo confiable lo hacemos basándonos en sus características de personalidad y comúnmente nos olvidamos de proporcionarle el entrenamiento específico para el trabajo, un buen entrenamiento ayudará a que esa confianza inicial se mantenga. Debemos preparar al empleado en el trabajo, con conocimientos específicos de su puesto y también capacitarlo para el trabajo, con herramientas que respalden sus decisiones y creencias con hechos, de preferencia estadísticas, que aseguren su validez.

**Tabla II.1.-** Actitudes y aptitudes en nuestro personal

		Actitudes	
		SÍ	NO
Aptitudes	SÍ	Motivar	Educar
	NO	Capacitar	Reubicar

Para la cultura japonesa, la solución a cualquier problema relacionado con el recurso humano se resuelve con capacitación, en nuestra cultura habría que intentarlo. Mientras las personas muestren al menos una de las dos cualidades podremos pensar en la capacitación como la acción remedial y lograr el cambio. Sin embargo, debemos considerar seriamente que cuando una persona no tiene ni la actitud, ni las aptitudes requeridas, lo mejor podría ser darle la oportunidad de buscar otros horizontes. Por otro lado si un empleado nos muestra actitud y aptitud a través de ofrecernos resultados debemos mantenerla motivada.

Finalmente y no por ello menos importante, debemos crear políticas, normas y reglas que promuevan el trabajo en equipo.

Las características de una organización participativa son:

1. Crean en sus empleados.
2. Tienen programas de entrenamiento completos, que incluyen cómo trabajar en equipo.

3. Gastan más dinero en entrenamiento y menos en supervisión.
4. El empleado es inocente hasta no probarsele culpabilidad.
5. Ven los errores como oportunidades de aprendizaje, más que una oportunidad de regaño.
6. Piden a sus empleados que tomen decisiones y alcancen objetivos.
7. Contratan personal confiable y remueven al personal no confiable.
8. Dan la autoridad necesaria a los empleados para cumplir con sus responsabilidades.
9. No eliminan al personal porque cometa errores, comuniquen una idea, cambien rutinas, o cuestionen la autoridad.
10. Eliminan al personal que no reporta errores, persona que pruebe no ser confiable, persona que no pueda trabajar en un ambiente de equipo o persona que no sea capaz de participar cuando se le pide que lo haga.

Debemos dar a nuestros empleados las condiciones para que el trabajo participativo florezca, más que gerentes o directivos, debemos ser compañeros y la presencia de los supervisores debe ser sustituida por la de capitanes del equipo o líderes de grupo.

Las características esenciales de un buen equipo son:

1. Tolerancia.
2. Igualdad.
3. Respeto.
4. Humildad.
5. Diversidad.
6. Apertura.
7. Relación ganar – ganar.
8. Sentido de pertenencia.

En un verdadero equipo de trabajo, si se gana, todos ganan y si se pierde, todos... ganan.

Lograr resolver problemas en equipo en forma participativa, colaborativa y democrática, es dotar a la organización de su propia capacidad de cambio. Recomendamos profundizar en este tema consultando bibliografía especializada y buscando apoyo con especialistas.

## 2.5 HERRAMIENTAS BÁSICAS DEL MEJORAMIENTO EN EQUIPO

Como ya mencionamos, el trabajo participativo es la manera indicada para conducir una organización que busca la excelencia. Las 7 herramientas estadísticas que describimos en este texto requieren de un grupo de trabajo que funcione como equipo. Surgen entonces las siguientes preguntas: ¿Cómo podemos motivar al personal a participar? ¿Cómo establecer diálogos de comunicación? ¿Cómo tomar todas sus ideas en cuenta? ¿Cómo evitar que se dividan?, o bien ¿cómo disolver las divisiones existentes?, etc. A continuación presentamos algunas herramientas útiles para conducir el trabajo en equipo y lograr el aumento del sentimiento de pertenencia de los integrantes.

### 1) TORMENTA DE IDEAS

#### OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA

Aprovecha la creatividad de las personas para la generación de alternativas para la solución de problemas, mediante la aportación de sus ideas sin restricciones y a partir de éstas, identificar las posibles causas y obtener una amplia gama de soluciones.

#### INTRODUCCIÓN

Alguien habrá escuchado la historia del nuevo gerente que trajeron para salvar una pequeña compañía manufacturera en peligro de quiebra. Lo primero que hizo fue tener una conversación con el grupo de trabajadores, durante la cual, él explicó, que la compañía estaba en problemas y que si no se realizaban cambios, ésta podría cerrar. Preguntó entonces por sugerencias. Por un largo minuto hubo silencio. Entonces una mano se levantó y un trabajador opinó que las máquinas en la planta fueron acomodadas hacía décadas y no habían sido movidas desde entonces. Si las máquinas fueran reacomodadas de forma tal que concordara la distribución con la manera en que actualmente se está produciendo, mucho tiempo podría ahorrarse. El nuevo gerente les pidió a sus trabajadores que acomodaran las máquinas de acuerdo a lo que ahora estaban haciendo y el tiempo de producción disminuyó a la mitad. Cuando el gerente preguntó al trabajador que hizo aquella sugerencia en la junta, por qué nunca antes había dicho a nadie sobre esto, el trabajador respondió "Nunca antes nadie me lo había preguntado".

#### ¿QUÉ ES TORMENTA DE IDEAS?

La tormenta de ideas es una técnica usada en grupos para generar muchas ideas

en un periodo de tiempo muy corto y con una característica muy importante: todas están relacionadas con un tema.

El **tema** puede ser un problema y así las ideas que se generan podrían ser causas y soluciones del problema. Otra característica importante es que las personas que van a colaborar en la tormenta de ideas están relacionadas con el tema que se va a tratar y deben ser cooperativas; con esto nos referimos a que las personas expresen lo que sienten del problema sin miedo alguno y tratando de decir todo lo que conocen del tema, teniendo en mente que el proceso les beneficiará, ya que con los resultados de esta técnica podrán resolver muchos de los problemas que se les podrán presentar.

### PARA QUÉ SIRVE LA TORMENTA DE IDEAS

Podemos decir que la tormenta de ideas es una herramienta útil para la solución de problemas y para identificar cuáles son los más importantes, los que causan más conflictos o los que requieren ser solucionados de manera más rápida.

Lo que se trata de hacer en una tormenta de ideas es que se reúna un grupo de personas relacionadas con el tema y que se pongan de acuerdo con lo que se va a tratar, cuál será el tema principal o problema que se va a analizar y entonces las personas empiezan a aportar ideas sobre el tema. Luego se agrupan estas ideas, asociando las que se completen o relacionen y eliminando las que no estén de acuerdo con el tema; y al finalizar, se espera que las ideas queden divididas en grupos que las representen. Ahora, a cada uno de estos grupos les buscaremos su origen o causa y con esto nos quedará más claro cómo se dan estos problemas, para así poder generar una lista de soluciones o acciones a seguir y entonces tendremos una forma creativa y eficaz de resolver esos problemas.

Hay que tomar muy en cuenta que lo que se busca es encontrar formas de solucionar problemas y no cuál es la mejor forma de resolverlos, así lo que obtendremos será una gran cantidad de soluciones creativas.

### PROCESO PARA LA TORMENTA DE IDEAS

#### 1. Seleccionar el tema general.

Aquí seleccionamos el tema que se va a analizar, a partir de este tema se obtendrán todas las ideas de la *tormenta* y se elige una persona para que apunte las ideas, y éste no genera ideas, ni edita los mensajes.

2. Generar ideas sobre el tema general.  
Se pide a los participantes que comiencen la tormenta de ideas usando cualquiera de los tres métodos.
3. Agrupar ideas.  
Si hay ideas repetidas entonces sólo se deja una; habrá ideas que se puedan juntar con otras o se eliminan si se encuentran incluidas en otras que ya existen. En caso de ideas ambiguas, se aclara el sentido de la idea con la persona que la generó.
4. Formar grupos de ideas.  
Una vez que no tenemos ideas repetidas, éstas se agrupan según su origen, causa o características del problema que originan.
5. Enunciar el grupo de ideas como problema.  
Aquí se redacta un enunciado que represente las ideas de cada grupo y se le formula una solución al enunciado, tomando en cuenta qué acciones habrá que realizar para llevarlo a cabo.

## **REGLAS PARA LA SESIÓN DE TORMENTA DE IDEAS**

1. Toda crítica es descartada.  
Durante una sesión de tormenta de ideas necesitamos crear una atmósfera de confianza, sinceridad y respeto. Además, todos deben expresar lo que piensan de una manera libre, por esto la crítica no es aceptada, no se debe criticar la opinión de los compañeros, pues lo que al principio de la sesión puede sonar ridículo o que vaya en contra de lo establecido, puede ser la idea más brillante, la que realmente se necesita para generar soluciones, por eso no se debe hacer sentir mal a quien la aporta.  
  
Todas las ideas son aceptadas y se deben escribir tal como son dichas, sin modificaciones; recuerde que en la tormenta de ideas no hay ideas tontas.
2. Se acepta el manejo libre.  
Esto se refiere a que la manera ideal de realizar una sesión de la tormenta de ideas es cuando todos se encuentran libres de cualquier inhibición. Esto se manifiesta cuando empiezan a surgir ideas descabelladas, llenas de creatividad, entre más disparatadas mejor. Con esto se logra que las personas piensen en ideas que de otra forma nunca se les hubieran ocurrido.
3. Lograr la mayor cantidad de ideas posibles.  
Se debe lograr grandes cantidades de ideas y así tener una amplia gama para

evaluar y que al momento de hacer las síntesis de éstas, se logre de la manera más eficiente.

Si empiezan a faltar ideas, recuerde estas preguntas clave: *qué, quién, cuándo, cómo y porqué.*

4. Buscar el estímulo, mejorando las ideas mediante la combinación de varias. Ésta es una forma muy eficiente de aumentar la cantidad y calidad de las ideas. Con esto se pide a los participantes que opinen cómo pueden convertir en mejores ideas las sugerencias de los demás o cómo pueden combinar dos o más ideas para hacer una mejor.

## **MÉTODOS PARA LA TORMENTA DE IDEAS**

Cuando se requiere que el grupo de personas aporte ideas y ya tienen el tema que se va a tratar, entonces se puede hacer la tormenta de ideas siguiendo varios métodos, como son los siguientes:

### **Método Libre (no estructurado)**

Cada miembro del grupo expresa las ideas que se le van ocurriendo y otra persona se va encargando de anotar las ideas que se van diciendo, sin importar cuántas ideas dice cada persona, ni el orden en el que se dicen. Es importante que todos aporten tantas ideas como se les vengan a la mente, además de que las digan una a una, para que la persona que las anota no se confunda y no se pongan barreras al generarlas.

### **Método Secuencial (estructurado)**

En este método se define un orden para que los miembros digan una idea y entonces se comienza. Un participante dice una idea, luego la siguiente persona dice otra y así en forma secuencial siguiendo el orden que se determinó anteriormente, haciendo un ciclo continuo hasta que no haya más que decir. En caso de que a un participante le llegue su turno y no tenga nada que decir, entonces simplemente dirá "paso" y así el turno pasará al miembro siguiente. En este método también hay una persona anotando las aportaciones del grupo.

### **Método de Tarjetas (silencioso)**

En este método se le dan a las personas unas tarjetas en blanco y se les pide

que escriban en cada tarjeta tantas ideas como se les vengan a la mente y cuando terminen, entreguen todas las tarjetas a una persona encargada de reunir toda la información.

## **VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE TORMENTA DE IDEAS**

Estos métodos cuentan con ventajas y desventajas, por lo que se debe escoger el mejor para cada caso, de tal modo que se aprovechen las ventajas que más convengan. A continuación se listan las ventajas y desventajas.

### **MÉTODO LIBRE**

**Ventajas:** Espontáneo, creativo, fácil de ampliar sobre ideas de otros.

**Desventajas:** Los individuos más dinámicos pueden acaparar la sesión. Se puede generar confusión y desorden. Puede haber dos o más personas hablando al mismo tiempo.

### **MÉTODO SECUENCIAL**

**Ventajas:** Es difícil que alguien domine la sesión, pues todos participan, la discusión es más enfocada al tema y es más fácil de ampliar sobre las ideas de otros.

**Desventajas:** Difícil de esperar su turno, se puede perder dinamismo o se pueden olvidar las ideas.

### **MÉTODO DE TARJETAS**

**Ventajas:** La participación es anónima y se pueden tocar temas sin represalias, no es necesario hablar y existen menos presiones para personas sensibles.

**Desventajas:** Algunas ideas pueden ser no entendibles o poco legibles, se limita a la creatividad individual y el proceso se puede hacer muy lento.

## **SUGERENCIAS PARA LLEVAR A CABO UNA TORMENTA DE IDEAS EXITOSA**

### **1. Definición del tema.**

Se debe lograr un acuerdo del tema a tratar, éste puede ser el problema que ocurra más frecuentemente, el que ocasione más contratiempos o costos, etc. La responsabilidad de elegir un tema es de todo el grupo.

2. Tamaño del grupo.

Éste debe ser al menos de tres personas y de doce como máximo, pero según los expertos el número ideal es de 6 a 8 personas.

3. Lugar de reunión.

El lugar debe de ser del tamaño adecuado para el grupo, evitando al máximo los distractores. Deberá tener pizarrón o rotafolio y tener una atmósfera relajada, el humor ayuda a relajar a las personas. Por otro lado, la ironía las divide.

4. Tareas y asignaciones.

Hay que elegir un líder para dirigir al grupo y mantener el orden que debe ser escogido democráticamente dentro del grupo y el líder debe turnarse, no debe ser el mismo en todas las sesiones.

Consideramos de suma importancia mencionar que para tener una sesión productiva de tormenta de ideas, es fundamental que las opiniones estén todas encaminadas al tema a tratar, evitar que las opiniones divaguen y guiar al grupo constantemente hacia el tema. Para lograr lo anterior sin lastimar a la persona que divaga, se le recuerda el nombre del tema y se le menciona que lo que él opina podría ser digno de otra sesión y hacer un llamado de regresar "al lugar".

Debemos tratar de evitar la presencia dentro del grupo de gente pesimista o bien gente que no cree en la bondad de estas prácticas, gente conflictiva y gente resentida; no debemos dar cabida a opiniones destructivas, negativas y terminales, que tiendan a paralizar la dinámica de la sesión, en lugar de ello, debemos tener un grupo diverso para obtener una gama de ideas amplia.

La sesión debe manejarse con tacto y con un marcado sentido de trabajo, evitando que se convierta en un foro de ataque mutuo o en una sesión formal de peticiones.

## 2) MULTIVOTO

### ¿QUÉ ES?

Multivoto es una manera fácil y rápida para que un grupo encuentre las alternativas de más alta prioridad en una lista y lo haga de manera colaborativa.

### ¿EN QUÉ NOS AYUDA?

- Ayuda a priorizar de una lista larga las partidas importantes, sin crear una situación *ganar-perder* en el grupo que genera la lista.

- Separa los pocos vitales de los muchos triviales en esa lista larga.

### ¿CÓMO HACERLO?

Dar poder. Dar a cada miembro del equipo un número de votos igual a aproximadamente la mitad del número de partidas de la lista; por ejemplo, diez votos para una lista de veinte partidas. Deberán hacer uso de todos sus votos y votar sólo una vez por alternativa.

Voto. Haga votar a los miembros individualmente por las partidas que ellos creen que tienen la más alta prioridad, si para votar lo hace a través de tarjetas, utilice tarjetas y lápices de color para evitar que se repitan votos o que algún miembro se abstenga de hacerlo.

Compile los votos dados para cada partida. Ponga una marca a un lado de cada partida por cada voto recibido.

Seleccione las 4 o 6 partidas con más votos. Discuta y dé prioridad a esas partidas; si no pueden establecer las primeras cuatro o seis, remueva de la lista las partidas que tienen pocos votos y se realiza otra votación.

Esta técnica es más adecuada para grupos grandes y listas largas. Su simplicidad hace que sea fácil y rápida de usar.

**Ejemplo II.9.-** Los miembros de un departamento de asesoría en una institución, asisten a varias juntas en diferentes lugares a lo largo del país. Las reuniones no son siempre tan productivas como podrían haber sido, así que el jefe de la división convocó a una reunión con la esperanza de iniciar un proceso de mejora de la situación, definiendo las posibles causas; la siguiente lista se generó en una sesión de lluvia de ideas.

1. No existe agenda.
2. No hay objetivos claramente establecidos.
3. Se salen por la tangente.
4. Se abordan tópicos extraños
5. Improductividad.
6. Se pierde tiempo en traslados.
7. Se gasta dinero en traslados.
8. Mucho juego del "gato y el ratón".

9. No se mencionan los problemas.
10. Gráficos borrosos.
11. Poca información objetiva, medible.
12. Interrupciones por llamadas personales.
13. No hay estacionamiento.
14. No hay apoyo administrativo.

Para reducir esta lista larga de posibles causas a una de tamaño más manejable, se le dan a cada miembro del grupo 7 votos (la mitad del total de partidas que es 14.) Se realizó una votación y los problemas recibieron votos como sigue:

**Tabla II.2.-** Tabla de resultados de la votación

Partida	Idea	Votación
1	No existe agenda	•
2	No hay objetivos claramente establecidos	••••
3	Se salen por la tangente	••
4	Se abordan tópicos extraños	•
5	Improductividad	••
6	Se pierde tiempo en traslados	••••••
7	Se gasta dinero en traslados	••••••
8	Mucho juego del "gato y el ratón"	••••••
9	No se mencionan los problemas	••
10	Gráficos borrosos	•••••
11	Poca información objetiva, medible	••••
12	Interrupciones por llamadas personales	••
13	No hay estacionamiento	
14	No hay apoyo administrativo	•

Como resultado de la votación, el grupo escogió concentrarse en los problemas 2,6,7,8,10 y 11. Y entonces proponer acciones para mejorar cada una de ellas. La votación sólo sirvió para agrupar las partidas que se consideraron importantes, no para establecer cuál dentro de ellas era la más importante.

### 3) MATRIZ DE PRIORIDADES

#### ¿QUÉ ES LA MATRIZ DE PRIORIDADES?

Es un método estructurado para ordenar una lista de alternativas de acuerdo a su prioridad.

#### ¿EN QUÉ PUEDE AYUDAR?

- Priorizar una pequeña lista de alternativas, según cierto orden de importancia.
- Tomar decisiones de una manera orientada al consenso.

#### ¿CÓMO SE UTILIZA?

Construcción de una matriz de prioridades. El primer paso es definir claramente las diferentes alternativas que vamos a ordenar y en función de que característica las clasificaremos. El segundo paso es asignar un número a cada una de esas alternativas y construir una matriz similar a la de la figura II.6. El tamaño de la matriz dependerá del número de elementos o alternativas.

Figura II.6 .-Trazo de una matriz de prioridades de 5 elementos.

	1			
2		2		
3			3	
4				4
5				

Cada celda en la matriz de prioridades, representa la intersección de dos alternativas. Si tu lista tiene cinco partidas, la matriz de prioridades deberá verse como la figura II.6, con la celda superior representando a la idea 1 apareada con la idea 2.

Tercer paso. Seleccione entre cada par de alternativas. Para cada par, el grupo debe determinar cuál de las dos ideas o alternativas prefiere; para cada par, escriba el número de la idea seleccionada en la celda de intersección apropiada. Repita este proceso hasta que llene la matriz.

Cuarto paso. Contabilice el número de veces que cada alternativa apareció en la

matriz; por ejemplo, la alternativa 5 en la tabla anterior apareció 4 veces en la matriz. Entonces construya una matriz de conteo, como la mostrada en la tabla II.3.

Figura II.7.- Llenado de una matriz de prioridad

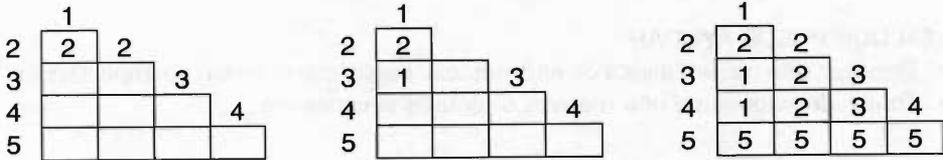


Tabla II.3.- Tabla de conteo de resultados

Alternativa	1	2	3	4	5
Conteo	2	3	1	0	4
Orden					

Enumere las partidas. Ponga número empezando por el 1 a la partida que más número de veces haya aparecido en la matriz. En caso de empate (donde 2 ideas aparezcan el mismo número de veces), seleccione la celda en la cual esas 2 ideas son comparadas y respete la decisión anteriormente tomada. La idea que aparece en esa celda recibe el siguiente lugar.

Tabla II.4.- Tabla de ordenamiento final

Alternativa	1	2	3	4	5
Conteo	2	3	1	0	4
Orden	3º.	2º.	4º.	5º.	1º.

Quinto paso. Construya una tabla de ordenamiento final, como la de la tabla II.4 y muéstrela a los participantes.

Ejemplo de una matriz de prioridades.

**Ejemplo II.10.-** Determinar cuál es la fruta preferida de una cierta familia. Después de que cada integrante de una familia numerosa ha opinado sobre cuales

eran sus frutas preferidas, 6 fueron las frutas seleccionadas y se sometieron a un proceso de clasificación. Las 6 frutas posibles son:

1. Naranja.
2. Manzana.
3. Pera.
4. Fresa.
5. Sandía.
6. Piña.

**Solución:**

Se construye la tabla y se procede a la comparación por votación entre pares de alternativas, resultando para este caso hipotético lo que mostramos en la figura II.8.

**Figura II.8.-** Matriz de prioridades

	1					
2	2	2				
3	1	3	3			
4	4	4	4	4		
5	5	5	5	4	5	
6	1	6	6	4	5	

**Tabla II.5.-** Tabla de resultados

Alternativa	1	2	3	4	5	6
Conteo	2	1	1	5	4	2
Orden	3º.	6º.	5º.	1º.	2º.	4º.

Esta tabla nos muestra cual fue la preferencia de todo el grupo, cuyo orden es: fresa, sandía, naranja, piña, pera y manzana. Un proceso de clasificación de esta naturaleza estimula la participación y la aceptación individual de la decisión que se toma en grupo.

**4) DIAGRAMA DE AFINIDAD**

**¿QUÉ ES?**

Un diagrama de afinidad es una técnica para organizar información verbal en forma

de esquema visual. Un diagrama de afinidad empieza con ideas específicas y ayuda a trabajar hacia categorías diversas, es el opuesto de un Diagrama Causa - Efecto, el cual empieza con la diversidad de causas y trabaja hacia causas específicas. Se puede usar cualquier técnica para explorar todos los aspectos de un problema.

### ¿EN QUÉ NOS AYUDA?

- Organiza y da estructura a una lista de factores que contribuyen a un problema.
- Identifica áreas clave donde la mejora es más necesaria.

### ¿CÓMO SE REALIZA?

Identifique el problema. Escriba el problema o asunto sobre un pizarrón o rotafolio.

Genere ideas. Use una técnica para generación de ideas, para identificar todos las facetas del problema, para ello use tarjetas o *post-it* para anotar las ideas.

Liste sus ideas (sobre tarjetas o papel) clasificadas por grupos. Use preguntas como ¿Cuáles otras ideas son similares? y ¿Está la idea de alguna forma conectada con otra? Para ayudar agrupe las ideas juntas.

Genere una tarjeta de afinidad. Para cada grupo, genere una tarjeta de afinidad, una tarjeta que tiene un título corto que describe al grupo de ideas.

Liste cartas de afinidad relativas. Ponga todas las ideas individuales en un grupo bajo su tarjeta de afinidad y trate que el grupo dé afinidad

Genere un diagrama de afinidad. Distribuya todas las ideas y tarjetas de afinidad en una cartulina o pizarra; encierre en rectángulos los grupos afines con la tarjeta de afinidad colocada en la parte superior de esa área. El resultado será una estructura jerárquica que ayudará a comprender mejor el problema.

**Ejemplo II. 11.-** Un equipo de publicistas desea reducir el número de errores tipográficos en su documentación. Como parte de una primera etapa, se realizó una lluvia de ideas, de la cual se derivó la siguiente lista de factores que influyen en los errores.

#### Solución:

Computadoras.

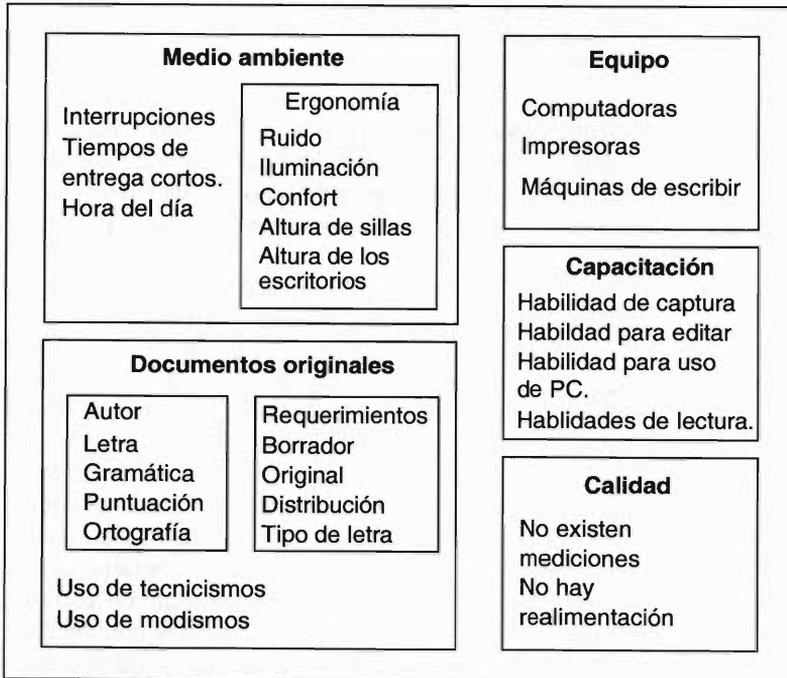
Interrupciones.

Impresoras.  
 Iluminación.  
 Confort.  
 Uso de tecnicismos.  
 Gramática.  
 Borrador.  
 Tipo de letra.  
 Habilidad en el uso de PC.  
 Falta de retroalimentación.  
 Tiempos de entrega poco razonables.  
 Máquinas de escribir.  
 Altura de los escritorios.

Uso de modismos.  
 Puntuación.  
 Copia original.  
 Habilidades de captura.  
 Mala lectura.  
 Ruido.  
 Altura de las sillas.  
 Hora del día.  
 Taquigrafía.  
 Ortografía.  
 Distribución.  
 Habilidades para editar.

El siguiente diagrama de afinidades es el resultado del análisis y ayudará a concentrarnos en ciertas áreas para mejorar la calidad del trabajo.

Figura II.9.- Diagrama de afinidad



## 2.6 LAS 7 HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

Por lo antes expuesto, este libro trata sobre las 7 herramientas estadísticas para el control y mejora de la calidad, las cuales –señala Ishikawa-, ayudan a resolver el 95% de los problemas cotidianos que se presentan en las empresas que ofrecen productos y servicios.

Estas herramientas se aplican en multitud de circunstancias y funciones de diferentes empresas, instituciones de servicio, salud, incluso en el sector educativo, lo cual nos da una amplia idea de su versatilidad.

Dichas herramientas, las cuales presentaremos una en cada uno de los siguientes capítulos, ilustradas con varios ejemplos, son las siguientes:

- Hoja de Registro de Datos o de Verificación.
- Diagrama de Pareto.
- Histograma.
- Diagrama Estratificado.
- Diagrama Causa – Efecto.
- Diagrama de Dispersión.
- Gráficos de Control.

Finalmente, comentaremos que en este texto se dará especial énfasis a la aplicación de estas herramientas en el sector educativo, que es en el que nos desempeñamos, con la creencia que pueden ser de suma utilidad. Por esta razón, ilustraremos la mayoría de las herramientas con casos de este tipo.

En este campo podemos señalar que es posible ver el proceso enseñanza –aprendizaje como si fuese un proceso productivo, donde el artículo que va a salir es el egresado, cuyos atributos serán los conocimientos, actitudes y aptitudes que haya adquirido durante su estancia en la escuela, de modo que el producto deberá ser de calidad, es decir adecuado al uso para el que se tiene previsto, que en este caso sería el desempeño del profesionista en su trabajo.

En este proceso productivo juega un papel fundamental el alumno de recién ingreso, que se equipara a la materia prima, en este caso pensante, la cual debe ser revisada para su aceptación, como ocurre en el caso de los exámenes de admisión; el personal docente, quien haría las veces del personal de producción, a quienes hay que capacitar y educar continuamente, para que adquieran las destrezas que imponen sus funciones; la currícula de la carrera vendría siendo parte

del proceso productivo, mediante el cual el producto es fabricado, que en el caso educativo, viene siendo el medio por el cual se le dan al alumno los conocimientos, habilidades y actitudes que deberá tener para el buen desempeño profesional; mientras que la inspección final del producto sería el examen general de conocimientos del egresado, que pretende CENEVAL en un futuro cercano sea una opción válida de titulación de todas las instituciones de educación superior en nuestro país y como de hecho lo es ya en algunas facultades de la UASLP, lo cual desde el punto de vista de la calidad es muy bueno, pues ayudaría a uniformar el criterio de evaluación para el profesional que egresa de las distintas disciplinas, lo que haría que las instituciones vieran de una manera objetiva cuáles son las fortalezas y debilidades del producto que están sacando al mercado. Esta certificación motivaría el reconocimiento de los estudios profesionales, independientemente de las instituciones educativas y lugar de estudios. Finalmente el cliente, que en el caso particular de la educación le llamaremos beneficiario y está representado por el alumno, el padre de familia, el sector productivo y la sociedad.

Es por estos procesos de certificación que ahora deben afrontar las instituciones educativas que creemos que este texto puede ser de utilidad, ya que la aplicación de las herramientas estadísticas nos podrá beneficiar al proceso de mejoramiento continuo.

En este texto nos limitamos a la descripción de las 7 herramientas básicas y no describimos otras herramientas sofisticadas que el lector debería consultar si es su deseo incursionar más en el tema. En la tabla II.6, se describe el uso de cada una de las 7 herramientas.

**Tabla II.6.-** Herramientas para el análisis de los problemas de calidad.

Herramienta	Utilidad
Diagrama de Pareto	Nos sirve para identificar "los pocos vitales" y "los muchos triviales" de un conjunto de problemas.
Hoja de Registro	Formato útil para recolectar de manera ordenada y sencilla información, clasificar productos y defectos, confirmar una operación efectuada.
Histograma	Ayuda a visualizar mejor el comportamiento de los mismos.
Diagrama Causa - Efecto	Es una herramienta valiosa para sistematizar la búsqueda e implantar mejoras.

Herramienta	Utilidad
Diagrama Estratificado	Ayuda a confirmar o verificar lo efectos de las causas seleccionadas, utilizando datos discretos.
Diagrama de Dispersión	Nos ayuda a encontrar la correlación entre una causa y un efecto, utilizando datos continuos.
Gráficos de Control	Con un vistazo a la gráfica de control podemos darnos cuenta del comportamiento de un proceso, su análisis nos permite localizar fuentes de fallas y nos anticipa a los problemas serios.

## 2.7 PROCESO DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN EQUIPO

Ningún intento por mejorar la calidad de un sistema progresará si no se reconoce la existencia de problemas; además, el equipo de trabajo debe sentir la necesidad de cambiar esa situación, para mejorarla. A menudo las situaciones conflictivas están compuestas por problemas que están mezclados, su origen es diverso, son de diferente magnitud y pueden o no estar interrelacionados, por esto es importante planear antes de actuar y sobre todo, aceptar que la solución de problemas es un proceso. Los 7 pasos del proceso de solución de problemas que sugerimos son los siguientes:

1. Identificar el problema.
2. Entender los orígenes de la variación.
3. Determinar las causas más comunes.
4. Recabar datos y diseñar pruebas de causas.
5. Conducir pruebas y analizar datos.
6. Medir resultados.
7. Instalar la solución permanente y evaluar para un mejoramiento continuo.

El proceso de análisis y solución de problemas es la metodología que permite de manera disciplinada y estandarizada, hacer uso de la estadística, de las herramientas básicas y de otras más sofisticadas para encontrar el origen y las causas verdaderas de los problemas que conduzcan a soluciones de raíz, es decir, permanentes.

### 1.- Identificar el problema

Objetivo:

Tomar una situación problemática y analizarla. Los problemas deben resolverse

uno a la vez y en el orden de prioridad establecido. Esta fase aún cuando parece simple, en ocasiones es compleja y clave, es común escuchar que -identificar el problema es la mitad de la solución del mismo-. Nuestro objetivo en el trabajo no es terminar con los problemas, de hecho esto no es posible, los problemas nunca se acaban y son los problemas en cierta forma nuestra razón de existir en el empleo. Lo que sí debemos considerar es que no podemos aceptar como normal caer dos veces en el mismo error, eso sí que es un problema. Nuestro objetivo es mantener los problemas bajo control, evitar su recurrencia y sobre todo minimizar las posibilidades de que su influencia afecte a nuestros clientes.

Requerimiento:

El enunciado del problema debe ser claro, conciso, cuantificable y cierto.

El trabajo requiere:

Clasificación, organización y selección.

Herramientas frecuentemente utilizadas:

Diagrama de Pareto, Gráficos de Control y Hojas de Verificación.

Consideración en la selección del problema.

- a) La severidad del problema para el cliente, para la organización y para el departamento que determina la prioridad.
- b) Cómo puede ser ordenada la información lo mejor posible o bien qué herramienta estadística debe ser utilizada para facilitar la toma de decisiones.
- c) El Diagrama de Pareto no siempre nos dice toda la historia. Se puede necesitar analizar tendencias, costo, recursos requeridos en la selección del problema a tomar.
- d) Conocimientos de la necesidad principal de los clientes o del cliente que tenga mayor influencia en la decisión del problema.

## **2.- Entender qué origina la variación** (Tomar acción a corto plazo si se requiere).

Objetivo:

Proteger al cliente de posibles problemas. Como proveedores tenemos la obligación de estar informados acerca de las consecuencias que un error en nuestro producto y proceso puede tener en nuestros clientes y usuarios. Nuestro problema no se limita a nuestra área de producción, ni a un plazo de garantía y esto debe estar en la conciencia del equipo de trabajo.

Requerimiento:

Los integrantes deben:

- a) Tener conocimiento del producto y el proceso.
- b) Saber lo que es importante para el cliente.
- c) Conocer métodos de control para prevenir problemas al cliente.

El trabajo requiere:

Seleccionar controles para prevenir problemas que han pasado.

Herramientas frecuentemente utilizadas:

Tormenta de Ideas.

Consideraciones en la selección del problema:

- a) No se detenga en este punto.
- b) Continúe investigando para determinar lo que origina la variación.
- c) Acción inmediata, para contener el problema y proteger al cliente.
- d) Si el problema no involucra al cliente, podrá no requerirse una acción a corto plazo.

### **3.- Determinación de las causas más comunes**

Objetivo:

Selección de las causas más afines del problema. El origen de los problemas es oscuro y determinarlo resulta en ocasiones conflictivo, pero es fundamental encontrar la causa raíz para implementar verdaderas soluciones.

Requerimiento:

- a) Los participantes deberán conocer el producto y el proceso.
- b) Cada persona deberá contribuir con ideas.
- c) Apertura de los participantes.
- d) Ser proactivo.

Habilidades requeridas:

Saber cómo:

- a) Exponer las causas posibles.
- b) Organizar y categorizar ideas.
- c) Seleccionar y jerarquizar las causas más afines.

Herramientas frecuentemente utilizadas.  
Tormenta de Ideas y Diagrama Causa – Efecto.

Consideraciones en la selección del problema:

- a) ¿ Cuántas variables puede usted investigar?
- b) ¿ Qué tan severo es el problema para determinar los recursos requeridos en el diseño de la prueba o del equipo?
- c) ¿ Las causas seleccionadas son causas de raíz o síntomas?

#### **4.- Recabar datos/diseñar pruebas de causas**

Objetivo:

Determinar qué factores causan el problema. El sentido común es un buen aliado, pero en ocasiones se equivoca.

Requerimiento:

- a) Recolectar información para determinar si las opiniones generadas en el paso 3 están correctas.
- b) Algunas conclusiones pueden llegar a ser obvias después de que se recolecta la información.
- c) Pruebas frecuentes o un experimento planeado, será requerido para determinar la causa de raíz, antes o después de que la información es recolectada.

El trabajo requiere:

- a) Recolección de información.
- b) Diseño de pruebas.
- c) Organizar los experimentos.

Herramientas frecuentemente utilizadas

- a) Hojas de Verificación.
- b) Análisis de Tendencias o dispersión.
- c) Estudios de Habilidad.
- d) Histogramas.
- e) Análisis de Capacidad.
- f) Diseño de Experimentos.
- g) Diagramas de Flujo.

## 5.- Conducir prueba / analizar datos

Objetivo:

Conducir una prueba y analizar la información para seleccionar una solución en los planes diseñados en el paso 4.

Requerimiento:

- a) Los participantes deberán utilizar la información previa cuando esté disponible.
- b) Diseñar la prueba considerando el mayor número de factores posibles.
- c) La solución deberá proveer una máxima protección al costo más bajo.
- d) La solución deberá ser probada o confirmada antes de la implantación.

El trabajo requiere:

- a) Conducir la prueba.
- b) Analizar los resultados.
- c) Seleccionar la solución.

Herramientas frecuentemente utilizadas.

- a) Análisis de Habilidad.
- b) Gráficos de Control.
- c) Diseño de Experimentos.
- d) Histogramas.
- e) 5 Porqués.
- f) Diagrama de Flujo.
- g) Análisis de Tendencias o dispersión.
- h) Tormenta de Ideas.

Consideraciones en la selección del problema.

- a) Cómo recolectar la información.
- b) Cómo conducir la prueba.
- c) A quién involucrar en el análisis de los resultados.

## 6.- Medir resultados / planear medidas

Objetivo:

Implantar temporalmente los cambios al proceso, a fin de corroborar que hay tendencia al mejoramiento y a la reducción de variabilidad y que son los resultados que esperábamos.

Requerimiento:

- a) Los integrantes deben conocer el producto, el proceso y conducir la solución al nivel del origen.
- b) El método preferido es un cambio al diseño del producto o del proceso.
- c) La solución deberá proveer una máxima protección al costo más bajo.
- d) La solución deberá ser probada o confirmada antes de la implantación.

El trabajo requiere:

- a) Rediseño.
- b) Mejoramiento del sistema de control.
- c) Cambio en el procedimiento.

Herramientas frecuentemente utilizadas:

- a) Análisis de modo y efecto de falla.
- b) Gráficos de Control.
- c) Hojas de Verificación.
- d) Análisis de Tendencias.
- e) Diagrama de Flujo.
- f) Diagrama de Pareto.

## **7.- Instalar el arreglo permanente / planear el siguiente nivel**

Objetivo:

Asegurar que no vuelva a ocurrir el problema y reducir la frecuencia de las acciones tomadas.

Requerimiento:

- a) Los integrantes deberán conocer el producto y proceso.
- b) Los datos deberán ser usados para verificar mejoramientos logrados (muestra por qué la información recolectada en el desempeño actual es importante en el paso 1).
- c) La siguiente mejora deberá ser seleccionada del enfoque del mejoramiento continuo.
- d) Puede requerir de nuevos miembros del equipo.
- e) Los líderes de la organización deberán determinar qué recompensa o reconocimiento es apropiado para los logros obtenidos.

El trabajo requiere:

- a) Medición de resultados apropiados.
- b) Selección de nuevos proyectos.
- c) Reconocimiento a los miembros del equipo.

Herramientas frecuentemente utilizadas:

- a) Análisis de Tendencia.
- b) Gráficos de Control.
- c) Hojas de Verificación.
- d) Histogramas.
- e) Sistemas de reconocimiento o recompensa.
- f) AMEF.

Una de las principales fuentes de problemas es la falta de comunicación efectiva dentro de las organizaciones, el poco entendimiento recíproco entre operadores y administradores. Mientras unos se quejan que los trabajadores no son objetivos en sus aportaciones y solicitudes pues les falta educación, argumentan que sus conjeturas son puras ocurrencias con un solo propósito, no trabajar, los otros opinan que los administradores son unos soberbios que se la pasan correteando lo urgente, sin atender lo realmente importante; gente que no sabe escuchar. No podemos juzgar las posturas, ambas son respetables; lo que sí debemos reconocer, es que el principal recurso para la solución de los problemas en el piso está en los operarios. Estudios nos han revelado que alrededor del 80% del personal de una compañía lo integra la gente de piso y que además el tiempo que ellos están frente a las situaciones del proceso, es mucho mayor que el tiempo que puede estar la gerencia. Así entonces, debemos reconocer que el personal es la fuente de la calidad y productividad. Como previamente lo mencionamos "La calidad no está en las cosas que hacen las personas, la calidad está en las personas que hacen las cosas".

Sería deseable que el uso de las 7 herramientas básicas fuera un hábito en las instituciones, que se difundiera a todos los niveles de la organización. Una vez que los grupos de personas puedan utilizarlas y entenderlas, el proceso de comunicación entre los grupos de trabajo será más eficiente y podríamos obtener de los trabajadores no solamente el involucramiento, sino el compromiso de mantener una búsqueda continua y participativa de las mejoras de los sistemas productivos. El actual obrero podría convertirse de un trabajador, a un controlador del proceso mediante el uso de herramientas administrativas como éstas.

# Capítulo III

## *La Hoja de registro de datos*

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

La Hoja de Registro de Datos es la primera de las herramientas estadísticas para el control de los procesos y mejora de la calidad. Aún cuando pareciera algo muy simple, en realidad no lo es, pues requiere de un buen diseño para recabar la información de una manera adecuada.

La información es un elemento muy importante en cualquier empresa o institución y como tal debe manejarse, comenzando con su recopilación, que es el propósito de esta herramienta, para luego poder aprovecharla. Un hecho que no debe pasar desapercibido es que si la información que se recaba no es confiable, ni de calidad, será poco lo que aporte en beneficio de la empresa. No debe perderse de vista, que lo que se busca es elaborar productos que satisfagan las expectativas de los clientes, de tal modo que si recopilamos basura y no-información, lo que obtendremos será eso: basura.

### **3.2 OBJETIVOS DE LA HOJA DE REGISTRO DE DATOS**

Los objetivos principales de la Hoja de Registro de Datos son:

- a) Control y monitoreo del proceso productivo.
- b) Análisis de lo que no está dentro de las especificaciones.
- c) Facilitar la inspección.

Para esto debe diseñarse esta herramienta en una forma adecuada y teniendo en cuenta lo siguiente:

- a) Qué información se va a recopilar. Esto significa determinar cuáles datos son requeridos, cuántos datos, fechas de recopilación, horas, maquinaria utilizada, métodos, operarios, materias primas y otros que ayuden a precisar la información.
- b) Qué uso se le va a dar a la información. Esto es importante, pues del uso que se le vaya a dar a los datos, dependerá el diseño de esta herramienta, a fin de facilitar el procesamiento. Además, si la información va a pasar por varias manos, es conveniente que el manipuleo de los datos sea mínimo y que el diseño sea lo más claro y objetivo posible, para evitar errores de malas interpretaciones y de trascripción.
- c) Verificar la confiabilidad de las mediciones. Cuando en la captación de la información se utilizan instrumentos de medición, éstos deberán calibrarse y verificarse periódicamente, pues el desgaste y uso continuo pueden alterarlos. Si las mediciones son sensoriales por parte de personas, deberá cuidarse que el criterio de los individuos a cargo de estas funciones sea uniforme, pues un mismo producto calificado con diferentes puntos de vista, podrá pasar como defectuoso o como bueno.

### 3.3 TIPOS DE HOJAS DE REGISTRO DE DATOS

A continuación presentaremos varios tipos de Hojas de Registro de Datos aplicadas a ejemplos concretos, tanto de producción de artículos, como del proceso educativo.

#### ***HOJA DE REGISTRO DE ARTÍCULOS DEFECTUOSOS***

Esta hoja sirve para listar los tipos de defectos que ocurren en un producto y su frecuencia, para lo cual es conveniente elaborar una relación de los tipos de defecto que suelen ocurrir más frecuentemente. Esta tabla se va llenando en el transcurso del turno de producción y constituye un elemento importante para la toma de decisiones en el proceso.

Esto lo ilustraremos con la presentación de un ejemplo.

**Ejemplo III.1.-** Los artículos defectuosos en el embotellado de refresco gaseoso, a la salida de la línea de llenado, pueden ser por varias causas entre las que figuran:

1. Envases mal llenados. (Nivel de líquido por arriba y por debajo de una altura dada).
2. Coronado defectuoso. (Tapa más abierta o más cerrada).
3. Grados Brix (densidad) de la bebida fuera de especificación.
4. Contenido de gas de la bebida fuera de especificación.
5. Envases sucios.
6. Botellas sin tapa.
7. Envases vacíos.
8. Envases rotos,

y otros de menor importancia. Elabore una Hoja de Registro de Artículos Defectuosos aplicable para la inspección de 1000 artículos.

### Solución:

Lo primero que se sugiere hacer es determinar qué variables de la lista son atributos y cuáles son variables continuas. A continuación listamos las variables:

<b>Discretas</b>	<b>Continuas</b>
Envases sucios.	Envases mal llenados.
Botellas sin tapa.	Coronado defectuoso.
Envases vacíos.	Grados Brix fuera de especificación.
Envases rotos.	Contenido de gas en la bebida fuera de especificación.

En el caso de las variables continuas, es necesario realizar mediciones y comparar contra una especificación de ingeniería dada, para poder determinar si están o no fuera de norma. Para estas variables será necesario llevar un récord independiente, atendiendo a un plan de muestreo específico. Una forma práctica de establecer la conformidad de una variable continua sin necesidad de utilizar instrumentos de medición especiales o sin remitir la pieza al laboratorio o sin tener que realizar pruebas destructivas que inutilizarán la pieza, es mediante el uso de calibradores "pasa"/"no pasa". Lo anterior puede ser aplicado al mal coronado y al nivel fuera de especificación.

Las variables discretas se determinan de una forma sencilla y directa, simplemente son o no son.

La hoja que se pide pudiera ser como la mostrada en la tabla III.1.

Tabla III. 1.- Hoja de Registro de Artículos Defectuosos para la Embotelladora

<b>Fecha de Inspección:</b> 20 Abril 99		<b>Número de Lote:</b> 30
<b>Fecha de Fabricación:</b> 10 Abril 99		<b>Número de artículos inspeccionados:</b> 1000
<b>Nombre del Inspector:</b> Juan Pérez		<b>Observaciones:</b> Mucho envase sucio
<b>Tipo de Defecto</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Subtotal</b>
Nivel fuera de especificación	III IIII	9
Botellas sin tapa	III I	6
Envases vacíos	III III	8
Envases rotos	III II	7
Envases sucios	III III III III	18
Coronado fuera de especificación	III III	10
	<b>Total</b>	<b>58</b>
Total de Rechazados	III III III III III III III III III	43

## Acciones:

- 1) Si la frecuencia de los envases rotos es mayor a 1 por cada 200 envases inspeccionados avise a su supervisor.
- 2) Si la frecuencia de los envases sucios es mayor a 1 de 100, detenga el proceso.

Aquí se han dado sólo 43 rechazos debido a que algunos de estos artículos han tenido más de un defecto, de hecho, la relación de artículos rechazados por número de defectos fue la siguiente:

2 artículos con 3 defectos.

11 artículos con 2 defectos.

30 artículos con 1 defecto.

Lo cual da los 43 artículos defectuosos. Las especificaciones de ingeniería y la experiencia, nos podrán ofrecer algunos criterios de acción a ser tomados en cuenta durante la toma de datos en el turno y después de terminada la jornada. Estos criterios generalmente se muestran de manera muy clara en la parte inferior de las tablas de registro, como se muestra en las notas del ejemplo.

Cabe mencionar para este caso dos aspectos: el primero, que salieron demasiados refrescos con envase sucio debido a que muy probablemente se metió al proceso un lote de envases muy sucio, el cual por lo regular debe lavarse con

ácido muriático antes de que entre a la máquina lavadora; y el segundo, que para las variables de contenido de gas y grados Brix se debe realizar una hoja como la mostrada en la tabla III.3 para variables continuas.

A continuación presentaremos otro ejemplo de esta útil herramienta.

**Ejemplo III.2.-** La empresa "Botanas RIC" elabora frituras de maíz, una de las cuales las vende en bolsas de plástico de 100 gramos. Los productos defectuosos pueden ser: por mal sellado de las bolsas, por peso fuera de norma, por bolsas sucias y otras de menor importancia. Elabore una Hoja de Registro de Artículos Defectuosos para este caso si se inspeccionan lotes de 300 bolsas.

Vamos a suponer que el plan de control nos marca como criterio que si en una muestra de 300 artículos encontramos más de 10 defectos, tenemos que verificar al 100% el lote de producción de ese turno y eliminar el producto defectuoso.

### Solución:

La Hoja pudiera ser una similar a la siguiente:

**Tabla III.2.-** Hoja de Registro de Artículos Defectuosos para "Botanas RIC"

<b>Fecha de Inspección:</b> 10 Dic. 98 <b>Fecha de Fabricación:</b> 4 Dic. 98 <b>Nombre del Inspector:</b> Raúl Castillo		<b>Número de Lote:</b> 124 <b>Número de artículos inspeccionados:</b> 300 <b>Observaciones:</b> Ninguna
Tipo de Defecto	Frecuencia	Subtotal
Sellado	III	5
Peso	III II	7
Sucio	II	2
Otros	III	3
	<b>Total</b>	17
Total de Rechazados	III III III	15

De estos 15 rechazados, 13 productos presentaron 1 defecto y el resto, 2 defectos cada uno.

De las 7 bolsas con el peso fuera de las especificaciones, 5 de ellas fueron por peso bajo y 2 por peso alto.

De acuerdo al criterio, debemos verificar el 100% de la producción del turno de esa línea. Como ya mencionamos la inspección no agrega calidad a nuestro producto, sino costo. Lo que debemos hacer es tomar algunas acciones en el proceso para prevenir que estos defectos se presenten.

### HOJA PARA DISTRIBUCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Este hoja es útil cuando se va a elaborar un histograma, que nos represente las frecuencias de alguna variable a medir (variable continua) en el proceso de producción de un artículo, por lo cual la Hoja de Registro puede ser como la que presentamos en el ejemplo siguiente:

**Ejemplo III.3.-** Elaborar una Hoja de Registro de Datos para la producción de tubo de cobre de 4 pulgadas de diámetro, cuya tolerancia es 5 milésimas de pulgada, se pretende recopilar 50 datos por día.

**Solución:**

La hoja en cuestión puede ser como la que se presenta en la tabla III.3.

**Tabla III.3.-** Hoja de Registro de Datos para los tubos de 4 pulgadas

Fecha:														
Especificación	Desv.	Número de Registros											Frecuencias	
		5			10				15					
	-8	X												1
	-7	0												
	-6	X												1
3.995	-5	X	X											2
	-4	X	X											2
	-3	X	X	X										3
	-2	X	X	X	X									4
	-1	X	X	X	X									4
4.000	0	X	X	X	X	X	X	X						7
	1	X	X	X	X	X	X							6
	2	X	X	X	X	X								5
	3	X	X	X	X									4
	4	X	X	X	X									4
4.005	5	X	X	X										3
	6	X	X	X										3
	7	X												1
	8													0
Total													50	

Aquí es conveniente comentar que se puede ampliar el número de registros, en caso de que algún valor fuese muy frecuente, o también aumentar los valores de las especificaciones, que en esta hoja llegan sólo a 8 milésimas de pulgada arriba o abajo del valor especificado de 4 pulgadas.

También se podría dejar un renglón más para todo lo que quedase muy fuera de la especificación, ya sea hacia arriba o por debajo de las 4 pulgadas. Este tipo de registro nos permite ver el comportamiento del proceso mientras progresa. Podría incluso ayudarnos a prevenir la fabricación de artículos defectuosos. Para lograr esto se utiliza el sombreado de los renglones que están fuera de la tolerancia de ingeniería y se establecería algún criterio a seguir por parte del tomador de datos. Por ejemplo, si tres datos continuos están fuera de la especificación (sobre la zona sombreada) detener el proceso y avisar al supervisor. Estos criterios como ya lo mencionamos, son establecidos por el departamento técnico y nos ayudarán a disminuir la producción de artículos defectuosos.

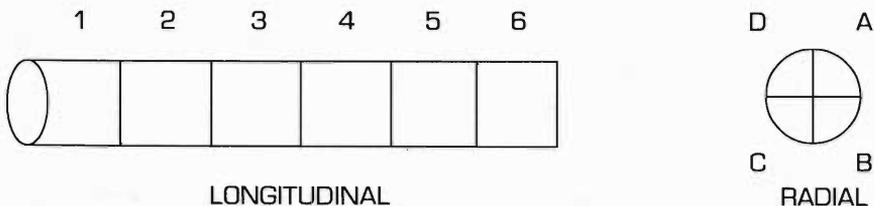
### **HOJA DE REGISTRO DE LOCALIZACIÓN DE DEFECTOS**

Este es una hoja útil para ubicar el sitio donde se produce un defecto en un producto dado. Es aplicable al caso de piezas metálicas, como el ejemplo que se presenta enseguida:

**Ejemplo III.4.-** Elaborar una Hoja de Registro de Localización de Defectos para la fabricación de tubo de ademe liso de 12 pulgadas de diámetro y 18 pies de longitud, el cual suele presentar fisuras superficiales en diferentes partes, según su proceso de maquinado.

#### **Solución:**

Esta hoja puede elaborarse como se presenta a continuación, señalando antes cada parte del tubo tanto en sentido longitudinal como radial.



**Tabla III.4.-** Hoja de Localización de Defectos para el tubo de ademe

Radial Longitudinal	A	B	C	D	SUBTOTAL
1	//	/		/	4
2	/		/	/	3
3	/	/	/	//	5
4	//	///	//	/	8
5	/		/		2
6		/			1
SUBTOTAL	7	6	5	5	23

Aquí vemos que hubo 23 localizaciones de defectos, de las cuales es notorio que en el sentido longitudinal se ubicaron principalmente al nivel de la cuarta sección, debido a un desajuste en la maquinaria o mal centrado de las lunetas de apoyo, por lo cual debemos realizar este ajuste y verificar resultados.

En las zonas radiales no hubo alguna tendencia marcada que nos pudiera revelar que la materia prima viene con defectos desde su origen.

### **HOJA DE REGISTRO PARA DIAGRAMAS ESTRATIFICADOS**

Esta hoja se usa para la elaboración de Diagramas Estratificados, pues es usual que en los procesos productivos se estratifique en cuanto a máquinas, a operadores, por turnos, por métodos, en fin por cualquier causa que se desee analizar y que se considere como responsable de generar los defectos.

El ejemplo III.5 nos muestra un caso de este tipo.

**Ejemplo III.5.-** La fábrica "Envases Plásticos de Rioverde" está teniendo problemas de artículos defectuosos en la producción de envases de medio galón y desea analizar más de cerca el problema. Para esto ha pedido la colaboración de un asesor, quien les ha indicado que en primer término, se debe estratificar en cuanto a las posibles causas de generación de los defectos. ¿Cuál sería la Hoja de Registro respectiva para este caso?

#### **Solución:**

Primeramente debemos señalar respecto a qué factores estratificaremos. Para

el caso que nos ocupa, la fábrica tiene 2 máquinas, cada una de las cuales trabaja con 2 operadores en cada turno, trabajando 3 turnos diarios. Si se desea estratificar respecto a las máquinas y los operadores, la hoja respectiva puede ser como la mostrada en la tabla siguiente:

**Tabla III.5.-** Hoja de Registro de Datos para estratificar en los envases plásticos

Fecha: 3 Marzo 99												
Turno: Segundo												
Máquina	Operador	Tipo de Defecto	Registros									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	A	Rajadura	X									
		Rayas superficiales	X	X	X							
		Deforme	X	X								
		Incompleto	X									
		Otros	X									
	B	Rajadura	X									
		Rayas superficiales	X	X								
		Deforme	X									
		Incompleto	X									
		Otros	X	X								
2	A	Rajadura	X	X	X	X	X					
		Rayas superficiales	X	X	X							
		Deforme	X	X	X	X	X					
		Incompleto	X	X	X	X	X	X				
		Otros	X	X	X	X						
	B	Rajadura	X	X								
		Rayas superficiales	X									
		Deforme	X	X	X							
		Incompleto	X									
		Otros	X	X								

Resulta común que cuando tenemos toda la información acumulada en una sola tabla, esta no nos muestre claramente los problemas marcados de un sector específico, pues los resultados buenos se promedian con los malos, o bien, que

un mal resultado global no sea responsabilidad de todos los sectores involucrados sino de uno o dos de ellos. Por esa razón es que la estratificación es útil, pues nos hace evidente el lugar donde se presentan los problemas y nos ayuda a encaminar los esfuerzos en la dirección correcta.

En nuestro ejemplo debemos dar apoyo al operador A de la máquina 2 del segundo turno. Todo muestra que ahí existen problemas por desconocimiento o actitud.

### **HOJA DE REGISTRO PARA CALIFICACIONES**

A continuación presentaremos algunos ejemplos aplicados al caso de las instituciones educativas, para las cuales si su producto es el alumno bien preparado para los requerimientos profesionales que los sectores sociales le imponen, es innegable que una de las hojas de registro que se requieren es la de las calificaciones que aquél obtiene durante sus estudios, la cual presentaremos en el siguiente ejemplo:

**Ejemplo III.6.-** Elaborar una Hoja de Registro de Calificaciones para el grupo del segundo semestre de la carrera de Ingeniería Civil, el cual se compone de 15 alumnos, los cuales llevan durante el semestre 7 materias, cada una de las cuales incluyen 4 exámenes parciales, cuyo promedio constituye la calificación final ordinaria, la cual será aprobatoria si es mayor o igual que 6.0 puntos.

#### **Solución:**

La hoja pedida puede ser la mostrada en la tabla III.6.

Aquí podemos comentar que en esta hoja obtenemos hasta el promedio de cada examen parcial, a fin de saber cuál fue el aprovechamiento tanto individual como del grupo. En el caso de este ejemplo, vemos que el rendimiento del alumnado fue equilibrado en cada examen parcial. También se observa que las calificaciones reprobatorias se presentan en cursivas.

A su vez, si se desea obtener las calificaciones del grupo en todas las materias, esto podría hacerse en una nueva hoja de registro, que sería tal y como se presenta en la tabla III.7.

Tabla III.6.- Hoja de Registro de Calificaciones para Cálculo I

<b>Materia:</b> Cálculo I		<b>Grupo:</b> Segundo Semestre			
<b>Profesor:</b> Ing. Fernando Díaz B.		<b>Carrera:</b> Ingeniería Civil			
<b>Periodo Escolar:</b> Ene - Jun 99		<b>Observaciones:</b>			
Nombre del Alumno	Calificación de los Exámenes Parciales				Examen Final Ordinario
	1	2	3	4	
Alvarado Hernández Francisco Javier	6	7	8	9	7.5
Arteaga Rodríguez Fernando	10	9	8	9	9
Barrera Díaz Roberto Enrique	10	10	8	9	9.5
Castillo Sánchez Rodrigo	5	6	6	5	5.5
Derreza Méndez Aurelio	3	7	7	7	6
Espinoza Fernández María Enriqueta	8	8	7	8	8
González Díaz Roberto Carlos	9	8	9	9	9
Hernández López Juan Alberto	9	7	8	8	8
Ibarra Ocejo José Arturo	10	8	7	9	8.5
Martínez Martínez Adriana	9	9	8	7	8.5
Ortiz Sánchez Fernando Alberto	2	10	10	8	7.5
Rodríguez Alvarez Brenda Guadalupe	4	6	4	6	5
Salvatierra García Juana María	9	8	7	6	7.5
Torres Andrade Nelson Eduardo	10	9	10	9	9.5
Zavala Hernández Hugo Alberto	6	8	7	7	7
Promedio	7.33	8	7.6	7.73	7.73

Tabla III.7.- Hoja de Registro de Calificaciones para todas las materias

<b>Grupo:</b> Segundo Semestre <b>Carrera:</b> Ingeniería Civil <b>Periodo Escolar:</b> Ene - Jun 99		<b>Catálogo de Materias:</b> 1.- Cálculo I, 2.- Álgebra I, 3.- Física I, 4.- Química, 5.- Geometría Descriptiva, 6.- Topografía, 7.- Métodos Numéricos						
<b>Nombre del Alumno</b>	<b>Calificación de las Materias</b>							<b>Pro-medio</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	
Alvarado Hernández Francisco J.	7.5	7	7	5	9	7	6	6.93
Arteaga Rodríguez Fernando	9	7	7	6	9	8	7	7.57
Barrera Díaz Roberto Enrique	9.5	8	8.5	7	10	9	9	8.71
Castillo Sánchez Rodrigo	5.5	6	6	3.5	7	6	6	5.71
Derreza Méndez Aurelio	6	6	5.5	4	7	6	6	5.78
Espinoza Fernández Ma. Enriqueta	8	9	9	7	9	8	8	8.29
González Díaz Roberto Carlos	9	8.5	9.5	8	10	10	9	9.14
Hernández López Juan Alberto	8	8.5	8	7	10	10	9.5	8.71
Ibarra Ocejo José Arturo	8.5	6	7	5	8	8	7.5	7.14
Martínez Martínez Adriana	8.5	7.5	7.5	5.5	8	7	7	7.29
Ortiz Sánchez Fernando Alberto	7.5	9	8	7	9	8	7	7.93
Rodríguez Alvarez Brenda G.	5	4.5	6	5	7	7	7	5.93
Salvatierra García Juana María	7.5	5.5	6	6	6	7	6.5	6.36
Torres Andrade Nelson Eduardo	9.5	8.5	9.5	8	10	10	9	9.21
Zavala Hernández Hugo Alberto	7	7	7	5	9	8	6	7
Promedio	7.73	7.2	7.43	5.93	8.53	7.93	7.37	7.45

Aquí también podemos obtener conclusiones importantes, tales como que el rendimiento del grupo por materia es parecido al promedio, excepto en el caso de la materia # 4, Química, en la cual el aprovechamiento es significativamente menor, mientras que en el caso de la materia # 5, Geometría Descriptiva, la

calificación promedio ha sido la mayor de todas. Esto sugiere algo sobre el grado de dificultad de cada materia, o quizás acerca de la capacidad individual del profesor de cada materia o de las preferencias que los alumnos tengan por ciertas áreas del conocimiento.

También podemos saber quienes han sido los alumnos de mejor aprovechamiento en el semestre, que para el caso del ejemplo lo fueron Nelson Eduardo Torres Andrade con 9.21 y Roberto Carlos González Díaz con 9.14 de promedio.

### **HOJA DE REGISTRO PARA DIAGRAMA DE DISPERSIÓN**

Esta hoja se utiliza cuando se desean elaborar Diagramas de Dispersión, que se aplican cuando se piensa que existe relación entre dos variables, por lo cual hay que recoger pares de datos de las variables en cuestión.

Esto lo ilustraremos con un caso de educación.

**Ejemplo III.7.-** Se piensa que las calificaciones de los alumnos dependen del número de horas de estudio que aquellos pasan en la biblioteca, por lo que se desea hacer un estudio que confirme la suposición. Elabore una hoja de recolección de los datos.

#### **Solución:**

La frecuencia con que se aplican los exámenes parciales es de 4 semanas, por lo que sería recomendable recolectar las horas de estudio semanales en la biblioteca de una muestra de 10 alumnos, por lo que la hoja quedaría en la siguiente forma, ver Tabla III.8.

Esta hoja nos permite relacionar 10 puntos para el Diagrama de Dispersión, uno por cada alumno. Además esto representa sólo un examen parcial, por lo que si se desea, es posible recopilar más datos, ya sea para otro examen parcial, o bien, aumentar el tamaño de la muestra de alumnos.

## **3.4 CONCLUSIONES**

Como hemos visto, las Hojas de Registro de Datos pueden ser herramientas útiles, si se les diseña apropiadamente, lo cual las convierte en un poderoso aliado para la recolección de la información, para la toma de decisiones en proceso, así como también, para usos posteriores como: evidencia objetiva en las reuniones de mejoramiento de la calidad y hojas de verificación en el proceso.

Además, vemos claramente que su aplicación no se limita sólo a los procesos productivos, sino que puede extenderse para otros muchos casos en casi cualquier tipo de actividad.

**Tabla III.8.-** Hoja de Registro de calificaciones y horas de estudio

<b>Materia:</b> Análisis <b>Profesor:</b> José Luis Prado		<b>Número de Examen Parcial:</b> Segundo				
		<b>Observaciones:</b>				
<b>Nombre del Alumno</b>	<b>Horas de Estudio Semana</b>				<b>Total de Horas</b>	<b>Calificación</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>		
Raúl Villanueva Luna	7	7	8	10	32	10
Juan José Pérez Hernández	6	6.5	7	8	27.5	8.5
Juan Govea Ruiz	6	6	6	5	23	8
Guadalupe Rocha Sosa	5	5.5	5	5.5	21	9
José Aguilar Álvarez	5	4	4	5	18	8
Víctor Hugo Almazán Cato	5	4	4	4	17	7.5
José Luis Rodríguez Díaz	4	4	3.5	5	16.5	7
Dulce Salinas Varela	3	4.5	4	5	16.5	8
Santiago Perales Castillo	3	4	4	5	16	7.5
Antonio Saldierna Pérez	4	4	4	4	16	9
Subtotal	48	49.5	49.5	56.5	203.5	82.5
Promedio	4.8	4.95	4.95	5.65	20.35	8.25

# Capítulo IV

## El Diagrama de Pareto

### 4.1 INTRODUCCIÓN

En todo proceso productivo o de trabajo se da la situación de que sólo unas cuantas causas de las posibles, son las que originan la mayor parte de los problemas. Este principio se enuncia como la *Ley de Pareto*, en honor del economista italiano V. Pareto, quien a finales del siglo XIX analizó cómo los ingresos que percibían las gentes eran muy desiguales, es decir, en muy pocas manos quedaba la mayor parte del dinero.

Pocos años después, el americano M. C. Lorenz manejó este mismo principio, utilizándolo en forma de diagrama.

Posteriormente J. M. Juran, uno de los gurús de la calidad, fue el primero en aplicarlo a este tema, dándole el nombre de *Diagrama de Pareto*.

Este enunciado se conoce también como de "los pocos vitales y los muchos triviales", o también como la ley 80 - 20, es decir, el 20 % de las causas ocasionan el 80 % de los fenómenos.

Esta herramienta suele aplicarse para localizar las causas vitales que originan los problemas de producción o bien, los fenómenos no deseados que se presentan en los negocios, por lo que representa una gran ayuda para la mejora de la calidad, pues controlando estas pocas causas vitales, se resolverán la mayoría de los problemas que en materia de calidad nos aquejan.

Esta herramienta puede aplicarse para identificar las causas que ocasionan los

efectos no deseados, así como también para los sucesos o fenómenos que aparecen en el ámbito empresarial, lo cual la hace muy versátil para lograr la calidad de los productos. Encontrar esas causas o sea, definir el problema constituye en sí mismo, un gran avance en su solución.

## 4.2 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN Y APLICACIONES

Para elaborar un *Diagrama de Pareto* debemos guiarnos con los siguientes pasos:

- a) Identificar el problema que desea solucionarse.
- b) Identificar los datos que se necesita recopilar.
- c) Preparar una tabla para la recolección de los datos.
- d) Organizar la tabla de datos para el diagrama.
- e) Elaborar el diagrama.

Esta metodología la ilustraremos con la resolución de varios ejemplos.

**Ejemplo IV.1.-** El Banco Mercantil Rioverdense tiene una cartera vencida, la cual asciende a más de trescientos mil pesos, por lo cual la dirección general ha enviado a esta ciudad al Sr. Ernesto Ramírez, quien es especialista en solucionar este tipo de problemas. El Sr. Ramírez ha pedido una lista de los clientes que componen la cartera vencida, la cual se muestra en la tabla V.1. Elabore el Diagrama de Pareto correspondiente.

### **Solución:**

La lista de clientes que integran la cartera vencida es la que se muestra a continuación en la tabla siguiente:

**Tabla IV.1.-** Clientes de la cartera vencida del Banco Mercantil Rioverdense

Número de Cliente	Nombre del Cliente	Monto de Deuda, M\$*
1	Acosta Jorge	12.8
2	Duarte Pedro	4.6
3	Durán Juan	4.0
4	Hernández Javier	125.0
5	Martínez Raúl	40.0
6	Padrón José	8.7
7	Pérez Juan	25.3
8	Pérez Oscar	16.9
9	Rocha Francisco	20.0
10	Rodríguez Iván	7.3
11	Ruiz Efraín	5.8
12	Sánchez Luis	20.0
13	Torres José	10.4
14	Vaca Manuel	9.1
<b>Total</b>	—	<b>309.9</b>

\* M\$. Miles de pesos.

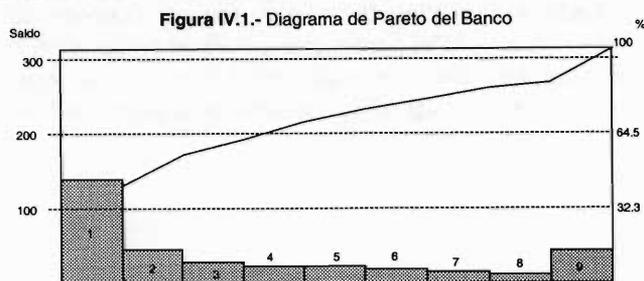
Aquí, conforme a la metodología indicada antes, el inciso a) que consiste en identificar el problema, es claro que se trata de la cartera vencida que hay que recuperar; según el inciso b), los datos requeridos son los montos señalados en la tabla anterior; de acuerdo con lo que indican los incisos c) y d), haremos una nueva tabla ordenada no por alfabeto, sino en montos decrecientes de saldo, y añadiremos una columna para el porcentaje individual de cada persona respecto del total, así como también una columna para el monto de saldo acumulado y el porcentaje correspondiente. Esta tabla quedará de la siguiente forma:

Tabla IV.2.- Lista ordenada según el saldo de la clientela

Número de Cliente	Nombre del Cliente	Saldo del Cliente, M\$	% de Saldo	Saldo Acumulado M\$	% de Saldo acumulado
1	Javier Hernández	125.0	40.34	125.0	40.34
2	Raúl Martínez	40.0	12.91	165.0	53.25
3	Juan Pérez	25.3	8.16	190.3	61.41
4	Francisco Rocha	20.0	6.45	210.3	67.86
5	Luis Sánchez	20.0	6.45	230.3	74.31
6	Oscar Pérez	16.9	5.45	247.2	79.76
7	Jorge Acosta	12.8	4.13	260.0	83.89
8	José Torres	10.4	3.36	270.4	87.25
9	Manuel Vaca	9.1	2.94	279.5	90.19
10	José Padrón	8.7	2.81	288.2	93.00
11	Iván Rodríguez	7.3	2.36	295.5	95.36
12	Efraín Ruiz	5.8	1.87	301.3	97.23
13	Pedro Duarte	4.6	1.48	305.9	98.71
14	Juan Durán	4.0	1.29	309.9	100.00
<b>Total</b>	—	<b>309.9</b>	<b>100.00</b>	<b>309.9</b>	<b>100.00</b>

Finalmente lo que nos resta es la elaboración del diagrama, la cual debe hacerse con dos ejes verticales y uno horizontal, colocando en el eje vertical del lado izquierdo los montos de saldos de cartera, mientras que en el del lado derecho el porcentaje acumulado respectivo; por su parte en el eje horizontal se ubican los nombres de los principales deudores, dejando un último lugar para otros, el cual debe incluir a los deudores de saldos menores y no representar un porcentaje muy elevado del total, por decir no mayor del 15 %.

Con esto el diagrama será el siguiente:



Aquí vemos que las barras corresponden a cada uno de los clientes de mayores saldos, indicándose con números y en otros se agrupa a los 6 clientes de menores cantidades, los que se presentan en la última barra, señalada con el número 9.

Por su parte la curva del diagrama indica los acumulados, que van aumentando hasta llegar con otros al 100 por ciento.

Este diagrama es de gran utilidad, pues de un breve análisis del mismo, nos damos cuenta que si atacamos a los pocos clientes vitales, por decir a los 3 primeros, Javier Hernández, Raúl Martínez y Juan Pérez, podríamos bajar el saldo de la cartera vencida en 190.3 miles de pesos, lo cual representa el 61.41% del total. De aquí queda claro que esta herramienta puede ser muy útil para orientar hacia donde dirigir nuestro esfuerzo.

Una vez que se hayan tomado algunas acciones concretas podremos volver a colocar sobre la misma gráfica los resultados y observaremos la mejora obtenida.

A continuación presentaremos un ejemplo de una institución educativa.

**Ejemplo IV.2.-** Los 25 alumnos del primer año escolar de la carrera de Ingeniería, llevan 7 materias, en las cuales el número de reprobados se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla IV.3.-** Reprobados por materia del alumnado de Ingeniería

Materia	Número de alumnos reprobados
Física	18
Álgebra	7
Cálculo	4
Computación	3
Geometría y Trigonometría	2
Taller de Desarrollo de Habilidades	0
Comunicación Oral y Escrita	0
<b>Total</b>	<b>34</b>

Elabore el Diagrama de Pareto para este caso.

**Solución:**

Para este ejemplo, habrá que agregar el porcentaje de reprobados de cada mate-

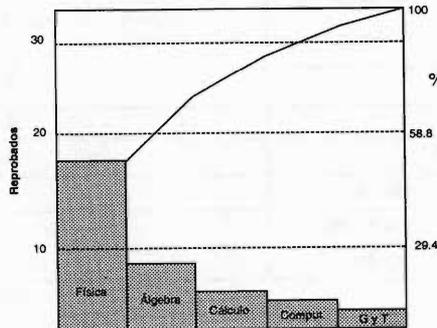
ria, así como también una columna para el acumulado de reprobados y su porcentaje correspondiente, con esto la tabla quedará de la siguiente manera:

**Tabla IV.4.-** Relación de reprobados y acumulados con sus porcentajes

Materia	Número de Reprobados	Porcentaje de Reprobados	Acumulado de Reprobados	Porcentaje acumulado
Física	18	52.94	18	52.94
Álgebra	7	20.59	25	73.53
Cálculo	4	11.77	29	85.30
Computación	3	8.82	32	94.12
Geometría y Trigonometría	2	5.88	34	100.00
Taller de Desarrollo de Habilidades	0	0	34	100.00
Comunicación Oral y Escrita	0	0	34	100.00
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>100</b>	<b>34</b>	<b>100</b>

Aquí vemos que de las 7 materias ha habido reprobados solamente en cinco de ellas, por lo que el diagrama podría incluir a estas 5 materias en su eje horizontal, con lo cual nos quedaría de la siguiente forma:

**Figura IV.2.-** Diagrama de Pareto de las materias



Es claro que una sola materia ha reunido más del 50 % del total de reprobados, por lo cual habría que hacer un análisis para revisar si existe un problema en ella, ya sea que tenga un grado mayor de dificultad o bien, que haya problemas de

aprendizaje de los alumnos. De aquí también podemos ver que esta herramienta puede usarse en combinación con otras, a fin de solucionar los problemas.

Ahora presentaremos otro ejemplo, esta vez de defectos en la fabricación de un artículo.

**Ejemplo IV.3.-** En la fabricación de envases de plástico se presentan varios defectos, de los cuales se muestra una relación estadística en la tabla siguiente, obtenida de un lote de 6500 envases producidos.

**Tabla IV.5.-** Frecuencias de cada defecto

Tipo de Defecto	Frecuencia
Rayaduras	21
Deforme	11
Incompleto	9
Agujereado	6
Adherencias	4
Poroso	3
Sucio	2
<b>Total</b>	<b>56</b>

Elabore el Diagrama de Pareto correspondiente.

**Solución:**

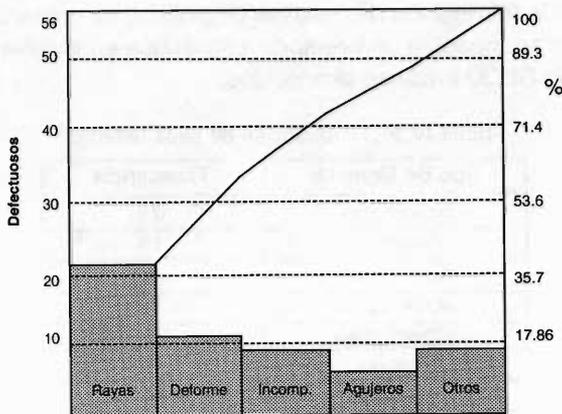
Lo primero será hacer una nueva tabla que incluya las columnas de los acumulados y los porcentajes, la cual será la siguiente:

**Tabla IV.6.-** Frecuencias de los defectos y sus acumulados y porcentajes

Tipo de Defecto	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia Acumulada	Porcentaje Acumulado
Rayaduras	21	37.50	21	37.50
Deforme	11	19.64	32	57.14
Incompleto	9	16.07	41	73.21
Agujereado	6	10.72	47	83.93
Adherencias	4	7.14	51	91.07
Poroso	3	5.36	54	96.43
Sucio	2	3.57	56	100.00
<b>Total</b>	<b>56</b>	<b>100.00</b>	<b>56</b>	<b>100.00</b>

De aquí pasamos al diagrama, en el cual se pueden incluir las 3 últimas categorías de defecto en otros, quedando de la siguiente manera:

Figura IV.3.- Diagrama de Pareto de los Envases.



Aquí observamos que dos de los defectos reúnen más del cincuenta por ciento del total, por lo cual si nos concentramos a disminuirlos, se logrará una reducción importante del total de los mismos.

Con estos ejemplos nos damos cuenta claramente que esta herramienta nos ayuda a concentrar nuestras energías en los pocos vitales, que aún cuando sean un bajo porcentaje del total, su solución nos significa una mejora sustancial de la calidad.

Vamos a suponer que se reúne al equipo operativo (Círculo de Calidad) y con esta información en mano se les explica que debemos disminuir nuestras partes por millón de defectivo, el cual es impactado en mayor medida por las rayaduras y las deformidades y en tercer término por el envase incompleto. Se realiza una lluvia de ideas para determinar algunos cursos de acción, deberá existir algún responsable de cada acción, así como una fecha de compromiso para su cumplimiento. Al momento de realizarse la siguiente reunión observamos los resultados en una muestra similar:

**Tabla IV.7.-** Frecuencias de cada defecto después de aplicar las acciones de mejora

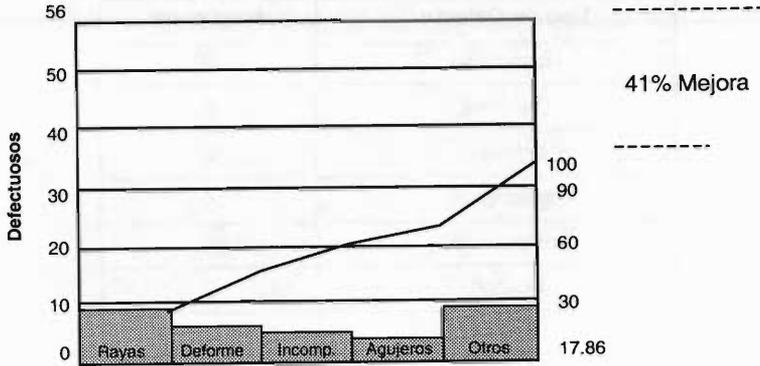
Tipo de Defecto	Frecuencia
Rayaduras	9
Deforme	6
Incompleto	5
Agujereado	4
Adherencias	4
Poroso	3
Sucio	2
<b>Total</b>	<b>33</b>

**Tabla IV.8.-** Nuevo listado de frecuencias de los defectos y sus acumulados y porcentajes

Tipo de Defecto	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia Acumulada	Porcentaje Acumulado
Rayaduras	9	27.27	9	27.27
Deforme	6	18.18	15	45.45
Incompleto	5	15.15	20	60.60
Agujereado	4	12.12	24	72.72
Adherencias	4	12.12	28	84.84
Poroso	3	9.09	31	93.93
Sucio	2	6.06	33	100.00
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>100.00</b>	<b>33</b>	<b>100.00</b>

El defectivo bajó de 56 a 33 piezas. Hubo una mejora que quedará muy objetiva y clara para los participantes si lo mostramos nuevamente sobre el diagrama.

Figura IV.4.- Nuevo diagrama de Pareto de los envases



# Capítulo V

## 5.1 INTRODUCCIÓN

**E**n todo proceso o evento que sucede en la vida real existe la variación, es decir, la no uniformidad o constancia de los hechos, lo cual se debe a una amplia gama de factores posibles que están íntimamente relacionados con el azar.

En todo proceso productivo o de elaboración de un artículo, se trabaja bajo requerimientos, que a su vez son traducidos a especificaciones de nuestras variables o atributos. Los datos que recogemos al medir estas variables y compararlas con los requerimientos, son un medio para conocer el comportamiento del proceso y nos permite interpretar nuestra realidad y son un aliado para identificar las causas de ese comportamiento. Los datos aún cuando varían, casi siempre indican tendencias, sesgos, es decir una distribución bajo la cual se presentan.

Para interpretar este comportamiento nos sirve el Histograma, el cual es una herramienta útil para mostrar la tendencia de los datos; de hecho el Histograma suele definirse como un diagrama de frecuencias, que nos muestra de una manera rápida, clara y objetiva el estado de un proceso, de un lote, o de una muestra de una población dada.

## 5.2 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN Y APLICACIONES

Para elaborar un Histograma una vez obtenidos los datos, debe llevar a cabo el procedimiento siguiente:

- a) Hallar el rango de los datos, esto es la diferencia entre el valor del dato mayor y el menor.

- b) Determinar los intervalos de clase, lo cual se logra al dividir el rango entre el número de clases que va a manejarse, el cual usualmente se define entre 5 y 20, buscando que sea un número non.
- c) Definir los límites inferior y superior de cada clase.
- d) Obtener las frecuencias correspondientes a cada clase.
- e) Hallar el punto medio de cada clase.
- f) Hallar el punto central de las clases ( $u = 0$ ).
- g) Preparar la tabla de frecuencias del Histograma.
- h) Llenar la tabla con los datos obtenidos.
- i) Elaborar el Histograma.
- j) Interpretar los resultados.

Las características que debemos observar en un histograma son: La ubicación respecto de la medida nominal, la dispersión de los datos y la forma del histograma, que puede ser simétrica o sesgada. Cuando los histogramas de los resultados de un proceso son similares, al grado que los resultados próximos pudieran ser predecibles, se dice que este proceso está "bajo control estadístico". Cuando el histograma muestra diversas formas cada vez, el proceso fuera de control, un proceso en el cual los resultados no pueden ser predecibles.

A continuación ilustraremos este procedimiento con la solución de varios ejemplos.

**Ejemplo V.1.-** La tubería de PVC es fabricada bajo la siguiente especificación de diámetro  $5 \pm 0.025$  pulgadas. De un lote de 1000 tramos se ha tomado una muestra de 50 piezas; el muestreo efectuado arroja los siguientes datos:

**Tabla V.1.-** Diámetro en pulgadas del tubo de la muestra tomada

Datos en pulgadas					$X_{\min}$	$X_{\max}$
5.018	5.022	5.030	5.011	5.001	5.001	5.030
4.982	4.991	5.000	5.018	5.023	4.982	5.023
4.994	4.998	5.017	5.019	5.026	4.994	5.026
4.978	4.989	4.998	5.002	5.016	4.978	5.016
5.013	5.026	4.992	4.994	5.021	4.992	5.026
5.016	5.018	5.002	4.992	4.998	4.992	5.018
5.018	5.017	5.031	4.976	4.999	<u>4.976</u>	<u>5.031</u>
5.001	5.016	5.009	4.989	4.990	4.989	5.016
5.000	4.990	5.010	5.020	4.980	4.980	5.020
<b>5.001</b>	<b>4.992</b>	<b>5.003</b>	<b>4.984</b>	<b>5.015</b>	<b>4.984</b>	<b>5.015</b>

Elabore el histograma para este caso.

**Solución:**

Siguiendo la metodología descrita, el primer paso es encontrar el rango, para lo cual necesitamos localizar los datos del diámetro mayor y menor. Se recomienda apoyarse en 2 columnas denominadas  $X_{\min}$  y  $X_{\max}$  en las cuales se acomodan los datos menor y mayor de cada renglón. Ya con esto, se ve cuáles son los datos correspondientes a los valores mayor y menor.

El valor mayor de los datos es 5.031 y el menor 4.976, por lo cual el rango será:

$$\text{Rango} = 5.031 - 4.976 = 0.055$$

Conforme al inciso b), se deben determinar los intervalos de clase, definiendo antes el número de clases, el cual si lo fijamos en 7, cada intervalo puede ser de 0.008 pulgadas, pues  $0.055 / .008 = 6.875$ , el cual al redondearse al entero más próximo, nos da 7.

Pasando ahora al inciso c), los límites de las clases pueden ser los siguientes:

La primera clase puede iniciar en 4.9755 y terminar en 4.9835, la segunda clase iniciará en 4.9835 y terminará en 4.9915, la tercera de 4.9915 a 4.9995, la cuarta de 4.9995 a 5.0075, la quinta de 5.0075 a 5.0155, la sexta de 5.0155 a 5.0235 y la séptima de 5.0235 a 5.0315.

Aquí es pertinente comentar que para los límites de clase se aconseja utilizar valores que tengan un dígito más que el que contienen los datos, por esto se han utilizado en este caso 4 decimales, ya que los datos tienen 3. Con esto nos evitamos confusión o ambigüedad al clasificar los valores, pues ninguno caerá en los límites de las clases.

Ahora según el inciso d), agrupamos los datos respecto a cada clase, obteniendo los resultados que se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla V.2.-** Datos agrupados para el caso del ejemplo V.1

Límites de Clase	Frecuencia de Datos	Número de Datos
4.9755 - 4.9835	////	4
4.9835 - 4.9915	//// /	6
4.9915 - 4.9995	//// ///	8
4.9995 - 5.0075	//// ////	9
5.0075 - 5.0155	////	4
5.0155 - 5.0235	//// //// ////	15
5.0235 - 5.0315	////	4
<b>Total</b>	--	<b>50</b>

Para hallar el punto medio de cada clase, tal y como lo establece el inciso e), simplemente obtenemos la semisuma del límite superior más el inferior, así para el caso de la primera clase, tendremos:

$$\text{Punto Medio} = (4.9755 + 4.9835) / 2 = 4.9795$$

De una manera similar, para las siguientes clases, los puntos medios serán 4.9875, 4.9955, 5.0035, 5.0115, 5.0195 y 5.0275. Y la clase central es la clase 4, ahí hacemos  $u=0$ .

Ahora procederemos a elaborar la tabla de frecuencias con la información necesaria para el histograma, la cual quedará de la siguiente forma.

**Tabla V.3.-** Tabla de frecuencias para la elaboración del histograma

Número de Clase	Límites de Clase	Punto Medio	f	u	uf	u <sup>2</sup> f
1	4.9755 - 4.9835	4.9795	4	-3	-12	36
2	4.9835 - 4.9915	4.9875	6	-2	-12	24
3	4.9915 - 4.9995	4.9955	8	-1	-8	8
4	4.9995 - 5.0075	5.0035	9	0	0	0
5	5.0075 - 5.0155	5.0115	4	1	4	4
6	5.0155 - 5.0235	5.0195	15	2	30	60
7	5.0235 - 5.0315	5.0275	4	3	12	36
<b>Totales</b>	—	—	<b>50</b>	—	<b>14</b>	<b>168</b>

La cuarta columna contiene los valores de las frecuencias de cada clase obtenidos antes y representados por  $f$ .

Aquí vemos cómo los valores correspondientes a  $u$  van de 0 en la celda central, que en este caso es la cuarta de las 7 en total y luego aumentan hacia las celdas de límites mayores y disminuyen hacia las de límites inferiores en una unidad cada vez.

Los restantes valores de los productos de  $uf$  y de  $u^2f$  se necesitan para obtener la media y la desviación estándar de la distribución de los datos, las cuales calcularemos enseguida.

Para la media, la cual se denota como  $\bar{x}$ , la fórmula para su cálculo es la siguiente: (Referencia bibliográfica de las fórmulas: ver libro número 12 de la bibliografía)

$$\bar{x} = a + h \frac{\sum uf}{n} \quad \text{Ec. (V.1)}$$

Donde:

- $a$  = Punto medio de la celda central ( $u=0$ )
- $h$  = Intervalo de clase (diferencia de límites)
- $n$  = Número de datos

Así para nuestro caso, si aplicamos esta ecuación a los datos, obtendremos para la media el siguiente valor:

$$\bar{x} = 5.0035 + (0.008) \frac{14}{50} = 5.00574$$

Por su parte la desviación estándar, representada por  $s$ , se obtiene con la siguiente fórmula: (Referencia bibliográfica de las fórmulas: ver libro número 12 de la bibliografía)

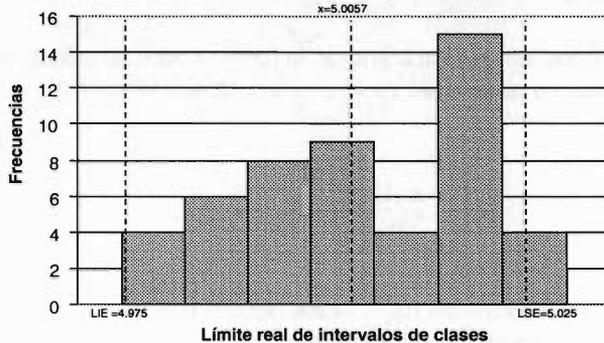
$$s = h \sqrt{\frac{\sum u^2f - \frac{(\sum uf)^2}{n}}{n-1}} \quad \text{Ec. (V.2)}$$

Entonces al aplicar esta ecuación a nuestro ejemplo, obtendremos:

$$s = (0.008) \sqrt{\frac{168 - \frac{(14)^2}{50}}{49}} = 0.01464$$

Ahora se procede a elaborar el histograma, el cual incluye en el eje vertical las frecuencias y en el horizontal los límites reales de intervalos de clases de los datos, con lo cual el diagrama es el siguiente:

Figura V.1.- Histograma de los datos



Aquí vemos cómo esta herramienta nos muestra de una manera gráfica la distribución de los datos, lo cual es más expresivo que mil palabras.

También vemos que se presenta la media de la distribución y los límites inferior y superior de la especificación de los diámetros, esto es 4.975 pulgadas para el límite inferior y 5.025 para el superior, pues la especificación marca una tolerancia de 25 milésimas de pulgada hacia arriba y hacia abajo del valor nominal de 5 pulgadas; con esto podemos ver claramente que algunos de los valores salen de los límites de especificación hacia el lado superior, lo cual significa la existencia de un problema en el proceso de producción del tubo. Además, se observa que la media del proceso 5.0057" no coincide con la medida nominal de la especificación de ingeniería que es 5". Existe entonces un desplazamiento de 0.0057", que podemos interpretar como una falla de ajuste o calibración.

El dato de desviación estándar obtenido, de 0.01464" nos indica el grado de dispersión de los datos y podremos con él calificar al proceso. En la siguiente sección explicaremos cómo podríamos interpretar con más profundidad un his-

tograma y retomaremos este mismo ejemplo con el fin de obtener más provecho de la información.

### 5.3 HABILIDAD DEL PROCESO

Un histograma nos muestra de forma ordenada y gráfica los datos que arroja un proceso como lo vimos en el ejemplo anterior. Ahora bien, la interpretación que nosotros demos a esa información nos dará pauta en la determinación de las acciones que debemos tomar para continuar mejorándolo.

Amplios estudios en la industria, han revelado que el 15% de los problemas de los procesos son provocados *por causas especiales*, son aquellas que pueden ser corregidas por los operadores y el 85% restante de los problemas es debido a *causas comunes*, las cuales son imputables a la administración (SPC Reference Manual, Pág. 11).

Un ejemplo de causas especiales, es el ajuste de maquinaria, el desgaste de las herramientas, etc. y un ejemplo de causas comunes podría ser el cambio de materias primas, cambio de tecnología, negociaciones con el cliente para modificar especificaciones y otras. El tipo de acción que tomamos frente a los problemas debería considerar entonces la naturaleza de las causas [especiales o comunes] evitando con ello esfuerzos en vano y tardanza en la solución de los problemas. Pero ¿y cómo saber que las causas de la variación son de una u otra clase? Para dar respuesta a ello tenemos que abordar el tema de la capacidad y la habilidad de los procesos.

Antes que nada debemos saber que de acuerdo al *Teorema de Chebyshev*, independientemente de la forma de distribución de los datos, se puede medir con mucha precisión el porcentaje de elementos que caen dentro de rangos específicos bajo una curva normal, así al menos el 68.27% de los valores caen dentro de más menos una desviación estándar ( $\pm\sigma$ ), el 95.45% de los valores caen dentro de más menos dos desviaciones estándar ( $\pm 2\sigma$ ) y el 99.73% de los valores caen dentro de más menos tres desviaciones estándar ( $\pm 3\sigma$ ) a partir de la media del proceso.

La capacidad del proceso ( $C_p$ ) o habilidad teórica, es la relación entre los límites de tolerancia dados por nuestro cliente y la variación real del proceso cuantificada en  $\pm 3\sigma$  o sea  $6\sigma$ . Así, si la tolerancia es mayor que la variación del proceso, la relación será buena, o sea mayor de uno.

$$Cp = \frac{\text{Tolerancia}}{\text{Variación del proceso}}$$

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Ec.(V.3)

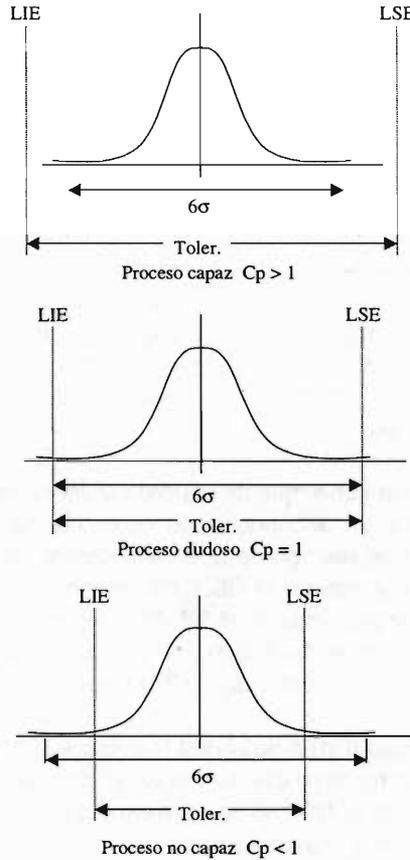
Donde:

$\sigma$  = Desviación Estándar.

LSE = Límite Superior de las Especificaciones.

LIE = Límite Inferior de las Especificaciones.

**Figura V.2.-** Interpretación gráfica de la habilidad teórica del proceso



Como pudimos percatarnos en los ejemplos anteriores, la especificación nominal no fue tomada en cuenta, solamente nos interesaba saber si la tolerancia del cliente era tan amplia que nuestra variación del proceso entraba en ella sin problemas (Cp). Pero ahora debemos analizar otro aspecto y es saber si la ubicación de la curva del proceso es buena. O sea si la media del proceso está o no alejada de la media nominal o de especificación. Ese desplazamiento denominado k, se determina mediante la siguiente fórmula, donde

$$k = \frac{|\bar{X} - Nom|}{\frac{1}{2}(LSE - LIE)} = \frac{D}{\frac{1}{2} Tol} \quad \text{Ec. (V.4)}$$

Donde:

- k = Desplazamiento relativo.  $0 \leq k \leq 1$
- D = Desplazamiento
- Tol = Tolerancia especificada en el diseño.
- Nom = Especificación nominal o espec. de diseño.
- $\bar{X}$  = Media del proceso.

La habilidad real (Cpk) de un proceso, es el Cp castigado por su factor de desubicación, así;

$$Cpk = Cp (1-k) \quad \text{Ec. (V.5)}$$

Como puede observarse, k tomará valores positivos, por lo tanto Cpk siempre será menor o igual al Cp

**Figura V.3.-** Representación gráfica de los elementos que definen el Cpk

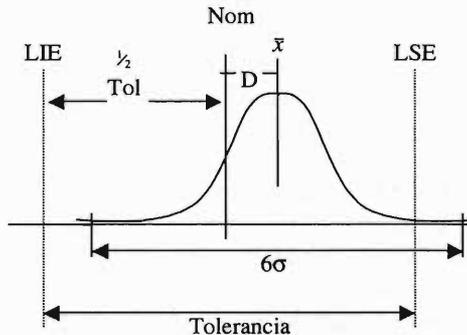


Figura V.4.- Representación gráfica de k.

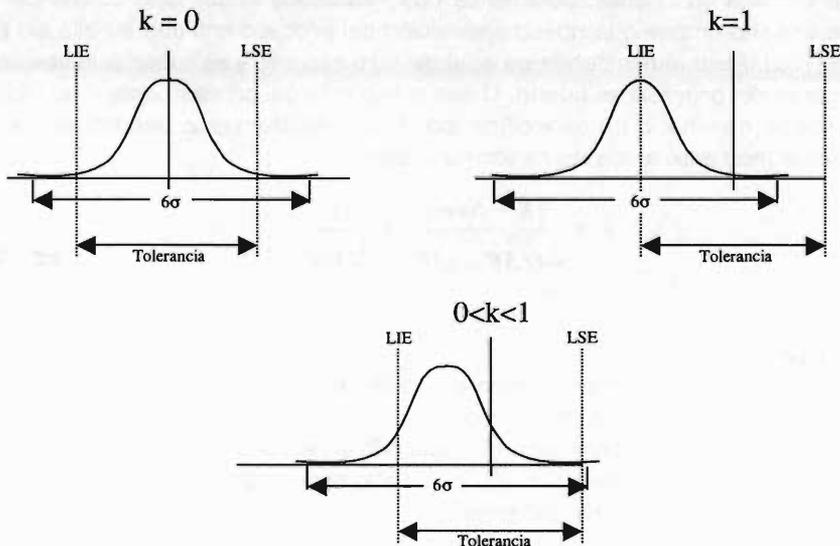


Tabla V.4.- Criterios de evaluación del proceso

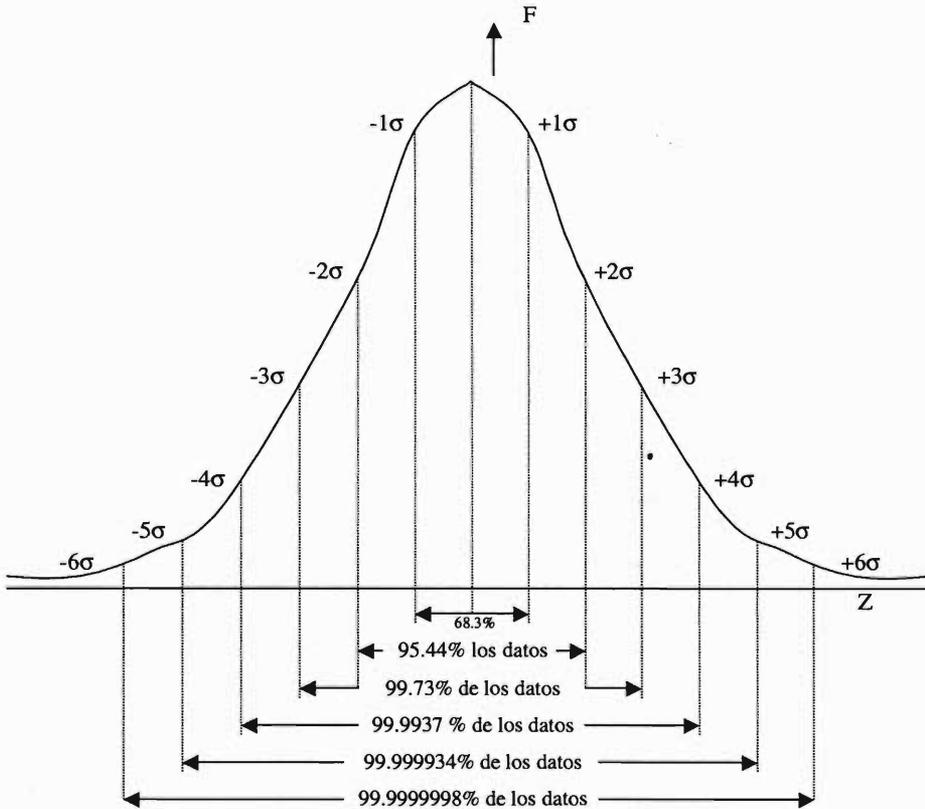
Clasificación del Proceso	Criterio de evaluación	
	Cpk	% Posible de defectos
Inhábil	< 1.0	> 0.3%
Marginalmente capaz	1.0 a 1.33	0.3% a 0.003%
Capaz	> 1.33	< 0.003

En las empresas denominadas de "clase mundial", los porcentajes de defectuosos se mantienen en niveles muy bajos, en el orden de partes por millón. Lo anterior sólo es posible si mantienen sus procesos en "seis sigma" que nos da 1.2 oportunidades de defectos en un millón. Ver figura V.5.

Cuando nuestro proceso está afectado por causas especiales o sea causas imputables a la operación, tendremos una distribución cuya media está desplazada respecto de la nominal el valor de  $k$  es mayor a cero. Y cuando un proceso está afectado por causas comunes, o sea causas imputables a la administración, los datos de la distribución están muy dispersos, su  $C_p$  es bajo o sea menor a 1.

Un proceso podrá entonces estar fuera de control estadístico y ser capaz o bien, estar bajo control estadístico y no necesariamente ser capaz. Ver la figura V.6. Así entonces lo que se requiere es un proceso con habilidad real.

Figura V.5.- Probabilidad de la distribución normal

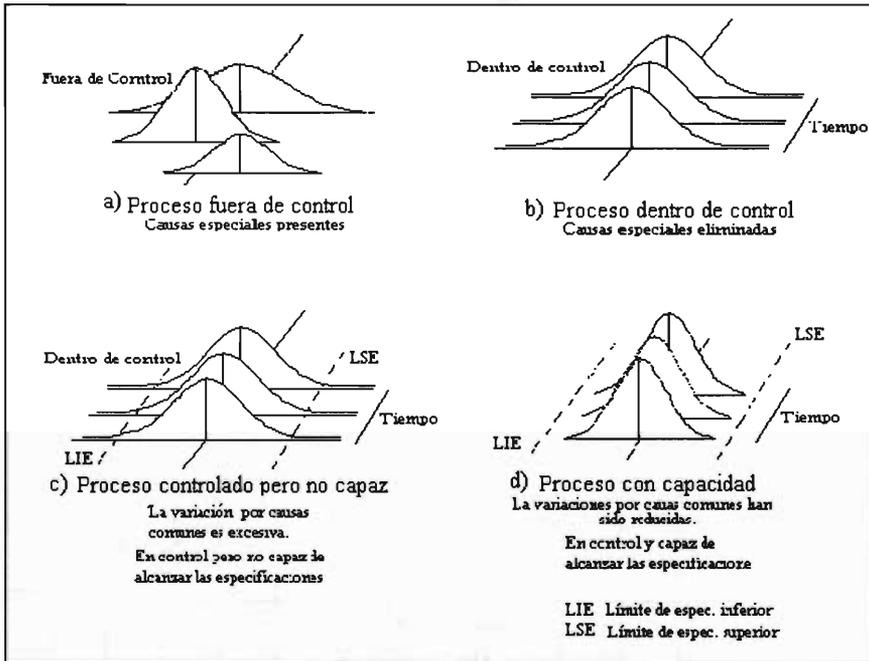


Continuando entonces con el ejemplo V.1 una vez que los conceptos de capacidad han sido comprendidos podremos extraer mayor provecho de los resultados, tenemos que:

La capacidad del proceso  $C_p$ , se calcula mediante la siguiente fórmula, así:

$$C_p = \frac{|LSE - LIE|}{6s} = \frac{|Tol|}{6s} = \frac{0.050}{6(0.01464)} = 0.569$$

**Figura V.6.-** Efecto de las causas comunes y de las causas especiales en la distribución de datos de un proceso



Como el valor es menor que 1.33, quiere decir que el proceso no tiene capacidad teórica y ya que  $0 < k < 1$  tampoco tendría capacidad real.

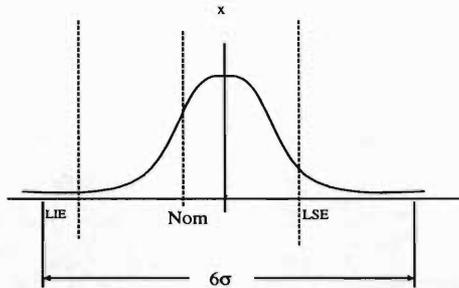
Por su parte, la capacidad real del proceso  $C_{pk}$ , la vamos a obtener aun cuando es obvia la interpretación del resultado y ésta se obtiene con la ecuación siguiente:

$$k = \frac{|\bar{X} - Nom|}{\frac{1}{2}(LSE - LIE)} = \frac{5.0057 - 5}{\frac{1}{2}(0.050)} = 0.228$$

$$C_{pk} = C_p(1 - k) = 0.569(1 - 0.228) = 0.439$$

Como el valor de  $k$  es mayor que cero ( ver Figura V.7), este hecho nos indica que nuestro proceso está fuera de la media nominal, habrá que someter este proceso a mejoras y estas acciones deberán realizarse en lo operativo. Y además el  $C_p$  es bajo, lo que quiere decir que también se deben realizar acciones por parte de la dirección.

**Figura V.7.-** Distribución normal con  $C_{pk}$  menor que 1



**Ejemplo V.2**

Se hizo un proceso experimental de lanzamiento de piedras por medio de una catapulta artificial con el objetivo de colocarlas entre 69.5 y 73.5 centímetros, ya que en esta posición se ubicaba un castillo imaginario que habría que destruir. Los lanzamientos los hicieron 2 equipos de 6 integrantes, cada uno de los cuales lanzaría 5 piedras, observando a cuánta distancia caían, para ver si se cumplía con el objetivo de colocarlas entre las marcas del castillo. Los resultados de los equipos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla V.5- Resultados de los equipos**

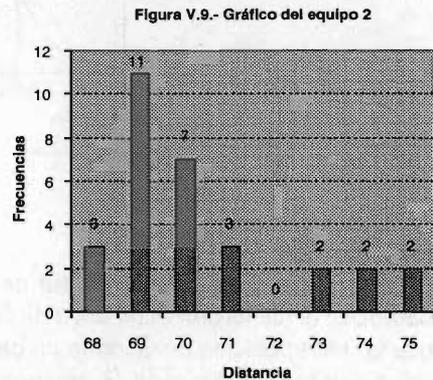
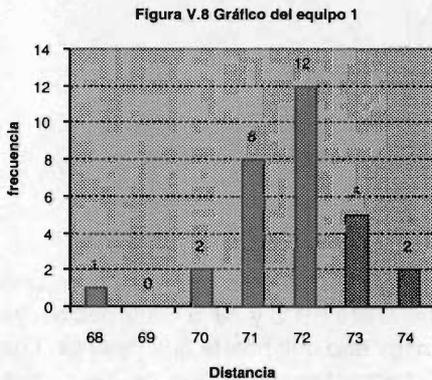
Equipo 1	Integrantes					
	1	2	3	4	5	6
Resultados	70-//	71-///	71-//	72-////	71-/	68-/
	71-/	72-//	72-///	73-/	72-/	71-/
	72-//				73-//	73-//
Equipo 2	Integrantes					
	1	2	3	4	5	6
Resultados	68-//	69-///	70-//	68-/	73-/	69-//
	69-///	70-//	71-//	69-///	74-//	70-//
			73-/	70-/	75-//	71-/

Con estos valores los límites inferior y superior de control quedan a una distancia Z (número de desviaciones de la media) siguientes:

Límite inferior:

$$Z = \frac{|LIC - \bar{x}|}{\sigma} = \frac{|69.5 - 71.7667|}{1.202} = 1.886$$

Límite superior:



$$Z = \frac{|LSC - \bar{x}|}{\sigma} = \frac{|73.5 - 71.7667|}{1.202} = 1.442$$

De entre estos valores tomamos el menor y usando la ecuación V.6 obtenemos el Cpk del equipo 1.

$$Cpk = \frac{Z_{\min}}{3} \tag{Ec. (V.6)}$$

$$Cpk = \frac{1.442}{3} = 0.467$$

Por su parte para la capacidad potencial, debemos calcular la variancia de cada jugador, sólo que dividiendo la suma del cuadrado de las diferencias de cada

De entre estos valores tomamos el menor y usando la ecuación V.6 obtenemos el  $C_{pk}$  del equipo 1.

$$C_{pk} = \frac{Z_{\min}}{3} \quad \text{Ec. [V.6]}$$

$$C_{pk} = \frac{1.442}{3} = 0.467$$

Por su parte para la capacidad potencial, debemos calcular la variancia de cada jugador, sólo que dividiendo la suma del cuadrado de las diferencias de cada dato respecto de la media, dividida entre el número de datos menos uno, es decir entre cuatro. Así para el caso del primer jugador, cuya media es 71, tenemos lo siguiente:

$$\sigma^2 = \frac{2(70-71)^2 + 1(71-71)^2 + 2(72-71)^2}{4} = 1.0$$

Haciendo algo similar para el resto de los jugadores y obteniendo el promedio de las variancias, resulta:

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{1 + 0.3 + 0.3 + 0.2 + 1.3 + 5.7}{6} = 1.4667$$

Lo cual nos da para la desviación estándar:

$$\sigma = 1.211$$

Ahora se calcula la capacidad potencial del proceso, con la media ideal, que sería el valor de 71.5, con lo que para los límites inferior y superior de control resulta a una distancia  $Z$  que ahora obtendremos:

Límite inferior:

$$Z = \frac{|LIC - \bar{x}|}{\sigma} = \frac{|69.5 - 71.5|}{1.211} = 1.6515$$

Límite superior:

$$Z = \frac{|LSC - \bar{x}|}{\sigma} = \frac{|73.5 - 71.5|}{1.211} = 1.6515$$

Entre estos valores de Z se selecciona el menor y se aplica la ecuación V.6 y obtenemos el valor de  $C_p = 0.5505$ .

Esto nos da una idea muy clara de que la capacidad real del proceso es baja, pues resultó el 0.467, sin embargo la posibilidad de mejora existe, pues la capacidad potencial resultó 0.5505, lo cual nos da una idea de hasta dónde podemos mejorar.

(b) Ahora haremos algo similar para el equipo 2, para el que su media y desviación estándar al tomar el total de los 30 datos será:

$$\bar{x} = 70.333$$

$$\sigma = 2.022$$

Con estos valores los límites inferior y superior de control quedan a una distancia Z (número de desviaciones de la media) siguientes:

Límite inferior:

$$Z = \frac{|LIC - \bar{x}|}{\sigma} = \frac{|69.5 - 70.333|}{2.022} = 0.412$$

Límite superior:

$$Z = \frac{|LIC - \bar{x}|}{\sigma} = \frac{|69.5 - 70.333|}{2.022} = 0.412$$

Para estos valores de Z, obtenemos un  $C_{pk} = 0.137$

Por su parte para la capacidad potencial, debemos calcular la variancia de cada jugador en forma análoga al inciso anterior, la cual resulta:

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{0.3 + 0.3 + 1.5 + 0.5 + 0.7 + 0.7}{6} = 0.6667$$

Lo cual nos da para la desviación estándar:

$$\sigma = 0.8165$$

Ahora se calcula la capacidad potencial del proceso, de forma similar al caso del equipo 1, para obtener:

Límite inferior:

$$Z = \frac{|LIC - \bar{x}|}{\sigma} = \frac{|69.5 - 71.5|}{0.8165} = 2.45$$

Límite superior:

$$Z = \frac{|LSC - \bar{x}|}{\sigma} = \frac{|73.5 - 71.5|}{0.8165} = 2.45$$

Entre estos valores de Z nos determinan un  $C_p = 0.816$  que es la capacidad potencial del proceso.

Aquí resulta ser que la capacidad real del proceso es baja, pues ha resultado del 0.137. No obstante lo anterior, la posibilidad de mejora es muy grande pues su capacidad potencial es de 0.816, lo cual nos indica que podemos mejorar aun más que el equipo 1.

Este ejemplo nos da una clara idea de lo que representa tanto la capacidad real de un proceso, así como la capacidad potencial, a fin de saber si vale la pena tomar la decisión de tratar de mejorar el proceso actual o bien aplicar alguna otra herramienta diferente, como pudiera ser el caso para el equipo 1, que más bien se sugiere para mejorar el proceso la reingeniería del mismo.

A continuación presentaremos otro ejemplo del caso de una institución educativa.

**Ejemplo V.3-** El grupo del segundo semestre de la carrera de Ingeniería Civil de la Unidad Zona Media, ha obtenido las siguientes calificaciones en las 6 materias que comprende el ciclo semestral (ver tabla V.6).

El catálogo de materias es el siguiente:

**Tabla V.6-** Catálogo de Materias del Segundo Semestre de Ingeniería Civil

Número de Materia	Nombre de la Materia
1	Cálculo
2	Física
3	Química
4	Álgebra
5	Trigonometría
6	Inglés

Por su parte las calificaciones de los 19 alumnos que forman el grupo han sido las siguientes:

**Tabla V.7.-** Lista de Calificaciones de los alumnos del Segundo Semestre de I. Civil

Nombre del Alumno	Número de Materia					
	1	2	3	4	5	6
Álvarez Rodríguez José Luis	8.5	8	6	7.5	8.5	7
Ávalos Reyes Antonio	8	8	6.5	7	7.5	7
Badillo Martínez Juan	6	6	5	7	7	6.5
Castillo Rodríguez Gelacio	8	7	7	7	8	7
Castro Castro Ma. Amalia	9	8	6	8	9	7
Derbez Ramírez Irma	9.5	9	8	8.5	10	9
Díaz Díaz Ma. Verónica	9	8	7	8	10	8
Espinoza Díaz Brenda	7	7	5	7	7	6
Fuentes Rojas Eulalio	6	5	4	5	6	5
García García Juan	9	9.5	7.5	9	10	10
González Frías Horacio	8	8	6.5	8	8	7.5
Hernández Ruiz José Antonio	8	8.5	7	8.5	9	7.5
Izeta Rodríguez Raúl	8.5	9	7.5	8.5	9.5	8
Jasso Ramírez Esther Alicia	9	10	8.5	10	10	10
López Ruiz Juan José	8	9	8	9	10	8
Martínez Martínez Héctor	7	6	5	7	8	8
Méndez Razo Juan Luis	9	7	6	8	8	8
Oseguera Pérez Ma. Carmen	10	8	7	8	9	9
Pérez Ramos Hugo	9	8	7.5	8.5	9	9

Construya el Histograma de las calificaciones del grupo y determine la capacidad real y teórica del proceso considerando como especificación mínima la calificación de 6 y como especificación máxima la calificación de 10.

**Solución:**

Lo primero es hallar el rango de los datos, el cual en este caso es la diferencia entre la calificación mayor y la menor de las 6 materias y los 19 alumnos, es decir entre las 114 calificaciones. Encontramos como rango 6, pues la calificación mayor es 10 y la menor 4.

Procedemos a determinar los intervalos de clase, lo cual se logra al dividir el rango entre un número dado a fin de obtener entre 5 y 20 clases. Si dividimos 6 que es el rango, entre 0.71, el resultado es 8.45, el cual redondearíamos a 9, de hecho  $9 \times 0.71 = 6.39$ , por lo cual la primera clase comenzará en  $10 - 6.39 = 3.61$ , terminando en 4.32; la segunda clase inicia en este valor y termina en 5.03 y así sucesivamente hasta terminar la última clase en 10, tomando en este caso dos decimales para los límites de clase, pues los datos sólo tienen una cifra decimal.

Ahora prepararemos la tabla de frecuencias, la cual es la siguiente:

**Tabla V.8.-** Frecuencias de Datos para el ejemplo V.3

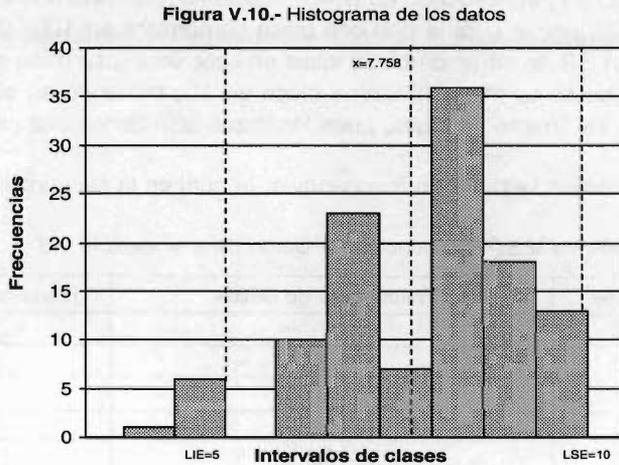
Límites de Clase	Frecuencia de Datos	Número de Datos
3.61 - 4.32	/	1
4.32 - 5.03	//// /	6
5.03 - 5.74		0
5.74 - 6.45	//// ////	10
6.45 - 7.16	//// //// //// //// //	23
7.16 - 7.87	//// //	7
7.87 - 8.58	//// //// //// //// //// //// //// /	36
8.58 - 9.29	//// //// //// //	18
9.29 - 10	//// //// //	13
<b>Total</b>	—	<b>114</b>

Enseguida prepararemos la tabla de frecuencias con todos los datos para el Histograma, la cual quedará de la siguiente manera:

**Tabla V.9.-** Frecuencias y datos para la elaboración del Histograma

Número de Clase	Límites de Clase	Punto Medio	f	u	uf	u <sup>2</sup> f
1	3.61 - 4.32	3.965	1	-4	-4	16
2	4.32 - 5.03	4.675	6	-3	-18	54
3	5.03- 5.74	5.385	0	-2	0	0
4	5.74 - 6.45	6.095	10	-1	-10	10
5	6.45 - 7.16	6.805	23	0	0	0
6	7.16 - 7.87	7.515	7	1	7	7
7	7.87 - 8.58	8.225	36	2	72	144
8	8.58 - 9.29	8.935	18	3	54	162
9	9.29 - 10	9.645	13	4	52	208
<b>Totales</b>	—	—	<b>114</b>	—	<b>153</b>	<b>601</b>

Ahora con esta información prepararemos el Histograma, el cual es el siguiente:



La media se calcula mediante la ecuación (V.1), que para este ejemplo es:

$$\bar{x} = 6.805 + 0.71\left(\frac{153}{114}\right) = 7.758$$

Por su parte la desviación estándar se obtiene con la ecuación (V.2), de la siguiente forma:

$$s = (0.71) \sqrt{\frac{601 - \frac{(153)^2}{114}}{113}} = 1.329$$

Este problema nos presenta una variante muy interesante del análisis de capacidad. Pues el objetivo del proceso es llevar a todo el grupo al 10, así entonces debemos aplicar para este caso el análisis de "un solo lado". Haciendo uso de la fórmula V.3 determinamos la capacidad teórica del proceso:

$$Cpk = \frac{LSE - X}{3\sigma} \tag{Ec. (V.7)}$$

Ahora haciendo uso de la fórmula V.7 determinamos la capacidad real del proceso:

$$Cpk = \frac{|10 - 7.758|}{3(1.329)} = 0.502$$

Con lo cual podemos concluir que para este ejemplo y bajo las condiciones presentadas el proceso no es capaz.

**Ejemplo V.4.-** El turno matutino de un taller es de 7:00 a 15:00 horas, mientras que el vespertino es de 15:00 a 23:00 horas, para fabricar flechas de 3 pulgadas de diámetro, con una tolerancia de 10 milésimas de pulgada.

Se tienen 3 tornos para fabricar estas flechas. Se toma una muestra cada media hora y los datos colectados para un día de trabajo han sido los siguientes:

**Tabla V.10.-** Diámetros de flechas para el ejemplo V.4

Hora de Muestra		Torno A		Torno B		Torno C	
Mat.	Vesp.	Mat.	Vesp.	Mat.	Vesp.	Mat.	Vesp.
7:30	15:30	3.007	3.012	3.002	3.006	2.998	3.008
8:00	16:00	3.005	3.014	3.003	3.008	2.999	3.002
8:30	16:30	3.001	3.016	3.002	3.010	2.999	3.001
9:00	17:00	2.994	3.018	3.002	3.012	3.001	3.000
9:30	17:30	2.991	3.013	3.002	3.008	3.002	3.000
10:00	18:00	2.993	3.011	3.001	3.003	3.006	3.000
10:30	18:30	2.986	3.009	3.001	3.001	3.010	3.000
11:00	19:00	3.001	3.009	3.000	2.997	3.011	3.001
11:30	19:30	3.000	3.010	3.001	2.991	3.008	2.998
12:00	20:00	3.001	3.008	3.000	3.003	3.007	2.997
12:30	20:30	3.004	3.001	3.003	3.009	3.006	2.999
13:00	21:00	3.006	3.003	3.002	3.007	3.004	2.999
13:30	21:30	3.008	2.998	2.999	3.004	2.997	3.000
14:00	22:00	2.998	3.005	2.999	3.002	2.993	3.001
14:30	22:30	2.997	3.013	2.997	3.006	3.001	3.003
15:00	23:00	2.993	3.016	2.997	3.003	3.007	3.002

Constrúyase el histograma de los datos.

**Solución:**

Para este problema el rango es de 0.032, pues es la diferencia entre los valores máximo, 3.018 y el mínimo, 2.986. Cabe aclarar que para este caso particular también podríamos apoyarnos en las dos columnas  $X_{\min}$  y  $X_{\max}$  para encontrar los valores extremos.

Luego estimaremos el intervalo de clase, para lo cual, si dividimos 0.032 entre 9 posibles clases, obtenemos 0.00356, por lo que si fijamos 0.0036 como intervalo de clase e iniciamos la primera clase en 2.9857. Terminaríamos con 9 clases en 3.0181, con lo que abarcaríamos la totalidad de los datos.

Por lo anterior, los límites de cada clase serán, la primera de 2.9857 a 2.9893, la segunda de 2.9893 a 2.9929, la tercera de 2.9929 a 2.9965, la cuarta de 2.9965 a 3.0001, la quinta de 3.0001 a 3.0037, la sexta de 3.0037 a 3.0073, la séptima de 3.0073 a 3.0109, la octava de 3.0109 a 3.0145 y la novena de 3.0145 a 3.0181.

Anotamos las frecuencias de cada clase, obteniendo la distribución que se muestra en la siguiente Tabla.

**Tabla V.11.- Frecuencias de los datos del ejemplo V.4**

Límites de Clase	Frecuencia de Datos	Número de Datos
2.9857 - 2.9893	/	1
2.9893 - 2.9929	//	2
2.9929 - 2.9965	///	4
2.9965 - 3.0001	//// //	24
3.0001 - 3.0037	//// //	29
3.0037 - 3.0073	//// //	14
3.0073 - 3.0109	//// //	12
3.0109 - 3.0145	//// //	7
3.0145 - 3.0181	///	3
<b>Total</b>	—	<b>96</b>

Con esto la tabla de datos para el histograma será la siguiente:

**Tabla V.12** - Catálogo de Materias del Segundo Semestre de Ingeniería Civil  
 Datos para elaborar el Histograma del ejemplo V.4

Número de Clase	Límites de Clase	Punto Medio	f	U	uf	u <sup>2</sup> f
1	2.9857 - 2.9893	2.9875	1	-4	-4	16
2	2.9893 - 2.9929	2.9911	2	-3	-6	18
3	2.9929 - 2.9965	2.9947	4	-2	-8	16
4	2.9965 - 3.0001	2.9983	24	-1	-24	24
5	3.0001 - 3.0037	3.0019	29	0	0	0
6	3.0037 - 3.0073	3.0055	14	1	14	14
7	3.0073 - 3.0109	3.0091	12	2	24	48
8	3.0109 - 3.0145	3.0127	7	3	21	63
9	3.0145 - 3.0181	3.0163	3	4	12	48
<b>Totales</b>	—	—	<b>96</b>	—	<b>29</b>	<b>247</b>

Donde se presentan los puntos medios de cada clase, así como los productos uf y u<sup>2</sup>f.

De estos datos h es 0.0036 y a es 3.0019, con lo cual la media será

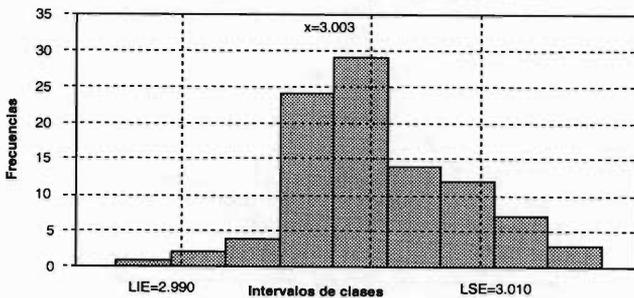
$$\bar{x} = 3.0019 + (0.0036)\left(\frac{29}{96}\right) = 3.00299$$

Por su parte la desviación estándar será

$$s = (0.0036)\sqrt{\frac{(247 - \frac{(29)^2}{96})}{95}} = 0.0057$$

Con esto el histograma será el siguiente

**Figura V.11.-** Histograma de los Datos



En este histograma vemos que algunos valores salen hacia arriba y hacia abajo de los límites de especificación, lo cual refleja la existencia de un problema en el proceso productivo, a pesar de que la media se halla muy próxima al valor nominal de 3 pulgadas.

El dato de desviación estándar obtenido, de 0.057 nos indica el grado de dispersión de los datos y podremos con él calificar al proceso.

Para el cálculo de la capacidad del proceso, tendremos:

$$C_p = \frac{|LSE - LIE|}{6s} = \frac{|Tol|}{6s} = \frac{0.020}{6(0.057)} = 0.059$$

Este valor es menor que la unidad, por lo que se concluye que el proceso no es capaz.

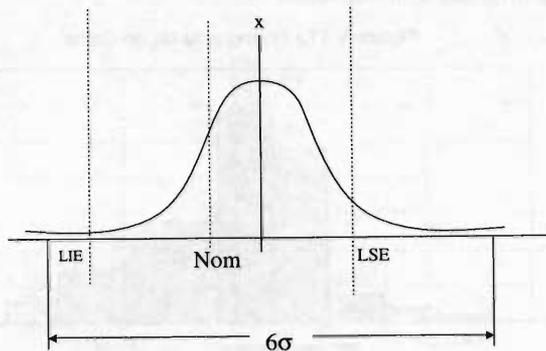
Por su parte para la capacidad real del proceso, tendremos:

$$k = \frac{|\bar{X} - Nom|}{\frac{1}{2}(LSE - LIE)} = \frac{3.003 - 3}{\frac{1}{2}(0.020)} = 0.3$$

$$C_{pk} = C_p(1 - k) = 0.059(1 - 0.3) = 0.0413$$

Como el valor es menor que la unidad, nos indica una capacidad real pobre, un proceso que deberá someterse a mejoras.

Figura V.12.- Representación esquemática de la capacidad del proceso



De este caso, se sugeriría estratificar respecto a los 3 tornos, así como también respecto a los turnos matutino y vespertino, a fin de localizar cuál máquina podría estar fallando o en qué turno. Esto lo estudiaremos en el capítulo siguiente.



# Capítulo VI

## El Diagrama de Estratificación

### 6.1 INTRODUCCIÓN

Otra herramienta simple, pero muy poderosa y útil es el *Diagrama de Estratificación*, el cual consiste básicamente en un histograma, pero ahora estratificado, es decir, dividido en sus partes componentes, a fin de analizarlas una por una y ver su posible relación con respecto a los datos globales.

Se puede estratificar respecto a varios conceptos, como pueden ser materiales, mano de obra, maquinaria, condiciones de operación y otros aspectos que puedan ser relevantes, a fin de identificar posibles causas de problemas en el ámbito productivo.

Presentaremos varios ejemplos de estratificación, con el propósito de ilustrar el uso y aplicación de esta herramienta.

### 6.2 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN Y APLICACIONES

El Diagrama de Estratificación es de hecho un histograma, por lo cual la metodología de elaboración es la que se vio en el capítulo anterior.

**Ejemplo VI. 1.-** Del ejemplo V.3, estratificar los datos respecto a las materias de Química y Trigonometría, las cuales son las de menor y mayor aprovechamiento respectivamente.

**Solución:**

Si estratificamos los datos respecto a estas dos materias, utilizando los mismos

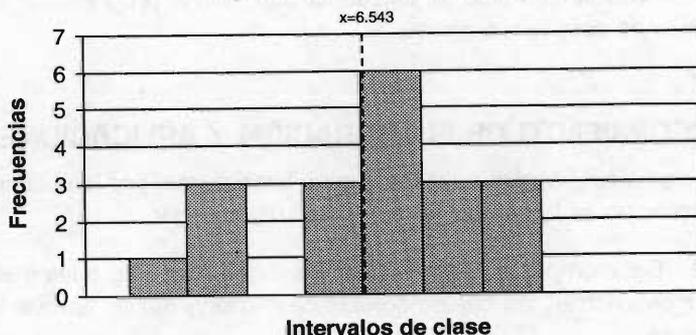
intervalos de clase que en el caso global, la distribución de frecuencias es la siguiente:

**Tabla VI.1.-** Distribución de Frecuencias para Química y Trigonometría

Límites de Clase	Número de Datos Química	Número de Datos Trigonometría
3.61 - 4.32	1	0
4.32 - 5.03	3	0
5.03 - 5.74	0	0
5.74 - 6.45	3	1
6.45 - 7.16	6	2
7.16 - 7.87	3	1
7.87 - 8.58	3	5
8.58 - 9.29	0	4
9.29 - 10	0	6
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>19</b>

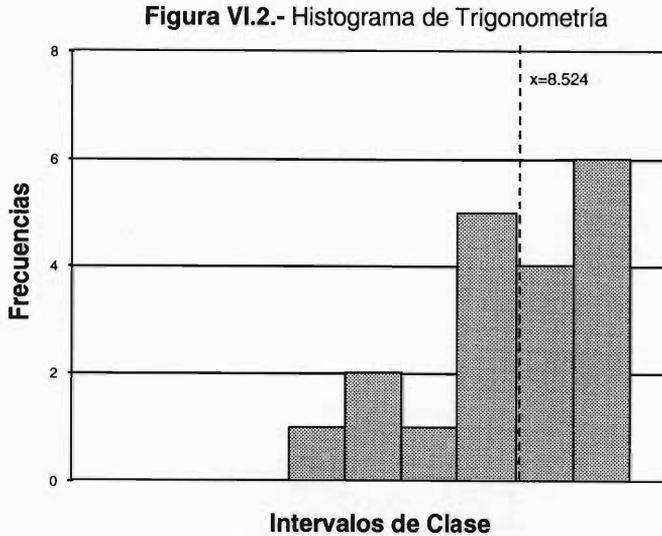
Ahora con esta información prepararemos los histogramas, de los cuales el de Química es el siguiente:

**Figura VI.1.-** Histograma de Química



Aquí vemos claramente que en esta materia, las calificaciones y la media son más bajas que el promedio global de todas las materias que es 7.758.

Por su parte, del histograma para Trigonometría vemos cómo las calificaciones y la media son superiores a los valores globales de todos los datos y más aún, si se comparan con los de la materia de Química. El histograma es el siguiente:



La estratificación nos indica entonces, que la materia de Química está por debajo de la media y la de Trigonometría por encima, lo que apoya los resultados de la encuesta, en el sentido de que la primera es la materia más difícil para los jóvenes y la última la de mejores calificaciones es para ellos fácil. Esto nos ilustra la utilidad y aplicación de esta herramienta a un caso concreto.

Ahora presentaremos otro caso.

**Ejemplo VI.2.-** Del ejemplo V.4, estratificar respecto a la maquinaria, construyendo los histogramas respectivos para cada torno.

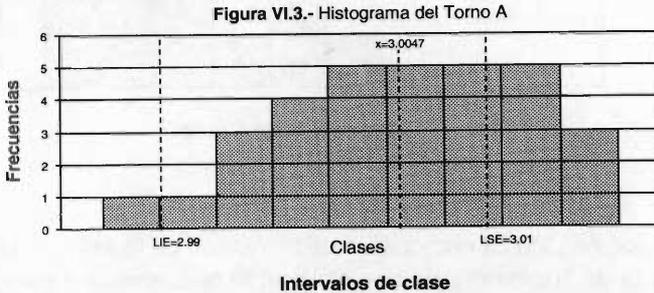
**Solución:**

Si mantenemos los mismos límites de clase, sólo que ahora agrupados para cada torno, se tendrán los 32 valores que se presentan en la siguiente

Tabla VI.2.- Datos agrupados del ejemplo V.3

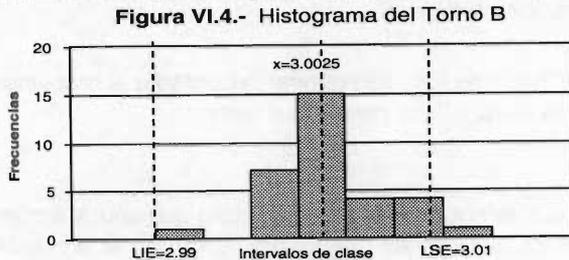
Límites de Clase	Número de Datos Torno A	Número de Datos Torno B	Número de Datos Torno C
2.9857 - 2.9893	1	0	0
2.9893 - 2.9929	1	1	0
2.9929 - 2.9965	3	0	1
2.9965 - 3.0001	4	7	13
3.0001 - 3.0037	5	15	9
3.0037 - 3.0073	5	4	5
3.0073 - 3.0109	5	4	3
3.0109 - 3.0145	5	1	1
3.0145 - 3.0181	3	0	0
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>

Con esto el histograma para el torno A será el siguiente



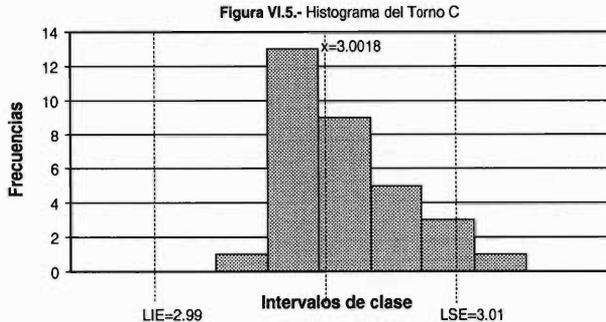
Aquí vemos que de los datos obtenidos para este torno, algunos salen de los límites de especificación, sobre todo hacia los valores superiores.

Por su parte para el torno B el histograma respectivo es el de la Figura VI.4:



En este histograma vemos que este torno está mejor que el anterior, ya que pocos valores salen de los límites de especificación y la media está más próxima al valor central de 3 pulgadas.

Finalmente para el torno C su histograma es el de la Figura VI.5:



De este gráfico vemos que este torno es el que mejores resultados ha dado, pues la media está más próxima al valor central de 3 pulgadas y es el que menos valores ha dado fuera de los límites de especificación, por lo cual si deseamos mejorar los resultados globales, ahora sabemos que el torno que necesita mayor atención por parte nuestra es el A, lo cual representa una ventaja al enfocar nuestra energía a atacar al problema justo donde se localiza.

Esto nos da una clara idea de la utilidad que significa saber estratificar respecto a algún concepto que nos lleve a situar los problemas de producción en el lugar donde se originan y no perder valiosos esfuerzos en sitios equivocados.

A continuación presentaremos otro problema tomando el mismo caso del ejemplo anterior.

**Ejemplo VI.3.-** Estratificar con el torno A respecto a los turnos de trabajo matutino y vespertino.

**Solución:**

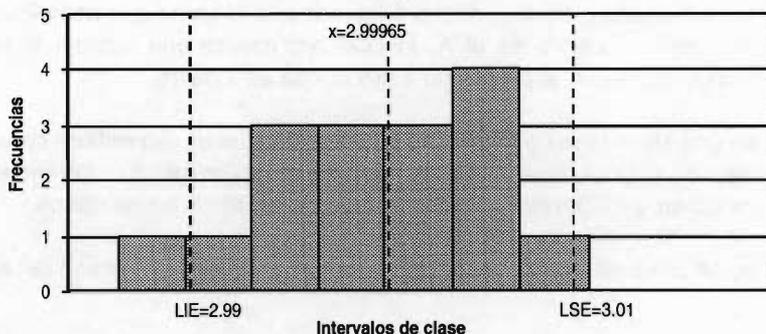
Para este caso, manteniendo los mismos límites de clase, hallamos los valores que se presentan en la siguiente

**Tabla VI.3.-** Datos del Torno A para los turnos matutino y vespertino

Límites de Clase	Número de Datos Turno Matutino	Número de Datos Turno Vespertino
2.9857 – 2.9893	1	0
2.9893 – 2.9929	1	0
2.9929 – 2.9965	3	0
2.9965 – 3.0001	3	1
3.0001 – 3.0037	3	2
3.0037 – 3.0073	4	1
3.0073 – 3.0109	1	4
3.0109 – 3.0145	0	5
3.0145 – 3.0181	0	3
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>16</b>

Si presentamos el histograma para el turno matutino, obtenemos lo siguiente:

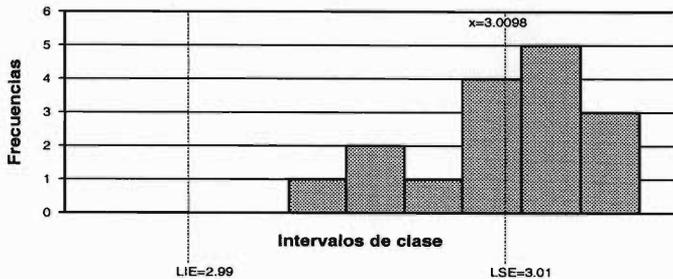
**Figura VI.6.-** Histograma del turno matutino



Aquí vemos que el turno matutino ha trabajado bien, con una media muy próxima al valor especificado de 3 pulgadas y con sólo un valor fuera de los límites de especificación.

Por su parte, el correspondiente histograma para el turno vespertino es el siguiente:

Figura VI.7.- Histograma del turno vespertino



De este gráfico vemos que los valores están muy elevados, siendo la media prácticamente igual al límite superior de especificación y con la mitad de valores fuera del límite superior, por lo que vemos que el mismo equipo muestra valores muy diferentes en los dos turnos, lo cual probablemente tenga que ver con el operario del turno vespertino o bien, que las condiciones de operación del equipo sean distintas entre el turno de la mañana y el de la tarde.

Podemos determinar la desviación estándar, el Cp y el Cpk de cada turno, pero en este caso no se hace, pues resulta evidente su bajo nivel de desempeño.

Todo esto nos ilustra de una manera adecuada la utilidad de una buena estratificación, lo que convierte a esta herramienta, en una ayuda valiosa para llegar al fondo de los problemas productivos que aparecen en la rutina diaria del trabajo.



El diagrama de estratificación es una herramienta que permite identificar y separar las causas de variación en un proceso. Se trata de un diagrama que muestra la distribución de los datos en función de las causas que los generan. Este tipo de diagrama es muy útil para analizar los datos de un proceso y determinar las causas de los problemas que se están presentando.

Este diagrama se utiliza para identificar las causas de los problemas que se están presentando en un proceso. Al analizar los datos de un proceso, se puede determinar si los problemas se están produciendo de forma aleatoria o si hay una causa específica que los está generando.

El diagrama de estratificación se utiliza para identificar las causas de los problemas que se están presentando en un proceso. Al analizar los datos de un proceso, se puede determinar si los problemas se están produciendo de forma aleatoria o si hay una causa específica que los está generando.

# Capítulo VII

## El Diagrama Causa-Efecto

### 7.1 INTRODUCCIÓN

El Diagrama Causa-Efecto es una herramienta que muestra la relación entre una característica de calidad y los factores que la causan.

En todo proceso se produce un resultado o efecto, el cual es causado por factores que intervienen en él, por lo que esta herramienta se considera de suma utilidad para considerar y listar todas las posibles causas y factores que pueden haber provocado aquello.

Este diagrama fue desarrollado en Japón por Kaoru Ishikawa, uno de los gurús de la calidad, quien comenzó a emplearlo en 1953, de ahí el porqué también se le conoce como *Diagrama de Ishikawa*. Su uso se extendió a todas partes, ya que constituye una útil herramienta para el mejoramiento de la calidad, además de ser muy amplia la variedad de situaciones en que puede ser aplicado en empresas productivas y de servicios.

Elaborar un Diagrama Causa-Efecto que sea útil no es tarea fácil, pues debe seguirse una metodología clara y concreta, que además esté enriquecida con la participación de miembros de la empresa de todos los departamentos involucrados con un proyecto de mejora dado. Para interactuar debe existir un previo conocimiento de técnicas de control grupal y trabajo en equipo.

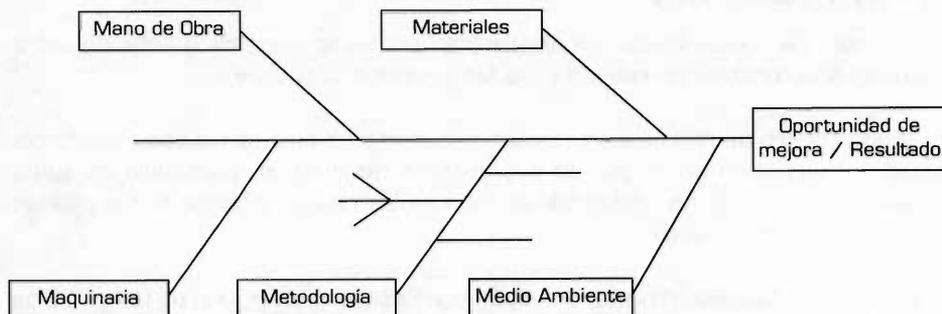
Existen dos tipos de Diagramas de Causa-Efecto, el primero es el que considera los factores principales que afectan al proceso y el segundo es el que considera las fases o etapas que integran el mismo.

## 7.2 METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN Y APLICACIONES

Para elaborar el Diagrama Causa - Efecto considerando los factores que afectan al proceso, se sugiere el siguiente procedimiento:

- a) Primeramente debe hacerse el diagrama esquemático, al cual también se le conoce como "espina de pescado" por su similitud a ésta. En la figura siguiente se muestra el dibujo, en el cual se aprecia la espina dorsal que llega al cuadro de la parte derecha; a la espina llegan 5 ramas primarias (pudiendo ser más), de las cuales parten un determinado número de ramas secundarias, de las que a su vez, pueden derivarse un número variable de ramas terciarias.

Figura VII.1.- Esquema del Diagrama Causa-Efecto



- b) En el cuadro de la parte derecha de la figura, deberá ubicarse el problema o atributo de calidad que desea someterse al análisis de esta herramienta.
- c) En cada una de las 5 ramas primarias irá una causa responsable del efecto o problema en cuestión. Cada una de estas 5 causas primarias son: Materiales, Mano de Obra, Metodología, Maquinaria y Medio ambiente, por lo que al diagrama también se le conoce como de las *5 emes*. Algunos autores sugieren ramas adicionales, como la de Administración, Medición, etc., pero éstas bien pudieran ubicarse en cualquiera de las cinco consideradas. En este texto lo limitaremos a cinco.
- d) Bajo la técnica de "lluvia de ideas", deberán listarse las ramas o causas secundarias, responsables de las causas primarias. Así para el caso de la

rama de Mano de Obra, las ramas secundarias pueden ser falta de capacitación, negligencia, motivación del personal, falta de disciplina, etc.

- e) Después se sigue con las ramas o causas terciarias, que dan origen a las secundarias, así para el caso de la motivación del personal mencionada en el inciso anterior, podrían citarse malos tratos de los supervisores, mala comunicación, falta de reconocimientos, etc.
- f) Deberá ponerse especial atención a la importancia de cada una de las ramas terciarias, secundarias y primarias y analizar la posibilidad de que alguna de ellas sea la causante del problema en estudio.
- g) Finalmente y con la interacción del grupo, deberán seleccionarse las causas que con mayor probabilidad provoquen el efecto, con el fin de concentrar esfuerzos en ellas.

A continuación presentaremos un ejemplo de un caso educativo.

**Ejemplo VII. 1.-** Elabore un Diagrama Causa-Efecto para el caso del problema de bajo aprovechamiento del alumnado en su actividad escolar.

**Solución:**

Si analizamos este caso tomando a los egresados de calidad de la institución educativa como el producto, entonces el alumnado sería considerado sólo para este ejemplo la materia prima, la cual se va procesando según el avance escolar, que correspondería al proceso de fabricación.

En este caso seguiremos el procedimiento sugerido en el punto anterior, iniciando por el inciso b) y dejando el a) para el final.

Para el inciso b), el atributo de calidad o problema en cuestión es el bajo aprovechamiento del alumnado.

Por lo que respecta al inciso c), las 5 ramas serían: la de Maquinaria, puede ser la infraestructura de la escuela, es decir, las instalaciones; la rama de Materias Primas, sería en este caso el alumnado, la de Mano de obra correspondería al personal docente, la de la Metodología, las Técnicas de enseñanza y el Medio ambiente a los factores del entorno.

Por su parte el inciso d) corresponde a listar todas las posibles ramas secundarias que puedan caer dentro de las primarias, las cuales bajo la "lluvia de ideas", pudiesen ser las siguientes: Para la rama de Maquinaria, que sería la infraestructura, se podría mencionar el equipo audiovisual, los espacios, los laboratorios y el acervo bibliográfico; para la rama de Materias Primas, que corresponde al alumnado, las ramas secundarias pueden ser el ausentismo, la motivación, los hábitos de estudio y la preparación previa; por lo que respecta a la rama de la Mano de obra, es decir, el personal docente, las ramas secundarias podrían ser los conocimientos, el ausentismo, la preparación de las clases y la motivación; finalmente, para la rama primaria de la Metodología, que en este caso corresponde a las técnicas de enseñanza, podrían señalarse las ramas secundarias de la administración escolar, las técnicas didácticas obsoletas y el seguimiento de los programas.

Bajo la misma técnica de la "lluvia de ideas", seguir listando las causas terciarias que puedan haber originado las secundarias.

El diagrama tal y como se ha comentado se presenta en la figura VII.2, donde podemos observar las 5 ramas primarias, las ramas secundarias que salen de cada una de aquellas y las terciarias que se derivan de las secundarias.

Cabe mencionar que este diagrama podría haber variado, ya que por ejemplo, se podría haber ubicado la rama secundaria de las técnicas didácticas obsoletas dentro de la rama primaria del personal docente. No obstante lo anterior, esto no significa ningún problema, pues lo verdaderamente importante es que no pase desapercibida ninguna posible causa que hubiera provocado el problema bajo estudio.

Ver la Figura VII.2.- Diagrama Causa-Efecto para el problema del bajo aprovechamiento escolar que se encuentra más adelante.

Una vez que se tiene el diagrama configurado y a la vista de los participantes, la visión general de los implicados será más amplia y común. Esto podrá facilitar el siguiente paso que consiste en hacer una selección participativa de las variables que se considera son las de mayor influencia o impacto al problema. Para este ejemplo podríamos considerar: hábitos de estudio, preparación de maestros.

Un aspecto muy importante es que una vez elaborado el diagrama y seleccionadas las principales causas, deberá procederse a validar con datos que en realidad

esas causas sean origen del problema en cuestión, esto se puede realizar mediante el uso de los diagramas de dispersión que ocupan el próximo capítulo.

También se debe estar atento a mejorar el diagrama conforme se vaya utilizando, pues habrá causas que puedan desaparecer del mismo a la luz de la experiencia, mientras que habrá otras como puede ser el caso de un proceso de selección de alumnos ineficiente y que no ha aparecido en el diagrama inicial pero que debe ser incluido.

A continuación presentaremos otro caso.

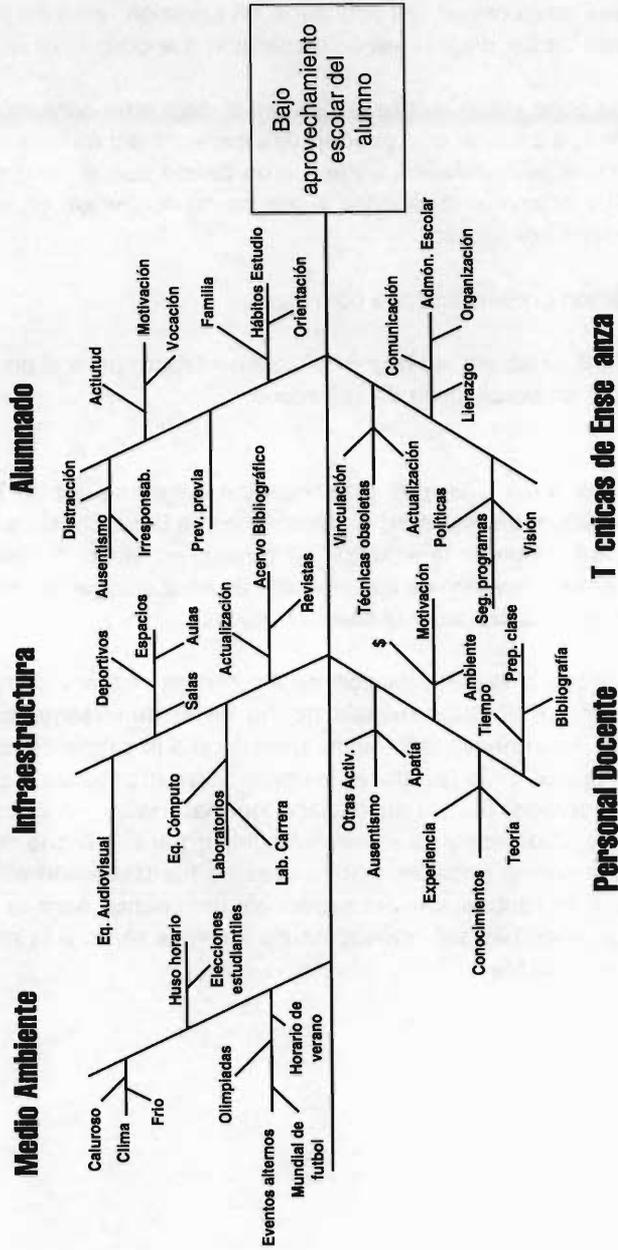
**Ejemplo VII.2.-** Elabore el Diagrama Causa – Efecto para el problema del envase sucio en una embotelladora de refrescos.

**Solución:**

Para este caso las 5 ramas primarias del diagrama serán: En Maquinaria, la máquina lavadora de envases; en Materiales, la Sosa Cáustica y el aditivo que se emplean para preparar la solución de lavado; en Mano de Obra, los empleados encargados de la revisión de los envases; en Metodología, los sistemas de inspección de envases utilizados y el Medio Ambiente.

Por lo que toca a la ramificación de las ramas primarias en ramas secundarias, tras un exhaustivo análisis hecho en el departamento de producción, junto con el del almacén de envases, se llegó a lo siguiente: En Maquinaria, se incluyen el ajuste de la lavadora, la operación y el programa de mantenimiento preventivo seguido; por su parte para los Materiales, se cuenta con una rama para la Sosa Cáustica y otra para el aditivo; para la Mano de Obra, se abren ramas secundarias para las habilidades de los trabajadores, las condiciones de trabajo y la motivación del personal; finalmente para la Metodología, se incluyen los sistemas de inspección de envases tanto a la entrada como a la salida de la lavadora.

Figura VII.2.- Diagrama Causa-Efecto para el problema del aprovechamiento escolar



El diagrama completo queda de la siguiente manera:

Ver el diagrama de la Figura VII.3.- Diagrama Causa – Efecto para el problema del envase sucio.

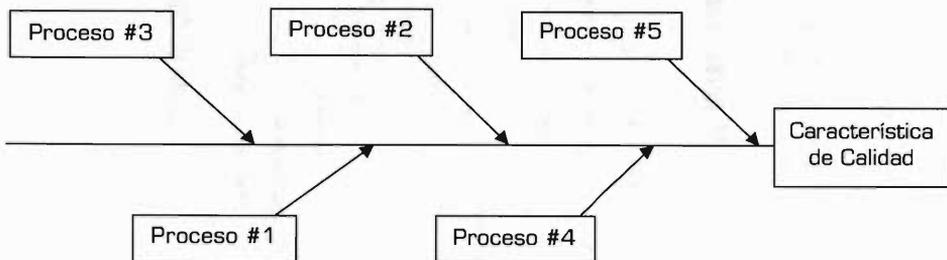
En el caso que se manejaba en un capítulo anterior, donde la causa de mucho envase sucio a la salida de la lavadora lo había provocado un lote de envase muy sucio que se metió al proceso del embotellado, esta causa corresponde a la rama terciaria del procedimiento de inspección del envase a la entrada de la máquina.

Como podemos ver, este diagrama podría variar, pero no en el contenido de posibles causas, sino en su acomodo en cuanto a las ramas primarias o secundarias. Como quiera que sea, habrá que estar muy atentos a validar la factibilidad de cada causa respecto a haber originado el problema y modificar en su caso, el diagrama conforme se vaya usando.

#### DIAGRAMA CAUSA-EFECTO CONSIDERANDO LAS FASES DEL PROCESO

Este tipo de diagrama es menos utilizado, sin embargo, resulta una variante interesante, sobre todo, para procesos productivos. En este diagrama en lugar de utilizar las M's, se utiliza cada etapa del proceso que se está analizando, acomodados en secuencia, tal y como se muestra en la figura VII.4.

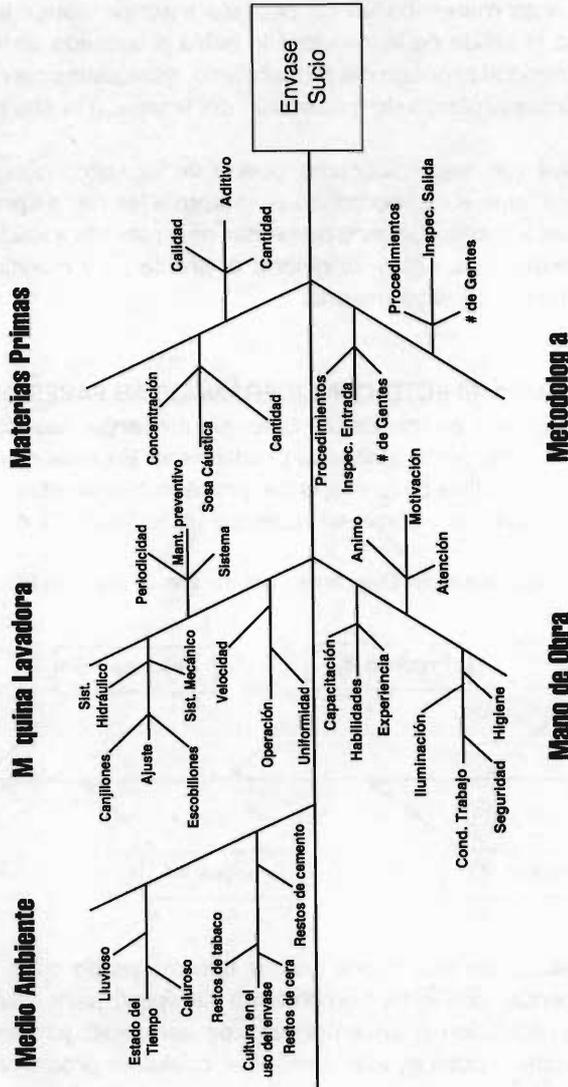
**Figura VII.4.-** Esquema del Diagrama Causa – Efecto para las fases de un proceso



Tras un análisis de los dos casos que se han manejado en el presente capítulo, podemos comentar que esta herramienta se aplica para una gran variedad de procesos de producción o en empresas de servicios, ya sea para mejorar un atributo de calidad o para ayudar a resolver cualquier problema que se presente.

De las 7 herramientas básicas ésta es la única que no se considera una herramienta estadística, más bien es una herramienta para el mejoramiento del trabajo en equipo como generadora de posibles ideas que identifiquen las causas que ocasionan un efecto no deseado.

Figura VII.3.- Diagrama Causa-Efecto para el problema del envase sucio.



# Capítulo VIII

## *El Diagrama de dispersión y el análisis de correlación*

### 8.1 INTRODUCCIÓN

A través del Diagrama Causa-Efecto establecemos las posibles causas que provocan un problema de calidad, estas aseveraciones son de carácter subjetivo y deberán entonces ser validadas, pues debemos recordar que el *Diagrama de Ishikawa* es la única dentro de las 7 herramientas, que no es de naturaleza estadística. Para realizar esa validación causa-efecto, nos sirve la correlación. El análisis de correlación es una herramienta que se puede usar para describir el grado en que una variable está linealmente relacionada con otra. Frecuentemente el análisis de correlación se usa en conjunto con el análisis de regresión para medir qué tan bien la línea de regresión explica las variaciones de la variable dependiente. Sin embargo, la correlación también se puede usar por sí misma para medir el grado de asociación entre dos variables, lo cual en los procesos productivos y del ámbito empresarial representa una ventaja y una necesidad, ya que siempre existe la posibilidad de analizar la influencia que uno o más factores productivos pueden tener sobre alguna característica del producto que nos interese controlar.

En los medios de producción, lo típico es analizar la relación entre uno o dos atributos de calidad y uno o varios factores causales posibles.

El *Diagrama de Dispersión* consiste básicamente en una gráfica que incluye al atributo de calidad que se desea controlar (variable dependiente) y el o los factores de producción que se presume lo causan (variables independientes). Este texto maneja únicamente la relación de tipo lineal, es decir proporcional.

En este texto presentaremos la relación con uno y dos factores causales o variables independientes, revisando para cada uno de ellos la bondad del ajuste logrado, lo cual significa saber qué tan bien reproduce los datos obtenidos experimentalmente la ecuación resultante del ajuste, mediante el valor del coeficiente de correlación, que entre más próximo esté a la unidad, el ajuste será mejor.

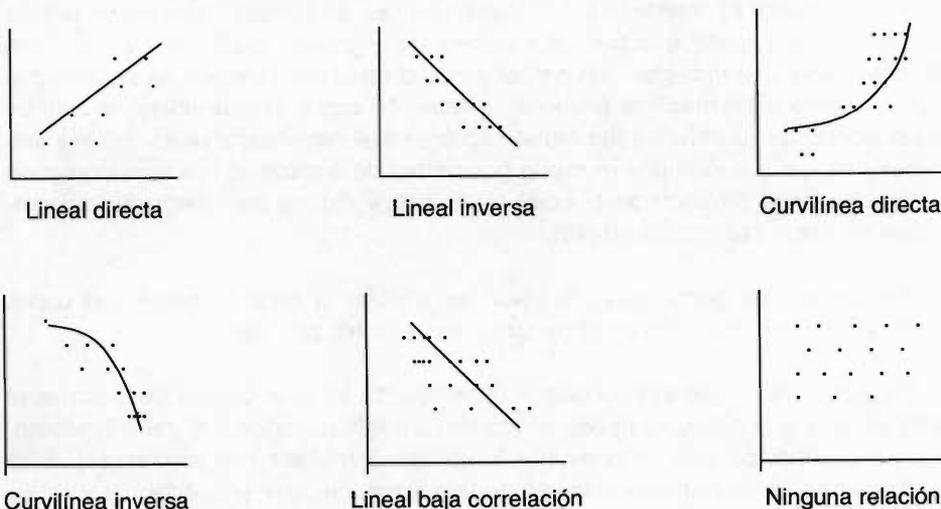
Presentaremos varios ejemplos con el propósito de ilustrar el uso y aplicación de esta herramienta en diferentes circunstancias.

## 8.2 TABLA DE CORRELACIÓN

La Tabla de Correlación es recomendable elaborarla antes que el análisis de regresión. Esta tabla es utilizada por el personal en el proceso, su uso es muy práctico; se establece si existe correlación o no entre variables y de qué tipo son estas relaciones, pero al ser un método cualitativo, no es muy preciso. Se tiene la ventaja que desde el momento en que se está llenando el formato, nos estamos dando cuenta de la relación entre las variables.

Algunos de los diferentes casos de relación entre variables, los podemos observar en las siguientes figuras:

Figura VIII. 1.- Diferentes tipos de relación entre variables



## LA ELABORACIÓN DE LA TABLA DE CORRELACIÓN

La tabla de correlación es un instrumento prediseñado que usan los operarios en el proceso, con el fin de recabar los datos del mismo mientras estos se generan, con esta información podríamos proceder a establecer el tipo de relación entre las variables implicadas, primero de manera visual y después si es el caso, mediante la estadística. La tabla de correlación puede contemplar o bien datos continuos o datos agrupados, siendo la de datos agrupados la más común, por lo cual es la que describiremos paso a paso.

Primer paso. Definir la variable independiente, la cual ocupará el eje de las X y la variable dependiente que ocupará el eje Y.

Segundo paso. Determinar el rango de valores dentro de los cuales fluctuará cada una de las variables. [El rango es igual a la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo esperados].

Tercer paso. Trazar los eje x – y, determinando sus escalas en función del rango de clases, se sugiere tomar un número de clases tal que facilite por un lado la toma de datos por parte del usuario y por otro lado que no pierda objetividad la tabla, podemos dar como referencia usar de 5 a 10 clases. Así entonces la determinación del número de clases debe considerar el aspecto práctico de la construcción de la tabla.

Cuarto paso. Definir los límites superior e inferior de cada rango. Se determina c que es la unidad mínima que maneja la variable, entonces c puede tomar valores de 1 o 0.1 o 0.01, etc., con el fin de evitar confusiones o dudas; al momento de clasificar los datos se aumentará un dígito después del punto decimal a los límites. La determinación de la cantidad inicial se obtiene sustrayendo a la cantidad mínima la mitad de c.

$$\text{Límite inferior X} = \text{Valor mínimo} - c/2 \quad \text{Ec. (VIII.1)}$$

$$\text{Límite superior X} = \text{Valor máximo} + c/2 \quad \text{Ec. (VIII.2)}$$

$$\text{Límite inferior Y} = \text{Valor mínimo} - c/2 \quad \text{Ec. (VIII.3)}$$

$$\text{Límite superior Y} = \text{Valor máximo} + c/2 \quad \text{Ec. (VIII.4)}$$

Quinto paso. Se toman los datos del proceso, se van clasificando en la tabla y se observa su comportamiento y visualmente se determina la existencia y el tipo de correlación.

**Ejemplo VIII. 1.-** En un proceso se desea determinar si el problema de humedad del producto terminado, está relacionado con la humedad de la materia prima. Para ello se tomaron los siguientes datos:

**Tabla VIII. 1.-** Datos de humedades en la materia prima y el producto

Muestra	Contenido de humedad en la materia prima. X (%)	Contenido de humedad en el producto Y (%)	Muestra	Contenido de humedad en la materia prima. X (%)	Contenido de humedad en el producto Y (%)
1	2.3	1.5	8	2.1	1.2
2	2.2	1.3	9	2.2	1.4
3	2.0	1.1	10	2.4	1.5
4	2.1	1.2	11	2.5	1.6
5	2.3	1.5	12	2.3	1.6
6	2.0	1.1	13	2.5	1.5
7	2.2	1.4	14	2.3	1.4

**Solución:**

Como podrá advertirse el procedimiento es muy similar al usado para construir histogramas.

Paso 1.- Consideraremos como variable independiente (X) al contenido de humedad en la materia prima y como variable dependiente (Y) al contenido de humedad en el producto.

Paso 2.- El valor mínimo dentro del cual se observa que está X es 2.0 y el valor máximo considerado es 2.5. Para la variable dependiente Y, el valor mínimo es 1.1 y el máximo es 1.6. Así entonces, el rango de X será:

$$\text{Rango X} = X_{\text{max}} - X_{\text{min}} = 2.5 - 2.0 = 0.5$$

Y el rango de Y será:

$$\text{Rango Y} = Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}} = 1.6 - 1.1 = 0.5$$

Paso 3.- Para este caso consideramos como número mínimo de clases 5, con esto podremos definir el intervalo entre rangos;

Intervalo X =  $0.5/5 = 0.1$

Intervalo Y =  $0.5/5 = 0.1$

Paso 4.- La unidad mínima c que manejamos en los datos es 0.1, de esta manera obtenemos los límites inferiores de las variables siguiendo las fórmulas dadas por las EC VIII.1 a la VIII.4 . O sea el valor del cual vamos a partir;

Límite inferior X =  $2 - 0.1/2 = 1.95$

Límite inferior Y =  $1.1 - 0.1/2 = 1.05$

Límite superior X =  $2.5 + 0.1/2 = 2.55$

Límite superior Y =  $1.6 + 0.1/2 = 1.65$

Paso 5.- Finalmente se ubican los datos durante el proceso en la tabla según sus valores correspondientes de X e Y, con lo cual obtendremos lo siguiente:

**Tabla VIII.2.-** Tabla de correlación para las variables

	F	2	2	3	4	1	2	0	14
Contenido de humedad del producto Y	1.65-1.74								0
	1.55-1.64				/		/		2
	1.45-1.54				//	/	/		4
	1.35-1.44			//	/				3
	1.25-1.34			/					1
	1.15-1.24		//						2
	1.05-1.14	//							2
		1.95	2.05	2.15	2.25	2.35	2.45	2.55	

Contenido de humedad de la materia prima X

Por la forma que toman los registros podemos asumir una cierta relación de tipo lineal directa entre la humedad de la materia prima y la humedad del producto terminado.

### 8.3 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Aun cuando la utilización de la Tabla de Correlación es muy práctica, tiene la desventaja de no ser precisa, la existencia de correlación se establece sólo visualmente, sin contar con un indicador numérico que califique el nivel de correlación. La siguiente manera de probar si dos variables están relacionadas, es una forma de determinación cuantitativa que es mediante el análisis de correlación. Para ello tendremos a la variable dependiente que denotaremos por Y, y la variable independiente representada por X. Podemos obtener la correlación entre ellas mediante la aplicación de la siguiente fórmula: [Referencia de la fórmula; ver libro número 17 de la bibliografía]

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{i=n} (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{Ec. [ VIII.5 ]}$$

Donde:

- $r_{x,y}$  = Coeficiente de correlación entre las 2 variables
- $x_i$  = Datos de la variable x
- $y_i$  = Datos de la variable y
- $\bar{x}$  = Media de los valores x
- $\bar{y}$  = Media de los valores y

La  $r_{x,y}$  adquiere valores dentro del siguiente rango  $-1 \leq r_{x,y} \leq +1$ , y el criterio a seguir es:  $r_{x,y} = 1$  muy buena correlación,  $r_{x,y} \neq 1$  la correlación deja de ser buena en la medida que  $r_{x,y}$  se aleje de 1.

**Ejemplo VIII.2.-** Tomando los datos del ejemplo VIII.1, se desea determinar mediante análisis de correlación si el problema de humedad del producto terminado, está relacionado con la humedad de la materia prima. Podemos tomar los datos de la Tabla VIII.1.

**Solución:**

Elaboramos la tabla VIII.3 con los datos proporcionados y con la información requerida por la fórmula de  $r_{x,y}$ . Y los resultados los sustituimos en la fórmula.

$$r_{x,y} = \frac{0.3229}{\sqrt{0.3836 * 0.3343}} = 0.9016$$

**Tabla VIII.3.** - Datos y sumatorias para el ejemplo VIII.2

$y_i$	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
1.5	2.3	0.1214	0.0571	0.0069	0.0147	0.0033
1.3	2.2	-0.0786	-0.0429	0.0034	0.0062	0.0018
1.1	2	-0.2786	-0.2429	0.0677	0.0776	0.0590
1.2	2.1	-0.1786	-0.1429	0.0255	0.0319	0.0204
1.5	2.3	0.1214	0.0571	0.0069	0.0147	0.0033
1.1	2	-0.2786	-0.2429	0.0677	0.0776	0.0590
1.4	2.2	0.0214	-0.0429	-0.0009	0.0005	0.0018
1.2	2.1	-0.1786	-0.1429	0.0255	0.0319	0.0204
1.4	2.2	0.0214	-0.0429	-0.0009	0.0005	0.0018
1.5	2.4	0.1214	0.1571	0.0191	0.0147	0.0247
1.6	2.5	0.2214	0.2571	0.0569	0.0490	0.0661
1.6	2.3	0.2214	0.0571	0.0127	0.0490	0.0033
1.5	2.5	0.1214	0.2571	0.0312	0.0147	0.0661
1.4	2.3	0.0214	0.0571	0.0012	0.0005	0.0033
$\bar{x}=1.379$	$\bar{y}=2.243$		Sumas =	0.3229	0.3836	0.3343

De acuer  $\diamond$  al criterio,  $r_{x,y}$  está lo suficientemente próxima a uno para considerarla como una buena correlación, por lo tanto podemos concluir que existe correlación entre la humedad de la materia prima y el contenido de humedad del producto. Ahora sí, podemos intentar determinar la fórmula que explica esta relación.

## 8.4 REGRESIÓN: APLICACIÓN EN UNA VARIABLE INDEPENDIENTE

Para este caso, tendremos a la variable dependiente que denotaremos por Y, y la variable independiente representada por X.

Se parte del hecho de contar con datos de Y – X que representan a los valores experimentales de las variables que se busca relacionar, para las cuales mediante la técnica de **mínimos cuadrados**, se llegará a obtener la línea recta cuya ecuación típica es:

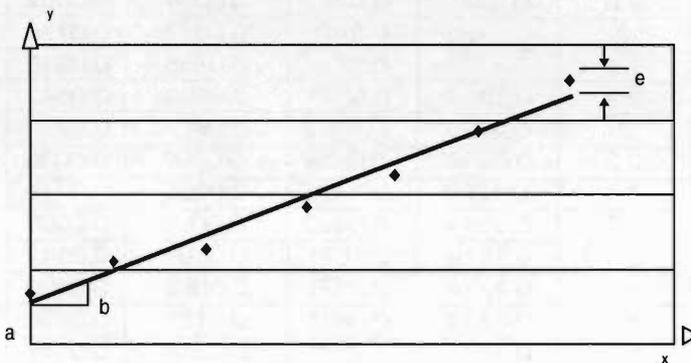
$$Y = a + bX$$

Ec.(VIII.6)

Donde  $a$  viene siendo la ordenada al origen y  $b$ , la pendiente de la recta que minimiza el cuadrado de las distancias entre los datos reales y la recta encontrada.

Una explicación gráfica de esto se muestra en la figura VIII.2.

Figura VIII.2.- Diagrama de Dispersión



En esta figura los rombos son los datos experimentales y la línea recta es la que se obtiene por la metodología de mínimos cuadrados, siendo  $e$  el error de cada punto, es decir la distancia que hay entre el valor de la variable dependiente predicho por la ecuación de la línea recta y el valor real que es donde se ubica el punto, según se muestra en la Figura VIII.2 en el último punto. Entonces la técnica de mínimos cuadrados lo que hace es minimizar la sumatoria del cuadrado de los errores, de modo que la recta obtenida sea la mejor.

Al contar con datos de  $Y - X$ , la técnica de mínimos cuadrados nos da las ecuaciones para obtener la ordenada al origen  $a$  y la pendiente  $b$  de la línea recta antes comentada, las cuales son las siguientes: [Referencia de las fórmulas: ver libro número 12 de la bibliografía].

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i x_i)}{n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

Ec. (VIII.7)

$$b = \frac{n(\sum_{i=1}^n y_i x_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad \text{Ec. (VIII.8)}$$

Por su parte la bondad del ajuste, es decir lo eficaz que pueda ser la ecuación obtenida para calcular valores con ella, se mide por el coeficiente de correlación denotado como R, el cual se calcula por medio de la siguiente fórmula: (Referencia de las fórmulas: ver libro número 12 de la bibliografía)

$$R = \sqrt{\frac{S(yy) - S(e)}{S(yy)}} \quad \text{Ec. (VIII.9)}$$

Donde:

R = Coeficiente de correlación o bondad de ajuste.

S(yy) = Varianza de los datos para y, dada por la Ec.(VIII.10)

S(e) = Sumatoria del cuadrado de los errores, dada por la Ec.(VIII.11)

Por su parte, la fórmula para obtener la varianza de los datos para la variable dependiente, viene dada por la siguiente relación:

$$S(yy) = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \quad \text{Ec. (VIII.10)}$$

Mientras que la sumatoria de los errores se obtiene con la siguiente fórmula:

$$S(e) = \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2 \quad \text{Ec. (VIII.11)}$$

Siendo  $y_i$  el valor real de la variable dependiente, mientras que  $y_i^*$  es el valor calculado con la ecuación obtenida, por lo que la diferencia entre ambas representa el error de cada punto.

A continuación presentaremos dos ejemplos ilustrativos del uso y aplicación de estas fórmulas.

**Ejemplo VIII.3.-** La empresa "Plásticos de la Zona Media" produce envases de plástico para bebidas gaseosas. Uno de los defectos del producto es la porosidad del plástico, el cual se cree tiene que ver con la temperatura de soplado de la materia prima; para ello se cuenta con los datos que se presentan en la tabla VIII.4.

**Tabla VIII.4.-** Datos para el ejemplo VIII.3

Temperatura de Soplado, ° C	% Defectuoso
85	3.18
87	3.17
90	3.12
92	3.11
94	3.00
96	2.98
98	2.90

Elaborar el Diagrama de Dispersión para los datos y obtener la ecuación de ajuste y su coeficiente de correlación.

**Solución:**

Aquí la variable dependiente Y es el porcentaje defectuoso, mientras que la variable independiente X será la temperatura de soplado.

Lo primero será obtener las sumatorias de y, x,  $y^2$ ,  $x^2$ , los productos yx, los cuales se presentan en la tabla VIII.5.

**Tabla VIII.5.-** Datos y sumatorias para el ejemplo VIII.3

Número de Dato	y	x	$y^2$	$x^2$	yx
1	3.18	85	10.1124	7225	270.30
2	3.17	87	10.0489	7569	275.79
3	3.12	90	9.7344	8100	280.80
4	3.11	92	9.6721	8464	286.12
5	3.00	94	9.0000	8836	282.00
6	2.98	96	8.8804	9216	286.08
7	2.90	98	8.4100	9604	284.20
<b>Sumatoria</b>	<b>21.46</b>	<b>642</b>	<b>65.8582</b>	<b>59014</b>	<b>1965.29</b>

Con estos datos podemos calcular la a y la b para la recta respectiva mediante las ecuaciones VIII.7 y VIII.8, en la siguiente forma:

$$a = \frac{(21.46)(59014) - (642)(1965.29)}{7(59014) - (642)^2} = 5.058$$

$$b = \frac{7(1965.29) - (642)(21.46)}{7(59014) - (642)^2} = -0.02172$$

Con esto, la ecuación de la línea recta de ajuste para los datos es la siguiente:

$$Y = 5.058 - 0.02172 X$$

Por su parte para el cálculo del coeficiente de correlación, deberemos obtener los valores de Y calculados, los cuales se logran al aplicar la ecuación para las diferentes temperaturas, así para el caso del primer dato, esta estimación es la siguiente:

$$Y = 5.058 - (0.02172)(85) = 3.2118$$

Procediendo en forma similar, se generan los datos que se presentan en la tabla VIII.5, los cuales incluyen el cuadrado del error, el cual cada uno de ellos es la diferencia entra la Y calculada con la ecuación y la Y real.

**Tabla VIII.6.-** Valores de las Y real, Y calculada y el cuadrado del error respectivo

Número de Dato	Y real	Y calculada	e <sup>2</sup>
1	3.18	3.2118	0.00101124
2	3.17	3.1684	0.00000256
3	3.12	3.1032	0.00028224
4	3.11	3.0598	0.00252004
5	3.00	3.0163	0.00026569
6	2.98	2.9729	0.00005041
7	2.90	2.9294	0.00086436

El error e se calcula de la siguiente manera:

$$e = Y \text{ real} - Y \text{ calculada}$$

$$\text{Ec. (VIII. 12)}$$

El error al cuadrado se obtiene de elevar cada diferencia al cuadrado. Aquí la sumatoria del cuadrado de los errores mostrados en la tabla VIII.6,  $S(e)$  es 0.00499654.

Con esto calcularemos ahora la varianza de la variable dependiente por medio de la ecuación VIII.10, con lo cual obtendremos:

$$S(yy) = 65.8582 - \frac{(21.46)^2}{7} = 0.06797143$$

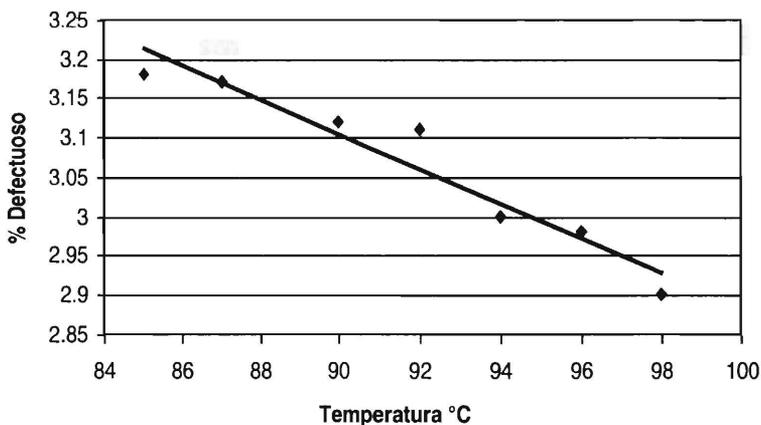
Ahora estamos en posibilidad de obtener el coeficiente de correlación mediante la ecuación VIII.9, en la manera siguiente:

$$R = \sqrt{\frac{0.06797143 - 0.00499654}{0.06797143}} = 0.96254$$

Aquí vemos que el ajuste ha sido bueno, pues el valor del coeficiente nos indica el grado de exactitud con el cual la ecuación del ajuste reproduce los datos, es decir el 96.25% para el caso de este ejemplo.

Ahora finalmente presentamos el Diagrama de Dispersión de los datos.

Figura VIII. 3.- Diagrama de Dispersión del caso



Con esto vemos cómo la recta obtenida pasa entre los puntos representativos de cada dato real, señalados por rombos, tratando de que los errores se minimicen, tal y como se comentó anteriormente, con lo que podemos concluir que a mayor temperatura de soplado, será menor la porosidad.

Ahora presentaremos otro caso.

**Ejemplo VIII.4.-** La Embotelladora de la Zona Media está tratando de analizar la relación que pueda existir entre la presión de líquido en la máquina llenadora y el porcentaje de envase mal llenado resultante; para esto se han tomado diferentes pares de datos, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla VIII.7.-** Datos del ejemplo VIII.3

Presión de llenado, Kgf/cm <sup>2</sup>	Porcentaje mal llenado
1.70	1.25
1.74	1.24
1.78	1.28
1.85	1.32
1.90	1.35
1.95	1.44
2.00	1.61
2.05	1.58
2.10	1.63

Constrúyase el Diagrama de Dispersión respectivo para el caso e interprete los resultados.

**Solución:**

Para este caso se cuenta con 9 datos, donde la variable dependiente "y" es el porcentaje mal llenado, mientras que la variable independiente "x" será la presión de llenado.

Ahora procederemos a obtener las sumatorias de y, x, y<sup>2</sup>, x<sup>2</sup>, los productos yx, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla VIII.8.-** Datos y sumatorias para el ejemplo VIII.3

Número de Dato	y	x	y <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	yx
1	1.25	1.70	1.5625	2.8900	2.1250
2	1.24	1.74	1.5376	3.0276	2.1576
3	1.28	1.78	1.6384	3.1684	2.2784
4	1.32	1.85	1.7424	3.4225	2.4420
5	1.35	1.90	1.8225	3.6100	2.5650
6	1.44	1.95	2.0736	3.8025	2.8080
7	1.61	2.00	2.5921	4.0000	3.2200
8	1.58	2.05	2.4964	4.2025	3.2390
9	1.63	2.10	2.6569	4.4100	3.4230
<b>Sumatoria</b>	<b>12.70</b>	<b>17.07</b>	<b>18.1224</b>	<b>32.5335</b>	<b>24.258</b>

Con esta información estamos ahora en posibilidades de calcular a y b mediante la aplicación de las ecuaciones VIII.7 y VIII.8, para obtener:

$$a = \frac{(12.7)(32.5335) - (17.07)(24.258)}{9(32.5335) - (17.07)^2} = -0.6414$$

$$b = \frac{9(24.258) - (17.07)(12.7)}{9(32.5335) - (17.07)^2} = 1.08217$$

Con esto, la ecuación resultante para la recta de ajuste es la siguiente:

$$y = -0.6414 + 1.08217 x$$

Ahora calcularemos el coeficiente de correlación, para lo cual deberemos obtener los valores de y calculados, los cuales se logran al aplicar la ecuación para los diferentes valores de x. Además, debemos estimar el cuadrado de los errores, lo cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla VIII.9.- Valores de las y real, calculada y el cuadrado del error respectivo

Número de Dato	y real	y calculada	e <sup>2</sup>
1	1.25	1.1983	0.00267283
2	1.24	1.2416	0.00000256
3	1.28	1.2849	0.00002401
4	1.32	1.3606	0.00164836
5	1.35	1.4147	0.00418609
6	1.44	1.4688	0.00082944
7	1.61	1.5229	0.00758641
8	1.58	1.5770	0.00000900
9	1.63	1.6312	0.00000144

Aquí la sumatoria de los errores al cuadrado S(e) es 0.0169602.

Por su parte la varianza será:

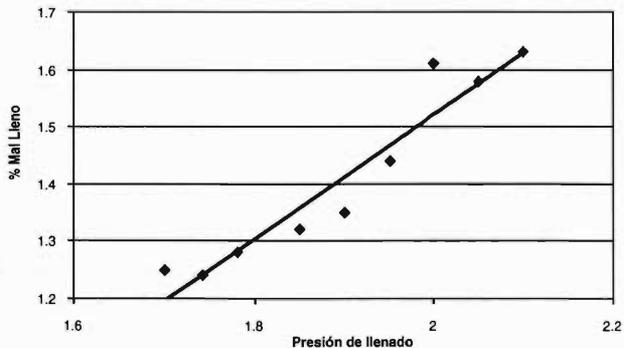
$$S(yy) = 18.1224 - \frac{(12.7)^2}{9} = 0.20128889$$

Con esto el coeficiente de correlación resulta ser:

$$R = \sqrt{\frac{0.20128889 - 0.0169602}{0.20128889}} = 0.957$$

Ahora presentaremos el Diagrama de Dispersión para los datos, el cual es el siguiente:

Figura VIII. 4.- Diagrama de dispersión del ejemplo VIII. 3



Aquí vemos que la recta pasa muy cerca de varios puntos y algo retirada de otros, pero la técnica de mínimos cuadrados nos asegura que es la mejor línea, para unir los puntos que van a ser relacionados. Con lo anterior podemos asumir que si existe una relación directa entre el porcentaje de refrescos mal llenados y la presión del gas en la máquina de llenado y si pretendemos disminuir este porcentaje, un camino sería mantener esa presión en el punto mínimo permitido por el proceso y estabilizarla.

## 8.5 REGRESIÓN: APLICACIÓN EN DOS VARIABLES INDEPENDIENTES

Para casos en que se pretende relacionar a un atributo de calidad (variable dependiente), con dos factores de producción (variables independientes), se utiliza la regresión lineal múltiple, la cual es similar a la antes descrita, suponiendo que el ajuste es del tipo lineal, es decir, de línea recta.

También se utiliza para estos casos la metodología de mínimos cuadrados, la cual nos proporciona las ecuaciones para estimar los coeficientes del ajuste.

La ecuación para el ajuste es en este caso la siguiente:

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 z \quad \text{Ec. (VIII. 13)}$$

Donde  $x$ ,  $z$  son las variables independientes. Para estimar los 3 coeficientes  $b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$  para el ajuste, las ecuaciones son las siguientes: (Referencia de las fórmulas: ver libro número 9 de la bibliografía)

$$b_0 = \frac{D_0}{D} \quad \text{Ec. (VIII. 14)}$$

$$b_1 = \frac{D_1}{D} \quad \text{Ec. (VIII. 15)}$$

$$b_2 = \frac{D_2}{D} \quad \text{Ec. (VIII. 16)}$$

Donde  $D_0$ ,  $D_1$ ,  $D_2$  y  $D$  son determinantes de tercer orden, los cuales se calculan mediante las siguientes ecuaciones: (Referencia de las fórmulas: ver libro número 9 de la bibliografía)

$$D_0 = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n X_i & \sum_{i=1}^n Z_i \\ \sum_{i=1}^n y_i X_i & \sum_{i=1}^n X_i^2 & \sum_{i=1}^n X_i Z_i \\ \sum_{i=1}^n y_i Z_i & \sum_{i=1}^n X_i Z_i & \sum_{i=1}^n Z_i^2 \end{vmatrix} \quad \text{Ec. (VIII. 17)}$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n Z_i \\ \sum_{i=1}^n X_i & \sum_{i=1}^n y_i X_i & \sum_{i=1}^n X_i Z_i \\ \sum_{i=1}^n Z_i & \sum_{i=1}^n y_i Z_i & \sum_{i=1}^n Z_i^2 \end{vmatrix} \quad \text{Ec. (VIII. 18)}$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_i & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n X_i & \sum_{i=1}^n X_i^2 & \sum_{i=1}^n y_i X_i \\ \sum_{i=1}^n Z_i & \sum_{i=1}^n X_i Z_i & \sum_{i=1}^n y_i Z_i \end{vmatrix} \quad \text{Ec. (VIII. 19)}$$

$$D = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_i & \sum_{i=1}^n Z_i \\ \sum_{i=1}^n X_i & \sum_{i=1}^n X_i^2 & \sum_{i=1}^n X_i Z_i \\ \sum_{i=1}^n Z_i & \sum_{i=1}^n X_i Z_i & \sum_{i=1}^n Z_i^2 \end{vmatrix} \quad \text{Ec. (VIII. 20)}$$

Donde:

$n$  = Número de datos

El subíndice  $i$  se refiere a cada dato para calcular las sumatorias que aparecen como elementos de los determinantes.

A continuación se presenta un ejemplo ilustrativo del uso de estas fórmulas.

**Ejemplo VIII.5.**- La resistencia a la tracción de un acero especial se cree que depende de la temperatura del horno en el cual se procesó y del contenido de carbón. Para esto se han hecho pruebas experimentales para 3 diferentes temperaturas y 3 contenidos de carbón, para lo cual se han recolectado los datos siguientes:

**Tabla VIII.10.**- Datos del ejemplo VIII.5

Número de Dato	Resistencia a la tracción, kg/cm <sup>2</sup>	Temperatura del horno, ° C	Contenido de Carbón, %
1	45.8	320	2
2	47.1	340	2
3	54.6	360	2
4	44.1	320	5
5	48.3	340	5
6	52.6	360	5
7	36.8	320	8
8	42.6	340	8
9	44.1	360	8

Establezca la posible relación de ajuste entre las variables y la bondad del mismo.

**Solución:**

Denominaremos como “ $y$ ” a la resistencia, que es en este caso la variable dependiente; “ $x$ ” por su parte será la temperatura del horno; mientras que “ $z$ ” será el porcentaje de contenido de carbón.

Como puede observarse de las ecuaciones, para determinar los coeficientes del ajuste, se necesitan las sumatorias de las 3 variables, de los productos  $yx$ ,  $yz$ ,  $xz$ ,  $y^2$ ,  $x^2$ ,  $z^2$ , las cuales presentamos en la tabla VIII.11:

Tabla VIII.11.- Datos y sumatorias para el ejemplo VIII.4

y	x	Z	yx	yz	xz	y <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	z <sup>2</sup>
45.8	320	2	14656	91.6	640	2097.64	102400	4
47.1	340	2	16014	94.2	680	2218.41	115600	4
54.6	360	2	19656	109.2	720	2981.16	129600	4
44.1	320	5	14112	220.5	1600	1944.81	102400	25
48.3	340	5	16422	241.5	1700	2332.89	115600	25
52.6	360	5	18936	263.0	1800	2766.76	129600	25
36.8	320	8	11776	294.4	2560	1354.24	102400	64
42.6	340	8	14484	340.8	2720	1814.76	115600	64
44.1	360	8	15876	352.8	2880	1944.81	129600	64
416.0	3060	45	141,932	2008.0	15300	19455.48	1,042,800	279

Ahora podemos proceder a calcular los determinantes conforme a las ecuaciones VIII.17 a la VIII.20:

$$D_0 = \begin{vmatrix} 416 & 3060 & 45 \\ 141932 & 1042800 & 15300 \\ 2008 & 15300 & 279 \end{vmatrix} = -19,608,480$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} 9 & 3060 & 416 \\ 3060 & 1042800 & 141932 \\ 45 & 15300 & 2008 \end{vmatrix} = -1,555,200$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} 9 & 416 & 45 \\ 3060 & 141932 & 15300 \\ 45 & 2008 & 279 \end{vmatrix} = 239,112$$

$$D = \begin{vmatrix} 9 & 3060 & 45 \\ 3060 & 1042800 & 15300 \\ 45 & 15300 & 279 \end{vmatrix} = 1,166,400$$

Con lo cual los coeficientes serán:

$$b_0 = \frac{D_0}{D} = \frac{-19,608,480}{1,166,400} = -16.8111$$

$$b_1 = \frac{D_1}{D} = \frac{239,112}{1,166,400} = 0.205$$

$$b_2 = \frac{D_2}{D} = \frac{-1,555,200}{1,166,400} = -1.3333$$

Por lo que la ecuación de ajuste es

$$y = -16.8111 + 0.205x - 1.3333z$$

Con esta ecuación procedemos a estimar las respectivas “y” calculadas, de las cuales, su cercanía con las “y” reales nos dará una idea de la bondad del ajuste obtenido; por esto, en la tabla VIII.12 se presentan las “y” reales, las calculadas y el cuadrado de los errores respectivos, siendo cada error la diferencia entre las “y” reales y las calculadas.

**Tabla VIII. 12.-** Valores de las “y” reales, calculadas y los cuadrados de los errores respectivos

Número de Dato	y real	y calculada	e <sup>2</sup>
1	45.8	46.122	0.1038
2	47.1	50.222	9.7481
3	54.6	54.322	0.0772
4	44.1	42.122	3.9117
5	48.3	46.222	4.3173
6	52.6	50.322	5.1884
7	36.8	38.122	1.7482
8	42.6	42.222	0.1427
9	44.1	46.322	4.9382
<b>Total</b>	<b>416.0</b>	<b>415.998</b>	<b>30.1756</b>

Para obtener el coeficiente de correlación tendremos que obtener  $S(yy)$  mediante la ecuación VIII.10, la cual nos dará:

$$S(yy) = 19455.48 - \frac{(416)^2}{9} = 227.0356$$

Luego  $S(e)$  es la sumatoria de los errores al cuadrado; en la tabla anterior vemos que es 30.1756, por lo cual al aplicar la ecuación VIII.9, podemos estimar el coeficiente de correlación, que será:

$$R = \sqrt{\frac{227.0356 - 30.1756}{227.0356}} = 0.9312$$

Con esto vemos que el ajuste es satisfactorio ( $R \approx 1$ ) en términos generales. O sea que a mayor temperatura del horno la resistencia a la tracción será mayor y a menor contenido de carbón también la resistencia del acero será mayor, lo cual lo podemos pronosticar con la fórmula obtenida:

$$y = -16.8111 + 0.205x - 1.3333z$$

Para obtener el coeficiente de correlación se debe dividir el numerador (14,4) entre el denominador (16,4).

$$r = \frac{14,4}{16,4} = 0,878$$

El coeficiente de correlación es 0,878, lo que indica una fuerte correlación positiva entre las variables.

$$R = \sqrt{\frac{14,4}{16,4}} = 0,937$$

El coeficiente de correlación es 0,937, lo que indica una fuerte correlación positiva entre las variables.

# Capítulo IX

## 9.1 INTRODUCCIÓN

En cualquier proceso de generación de productos o servicios, sin importar su buen diseño y/o mantenimiento cuidadoso, siempre existirá cierto grado de variabilidad en la entrega o resultado. Una parte de esta variación es inherente o natural, esta variabilidad natural es el efecto acumulativo de muchas pequeñas causas que en esencia no podemos eliminar. Otra parte de esta variabilidad no es natural y afecta también las características del producto y atenta a la calidad de éste y surgen entre otras fuentes las siguientes :

- Ajustes incorrectos en el equipo.
- Errores de operación.
- Defectos de materias primas y suministros.

Las causas de este tipo de variabilidad las llamaremos “artificiales”, por no ser inherentes al proceso, sino agregadas por ineficiencias de operación. Éstas son controlables y para mantener los procesos dentro de un control nominal, se emplean los *Gráficos de Control*.

Los *Gráficos de Control* son herramientas muy utilizadas para describir de una manera elocuente y visible el estado que guarda un proceso, lo cual representa muchas ventajas en las empresas productivas, ya que con estas herramientas será relativamente fácil darnos cuenta cuando el proceso se halla fuera de control y lo más importante, nos ayudará a identificar si las causas que han originado el descontrol son naturales o artificiales [Causas comunes o causas especiales, ver Cap. V, Pág. 32], con el fin de dirigir acciones correctivas para su mejoramiento o solución.

Es usual emplear esta herramienta junto con otras que se han descrito anteriormente en este texto, a fin de encontrar la raíz de los problemas y eliminarlos, de modo que se logre la calidad del producto y se mantenga el proceso bajo control; esto es, un proceso de resultados consistentes. A este conjunto de herramientas estadísticas y en particular a los Gráficos de Control se les denomina "la voz del proceso". Ver figura IX.1.

Estas herramientas fueron diseñadas por W. A. Shewhart, por lo que también son conocidas como *Gráficas de Shewhart*, quien en la década de 1920 en los Estados Unidos, fue el primero en utilizarlos, aplicándolos en la compañía Bell Telephone.

Los *Gráficos de Control* consisten básicamente de una línea central, marcada por la media de la variable que se está monitoreando, y dos líneas límite, conocidas como límites de control superior e inferior, las cuales marcan los valores dentro de los que se espera deberá moverse la variable del proceso, a fin de que éste se halle bajo control. Esto se ilustra gráficamente en la figura IX.2.

Figura IX.1.- Sistema de Control de Procesos

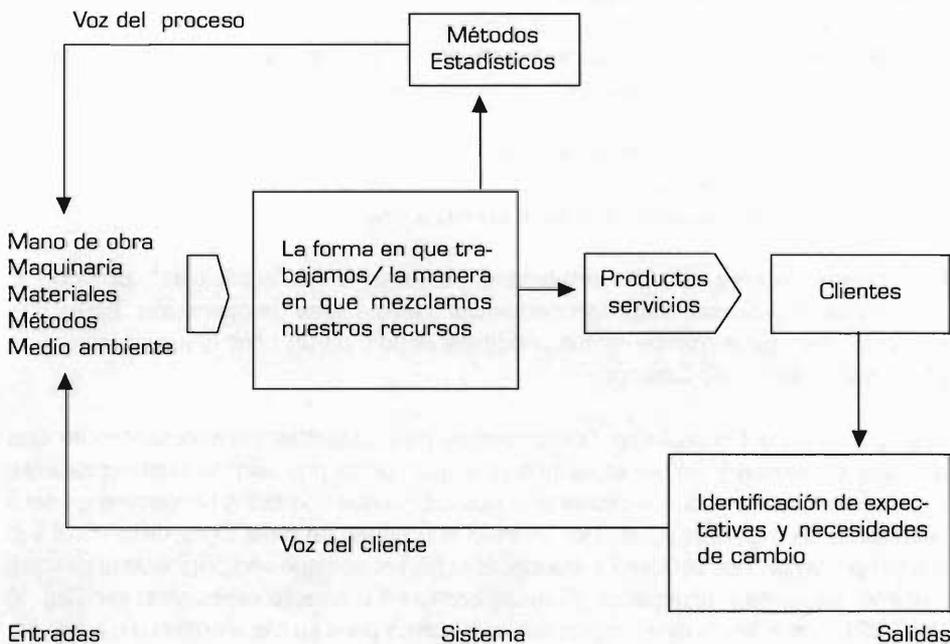
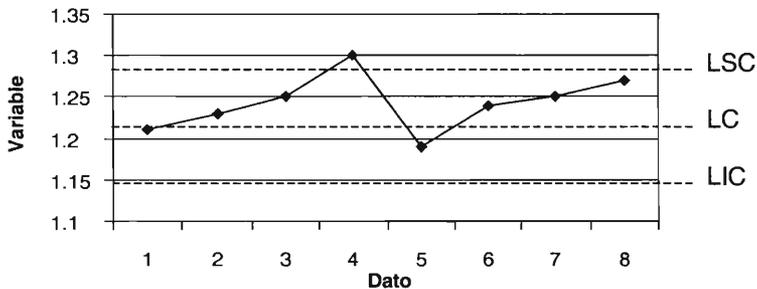


Figura IX.2.- Ejemplo de un Gráfico de Control



Es usual que los límites de control se establezcan a  $\pm 3$  desviaciones estándar de la media, lo cual hace que se le denomine a este tipo de control, de *3 sigma*.

Existen diferentes tipos de gráficos, en este texto veremos los dos más usuales, que son el de control de variables de tipo continuo y el de control de atributos de tipo discreto.

En los procesos productivos, podemos encontrar una cantidad muy grande de variables para ser controladas y podríamos mencionar como las variables más frecuentes las dimensiones de piezas que se fabrican, los pesos, la concentración, la intensidad de corriente eléctrica, la temperatura, la presión, la densidad entre otras.

En general, se dice que un proceso está bajo control cuando todos los puntos del mismo quedan entre los límites superior e inferior de control del proceso. No obstante lo anterior, existen casos en los cuales a pesar de que todos los puntos se localicen dentro de los límites, el proceso no está bajo control, como los siguientes:

- a) Siete puntos consecutivos quedan por encima o por debajo de la línea central.
- b) 10 de 11 puntos consecutivos quedan por encima o por debajo de la línea central.
- c) 12 de 14 puntos consecutivos quedan por encima o por debajo de la línea central.
- d) 16 de 20 puntos consecutivos quedan por encima o por debajo de la línea central.
- e) 2 de 3 puntos consecutivos quedan entre 2 y 3 sigma arriba o debajo de la línea central.
- f) Hay ciclos de puntos, es decir periodicidad.

## 9.2 CAUSAS COMUNES Y CAUSAS ESPECIALES DE VARIACIÓN

*Causas comunes*; son las fuentes de variación propias del proceso, que mantienen una distribución estable y repetible a través del tiempo. Si en un proceso sólo tenemos variaciones debido a causas comunes, la salida del proceso es predecible. Será un proceso en estado de control estadístico.

*Causas especiales*; son cualquier factor que causa variación y que no siempre actúan sobre el proceso. Cuando estas causas aparecen, provocan que la distribución cambie. Si estas causas están presentes, la salida del proceso es inconsistente.

Un proceso consistente tiene las siguientes características:

- Es estable en el tiempo.
- Es predecible.
- Está sujeto únicamente a causas comunes o naturales de variación.

Un proceso inconsistente tiene las siguientes características:

- Es inestable o cambiante en el tiempo.
- Es impredecible.
- Está sujeto tanto a causas comunes (naturales) como a especiales (artificiales) de variación.

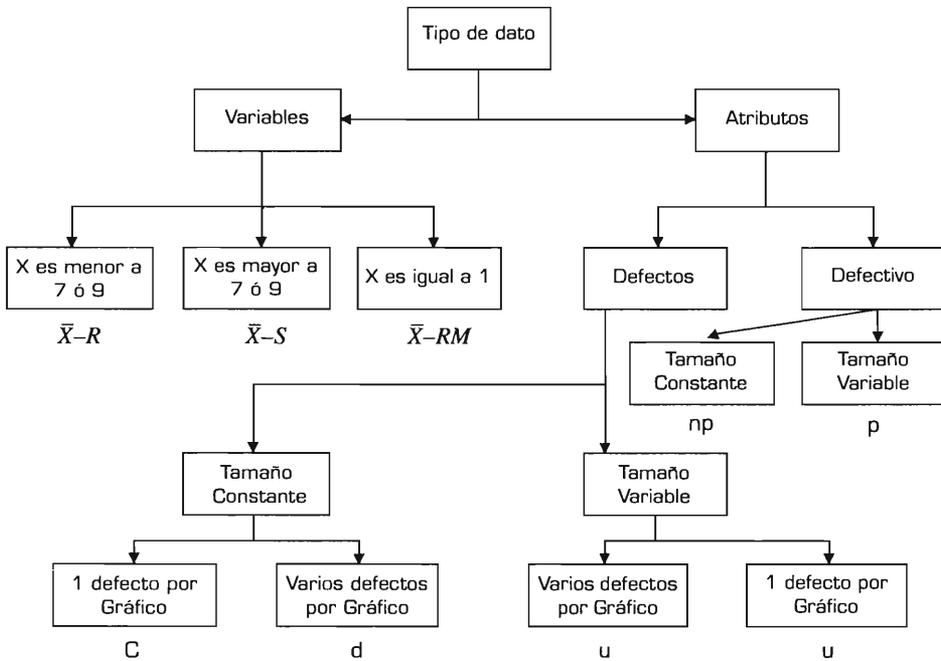
Cada tipo de causa de variación configura un comportamiento singular en la curva normal y resulta importante identificar y diferenciar los dos tipos de causas, pues el tipo de acción que debe ser tomado para mejorar depende de ello.

Las técnicas estadísticas de control de procesos pueden detectar tipos de causas de variación. Descubrir las causas especiales de variación y tomar la acción correctiva apropiada, es responsabilidad generalmente del personal que está directamente involucrado con la operación. Estas causas requieren de acciones en el piso para mejorar. La corrección de las causas comunes requiere de mayor análisis y en general corresponde a la gerencia tomar la decisión para el mejoramiento, pues estas causas generalmente requieren acciones o cambios de sistema.

## 9.3 GUÍA PARA LA SELECCIÓN

Existen diferentes tipos de Gráficos de Control y su correcta aplicación está relacionada con el tipo y cantidad de datos que tengamos. Podremos elegir la gráfica correcta, si nos apoyamos en el siguiente diagrama:

Figura IX.3.- Diagrama de Flujo para la elección del tipo de Gráfico de Control



En este texto no pretendemos profundizar en el control estadístico del proceso, razón por la cual solamente tocaremos los dos gráficos de control más usuales, el X-R para variables continuas y el np para atributos. Para conocer más sobre las aplicaciones de los gráficos de control se recomienda consultar textos especializados en el tema.

### 9.4 ESPECIFICACIÓN DE INGENIERÍA

Los clientes expresan sus necesidades a través de requerimientos técnicos que fijan en un contrato y/o en un dibujo de ingeniería formal. En él se observan las características a cumplir, como las dimensiones y tolerancias aceptables, incluso especifican cuales de estas características son críticas. Es muy importante que los límites (superior e inferior) del proceso queden dentro de los que especifica el

diseño de ingeniería. Debemos asegurar que el proceso y las máquinas sean capaces de alcanzar los requerimientos en cantidad y en calidad.

## 9.5 GRÁFICO DE CONTROL POR VARIABLES $\bar{X}-R$

Este tipo de gráfico es el más conocido y usual de todos; consiste en graficar medias y rangos de los subgrupos formados con los datos de la variable que se desea controlar.

La media de los datos del subgrupo  $x_i$ , es simplemente el promedio aritmético de los mismos, mientras que el rango  $R$ , será la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de los datos del subgrupo.

Por su parte, los límites de control y la línea central se establecen mediante las siguientes fórmulas:

Para MEDIAS:

Límite Superior de Control (LSC):

$$LSC = \bar{x} + A_2 \bar{R} \quad \text{Ec. (IX. 1)}$$

Línea Central (LC):

$$LC = \bar{X} \quad \text{Ec. (IX. 2)}$$

Límite Inferior de Control (LIC):

$$LIC = \bar{x} - A_2 \bar{R} \quad \text{Ec. (IX. 3)}$$

Donde:

$\bar{X}$  = Media de las medidas de los subgrupos

$\bar{R}$  = Media de los rangos de los subgrupos

Por su parte el parámetro  $A_2$  depende del tamaño del subgrupo, obteniéndose de tablas como la IX. 1, que se presenta a continuación:

Tabla IX.1.- Valores de los parámetros en función del tamaño del subgrupo

Tamaño del Subgrupo	$A_2$	$D_3$	$D_4$
2	1.880	0	3.267
3	1.023	0	2.575
4	0.729	0	2.282
5	0.577	0	2.115
6	0.483	0	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777

(Referencia de esta tabla : ver libro número 10 de la bibliografía)

Por su parte para RANGOS, las fórmulas son:

Límite Superior de Control (LSC):

$$LSC = D_4 \bar{R} \quad \text{Ec. (IX. 4)}$$

Línea Central (LC):

$$LC = \bar{R} \quad \text{Ec. (IX. 5)}$$

Límite Inferior de Control (LIC):

$$LIC = D_3 \bar{R} \quad \text{Ec. (IX. 6)}$$

Donde los parámetros  $D_3$  y  $D_4$  dependen también del tamaño del subgrupo y se obtienen de la tabla IX.1.

Una vez obtenidos los límites superior e inferior y la línea central, se procede a ubicar los valores de los datos en el gráfico, lo cual ilustraremos con los siguientes ejemplos.

**Ejemplo IX.1.-** Una empresa que fabrica flechas para uso automotriz tiene una máquina que trabaja dos turnos diarios. La especificación de ingeniería para el

diámetro de la flecha es 2.5 pulgadas con tolerancia de 10 milésimas de pulgada. Se han tomado los datos que se presentan en subgrupos de 6 mediciones en la tabla IX.2, los cuales son los siguientes para el turno matutino:

**Tabla IX.2.-** Datos del ejemplo IX.1 para el turno matutino

Hora	1	2	3	4	5	6	$R_i$	$\bar{x}_i$
8:00	2.501	2.503	2.516	2.507	2.510	2.501	0.015	2.5063
9:00	2.498	2.494	2.493	2.501	2.504	2.500	0.011	2.4983
10:00	2.507	2.523	2.504	2.498	2.503	2.506	0.025	2.5068
11:00	2.504	2.500	2.498	2.493	2.500	2.499	0.011	2.4990
12:00	2.501	2.502	2.502	2.501	2.499	2.500	0.003	2.5008
13:00	2.503	2.507	2.505	2.502	2.506	2.510	0.008	2.5055
14:00	2.518	2.521	2.513	2.506	2.508	2.510	0.015	2.5127
15:00	2.503	2.496	2.498	2.500	2.502	2.503	0.007	2.5003
<b>Suma</b>	—	—	—	—	—	—	<b>0.095</b>	<b>20.0297</b>

En esta tabla se han incluido en las dos últimas columnas los datos de los rangos y las medias de los subgrupos.

Por su parte la tabla respectiva para el turno vespertino es la siguiente

**Tabla IX.3.-** Datos para el turno vespertino

Hora	1	2	3	4	5	6	$R_i$	$\bar{x}_i$
16:00	2.503	2.501	2.506	2.502	2.502	2.500	0.006	2.5023
17:00	2.496	2.501	2.500	2.499	2.503	2.502	0.007	2.5002
18:00	2.504	2.510	2.498	2.502	2.505	2.501	0.012	2.5033
19:00	2.502	2.506	2.497	2.499	2.498	2.500	0.009	2.5003
20:00	2.501	2.499	2.503	2.498	2.502	2.506	0.008	2.5015
21:00	2.498	2.502	2.504	2.499	2.503	2.507	0.009	2.5022
22:00	2.496	2.501	2.503	2.508	2.497	2.510	0.014	2.5025
23:00	2.493	2.501	2.510	2.506	2.507	2.508	0.017	2.5042
<b>Suma</b>	—	—	—	—	—	—	<b>0.082</b>	<b>20.0165</b>

Constrúyase con estos datos los respectivos diagramas de control de medias y rangos para cada turno.

**Solución:**

Ya fueron incluidos en las tablas anteriores, los rangos y medias de cada subgrupo, por lo cual para la gráfica de medias del turno matutino tendremos:

Línea Central:

$$LC = \frac{20.0297}{8} = 2.5037 = \bar{X}$$

$$\bar{R} = \frac{0.095}{8} = 0.011875$$

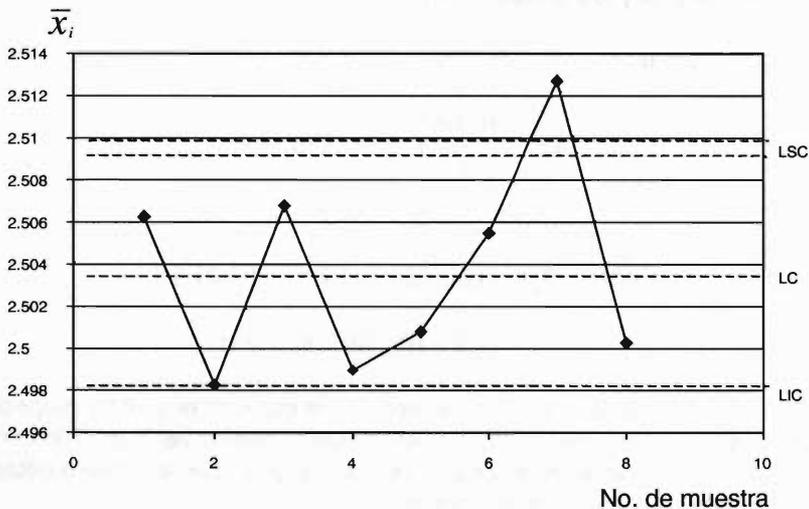
Por su parte, para los límites superior e inferior, de la tabla IX.1 obtenemos  $A_2$ , la cual para un tamaño del subgrupo de 6, es 0.483, con lo cual tendremos:

$$LSC = 2.5037 + (0.483)(0.011875) = 2.5095$$

$$LIC = 2.5037 - (0.483)(0.011875) = 2.4980$$

Entonces procedemos a elaborar el gráfico respectivo que será el siguiente.

**Figura IX.4.-** Gráfico de Medidas para el turno matutino



Aquí vemos que hay un punto fuera de los límites de control, incluso fuera de especificación, el séptimo; además, los puntos 2 y 4 se localizan muy cerca del límite inferior de control, lo cual los ubica entre 2 y 3 sigmas, lo que nos lleva a la conclusión de que el proceso se halla fuera de control. Aquí también se ha señalado el límite superior de la especificación del diámetro de flecha, que es de 2.510 pulgadas.

Es momento de recalcar que los límites de control (LIC y LSC) son una característica del proceso; si un punto del muestreo se sale de esta área, estamos frente a un problema cuya causa es especial y para la cual, la solución está en manos del operador o el ajustador de la máquina; las piezas fabricadas pueden estar fuera de este límite y no por ello ser defectuosas. Ahora bien, si el punto sale incluso fuera de la especificación de ingeniería, la pieza es defectuosa y el proceso deberá ser detenido para su revisión.

Por otra parte, si se diera el caso que al calcular los límites de control del proceso, éstos estuvieran muy próximos o incluso fueran mayores que la especificación de ingeniería, lo anterior nos indica que existen causas comunes que deben ser resueltas por la gerencia.

Por su parte para el gráfico de rangos, de la tabla IX.1 obtenemos  $D_3$ , que es cero y  $D_4$ , que es 2.004 para un tamaño del subgrupo de 6 elementos, con lo cual la línea central y los límites serán:

Línea Central:

$$LC = \frac{0.095}{8} = 0.011875 = \bar{R}$$

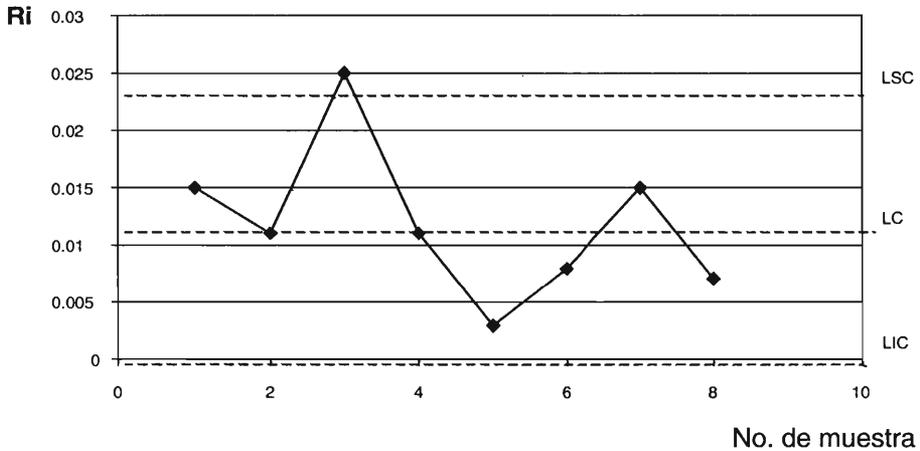
Límites:

$$LSC = D_4 \bar{R} = (2.004)(0.011875) = 0.023798$$

$$LIC = D_3 \bar{R} = (0)(0.011875) = 0$$

Con esto y los puntos de rangos podemos ahora obtener el gráfico respectivo, el cual se muestra en la siguiente figura, en la cual podemos ver que el tercer punto se encuentra por encima del límite superior de control, que nos lleva a determinar que el proceso se halla fuera de control.

Figura IX.5.- Gráfico de Rangos para el turno matutino



Por lo anterior, vemos que para el turno matutino ambos gráficos nos indican que el proceso se halla fuera de control, que nos indica que algo malo pasa en este turno.

Por su parte para los gráficos del turno vespertino, obtendremos la línea central y los límites de control para medias, los cuales serán:

Línea Central:

$$LC = \frac{20.0165}{8} = 2.50206 = \bar{X}$$

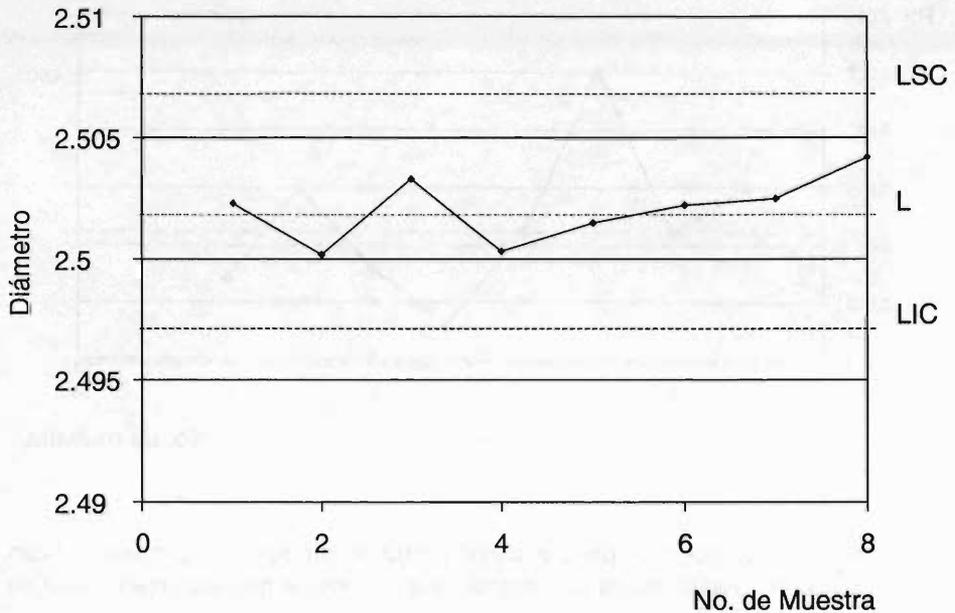
Límites:

$$LSC = 2.50206 + (0.483) (0.01025) = 2.5070$$

$$LIC = 2.50206 - (0.483) (0.01025) = 2.4971$$

Con esto, el gráfico de medias será el siguiente:

Figura IX.6.- Gráfico de Medias para el turno vespertino



Por su parte para el gráfico de rangos, la línea central y los límites serán:

Línea Central:

$$LC = \frac{0.082}{8} = 0.01025 = \bar{R}$$

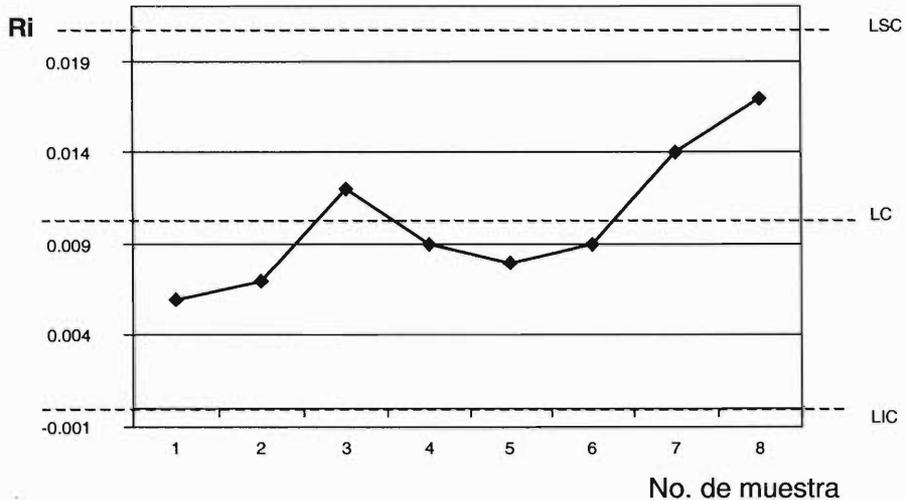
Límites:

$$LSC = D_4 R = (2.004)(0.01025) = 0.02054$$

$$LIC = D_3 R = (0)(0.01025) = 0$$

Siendo el gráfico el siguiente:

Figura IX.7.- Gráfico de Rangos para turno vespertino



Con esto vemos que en el turno vespertino ningún punto se halla fuera de los límites establecidos tanto en el gráfico de medias, como en el de rangos, por lo cual podemos concluir que el proceso se halla en control, lo que nos invita a pensar que la diferencia entre turnos pueda deberse a alguna situación que sea distinta entre un turno y otro, como pudiera ser el operario de la maquinaria, las materias primas, o bien los métodos de trabajo utilizados.

Esto también nos da una clara idea de la importancia de estratificar, a fin de encontrar la verdadera causa que origina los problemas, lo cual nos señala que para un caso dado de que se presente cualquier situación indeseable en un proceso productivo, pudiesen combinarse varias de las herramientas estadísticas de calidad, a fin de llegar a la raíz de las mismas. A continuación presentaremos otro ejemplo.

**Ejemplo IX.2.-** La empresa "Fábrica MOLSA", produce bolas de acero para molinos usados en la industria minera, las cuales deben pesar 3.00 kilogramos con una tolerancia de 100 gramos. Se han colectado y agrupado datos en subgrupos de 5, los cuales se han separado por máquina y para la máquina # 1 son los siguientes:

**Tabla IX.4.-** Datos del ejemplo IX.2 para la máquina # 1

Grupo	1	2	3	4	5	Rango	$\bar{x}_i$
1	3.050	3.175	3.205	3.010	2.985	0.220	3.085
2	3.175	3.185	3.305	3.210	3.055	0.250	3.186
3	2.985	2.985	2.990	3.005	3.100	0.115	3.013
4	3.100	3.010	3.020	3.050	3.085	0.090	3.053
5	2.985	2.990	2.995	3.000	3.010	0.025	2.996
6	3.010	2.995	3.010	3.025	3.020	0.030	3.012
7	2.980	2.990	3.010	3.005	3.000	0.030	2.997
8	3.005	3.015	3.010	3.010	3.005	0.010	3.009
9	3.000	2.995	2.985	2.970	2.970	0.030	2.984
10	2.970	2.980	3.350	2.975	3.005	0.380	3.056
<b>Total</b>	—	—	—	—	—	<b>1.180</b>	<b>30.391</b>

Por su parte la tabla respectiva para la máquina # 2, tiene los siguientes datos:

**Tabla IX.5.-** Datos del ejemplo IX.2 para la máquina # 2

Grupo	1	2	3	4	5	Rango	$\bar{x}_i$
1	3.010	3.020	3.055	3.040	2.985	0.070	3.022
2	2.985	2.995	3.010	3.030	3.100	0.115	3.024
3	3.085	3.055	2.985	3.105	3.005	0.120	3.047
4	2.990	2.970	2.995	3.010	2.985	0.040	2.990
5	2.985	2.970	2.950	3.010	3.000	0.060	2.983
6	2.930	2.960	3.010	3.020	3.020	0.090	2.988
7	3.020	3.015	3.025	2.970	2.955	0.070	2.997
8	2.945	3.010	3.010	3.015	3.020	0.075	3.000
9	3.015	2.985	2.990	2.985	2.970	0.045	2.989
10	2.975	3.030	3.015	3.085	3.080	0.110	3.037
<b>Total</b>	—	—	—	—	—	<b>0.795</b>	<b>30.077</b>

Construya los gráficos de control para cada máquina.

**Solución:**

Para la máquina # 1, dado que son 5 datos en el subgrupo,  $A_2$  será 0.577, por lo que la línea central y los límites serán:

Línea Central:

$$LC = \frac{30.391}{10} = 3.0391 = \bar{X}$$

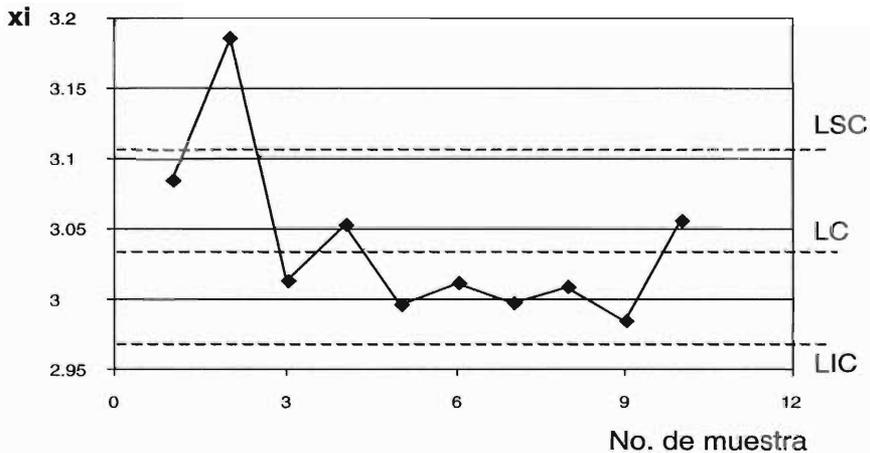
Límites:

$$LSC = 3.0391 + (0.577)(0.118) = 3.1072$$

$$LIC = 3.0391 - (0.577)(0.118) = 2.9710$$

Con esto el gráfico de medias será el siguiente:

Figura IX.8.- Gráfico de Medias, Máquina #1



Aquí vemos que el segundo punto se localizó muy por arriba del límite superior, por lo cual el proceso se halla fuera de control.

Por su parte, para el gráfico de rangos de esta misma máquina, para un tamaño de subgrupo de 5,  $D_3$  es cero y  $D_4 = 2.115$ , con lo cual tendremos:

Línea Central:

$$LC = \frac{1.18}{10} = 0.118 = \bar{R}$$

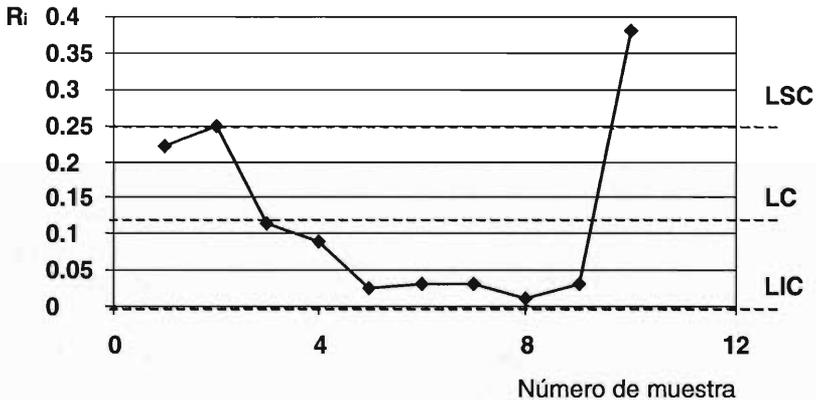
Límites:

$$LSC = (2.115)(0.118) = 0.2496$$

$$LIC = (0)(0.118) = 0$$

Con esto el gráfico quedará de la siguiente manera:

Figura IX.9.- Gráfico de Rangos, Máquina #1



De este gráfico vemos que el segundo punto queda prácticamente en el límite superior de control, mientras que el último punto queda muy por arriba, lo cual nos lleva a la conclusión de que el proceso está fuera de control.

Por su parte si elaboramos los gráficos respectivos para la máquina número 2, para el de medias, tendremos:

Línea Central:

$$LC = \frac{30.077}{10} = 3.0077$$

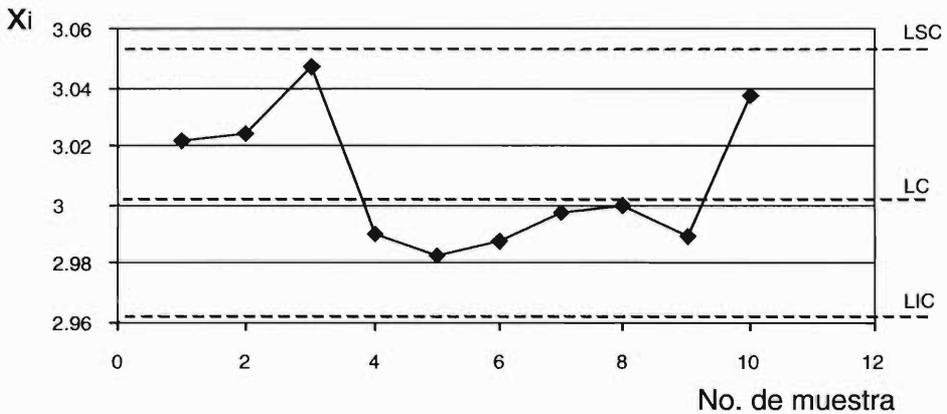
Límites:

$$LSC = 3.0077 + (0.577) (0.0795) = 3.0536$$

$$LIC = 3.0077 - (0.577) (0.0795) = 2.9618$$

Con lo cual el gráfico es el siguiente:

**Figura IX.10.-** Gráfico de Medias, Máquina #2



Por su parte para el gráfico de rangos para la línea central y los límites, tendremos:

Línea Central:

$$LC = \frac{0.795}{10} 0.0795 = \bar{R}$$

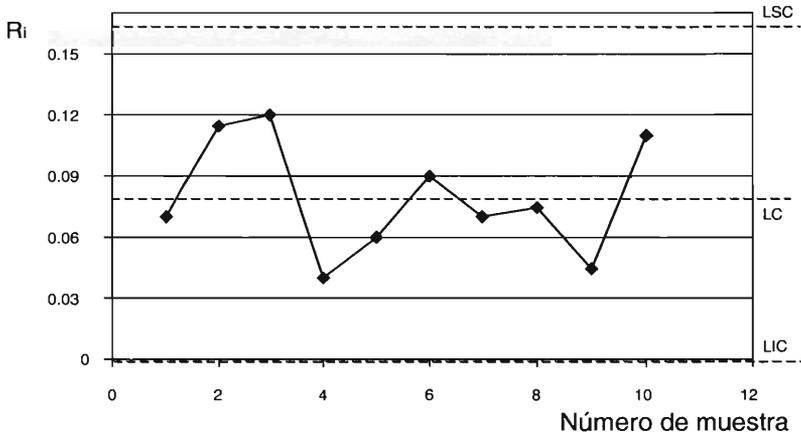
Límites:

$$LSC = (2.115) (0.0795) = 0.1681$$

$$LIC = (0) (0.0795) = 0$$

Siendo el gráfico el siguiente:

Figura IX.11.- Gráfico de Rangos, Máquina #2



Aquí vemos que los dos gráficos de esta máquina muestran que no hay ningún punto fuera de los límites de control, por lo que podemos afirmar que el proceso está bajo control. Queremos hacer énfasis en lo siguiente, si un proceso está bajo control no implica que sea un proceso con capacidad ni habilidad. La determinación de la capacidad nos ayudará a determinar que el proceso es confiable.

A continuación presentamos la determinación de la capacidad de este proceso.

### 9.6 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS A TRAVÉS DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO

Una vez que tenemos un proceso estadísticamente estable, con una distribución normal en sus datos y poca variación, es posible entonces evaluar la *Capacidad del Proceso*.

El primer paso consiste en calcular la desviación estándar del proceso, mediante la siguiente fórmula:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \hat{\sigma}_{R/d} \quad \text{Ec. [IX. 7]}$$

Donde  $R$  testada es el promedio de los rangos de los subgrupos y  $d_2$  es una constante que varía de acuerdo al tamaño de las muestras  $n$ , conforme a la siguiente tabla.

**Tabla IX.6.-** Valores de  $d_2$  según el tamaño de la muestra  $n$

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_2$	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

El cálculo de la capacidad del proceso se realiza mediante las siguientes fórmulas:

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \bar{X}}{\hat{\sigma}} \quad \text{Ec. (IX. 8)}$$

$$Z_{LIE} = \frac{LIE - \bar{X}}{\hat{\sigma}} \quad \text{Ec. (IX. 9)}$$

Donde:

LSE es el límite superior de especificación.

LIE es el límite inferior de especificación.

$\bar{X}$  es la media del proceso.

$\sigma$  es la desviación estándar del proceso.

Ahora podemos hacer el análisis del proceso de "un solo lado", que es un análisis más estricto, para ello se selecciona de las  $Z$  el  $Z_{\min}$ , que es la cantidad con menor valor absoluto y se determina el  $C_{pk}$  mediante la siguiente fórmula:

$$C_{pk} = \frac{Z_{\min}}{3} \quad \text{Ec. (IX. 10)}$$

Un proceso se califica como capaz, si la  $C_{pk} > 1.33$  o sea que el proceso está dentro de  $4\sigma$ .

También podemos hacer un análisis de la capacidad del proceso simple, tomaríamos todo el ancho de la especificación,  $LES-LIE$  y lo dividimos entre  $6\sigma$ .

A continuación presentamos un ejemplo del uso de estas fórmulas.

**Ejemplo IX.3.-** De la gráfica de control en un proceso de maquinado obtenemos los siguientes datos:

$$\bar{X} = 0.738 \qquad \sigma = 0.0725$$

$$LSE = 0.900 \qquad LIE = 0.500$$

Calcular la capacidad del proceso.

**Solución:**

Lo primero que obtendremos son las distancias del promedio del proceso a los límites de especificación superior e inferior en términos de unidades de desviación estándar, mediante el uso de las fórmulas descritas con anterioridad.

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \bar{X}}{\hat{\sigma}} = \frac{0.900 - 0.738}{0.0725} = \frac{0.162}{0.0725} = 2.23$$

$$Z_{LIE} = \frac{LIE - \bar{X}}{\hat{\sigma}} = \frac{0.500 - 0.738}{0.0725} = \frac{-0.238}{0.0725} = -3.28$$

El mínimo valor absoluto entre los calculados es el correspondiente al límite superior, así:

$$Cpk = \frac{Z_{\min}}{3} = \frac{2.23}{3} = 0.74 \leq 1.33$$

De lo anterior podemos considerar a nuestro proceso en cuestión sin capacidad real.

**Ejemplo IX.4.-** Considerar las condiciones dadas en el problema IX.2, y hacer un análisis de la capacidad del proceso e interpretar los resultados. Los datos de la máquina #1 para este problema, tomados del ejemplo son:

$$LSE = 3.100 \quad LIE = 2.900 \quad \bar{X} = 3.0391 \quad R = 0.118 \quad d2 = 3.080$$

**Solución:**

$$\hat{\sigma} = \frac{0.118}{3.08} = 0.0383$$

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \bar{X}}{\hat{\sigma}} = \frac{3.100 - 3.0391}{0.0383} = 1.59$$

$$Z_{LIE} = \frac{LIE - \bar{X}}{\hat{\sigma}} = \frac{2.900 - 3.0391}{0.0383} = -3.632$$

Tomamos entonces el valor absoluto menor que es 1.59 y aplicamos la fórmula:

$$C_{PK} = \frac{1.59}{3} = 0.53$$

$0.53 < 1.33$ , por lo tanto el proceso no es capaz y como lo mencionamos en su momento, el proceso está fuera de control.

El análisis para la máquina dos es el siguiente:

$$LSE = 3.100 \quad LIE = 2.900 \quad \bar{X} = 3.0077 \quad R- = 0.0258 \quad d2 = 3.080$$

$$\hat{\sigma} = \frac{0.0795}{3.08} = 0.0258$$

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \bar{X}}{\hat{\sigma}} = \frac{3.100 - 3.0077}{0.0258} = 3.577$$

$$Z_{LIE} = \frac{LIE - \bar{X}}{\hat{\sigma}} = \frac{2.900 - 3.0077}{0.0258} = -4.174$$

Tomamos entonces el valor absoluto menor que es 3.577 y aplicamos la fórmula:

$$C_{PK} = \frac{3.577}{3} = 1.192$$

1.192 < 1.33, por lo tanto el proceso no es capaz.

Como ya vimos en el problema IX.2 el proceso está bajo control, sin embargo aquí apreciamos que aún estando bajo control, su capacidad del lado superior es insuficiente y en el lado inferior es satisfactoria, esto se debe a lo siguiente: el análisis de la capacidad de "un solo lado" es un análisis más estricto que el de rango amplio y es por ello que ahora se estima como no capaz a la muestra de este sector, pero si realizáramos un análisis de proceso simple, el proceso completo sería prácticamente un proceso capaz ( $C_{pk}=1.3$ ). Como nuestro objetivo es encontrar puntos de mejora, es entonces importante hacer notar que el proceso es capaz en su especificación inferior pero también aceptar que el proceso no es capaz en su especificación superior y aplicar entonces ahí acciones de mejora. Si sabemos aplicar e interpretar sus resultados, la estadística y la probabilidad podrían llegar a considerarse como las armas de la verdad y un gran aliado en la búsqueda de la excelencia.

## 9.7 GRÁFICO DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Este tipo de gráfico es utilizado cuando se desea hacer un muestreo de aceptación para un producto, del cual se toma una muestra del total de la población y se decide aceptar el lote completo si se encuentra un número dado de artículos defectuosos o menos. Este tipo de control se usa por lo general para mercancías que se reciben de los proveedores y también para los artículos propios que la compañía fabrica.

Las fórmulas empleadas para calcular la línea central del gráfico, así como los límites de control respectivos, vienen dadas por las siguientes ecuaciones:

Línea Central:

$$LC = \bar{p} n \quad \text{Ec. [IX. 11]}$$

Límites:

$$LSC = \bar{p} n + 3\sqrt{\bar{p} n (1 - \bar{p})} \quad \text{Ec. [IX. 12]}$$

$$LIC = \bar{p} n - 3\sqrt{\bar{p} n (1 - \bar{p})} \quad \text{Ec. [IX. 13]}$$

Donde

$\bar{p}$  = Media de la fracción de artículos defectuosos respecto a la muestra total

$\bar{n}$  = Tamaño de la muestra

A continuación presentaremos dos ejemplos de este tipo.

**Ejemplo IX.5.-** “El Socket” compra focos de 75 watts a una fábrica foránea, manteniendo una política de aceptar los lotes si se hallan 3 focos defectuosos o menos en una muestra constante de 100 unidades. De la última remesa que recibió, muestreó 20 lotes, encontrando el número de focos defectuosos que se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla IX.7.-** Número de focos defectuosos para cada lote muestreado

Lote	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
# Def.	3	2	1	2	0	2	2	3	1	4	1	2	3	1	5	2	2	1	3	1	41

Construya el gráfico de control respectivo.

**Solución:**

Primeramente calcularemos la media de la fracción de artículos defectuosos, simplemente dividiendo el total de los mismos que fue 41 entre el número de artículos muestreados que en este caso es 100 x 20, es decir 2000, con lo cual esta fracción promedio resulta ser 0.0205.

Luego conforme a las fórmulas dadas por las ecuaciones respectivas, la línea central y los límites de control serán los siguientes:

Línea Central:

$$LC = pn = (0.0205)(100) = 2.05$$

Límites:

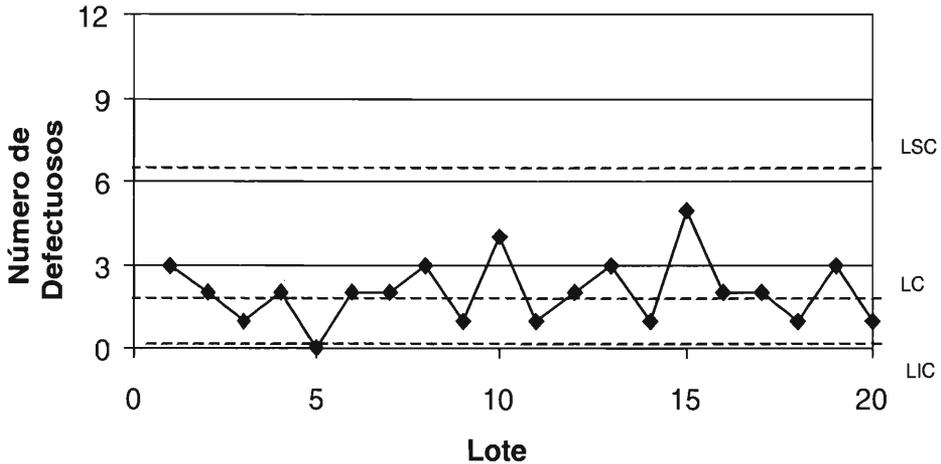
$$LSC = 2.05 + 3\sqrt{2.05(1 - 0.0205)} = 6.30$$

$$LIC = 2.05 - 3\sqrt{2.05(1 - 0.0205)} = 0$$

Aquí el límite inferior se ha tomado como cero, ya que el resultado obtenido con la fórmula IX.9 nos da un valor negativo, el cual no tiene sentido.

Por su parte el gráfico será el siguiente:

Figura IX.12.- Gráfico de focos defectuosos



Del gráfico observamos que el diagrama está bajo control, pues ningún punto sale más allá de los límites. Además, conforme a la especificación marcada por la política de aceptar los lotes con 3 o menos defectuosos, el promedio, que viene dado por la línea central, queda por debajo de este valor, aún cuando se pudieran rechazar aquellas muestras cuyo número de defectuosos haya quedado por encima de 3, que en este caso son el número 10 y el 15.

A continuación presentaremos otro caso.

**Ejemplo IX.6.-** De lotes fabricados de microswitches, la empresa muestrea lotes de 200 para revisar el número de defectuosos, considerándose problema si se hallan 5 o más de ellos en cada muestra. La tabla siguiente nos señala el resultado de un día de trabajo en el cual se han muestreado 25 lotes del producto con el número de defectuosos siguiente:

Tabla IX.8.- Número de microswitches defectuosos para cada lote muestreado

Lote	Número de Defectuosos
1	5
2	6
3	7
4	10
5	3
6	2
7	6
8	4
9	5
10	3
11	8
12	6
13	6
14	4
15	2
16	4
17	5
18	7
19	13
20	10
21	7
22	4
23	4
24	5
25	3
<b>Total</b>	<b>139</b>

Elabore el gráfico de control respectivo.

**Solución:**

Aquí la media de la fracción defectuosa es  $139/5000 = 0.0278$ , ya que en este caso el número total de artículos muestreados es de 200 en cada lote, habiendo

25 lotes. Entonces al aplicar las fórmulas dadas por las ecuaciones correspondientes, la línea central y los límites de control serán los siguientes:

Línea Central:

$$LC = (0.0278) (200) = 5.56$$

Límites:

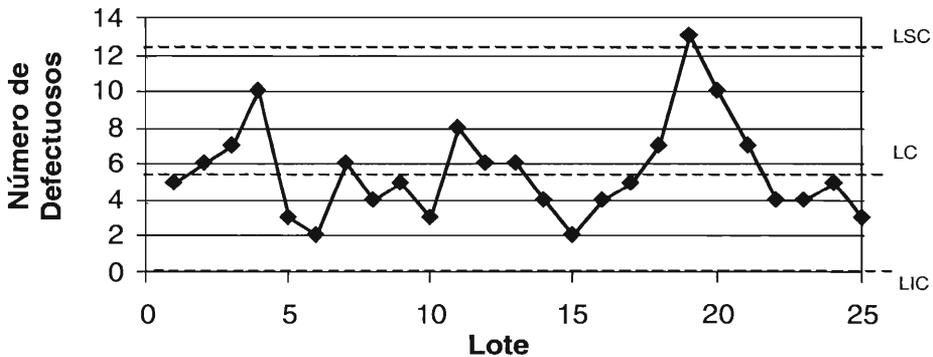
$$LSC = 5.56 + 3\sqrt{5.56(1 - 0.0278)} = 12.535$$

$$LIC = 5.56 - 3\sqrt{5.56(1 - 0.0278)} = 0$$

De una manera similar al ejemplo anterior, el límite inferior al resultar negativo se toma como cero.

Por su parte el gráfico será el siguiente:

Figura IX.12.- Gráfico de focos defectuosos



De este gráfico vemos que hay un punto fuera de los límites de control, por lo que podemos afirmar que el proceso no está bajo control, además que el promedio de productos defectuosos para aceptación está por arriba de la especificación, por lo cual el lote no debe aceptarse, lo que refleja la existencia de un problema de producción en la planta, que debe resolverse lo más pronto posible.

# Glosario

---

## ACCIÓN CORRECTIVA

Serie de actividades encaminadas a mejorar algo, o bien, a solucionar un problema.

## ACCIÓN PREVENTIVA

Serie de actividades encaminadas a prevenir algún hecho no deseable.

## AMEF

Siglas de “Análisis de modo y efecto de falla” en el idioma inglés es conocido como FMEA. Es una técnica colaborativa utilizada para el mejoramiento continuo de un proceso y consiste en detectar los puntos de falla posibles de un proceso y ponderar en cada uno de ellos los criterios de probabilidad de ocurrencia, severidad en caso de falla y detección. Los puntos con una ponderación total mayor serán entonces los que representen nuestras prioridades a mejorar.

## ATRIBUTOS

Datos cualitativos sobre las características de un producto, los cuales pueden ser usados para el análisis estadístico.

## CAUSAS COMUNES

Son las fuentes de variación propias del proceso, que mantienen una distribución estable y repetible a través del tiempo. Si en un proceso sólo tenemos variaciones debido a causas comunes, la salida del proceso es predecible. Será un proceso en estado de control estadístico.

## CAUSAS ESPECIALES

Es cualquier factor que causa variación y que no siempre actúan sobre el proce-

so. Cuando estas causas aparecen, provocan que la distribución cambie. Si estas causas están presentes, la salida del proceso es inconsistente.

### **CINCO (5) PORQUÉS**

Técnica para el análisis de los problemas que consiste en explorar la causa de una problemática preguntando de manera sucesiva al menos 5 veces el porqué de la causa anteriormente dada.

### **CLIENTE**

Quien compra el producto o servicio de otro. Consumidor receptor de servicios legales o profesionales. Quien recibe un servicio o un producto.

### **CONSISTENTE**

Que se repite. Estadísticamente estable. Respuesta consistente es una respuesta que tiene un alto nivel de predictibilidad.

### **DEFECTO**

Nombre que se le da a la falla en la fabricación de un producto o a una característica fuera de las tolerancias de la especificación.

### **DEFECTIVO**

Material que tiene fallas y no reúne los requisitos previstos para hacerlo adecuado al uso para el cual se produjo.

El no cumplimiento de los requisitos de uso propuestos.

### **EFFECTIVIDAD**

Es lograr lo previsto de antemano, es decir, obtener lo planeado.

### **EFICACIA**

Es hacer lo adecuado, es decir, lo que sea bueno para la persona o la empresa.

Resolver problemas, siempre.

### **EFICIENCIA**

Es hacer las cosas, obteniendo los mejores resultados con el mínimo de recursos. Resolver problemas para siempre.

### **ESPECIFICACIÓN**

Requisitos o exigencias que un producto o servicio debe reunir.

**MONITOREO**

Seguimiento planeado y riguroso del comportamiento de una variable, generalmente con fines de realimentación y posible ajuste.

**PROCESO**

Serie de actividades, que utiliza mano de obra, maquinaria y materias primas para producir un bien o servicio.

**PRODUCTIVIDAD**

Es la relación de la producción dividida entre los insumos (mano de obra, materiales, energía, capital, etc.) Es también común encontrar en la práctica a la productividad, expresada como los artículos producidos por unidad de tiempo.

**PRODUCTO**

Lo que se vende al cliente, ya sea un bien, un artículo, o un servicio.

**PROVEEDOR**

Aquella persona física o moral que provee el producto o servicio.

**SERVICIO**

Atención que se presta al cliente, ya sea por sí sola, o bien, ligada a la adquisición de un producto o artículo.

**SISTEMA**

Conjunto ordenado de métodos y procedimientos para llevar a cabo una función, el cual está delimitado en el universo, pudiendo ser abierto, si intercambia actividades con el exterior, o cerrado, si no lo hace.

**SINERGIA**

Efecto que se busca lograr en los grupos operativos, en el cual el resultado global del trabajo en equipo es mayor que el resultado obtenido por la suma de sus partes o sea el trabajo individual de sus integrantes.



# Bibliografía

---

1. ABG Internacional. *Apuntes sobre QFD*. 1997.
2. Arrona Hernández F. De J. *Calidad, el Secreto de la Productividad*, C.E.C.S.A., 1980.
3. Crosby P.B. *Hablemos de Calidad*, Mc Graw Hill, 1990.
4. Crosby P.B., *La Calidad no cuesta*, C.E.C.S.A., 1994.
5. Chrysler Corporation, Ford Motors Company and General Motors Corporation. *Statistical Process Control*. Second printing. March. 1997.
6. Deming W.E., *Calidad, Productividad y Competitividad*, Díaz Santos, S.A., 1989.
7. Elizondo A., *Manual ISO 9000*, Ed. Castillo, S.A. de C.V., 1997.
8. Evans J., Lindsag W., *Administración y control de la Calidad*, Grupo Editorial Iberoamericana, S.A. de C.V., 2000.
9. Izar Landeta. J.M., *Elementos de Métodos Numéricos para Ingeniería*, Ed. Universitaria Potosina, 1998.
10. Kume H. *Herramientas Estadísticas Básicas para el mejoramiento de la Calidad*, Colombia. Ed. Norma, Mayo 1994.
11. Levin Richard I. *Estadística para Administradores*. Chapel Hill. Ed. PHI, 1980.
12. Mendenhall W., Wackerly D., Scheaffer R., *Estadística Matemática con Aplicaciones*, Grupo Editorial Iberoamericana, S.A. de C.V., 2001.

13. Mc Wirtter D., ***Managing People: Creating The Team -Based Organization***, Adams Publishing, 1995.
14. Management Developing Center. ***Apuntes sobre Control Estadístico del Proceso***. 1997.
15. Rothery B. ***ISO 14000 / ISO 9000***, Panorama. 1997.
16. Sánchez S.A. ***La Inspección y el control de calidad***. Limusa - Wiley. 1972.
17. Spiegel R.M., ***Estadística***, Ed. Mc Graw Hill, 1989.

*Por acuerdo del señor Rector  
de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí,  
Lic. Mario García Valdez,  
el libro Las 7 Herramientas Básicas de la Calidad,  
de Juan Manuel Izar Landeta y Jorge Horacio González Ortiz  
se terminó de imprimir el 31 de mayo de 2004  
en los Talleres Gráficos de la  
Editorial Universitaria Potosina.  
Se imprimieron 1000 ejemplares.*





*Editorial  
Universitaria  
Potosina*