# Control estadístico de la calidad



Scarlet Álvarez | Melvin Cruz | Cinthia Guillén | José Martín Laínez | Víctor Marcia





# Control estadístico de la calidad

Scarlet **Álvarez**Melvin **Cruz**Cinthia **Guillén**José Martín **Laínez**Víctor **Marcia** 



Gerente de portafolio de Universidades: Gabriela López Desarrollador de Contenido Senior: Marcela Rocha Desarrollador de Contenido: Cristina Tapia Montes de Oca

Diseño de portada: Cícero

## Control estadístico de la calidad

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, ni parcial ni totalmente, ni registrada en/o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni formato, por ningún medio, sea mecánico, fotocopiado, electrónico, magnético, electroóptico o cualquier otro, sin el permiso previo y por escrito de la editorial.



DERECHOS RESERVADOS © 2019 respecto a la primera edición por: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.

Edificio Punta Santa Fe Prolongación Paseo de la Reforma 1015, Torre A, Piso 16, Col. Desarrollo Santa Fe Delegación Álvaro Obregón C.P. 01376, Ciudad de México Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana Reg. Núm. 736

ISBN: 978-1-4562-6749-0

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

24 23 22 21 20 19

Impreso en México

Printed in Mexico



### Contenido

<u></u>	Sobre los autoresiv
<u></u>	Prólogovii
0,	CAPÍTULO 1  Conceptos introductorios1
<u></u>	CAPÍTULO 2  Herramientas básicas para la calidad13
<u></u>	CAPÍTULO 3 Gráficas de control
<u></u>	CAPÍTULO 4  Muestreo de aceptación
<u></u>	CAPÍTULO 5 Introducción al diseño experimental127
<u></u>	CAPÍTULO 6  Herramientas administrativas de la calidad135
<u></u>	CAPÍTULO 7 Introducción a la metodología de mejora con Seis Sigma
0,	CAPÍTULO 8  Ocho pasos para la solución de un problema183
<u></u>	CAPÍTULO 9  Capacidad de procesos193
0	Bibliografía



#### Sobre los autores

#### Scarlet Álvarez

#### Estudios destacados:

- Ingeniera industrial
  - Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz
- Master en administración de empresas con orientación en finanzas Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz
- Doctora en ciencias con orientación en ciencias administrativas Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz
- Doctora en Ciencias de la Cooperación Internacional Università Degli Studi di Bergamo, Italia

#### Experiencia profesional:

- Diseño y mejoramiento de procesos de producción industrial y administrativos.
- Auditora interna de sistemas de gestión de la calidad.
- Ha realizado investigación científica en Italia y Honduras.
- Docente universitaria de las facultades de ingeniería industrial, ciencias administrativas, Maestría en administración de empresas y gestión de la calidad, Universidad Católica de Honduras.
- Estudios realizados en Suiza, España e Italia.

#### **Melvin Cruz**

#### Estudios destacados:

- Técnico en electrónica Instituto Técnico Luis Bográn
- Ingeniero industrial, Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz
- Master en gestión de proyectos Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz
- Certificado Green Belt de 6 Sigma otorgado por Cintas

#### Experiencia profesional:

- Jefe de entrenamiento y métodos en área textil de maquila de ropa.
- Jefe de documentación de procesos área de serigrafía maquila textil.
- Gerente de ingeniería diseño de procesos, desarrollo de estilos y control de maquinaria y equipo. Control de balanceo de líneas y entrenamiento de ingenieros y operarios.
- Gerente de proyectos 6 sigma lean manufacturing y mejora de procesos.
- Gerente de producción de maquinado en fábrica de muebles de exportación. Aplicación de sistemas de nueva maquinaria para incrementar eficiencia en tiempos de producción y reducción de desperdicios y materiales y tiempo.
- Gerente de producción en área de serigrafía en maquila.



- Coordinador académico de todas las carreras del campus Dios Espíritu Santo en Choluteca.
- Asesor de tesis, tercer miembro adjunto.
- Docente de las clases de ingeniería de métodos, ingeniería de la producción, laboratorio de metrología, planeación del diseño de un modelo de calidad, aplicación de la calidad total para Ingeniería Industrial, simulación de procesos, en la carrera de Ingeniería Industrial.
- Impartir la clase de producción en las maestrías de empresas y gestión de proyectos.
- Coordinador de las carreras de ingenierías en el campus Dios Espíritu Santo.
- Director del campus Dios Espíritu Santo en la ciudad de Choluteca.

#### Cinthia Guillén

#### Estudios destacados:

· Ingeniera industrial

Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz

- Master en administración de empresas
  - Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz
- Doctora en Ciencias con Orientación en Ciencias Administrativas Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz

#### Experiencia profesional:

- Asistente del departamento de calidad.
- Asistente del departamento de seguridad e higiene industrial.
- Agente de comercialización y servicios de telecomunicaciones.
- Docente universitaria de las facultades de ingeniería industrial, ingeniería civil, ciencias administrativas, licenciatura en ciencias jurídicas, licenciatura en psicología, licenciatura en mercadotecnia y maestría en administración de empresas, de la Universidad Católica de Honduras.
- Asesora de práctica profesional de pregrado de la Universidad Católica de Honduras.
- Asesora de tesis de postgrado de la Universidad Católica de Honduras.

#### José Martín Lainez

#### Estudios destacados:

- Ingeniero industrial
  - Universidad Autónoma de Honduras
- Master en gestión de la calidad total
  - Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz
- Master en administración de empresas
  - Dr. Infieri en ciencias con orientación en ciencias administrativas

#### Experiencia profesional:

- Gerencia de producción, gerencia de mantenimiento, gerencia de calidad en la industria de alimentos.
- Gestor de sistemas de inocuidad, calidad, auditorías y riesgo, HACCP, ISO 9001-2008, FSSC-22000, BRC, GLOBALG.A.P., BAP, ASC, ISO 19011, ISO 31000.
- Docente universitario de las facultades de ingeniería industrial, maestría en administración de empresas y gestión de la calidad, Universidad Católica de Honduras.



#### Víctor Marcia

#### Estudios destacados:

- Ingeniero industrial
  - Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz
- Master en administración de empresas con orientación en finanzas Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz
- Doctor en ciencias con orientación en ciencias administrativas Universidad Católica de Honduras, Nuestra Señora Reina de la Paz

#### Experiencia profesional:

- Diseño y manejo de procesos de ventas, producción, auditoria, inventarios, compras, planeación estratégica, dirección, calidad, seguridad ocupacional, gestión ambiental, análisis financieros y presupuestarios.
- Diseño y mejoramiento de procesos administrativos y de producción industrial.
- Auditor de procesos internos.
- Investigación científica y asesoramiento de tesis de maestrías y doctorados en Honduras.
- Docente universitario de las facultades de ingeniería industrial, ingeniería en ciencias de la computación, ingeniería civil, licenciaturas en ciencias administrativas, psicología, maestría en administración de empresas, gestión de proyectos, economía y finanzas y gestión de la calidad total, Universidad Católica de Honduras.

#### Prólogo

La motivación de los autores del libro de *Control estadístico de la calidad*, es la de presentar un contenido didáctico y actual de la teoría del control de la calidad desde una perspectiva sistémica y sencilla, con un nivel de practicidad que le facilita al estudiante la aplicación de los conocimientos adquiridos.

El libro desarrolla de manera progresiva los elementos de la técnica y métodos del control de la calidad; los ejemplos son desarrollados con herramientas computacionales que están al alcance del estudiante universitario de cualquier área del conocimiento.

El desarrollo de ejemplos mediante hojas electrónicas, sin duda le permite al estudiante profundizar en el análisis e interpretación de los datos para tomar decisiones orientadas a resolver una problemática de calidad de productos o servicios.

Los autores presentan de manera sencilla y bastante práctica, temas que generalmente son abordados en cursos más avanzados de control de calidad, como muestreo por aceptación y diseños experimentales.

Lo anterior le permite a un estudiante tener una base para profundizar en cursos más complejos de control estadístico de calidad.

El esfuerzo de los autores de presentar un contenido del área cuantitativa a estudiantes de distintas áreas del conocimiento es loable. La novedad es que el estudiante descubrirá que para valorar la calidad de un producto o servicio se necesita la estadística y al final el lector comprenderá que el lenguaje de la calidad es el control estadístico de procesos.

Francisco Castro, PhD.

## Notas



## **Conceptos** introductorios

#### Objetivos de aprendizaje

- Recordar algunos aspectos básicos en la historia de la calidad.
- Adquirir conocimientos básicos de muestreo.

2

#### 1.1. Algunos aspectos generales

La gestión en el mundo de la excelencia consiste en actuar en función de lograr el cometido, hacer que las metas se cumplan, prevenir, pronosticar, accionar antes que sucedan los eventos.

Calidad: es una actitud permanente e integral de excelencia, de hacer con amor las cosas, de atención fina al detalle, con la comprensión absoluta y completa del entorno para mejorarlo continuamente y extremar al máximo los objetivos de rentabilidad en todos los aspectos, incluyendo, no solo lo financiero, social, técnico y humano.

El término total, se entiende como algo integral y completo.

Entonces, gestión de la calidad total consiste en actuar con excelencia de forma integral.

La gestión de la calidad total está supeditada a la planeación estratégica de la empresa, aunque es inadmisible que las organizaciones no la tengan contemplada en su dirección como elemento esencial ante los retos de la competencia y la competitividad en un mercado cada vez más globalizado.

De hecho, la planeación estratégica de la organización contempla la gestión de la calidad y dentro de ella el control estadístico, pero el control se gestiona con la prevención en los genes de los líderes de los procesos, con las herramientas actuales que permiten controlar e informar en tiempo real a los tomadores de decisión de forma tal que, si se ocupa acción correctiva, se tome de forma inmediata.

Siguiendo el pensamiento plasmado, el control debe ser estadístico por su eficiencia y eficacia si se toman los muestreos con la confiabilidad adecuada, el número de muestras correctas para que el muestreo refleje fehacientemente lo que sucede en los procesos y así tomar decisiones concretas y precisas que mejoren ostensiblemente los procesos y las organizaciones consigan competir con ventaja en el mercado.

Otro concepto importante de comprender, es el riesgo involucrado en toda actividad, cuando se relacionan la probabilidad de que ocurra el peligro que se desea controlar y el impacto si el control del peligro identificado no funciona, de tal manera que, la estadística se ve involucrada doblemente, en el riesgo y en el muestreo.

Si del análisis del riesgo resultare que la probabilidad de que ocurra el peligro es alta y que el impacto de ese peligro fuere alto, entonces el riesgo será alto.

					Probabilid	ad	
			Frecuente	Probable	Ocasional	Raramente	Poco probable
			Α	В	С	D	E
	Catastrófico	ı	1	2	6	8	12
lmnaata	Crítico	II	3	4	7	11	15
Impacto	Moderado	III	5	9	10	14	16
	Insignificante	IV	13	17	18	19	20
			Nivel de riesgo				

Figura 1-1 Impacto y probabilidad.

#### Recordando algunos conceptos básicos

Calidad. Es una actitud que pone en marcha al talento humano para cumplir requisitos, de forma preventiva y proactiva. Estos requisitos son previamente pactados de forma documentada con el cliente.



Control estadístico de la calidad. Verificar a través de muestreos regidos con los conceptos de confiabilidad y normalidad de los procesos, el cumplimiento de los requisitos pactados con el cliente.

**Riesgo.** Es la determinación de la posibilidad de que un peligro ocurra. Se basa en su probabilidad de ocurrencia y en impacto si llegara a suceder.

#### Filosofías de la calidad

Diversas filosofías de la calidad son muy conocidas en el mundo actual, desde William Edward Deming, Joseph Juran, Philip Crosby, Kaoru Ishikawa, Shigeo Shingo, entre otras muchas, lo que sí es muy importante es que se escoja una o varias de acuerdo con la gestión de cada empresa, de forma que se puede tener su propia filosofía eclética (integral) de la calidad.

Para iniciar la implementación de la filosofía de la calidad empresarial, se debe partir con la aplicación de las 9 eses de la calidad, coja los cuatro principios absolutos de la Calidad de Philip Crosby y finalice siguiendo un modelo de calidad de las normas ISO, generalmente como un sistema integrado de calidad, seguridad y ambiente.

Mantener elementos importantes de cada filosofía como la constancia de propósito de Deming, la calidad no cuesta de Philip Crosby, la adecuación al uso de Joseph Juran, el trabajo en equipo de Ishikawa, entre otros, debe ser parte de las vida cotidiana de la empresa.

#### **Normas ISO**

De las normas ISO se pueden escribir toneladas de palabras, de su amplia difusión a nivel mundial, de su enorme contribución a la calidad empresarial, o de su éxito como sistemas de calidad.

Las normas de gestión de calidad, seguridad y ambiente son las más conocidas y establecidas recientemente como sistemas de gestión integrados que obligan a las empresas a mejorar ostensiblemente en esos aspectos y a ser competitivos para sobrevivir en la selva de los negocios.

Hay normas ISO para cada uso, rubro, operación y departamento, son completas y orientan al empresario que desea tener éxito en el campo en que su empresa se desempeñe.

- ? PREGUNTAS DE REPASO
- 1. ¿Qué es calidad?
- 2. ¿Qué entiende por proceso?
- 3. Defina riesgo.
- 4. ¿Qué función tiene la planeación estratégica en los sistemas de gestión?

#### **ACTIVIDADES**

■ Implemente un sistema de gestión integrado en su casa.



#### 1.2. Orígenes del control de calidad

Algunos autores indican que los primeros intentos para controlar la calidad de lo que se produce, datan desde las revoluciones industriales. Sin embargo, si escudriñamos un poco la historia, encontraremos un magnífico ejemplo del origen del control de la calidad.

#### Instrucciones:

- a) Lea detenidamente el siguiente texto. Y mientras lee pregúntese, ¿hay alguna evidencia de control de calidad? Si las encuentra, subráyelas.
- b) Comparta con sus compañeros de clase sus hallazgos.

#### Génesis 1

En el principio creó Dios los cielos y la tierra. La tierra no tenía forma; las tinieblas cubrían el abismo. Y el soplo de Dios se movía sobre la superficie de las aguas. Dijo Dios:

—Que exista la luz.

Y la luz existió. Vio Dios que la luz era buena; y Dios separó la luz de las tinieblas; llamó Dios a la luz: día, y a las tinieblas: noche. Pasó una tarde, pasó una mañana: este fue el día primero.

Y atardeció y amaneció: día primero.

Y dijo Dios:

—Que exista un firmamento entre las aguas, que separe aguas de aguas.

E hizo Dios el firmamento para separar las aguas de abajo del firmamento, de las aguas de encima del firmamento. Y así fue. Y Dios llamó al firmamento: cielos. Pasó una tarde, pasó una mañana: este fue el día segundo.

Y dijo Dios:

—Que se junten las aguas de abajo del cielo en un solo sitio, y que aparezcan los continentes.

Y así fue. Y Dios llamó a los continentes: tierra, y a la masa de las aguas la llamó: mar. Y vio Dios que era bueno.

Y dijo Dios:

—Produzcan la tierra pasto y hiervas que den semilla, y árboles frutales que den fruto según su especie y que lleven semilla sobre la tierra.

Y así fue. La tierra produjo hierba verde que engendraba semilla según su especie. Y vio Dios que era bueno. Pasó una tarde, pasó una mañana: este fue el día tercero. Y dijo Dios:

—Que existan astros en el firmamento del cielo para separar el día de la noche, para señalar las fiestas, los días y los años: y sirvan como lámparas del cielo para alumbrar a la tierra.

Y así fue. E hizo Dios los dos grandes astros: el astro mayor para regir el día, el astro menor para regir la noche, y las estrellas. Y los puso Dios en el firmamento del cielo para dar luz sobre la tierra; para regir el día y la noche, para separar la luz de las tinieblas. Y vio Dios que era bueno. Pasó una tarde, pasó una mañana: este fue el día cuarto.

Y dijo Dios:

—Llénense las aguas de multitud de vivientes, y vuelen pájaros sobre la tierra frente al firmamento del cielo.

Y creó Dios los cetáceos y los vivientes que se deslizan y que llevan las aguas según sus especies. Y vio Dios que era bueno.



Y Dios los bendijo, diciendo:

—Crezcan, multiplíquense y llenen las aguas del mar: y las aves se multipliquen en la tierra.

Pasó una tarde, pasó una mañana: este fue el quinto día.

Y dijo Dios:

—Hagamos al hombre a nuestra imagen y semejanza; que ellos domínen los peces del mar, las aves del cielo, los animales domésticos y todos los reptiles.

Y creó Dios al hombre a su imagen; a imagen de Dios lo creó; varón y mujer los creó.

Y los bendijo Dios y les dijo:

—Sean fecundos, multiplíquense, llenen la tierra y sométanla; dominen a los peces del mar, a las aves del cielo y a todos los animales que se mueve sobre la tierra.

Y dijo Dios:

—Miren, les entrego todas las hierbas que engendran semilla sobre la tierra: y todos los árboles frutales que engendran semilla les servirán de alimento;

y a todos los animales de la tierra, a todas las aves del cielo, a todos los reptiles de la tierra -a todo ser que respira-, la hierba verde les servirá de alimento.

Y así fue. Y vio Dios todo lo que había hecho era bueno. Pasó una tarde, pasó una mañana: este fue el día sexto. (Génesis: 1,1-31 La Biblia de Nuestro Pueblo)

Del mismo modo que en el pasaje anterior, existen otras evidencias relacionadas con el control de la calidad y con especificaciones y procesos.

#### ACTIVIDADES

■ Investigue qué especificaciones le dio Dios a Noé para elaborar el arca.

Pista: Revisar el capítulo 6 del Génesis

Respuesta:



Al revisar el libro de Éxodo, capítulos 25 al 30, se encuentra una serie de indicaciones que Dios le da a Moisés, las cuales constituyen un excelente ejemplo de lo que hoy en día conocemos con el nombre de procesos y especificaciones.

Siguiendo una especie de línea de tiempo podemos identificar las siguientes etapas y contribuciones a la calidad en la historia:

- Artesanal: se puede decir que hay ausencia de un control de calidad, y si lo hay es algo informal, es decir "al ojo del artesano", no hay especificaciones ni estandarización.
- Industrialización: a medida que surgen las fábricas y las industrias, a raíz de la Revolución Industrial (en la segunda mitad del siglo XVIII). Un periodo en el cual se dan transformaciones económicas, tecnológicas y sociales. Se pasa de producir de forma dispersa, en los hogares de los trabajadores, destinada principalmente al consumo personal, a un nuevo sistema de producción fabril a mayor escala y consumo masivo. Se pasa de la producción manual a la mecanizada. Conforme la producción se industrializa surge la necesidad de inspectores, los cuales funcionan como capataces. La inspección se hace sobre todo para controlar a la gente, a los trabajadores centrándose en aumentar la producción.
- Siglo XIX: En 1878, Frederick Winslow Taylor, quien hoy en día es conocido como el Padre de la Administración Científica, realizó sus primeros estudios en la industria siderúrgica. Se enfocó en estudiar los tiempos y remuneración en el trabajo. En este punto lo que importa es lograr la máxima eficiencia de los procesos, lo cual se lograba a través de la búsqueda del mejor método para hacer cada trabajo, procesos de selección científica de los trabajadores, esfuerzo cooperativo y responsabilidad compartida entre la administración y los trabajadores. Es decir, que la calidad se basa en "buscar el mejor método de trabajo", con lo cual se logra la eficiencia. Se introduce una supervisión funcional (división del trabajo en la supervisión). Todavía en este punto, la inspección o supervisión se centra más en la gente y en aumentar niveles de producción. Se caracteriza por un aumento de la producción a toda costa, es por eso que muchas veces esta etapa se tilda de mecanicista, es decir, que se ve al operario como si fuese una simple máquina de producir y no un ser humano. La planificación del trabajo deja de ser función de trabajadores y capataces y pasa a manos de los ingenieros industriales, conocidos en ese entonces como Ingenieros de Métodos y Tiempos.
- Siglo XX: con el desarrollo tecnológico, la capacidad de producción se incrementa. Se pueden citar muchos en esta época, entre ellos, a Henry Ford. Quien introdujo la línea de ensamblaje, y la producción efectuada a través de operaciones complejas que se divide en procedimientos sencillos, de tal forma que estos podían realizarlos operarios no tan especializados (contrariamente a lo que buscaba Taylor con su superespecialización). Se produce con gran tecnología a costos bajos y la inspección se centra en la separación de los productos, en aceptables o no aceptables. La calidad es responsabilidad exclusiva del departamento de calidad fabricación. Sin embargo, los directores de producción priorizan sus actividades para ser eficaces, es decir, para cumplir con las metas de producción que satisfagan la demanda. Producir con una calidad inferior únicamente generaría una sanción. Lo importante era ser eficaz.

#### George Radford

Otro autor importante es George Radford, quien afirmó que la inspección buscaba examinar críticamente el trabajo para comprobar la calidad y detectar errores, identificar los productos defectuosos y corregirlos. Además, indica que el determinar si un producto cumple o no con los estándares debería hacerse con instrumentos de medición como



muestro y un departamento de inspección. Afirmó que la calidad de un producto está compuesto por un largo número de características o atributos, algunos de los cuales pueden ser estandarizados por conveniencia o economía. Algunos puntos importantes son:

- El departamento de inspección debe colocarse en una posición que le permita actuar
  efectivamente; la inspección es un instrumento para medir la calidad y un factor
  poderoso para controlar la calidad; ayuda a detectar errores y prevenir pérdidas económicas innecesarias.
- Hay diferentes tipos de inspección: de materiales, de oficina, de herramientas y la
  inspección del trabajo en procesos; esta última puede ser centralizada (el producto a
  inspeccionar se lleva a cuartos especiales acondicionados para esa función) o inspección de piso (se inspecciona el trabajo en la máquina o cerca de esta), siendo adecuado efectuar una combinación de ambas.
- La ingeniería y la inspección son los principales contribuyentes en la producción, todas las demás funciones fabriles son secundarias o servicios generales.
- Propuso una organización formal en los departamentos de inspección compuesta por un gerente de inspección, asistido por un *staff* de especialistas; inspectores de proceso (Nivel II) que funcionan como asistentes de inspección y en el Nivel III los capataces o inspectores de piso. (Radford, 1922)

Esta época se caracterizaba por la inspección, y el interés principal era la detección de los productos defectuosos para separarlos de los aptos para la venta.

#### Walter A. Shewhart, el contexto de la Segunda Guerra Mundial

Bell System y Western Electric Company crean, entre 1920 y 1940, un departamento de ingeniería de inspección, destinado al control de la calidad, atendiendo problemas relacionados con los defectos en los productos y la necesidad de mejorar la coordinación entre los departamentos, teniendo nada más y nada menos a George Edwards y Walter A. Shewhart como miembros de esta unidad. Precisamente Shewhart, el padre del control estadístico de la calidad, fue quien reunió las disciplinas de estadística, ingeniería y economía.

Shewhart fue el creador de las cartas de control, en ese entonces conocido como diagrama de control, el cual representó el primer paso hacia lo que él llamó "la formulación de una base científica para garantizar el control económico".

En 1931 publica el libro "Economic Control of Quality of Manufactured", donde reconoció que en todos los procesos existen las variaciones. Pero estas variaciones deben estudiarse estadísticamente. Es decir, que se pasa de la idea de que los artículos debían producirse exactos a un patrón, a la idea de que se producen con diferentes especificaciones porque existen elementos que introducen variabilidad de los procesos, como: los operarios, materia prima, equipo; una variabilidad que se da a lo largo de todo el proceso productivo. Su obra se considera como uno de los abordajes más exhaustivos y completos de los principios básicos del control de la calidad y marca el nacimiento científico del control de proceso moderno. Shewhart argumentaba que si el proceso lograba tener un estado de control estadístico, esto ayudaría a descubrir y eliminar causas de variación, lo cual sería más productivo (eficiente + eficaz). Manteniendo los procesos bajo control, sería posible predecir los resultados futuros y gestionar los procesos de manera económica. Shewart desafió el enfoque de calidad basado en la inspección e introdujo la era moderna de la gestión de la calidad. Con sus cartas de control, intentó eliminar las causas asignables (la variación anormal) de las no asignables.

En Gran Bretaña, en 1935, E.S. Pearson desarrolló el British Standard 600 (*The application of statistical methods to industrial standardization and quality control*) para la aceptación de muestras del material de entrada, que sirvió como base y fue readaptado durante la Segunda Guerra Mundial. Es importante mencionar que la etapa de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) fue decisiva en la historia del control estadístico de la calidad, ya que fue precisamente en esta coyuntura, cuando la industria armamentista norteamericana, necesita controlar la calidad de las municiones y armamentos; también se introducen los planes de muestreo para aceptar o rechazar lotes de productos. Las empresas de la industria ponen en vigor certificados del vendedor, los técnicos de calidad se involucran en las etapas de diseño del producto. En 1940 el Departamento de Guerra de Estados Unidos trabaja en el establecimiento de estándares, determinación de niveles de aceptación de calidad de armas, e implementa sistemas de muestreo para aplicarlos a proveedores de armamentos. Entre 1941 y 1942 se establecieron las normas: Z1.1 (Guía para el Control de Calidad), Z1.2 (Métodos de Gráfico de Control para Analizar Datos) y Z1.3 (Métodos de Gráfico de Control para Controlar la Calidad Durante la Producción).

En 1946 en Estados Unidos de América se crea la ASQC (*American Society for Quality Control*) siendo su primer Presidente George Edwars. En este momento el control de la calidad forma parte de la enseñanza académica. Por su parte en Japón, se funda la JUSE (*Union of Japanese Scientists and Engineers*), que forma grupos de investigación que tenían como miembros a personalidades como Shigeru Mizuno, Kaoru Ishikawa y Tetsuichi Asaka, quienes fueron de los principales artífices de la dirección y desarrollo del control de la calidad japonés.

Algo muy importante de resaltar es que Shewart fue tutor de Joseph M. Juran, Dr. Edwards Deming, y otros que tendrían un profundo impacto en la sociedad en general. Además trabajó con Harold Dodge y Harry Romig, conocidos por su trabajo en los planes de muestreo de productos.

#### W. Edwards Deming

W. Edwards Deming, trabajó junto a Shewhart en la planta Hawthorne y se interesó por sus ideas. Deming defendió las ideas, metodologías y teorías de Shewhart y luchó continuamente para que sus ideas fueran aceptadas en Estados Unidos de América. Después de la Segunda Guerra Mundial, Japón quedó desbastada, Deming y Juran van a Japón y ahí amplían sus conocimientos e introducen el control estadístico de la calidad en la industria japonesa.

Deming desarrolló aún más algunas de las propuestas metodológicas de inferencia científica que habían sido llamadas *El Ciclo de Shewart (Shewhart Cycle*) y estaban representadas por los elementos de plan-do-check-act. Esto es precisamente lo que hoy conocemos como Ciclo de Deming o Ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). Algunos autores indican que lo que ayudó para que Deming y sus enseñanzas tuvieran aceptación en Estados Unidos, fue un video de la cadena NBC de 1980 titulado "Si Japón puede, ¿por qué nosotros no?", un documental que abordaba el tema de la creciente competencia industrial que Estados Unidos estaba afrontando de Japón. A partir de ese momento, la demanda de sus servicios aumentó significativamente a nivel mundial hasta su muerte a los 93 años.



#### Joseph Moses Juran

Trabajó en el grupo de inspección de Western Electric en 1924, una división de AT&T, en Hawthorne, Illinois. Después de 5 años llegó a ser jefe de la división de inspección. Mientras tanto, escribió su primer libro sobre control estadístico de la calidad, el cual titulado: "Western Electric Statistical Quality Control Handbook".

Junto con otros especialistas de la calidad, en 1946, fundaron la Sociedad Americana para el Control de Calidad (*American Society for Quality Control ASQ*). Desarrolló *managing for quality*, el cual ha sido el curso más influyente sobre la calidad. En 1954 dirigió varios seminarios para directivos superiores y medios en Japón; en los cuales daba a conocer los roles que se debían desempeñar para promover la calidad. Recibió el máximo galardón que se le puede otorgar a un extranjero, la Orden del Tesoro Sagrado. Su manual es ampliamente considerado como la biblia de la calidad y fue uno de los instrumentos claves para la formación del conjunto de conocimientos para los ingenieros de calidad con certificación ASQ. Impulsó el concepto de aseguramiento de la calidad, e indicó que los costos asociados a la calidad podían ser: los evitables y los inevitables.

En 1979 fundó el Instituto Juran, a través del cual buscaba difundir sus teorías y principios. Su trabajo se extendió hasta la década de 1990 y desempeño un gran papel en el desarrollo del Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige (en Estados Unidos de América), que ha liderado una revolución de mejora en las organizaciones.

#### Kaoru Ishikawa

Otros de los personajes claves en la historia de la calidad es Kaoru, quien integró y expandió los conceptos de gestión de Deming y Juran en el sistema de gestión de calidad japonés, para lo cual fue clave su habilidad para interpretar los conceptos principales y traducirlos a un sistema de técnicas y estrategias de mejora. En colaboración con la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros (JUSE), introdujo el concepto de círculos de calidad, donde defendía la idea de que todos los trabajadores debían involucrarse en la mejora de la calidad, y la mejor forma de lograr esta participación era a través de equipos. Implementó un método japonés de control de calidad de toda la compañía (CWQC), el cual implicaba la participación de todos los niveles de la organización. Así, desde el comienzo hasta el final del ciclo de vida del producto, la calidad ya era responsabilidad de todos.

Desarrolló el diagrama de espina de pez, o diagrama de causa y efecto (el cual se aborda en el capítulo 2 de este libro). Este diagrama es una herramienta clase utilizada por los equipos de mejora hoy en día, considerada como una de las 7 herramientas básicas de calidad.

#### Otros puntos clave

Cerca de la década de los años 90, los aportes de Shewhard y Juran fueron redescubiertos por una nueva generación de ingenieros y ejecutivos del área industrial, que los incorporaron en el enfoque Six Sigma (el cual se aborda el capítulo 7 de este libro).



Figura 1-2 Algunos puntos claves: Evolución en el control de la calidad.

#### 1.3 Métodos de muestreo

En toda investigación es necesario tener información acerca del tema o problema a investigar, que permita identificar cuándo, dónde y bajo qué condiciones se da tal problema y con qué magnitud; es decir que es necesario encontrar su regularidad estadística y sus fuentes de variabilidad. De igual forma, cuando se va a tomar una decisión o ejecutar una acción es necesario contar con información que le de sustento y viabilidad.

En las empresas debería recolectarse información antes de actuar o corregir problemas; sin embargo, muchas veces se actúa con base a experiencia y corazonadas o utilizando el antiguo método de prueba y error. Esto provoca que los problemas sean recurrentes, es decir, que se presenten los mismos problemas una y otra vez.

En calidad las decisiones deben tomarse con base en evidencias, y las evidencias son los datos o hechos. En términos generales, cuando las poblaciones son pequeñas, se pueden estudiar todos los sujetos que la conforman. Algunas veces en los procesos productivos esto es posible, y se le llama inspección al 100%. Sin embargo, conforme las poblaciones crecen, estudiarlas al 100% implica invertir una gran cantidad de recursos, llámense tiempo, dinero, operarios, etc. En los casos en que la inspección al 100% no es posible, se acude a la estadística basada en muestreos; es decir se estudian muestras o una parte representativa de la población que se estudia.

Los tipos de muestreo probabilístico, son aquellos en que todos los individuos que conforman la población tienen igual probabilidad de ser seleccionados. Pueden ser:

- Muestreo al azar simple
- Muestreo al azar estratificado
- Muestreo al azar sistemático
- Muestreo aleatorio por conglomerado

#### Muestreo al azar simple

Consiste en seleccionar *n* elementos de una población. Está asociado con el uso de tablas de números aleatorios. Otra forma muy sencilla de este tipo de muestreo es la selección por tómbola. Microsoft Excel ofrece la posibilidad de generar tablas de números aleatorios.

400



#### + EJEMPLO

En un aula de clases hay 50 estudiantes y se desea seleccionar aleatoriamente 20 personas.

Paso 1: elaborar un listado y asignarle un número del 1 a 50 a cada estudiante.

Paso2: en Excel, utilizará la siguiente función:

= ALEATORIO . ENTRE (VALOR MENOR, VALOR MAYOR)

Siguiendo con el caso del ejemplo, el valor menor sería 1 y el mayor 50.

= ALEATORIO . ENTRE (1,50)

Presione la tecla enter. Solo queda arrastrar la celda 19 posiciones hacia abajo y automáticamente se le generarán los otros números aleatorios.

Otra forma sería escribir el número de cada estudiante en un papelito, luego meter los papelitos en una tómbola y extraerlos uno a uno hasta reunir 20.

#### Muestreo al azar estratificado

Un estrato es un subgrupo de la población, cuyos miembros tienen alguna característica en común que interesa estudiar. Consiste en la división de la población u objeto de estudio en grupos o estratos de acuerdo con las características de interés en el estudio.

Por ejemplo, una universidad cuenta con 1000 estudiantes, de los cuales 400 estudian derecho, 250 ingeniería Industrial, 150 psicología y 200 administración de empresas. Se necesita obtener una muestra equivalente a 40% del total de la población. En la siguiente tabla se muestra cómo calcular la cantidad se sujetos de cada estrato que integrarán la muestra.

Tabla 1-1 Muestreo estratificado.

Facultad	Cantidad de estudiantes	% El total de la población	Cantidad muestra
Derecho	400	400/1000 = 0.4	0.4*400 = 160
Ingenieria	250	250/1000 = 0.25	0.25*400 = 100
Psicología	150	0.15	60
Administración	200	0.2	80
Total	1000	0.1	400

Tamaño muestra

#### Muestreo al azar sistemático

Este tipo de muestreo es similar al muestreo al azar y estudiado, la diferencia se encuentra en que los sujetos se eligen cada enésimo elemento.

Siguiendo el ejemplo de seleccionar 20 de los 50 estudiantes de una clase, en primer lugar se define el intervalo, es decir cada cuánto se escogerá un sujeto. Por ejemplo se



define el intervalo de 5. Luego se selecciona al azar el primer sujeto, puede hacerlo con la fórmula de Excel. Suponiendo que Excel da como resultado 7. Esto significa que del listado de estudiantes, se seleccionará el que está en la posición 7, luego a partir de él se cuentan 5 posiciones para escoger el siguiente sujeto, que sería el que está en la posición 12. Y se sigue el mismo procesamiento hasta obtener los 20 sujetos deseados.

#### Muestreo aleatorio por conglomerado

En un conglomerado, la unidad muestral la constituyen un grupo de elementos de la población que forman una unidad, y se les llama conglomerados. Ejemplo de conglomerados son: las unidades hospitalarias, una caja de X producto.

En este muestreo seleccionan aleatoriamente los conglomerados (se estudian todos los elementos de los conglomerados seleccionados) hasta alcanzar el tamaño de la muestra determinada.

También existen los muestreos no probabilísticos, o no aleatorios. En los cuales los sujetos que se estudiarán se escogen por conveniencia o a juicio del investigador.



## Herramientas básicas para la calidad

#### Objetivos de aprendizaje

Al completar el estudio de este apartado, el estudiante será capaz de:

- Recordar algunos aspectos básicos en la historia de la calidad.
- Aplicar la herramienta de Tormenta de ideas para buscar posibles soluciones a un problema o situación de mejora.
- Realizar un diagrama de lluvia de ideas utilizando Microsoft Visio ©.
- Conocer la importancia de la estratificación como herramienta de gestión de la calidad y el papel que esta desempeña al conjugarse con otra herramienta de gestión.
- Entender la importancia de las hojas de verificación como herramienta básica de la calidad.
- Aprender a elaborar una hoja de verificación para recolectar datos de los procesos.

- Aprender a elaborar distribuciones de frecuencias.
- Elaborar histogramas utilizando Microsoft Excel.
- Realizar la interpretación de un histograma de frecuencias.
- Entender la utilidad del diagrama de Pareto como herramienta básica de la calidad.
- Aprender a elaborar diagramas de Pareto en Excel.
- Identificar causas de variación en los procesos y los efectos de estas en las características de calidad.
- Aprender a elaborar diagramas de causa efecto en Microsoft Visio.
- Aprender a elaborar diagramas de dispersión.
- Interpretar diagramas de dispersión



#### Introducción

En el presente capítulo se estudiarán las herramientas básicas de la calidad; con las cuales se obtiene información de vital importancia para detectar oportunidades de mejora en los procesos.

El Doctor Kaoru Ishikawa (1976) en su libro *Guide to Quality Control*, fue quien propuso por vez primera el uso de herramientas para el control de calidad. Consideraba esencial el uso de métodos estadísticos para efectuar juicios correctos en función de datos recopilados en los procesos de producción. No se trataba de llenar la organización de complejas técnicas estadísticas; sino, que el personal pudiera utilizar aquellas herramientas/técnicas necesarias para su trabajo.

Ishikawa introdujo siete herramientas que ameritan conocimientos estadísticos mínimos. Pero que deberían ser conocidas de la empresa, para así poder efectuar mejoras en las labores diarias. A este grupo les llama también las *Siete herramientas de Ishikawa* y son: Diagrama de Pareto, Diagrama de causa-efecto, Estratificación, Hojas de control o de comprobación, Histogramas, Diagramas de dispersión y Gráficas de control.

#### Ampliando las herramientas a estudiar

Alguna literatura toma en cuenta únicamente siete herramientas, sin embargo en este libro se ha incluido una más, la Tormenta de Ideas, la cual sirve de partida para el análisis de muchos problemas u oportunidad de mejora procesos.

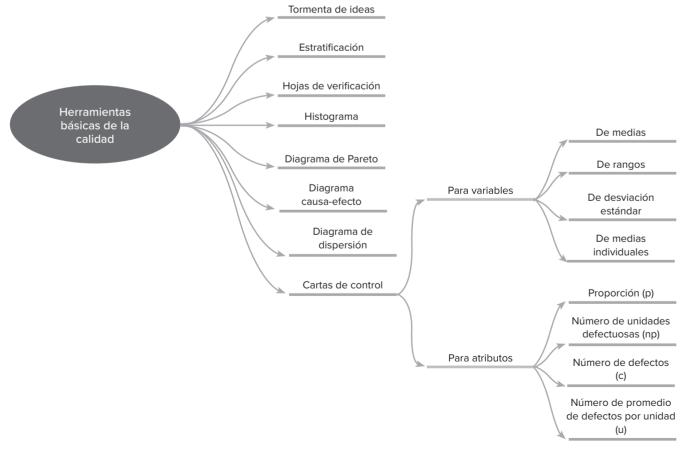


Figura 2-1 Herramientas básicas de la calidad.



En la figura 2-1 se representa gráficamente el contenido de esta sección del libro. Es importante mencionar que las cartas de control se estudiarán en el capítulo 3; sin embargo, para efectos de tener una perspectiva global de las herramientas de calidad, se decidió dejarlas incluidas en la figura.

#### 2.1 Tormenta de ideas

La tormenta de ideas, también conocida como lluvia de ideas o *brainstormin*, es una técnica utilizada para que los participantes expongan libremente sus ideas respecto a un tema o problema en discusión. Facilita la generación u obtención de ideas originales, ya que a través de ella se incentiva la creatividad.

#### Pasos para realizar la lluvia de ideas siguiendo el proceso del equipo

- Defina la metodología a utilizar y prepare los materiales que va a necesitar: puede ser que cada quien dé su idea verbalmente (otra persona las va anotando en un pizarrón o cualquier otro medio audiovisual que tenga a la mano ya que algunas veces leer las ideas de otro esto facilita la generación de nuevas ideas) o por escrito. Hacerlo oralmente facilita la rapidez y avance en la técnica, sin embargo hay personas que podrían verse cohibidas y les dé pena exponer sus ideas en público. Si este último es el caso, sería conveniente utilizar la técnica escrita. Elija un moderador, quien será encargado de ir cediendo la palabra o coordinando la discusión. También llevará el control del tiempo.
- Conformar los equipos. No hay una definición exacta del tamaño que deben tener los equipos, sin embargo se maneja muy bien la técnica aplicándola de 5 a 7 miembros.
- Presentar brevemente el problema a tratar. Esto puede hacerse oralmente explicando el problema o incluso podría plantearse en forma de una interrogante, por ejemplo: ¿cómo incrementar las ventas del producto XY? Asigne el tiempo para la generación de las ideas y lleve el control del mismo para evitar sesiones demasiado largas.
- Realice la lluvia de ideas, siguiendo la metodología seleccionada (oralmente o por escrito). Si decidió hacerlo oralmente, en este momento cada participante por turnos o de manera voluntaria va expresando su idea, las ideas fluyen como la lluvia. El moderador o alguna otra persona que hayan escogido funge como secretario y va anotando en un pizarrón o en una computadora conectada a un proyector para que los participantes pueda tener a la vista las ideas que han surgido. Este último detalle es importante porque cuando uno va leyendo las ideas que ya surgieron, muchas veces la imaginación sigue fluyendo y se originan nuevas. En caso de utilizar papelitos, se asigna un tiempo prudente para que los participantes puedan pensar y escribir sus ideas en los papeles, después de transcurrido el tiempo asignado, se recogen los papeles y se pegan en un pizarrón (o cualquier área plana como una pared o un rotafolio) siempre teniendo presente que los papeles estén a la vista. Una alternativa a los papelitos puede ser que en lugar de pegarlos alguien los transcriba y proyecte haciendo uso de la computadora o proyector tipo datashow.
- Una vez que las ideas han fluido, y ya son del conocimiento de los participantes, el siguiente paso es votar para elegir o priorizar las ideas con las que finalmente se trabajará. Es importante que el moderador pueda manejar la situación para evitar que los participantes sientan que sus ideas no fueron tomadas en cuenta porque no salen elegidas entre las ideas que se priorizaron.



## Algunos puntos claves para la realización de las lluvias de ideas

- Se puede hacer en equipos grandes o pequeños, siempre considerando que en equipos pequeños hay más probabilidad o posibilidad de que todos los miembros participen.
- Nunca limite la conformación de los equipos por el nivel académico, jerárquico, grado de especialización de los miembros, entre más multidisciplinario sea el grupo, más diverso sea en cuanto al nivel académico o nivel jerárquico, o capacidades de sus integrantes, mayor posibilidad habrá de ver los problemas desde diferentes ópticas y nunca menosprecie las ideas, por muy absurdas, tontas o descabelladas que usted crea que son, o porque vengan de una persona que usted crea no es lo suficientemente capaz para brindar un idea grandiosa (leer anécdota siguiente).

En cierta ocasión un grupo de ingenieros de una compañía fabricante de pasta dental estaban desarrollando una lluvia de ideas para incrementar las ventas de su producto. Por casualidad la empleada de aseo que estaba en las cercanías realizando sus labores, escuchó la conversación y les dijo:

Háganle más grande el agujero, para que salga más pasta porque a mí me cuesta sacar la pasta con ese hoyito tan pequeño que tiene...

- En este caso lo importa no es la calidad de las ideas generadas sino la cantidad.
- Buscar que todos los miembros del equipo participen brindando al menos una idea.
- Trate de realizar la dinámica de la lluvia de ideas en un ambiente relajado, cómodo pero también que posibilite la concentración.
- Sería interesante evaluar la posibilidad de realizar el proceso en varias sesiones, por
  ejemplo la primera sesión podría llegar hasta la puesta en común de las ideas. Así se
  abriría la posibilidad de que en la próxima sesión se agreguen algunas ideas nuevas
  más estructuradas.
- Se pueden explorar otras opciones, como por ejemplo crear documentos compartidos en la web, donde cada miembro pueda aportar sus ideas sin estar atado a una reunión presencial, a un lugar determinado o a un ahora estipulada, o simplemente que cada uno participe en el momento en que se sienta más preparado. Las nuevas tecnologías hoy en día posibilitan conformar equipos multinacionales, rompiendo barreras de tiempo y espacio.
- No todo es un misterio. Puede socializar con anterioridad con los participantes el objetivo de la lluvia de ideas, así tendrán oportunidad para pensar más a profundidad en las posibles alternativas o elaborar mejor sus ideas; es decir, primero trabajan solos y después en el equipo. A esto se le conoce como proceso híbrido.

## Algunas consideraciones: El proceso de equipos y el proceso híbrido

Revisando algunos antecedentes de investigación, Girotra, Terwiesch y Ulrich (2010) en un estudio titulado *Idea Generation and the Quality of the Best Idea*, encontraron que el proceso híbrido generó mejor calidad de ideas en comparación con el proceso de equipos. La mejor idea generada en un proceso híbrido resultó de mejor calidad que la idea generada con el proceso de grupo. En cuanto a la fluidez de las ideas, encontraron que

el proceso híbrido genera aproximadamente tres veces más ideas por unidad de tiempo y tienen significativamente más calidad promedio. En otra de sus conclusiones indican que el proceso híbrido obtiene mejores resultados al momento de identificar o priorizar las mejores ideas del conjunto de ideas. En cuanto al proceso de equipo, argumentan que en este proceso es más probable que la generación de ideas se fundamente entre sí. Sin embargo, indican que ambos enfoques son débiles en términos absolutos. Al momento de identificar la mejor idea, los hallazgos respaldan la importancia de uno de los argumentos muy utilizados en cuanto a los procesos de los equipos, y es el beneficio del crecimiento a través de la interacción de los miembros. (Girotra, Terwiesch, & Ulrich, 2010).

En resumen mostraron que la evidencia experimentada no respalda la supuesta ventaja de la lluvia de ideas basada en equipos. En promedio, las ideas que surgen a raíz de otras no son estadísticamente mejores que las ideas generadas asincrónicamente (en el proceso híbrido). Esto podría ser importante para que las organizaciones que presentan dificultades en cuanto a unificación de agendas de sus miembros, horarios de trabajo contradictorios, necesidad de viajes etc., para que puedan optar por una metodología híbrida o utilizar sistemas de gestión de ideas basados en la web.

#### Diagramando las ideas

Después de obtener la lluvia de ideas, se procede a elaborar el diagrama, con lo cual se obtendrá una idea gráfica de las ideas que se obtuvieron, e incluso facilita el poder relacionar conceptos o ideas similares. Existen varias aplicaciones gratuitas con las cuales es posible realizar los diagramas de lluvias de ideas, a continuación se muestran algunas. Mind Meister: es una aplicación sencilla de utilizar, ofrece posibilidad de trabajar en línea con otros usuarios. Además permite insertar imágenes, video e iconos, para obtener una apariencia más colorida y llamativa de los diagramas.



Figura 2-2 Diagrama de Iluvia de ideas usando Mind Meister.

Entre otras de las aplicaciones que se pueden explorar están: *Free Mind, Map Myself, GoConqr, Mapul, Creately, Xmind y Freeplane*. Este último es un recurso libre, un programa gratuito, de código abierto, tiene múltiples posibilidades para trabajar con los diagrama de lluvias de ideas en forma de mapas mentales. A continuación se presenta un ejemplo de diagrama de lluvia de ideas elaborado con *Freeplane*.

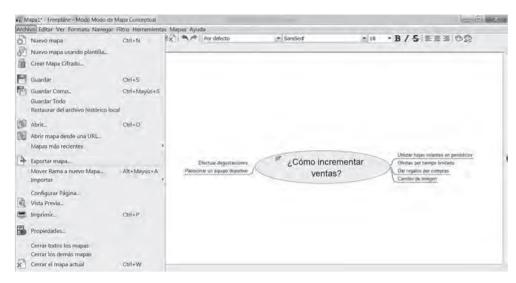


Figura 2-3 Diagrama de lluvia de ideas elaborado con Freeplane.

No obstante, a nivel profesional, Microsoft Office © cuenta un excelente programa para realizar diagramas, no sólo de lluvias de ideas sino también de otras herramientas de la calidad que se estudiarán más adelante; se trata de Microsoft Visio ©. A continuación se ejemplifica cómo elaborar diagramas de lluvias de ideas utilizando Visio.

En primer lugar, ir a las plantillas de Empresa y seleccione Diagrama de Lluvia de Ideas.

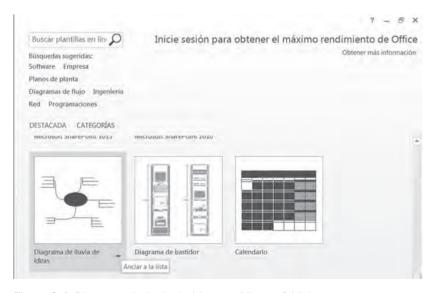


Figura 2-4 Diagrama de Iluvia de ideas en Microsoft Visio.

Luego le aparecerán las páginas de trabajo. Para iniciar, desde la sección de formas de leyendas (parte inferior izquierda de la pantalla). Arrastre el icono de tema principal hacia el centro de la hoja y se creará la figura tipo elipse. Dando doble clic en la elipse se activará la opción para que pueda editar el nombre, escriba el nombre de su problema o la pregunta que identifica su problema. Para agregar las ideas que surgieron de la lluvia, primero seleccione la elipse del tema principal, luego haga clic derecho y seleccione la

opción Agregar tema secundario. Repita este paso tantas veces como ideas desee representar (ver figura siguiente).



Figura 2-5 Creación de tema principal y secundarios en Microsoft Visio.

A continuación se presenta un ejemplo de diagrama de lluvia de ideas de un problema presentado en una industria de trefilado, utilizando Microsoft Visio ©.

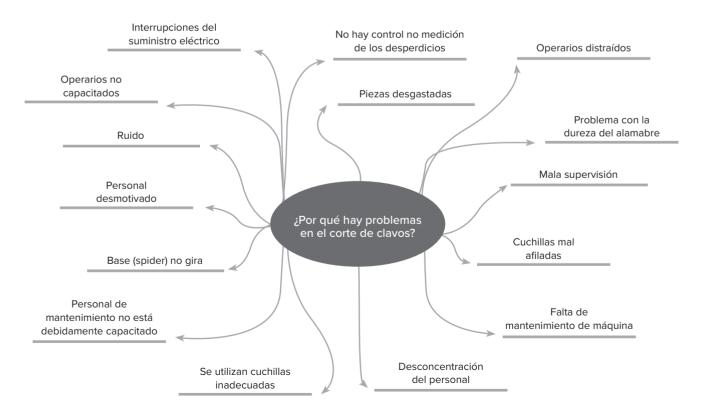


Figura 2-6 Diagrama de lluvia de ideas problema en el corte de clavos.

Notas	

#### Aplicación práctica: tormenta de ideas

Nombre del estudiante:			
Número de cuenta:			
Fecha:	Sección:	Calificación:	

1. Tomando como base lo estudiado en esta sección, elabore un diagrama de tormenta o lluvia de ideas. El problema principal puede ser asignado por el catedrático, o si él lo estima conveniente, dejarlo a libre elección de los estudiantes. Esta actividad se puede desarrollar en equipos de trabajo.

140	Jias		

### Aplicación práctica: tormenta de ideas

Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Fecha:	Sección:	Calificación:

**2.** Elabore una lluvia de ideas sobre proyectos de mejora que se podrían implementar en su campus universitario.

Notas	



#### 2.2 Estratificación

La estratificación consiste en subdividir u organizar los datos en subgrupos o categorías homogéneas llamadas estratos o categorías.

La estratificación es una herramienta que se aplica en conjunto con otras como el diagrama de Pareto, diagrama de dispersión, cartas de control e histograma. En cierta forma sirve para organizar u agrupar los datos que servirán de insumo para la aplicación de las herramientas básicas de la calidad que se estudiarán en los siguientes apartados de este libro.

Al estratificar, o para decidir qué estratos pueden seleccionarse resulta conveniente preguntarse ¿qué aspectos inciden o pueden incidir en este fenómeno o situación de estudio?, o ¿qué elementos podrían estar introduciendo variación en los resultados? Para citar un ejemplo, en el ámbito de la producción, muchas veces es necesario subdividir los datos en categorías como:

- Operarios
- Turnos
- Máquinas
- Productos
- Materia prima
- Método de producción

Al hacer posible la identificación de la influencia que ciertos aspectos tienen sobre la calidad de un proceso, la estratificación ayuda a aislar las posibles causas de un problema. Es decir, permite acercarse a las causas que originaron el problema o situación problemática que se presenta.

La estratificación resulta muy útil cuando se necesita trabajar con datos provenientes de diferentes fuentes, por ejemplo: turnos, días, operarios, proveedores, máquinas, etc.

A continuación se presenta un ejemplo de datos recolectados con base en estratos de días y tipo de defecto.

Tabla 2-1 Ejemplo de estratificación en la fabricación de quantes por día.

Día	Pulgar mal pegado	Ribete mal costurado	Agujero en el cuero	Dedos mal costurados	Total
Lunes	24	30	21	34	109
Martes	45	28	12	23	108
Miércoles	30	25	24	12	91
Jueves	32	34	31	13	110
Viernes	24	21	25	10	80
Total	155	138	113	92	498



De la tabla anterior se puede identificar que el defecto que más se está presentando es el pulgar mal pegado.

El mismo problema o situación podría ser estudiada si los datos de cada día se estratifican por operario, como se muestra en la siguiente tabla. En este caso la estratificación nos permite identificar el día lunes el operario 3 obtuvo más defectos.

Tabla 2-2 Ejemplo de estratificación en la fabricación de guantes por día.

Operario	Pulgar mal pegado	Ribete mal costurado	Agujero en el cuero	Dedos mal costurados	Total
Operario 1	4	6	5	7	22
Operario 2	5	9	4	8	26
Operario 3	8	12	7	10	37
Operario 4	7	3	5	9	24
Total	24	30	21	34	109

#### Aplicación práctica: estratificación

Nombre del estudiante: _			
Número de cuenta:			
Fecha:	Sección:	Calificación:	

**Instrucciones:** A partir de la situación que se le plantea a continuación elabore una tabla en la cual refleje cómo estratificaría los datos de cada escenario que en seguida se le presentan.

- 1. En el departamento de frutas y verduras de un supermercado, se desea recolectar información respecto a los defectos encontrados en las frutas. Esto con el fin de identificar oportunidades de mejora y así reducir las pérdidas ocasionadas por el desperdicio de las frutas que no cumplen con los requisitos para ser vendidos a los clientes. ¿Cuál sería su propuesta para estratificar los datos a recolectar?
- 2. En una maquila textil, se está trabajando con la línea de producción de camisas de caballeros. Usted es el encargado de calidad de este proceso y se está haciendo una inspección al final de la línea de producción, ¿cuál sería su propuesta para estratificar los datos a recopilar?
- 3. En una escuela de su ciudad, se necesitan estudiar las causas de la reprobación de los estudiantes de tercer grado. Elabore la propuesta para estratificar los datos a obtener.





#### 2.3 Hojas de verificación

#### ¿Qué es y para qué sirve la hoja de verificación?

Al igual que la estratificación, las hojas de verificación (también conocidas como hojas de control o de chequeo), tienen un papel muy importante ya que sirven de base en la recolección de datos que posteriormente servirán de insumo para otras herramientas como histograma, diagrama de Pareto y cartas de control. Y es que en calidad las decisiones se toman con base en las evidencias, esas evidencias son los datos y los datos se recopilan a través de las hojas de verificación; es decir que, las hojas de verificación son un instrumento de recolección de datos.

A través de las hojas de verificación se recopilan datos que posteriormente se convertirán en información útil para la toma de decisiones con miras a mejorar los procesos y servicios en las organizaciones.

Dicho en palabras sencillas, es un formato, tabla o diagrama en el que se registran (queda una evidencia escrita o electrónica) los datos recopilados en los resultados de los procesos o servicios.

Debe diseñarse de tal forma que su uso sea fácil y simple; y que no tome demasiado tiempo para tener la menor interferencia posible en las labores normales de quien registra los datos. Igualmente el formato debe ser fácil de analizar, incluso hay hojas que permiten detectar tendencias y patrones en los procesos desde el momento en que se están registrando los datos, sin necesidad de ser tabulados o procesados con algún método manual o computarizado.

Como lo indicó Ishikawa (1976) la palabra estadística implica datos, los datos reflejan hechos. El control depende de los datos, por lo tanto esos datos deben estar correctos. Los datos deben recabarse cuidadosamente, incluso debe estar claro el objetivo por el cual se recolectan los datos. No valen nada los datos no confiables o aquellos obtenidos sin un propósito claro. Es esencialmente importante que el propósito esté claro y que los datos reflejen la verdad. Es necesario hacer que la obtención de los datos sea fácil; y que estos sean a la vez fáciles de utilizar. El objetivo principal de las hojas de verificación u hojas de control es hacer fácil la recolección de datos, poder ser utilizadas fácilmente y analizadas automáticamente.

#### La función de las hojas de verificación

Las hojas de verificación tienen las siguientes funciones:

- Verificar la distribución del proceso de producción
- Cuantificar defectos por ítem o tipo
- Cuantificar defectos por localización o ubicación
- Cuantificar causas de los defectos
- Chequeo de verificación de confirmación o seguimiento de la finalización de los pasos en un procedimiento

# 2.3.1 Hojas de verificación para distribución de proceso de producción

En estas hojas se trabaja con variables continuas, como tallas, peso, diámetro, etc. Las hojas se diseñan de tal forma que la persona que recolecta los datos solo vaya checando, es decir, haciendo marcas de verificación (pueden ser rayitas, equis, o cualquier otra marca). Conforme se van registrando los datos, se pueden identificar patrones, tendencias,

Hoja de verificación: Consiste en una plantilla que sirve para recabar y registrar datos. Ayuda incluso a identificar tendencias. Sirve como base para el desarrollo de otras herramientas como el diagrama de Pareto, el histograma y las cartas de control.



dispersiones en el proceso. Incluso cuando ya se conocen las especificaciones, límites o parámetros superior e inferior (conocidos como límites de aceptación inferiores y superiores) para aceptar un producto, estas se pueden graficar en la hoja.

Es importante mencionar que los cambios en los datos durante un periodo de tiempo no se reflejan en una sola hoja; que cuando los datos provienen de diferentes fuentes, llámese máquinas, materiales, lapsos de tiempo o trabajadores, es mejor utilizar hojas de verificación por separado y luego compararlas. Pero si se desea mezclar los datos de diferentes fuentes, podrían utilizarse colores o varios tipos de marcas, para diferenciar una fuente de otra y comparar su comportamiento en la misma hoja de verificación.

En la figura 2-7 se presenta un ejemplo de este tipo de hojas de verificación. En este caso se han graficado los límites o especificaciones inferior y superior. Además se aprecia cómo se va creando una especie de gráfica de distribución de frecuencias y se puede identificar que algunas mediciones salieron de los límites inferior y superior (llamados como producto fuera de las especificaciones o fuera de control). Es decir, que este tipo de hoja permite registrar e interpretar el comportamiento de los datos.

Una vez que la hoja de verificación está completa, es necesario examinarla haciéndose las siguientes preguntas:

• ¿La gráfica tiene forma de una campana (semejando a la distribución normal), tiene un solo pico (la columna o barra más alta de la gráfica) o hay varios picos?, ¿los datos quedan con acantilado (datos quedan en pendiente descendiente hacia alguno de los lados semejando un acantilado) hacia alguno de los lados o hay valores aislados?

Evalúe la relación existente entre la distribución y límites o especificaciones. Por ejemplo es necesario preguntarse si:

• ¿El centro de la distribución está muy cerca de alguno de los límites?, ¿el ancho de la distribución es mayor que las especificaciones (se sale)? En este caso es necesario plantear posibles medidas a tomar para reducir el porcentaje de la distribución que sale de las especificaciones; es decir, para reducir estos defectos.

#### 2.3.2 Hojas para registro de defectos

En los procesos no sólo es importante saber la cantidad de defectos que se obtienen, sino que, es necesario conocer qué tipos de defectos son los que han ocurrido, con el fin de identificar las medidas pertinentes para reducirlos.

En la figura 2-8 se presenta un ejemplo de una hoja de registro de defectos, utilizada en una industria de producción de muebles de madera, la hoja corresponde a una inspección final de escritorios. Es muy fácil de llenar. Cada vez que se detecta un error, el operario simplemente va añadiendo una marca en la fila correspondiente al defecto. Y en caso de rechazar por completo el escritorio, marca en la sección de productos rechazados; de tal forma que al final del turno, se puede identificar cuál defecto ocurrió con más frecuencia.

					ŀ	Hoja d	e verit	ficacio	n							
Producto:	Ensan	ıble X	ΥZ													
Característica de o	calidad:			Peso final de produ			ucto X	YZ								
Magnitud:		Peso			Unida	nd:		Kilogr	amos			Fecha	a:	01	/12/202	XX
Proceso:	Trg-00	01			Lote:			112198	I	Elabo	rado p	or:		SM	IAO	
Escala	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	11	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	12
Frecuencia						! ! !	! ! !						! !			
30				 	 	 	 	 		! ! !	! ! !	! ! !	! ! !		1 1 1	 
29						! ! !	! ! !				! ! !	! ! !	! ! !			! ! !
28				 	 	1 1 1	1 1 1	!		! !	! ! !	! ! !	! ! !		! ! !	 
27				:	<u>+</u>	+ · !	+ !	:					* ·			
26				:		+ · : :	+ ! !	<u> </u>		+ · ! !	+ · : :	+ · : :	+ · : :		+ · ! !	
25				:	+ ·	+ · ! !	+ !	:		+ ·			+ · !		+ ·	
24					1	i ! !	i ! !				i ! !	i ! !	i ! !			 
23					!	! ! !	! ! !									! ! !
22				!	! ! !	: : :	: : :	Х			: : :	: : :	: : :		! !	: ! !
21				<u>+</u>	+	+ · !	X	X		+ ·	+ · !	+ · !	+ · ! !	+	+ ·	+ · ! !
20	ļ		†	<del>+</del>	* ·	+ · ! !	Х	Χ			+ ·	+ ·	+ · ! !	† ·	<del></del>	+ · ! !
19					!	! ! !	Х	Х				! !	! !			 
18				!	!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!	: : :	Х	Х	Х		: : :	: : :	! !			! ! !
17					!	! ! !	Х	Х	Х	Х	! !	! !	! !		! !	 
16	ļ		†	<del></del>	* ·	+ · !	Χ	Χ	Χ	Χ	+ ·	+ ·	* · ! !	†	<u>+ :</u>	<b>+</b>
15			+	·	+	+ · ! !	Х	Χ	Χ	Χ	+ · ! !	* · ! !	* · ! !	+	+ ·	+
14	ļ		†	<u>+</u>	<b>+</b> ·	Χ	Χ	Χ	Χ	Χ	+ ·	+ ·	* · ! !	† ·		
13					i ! !	Х	Х	Х	Х	Х	i ! !	i ! !	i ! !		i !	 
12				!	! !	Х	X	Х	Х	Х	! !	! !	! !			 
11					i ! !	Х	Х	Х	Х	Х	i !	i ! !	i ! !		i !	 
10	ļ		+	<u>+</u>	+	Χ	X	X	Χ	X	* ·	* ·	* ·	+		
9			†	<u>+</u>	+	Χ	Х	Χ	Χ	Χ	Х	+ ·	+ · ! !	+	+ ·	+
8			†	<del></del>	<u>+</u>	X	X	X	Χ	Х	Х	+ ·	+ · !	†	:	+ ·
7				!	! ! !	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	1 1 1		1 1 1	 
6				Х	Х	Х	X	Х	Х	Х	Х	Х	! ! !		!	  -  -
5				Х	Х	Х	X	Х	Χ	Х	Х	Х	! ! !		! !	  -  -  -
4			†	X	Х	Χ	Х	Х	Χ	Х	Χ	Х	Х	†	<u> </u>	+ ·
3			X	X	Х	Х	Х	X	Χ	Х	Х	Х	Х	X	+ !	+ · ! !
2			X	Х	Х	X	×	Х	Х	Х	Х	X	Х	×	Х	 
1	X	Χ	Х	Х	Х	X	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	×	Х	Х
-			<u></u>											ES		
Frecuciencia	1	1	3	6	6	14	21	22	18	17	9	7	4	3	2	1
	El: Es	pecific	ación	inferio	r						ES: E	specifi	cación	super	ior	

Figura 2-7 Hoja de verificación de distribución de proceso.

Hoja de verificación										
Producto:	Escritorios de madera EMF-01 Fecha:						01/12/20XX			
Operación:				Insp	ección	final				
ITEMS inspeccionados:		25	300	Lote:			15041	974		
Proceso:	P	ROM-00	01	Empi	resa:		Industr	ias DRG		
Observaciones:	Todos los items inspeccionados Inspector: Douglas G.							Douglas G.		
Tipo de defecto			C	heque	0			Sub total		
Pintura mal acabada	11114	1111	1HL	##L	<b>7</b> ##			25		
Llamadores incompletos	11114	11114	7HF	7HF	1111	11114		30		
Gavetas cierran con dificultad	11114	11114	7HF	7HF	1111	1111	11114	35		
Formica levantada	11114	11HL	11114					15		
Otros	11114	11114						10		
							Total	115		
	11114	71114	71114	<b>7</b> 1114	<b>7</b> ##	1111	11114			
Total rechazos	11114	71114	71114	<b>***</b>	<b>***</b>	71HL	11114	86		
	##F	<b>7#</b> #	<b>***</b>	-						

Figura 2-8 Hoja de verificación de defectos.

# 2.3.3 Hojas de verificación de defectos por localización o ubicación

En algunos tipos de productos, hay defectos que se relacionan con la apariencia externa como suciedad, ralladuras, cicatrices, burbujas, etc. Cuando se desean buscar medidas para reducir este tipo de defectos, resulta muy útil la hoja de verificación de defectos por localización o ubicación. Por lo general se trabaja sobre un dibujo o representación gráfica del producto como en el caso de la figura 2-9, donde se verifica la ubicación de burbujas en polarizado de vidrios frontales de automóviles. La hoja permite identificar en qué parte del vidrio se generan la mayor cantidad de burbujas; así como también la clase de burbujas que se presentan mayor frecuencia; lo cual servirá de insumo para investigar a profundidad el problema y buscar las estrategias de mejora para reducir su incidencia.

La investigación de esta situación podría incluir una lluvia de ideas de las posibles causas de la generación de las burbujas. Esto ejemplificaría cómo las herramientas básicas de la calidad se van complementando unas con otra para así identificar las oportunidades de mejoras en los procesos.

En este ejemplo, después de una investigación a fondo, se encontró que la presión de la máquina polarizadora estaba desbalanceada, y que en el centro del vidrio se estaba imprimiendo menos presión, lo que generó mayor parte de burbujas en esa área. Una vez ajustada la máquina, se vuelve a elaborar otra hoja de verificación para constatar que los defectos se redujeron o eliminaron.

En la figura 2-10 se presenta otro ejemplo de este tipo de hojas de verificación en la cual se trabaja con partes metálicas para identificar defectos en las diferentes secciones del producto.

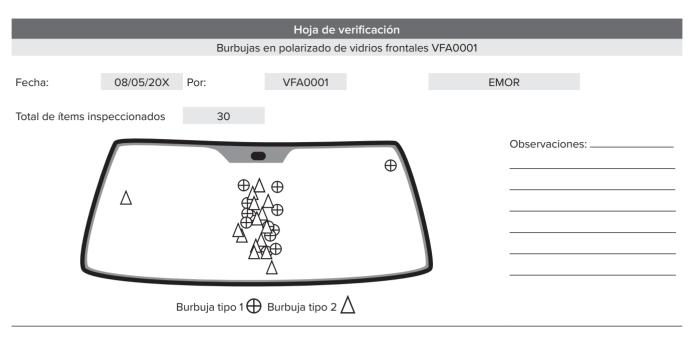


Figura 2-9 Hoja de verificación de defectos por localización o ubicación.

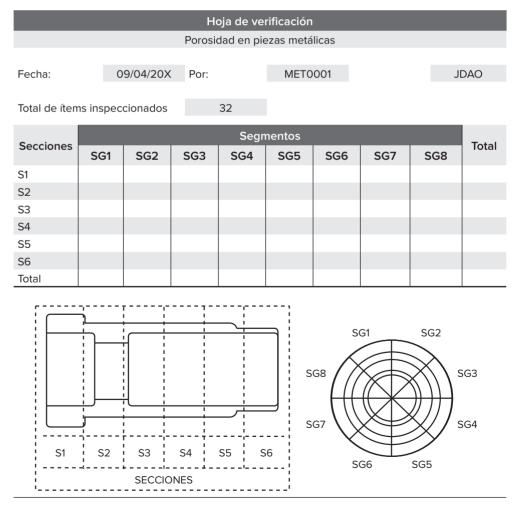


Figura 2-10 Hoja de verificación de defectos por localización o ubicación.



## 2.3.4 Hoja de verificación para cuantificar causas de los defectos

En este tipo de hojas se trabaja en conjunto con la estratificación, esto con el objetivo de rastrear o encontrar las causas que están generando los defectos. En la siguiente figura se ejemplifica una hoja de verificación de las causas de defectos.

Hoja de verificacion Fecha inicio:									
Polarizado de	vidrios tipo	B2							
Inspector Ítems inspeccionados F									
Observacione	es:								
Semanas	Turnos	Línea de p	roducción 1	Línea de p	roducción 2	Total	os		
Semanas	Turrios	Operario 1	Operario 2	Operario 1	Operario 2	lotai	62		
2	Turno A	a		$\oplus$		2			
Semana 1	Turno B	•	O	$\oplus$	OO	5	7		
	Turno A	$\oplus$	O	O		3			
Semana 2	Turno B		000		9999	11	14		
	Turno A	a	$\oplus$			2			
Semana 3	Turno B	•	a	Δ	000 00	8	10		
Semana 4	Turno A	O	•			2	5		
Semana 4	Turno B		OΔ		O	3	)		
Total									
16 20									
Simbología utilizada									
_	_								
Burbuja 🗸 Quebradura 🕀 Ralladura 🗣 Despegado 🛆									

Figura 2-11 Hoja de verificación para cuantificar causas de los defectos.

Al analizar más a fondo la hoja y la situación (lo cual puede hacerse con la ayuda de otras herramientas básicas como lluvia de ideas) se puede indentificar que el operario 2 es el que está generando la mayor parte de los defectos. La segunda semana tuvo mayor incidencia de defectos. El más frecuente fueron las burbujas. Depués de un análisis se detectó que en la segunda semana la máquina fue ajustada, y que durante la segunda y tercera semana de produccion se utilizó un rollo de polarizado de un nuevo proveedor, por lo que fue necesario reajustar la máquina. En esto consiste precisamente cruzar datos de las causas y de los efectos.

# 2.3.5 Chequeo de verificación de confirmación o seguimiento de la finalización de los pasos en un procedimiento

El objetivo de este tipo de hojas de verificación es diferente a los ya estudiados, donde se trabajaba con características de calidad, defectos y sus causas. Comúnmente se le conoce como

CheckList (lista de chequeo en inglés). Pero tiene una cualidad muy importante, y es el hecho de que se aplican a un sinnúmero de ramas del saber. Estas listas de chequeo se puedan aplicar a casos como la revisión final de automóviles en una compañía ensambladora del área de manufactura; para definir los documentos que deben incluirse en un expediente de una contratación (Recursos Humanos), para verificar requisitos de expedientes en otorgamientos de licitaciones de proyectos, realizar mantenimientos de máquinas, organizar eventos, o en casos tan comunes como realizar compra de suministros, sólo para citar algunos ejemplos.

Para construir la hoja de chequeo, en primer lugar hay que definir para qué situación o "tarea global" se va a elaborar la hoja de verificación. Seguidamente determinar el listado de actividades que se deben ejecutar para completar la "tarea global". Elaborar la plantilla de la hoja de verificación. Una vez que se constante que cada actividad se ha realizado, se marca la lista (o con cualquier otra seña que sea de su elección) para indicar que la tarea ha sido efectuada.

Esta hoja es muy útil ya que no se debe dejar nada a la memoria, es decir que el usuario simplemente debe ir checando las actividades ya definidas, con lo cual no se corre el riesgo de olvidar actividades cruciales o importantes.

A continuación algunos ejemplos de estas listas de chequeo.



### Lista de documentos

Expediente d	e grad	duacion	
Solapa No. 1		Solapa No. 2	
Solicitud de solvencias REG-PS.505		Fotocopia de ambos lados de cédula de identidad del alumno	X
Impresión dash-board administrativo		Declaración jurada del Himno Nacional (sólo Derecho).	
Pago inicial de gastos según plan de arbitrios (antes de la práctica profesional supervisada).		Copia del título de secundaria	
Impresión flujograma dash-board académico		Acta de aprobación de defensa de práctica pro- fesional supervisada y/o examen general privado REG-PS.507	
Solicitud de práctica profesional supervisada y supervisión de unidad académica REG-PS.501		2 fotografías ovaladas (con nombres y apellidos com- pletos del estudiante y número de registro escritos con lápiz al reverso, de tal forma que lo escrito no esté visible al frente de la fotografía).	
Constancia de terminación de práctica profesional supervisada o práctica pública REG-PS.503		Autos REG-PS.509	
Impresión dash-board administrativo (con fecha una semana antes de revisión de expedientes)			
Constancia de Terminación de Práctica Obligatoria de Beca Completa (sólo alumnos con beca completa) REG-PS.222			
Segundo pago (según plan de arbitrios)			
Pago de razonamiento de título para estudiantes de Derecho e Ingeniería civil			
Valoración del informe de práctica profesional supervisada y/o examen general privado terna examinadora REG-510			
Fotocopia de ambos lados de la cédula de identidad de testigos			

Figura 2-12 Lista de chequeo o de documentos para un expediente de graduación.



	Hoja de cheque	eo vehicular		
Fecha:	Propietario:		Celular de contacto:	
Placa:	Modelo:		Hora inicio:	
Marca:	Inspector:		Hora final:	
Chequeo documental				
Hoja de revisión / Matrícula  Chequeo de seguridad	No Placas	Sí	No Sí Póliza de seguro	No
Frenos Sí	No Luz alta	Sí	No Sí Cortesía	No
Luces de frenos	Luz baja		Vías	
Luz bolsas de aire	Marcador aceite en tab	lero	Marcador emergencia en tablero	
Luz puerta en tablero	Marcador batería en tablero		Marcador banda de tiempo en tablero	
Chequeo de fluidos y motor				
Nivel de aceite	No Fluidos	Sí	No Sí Manguera	No
Nivel aceite de caja	Batería		Tapa aceite	
Observaciones:				
Chequeo pintura, interiores y exterio	pres			
Vidrios Sí	No Puertas	Sí	No Sí Techo	No
Parabrisas	Alarma		Aire acondicionado	
Encendedor	Cerrado y abierto de puertas		Pintura	
Bomper	Gps		Palanca de cambios	
Radio	Asientos		Botón encendido y apa- gado	
Pantalla	Luces interiores		Botón encendido y apa- gado	
Observaciones:				
Observaciones finales:				

Figura 2-13 Hoja de verificación de confirmación o seguimiento de la finalización de los pasos en un procedimiento.

Nombre o	de la entidad:								
Nomencla	atura del proceso de selección:								
	ación de la convocatoria:								
	PARTE 1. Fase de actos preparatorios								
Ítem	Contenido	en	Obra) el exped		Folios	Observaciones			
iteiii	Contenido		No	No aplica	1 01103	Observaciones			
1.	Plan Anual de Contrataciones (PAC)								
I.	Programación del proceso de selección en el PAC.								
	Requerimiento del área usuaria								
	Requerimiento (solicitud formal) suscrito por el jefe del área usuaria. En caso de requerimientos consolidados, identificar el documento de requerimiento consolidado.								
	EETT o TdR suscritos por el área usuaria, y de ser el caso, por el área técnica que intervino en su elaboración.								
	Finalidad pública de la contratación.								
2.	Informe técnico previo de evaluación de software emitido por la oficina de informática, o la que haga sus veces.								
	Informe técnico de estandarización y documento mediante el cual se aprobó la estandarización.								
	Declaratoria de viabilidad del PIP.								
	Plan de estrategia publicitaria, la descripción, justificación de las campañas institucionales y comerciales, la propuesta y justificación técnica de la selección de medios de difusión, para el caso de servicios de publicidad en medios de comunicación.								
	Otros documentos, de acuerdo al objeto de la convocatoria.								

Fuente: Elaboración propia con base en http://portal.osce.gob.pe/osce/sites/default/files/Documentos/legislacion/Legislacion%20y%20Documentos%20 Elaborados%20por%20el%20OSCE/FORMATOS/Check\_List\_Exp\_Contratacion.pdf

Figura 2-14 Lista de chequeo de expediente de contratación para bienes y servicios.

Documentación	Consultada Sí/no/no procede	No entregada (marcar la que proceda)	Observaciones (se indicarán los defectos y carencias advertidos, en su caso)
Formulación definitiva aprobada			
Informes de evaluación (si existen)			
Aprobaciones AECID de modificaciones sustanciales			
Ampliaciones de plazos			
Otras autorizaciones (especificar)			
Informe final (técnico y económico) de acuerdo con el modelo de la AECID (se indicará si algún aparta- do no ha sido cumplimentado)			
Fuentes de verificación de los resultados alcanzados			
Acreditación de la recepción de fondos			
Justificantes del tipo de cambio aplicado			
Acreditación de transferencias bancarias			
Acreditación de rendimientos financieros generados en las cuentas de la subvención			
Certificado de haber recibido o no otras subvenciones			
Certificados de conformidad de cofinanciadores			
Actas de transferencias de activos			
Acreditación de que los impuestos indirectos no son legalmente recuperables (si aplica)			
V°B° de la OTC / Embajada de España en caso de no poder aplicar la normativa de contratación de la Ley de Contratación del Estado de Honduras (si aplica)			
Contratos de alquiler o adquisición de inmuebles			
Construcción: proyecto de obra visado, certificado de obra y de conformidad			
Reformas: consentimiento del propietario			
Personal local: contratos, nóminas, justificantes de pagos sociales e impuestos			
Relación de todos los materiales de difusión editables producidos durante la intervención			
Relación clasificada de gastos			
Justificantes acreditativos de cada uno de los gastos individuales			
Material acreditativo de visibilidad AECID			
Otros			

Fuente: Elaboración propia con base en Agencia Española de la Cooperación Internacional, disponible en http://www.aecid.hn/sitio/attachments/article/450/TdRAuditoriaAECID-CONEANFOFINAL.pdf

Figura 2-15 Lista de chequeo. Documentación requerida y revisada para optar a concurso privado No. UAF-01-2018.



#### Algunas observaciones finales

Es importante recordar que las hojas de verificación son una herramienta que se adapta a las situaciones o realidades de cada empresa u organización. No existe un formato perfecto de hoja de chequeo, sino que se crea la hoja que mejor se adapte a la situación que se quiere estudiar. Siempre esté abierto a mejorar continuamente sus plantillas.

En cuanto a la información que se escribe en el encabezado, tampoco hay una regla definida para decidir qué poner o no, eso depende de los datos que a la empresa le interese conocer; sin embargo como consejo, no pregunte datos que no va a necesitar o que sean superfluos, priorice sus necesidades y conforme a eso elabore sus encabezados.

Siempre tenga presente que las plantillas deben ser lo más amigables posible, es decir que sean fáciles de llenar. Capacite a las personas que llenarán la plantilla, asegúrese de que entienden qué dato es el que pide la hoja de verificación, puede incluso hacer una pequeña prueba piloto para detectar correcciones de fondo o forma, incluso para asegurarse que el vocabulario utilizado es adecuado para los usuarios de las hojas.

Los CheckList, son una aliado excelente hasta para su vida personal, anímese a experimentar con ellos, incluso hasta en los teléfonos inteligentes existen aplicaciones para elaborarlos.

Notas		

### Aplicación práctica: hojas de verificación

Nombre del estudiante:			
Número de cuenta:			
Fecha:	Sección:	Calificación:	

Elabore una plantilla de hoja de verificación que se adapte a una situación o proceso relacionado con la carrera que usted está estudiando. Es decir, que pueda utilizarse en alguna empresa, organización o institución de su área profesional.

Notas	



#### 2.4 Histograma

Hasta el momento, con las herramientas estudiadas, se ha aprendido a recolectar datos. Con el histograma se aprende a organizar los datos a través de distribuciones de frecuencias en forma de matrices y una gráfica de barras que permiten interpretar los datos, es decir convertirlos en información.

#### Pasos para elaborar un histograma

Actualmente existen muchos programas o softwares que se pueden utilizar para elaborar histogramas, como por ejemplo SPSS, R (The R Project for Statistical Computing) el cual es un software libre, Pictovia y generalmente en los softwares que utilizan las empresas para el área de calidad, ya traen incorporada la función de generar histogramas. Sin embargo por la utilidad y accesibilidad que tiene Microsoft Office, se ha decidió ejemplificar el uso de Microsoft Excel para elaborar histogramas, paso a paso. Esto constituye una ventaja, porque usted podrá hacer histogramas y distribuciones de frecuencias en case cualquier computadora que tenga a su alcance, sin tener que instalar o depender de otros programas o aplicaciones.

En la empresa Inversiones Goal, necesitan saber cómo se comportan los datos referentes a los errores en facturación, para lo cual se cuenta con los siguientes datos:

	Errores en facturación / febrero y marzo del año 20xx								
0	6	8	2	6	2	4	5		
5	7	9	6	8	5	5	3		
6	2	7	3	2	6	0	5		
10	6	6	6	7	3	4	9		
0	9	6	8	8	2	5	10		
10	8	9	1	3	0	0	15		
6	7	3	6	7	1	4	14		

Tabla 2-3 Cantidad de errores en la facturación diaria en Inversiones Goal.

En primer lugar se trasladan los datos a una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Con la salvedad de que los datos deben ingresarse en una sola columna (vertical).

Una vez que ha ingresado los datos, se debe calcular lo siguiente:

Dato	Letra con la que se representa	Fórmula en Excel	Resultado
Número de datos	N	La fórmula es: = contar(A13:A64)	52
Número de clases	М	La fórmula es = 1+3.3 * Log(n)	6.66281103

**Nota:** el rango A13: A64 se dejó escrito como ejemplo, pero usted debe ingresar o seleccionar aquí el rango de celdas en las que copió los datos de su ejercicio



Continuación

Dato	Fórmula en Excel	Resultado
Valor mayor	fórmula es: = max(A13:A64)	10
Valor menor	fórmula es: = min(A13:A64)	0
Amplitud de clase	fórmula es: = (valor mayor – valor menos)/número de clases	1.50086802

Figura 2-16 Cálculos de datos para histograma.

Las clases son los que normalmente se conoce como intervalo, en el caso de los histogramas las clases se componen de un límite inferior y un superior como en la siguiente figura:

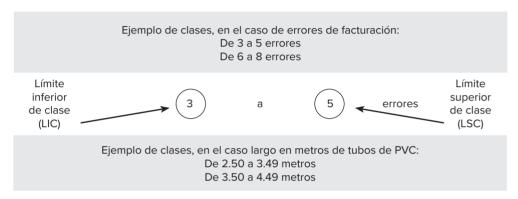


Figura 2-17 Ejemplos de clases.

Como se puede observar en los recuadros anteriores, las clases se pueden elaborar con enteros (como el caso de los errores de facturación) o decimales (largo en metros de tubos de PVC), o dicho de otra forma, con variables continuas y discretas. El cuidado que se debe tener al elaborar las clases es que el límite inferior de una clase no debe ser igual que el límite superior de la clase anterior. Esto último para lograr que los datos sólo puedan ser incluidos en una de las clases, como en los siguientes ejemplos:

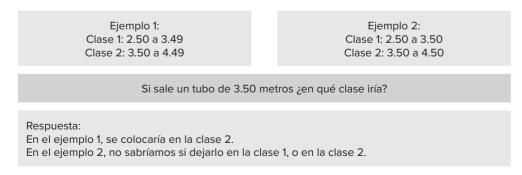


Figura 2-18 Cuidados al armar límites de forma manual.

Estas observaciones es importante manejarlas a nivel teórico, porque a nivel práctico con Excel, la elaboración de las clases se simplifica más.

El siguiente paso es determinar los límites superiores de las clases con las que se trabajará, para este ejemplo quedan así:



Recordando los cálculos anteriores se obtuvo que m = 6.66 que es la cantidad de clases (eso significa que se calcularán 7 clases); y la amplitud de clase encontrada fue de 1.5; y el valor menor fue cero (tabla 2-4).

El primer LSC se obtiene así: sumándole al valor mínimo la amplitud de clase: 0 + 1.5 = 1.5

El LCS de la segunda clase: al límite superior de la clase anterior se le suma nuevamente la amplitud de clase: 1.5 + 1.5 = 3

Con la tercera clase sería: 3 + 1.5 = 4.5

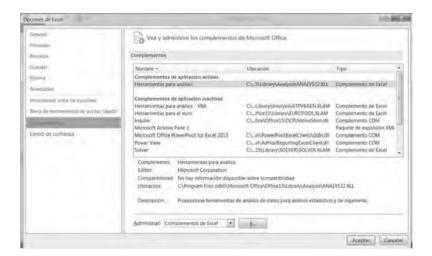
Y así sucesivamente hasta encontrar el LSC de las 7 clases que se necesitan para este histograma.

En este punto se necesita instalar en Excel el complemento de análisis de datos, para lo cual es necesario realizar los siguientes pasos:

- Haga clic en el menú Archivo
- Haga clic en Opciones
- Luego en la siguiente ventana de diálogo dar clic en complementos, y en la parte inferior, en Administrar: complementos de Excel, dar clic en Ir.

**Tabla 2-4** Límites superiores de clase.

Número de clase	LSC
1	1.50
2	3.00
3	4.50
4	6.00
5	7.50
6	9.00
7	10.50



 Activar la opción de herramienta para análisis de datos y dar clic en aceptar. Después haga clic en la viñeta del menú de datos y en la parte superior derecha le aparecerá activada la opción.





• Dar clic en el menú Datos, luego en la opción de Análisis de datos (que acaba de instalar), y seleccione Histograma y Aceptar.



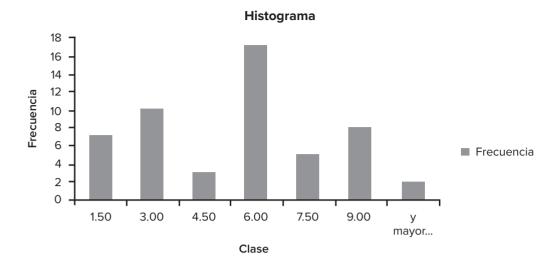
• En el siguiente cuadro de diálogo se le debe indicar alguna información a Excel:



Dato	Lo que debe hacer
Rango de entrada	Indíquele en qué rango de celdas están los datos de su ejercicio
Rango de clases	Marque los LCS que encontró. Nota: no marque el de la última clase ya que Excel automáticamente crea la última clase
Rango de salida	Seleccione la celda en la que quiere que Excel le coloque los resultados. También puede dejar activa la opción En una hoja nueva, con lo cual Excel hará el histograma en una nueva hoja; o en un nuevo libro si activa la siguiente opción.

Cuando ha ingresado todos los datos, Excel genera lo siguiente:

Clase	Frecuencia
1.50	7
3.00	10
4.50	3
6.00	17
7.50	5
9.00	8
y mayor	2



Ahora sólo queda modificar un poco la gráfica hasta que se asimile a la siguiente imagen:

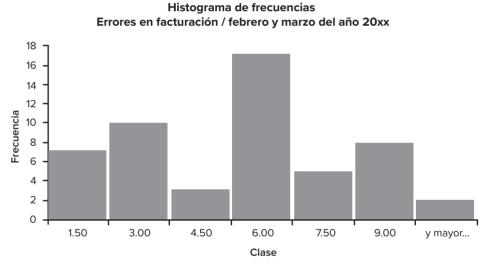


Figura 2-19 Histograma de frecuencias.

Otro aspecto muy importante que recordar al momento de laborar los histogramas o cualquier otra gráfica es colocar el rótulo de cada eje y el título del gráfico. Como se observa en el histograma, al lado derecho, Excel creó automáticamente la última clase aunque no se haya seleccionado el LCS de la séptima clase al momento de elaborar la gráfica. A esta última clase se lee: y mayor que 9.

#### Interpretación de los histogramas

Hay ocasiones en las que se conocen cuáles son los parámetros o especificaciones de los procesos, es decir, el margen dentro del cual un producto puede ser aceptable. Suponiendo que en un proceso se obtiene el siguiente histograma y se sabe que los límites aceptables están delimitados por las líneas punteadas como sigue:

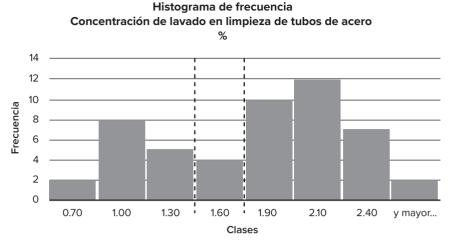


Figura 2-20 Histograma con especificaciones.

Al conocer las especificaciones de este proceso, que son de 1.31% a 1.6%, se puede concluir que: las primeras 3 columnas representan productos fuera de las especificaciones. Las 4 columnas de la derecha, representan concentraciones mayores a 1.6%, lo cual en este ejemplo corresponden a productos que superaron los límites de calidad aceptable, es decir son de calidad más que adecuada.

Histograma de frecuencias

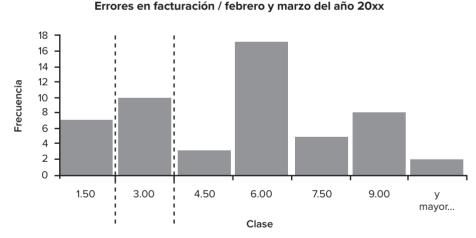


Figura 2-21

En el caso del histograma 2-21, la interpretación es diferente. La primera columna, que está a la izquierda del límite inferior, representa los días de menor cantidad de defectos; lo cual es lo más deseable para la empresa. Las cinco columnas de la derecha, salen de la especificación superior y representan la mayor ocurrencia de defectos, es decir que, en este caso es lo menos deseable. Al final lo ideal debe ser que la mayor parte de los resultados del procesos (si no es que todo) esté dentro de las especificaciones, y mejorar continuamente hasta que todo el proceso esté dentro de las especificaciones. Cuando se agregan las especificaciones en el histograma los datos se convierten en información útil para resolver problemas.

Una de las desventajas de los histogramas es que no muestran los datos en el orden en que ocurrieron. Es decir que si al inicio del proceso todos los datos estaban a un solo

Ô

lado de las especificaciones, eso no podrá identificarse. En este caso, lo más adecuado sería utilizar un gráfica de series de tiempos o cartas de control.

Los histogramas se analizan conforme a la distribución normal Z similar a la figura siguiente:

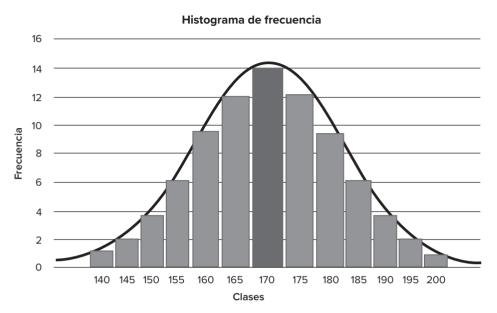


Figura 2-22 Histograma con curva normal.

Esta figura representa un proceso en el cual la media y la moda están ubicadas en la barra del centro. Y encaja casi a la perfección en la curva de la distribución normal. Es decir es un histograma en forma de campana. Lo ideal es que toda la campana esté dentro de las especificaciones del proceso. Es un proceso centrado.

La variabilidad es otro aspecto que se debe analizar en los histogramas. Hay procesos con mucha variabilidad y otros con poca, tal y como se muestra a continuación.

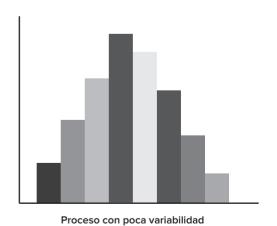
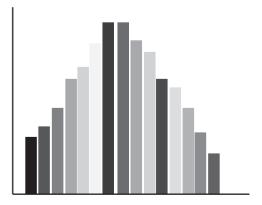


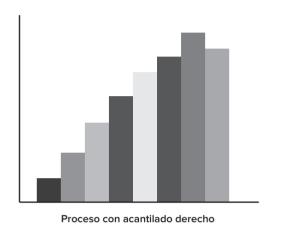
Figura 2-23 Histogramas y variabilidad.



Proceso con mucha variabilidad

A continuación una representación gráfica de un histograma que se conoce como acantilado derecho, a un lado queda una especie de precipicio (corte en la caída de la distribución)

y al otro una escalera. Al lado derecho de la figura se encuentra un histograma bimodal, es decir que tiene 2 modas, las modas están representadas por las 2 columnas más altas; este tipo de gráficas resulta cuando se han mezclado datos de 2 situaciones o realidades diferentes, como por ejemplo 2 máquinas, 2 operarios, 2 procesos distintos, turnos diferentes. En este último caso lo que corresponde es analizar o rastrear qué realidades fueron las que se mezclaron y trabajarlas por separado; es decir, investigar las causas de variación y corregirlas para mejorar la capacidad del proceso.

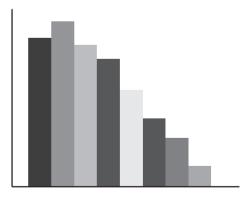


Proceso con 2 modas, bimodal, representa 2 situciones diferentes

Figura 2-24 Histograma con acantilado derecho y bimodal.

Las distribuciones bimodales o multimodales pueden deberse a causas como: variaciones significativas en los lotes de la materia prima, que pueden deberse a cambios en el producto o porque se utilizan materias primas de diferente proveedor; situaciones atribuibles a los instrumentos de medición como mala calibración o el haber utilizado diferentes instrumentos; cambios en las condiciones en que se corrió el proceso (dos condiciones diferentes).

Un histograma como el de la siguiente figura, refleja un acantilado izquierdo.



Proceso con acantilado izquierdo

Figura 2-25 Histograma con acantilado izquierdo.

Cuando existen acantilados, sean derechos o izquierdos, significa que la distribución está sesgada. El sesgo refleja una variable que cambia paulatinamente a causa de desgastes o desajustes. En algunos casos puede deberse a vicios al momento de recolectar datos. Hay



variables como los ciclos de vida que tienen desgastes naturales, como lo que sucede con la resistencia a la fatiga. Es importante poder detectar si el sesgo se debe a una situación especial; lo cual puede hacerse comparando los datos con otros obtenidos con anterioridad, trabajando siempre la misma variable (comparar con comportamientos pasados). Es decir siempre que hay un sesgo, se debe investigar la causa que generó ese cambio paulatino en la variable.

Estadísticamente esto se estudia a través del coeficiente de asimetría. Asimetría es la no simetría de los datos. En Microsoft Excel se calcula de la forma siguiente:

#### = COEFICIENTE.ASIMETRIA(A13:A64)

\*Nota: recuerde que A13:A64 representan el rango de celdas en las que introdujo los datos de su ejercicio.

#### Interpretación:

Coeficiente asimetría = 0 Los datos son simétricos.

Coeficiente asimetría > 0 Los datos son asimétricos hacia la derecha, es decir que en el lado derecho de la gráfica tiene la cola más larga.

Coeficiente asimetría < 0 Simétricos hacia la izquierda, la cola izquierda es la que tiene la mayor cantidad de datos.

Figura 2-26 Cálculo del coeficiente de asimetría en Excel y su interpretación.

#### Gráficamente se representa así:

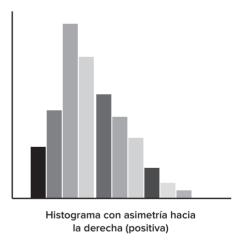
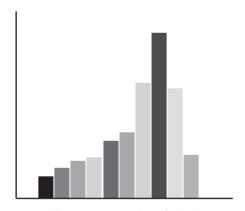


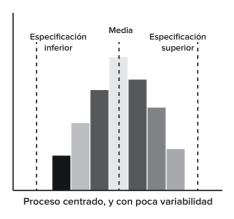
Figura 2-27 Histogramas con asimetría derecha e izquierda.



Histograma con asimetría hacia la izquierda (negativa)

La figura 2-27 que se presenta a continuación representan, al lado izquierdo, un histograma, centrado, con poca variabilidad y dentro de las especificaciones (es un caso casi ideal). Al lado derecho, se encuentra un histograma descentrado, con mucha variabilidad (de debe buscar a reducir la variabilidad en los procesos) y que está fuera de la especificación inferior.

Es importante analizar a fondo las causas por las cuales el histograma sea chato (ver la figura 2-28) o plano (con lo cual no se asemeja a la forma de la campana de la distribución normal); y el tratamiento en este caso es similar al que se hace cuando hay distribuciones bimodales.



Media Especificación Especificación inferior superior i

Proceso con mucha variabilidad y descentrado, fuera de la especificación

Figura 2-28 Histograma centrado y descentrado.

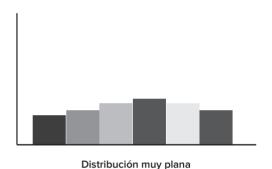


Figura 2-29 Histograma plano o achatado.

También se pueden presentar datos atípicos como en la siguiente figura:

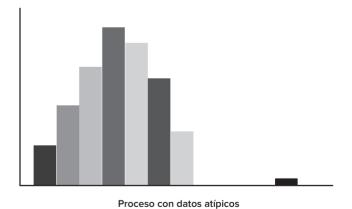


Figura 2-30 Histograma plano o achatado.

Los datos atípicos se encuentran representados con barras pequeñas que están separadas del resto de la distribución. En este caso se debe investigar por qué surgió, podría deberse a un error de medición, o porque al momento de llenar los registros se cometieron errores involuntarios (errores de dedo o de teclas). También se puede dar el caso que se midió un artículo que no correspondía al lote en estudio; caso contrario, lo pudo generar una situación muy especial que debe ser investigada.

# Aplicación práctica: histograma (práctica en EXCEL)

Nambro dal actudianto.		
Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Fecha:	Sección:	Calificación:
A continuación se presentan dos e	•	gramas en Microsoft Excel
Luego escriba su interpretación de	cada caso.	

1.	En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos por el maximo encestador
	de la selección de Basketball de la UNICAH. Elabore el histograma e interprételo.

15	15	23	24	18	20	18	20	20	19
12	11	19	20	21	21	20	21	17	21
17	17	20	10	23	18	60	25	19	19
16	23	21	20	18	21	19	19	21	20
14	23	20	21	19	20	21	15	18	21
18	18	19	20	16	23	18	20	21	20
19	20	14	19	17	20	21	18	18	21

(	Interpretación:	`
/		



2. A continuación se presentan los pesos (en kilogramos) de 110 botellas de champú. Elabore el histograma e interprételo.

5.99	5.97	6.00	6.00	5.96	5.98	5.97	6.00	5.98	5.97	5.95
5.97	5.98	6.02	5.98	5.98	6.00	5.97	5.98	5.96	6.00	5.97
5.96	6.00	5.95	5.99	5.99	5.96	5.98	5.98	5.98	6.00	5.99
6.00	6.02	5.98	6.00	5.98	6.01	5.99	5.97	6.00	5.97	5.98
5.99	5.97	5.99	6.04	5.99	5.97	5.98	5.99	5.96	5.99	5.99
5.99	5.97	5.93	5.99	5.98	6.01	5.99	5.97	6.01	6.00	5.99
5.96	6.00	6.01	6.03	6.00	5.96	5.98	6.01	5.98	6.01	5.98
6.01	5.98	5.97	6.00	5.98	5.99	6.01	5.98	6.01	5.94	6.01
5.95	5.98	5.99	5.99	6.00	5.98	5.95	6.00	5.99	6.00	5.96
5.99	5.98	5.98	5.97	6.02	5.98	6.01	5.97	6.01	6.01	5.97

Interpretación:			



#### 2.5 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto (DP), es una gráfica de barras que ayuda a ordenar datos de forma descendente, de izquierda a derecha.

El DP se fundamenta en el Principio de Pareto, o regla del 80-20. Recibe su nombre gracias a Vilfredo Federico Pareto. Estudió la distribución de la tierra en Italia y descubrió que aproximadamente el 20% de la población era dueña del aproximadamente el 80% de toda la tierra; y el 80% restante de la población sólo eran dueños del 20% de las tierras. Aunque Pareto aplicó su principio en al área de la distribución de la riqueza, fue Joseph Juran quien encontró la proporción 80-20 y lo aplicó en áreas diferentes a la economía. El principio de Pareto, también se le conoce como ley de pocos vitales muchos triviales; esto significa que de la variedad de problemas que existen en una empresa, hay pocos vitales, los cuales afectan la mayoría de los procesos y merecen la mayor atención (en la gráfica corresponden a las primeras columnas del lado izquierdo); y muchos triviales, pero que no merecen que se diluyan tantos recursos para tratar de solucionarlos, en la gráfica corresponden a las últimas columnas de izquierda a derecha.

El DP se utiliza cuando: se desea analizar datos sobre la frecuencia de problemas o causas en un proceso; hay muchos problemas o causas y pretende focalizarse en los más importantes.

A través del desarrollo de un caso, se explica a continuación cómo elaborar DP (Pinel, 2018).



#### **CASO**

En una empresa que trefila alambre se ha detectado un problema en el departamento de clavos: las cuchillas de las máquinas pierden filo constantemente.

Esta situación provoca bajas en la productividad y aumento de productos defectuosos.

Objetivo: reducir la frecuencia del afilado de cuchilla en la máquina de clavos.

En primera instancia el equipo investigador aplicó la lluvia de ideas y el análisis del problema a través del diagrama de causa-efecto. Diseñó una hoja de verificación para recolectar datos respecto de los principales problemas en ese departamento y se obtuvieron los siguientes resultados:

	Tabla 2-5	Problemas	en el	departamento	de clavos.
--	-----------	-----------	-------	--------------	------------

Problemas	Frecuencia
Cuchillas desgastadas	40
Dureza del alambre	8
Base de <i>spyder</i> no gira	3
Cuchillas de baja elaboradas con materiales de baja calidad	2
Problemas mecánicos	2
Total	55



Con los datos de la tabla, calcular la frecuencia acumulada, porcentaje y porcentaje acumulado.

En la tabla siguiente se muestran los resultados y la forma de obtenerlos.

Tabla 2-6 Cálculo de frecuencias para DP.

Problemas	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Cuchillas desgastadas	40	(copia frecuencia de la celda de la izquierda)	73% = (40/55)	73%
Dureza del alambre	8	48 = (40 + 8)	15% = (8/55)	87% = 73% + 15%
Base de <i>spyder</i> no gira	3 ∠	→ 51 = 48 + 3)	5% = (3/55)	93%
Cuchillas de baja ela- boradas con materia- les de baja calidad	2	53 = (51 + 2)	4% = <b>4</b> % (2/55)	96% = 93% + 4%
Problemas mecánicos	2	55 = (53 + 2)	4% = (2/55)	100%
Total	55		100%	

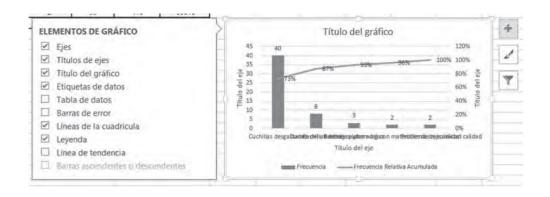
El siguiente paso es realizar la gráfica. Para esto, seleccione solo las celdas sombreadas como se muestra a continuación (problema, frecuencia y porcentaje acumulado)

Problemas	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Cuchillas desgastadas	40	40	73%	73%
Dureza del alambre	8	48	15%	87%
Base de <i>spyder</i> no gira	3	51	5%	93%
Cuchillas de baja elabora- das con materiales de baja calidad calidad	2	53	4%	96%
Problemas mecánicos	2	55	4%	100%
Total	55		100%	

Recuerde que para seleccionar celdas en Excel se seleccionan celdas no adyacentes así:

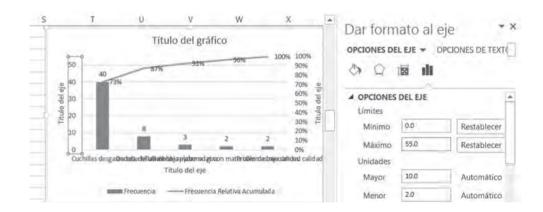
Seleccione el primer rango de celdas, luego mantenga presionada la tecla Ctrl y seleccione el otro rango de celdas.

A continuación dé clic en el menú Insertar, seleccione Gráficos recomendados, luego escoger la opción Columna Agrupada-Línea en Eje Secundario y haga clic en Aceptar. Se generará un gráfico como el siguiente.



Selecciones el gráfico, dé clic en el botón en forma del signo + y se desplegará el cuadro de diálogo de la izquierda. Active ejes, título de ejes, título de gráficos, etiquetas de datos y leyenda.

Ahora se deben formatear los ejes. Selecciones el eje Y izquierdo (notará que al seleccionarlo aparece un rectángulo con un punto en cada esquina), dar formato al eje, opciones del eje. Se deben editar los límites máximo y mínimo. El máximo debe coincidir con el total de datos, en este caso es 55; y el mínimo debe dejarse en cero así:



Lo mismo se debe hacer con el eje Y de la derecha. Deje el valor mínimo en cero y el máximo en 1. En el gráfico anterior ya aparecen formateados ambos ejes. Falta editar los títulos de los ejes y el del gráfico. Alargando el gráfico hacia abajo, se modifica la apariencia y se da espacio para que los nombres de las columnas sean más legibles. Juegue y experimente con las diferentes opciones que ofrece Excel para formatear los gráficos, al final el gráfico ya terminado debe ser similar al que se muestra a en la figura 2-31.

Se le llama de primer nivel, ya que constituye el nivel de análisis más sencillo, hasta el momento sólo se detectó el principal problema, que es cuchillas desgastadas, lo cual está generando el 73% del total de problemas que se presentaron. Es decir que los pocos vitales, en este caso son las cuchillas desgastadas. Si la empresa ataca este problema, estará solucionando el 73% del total. Es decir, es el problema prioritario a resolver, el problema de mayor impacto en el departamento de clavos.

#### Diagrama de Pareto de primer nivel Principales problemas en el departamento de clavos

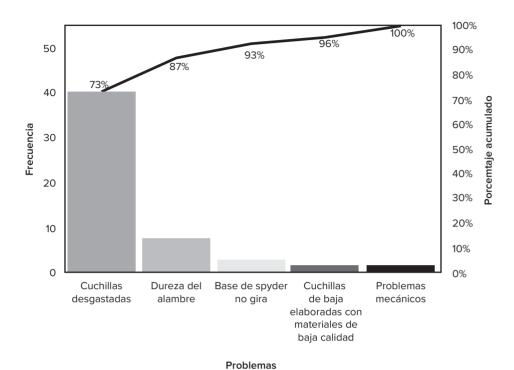


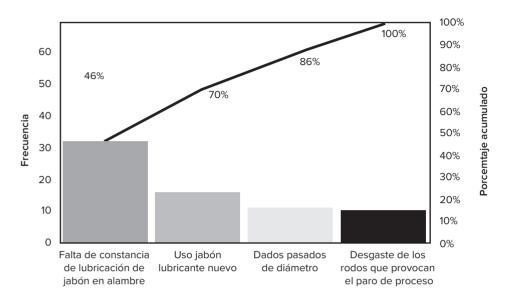
Figura 2-31 Diagrama de Pareto de primer nivel / Departamento de clavos.

Ahora el análisis debe recaer en averiguar por qué las cuchillas están desgastadas. Para eso aplican nuevamente las herramientas como lluvia de ideas u hojas de verificación obteniendo datos como los siguientes:

 Tabla 2-7
 Principales causas del desgaste de cuchillas en el departamento de clavos.

Problemas	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relati- va acumulada
Falta de constancia de lubricación de jabón en alambre	32	32	46%	46%
Uso jabón lubricante nuevo	16	48	23%	70%
Dados pasados de diámetro	11	59	16%	86%
Desgaste de los rodos que provocan el paro de proceso	10	69	14%	100%
Total	69		100%	

#### Pareto segundo nivel Causas de desgaste de cuchillas



#### Causas de desgaste

Figura 2-32 Diagrama de Pareto de segundo nivel / principales causas de desgaste de cuchillas en el departamento de clavos.

Del DP anterior se concluye que la empresa debe enfocarse en la constancia de lubricación con jabón, lo cual representa los pocos vitales, y al atacar esta causa, se estarán solventando el 46% del total de los problemas.

Notas		

### Aplicación práctica: diagrama de Pareto

Nombre del estudiante:			
Número de cuenta:			
Fecha:	Sección:	Calificación:	

Con la información que se presenta a continuación elabore e interprete el DP.

1. Un hotel está interesado en conocer sus pocos vitales y muchos triviales. Un estudiante de la UNICAH que está realizando la práctica profesional supervisada, revisó el buzón de quejas y obtuvo la siguiente información:

Principales quejas	Frecuencia
Mala atención en la recepción	80
La información sobre las excursiones es insuficiente	60
Subieron los precios	15
La comida estaba fría	12
La sábanas estaban sucias	6
El personal del restaurante es descortés, grosero	3
Total	176



Notas	



#### 2.6 Diagrama causa y efecto

El diagrama Causa Efecto (CE), también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de Ishikawa (ya que el profesor Kaoru Ishikawa fue quien lo creó en 1943 en la Universidad de Tokio), se fundamenta en la pregunta ¿por qué se producen las variaciones en los procesos? Algunas de las posibles respuestas son:

- Las materias primas
- · Las máquinas o equipos
- Los métodos de trabajo

Para el caso, las materias primas varían de medidas, proveedores, especificaciones. Los rendimientos de las máquinas son diferentes o incluso en una misma máquina de acuerdo al tiempo de uso. También los métodos de trabajo varían voluntaria o involuntariamente entre un operario y otro. Todos estos elementos introducen variabilidad en los procesos, lo cual se refleja en los histogramas y otras herramientas de la calidad.

Los efectos se producen en las características de calidad y las causas son factores de variación. El diagrama CE ayuda a organizar las causas de dispersión y a identificar las relaciones entre ellas.

#### Realizando el diagrama CE

El primer paso consiste en tener clara la característica de calidad o el efecto que se va a estudiar. Es algo que se desea mejorar y controlar. Luego de entrar a Microsoft Visio, en la sección de empresas seleccionar Diagrama Causa Efecto, Crear, aparecerá un esquema como el de la figura siguiente:

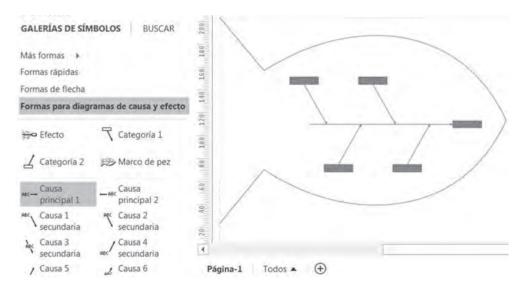


Figura 2-33 Creación del diagrama causa efecto.

En al parte inferior izquierda de su pantalla aparece la caja de Formas para Diagramas de Causa y Efectro. Para utilizarlas sólo tiene que arrastarlas con el mouse y soltarlas encima del diagrama. En la siguiente imagen se presenta un esquema para elaborar el diagrama CE con las seis emes, que son las seis categorías principales que introducen variación en los proceos, y todas inician con la letra eme. El efecto se coloca en la cabeza



del pescado. Tambien se dejaron rotuladas causas principales, secundarias y terciarias. Las seis emes es el método más utilizado, especialmente en las áreas de ingenierías. En otras ramas del saber, los nombres de las categorías pueden cambiar para adaptarlos más a la organización o empresa o su área profesional.

Figura 2-34 Esquema diagrama CE con las 6 emes.

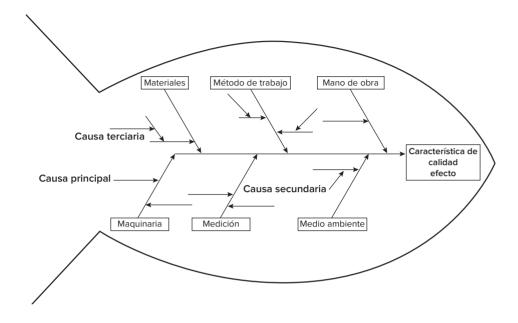
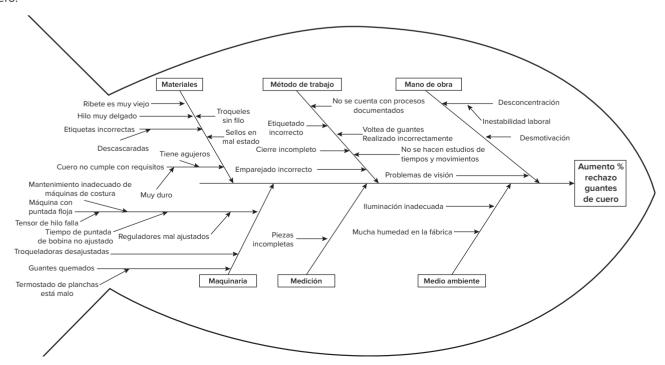


Figura 2-35 Diagrama CE tipo seis emes /aumento % rechazo en guantes de cuero.

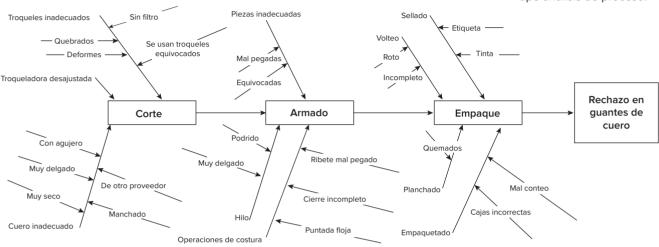
Es importante mencionar que las causas de cada categoría surgen de una lluvia de ideas, luego las ideas se clasifican y grafican en la categoría que pertenecen hasta completar el diagrama. Una vez terminado el diagrama, se analiza qué espina o categoría tiene la mayor cantidad de causas y se enfoca en atacar esas causas hasta reducir la variabilidad. A este nivel se puede auxiliar de otras herramientas de la calidad para constatar si se redujo o no la variabilidad.



Es importante mencionar que los diagramas de CE no sólo se utilizan en el área de calidad, también son últiles en investigación, mercadotecnia, manufactura, etc. En la figura 2-34 se presenta un diagrama de CE finalizado.

En la sigueinte figura se presnta un diagrama CE tipo análisis de proceso, en el que se sustituyen las seis emes por las etapas (en secuencia) principales del proceso de producción. Para llenarlo se va analizando una por cada etapa del proceso de producción e identificando las posibles causas hasta llegar al final del proceso.

Figura 2-36 Diagrama CE tipo análisis de proceso.



Es importante mencionar que el diagrama CE no solo se usa cuando se trabaja con problemas del área de calidad. Es una herramiena que puede utilizarse en cualquiér área, en cualquier situación. A continuacion se presenta un ejemplo de diagrama CE aplicado en en área de Gestión del talento humano para mejorar las relaciones un equipo de trabajo. Es un diagrama CE tipo enumeración de causas diversas (no se utilizan las seis emes).

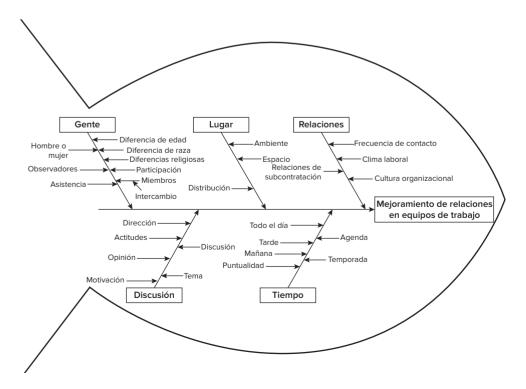


Figura 2-37 Diagrama CE tipo enumeración de causas diversas / mejoramiento de relaciones en equipos de trabajo.

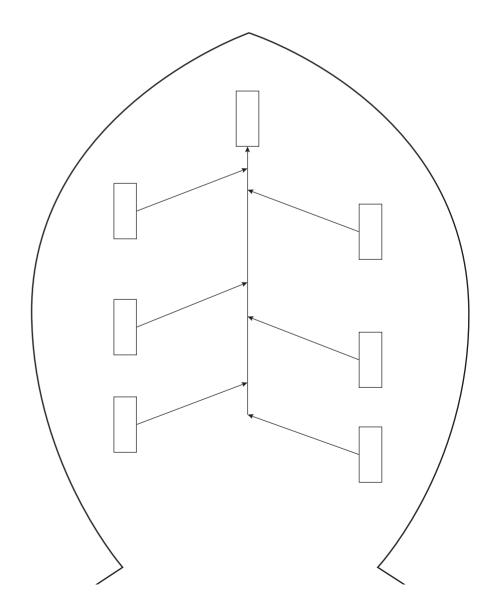
Notas	

## Aplicación práctica: diagrama Causa Efecto

Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Fecha:	Sección:	Calificación:

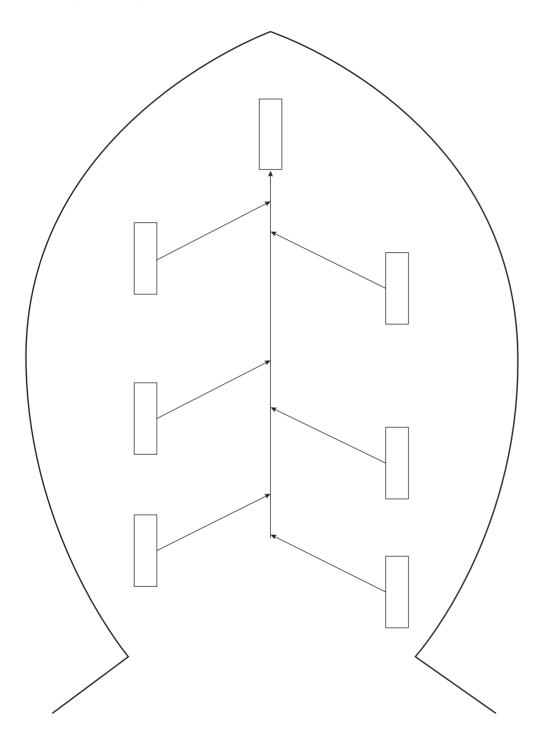
Elabore un diagrama Causa Efecto para cada situación que se le presenta a continuación.

1. La UNICAH está interesada en conocer las principales causas de reprobación de los estudiantes en la clase de Matemáticas. Utilice el diagrama CE tipo enumeración de causas diversas.

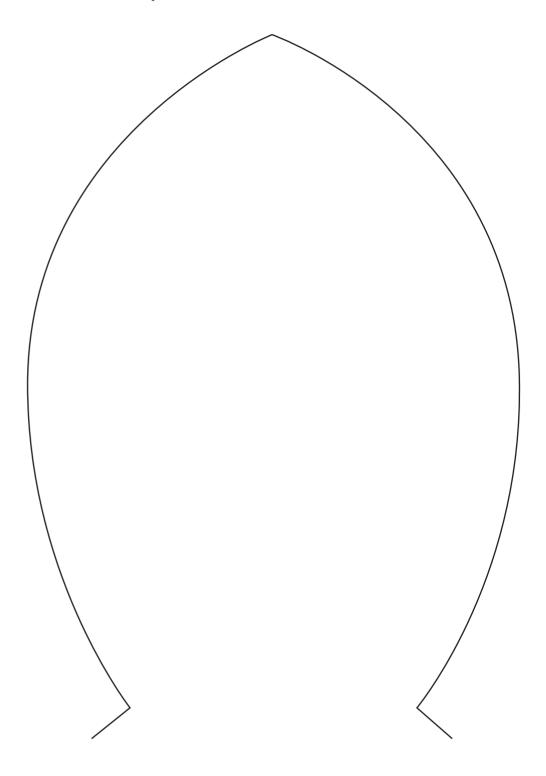




**2.** Elabore un diagrama CE de una situación o problema de su área de estudio. Utilice Diagrama CE tipo seis emes o enumeración de causas diversas.



Elabore un diagrama CE de una situación o problema de su área de estudio. Utilice el método de análisis de proceso



Notas	



## 2.7 Diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión es una herramienta que se utiliza para determinar la relación existente entre dos variables. Una de las variables es independiente y se grafica en eje X, normalmente es la variable más controlable; la otra variable es dependiente y se grafía en el eje Y.

En la siguiente tabla se presentan los datos de una muestra donde se midió la velocidad de un automóvil y el rendimiento de la gasolina.

Tabla 2-8 Date	s velocidad (	de automóvil v	y rendimiento de	e combustible.
----------------	---------------	----------------	------------------	----------------

Número de muestra	Velocidad en millas/hora	Rendimiento en millas/galón
1	29	37
2	29	34
3	34	34
4	34	29
5	39	32
6	39	27
7	44	31
8	44	28
9	49	25
10	49	30
11	54	31
12	54	20
13	59	21
14	59	21
15	64	17
16	64	23

En primer lugar, elabore la tabla en Microsoft Excel, tenga el cuidado de meter todos los datos de la variable dependiente en una columna y los de la variable independiente en otra; es decir, trabajando con parejas de datos, incluso al momento de ingresar datos en Excel puede obviar la columna del número de la muestra y sólo trabajar las otras dos.

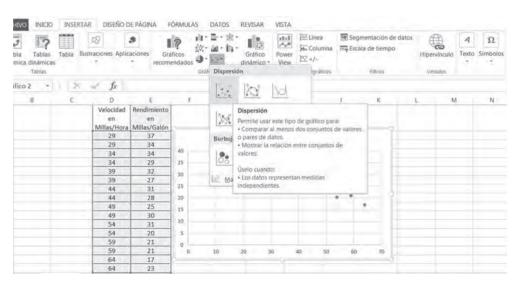


Figura 2-38 Pasos para crear diagrama de dispersión en Excel.



Seleccione todas las celdas en las que introdujo los pares de datos de las variables, luego dé clic en el menú Insertar, clic en gráfico, luego escoja la opción de dispersión y automáticamente se generará el gráfico, ver la figura 2-37.

En este punto, sólo falta modificar un poco la gráfica o diagrama hasta que se vea similar a la que se muestra a continuación. Seleccionando el gráfico le aparecerá al lado derecho el botón con el signo +, dé clic y se desplegará la lista de los elementos del gráfico, active títulos de eje y línea de tendencia.

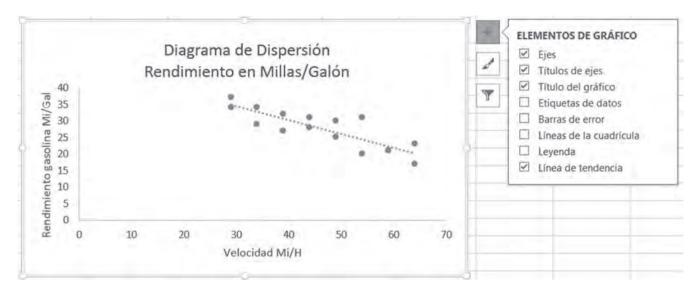


Figura 2-39 Diagrama de dispersión velocidad / rendimiento de gasolina.

## Interpretando el diagrama de dispersión

Calcular e interpretar el coeficiente de correlación como sigue:

#### = COEF.DE.CORREL (D2:D17,E2:E15)

\*Nota: D2:D17 representan las celdas en las que se encuentran los datos de la variable velocidad. E2:E15, son las celdas en las que se ingresaron los datos de rendimiento.

#### Interpretación:

Coeficiente de correlación = 1 Existe una correlación perfecta positiva. Pero en este caso por lo general nunca se da.

Coeficiente de correlación = 0 No existe correlación, si da cero o muy cercano a cero,

Coeficiente de correlación = -1 Existe una correlación perfecta negativa. Pero en este caso por lo general nunca se da.

Por lo general se consideran correlaciones fuertes positivas cuando el coeficiente de correlación de mayor o igual a 0.6, entre más próximo a 1, es más fuerte. Entre 0.4 y 0.6 son correlaciones moderadas positivas. La misma interpretación se hace con las correlaciones negativas, por ejemplo un coeficiente de correlación de -0.85, indica una correlación fuerte negativa.

Figura 2-40 Cálculo del coeficiente de correlación.

Para el caso del ejercicio que se está desarrollando en Excel, el coeficiente de correlación resulta ser -0.848834743, lo cual representa una correlación fuerte negativa. Es decir que a medida que aumenta la velocidad disminuye el rendimiento de la gasolina.

Para aclarar la interpretación de las diagramas de correlación se presenta la siguiente figura.

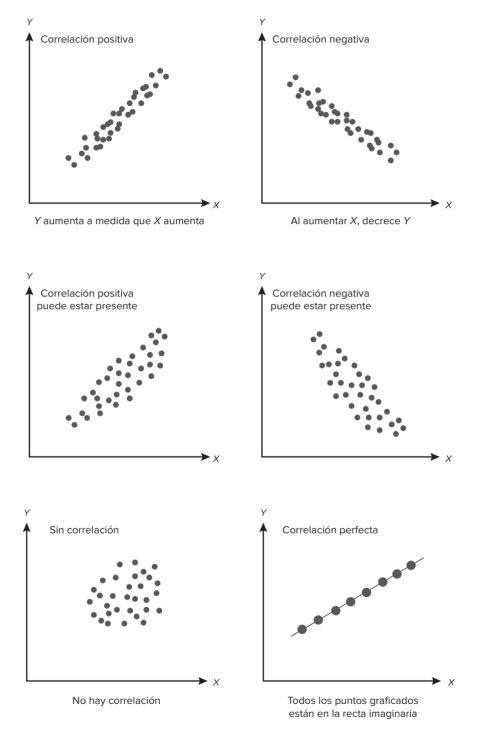


Figura 2-41 Representación gráfica de correlaciones.

Notas	

# Aplicación práctica: diagrama de dispersión (EXCEL)

Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Numero de cuenta.		
Fecha:	Sección:	Calificación:

1. A continuación se presentan los datos obtenidos de la temperatura de una bebida refrescante y el porcentaje de espuma. Elabore en Excel el diagrama de dispersión, calcule el coeficiente de correlación en intérprete sus resultados.

Temperatura en °F	% de Espuma
38	17
40	21
39	23
46	32
41	38
43	22
49	27
41	38
42	24
46	25
41	34
40	35
42	22
47	29
51	37
52	40
50	42
48	44
43	32

rrelación en intérprete sus resultados.		
El coeficiente de correlacion es: Interpretación:		

Notas	

# Aplicación práctica: diagrama de dispersión (EXCEL)

Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Numero de cuenta.		
Fecha:	Sección:	Calificación:

**2.** Con los datos de la siguiente tabla, elabore en Excel el diagrama de dispersión. Calcule el coeficiente de correlación e interprete sus resultados.

Horas de uso de máquina	Milímetros fuera del centro
31	1.11
32	1.22
33	1.01
34	1.22
35	1.26
36	1.24
37	1.25
38	1.29
39	1.31
40	1.31
41	1.39
42	1.36
43	1.39
44	1.39
45	1.41
46	1.43
47	1.46
48	1.46
49	1.51
50	1.59

El coeficiente de correlacion es: Interpretación:	

Motas	



# Gráficas de control

## Objetivos de aprendizaje

- Aprender a elaborar las cartas de control.
- Interpretar las diferentes cartas de control.

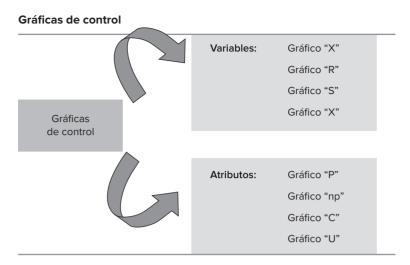


Figura 3-1 Cartas de control.

### Introducción

En la actualidad la competencia en los mercados se ha intensificado, de tal forma que los controles de calidad son fundamentales para competitividad de las empresas comerciales, obligando a reformar los programas de control de calidad en los procesos.

Dentro de los programas de control estadístico de la calidad se encuentran las cartas de control, las cuales se clasifican según según la naturaleza de sus datos (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2013).

Cartas de control para variables

- Carta de control para la media " $\overline{X}$ "
- Carta de control para rango "R"
- Carta de control de desviación "S"
- Carta de control de Individuales "X"

Carta de control por atributos

- Carta de proporción de artículos defectuosos "P"
- Carta de número de artículos defectuosos "np"
- Carta de número de defectos en la muestra "C"
- Carta de numero de defectos por unidad "U"

En este capítulo se presentan algunas de las herramientas de control estadístico de calidad en los procesos más utilizadas en los mercados por su efectividad en la productividad y satisfacción de las partes interesadas, asimismo se referencian algunos conceptos básicos relacionados con las cartas de control de tipo variable y de atributo, tomando en cuenta la naturaleza de las causas de variación.

## 3.1 Causas comunes y especiales de variación

En la vida se tiene la certeza de que todo cambia, desde hábitos aprendidos, diseños o métodos implementados y las expectativas de los clientes, hay un sin número de referencia de variación. Los procesos no están excentos de tales cambios o variaciones por lo cual es necesario que las empresas analicen los diferentes factores que intervienen y permiten que esta variación se clasifique según su naturaleza.



- Variación por causas comunes o aleatorias, es la variante propia de los procesos y es constante día a día, lote a lote porque es una característica esencial de los procesos, métodos y materias primas, por lo que son difíciles de identificar, pero constituye la más grande oportunidad de mejora.
- Variación por causas especiales atribuibles o asignables, es provocada por situaciones que no son propias del sistema de causas comunes, por su naturaleza relativamente discreta y que puede provocar que un proceso esté fuera de control estadístico (Webster, 2008).

Los dos tipos de variación conducen a que se cometan dos tipos de errores en la acción cotidiana por enmendar. Error tipo 1: reacciona ante un cambio asumiendo que se debe a una causa común o propia del proceso, cuando en realidad se trata de una causa asignable que provoca que el proceso se salga de control estadístico. Error tipo 2: trata a una causa especial como causa común o asignable, provocando dificultades en la mejora de los procesos.

El objetivo principal de una carta de control es observar y analizar el comportamiento o variabilidad de un proceso a través del tiempo para definir las causas reales de la variación en el comportamiento de los procesos, sin importar si son por causas comunes o asignables y facilitar las acciones de mejora y control.

### 3.2 Elementos básicos de una carta de control

Definición de las gráficas de control: "Método gráfico para evaluar si un proceso está o no en un estado de control estadístico" (Feigenbaum, 1997).

**Carta de control:** Es un registro gráfico de la calidad de una característica en particular, mostrando si el proceso está o no estable.

**Proceso:** Cualquier interacción ordenada de hombres, máquinas, herramientas, materias primas y método de trabajo en sus instalaciones físicas, con el objeto de producir un resultado determinado.

**Variable:** Característica de calidad que puede medirse: peso, temperatura, velocidad, humedad, tiempo de funcionamiento.

Causa asignable de variación: Son aquellas a las cuales podemos atribuir específica y directamente un resultado de calidad que discrepa notoriamente del esperado si la fluctuación fuera estable, como por ejemplo; condiciones ambientales (aseo, orden, iluminación, temperatura, ruido, humedad, vibraciones, contaminación), ayudas de producción como plantillas, dispositivos, y la naturaleza de la gerencia y de la supervisión o énfasis que ponen en la cantidad o en la calidad o en ambas, relaciones y comunicaciones.

Causas no asignables de variación: cuando un proceso se analiza mediante cartas de control de procesos estadísticos y refleja un patrón estable de fluctuación, se dice que está influenciado solamente por causas comunes o ambientales de variación, llamadas causas no asignables o aleatorias y son aquellas causas que afectan por igual y en forma casi permanente al proceso, entre ellas cabe mencionar; conocimiento, experiencia y habilidad del personal, naturaleza de las materias primas utilizadas, adecuación y estado de la maquinaria, métodos y procedimientos de fabricación.

Límites de control: estos indican la variabilidad esperada para un estadístico, como son la media y el rango de una variable de un proceso; estos se determinan a partir de los datos por lo que son diferentes a las especificaciones o tolerancias dadas a las variables".

**Límites de probabilidad:** son los límites de control y se calculan de forma explícita con la distribución de probabilidades del estadístico que se grafica en la carta para que logren un porcentaje de cobertura dado de la variabilidad (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2013).



### 3.3 Uso de las cartas de control

Para las empresas puede ser peligroso depender de la información que se mantiene solo en los recuerdos de cada empleado, debido a que cuando se trata de variación en las características de calidad de un proceso es necesario conocer con exactitud la causa que provoca la anormalidad o la variación para focalizar esfuerzos en controlar, mejorar e innovar los métodos y procesos y evaluar la capacidad del mismo para poder determinar si el proceso está o no en control y dejar de depender de una administración basada en intuición o reacción al momento de tomar decisiones en los procesos productivos como administrativos, convirtiéndose en una herramienta especializada en el estudio de la variabilidad en los procesos productivos. También sirve para determinar si el proceso está o no bajo control estadístico, o si se están aplicando los niveles de responsabilidad para tomar acciones correctivas o contundentes para mejorar la calidad, y determinar los parámetros del proceso X y sigma, cuando éste se encuentra bajo control estadístico.

### 3.4 Límites de las cartas de control

Se considera que los límites de control son diferentes de las especificaciones, tolerancias o deseos de resultados de los procesos, ya que se calculan en las gráficas de acuerdo a los datos de las variables que se pretenden presentar en las cartas, por lo que se recomienda establecer límites que cubran la variación natural del proceso (Gutiérrez Pulido, *Calidad y productividad*, 2014).

La manera más utilizada por las empresas en el cálculo de los límites de control es la propuesta por el doctor Walter A. Shewhart, la cual consiste en obtener los límites de forma sencilla a partir de la relación que existe entre la media y la desviación estándar considerando una distribución normal con  $\pm 3$  desviaciones abarcando en 99.73% los datos de las variables, sin embargo cabe mencionar que existen otras distribuciones que se pueden utilizar en el cálculo de límites de cartas según las necesidades que estas tengan (Feigenbaum, 1997).

## 3.5 Carta media – Rango

En la industria se utilizan estas cartas porque son apropiadas para procesos productivos masivos que manufacturan muchas piezas o partes en periodos de tiempo predeterminados y permiten llevar un registro de ello. Ya que la carta R mide la variación en la amplitud de la dispersión, mientras que la carta  $\overline{X}$  analiza la variación entre las medias de los subgrupos para detectar cambios en la media de los procesos (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008).

## Consideraciones generales acerca de las muestras o subgrupos racionales para las cartas de control $\overline{X}$ y R

Las muestras que seleccionamos deben llenar algunos requisitos mínimos y tener en cuenta consideraciones relacionadas con el cómo, cuándo, cuánto y dónde tomarlas, es decir, aspectos relacionados con tamaño, frecuencia y puntos de obtención, los cuales indicarán la capacidad de las cartas para detectar causas significativas de variación.

Existen tres principios a considerar. En primer lugar hay un principio general que gobierna la obtención de las muestras: las muestras deben escogerse de tal manera que permitan la máxima posibilidad de similitud interna u homogeneidad dentro de cada muestra, y la máxima oportunidad de variación entre muestras consecutivas.

En segundo lugar, las muestras deben reflejar el orden cronológico en que se desarrolla la producción.

En tercer lugar, las muestras deben obtenerse en aquellos puntos o momentos del proceso que corresponden a un sistema único de causas de fluctuación.



## Los límites de la carta $\overline{X}$ se calculan de la siguiente manera:

Basados en los límites de control de las cartas tipo Shewhart que están determinados por la media y la desviación estándar del estadístico a graficar, se utiliza la siguiente expresión:  $\mu \pm 3\sigma$ , considerando a  $\mu$  como la media de los subgrupos por lo que sus límites son;

Donde  $\sigma$  es la desviación estándar de las medias que se debe estimar inicialmente de la siguiente manera;

$$\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Indicando que tanta variación tienen las mediciones individuales considerando a *n* como el tamaño de la muestra. Mientras que Sigma es la desviación estándar o tipo de distribución de frecuencias de las características de calidad que se pretenden analizar. Esto se complementa con la aplicación de la medidas de tendencia central (media, moda y mediana) y las medidas de dispersión (varianza y desviación estándar).

A continuación se presenta la tabla de factores para las cartas de control.

Tabla 3-1 Factores de cartas de control.

Observaciones en la muestra, n	d <sub>2</sub>	$A_{2}$	d <sub>3</sub>	<b>D</b> <sub>3</sub>	$D_4$
2	1.128	1.880	0.853	0	3.267
3	1.693	1.023	0.888	0	2.574
4	2.059	0.729	0.880	0	2.282
5	2.326	0.577	0.864	0	2.114
6	2.534	0.483	0.848	0	2.004
7	2.704	0.419	0.833	0.076	1.924
8	2.847	0.373	0.820	0.136	1.864
9	2.970	0.337	0.808	0.184	1.816
10	3.078	0.308	0.797	0.223	1.777
11	3.173	0.285	0.787	0.256	1.744
12	3.258	0.266	0.778	0.283	1.717
13	3.336	0.249	0.770	0.307	1.693
14	3.407	0.235	0.763	0.328	1.672
15	3.472	0.223	0.756	0.347	1.653
16	3.532	0.212	0.750	0.363	1.637
17	3.588	0.203	0.744	0.378	1.622
18	3.640	0.194	0.739	0.391	1.608
19	3.689	0.187	0.734	0.403	1.597
20	3.735	0.180	0.729	0.415	1.585

Continúa



Continuación

Observaciones en la muestra, <i>n</i>	$d_{_2}$	$A_{_2}$	d <sub>3</sub>	$D_3$	$D_4$
21	3.778	0.173	0.724	0.425	1.575
22	3.819	0.167	0.720	0.434	1.566
23	3.858	0.162	0.716	0.443	1.557
24	3.895	0.157	0.712	0.451	1.548
25	3.931	0.153	0.708	0.459	1.541

Fuente: Adaptada de la tabla 27 de ASTM STP 15D, ASTM Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis. Copyright 1976 American Society for Testing and Materials, Filadelfia, PA. Impreso con autorización.

## Pasos para la elaboración de gráficas de control para medias y rangos

- Paso 1: Defina la característica de calidad.
- Paso 2: Escoja el subgrupo racional.
- Paso 3: Reúna los datos necesarios.
- Paso 4: Calcule la línea central de ensayo y los límites de control de prueba.
- Paso 5: Defina la línea central revisada y los límites de control reales.

## Interpretación de las cartas de control estadístico

En la interpretación de las cartas se consideran los cambios especiales en el proceso. Estos cambios se manifiestan cuando un punto cae fuera de los límites de control superior o inferior, o cuando los puntos graficados en la carta siguen un comportamiento no aleatorio. Por ejemplo, una tendencia a la alza o un movimiento cíclico (Gutiérrez Pulido, *Calidad y productividad*, 2014).

Lo primero que se hace es dividir la carta de control en seis zonas o bandas iguales, cada una con una amplitud similar a una desviación estándar según el estadístico de Shewhart (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, *Control estadístico de la calidad y seis sigma*, 2013).

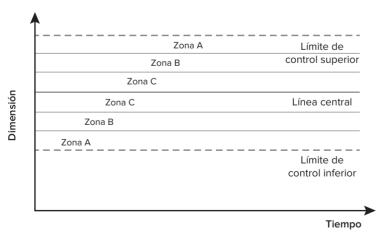


Figura 3-2 Zonas para análisis de cartas.

En segundo lugar se presentan cinco patrones para el comportamiento de los puntos en una carta, así como las causas de los comportamientos de las mismas.

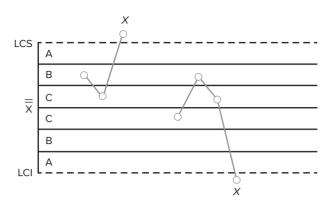


Figura 3-3 Patrón 1. Desplazamiento o cambios en el nivel del proceso.

Este patrón ocurre cuando uno o más puntos se salen de los límites de control o cuando hay una tendencia larga y clara a que los puntos consecutivos caigan de un sólo lado de la línea central. Estos cambios especiales pueden deberse a la introducción de nuevos trabajadores, máquinas, materiales o métodos.

Cambios en los métodos de inspección. Una mayor o menor atención de los trabajadores. Un proceso mejor o peor.

Cuando este patrón ocurre en las cartas  $\overline{X}$ , p, np, u o c, se dice que hubo un cambio en el nivel promedio del proceso; por ejemplo, en las cartas de atributos eso significa que el nivel promedio de disconformidades se incrementó o disminuyó, mientras que en la carta  $\overline{X}$  implica un cambio en la media del proceso.

En la carta R un cambio de nivel significa que la variabilidad aumentó o disminuyó, aunque por la falta de simetría de la distribución de R, el patrón del lado inferior de estas cartas se debe ver con más reservas y esperar a acumular más puntos por abajo de la línea central para declarar que hay un cambio significativo, siendo esta una disminución de la variabilidad (Gutiérrez Pulido, Calidad y Productividad, 2014).

Los criterios usuales para ver si este patrón se ha presentado son:

- Un punto fuera de los límites de control.
- Una tendencia clara y larga a que los puntos consecutivos caigan de un solo lado de la línea central.

Tres pruebas concretas para este patrón son:

- a) Ocho o más puntos consecutivos de un sólo lado de la línea central.
- b) Al menos 10 de 11 puntos consecutivos caen de un mismo lado de la línea central.
- c) Por lo menos 12 de 14 puntos consecutivos ocurren por un mismo lado de la línea central.

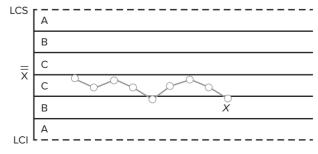


Figura 3-4 Patrón 2. Tendencias en el nivel del proceso.



Este patrón consiste en una tendencia a incrementar (o disminuir) los valores de los puntos en la carta. Una tendencia ascendente o descendente bien definida y larga se puede deber a algunas de las siguientes causas especiales, como son el deterioro o desajuste gradual del equipo de producción o al desgaste de las herramientas de corte.

Para determinar si existe una tendencia en el proceso, se siguen los siguientes criterios:

- Seis o más puntos consecutivos ascendentes (o descendentes).
- Un movimiento de muchos puntos hacia arriba (o hacia abajo) de la carta de control, aunque no todos los puntos vayan en ascenso (o descenso).
- Se muestra una tendencia creciente de los puntos, que es demasiado larga para considerarse que es ocasionada por variaciones aleatorias, por lo que más bien es señal de que algo especial (desplazamiento) está ocurriendo en el proceso correspondiente.

En ocasiones pueden presentarse aparentes tendencias causadas por variaciones naturales y del muestreo del proceso, por eso la tendencia debe ser larga para considerarla especial.

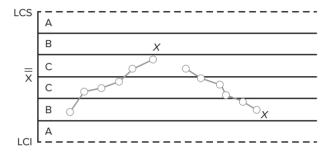


Figura 3-5 Patrón 3. Ciclos recurrentes (periodicidad).

Otro movimiento no aleatorio que pueden presentar los puntos en las cartas es un comportamiento cíclico de los puntos. Por ejemplo, se da un flujo de puntos consecutivos que tienden a crecer y luego se presenta un flujo similar pero de manera descendente y esto se repite en ciclos.

Cuando un comportamiento cíclico se presenta en la carta , entonces las posibles causas son:

- Cambios periódicos en el ambiente.
- Diferencias en los dispositivos de medición o de prueba que se utilizan en cierto orden.
- Rotación regular de máquinas u operarios, por ejemplo el efecto sistemático producido por dos máquinas, operarios o materiales que se usan alternadamente.

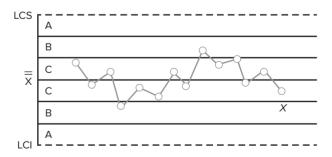


Figura 3-6 Patrón 4. Alta variabilidad.

Una señal de que en el proceso hay una causa especial de alta variación, es que se manifiesta mediante la alta proporción de puntos cerca de los límites de control, a ambos lados de la línea central, y pocos o ningún punto en la parte central de la carta. En estos casos se dice que hay una alta variabilidad (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008).



Algunas causas que pueden afectar a la carta de esta manera son:

- Exceso de control o ajustes innecesarios en el proceso.
- Diferencias sistemáticas en la calidad del material o en los métodos de prueba.
- Control de dos o más procesos en la misma carta con diferentes promedios.

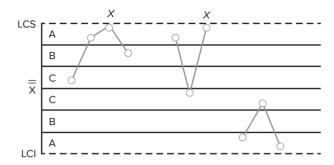


Figura 3-7 Patrón 5. Falta de variabilidad y estatificación.

Una señal de que hay algo especial en el proceso es que prácticamente todos los puntos se concentren en la parte central de la carta, es decir, que los puntos reflejen poca variabilidad o estatificación. Algunas de las causas que pueden afectar a todas las cartas de control de esta manera son:

- Equivocación en el cálculo de los límites de control.
- Agrupamiento en una misma muestra de datos provenientes de universos con medias bastantes diferentes, que al combinarse se compensan unos con otros,
- Carta de control inapropiada para el estadístico graficado.

Para detectar falta de variabilidad se tienen los siguientes criterios:

• Quince puntos consecutivos en la zona C, arriba o abajo de la línea central.

## + EJEMPLO 1

En un proceso de llenado de yogurt de fruta se han tomado las muestras del proceso de llenado al final de la línea de producción. Se quiere saber si el proceso de llenado está bajo control estadístico y si está cumpliendo con las especificaciones.

La empresa tiene como especificaciones que cada lata de yogurt esté en un promedio de 10 onzas de yogurt con una tolerancia de  $\pm$  2 onzas.

- a) Encuentre si el proceso de llenado de las latas de yogurt está bajo control estadístico.
- b) Encuentre los parámetros de centramiento y dispersión.
- c) ¿Está cumpliendo el proceso de llenado con las especificaciones de la empresa?

En la tabla se presentan los datos de una muestra que tiene n = 5 y de 20 lotes.

**Tabla 3-2** Datos para cartas de control  $\overline{X}$  y R.

N° de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	11.1	9.6	9.7	10.1	12.4	10.1	11	11.2	10.6	8.3	10.6	10.8	10.7	11.3	11.4	10.1	10.7	11.9	10.8	12.4
2	9.4	11	10	8.4	10	10.2	11.5	11	10.4	10.2	9.9	10.2	10.7	11.4	11.2	10.1	12.8	11.9	12.1	11.1
3	11.2	10	10	10.2	10.7	10.2	11.8	10.9	10.5	9.8	10.7	10.5	10.8	10.4	11.4	9.7	11.2	11.6	11.8	10.8
4	10.4	11	9.8	9.4	10.1	11.2	11	11.2	10.5	9.5	10.2	8.4	8.6	10.6	10.1	9.8	11.2	12.4	9.4	11
5	10.1	11	10.4	11	11.3	10.1	11.3	11	10.9	9.8	11.4	9.9	11.4	11.1	11.6	10.5	11.3	11.4	11.6	11.9

## Desarrollo de la carta promedio

Se inicia calculando el promedio para cada lote o columna de la tabla de datos del ejemplo y el rango de la misma. Una vez definido el tamaño de la muestra o filas de los datos, se procede a la tabla de factores para la construcción de las cartas de control. En este caso la formula requiere un valor de  $A_2=0.577$  y  $\sigma$  es igual a

$$\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = (\overline{R} / d_2) \div \sqrt{n}$$

o se sustituye la desviación estándar por el producto de la gran media y el valor del rango promedio  $(\overline{R})$  (Webster, 2008).

$$\sum \overline{X} = 213.2$$
  $\sum \overline{X}/n = 213.2/20 = 10.66$   $\overline{X} = 10.66$   $\sum R = 31.8$   $\sum R/n = 31.8/20 = 1.59$   $\overline{R} = 1.59$  Para  $n = 5 = A_2 = 0.58$ ;  $D_3 = 0$ ;  $D_4 = 2.11$ ;  $d_2 = 2.326$ 

#### Formula de límites;

$$\begin{array}{ll} \text{Limite de control superior} &= \mu + 3\sigma = \mu + 3(\sigma/\sqrt{n}) = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R} \\ &= 10.66 + (0.577*1.59) = 10.66 + 0.917 = 11.577 \\ \\ \text{Limite de control central} &= \mu = 10.66 \\ \\ \text{Limite de control inferior} &= \mu - 3\sigma = \mu - 3(\sigma/\sqrt{n}) = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R} \\ &= 10.66 - (0.577*1.59) = 10.66 - 0.917 = 9.742 \end{array}$$

Para realizar la carta de control se trabaja con el primer cuadrante del plano cartesiano, posteriormente se grafica el eje vertical para las medias o promedios y el eje horizontal para los lotes o subgrupos.

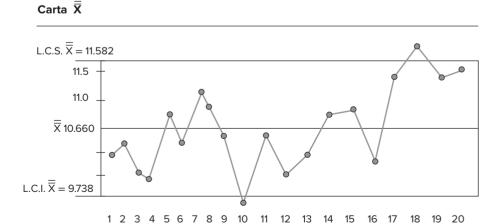


Figura 3-8 Carta media  $\overline{X}$ .

## Aplicación práctica: carta $\overline{X}$

Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Focha:	Sección:	Calificación:

**Instrucciones:** Realice lo que a continuación se le solicita y escriba los procedimientos en su hoja de trabajo.

Grafique una carta de control apropiada para una empresa que elabora productos para el cuidado de las plantas, los cuales últimamente han resultado perjudiciales para la salud humana.

La empresa se ha visto en la necesidad de entregar un reporte a la Secretaría de Salud sobre los incidentes por intoxicación, presentando el número de casos registrados en los últimos 10 meses.

#### Datos de intoxicaciones

				M	leses					
No. de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	111	96	97	101	124	101	110	112	106	83
2	94	108	100	84	100	102	115	110	104	102
3	112	101	100	102	107	102	118	109	105	98
4	104	108	98	94	101	112	110	112	105	95
5	101	110	104	110	113	101	113	110	109	98

Continuación de ejercicio:

En la actualidad las empresas utilizan sistemas de registros de datos por periodo, lote, día o turnos de trabajo. Esta información es utilizada para realizar cartas de control como la carta de promedio, por lo cual es necesario que se trabaje con este tipo de información y se convierta en el insumo requerido para una carta de este tipo, tal es el caso que se presenta a continuación.

## + EJEMPLO 2

Durante los últimos 10 días el proceso de empaque de discos de acero de 3.5 pulgadas de diámetro, está bajo control, la compañía toma muestras aleatorias de 5 paquetes en el turno A y 5 en el turno B.

Calcular la media y la desviación estándar de cada muestra, sacar después los promedios de las medias y de las desviaciones estándar para poder elaborar la carta de control, tanto para la media como para la desviación estándar del proceso.

Habitualmente se monitorea la variabilidad del proceso, por lo que suele emplearse el rango en lugar de la desviación estándar, ya que el rango es más fácil de calcular. El rango puede servir para obtener una buena estimación de la desviación estándar del proceso; ya que permite mediante algunos cálculos, trazar los límites inferior y superior de las cartas.

Para ilustrar esto, se tomará una muestra de la fabricación de los discos de acero de 3.5 pulgadas de diámetro. Su proceso de producción acaba de ser ajustado, de manera que funciona bajo control.

Tabla 3-3 Datos de los discos.

Número de la muestra		0	bservacione	es		Media muestral <b>X</b> <sub>j</sub>	Rango muestral <i>R<sub>j</sub></i>
1	3.5056	3.2086	3.5144	3.5009	3.5030	3.5065	0.0135
2	3.4882	3.5085	3.4884	3.5250	3.5031	3.5026	0.0368
3	3.4897	3.4898	3.4995	3.5130	3.4969	3.4978	0.0233
4	3.5153	3.5120	3.4989	3.4900	3.4837	3.5000	0.0316
5	3.5059	3.5113	3.5011	3.4773	3.4801	3.4951	0.0340
6	3.4977	3.4961	3.5050	3.5014	3.5060	3.5012	0.0099
7	3.4910	3.4913	3.4976	3.4831	3.5044	3.4935	0.0213
8	3.4991	3.4853	3.4830	3.5083	3.5094	3.4970	0.0264
9	3.5099	3.5162	3.5228	3.4958	3.5004	3.5090	0.0270
10	3.4880	3.5015	3.5094	3.5102	3.5146	3.5047	0.0266
11	3.4881	3.4887	3.5141	3.5175	3.4863	3.4989	0.0312
12	3.5043	3.4867	3.4946	3.5018	3.4784	3.4932	0.0259
13	3.5043	3.4769	3.4944	3.5014	3.4904	3.4935	0.0274
14	3.5004	3.5030	3.5082	3.5045	3.5234	3.5079	0.0230
15	3.4846	3.4938	3.5065	3.5089	3.5011	3.4990	0.0243
16	3.5145	3.4832	3.5188	3.4935	3.4989	3.5018	0.0356
17	3.5004	3.5042	3.4954	3.5020	3.4889	3.4982	0.0153
18	3.4959	3.4823	3.4964	3.5082	3.4871	3.4940	0.0259
19	3.4878	3.4864	3.4960	3.5070	3.4984	3.4951	0.0206
20	3.4969	3.5144	3.5053	3.4985	3.4885	3.5007	0.0259

Fuente: (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, Control estadistico de la calidad y seis sigma, 2013)



Durante la primera hora de operación se toma una muestra aleatoria de cinco discos de acero, durante la segunda hora, se toma otra muestra aleatoria de cinco discos y así sucesivamente, hasta que se tienen 20 muestras. En la tabla 3-3 se presentan los diámetros de las muestras así como la media y el rango R de cada muestra.

La estimación de la media del proceso µ está dada por la media muestral general.

Figura 3-9 Media muestral general

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\overline{X}_1 + \overline{X}_2 + \dots \overline{X}_K}{K}$$

Donde  $\overline{X}_{i}$  es la media de la muestra j y K es el número de muestras

De la formula anterior se obtiene la media muestral general de los datos de los discos de acero, que se presentan en la tabla 2, que es 3.4995.

Este valor será la línea central de la carta. El rango de cada muestra es simplemente la diferencia entre el valor mayor y el valor menor de cada muestra. El rango promedio de las k muestras se calcula como se indica a continuación.

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R \dots}{K}$$

El rango promedio de los datos de los discos de acero que se presentan en la tabla 3-3 es igual 0.0253. Se procede a estimar  $\mu$  y  $\sigma$ , esto se obtiene mediante los datos de los rangos para posteriormente calcular los límites con la siguiente formula.

## Fórmula carta promedio o $\overline{X}$

$$LC = \overline{\mathbf{X}} \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Se puede demostrar que el promedio de los rangos dividido entre  $d_2$ , que es una constante que depende del tamaño n de la muestra, es una estimación de la desviación estándar  $\sigma$  del proceso.

Es decir, que es el estimador se determina de la siguiente manera:

#### Estimador de la desviación estándar

$$\sigma = \frac{R}{d_2}$$

Para n = 5,  $d_2 = 2.326$  y la estimación de s es el rango promedio dividido entre 2.326. Si en la expresión se sustituye s por  $d^2$ .

Los límites de control de la carta se pueden calcular con la siguiente formula:

$$LSC_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_2 \overline{R}$$

Observe que  $A_2=3/(\mathrm{d}_2\sqrt{N})$  es una constante que depende únicamente del tamaño de la muestra; los valores de  $A_2$  también se encuentran en la tabla de valores de las cartas tipo shewhart, considerando una n=5,  $A_2=0.577$ ; por tanto, los límites de control en la carta  $\overline{\mathbf{X}}$  serán:

$$3.4995 \pm (0.577)(0.0253) \nabla 3.4995 \pm 0.0146$$

$$LCS = 3.4995 + (0.577)(0.0253) = 3.514$$

$$LC = 3.4995$$

$$LCI = 3.4995 - (0.577)(0.0253) = 3.485$$

La línea central se encuentra en el valor de la media muestral general  $\overline{X}$  = 3.4995. El límite de control superior (UCL) es 3.514 y el límite de control inferior (LCL) es 3.485. En la carta aparecen las 20 medias muestrales que se fueron graficando. Como todas las medias muestrales se encuentran dentro de los límites de control, se confirma que el proceso ha estado bajo control durante el periodo de muestreo.

#### Carta de control R

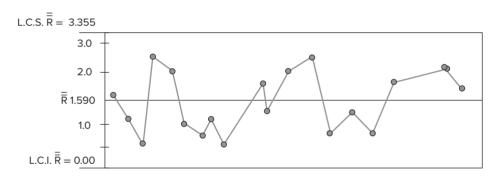
Desarrollo de la carta de rango. De acuerdo con el tamaño de la muestra del ejemplo en donde n=5 la variable, la constante  $D_4=2.11$  y  $D_3=0$ , según la tabla de factores para la construcción de cartas de control tipo shewhart, sus límites de control se calculan de la siguiente manera:

Límite de control superior (R) =  $LSC_R = D_4\overline{R} = 2.11 \times 1.59 = 3.355$ Límite de control central (R) = R

Límite de control inferior (R) =  $LSC_R = D_A \overline{R} = 0 \times 1.59 = 0$  2.11

Para realizar la carta de control se trabaja con el primer cuadrante del plano cartesiano, posteriormente grafica el eje vertical para las medias o rangos promedios y el eje horizontal para los lotes o sub grupos.

## Carta $\overline{\overline{R}}$



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-10 Carta R .

## 3.6 Carta S

Cuando en una carta  $\overline{X}$  – R se requiere tener mayor exactitud para detectar brincos o cambios muy pequeños en los procesos, se debe incrementar el tamaño de los subgrupos o n, pero si n > 10, la carta de rango ya no será suficiente para identificar los cambios en la variabilidad de, los procesos por lo que se recomienda hacer uso de la carta S, o de desviación estándar de los subgrupos (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, *Control estadistico de la calidad y seis sigma*, 2013).

Para realizar esta carta se debe calcular la desviación estándar que por ser una variable aleatoria, sus límites se determinan a partir de su media y su desviación estándar, permitiendo calcular sus límites con la siguiente expresión:

### Límites de desviación estándar

94

Donde  $\mu_S$  es la media del valor esperado de la desviación de la muestra y  $\sigma_S$  es la desviación estándar de la muestra y está dado por:

$$\mu_{\rm S} = C_4 \, \sigma \, {\rm y} \, \sigma_{\rm S} = \sigma \sqrt{1 - c^2 4}$$

Considerando que  $\sigma$  es la desviación estándar del proceso y c4 es una constante que depende del tamaño de subgrupos por lo que la estimación de sigma se hace de la siguiente manera:

## Estimación de sigma

$$\sigma = \frac{S}{C_4}$$

Donde  $\overline{S}$  es la media de las desviaciones estándar de los subgrupos, por lo que  $\sigma$  no se estima de forma directa con el promedio de las desviaciones estándar, por lo que sus límites de control se calculan con la siguiente formula:

$$LCS = \overline{S} + 3\frac{\overline{S}}{C_4}\sqrt{1 - c^2 4}$$

$$LC = \overline{S}$$

$$LCI = \overline{S} + 3\frac{\overline{S}}{C_4}\sqrt{1 - c^2 4}$$

Nota: si se requiere acompañar una carta promedio con una carta para medir la variación en sus subgrupos, y se tiene una n > 10, se debe utilizar la carta S y los límites de la carta  $\overline{X}$  se determinaran de la siguiente manera:

$$LCS = \overline{\overline{X}} + 3 \frac{S}{C_4 \sqrt{n}}$$

$$LCS = \overline{\overline{X}}$$

$$LCS = \overline{\overline{X}} - 3 \frac{S}{C_4 \sqrt{n}}$$

## + EJEMPLO 3

En la elaboración de botellas de plástico lo primero que se elabora es la preforma o de botella de prueba, para la cual se tienen varios criterios de calidad, uno de ellos es el peso de la botella o preforma. Para un tipo de envase, el peso aceptable para la empresa debe estar entre  $28.00 \pm 0.5$  g. Cada media hora se toma un subgrupo de 10 botellas o preformas y se pesan.

Las medias y desviaciones estándar de los últimos 20 subgrupos se muestran a continuación:

Tabla 3-4 Peso promedio de las botellas.

28.048	28.042	27.985	27.968	28.044	28.162	27.981
27.985	28.024	27.973	28.021	28.026	28.004	27.993
27.949	28.028	27.99	28.004	27.997	28.014	

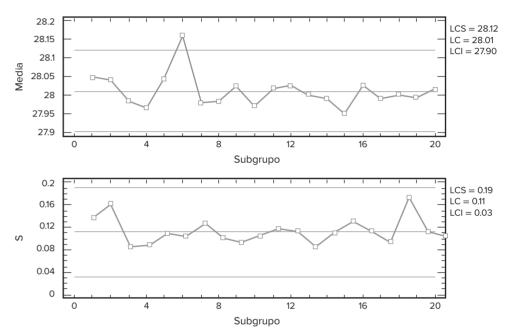
Tabla 3-5 Desviaciones estándar de los pesos de las botellas.

0.1343	0.1596	0.0846	0.0868	0.1086	0.1029	0.1241
0.1010	0.0924	0.1049	0.1157	0.1127	0.0841	0.1090
0.1285	0.1116	0.0927	0.1691	0.1083	0.1031	



Considerando que la media de las medias o gran media es igual a 28.01, la media de las desviaciones estándar fue igual a 0.1117 y del apéndice o tabla de cartas de Shewhart se obtiene que para una n=10, la constante  $C_4=0.9727$ . Así, al aplicar las fórmulas indicadas se obtienen los límites de la siguiente manera:

LCS = 
$$\overline{X}$$
 + 3 [ $\overline{S}/(C_4\sqrt{n})$ ] = 28.01 + 3 [0.1117/(0.9727\* $\sqrt{10}$ )] = 28.1189  
LCS =  $\overline{X}$  = 28.01  
LCS =  $\overline{X}$  - 3 [ $\overline{S}/(C_4\sqrt{n})$ ] = 28.01 - 3 [0.1117/(0.9727\* $\sqrt{10}$ )] = 27.9011



Fuente: (Gutiérrez Pulido, Calidad y productividad, 2014).

Figura 3-11 Carta  $\overline{X}$  – S.

Además, se obtiene la desviación estándar del proceso  $\sigma$  = 0.1117/0.9727 = 0.1148. De la carta  $\overline{X}$  se observa que la media del subgrupo número 6 fue mayor que el límite de control superior de la carta, lo que indica que cuando se obtuvieron los datos de ese subgrupo el proceso estaba operando con una causa especial de variación, que provocó un desplazamiento del promedio del proceso.

El comportamiento del proceso en los siguientes subgrupos muestra que, al parecer, esa causa especial dejó de actuar y con respecto a la carta S, no se muestra ningún punto fuera de sus límites, ni algún patrón especial, por lo que la magnitud de la variación del proceso se mantuvo durante este tiempo (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, *Control estadistico de la calidad y seis sigma*, 2013).

### 3.7 Carta X o de individuales

La carta de individuales es una carta para graficar variables de tipo continuo, pero en lugar de aplicarse a procesos semimasivos o masivos, como es el caso de la carta  $\overline{X} - R$ , se emplea en procesos que tienden a ser más lentos. En estos últimos procesos es necesario una medición o una muestra de la producción para obtener suficiente información

por lo que se requiere periodos relativamente largos (Gutiérrez Pulido, *Calidad y Productividad*, 2014).

Estos son algunos ejemplos de este tipo de procesos:

- Procesos químicos que trabajan por lotes.
- Industria de bebidas alcohólicas, en las que deben pasar hasta más de 100 horas para obtener resultados de los procesos de fermentación y destilación.
- Procesos en los que las mediciones cercanas sólo difieren por el error de medición. Por ejemplo, temperaturas en procesos, humedad relativa en el medio ambiente.
- Algunas variables administrativas cuyas mediciones se obtienen cada día, cada semana o más. Por ejemplo, mediciones de productividad, de desperdicio, de consumo de agua, electricidad, combustibles, etcétera.

Es por ello que en estos casos, la mejor alternativa es usar una carta de individuales, ya que cuando se posee una medición particular de la variable que se quiere analizar se registra en una carta.

Para determinar los límites de control se procede igual que en los casos anteriores, a la estimación de la media y la desviación estándar del estadístico que se grafica en la carta, que en este caso es directamente la medición individual de la variable X. Por es por eso que los límites se obtienen con la expresión  $\mu x \pm 3\sigma x$ , donde  $\mu x y \sigma x$ , son la media y la desviación estándar del proceso, respectivamente. Es decir, los límites de control, en este caso, coinciden por definición con los límites reales. En un estudio inicial estos parámetros se estiman de la siguiente manera:

### **Parámetros**

$$\mu x = \overline{X} Y \sigma x = \frac{\overline{R}}{d_2} = \frac{\overline{R}}{1.128}$$

Donde  $\overline{X}$  es la media de las mediciones, y R promedio es la media de los rangos móviles de orden 2 (rango entre dos observaciones sucesivas en el proceso).

Al dividir el rango promedio entre la constante  $d_2$  se obtiene una estimación de la desviación estándar del proceso,  $\sigma$ . Además, como en este caso el rango móvil es de orden 2, entonces el valor de n para determinar  $d_2$  será n=2; por lo tanto, de acuerdo con el apéndice de la tabla de factores para las cartas de control, cuando n=2,  $d_2=1.128$ . De lo anterior se concluye que los límites de control para una carta de individuales están dados por:

#### Límites carta de individuales

$$\overline{X} \pm 3 \frac{R}{d_2}$$

## + EJEMPLO 4

En la producción de vinos para medir la eficacia del proceso de molienda se mide el grado brix residual después de la molienda (cantidad de azúcar que queda en el bagazo de la fruta). Ésta variable entre más pequeña mejor, y el valor máximo tolerado que se ha fijado en una empresa en particular es, especificación superior = 3.5%. Después de moler cada lote de fruta se determina el grado brix residual, por lo que se considera como un proceso lento que es más apropiado analizar con una carta de individuales.

En la siguiente tabla se muestran los datos para los últimos 40 lotes de fruta molidos, y se incorpora la columna para el rango móvil de orden 2 ya son de dos tomas que se obtiene el rango entre que son los dos datos consecutivos más recientes.

Tabla 3-6 Cantidad de azúcar en el bagazo de fruta.

Lote	Brix residual	Rango móvil	Lote	Brix residual	Rango móvil
1	2.0		21	1.2	0.9
2	2.4	0.4	22	1.8	0.6
3	2.2	0.2	23	2.0	0.2
4	1.4	1.8	24	2.4	0.4
5	2.3	0.9	25	1.9	0.5
6	1.8	0.5	26	2.4	0.5
7	1.5	0.3	27	2.4	0.0
8	1.5	0.0	28	1.7	0.7
9	2.1	0.6	29	1.8	0.1
10	2.0	0.1	30	2.1	0.3
11	1.6	0.4	31	1.7	0.4
12	2.2	0.6	32	2.1	0.4
13	1.9	0.3	33	1.6	0.5
14	2.4	0.5	34	2.4	0.8
15	3.3	0.9	35	2.1	0.3
16	2.1	1.2	36	1.8	0.3
17	2.1	0.0	37	1.3	0.5
18	1.8	0.3	38	1.8	0.5
19	1.6	0.2	39	1.7	0.1
20	2.1	0.5	40	1.6	0.1
				$\overline{X} = 1.95$	$\overline{R} = 0.43$

Fuente: Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, Control estadistico de la calidad y seis sigma, 2013.

La media y el rango medio de los datos son 1.95 y 0.43, respectivamente. De estos se calculan los límites de control preliminares para la cantidad de azúcar que queda en el bagazo de la fruta y estos son los siguientes:

LCS = 
$$1.95 + 3[0.43/1.128] = 3.1$$
  
LCS =  $1.95$   
LCS =  $1.95 - 3[0.43/1.128] = 0.81$ 

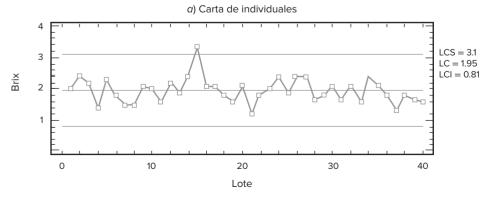


Figura 3-12 Carta  $\overline{X}$  – S. (continúa)

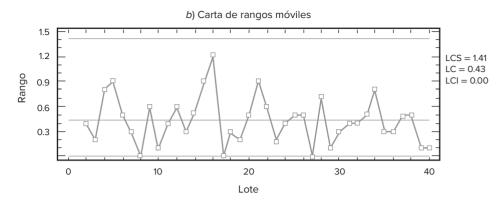


Figura 3-12 continuación.

Nótese que en el ejemplo 3-12, el LCS es menor que ES = 3.5. Por lo tanto, si en este proceso se controlara (de manera errónea) con la especificación superior como LCS, el lote 15 no caería fuera de ES = 3.5 y no se hubiera detectado ese desajuste en el molino.

Lo anterior, aunado a otros cambios y desajustes, que podrían ir apareciendo y conducirían a un deterioro importante de la eficacia del proceso y a reaccionar demasiado tarde en forma correctiva, en lugar de hacerlo de manera oportuna y preventiva. O bien, cuando se inició el cambio, y no después de horas o días en el proceso.

En otras palabras, si se usan los límites de especificaciones se estará incrementado el error 2 por no reaccionar cuando se debió hacerlo. Por el contrario, si el límite de control fuera mayor que la especificación y se reaccionara en consecuencia, entonces cuando un dato estuviera fuera de ES se estaría buscando un hecho especial, cuando en realidad pudo deberse a la variación natural o común del proceso. Con ello, se estaría incrementando el error 1.

En estas cartas se observa que no hay tendencias ni ningún otro patrón especial, salvo un punto fuera del LCS correspondiente al lote 15. Por lo que se entiende que durante la molienda de ese lote ocurrió algo particular que usualmente no sucede. Al investigar si ocurrió algo especial, se encontró que ahí se detectó un desajuste en los tachos del molino. Esta evidencia mostrada en la carta ayudó a reforzar la necesidad de tener un mayor cuidado en dicho proceso mediante un monitoreo objetivo con la carta de control, a fin de detectar oportunamente cualquier cambio.

En el análisis es posible notar que el LCS es menor que ES = 3.5. Por lo tanto, si en este proceso se controlara de manera errónea con la especificación superior como LCS, el lote 15 no caería fuera de ES = 3.5 y no se hubiera detectado ese desajuste. Lo anterior, más sumados a otros cambios y desajustes, podría ir provocando más problemas y conduciría a un deterioro importante de la eficacia del proceso y al reaccionar demasiado tarde en forma correctiva, en lugar de hacerlo de manera oportuna y en forma preventiva.

Por el contrario, si el límite de control fuera mayor que la especificación y se reaccionara con base en ésta, entonces cuando un dato estuviera fuera de ES se estaría buscando un hecho especial, cuando en realidad pudo deberse a la variación natural o común del proceso, con ello, se estaría incrementando el error 1.

## Aplicación práctica

Nombre del estudiante:
Número de cuenta:
Fecha: Sección: Calificación:
Instrucciones: Realice el siguiente ejercicio en la hoja de trabajo y escriba todos los procedimientos.  La empresa del Pacífico con el propósito de medir la productividad lleva un registro de las horas de trabajo caídas por semana de tres distintas líneas de procesos; se ha decidido realizar un análisis de estos datos mediante una carta de control de individuales, por lo que se pide que realice la carta de control y conteste las siguientes interrogantes.
a) ¿Qué ventajas ofrece la aplicación de esta carta y a qué análisis usted llegaría?
b) Calcule los límites de control para cada línea de producción e interprételos.
c) Obtenga la carta para cada caso e interprételas.

0	
( ) )	
$\sim$	

1) Enay alguna unerencia entre las tres inieas?
e) ¿Hay algún hecho especial y relevante?

Subgrupo	Temperatura	Rango móvil	Subgrupo	Temperatura	Rango móvil
1	27.4		24	26.5	2.7
2	26.8	0.6	25	23.3	3.2
3	24.3	2.5	26	23.8	0.5
4	26.6	2.3	27	25.5	1.7
5	26.5	0.1	28	26.4	0.9
6	25.6	0.9	29	27.5	1.1
7	25.1	0.5	30	27.7	0.2
8	26.5	1.4	31	28.5	0.8
9	25.8	0.7	32	29.8	1.3
10	24.7	1.1	33	25.1	4.7
11	23.3	1.4	34	25.0	0.1
12	23.3	0.0	35	22.9	2.1
13	24.7	1.4	36	23.6	0.7
14	23.4	1.3	37	24.7	1.1
15	27.4	4.0	38	24.4	0.3
16	24.7	2.7	39	25.4	1.0
17	21.7	3.0	40	23.5	1.9
18	26.7	5.0	41	27.8	4.3
19	24.2	2.5	42	25.5	2.3
20	25.5	1.3	43	26.5	0.9
21	25.3	0.2	44	24.5	1.9
22	25.0	0.3	45	23.5	1.0
23	23.8	1.2			
			Media	25.32	1.57



#### 3.8 Cartas de atributos

Las cartas de atributos permiten medir la calidad de un proceso o producción con base en la aceptación de un atributo, ya que cualquier característica de calidad que pueda ser clasificada de forma binaria, es decir que "cumple o no cumple", "funciona o no funciona", "pasa o no pasa", entre otros, en función de los efectos de control del proceso, será considerado como un atributo y para su control se utilizará un gráfico de control por atributos.

Se entiende como artículo defectuoso a un producto que no reúne ciertos atributos, por lo que no se permite que pase a la siguiente etapa del proceso; puede ser reprocesado o de plano desechado (Gutiérrez Pulido, *Calidad y productividad*, 2014).

En este tipo de carta los criterios de aceptación al utilizar gráficas de control por atributos deben estar claramente definidos y el procedimiento para decidir si esos criterios se están alcanzando consiste en producir resultados consistentes a través del tiempo (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008). Este procedimiento consiste en definir operacionalmente lo que se desea medir. Algunos ejemplos de una definición operacional de un atributo se presentan a continuación:

- 1. Un criterio que se aplica a un objeto o a un grupo
- 2. Una prueba del objeto o del grupo
- 3. Una decisión, sí o no. El objeto o el grupo alcanza o no el criterio.

## 3.9 Gráfica P para fracción de unidades defectuosas (atributos)

En la construcción de esta carta P se debe utilizar la proporción de artículos defectuosos en una muestra, esta se obtiene de la siguiente manera:

De igual manera, la idea de la aplicación de esta carta es la siguiente:

- De cada lote, embarque, pedido o de cada cierta parte de la producción, se toma una muestra o subgrupo de *n* artículos, que puede ser la totalidad o una parte de las piezas bajo análisis.
- Las *n* piezas de cada subgrupo son inspeccionadas y cada una es catalogada como defectuosa o no. Las características o atributos de calidad por los que una pieza es evaluada como defectuosa, pueden ser una o más.

Una vez determinados los atributos bajo análisis, es preciso aplicar criterios y/o análisis bien definidos y estandarizados.

Si de las n piezas del subgrupo se encuentra que di son defectuosas (no pasan), entonces en la carta P se grafica y se analiza la variación de la proporción pi de unidades defectuosas por subgrupo (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, Control estadistico de la calidad y seis sigma, 2013):

$$P_i = \frac{di}{ni}$$

Para calcular los límites de control se parte del supuesto de que la cantidad de piezas defectuosas por subgrupo sigue una distribución binomial, y que los límites están dados por  $\mu w \pm 3\sigma w$  la media, más menos tres desviaciones estándar del estadístico W

que se grafica en la carta. Por lo tanto, en el caso que nos ocupa W = pi. Así, de acuerdo con la distribución binomial se sabe que la media y la desviación estándar de una proporción están dadas respectivamente por:

$$\mu i = pi \ y \ \sigma \ pi = \sqrt{(\overline{p}(1-\overline{p}))/n}$$

Dado que donde n es el tamaño de subgrupo y p- es la proporción promedio de artículos defectuosos en el proceso. De acuerdo con esto, los límites de control de la carta p con tamaño de subgrupo constante, están dados por:

Límite de control superior = LCS =  $\bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}/n$ 

Linea central = p

Límite de control inferior = LCI = LCS = p -  $3\sqrt{(p(1-p))/n}$ 

#### Pasos para la elaboración de la gráfica

Paso 1. Determinar la frecuencia y tamaño de la muestra

En este paso se establece la frecuencia con la cual los datos serán tomados, bien sea por horas, días o semanas. Se debe de considerar que los intervalos cortos entre tomas de muestras permiten una rápida retroalimentación al proceso ante la presencia de problemas. Por otro lado, los tamaños de muestra grandes permiten evaluar de forma más estables el desarrollo del proceso y son más sensibles a pequeños cambios en el promedio del mismo. Se aconseja tomar tamaños de muestra iguales aunque no necesariamente se tiene que dar esta situación, el tamaño de muestra debería de ser mayor a 30 y el tamaño de los subgrupos será de 25 o más.

Paso 2. Calcular el porcentaje defectuoso (p) del subgrupo

Se necesita que se registre la siguiente información para cada subgrupo:

El número de partes inspeccionadas n

El número de partes defectuosas np

Calcule la fracción defectuosa (p) mediante  $p = \frac{np}{n}$ 

Paso 3. Calcular el porcentaje defectuoso promedio y límites de control

El porcentaje defectuoso promedio para los k subgrupos se calcula con la siguiente fórmula:

$$p = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

$$LSC_{p} = \overline{p} + 3\sqrt{\frac{\overline{P}(1-p)}{n}}$$

$$LSC_{p} = \overline{p} - 3\sqrt{\frac{\overline{P}(1-p)}{n}}$$

Donde es el tamaño de muestra promedio.

## + EJEMPLO 5

En una fábrica de latas de aluminio se toma el registro del número de partes defectuosas, en una muestra tomada cada hora de 50 latas de aluminio, con 30 subgrupos. La empresa requiere que se realice la gráfica de control para la siguiente serie de datos obtenida durante el muestreo.

Tabla 3-7 Datos de ejercicio.

Muestra	Latas de aluminio defectuosa <i>np</i>	Muestra	Latas de aluminio defectuosa <i>np</i>
1	8	16	12
2	10	17	15
3	5	18	8
4	13	19	10
5	11	20	4
6	20	21	7
7	18	22	16
8	24	23	9
9	15	24	14
10	9	25	10
11	12	26	5
12	7	27	6
13	13	28	17
14	9	29	12
15	6	30	22

A continuación se presenta la tabla con la proporción de defectos de la muestra de las latas de aluminio.

Tabla 3-8 Proporción de defectos del ejercicio.

Subgrupos	Latas de aluminio defectuosa <i>np</i>	Proporción defectuosa	Subgrupos	Latas de aluminio defectuosa <i>np</i>	Proporción defectuosa
1	8	0.16	16	12	0.24
2	10	0.20	17	15	0.30
3	5	0.10	18	8	0.16
4	13	0.26	19	10	0.20
5	11	0.22	20	4	0.08
6	20	0.40	21	7	0.14
7	18	0.36	22	16	0.32
8	24	0.48	23	9	0.18
9	15	0.30	24	14	0.28
10	9	0.18	25	10	0.20
11	12	0.24	26	5	0.10
12	7	0.14	27	6	0.12
13	13	0.26	28	17	0.34
14	9	0.18	29	12	0.24
15	6	0.12	30	22	0.44

Se procede a calcular la fracción defectuosa para cada muestra considerando que el tamaño de esta es de n = 50, por consiguiente la proporción se determina dividiendo los defectos de cada muestra entre el tamaño de n, ejemplo;

$$\overline{p} = \frac{np}{n} = \frac{8}{50} = 0.16$$

En el caso de determinar el promedio de defectos del ejercicio en general se determina sumando la proporción de todos los defectos y se divide entre el número de sub grupos de la muestra obteniendo la siguiente fórmula:

$$\overline{p} = \sum \frac{\overline{p}}{n} = \frac{6.94}{30} = 0.2313$$

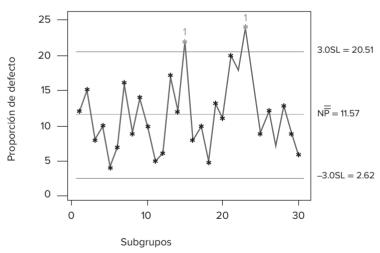
NOTA: Cuando  $\overline{P}$  y/o n es pequeño, el límite de control inferior puede resultar negativo, en estos casos el valor del límite será =0

Ahora se calculan los límites de control de la carta

$$LSC_{p} = \overline{p} + 3\sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{n}} = 0.2313 + 3\sqrt{\frac{0.2313(1-0.2313)}{50}} = 0.4102$$

$$LSC_{p} = \overline{p}$$

$$LSC_{p} = \overline{p} + 3\sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{n}} = 0.2313 - 3\sqrt{\frac{0.2313(1-0.2313)}{50}} = 0.05243$$



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-13 Carta P.

## Aplicación práctica: carta P

Nombre del estudiante:			
Número de cuenta:			
Eocha:	Socción	Calificación:	

**Instrucciones:** Realice el siguiente ejercicio en la hoja de trabajo y anote todos los procedimientos.

En un proceso de ensamble, antes de empacar se inspecciona el número de artículos defectuosos se solicita que realice la carta de control correspondiente y sus límites de control con los datos que se muestran a continuación.

Registro de solicitudes.

Lote	Muestra	Artículos defectuosos	Lote	Muestra	Artículos defectuosos
1	120	10	11	120	10
2	140	8	12	121	20
3	115	5	13	118	12
4	121	9	14	120	10
5	120	6	15	119	0
6	122	5	16	121	10
7	118	14	17	120	13
8	122	12	18	122	5
9	117	9	19	120	6
10	118	8	20	119	11

113143	

## 3.10 Carta np o número de defectuosos

**Nota:** Esta carta se recomienda cuando el tamaño de subgrupo o muestra en las cartas p es constante. La gráfica np se basa en el número de defectos en vez de la proporción de defectos. Los límites se calculan mediante la siguiente fórmula.

$$LSC = np \pm 3\sqrt{np(1-p)}$$

## + EJEMPLO 6

En este ejemplo se considera una n = 50, y un  $\overline{p} = 0.2313$  por lo que se obtienen los siguientes límites de control utilizando los datos del diagrama anterior.

$$LSC = np + 3\sqrt{np(1-p)} = (50)(0.2313) + 3\sqrt{((50)(0.2313))((1-0.2313))} = 20.510$$

$$LSC = np = 11,565$$

$$LSC = np - 3\sqrt{np(1-p)} = (50)(0.2313) - 3\sqrt{((50)(0.2313))((1-0.2313))} = 2.621$$

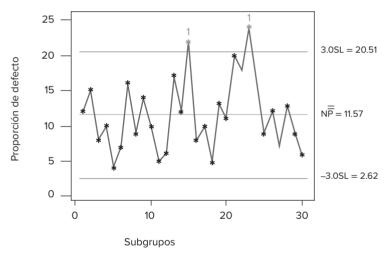


Figura 3-14 Carta NP.

Fuente: Elaboración propia.

Notas	

## Aplicación práctica: carta np

Nombre del estudiante:			
Número de cuenta:			
Eocha:	Soción	Calificación	

**Instrucciones:** Resuelva el siguiente ejercicio en la hoja de trabajo y anote todos los procedimientos.

Una prestigiosa compañía aseguradora recibe solicitudes de pago de gastos médicos del colegio de ingenieros. Desea encontrar datos estadísticos al respecto, por lo que decide tomar muestras de 300 solicitudes y encontrar las que no estén conforme al reglamento de la aseguradora. Determine los límites de la carta P y grafique.

A continuación se detallan los datos de las solicitudes y los no conformes

No. de subgrupo	Cantidad de solicitudes inspec- cionadas	Cantidad de no conformida- des (P)	Fracción de no conformida- des (P)	No. de subgrupo	Cantidad de solicitudes inspec- cionadas.	Cantidad de no conformida- des (P)	Fracción de no conformida- des (P)
1	300	12		14	300	3	
2	300	3		15	300	0	
3	300	9		16	300	5	
4	300	4		17	300	7	
5	300	0		18	300	8	
6	300	6		19	300	16	
7	300	6		20	300	20	
8	300	1		21	300	5	
9	300	8		22	300	6	
10	300	11		23	300	0	
11	300	2		24	300	3	
12	300	10		25	300	2	
13	300	9		Total	Σ	Σ	



 $\bigcirc$ 

Continuación del ejercicio:

## 3.11 Carta C o para número de defectos

Con esta carta se analiza la variabilidad del número de defectos por subgrupo, siempre y cuando el tamaño del subgrupo se mantenga constante. También se usa para determinar la ocurrencia de defectos en la inspección de una unidad de producto, es decir, que se debe determinar cuántos defectos tiene cada unidad o un producto (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008).

Donde:

 $\overline{c}$  = total de defectos/número de unidades de producto.

Los límites de control se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$LSC = \overline{c} \pm 3\sqrt{\overline{c}}$$

## + EJEMPLO 7

En la siguiente tabla se presenta el número de defectos que se observaron en 26 muestras sucesivas de 100 unidades.

Tabla 3-9 Carta C.

Defectos	Muestra	Defectos
21	14	19
24	15	10
16	16	17
12	17	13
15	18	22
5	19	18
28	20	39
20	21	30
31	22	24
25	23	16
20	24	19
24	25	17
16	26	15

Se debe calcular el valor de c promedio y es de la siguiente manera:

$$\overline{c} = \frac{516}{26} = 19.67$$

Los límites de control de la carta c se determinan de la siguiente forma:

$$LSC = 19.67 + 3\sqrt{19.67} = 32.97$$

$$LSC = 19.67$$

$$LSC = 19.67 - 3\sqrt{19.67} = 6.37$$

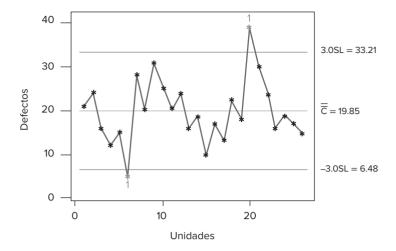


Figura 3-15 Carta C.

## Aplicación práctica

Nombre del estudiante:			
Número de cuenta:			
Eocha:	Socción	Calificación:	

**Instrucciones:** Resuelva el siguiente ejercicio en la hoja de trabajo y anote todos los procedimientos.

En una empresa que procesa productos químicos se tienen problemas de intoxicación por exposición e inhalación involuntaria de los trabajadores de tales productos. Para evaluar el número de empleados afectados por intoxicación durante los últimos dos años se recurre a los registros de la enfermería de la empresa para determinar los límites de control y la carta C, para lo cual la empresa nos proporciona los datos siguientes:

Mes	Intoxicados Ci	Mes	Intoxicados Ci
1	7	10	6
2	5	11	5
3	12	12	4
4	5	13	4
5	4	14	1
6	7	15	3
7	2	16	3
8	4	17	7
9	2	18	5

Continuación del ejercicio:



## 3.12 Carta U o de defectos por unidad

Esta carta se utiliza cuando se cuantifica el número promedio de no conformidades por unidad, ya que la carta U se basa en el promedio de defectos por unidad inspeccionada:

$$u = \frac{\overline{c}}{n}$$

Y cuyas variables a considerar son:

c = número de defectos

n =cantidad de piezas inspeccionadas

Para determinar los límites de control se utilizan las fórmulas siguientes:

$$LSC = \overline{u} + 3\sqrt{\frac{\overline{u}}{n}}$$

$$LSC = \overline{u}$$

$$LIC = u - 3\sqrt{\frac{\overline{u}}{n}}$$

## + EJEMPLO 8

Una de las compañías más prestigiosas y líder en el mercado de la tecnología fabrica calculadoras científicas y desea elaborar una carta de control del número de defectos por unidad, para ello ha considerado un tamaño de muestra de cinco calculadoras.

En siguiente tabla se presenta el número de defectos en 20 muestras de 5 calculadoras cada una. Elabore la carta de control U con sus respectivos límites.

Tabla 3-10 Defectos en calculadoras Carta U.

Muestra	Tamaño de muestra	Número de defectos	Promedio de defectos por unidad u <sub>i</sub>	Muestra	Tamaño de muestra	Número de defectos	Promedio de defectos por unidad u <sub>i</sub>
1	5	10	2	11	5	9	1.8
2	5	12	2.4	12	5	5	1
3	5	8	1.6	13	5	7	1.4
4	5	14	2.8	14	5	11	2.2
5	5	10	2	15	5	12	2.4
6	5	16	3.2	16	5	6	1.2
7	5	11	2.2	17	5	8	1.6
8	5	7	1.4	18	5	10	2
9	5	10	2	19	5	7	1.4
10	5	15	3	20	5	5	1
						193	38.6

Se determina el valor de u promedio de la siguiente manera:

$$u = \frac{\sum_{i} u_{i}}{n} = \frac{38.60}{20} = 1.93$$

Después, se deben determinar los límites de control con las siguientes formulas:

$$LIC = u + 3\sqrt{\frac{u}{n}} = 1.93 + 3 \quad \frac{1.93}{5} = 3.79$$

$$LIC = 1.93$$

$$LIC = 1.93 - 3\sqrt{\frac{1.93}{5}} = 0.07$$

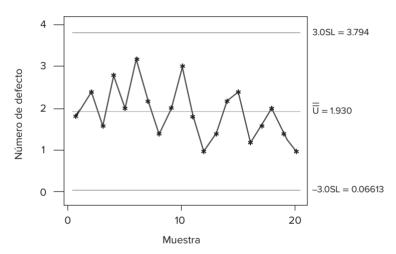


Figura 3-16 Carta U.

## Aplicación práctica

Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Fecha:	Sección:	Calificación:

**Instrucciones:** Resuelva el siguiente ejercicio en la hoja de trabajo y anote todos los procedimientos.

En una maquila de camisetas se ha observado el número de no conformidades encontradas en 24 lotes de camisetas consecutivos. Donde el número de camisetas inspeccionadas en cada lote es variable. Determine los límites de control y su respectiva carta U. A continuación se detallan los datos obtenidos de la maquila.

Lote	Tamaño de muestra ni	Total de no conformidades Ci	Número promedio de no conformidades por circuito Ui
1	20	17	0.9
2	20	24	1.2
3	20	16	0.8
4	20	26	1.3
5	15	15	1
6	15	15	1
7	15	20	1.3
8	25	18	0.7
9	25	26	1
10	25	10	0.4
11	25	25	1
12	30	21	0.7
13	30	40	1.3
14	30	24	0.8
15	30	46	1.5
16	30	32	1.1
17	30	30	1





#### Continuación

Lote	Tamaño de muestra ni	Total de no conformidades Ci	Número promedio de no conformidades por circuito Ui
18	30	34	1.1
19	15	11	0.7
20	15	14	0.9
21	15	30	2
22	15	17	1.1
23	15	18	1.2
24	15	20	1.3
Total	525	549	U = 1.04



# Muestreo de aceptación

## Objetivos de aprendizaje

• Aprender a elaborar planes de muestreo de aceptación.



Los muestreos de aceptación para evaluar el cumplimiento de especificaciones o requisitos pactados por medio de documentos con sus proveedores son necesarios para asegurar la calidad de los insumos para el correcto proceso de su producto o servicio.

La presión que se hace para el cumplimiento de lo pactado estriba en regresar todo el lote que tuviera un resultado superior a las especificaciones acordadas previamente, es decir, no se rechazan solo los elementos encontrados con no conformidades sino todo el envío, lo que implica costos para el proveedor.

El modelo básico de un muestreo de aceptación es N que representa el tamaño del lote, n que es el tamaño de la muestra, y c que es el número de aceptación, ejemplo:

$$N = 50$$
 piezas  
 $n = 5$  piezas  
 $c = 0$ 

Lo que significa que el lote es de 50 piezas, se toma 5 piezas de ese lote de 50 piezas, y se acepta cero piezas malas, es decir con una que no reúna las especificaciones se rechazan las 50 piezas del lote y no solamente las 5 piezas de la muestra.

Esto se conoce como muestreo simple por atributos, aceptación de lote a lote.

Los costos de transporte y reposición de piezas correctas corresponden al proveedor.

Todo lo anterior hace muy efectiva la aceptación por muestreo, sin embargo, no existe un plan de muestreo de aceptación ideal que proteja en 100% a la empresa del riesgo de recibir lotes defectuosos.

Una forma más efectiva de realizar el muestreo de aceptación es usar un tamaño de muestra n fijo más que % de acuerdo con el lote N, eso se puede verificar analizando las curvas de aceptación de los planes de muestreo propuesto.

## + EJEMPLO PRÁCTICO

La industria de alimentos usa variedad de material de empaque, desde bolsas de diferentes capacidades o cantidades del producto, y diversos tipos de cajas. Se conoce como empaque primario si está en contacto con el producto y empaque secundario si está en contacto con el empaque primario.

Las no conformidades más frecuentes detectadas son: mala impresión, mal sellado, presencia de insectos, materia extraña, suciedad y medidas incorrectas.

Supóngase que una planta de alimentos recibe material de empaque secundario en fardos que pesan 50 libras en paquetes de 20, es decir que el tamaño del lote es de 1,000 libras, con este dato se usa la tabla 4.1 a un nivel de inspección II, con 1,000 libras la letra escogida es J.

Tabla 4-1 Letras código para el tamaño de la muestra (MIL STD 105D).

	Niveles ge	enerales de in	spección
Tamaño del lote	I	II	III
501 a 1,200		J	

Adaptado de Besterfield, 2009.



Con la letra J escogida se define el tamaño de la muestra en 80 libras con un nivel de calidad aceptable de 0.15, se rechazará todo el lote de material empaque recibido:

Tabla 4-2 Nivel de aceptación/rechazo del lote.

		Nivel de calidad aceptal	ole (NCA), en porcentaje
Letra código para el tamaño de la	Tamaño de la	0.	15
muestra	muestra n	Aceptar	Rechazar
J	80	0	1

Adaptado de (Besterfield, 2009).

Se necesita evaluar el plan de muestreo definido así N = 1,000 libras, n = 80 libras y c = 1. Esto se puede evaluar con la gráfica de aceptación cuyo desarrollo se expone a continuación.

#### La curva característica de la operación

La gráfica de probabilidad de aceptación, que en realidad debe conocerse como la curva característica de operación, es una herramienta visual poderosa para evaluar el muestreo de aceptación aplicado, en este caso particular refleja que el muestreo de aceptación de n=80 libras con c=1 libras de rechazo, para aceptar o rechazar un lote de 1,000 libras no es tan efectivo como se espera, ya que no es lo estricto del número de aceptación que en el ejemplo es de solo c=1, sino el tamaño de muestra, que a mayor tamaño es mas representativa del lote completo que es nuestro universo, la dificultad estriba que mayor es la muestra más tiempo para realizarla se requiere.

**Tabla 4-3** Probabilidades de aceptación para el plan de muestreo sencillo n=80, c=1.

	supuesta oceso	Tamaño de muestra		Probabilidad de aceptación	Porcentaje de lotes aceptados
Ро	100Po	n	nPo	Pa	100Pa
0.00	0	80	0	1.00	100
0.01	1	80	0.80	0.81	81
0.02	2	80	1.60	0.53	53
0.03	3	80	2.40	0.31	31
0.04	4	80	3.20	0.17	17
0.05	5	80	4.00	0.09	9
0.06	6	80	4.80	0.05	5
0.07	7	80	5.60*	0.02	2
0.08	8	80	6.40*	0.01	1
0.09	9	80	7.20	0.00	0
0.10	10	80	8.00	0.00	0
0.11	11	80	8.80	0.00	0
0.12	12	80	9.60	0.00	0
0.13	13	80	10.40	0.00	0
0.14	14	80	11.20	0.00	0
0.15	15	80	12.00	0.00	0

<sup>\*</sup> Por interpolación.

Para obtener la probabilidad de aceptación, refiérase a la tabla 4.3 que refleja valores importantes como el nPo, y el valor c. Con estos dos para cada valor propuesto de calidad supuesta se puede hacer la gráfica de probabilidad de aceptación usando las dos últimas columnas de la tabla mencionada.

La probabilidad de aceptación se encuentra usando la tabla de distribución de Poisson, usando el número c y el nPo y en su intersección en la tabla, a manera de ejemplo y porque es más ilustrativo, para c=1, y nPo=5 la probabilidad de aceptación es 0.041; y para c=1 y nPo=6 es 0.0017, para hallar 5.60 se debe interpolar.

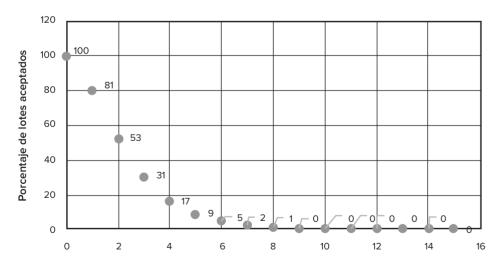
**Tabla 4-4** Fragmento de la tabla de Poisson (los valores acumulados están en paréntesis).

np <sub>o</sub>	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0
0	0.010 (0.010)	0.009 (0.009)	0.008 (0.008)	0.008 (0.008)	0.007 (0.007)
1	0.046 (0.056)	0.043 (0.052)	0.039 (0.047)	0.037 (0.045)	0.034 (0.041)

c np <sub>o</sub>	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
0	0.002 (0.002)	0.001 (0.001)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
1	0.015 (0.017)	0.006 (0.007)	0.003 (0.003)	0.001 (0.001)	0.000 (0.000)

Adecuado de (Besterfield, 2009).

#### Curva de probabilidad de aceptación



**Figura 4-1** Plan de muestreo sencillo N = 1,000, n = 80, c = 1.

El plan de muestreo N = 1,000 libras, n = 80 libras y c = 1 permite que se acepte 1% de no conformidades en 81% de lotes inspeccionados, 2% de no conformidades en 53% de lotes inspeccionados y así sucesivamente.

Al colocar este plan en términos económicos implica que 20 libras de bolsas serán aceptadas con no conformidades, supóngase que cueste un \$1 la libra, es decir, que perderá \$20 de forma tangible directa, pero habrá más costos intangibles en términos de tiempo, espacio, reclamos y retrasos.

En conclusión, no se debe realizar un plan de muestreo de aceptación sin la realización de la curva de probabilidad de aceptación para evaluar su efectividad.

PRESIDENCE DE DEDACO	
? PREGUNTAS DE REPASO	

- 1. ¿Por qué es importante el muestreo de aceptación?
- 2. ¿Qué refleja la curva de probabilidad de aceptación?

Notas	

## Aplicación práctica: muestreo

Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Fecha:	Sección:	Calificación:

## Ejercicio práctico.

Haga un plan de muestreo para la recepción de frutas, y realice la curva de probabilidad de aceptación.



Notus	



# Introducción al diseño experimental

## Objetivos de aprendizaje

Al completar el estudio de este apartado, el estudiante será capaz de:

- Conocer en qué consisten los diseños experimentales.
- Conocer por qué es necesario realizar diseños experimentales de un factor.



En la actualidad, realizar investigaciones es parte del diario vivir en muchos campos de acción, especialmente en la medicina, biología, ingeniería, química, metalurgia y casi todas las ramas de las ciencias sociales. Por lo tanto, establecer diseños experimentales es básico para poder concluir los alcances de estos.

El diseño experimental se utiliza para identificar y medir las causas que provocan los efectos que se presentan dentro de un estudio experimental, a través de la manipulación de una o más variables dentro del objeto de estudio y apoyándose en herramientas estadísticas para estos fines.

Algunos ejemplos que se tienen de diseños experimentales son los siguientes:

- En los sistemas de producción analizar si la calidad de la materia prima influye en la productividad de la línea de producción.
- En una empresa de servicio determinar si el servicio al cliente influye en la decisión de compras de los clientes.
- En los sistemas educativos evaluar si las competencias del catedrático y su método de enseñanza influye en la capacidad de aprendizaje de los alumnos.

#### 5.1 Diseño de un solo factor

Los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula (Hernandez Sampieri, Fernandez Colado, & Baptista Lucio, 2014). En el caso específico de los diseños experimentales de un factor se refiere al análisis de experimentos establecidos de forma línea donde se apoya del análisis estadístico del modelo experimental a través del Análisis de Varianza (ANOVA).

El análisis de varianza (ANOVA), es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas. El análisis de varianza unidireccional produce un valor conocido como F o razón F, que se basa en una distribución muestral, conocida como distribución F, la cual es otro miembro de la familia de distribuciones muestrales. La razón F compara las variaciones en las puntuaciones debidas a dos diferentes fuentes: variaciones entre los grupos que se comparan y variaciones dentro de los grupos. Si el valor F es significativo implica que los grupos difieren entre sí en sus promedios. (Hernandez Sampieri, Fernandez Colado, & Baptista Lucio, 2014)

Para elaborar un diseño experimental de un factor se debe de realizar lo siguiente:

- 1. Definir la situación problemática que se va a investigar, donde se menciona cómo será el grupo control y cómo será el grupo experimental.
- 2. Determinar las variables que serán objeto de investigación. Definir variables independientes y dependientes.
- 3. Establecer cuáles serán las hipótesis de investigación, para poder evaluar las mismas a través de la herramienta estadística determinada en función del valor F.
- 4. Realizar la evaluación de los resultados a través del cálculo de la ANOVA apoyándose de programas estadísticos para esos fines como ser Excel, SPSS u otro que se estime conveniente.
- **5.** Elaborar las conclusiones que corresponden según los resultados obtenidos de la investigación.



### + EJEMPLO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR

Los sectores de producción de las fincas de una empresa camaronera están enfocados en producir camarones de alta calidad, en el menor tiempo posible y a un bajo costo. Por esto se desarrollan investigaciones para determinar los aspectos en los cuales se pueden mejorar para alcanzar las metas trazadas. Una de estas metas es comprobar si cambiar de un sistema de una frecuencia de alimentación que se utiliza actualmente en las lagunas de producción a un sistema de dos frecuencias de alimentación en un día puede producir un crecimiento en menor tiempo del camarón contribuyendo a incrementar la productividad en las lagunas de producción y reducir los costos de producción, ya que esta es una práctica común en otras empresas de la misma industria pero que no ha sido implementada en las lagunas de producción de esta empresa.

Las variables por considerar en el presente estudio son las siguientes:

- Variables dependientes:
  - 1. Tasa de crecimiento.
  - 2. Factor de conversión alimenticia (FCA).
  - 3. Costo de alimento por libra de camarón producida.
  - 4. Rendimiento libra cola / hectárea.
- Variable independiente:
  - 1. Sobrevivencia

Las hipótesis que se definen para la investigación son las siguientes:

- 1. Hipótesis de investigación (H1): El crecimiento promedio del camarón en cultivo semiintensivo con la implementación de dos frecuencias de alimentación es mayor al crecimiento que se logra con un sistema de una frecuencia de alimentación.
- 2. Hipótesis nula (Ho1): El crecimiento promedio del camarón en cultivo semiintensivo con la implementación de dos frecuencias de alimentación es igual al crecimiento que se logra con un sistema de una frecuencia de alimentación.
- 3. Hipótesis alternativa (Ha1): El crecimiento promedio del camarón en cultivo semiintensivo con la implementación de dos frecuencias de alimentación es menor al crecimiento que se logra con un sistema de una frecuencia de alimentación.
- 4. Hipótesis de investigación (H2): El costo del alimento por libra producida de camarón alimentado con dos frecuencias de alimentación es mayor al costo por libra del camarón alimentado una sola vez.
- 5. Hipótesis nula (Ho2): El costo del alimento por libra producida de camarón alimentado con dos frecuencias de alimentación es igual al costo por libra del camarón alimentado una sola vez.
- 6. Hipótesis alternativa (Ha2): El costo del alimento por libra producida de camarón alimentado con dos frecuencias de alimentación es menor al costo por libra del camarón alimentado una sola vez.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:



#### Análisis de Varianza (ANOVA): Crecimiento semanal

#### RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Control (1 alimentación)	3	3.29	1.10	0.005
Experimental (2 alimentaciones)	3	3.54	1.18	0.011

#### Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.01	1	0.010	1.29	0.32	7.71
Dentro de los grupos	0.03	4	0.008			
Total	0.04	5				

Calculado F = 1.29 < F $_{(0.05)}$  = 7.71 no existe diferencia significativa para ninguno de los tratamientos

Tabla de Datos: Crecimiento semanal (grs/ semana)						
Investigacion / Grupo R1 R2 R3						
Control (1 vez)	1.17	1.03	1.09			
Experimental (2 veces) 1.14 1.1 1.3						

Figura 5-1 ANOVA variable crecimiento semanal.

## Análisis de Varianza (ANOVA): Factor de Conversion Alimenticia (FCA) RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Control (1 Alimentación)	3	3.94	1.31	0.034
Experimental (2 Alimentaciones)	3	4.34	1.45	0.034

#### Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.03	1	0.03	0.78	0.43	7.71
Dentro de los grupos	0.14	4	0.03			
Total	0.16	5				

Calculado F = 0.78 < F $_{(0.05)}$  = 7.71 no existe diferencia significativa para ninguno de los tratamientos

Tabla de Datos: Factor de Conversión de Alimento (Lbs alimento / Lbs camarón)						
Investigación / Grupo R1 R2 R3						
Control (1 vez) 1.13 1.5 1.31						
Experimental (2 veces) 1.26 1.45 1.63						

Figura 5-2 ANOVA variable Factor de Conversión Alimenticia (FCA).



## Análisis de Varianza (ANOVA): Costo de alimento

#### **RESUMEN**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Control (1 alimentación)	3	0.92	0.31	0.00
Experimental (2 alimentaciones)	3	1.02	0.34	0.00

#### Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.002	1	0.00	0.74	0.44	7.71
Dentro de los grupos	0.009	4	0.00			
Total	0.011	5				

Calculate  $F = 0.74 < F_{_{(0.05)}} = 7.71$  no existe diferencia significativa para ninguno de los tratamientos

Tabla de Datos: Costo de alimento / Libra de cola de camarón						
Investigación / Grupo R1 R2 R3						
Control (1 vez)	\$ 0.26	\$ 0.35	\$ 0.31			
Experimental (2 veces)	\$ 0.29	\$ 0.34	\$ 0.39			

Figura 5-3 ANOVA variable costo de alimento.

#### Análisis de Varianza (ANOVA): Rendimiento Lbs Cola/Ha

#### RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Control (1 Alimentación)	3	6,941	2,314	158,149
Experimental (2 Alimentaciones)	3	6,345	2,115	62,643

#### Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	59,202.67	1	59,202.67	0.54	0.50	7.71
Dentro de los grupos	441,584.67	4	110,396.17			
Total	500,787.33	5				

 $\mbox{Calculado F} = 0.54 < \mbox{F}_{_{(0.05)}} = 7.71 \ \mbox{no existe diferencia significativa para ninguno de los tratamientos}$ 

Tabla de Datos: Rendimiento de cosecha (Lbs Cola/Ha)					
Investigacion / Grupo R1 R2 R3					
Control (1vez)	2,763	2,007	2,171		
Experimental (2 veces)	2,222	2,294	1,829		

Figura 5-4 ANOVA variable rendimiento de libras de cola de camarón por hectárea.



#### Análisis de Varianza (ANOVA): Sobrevivencia

#### **RESUMEN**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Control (1 alimentación)	3	261	87	148
Experimental (2 alimentaciones)	3	219	73	117

#### Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	294	1	294	2.22	0.21	7.71
Dentro de los grupos	530	4	132.5			
Total	824	5				

Calculado  $F = 2.22 < F_{_{(0.05)}} = 7.71$  no existe diferencia significativa para ninguno de los tratamientos

Tabla de Datos: Sobrevivencia al cosechar (%)					
Investigacion / Grupo	R1	R2	R3		
Control (1 vez)	101%	79%	81%		
Experimental (2 veces)	76%	82%	61%		

Figura 5-5 ANOVA variable sobrevivencia.

No se encontraron diferencias significativas (P > 0.05) en el crecimiento promedio semanal al implementar un sistema de alimentación con dos frecuencias en comparación con el sistema de alimentación de una frecuencia. Por lo tanto se rechaza la hipótesis de investigación (H1) y se acepta la hipótesis nula (Ho1) demostrando que el crecimiento es igual (ilustración # 1).

No se encontraron diferencias significativas (P > 0.05) en el costo de libra de alimento por libra producida de camarón al utilizar un sistema de alimentación de dos frecuencias en comparación con el sistema de alimentación de una frecuencia. Por lo tanto se rechaza la hipótesis de investigación (H2) y se acepta la hipótesis nula (H02) demostrando que el costo de alimento por libra de camarón producido es igual con las diferentes frecuencias (ilustración # 3).

En conclusión, los datos obtenidos durante el estudio no validan las hipótesis planteadas para el estudio, sin embargo el implementar este sistema de alimentación de dos frecuencias no compensa la inversión realizada ya que la sobrevivencia obtenida en el grupo experimental (dos frecuencias de alimentación) es menor que la del grupo control (una frecuencia) lo que viene a impactar en el rendimiento de libras cosechadas por hectárea y que a la larga incrementa los costos de operación de la empresa, es decir se producen libras de camarón a un mayor costo de producción.

# Aplicación práctica: diseño experimental de un factor

Nombre del estudiante:			
Número de cuenta:			
Fecha:	Sección:	Calificación:	

**Instrucciones:** Tomando como base lo estudiado en esta sección, elabore un diseño experimental de un factor. El problema principal puede ser asignado por el catedrático, o si él lo estima conveniente, dejarlo a libre elección del o los estudiantes. Esta actividad se puede desarrollar en equipos de trabajo.

Notas		





# Herramientas administrativas de la calidad

## Objetivos de aprendizaje

Al completar el estudio de este apartado, el estudiante será capaz de:

- Conocer la importancia de las herramientas administrativas de la calidad en la solución de problemas.
- Seleccionar la herramienta que más se adapte a la situación en estudio.
- Conocer para qué sirve la herramienta del diagrama de afinidad.
- Aplicar la herramienta de diagrama de afinidad para representar situaciones en estudio.
- Elaborar un diagrama de afinidad.
- Conocer para qué sirve la herramienta del diagrama de interrelaciones.
- Aplicar la herramienta de diagrama de interrelaciones para representar situaciones en estudio.
- Elaborar un diagrama de interrelaciones.
- Conocer para qué sirve la herramienta del diagrama sistémico o de árbol.
- Aplicar la herramienta de diagrama sistémico o de árbol para representar situaciones en estudio.
- Elaborar un diagrama sistémico o de árbol.

- Conocer para qué sirve la herramienta del diagrama de matriz.
- Aplicar la herramienta de diagrama de matriz para representar situaciones en estudio.
- Elaborar un diagrama de matriz.
- Conocer para qué sirve la herramienta de la matriz de análisis de datos.
- Aplicar la herramienta de matriz de análisis de datos para representar situaciones en estudio.
- Elaborar una matriz de análisis de datos.
- Conocer para qué sirve la herramienta del cuadro de programa de decisión de procedimiento (CPDP).
- Aplicar la herramienta de CPDP para representar situaciones en estudio.
- Elaborar un cuadro del programa de decisión de procedimientos.
- Conocer para qué sirve la herramienta del diagrama de flechas.
- Aplicar la herramienta de diagrama de flechas para representar situaciones en estudio.
- · Elaborar un diagrama de flechas.



Son un conjunto de técnicas que siguen un procedimiento sistemático y estandarizado para la solución de problemas o situaciones. También se denominan la segunda generación de las herramientas ya que son capaces de tratar con todo tipo de ideas, situaciones, opiniones de tipo cualitativo y de difícil tratamiento.

Su finalidad es utilizar diversas técnicas para la correcta toma de decisiones y el logro de los objetivos. Esto implica la participación unida y global de todo el personal desde la alta gerencia, la gerencia media hasta los empleados y las líneas bases como los operarios.

Estas herramientas sirven básicamente para que los directivos de una organización se puedan comprometer a un programa de calidad total, identificar las oportunidades de mejora en sus organizaciones e implementar los programas de mejora.

### 6.1 Diagrama de afinidad

El diagrama de afinidad es utilizado para organizar ideas y datos no estructurados en grupos o en temas afines para su posterior análisis. También se le conoce con el nombre de "método KJ" en honor a su creador Jiro Kawakita (UNIT, 2009).

Es una herramienta para organizar gran número de ideas opiniones y hechos relacionados con un problema extenso. Una vez generado un gran número de ideas, estas se pueden agrupar de acuerdo con su afinidad o relación entre sí. Se le considera como una clase especial de tormenta de ideas.

El objetivo del método KJ es generar, organizar y consolidar la información de un evento, situación o problema, lo que le confiere las siguientes ventajas:

- Organización de muchas ideas y conceptos, útil cuando se tiene un gran volumen de información sin orden.
- Permite entender más a fondo una situación o problema.
- Se enfocan los esfuerzos del grupo de trabajo, lo que te permite trabajar en equipo.
- Es un método visual.
- Facilita el análisis posterior.
- Es usado en múltiples de campos.

Sus utilidades son:

- Promueve la creatividad de todos los integrantes del equipo de trabajo en todas las fases del proceso.
- Derriba barreras de comunicación y promueve conexiones no tradicionales entre ideas.
- Promueve la apropiación de los resultados que emergen porque el equipo crea tanto la introducción detallada de contribuciones como los resultados generales.

Los pasos por seguir para elaborarlo son:

- 1. Reunir un equipo de trabajo y nombrar un facilitador.
- 2. Seleccionar el tema o problema analizar.
- 3. Realizar una lluvia de ideas con las siguientes características: cada una de las opiniones se escribe en una ficha única donde se recolecta la información; se agrupan las fichas relacionadas; se escribe en otra ficha la síntesis de las fichas que se expresan opiniones semejantes, en este caso se puede identificar, por ejemplo, personal, proceso e infraestructura.
- 4. Identificados los temas centrales se empieza a realizar la afinidad con respecto a cada uno de ellos
- 5. Posteriormente se dibuja el diagrama de afinidad.



### + EJEMPLO DE DIAGRAMA DE AFINIDAD

Un grupo de estudio desea elaborar un diagrama de afinidad sobre las características que deben de tener los líderes, en consecuencia se logran establecer las siguientes ideas:

- · Saber escuchar.
- Ser confiable.
- Ser justo.
- Saber dónde se está y hacia dónde llegar.
- Saber dar instrucciones.
- Tener capacidad para trabajar en equipo.
- Tener valor para romper esquemas.
- Saber interrelacionarse.
- Ser perseverante para lograr objetivos.
- Buscar objetivos comunes y no personales.

En relación con las ideas, se concluye que se pueden establecer los siguientes temas principales o categorías:

- Comunicación.
- Visión.
- Virtudes personales.

El diagrama de afinidad de este tema se representa de la siguiente manera:

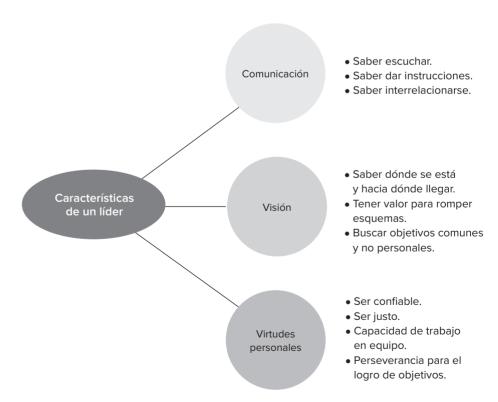


Figura 6-1 Diagrama de afinidad sobre las características de un líder.

Notas	

# Aplicación práctica: diagrama de afinidad

Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Fecha:	Sección:	Calificación:

**Instrucciones:** Tomando como base lo estudiado en esta sección, elabore un diagrama de afinidad. El problema principal puede ser asignado por el catedrático, o si él lo estima conveniente, dejarlo a libre elección del o los estudiantes. Esta actividad se puede desarrollar en equipos de trabajo.

Notas		





### 6.2 Diagrama de interrelaciones

El diagrama de interrelaciones permite crear una imagen visual de las conexiones lógicas entre los distintos datos en relación con un problema. Es decir, permite obtener una visión de conjunto de la complejidad de un problema, presenta causas que están en relación con determinados efectos y permite el pensamiento multidireccional.

Dada la naturaleza del diagrama de interrelaciones, generalmente se relaciona con:

- Diagrama de afinidad.
- Diagrama de causa y efecto.
- Diagrama de árbol.
- Cuadrícula de selección.
- · Lluvia de ideas.

Entre las utilidades que puede dar este diagrama están:

- Desarrollo de políticas de calidad.
- Introducción y promoción del control total de la calidad.
- Mejoras a diseños con base en quejas del mercado.
- Mejoras al proceso de manufactura.
- Promoción de actividades en grupo.
- · Cambios administrativos.

Aunque estas utilidades ya son bastante importantes, el diagrama de interacciones también permite, visualizar con claridad la relación entre la situación estudiada y las diferentes soluciones aportadas y disponibles que sean eficaces o que pretendan serlo.

Podemos considerarla como la herramienta definitiva. Sin embargo, no debemos olvidar que, aunque es una herramientas para la solución eficaz de problemas y facilita esta labor. No es la panacea que soluciona y nos responde a todas las preguntas.

Debemos tener muy presente que el hecho de que esta herramienta funcione o no, va a depender de las personas implicadas en el proceso, pues son quienes la emplearán y quienes tienen que recordar que siempre debe privar el sentido común.

Los pasos, de forma resumida, que se deben de seguir para aplicar esta herramienta de forma eficaz y a fin de que aporte los resultados que se esperan de ella, son los siguientes:

- 1. Contar con un equipo de trabajo que aporte soluciones imaginativas para resolver la situación estudiada, sin olvidar el sentido común.
- 2. Ver el problema con claridad y contar con la definición adecuada.
- 3. Identificar todas las posibles causas utilizando herramientas como la tormenta de ideas para identificarlas.
- **4.** Establecer la relación causa-efecto e indicarla mediante flechas que apunten de la causa al efecto que produce.
- 5. Observar las causas para identificar cuáles producen más efectos o de mayor envergadura e importancia.
- 6. Establecer conclusiones que aporten una solución eficaz de la situación.

Sin embargo, la labor que en apariencia es tan simple puede complicarse si no la comprendemos en su totalidad o si no seguimos los pasos adecuados. Así, se puede pasar de una herramienta para determinar eficazmente causas y resolver problemas, a una labor que aporte confusión y nos lleve en la dirección errónea.



A continuación, se presenta un ejemplo de este tipo de diagrama:

### + EJEMPLO

Se analiza el alto costo de operación de los autobuses del transporte público de la ciudad de Tegucigalpa en Honduras. La situación problemática radica en que en los últimos cinco años los autobuses no están logrando llegar a su punto de equilibrio operativo (PEO).

Los elementos (ideas, causas, efectos, soluciones) asociados al problema se han obtenido de la información proporcionada por expertos en el tema a través de entrevistas y revisión documental. De lo anterior se han generado los siguientes elementos:

- Falta de mantenimiento en los buses del sistema.
- Mal servicio percibido por los usuarios.
- Insuficiente número de pasajeros.
- El transporte ilegal capta usuarios del sistema.
- Tiempo de espera muy alto para el usuario.
- Insuficiente número de buses.
- Falta de cobertura.
- Las estaciones del sistema no cuentan con suficiente espacio para albergar a los usuarios que toman un bus
- Aglutinamiento de usuarios al interior de los buses en horas pico.
- Las estaciones del sistema no cuentan con infraestructura para recibir a varios buses a la vez.
- La infraestructura vial se queda corta ante la demanda de buses (de pasajeros).
- Inadecuado manejo de las finanzas de la empresa.
- Mala distribución de la flota de buses

De acuerdo con el análisis al azar, si estos elementos causan o influyen sobre otros, se obtuvo lo siguiente:

- El tiempo de espera del usuario causa o influye sobre...
  - a) ¿El mantenimiento en los buses del sistema? No.
  - b) ¿Mal servicio percibido por los usuarios? Sí. Un elevado tiempo de espera enfurece a los usuarios.
  - c) ¿El número de pasajeros? No.
  - d) ¿En el transporte ilegal para que este capte usuarios? Sí, porque ellos prefieren usar otros medios de transporte a esperar demasiado tiempo para tomar un bus.
  - e) ¿En el número de buses? No.
  - f) ¿La cobertura? No.
  - g) ¿El espacio de las estaciones? No.
  - h) ¿En el espacio de las estaciones donde esperan el bus? Sí. A más tiempo de espera, mayor concentración de usuarios en la estación.
- Y se continúa haciendo el análisis con el resto de los elementos.
- Con aquellos que existe conexión se traza una línea desde el elemento de análisis hacia los elementos que causa:

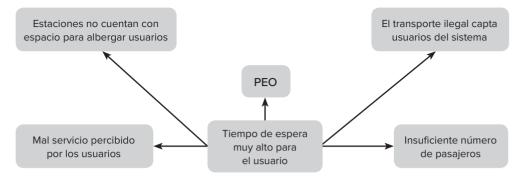


Figura 6-2 Ejemplo de elementos con relación.

Una vez analizados todos los elementos se obtiene el diagrama de interrelaciones de la situación problemática:

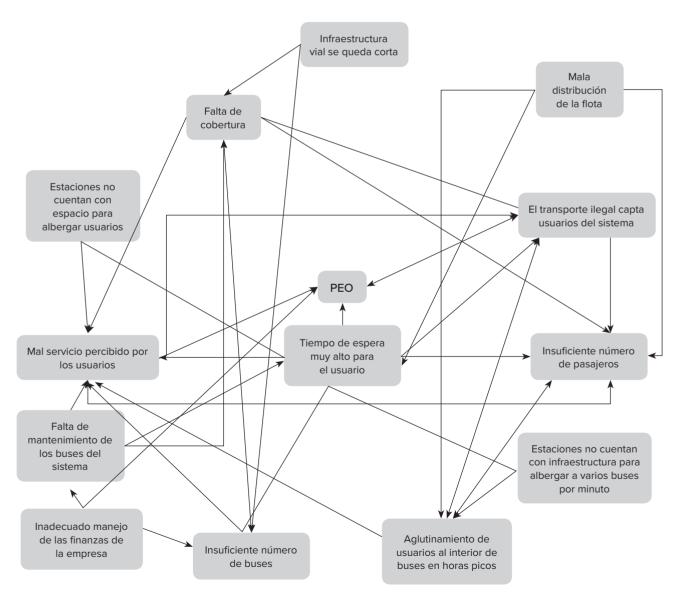


Figura 6-3 Autobuses del servicio público de Tegucigalpa, Honduras no llegan a su punto de equilibrio operativo (PEO).

Notas	

### Aplicación práctica: diagrama de interrelaciones

Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Fecha:	Sección:	Calificación:

**Instrucciones:** Tomando como base lo estudiado en esta sección, elabore un diagrama de interrelaciones según el siguiente enunciado:

El problema en este caso será "alto consumo de energía eléctrica en los hogares", para ello debemos listar las causas probables del problema, identificar el resultado que corresponde a cada causa y relacionar con una flecha la causa con su resultado.

Notas		



### 6.3 Diagrama sistémico o de árbol

Es una herramienta que ayuda a pensar de forma sistemática acerca de cada aspecto necesario para resolver un problema u obtener un resultado, a través de un proceso que profundiza paso a paso en los aspectos necesarios, desde lo general a lo específico.

Es una representación gráfica que muestra los factores o medios que pueden contribuir a un efecto u objetivo determinado. También se puede usar para identificar todos los factores que contribuyen a un problema en cuestión.

El diagrama se asemeja a un árbol con ramas que se van multiplicando. A través de las relaciones entre las distintas ramas y la raíz de este árbol, esta herramienta ayuda a definir un método óptimo para alcanzar un objetivo.

El diagrama sistemático o de árbol se utiliza:

- Cuando un tema se define en términos generales y es necesario establecer detalles específicos. Por ejemplo, cuando se desarrollan los pasos lógicos para alcanzar un objetivo.
- Cuando se establecen las acciones para implementar una solución o un plan.
- Cuando se requiere establecer la causa-origen de un problema.
- Cuando se requiere evaluar los resultados de las diversas alternativas de solución.
- Cuando un diagrama de afinidad no permite clarificar aspectos claves.
- Como una herramienta de comunicación, para explicar con mayor detalle algún tema.

Una manera de concebir el diagrama sistemático o de árbol, es considerar los medios para el logro del objetivo y luego encontrar los medios para la ejecución de los medios ideados y desarrollarlos de manera sistemática.

El procedimiento básico para elaborar un diagrama sistemático es el siguiente:

- Desarrollar una definición de la meta, proyecto, plano, problema. Colocar la definición en la parte superior, en caso de que se construya un diagrama con orientación vertical o en el extremo izquierdo, en caso de construirse un diagrama con orientación horizontal.
- Formular una pregunta que guie al siguiente nivel de detalle. Para una meta o un plan de acción, preguntar ¿qué tareas deben realizarse para lograr aquello? o ¿cómo puede esto realizarse? o ¿cuáles son los componentes? Para el análisis del origen de las causas, preguntar ¿qué ocasiona esto? o ¿por qué está ocurriendo esto?
- Establecer todas las posibles respuestas. Si un diagrama de afinidad o diagrama de relaciones ha sido previamente elaborado, las ideas pueden tomarse de allí.
- Verificar que todos los aspectos sean los necesarios o suficientes para lograr o alcanzar el nivel superior o anterior. Crear las relaciones entre los aspectos identificados con los previos utilizando flechas.
- Cada una de las nuevas ideas o respuestas se convierte en una meta, objetivo o definición de un problema.
- Continuar hasta identificar las causas específicas y/o que los componentes no sean divisibles. Hasta completar el diagrama.

### + EJEMPLO

Una empresa dedicada a la comercialización de ropa en el extranjero tiene actualmente dos sedes en Honduras ubicadas en la zona norte y zona sur del país. La empresa ha definido como objetivo estratégico que las ventas para este año se incrementen en 20% con relación al año anterior, para lo cual ha determinado lo siguiente:



#### 1. Sede sur:

- a) Contribución al incremento en ventas de 12% con relación al año anterior.
- b) Incremento en ventas de ropa interior de 5%.
- c) Ventas de \$ 100,000.00 en nuevas líneas.
- d) Posicionar 3 líneas de prendas en eventos de moda.
- e) Ventas de \$24,000.00 en línea de ropa interior.
- f) Ventas de \$25,000.00 en nuevas líneas de prendas.
- q) Negociar con casas de moda.

#### 2. Sede norte:

- a) Contribución al incremento en ventas de 8% con relación al año anterior.
- b) Obtener 8 nuevos clientes corporativos
- c) Generar \$15,000.00 en descuentos a clientes por acumulación de puntos de ventas.
- d) Obtener 3% de ventas mensuales por clientes reincidentes.
- e) Obtener 2% de ventas mensuales por clientes diferidos.

Con los datos anteriores elaborar el diagrama sistémico o de árbol.

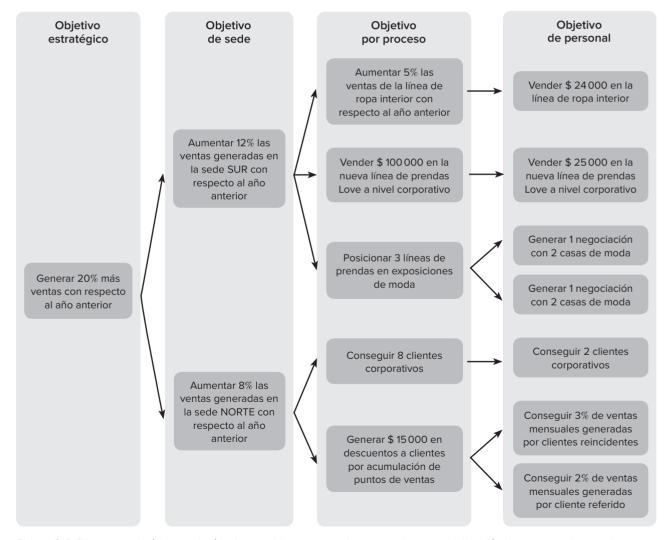


Figura 6-4 Diagrama sistémico o de árbol para el incremento de ventas de comercialización de ropa en el extranjero.

# Aplicación práctica: diagrama sistémico o diagrama de árbol

Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Fecha:	Sección:	Calificación:

**Instrucciones:** Tomando como base lo estudiado en esta sección, elabore un diagrama sistémico o de árbol. El problema principal puede ser asignado por el catedrático, o si él lo estima conveniente, dejarlo a libre elección del o los estudiantes. Esta actividad se puede desarrollar en equipos de trabajo.

Notas	



### 6.4 Diagrama de matriz

Este tipo de diagrama facilita la identificación de relaciones que pudieran existir entre dos o más factores, sean estos: problemas, causas y procesos; métodos y objetivos; o cualquier otro conjunto de variables. Una aplicación frecuente de este diagrama es el establecimiento de relaciones entre requerimientos del cliente y características de calidad del producto o servicio.

El análisis se realiza con el propósito de identificar las acciones más convenientes a tomar para la solución del caso en estudio. Un aspecto a tener en cuenta en esta clase de diagramas es determinar la intensidad o grado de fuerza de la relación existente entre los aspectos concretos que configuran cada uno de los factores.

La utilidad de este diagrama es que permite visualizar claramente los patrones de responsabilidad para que haya una discusión pareja y apropiada de las tareas, ayuda al equipo a llegar a un consenso con relación a pequeñas decisiones mejorando la calidad de este y el apoyo a la decisión final, mejora la disciplina de un equipo en el proceso de observar minuciosamente un gran número de factores de decisión importante.

Para elaborar un diagrama de matriz se realiza lo siguiente:

- 1. Definir el objetivo del diagrama de matriz: definir claramente el objetivo de estudio de acuerdo con los factores a analizar. El número de los tipos de factores involucrados en el objetivo de estudio condiciona el tipo de matriz a utilizar.
- 2. Listar los factores involucrados en la matriz: se puede apoyar de otras herramientas como la tormenta de ideas, diagrama de afinidad, diagrama sistémico entre otros.
- 3. Construir la matriz.
- **4.** Asignar las relaciones entre los diversos factores. La discusión sobre las posibles relaciones puede ayudar a aumentar el conocimiento del problema por el grupo.
- **5.** Revisar la consistencia de las relaciones indicadas por el diagrama, se corrige lo que sea necesario y posteriormente se concluye.

#### + EJEMPLO DE UN DIAGRAMA DE MATRIZ

Una empresa dedicada a la venta de camarón desea establecer una lista de precios para su producto de acuerdo con la talla que ofertará a los clientes en el mercado de consumo dentro de ciudad de Tegucigalpa, los factores a tomar en cuenta serán: la talla del camarón, precio por libra descabezado y precio por libra entero.

Las tallas en las cuales se comercializa el camarón son las siguientes: 26/30, 31/35, 41/50, 51/60, 61/70, 71/90, 91/110.

Los precios de lista por libra de acuerdo con la talla son:

- Camarón descabezado: L. 35.00, L. 30.00, L. 20.00, L. 20.00, L. 15.00, L. 15.00, L. 10.00
- Camarón entero: L. 30.00, L. 25.00, L. 18.00, L. 18.00, L. 12.00, L. 12.00, L. 8.00

Con relación a la información proporcionada por la empresa se solicita que se elabore un diagrama de matriz que represente toda la información proporcionada.

Tabla 6-1 Diagrama de matriz precio por libra de camarón en Tegucigalpa.

Tallas	Entero	Descabezado
26/30	L. 30.00	L. 35.00
31/35	L. 25.00	L. 30.00
41/50	L. 18.00	L. 20.00
51/60	L. 18.00	L. 20.00
61/70	L. 12.00	L. 15.00
71/90	L. 12.00	L. 15.00
91/110	L. 8.00	L. 10.00

Notas		

# Aplicación práctica: diagrama de matriz

Nombre del estudiante: _			
Número de cuenta:			
Fecha:	Sección:	Calificación:	

**Instrucciones:** Tomando como base lo estudiado en esta sección, elabore un diagrama matriz. El problema principal puede ser asignado por el catedrático, o si él lo estima conveniente, dejarlo a libre elección del o los estudiantes. Esta actividad se puede desarrollar en equipos de trabajo.

Notas	



#### 6.5 Matriz de análisis de datos

Sirve para tomar decisiones con base en la priorización de actividades, temas y características de productos según criterios de ponderación conocidos. La matriz utiliza una combinación de las técnicas del diagrama sistémico o de árbol y diagrama matricial.

Dentro de las principales utilidades que se le puede dar a esta matriz de análisis se encuentra el estudio de los procesos de producción, el análisis de adecuación al uso y la evaluación de sistemas complejos de calidad. Además facilita el proceso de identificación de problemas, causas y soluciones, y ofrecer las recomendaciones del caso.

El procedimiento de elaboración es el siguiente:

- 1. Elaborar una lista de las opciones o alternativas que se van a evaluar.
- 2. Seleccionar los criterios que se van a tener en cuenta para a evaluar las alternativas.
- 3. Definir la escala de calificación con la que se va a evaluar, evitando los riesgos de que la evaluación sea la mitad. No usar escalas que establecen la media como valor de evaluación, ya que los grupos por lo general seleccionan este valor.

### + EJEMPLO DE UNA MATRIZ DE ANÁLISIS DE DATOS

Un fabricante de aparatos electrónicos desea expandirse construyendo una segunda instalación. Su búsqueda se ha reducido a cuatro localizaciones, todas aceptables para la gerencia en lo que se refiere a factores dominantes o críticos. La evaluación de esos sitios, realizada en función de siete factores de localización, aparece en la siguiente tabla:

Tabla 6-2 Datos para determinar nueva localización.

		Puntaje o	del factor pa	ıra cada loc	alización
Factor localización	Ponderación del factor	А	В	С	D
Ambiente laboral	0.05	5	4	3	5
Calidad de vida	0.30	2	3	5	1
Sistema de transporte	0.05	3	4	3	5
Proximidad a los mercados	0.25	5	3	4	4
Proximidad a los materiales	0.05	3	2	3	5
Impuestos	0.15	2	5	5	4
Servicios públicos	0.15	5	4	2	1
	1.00				



Evaluación de factores en cada localización según el método de análisis de locación de promedios ponderados:

Tabla 6-3 Matriz de datos con localización seleccionada.

		Puntaje de	el factor pa	ra cada loc	calización
Factor localización	Ponderación del factor	А	В	С	D
Ambiente laboral	0.05	0.25	0.20	0.15	0.25
Calidad de vida	0.30	0.60	0.90	1.50	0.30
Sistema de transporte	0.05	0.15	0.20	0.15	0.25
Proximidad a los mercados	0.25	1.25	0.75	1.00	1.00
Proximidad a los materiales	0.05	0.15	0.10	0.15	0.25
Impuestos	0.15	0.30	0.75	0.75	0.60
Servicios públicos	0.15	0.75	0.60	0.30	0.15
Total	1.00	3.45	3.50	4.00	2.80
				Selecc	ionado

De acuerdo con la tabla anterior la localización seleccionada es la C, ya que es la que mayor valor ponderado logró obtener.

## Aplicación práctica: matriz de análisis de datos

Nombre del estudiante:			
Número de cuenta:			
Fecha:	Sección:	Calificación:	

**Instrucciones:** Tomando como base lo estudiado en esta sección, elabore un diagrama matriz. El problema principal puede ser asignado por el catedrático, o si él lo estima conveniente, dejarlo a libre elección del o los estudiantes. Esta actividad se puede desarrollar en equipos de trabajo.

Notas	



# 6.6 Análisis del cuadro de programa de decisión de procedimiento (CPDP)

El diagrama de proceso de decisión permite analizar las fases para la consecución de un objetivo, identificando potenciales contingencias no deseadas y estableciendo contramedidas específicas para contrarrestar dichas contingencias.

El diagrama de proceso de decisión muestra el grado de complejidad en el alcance de un proyecto u objetivo. Pone de manifiesto posibles dificultades, facilitando la planificación y permitiendo elaborar alternativas a las dificultades que puedan surgir, en la trayectoria establecida.

En definitiva, se trata de una herramienta preventiva y proactiva utilizada para formular los pasos necesarios para completar un proyecto, anticipar los problemas potenciales para diseñar respuestas adecuadas para afrontarlos.

Entre los beneficios de esta herramienta de la calidad, destacan los siguientes:

- Facilita a los miembros del equipo una visión global de las fases a desarrollar.
- Hace posible anticipar qué puede suceder en cada una de esas fases.
- Permite adelantar los potenciales problemas que pueden surgir durante el desarrollo del proyecto.
- Prevé acciones que puedan contrarrestar los problemas.

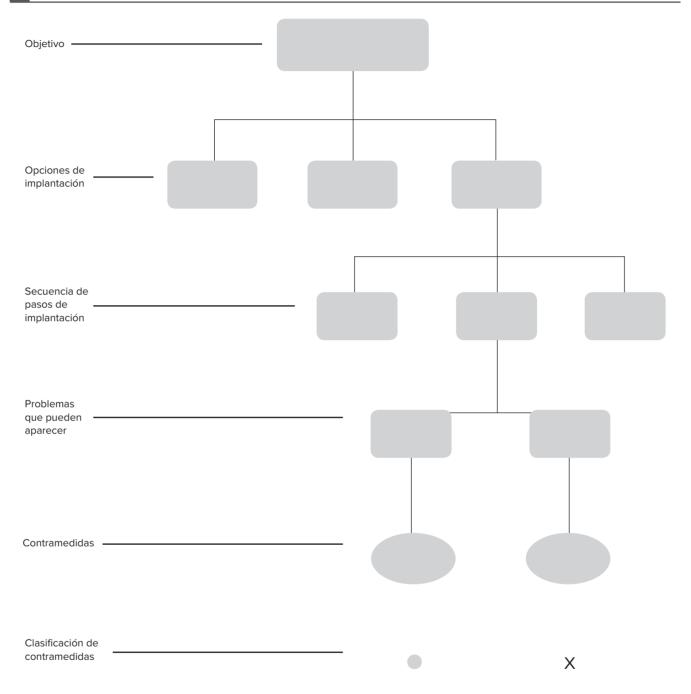
El diagrama de proceso de decisión constituye una variación del diagrama de árbol (en el que se descompone el objetivo general en acciones más detalladas), añadiendo la identificación de dificultades y de alternativas para contrarrestarlas.

Los pasos para efectuar la aplicación de la herramienta son:

- 1. Crear el equipo. Compuesto por personas con conocimientos sobre el objetivo o proyecto sobre el que se pretende trabajar.
- 2. Formular el objetivo. Mediante una frase que describa con claridad el objetivo, facilitando la identificación de niveles subordinados.
- 3. Establecer las fases principales para la consecución del objetivo. Estableciendo las fases principales para la consecución del objetivo formulado. Es adecuado utilizar la pregunta: ¿Qué tareas deben completarse para alcanzar el objetivo?
- **4.** Identificar problemas potenciales. Para cada una de las ramas que se derivan del tema, u objetivo principal, se exploran las dificultades que puedan surgir.
- 5. Determinar y seleccionar contramedidas. La cuestión para responder en esta fase de construcción del diagrama de proceso de decisión es ¿qué contramedidas o acciones pueden responder correctamente a las dificultades registradas? Para ello se revisan los problemas potenciales de cada "rama", y el equipo debe identificar al menos una contramedida para cada dificultad identificada. Finalmente, estas acciones o contramedidas se seleccionan según el siguiente criterio:
  - a) Contramedida inadecuada o difícil de aplicar: X
  - b) Contramedida seleccionada: O



### + EJEMPLO DE FORMATO PARA CPDP



 $\textit{Fuente:} \ \ \text{Extra\'ido de https://herramientascalidad-irisgallardo.} weebly.com/unidad-7-diagrama-de-proceso-de-decisioacuten.html$ 

Figura 6-5 Formato para CPDP.

### + EJEMPLO DEL EJERCICIO DE CPDP BASADO EN LA FIGURA 6-4 DEL DIAGRAMA SISTÉMICO O DE ÁRBOL

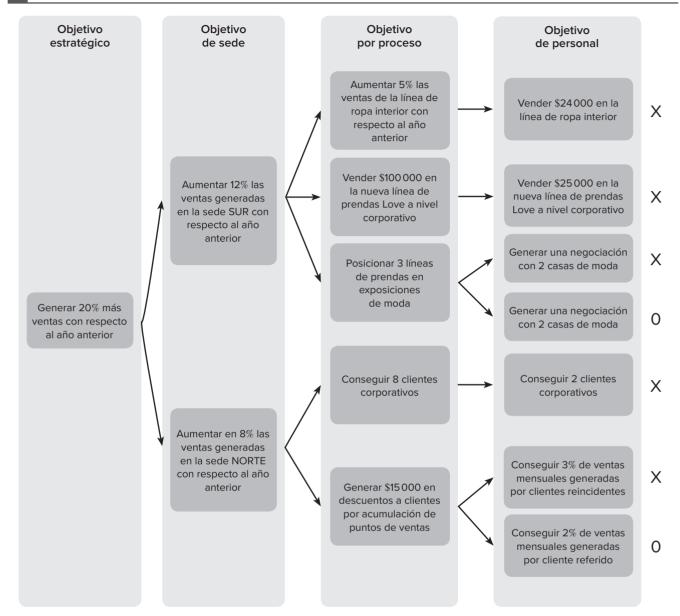


Figura 6-6 Ejemplo de cuadro de programa de decisión de procedimiento.

Notas		

# Aplicación práctica: cuadro CPDP

Nombre del estudiante:			
Número de cuenta:			
Fecha:	Sección:	Calificación:	

**Instrucciones:** Tomando como base lo estudiado en esta sección, elabore un CPDP. El problema principal puede ser asignado por el catedrático, o si él lo estima conveniente, dejarlo a libre elección del o los estudiantes. Esta actividad se puede desarrollar en equipos de trabajo.

Notas		



### 6.7 Diagrama de flechas

El diagrama de flechas indica el orden en que deben ser ejecutadas las actividades de un proyecto, permitiendo planificar y controlar su desarrollo, identificando las actividades que lo componen y determinando su ruta crítica, mediante una representación de red.

El diagrama de flechas también es conocido con otras denominaciones, como: actividad diagrama de red, diagrama de red, red de actividades, diagrama de nodo, o método de la ruta crítica (PERT-CPM). Está fundamentado en la aplicación de la metodología del camino crítico.

#### Sus objetivos son:

- 1. Determinar el tiempo óptimo de un proyecto,
- 2. Identificar las actividades necesarias para el cumplimiento del tiempo mínimo,
- 3. Elaborar un plan completo y detallado,
- 4. Revisar el plan en cada etapa y,
- 5. Clasificar las prioridades del proyecto.

#### Dentro de las utilidades de esta herramienta están:

- Obliga a la planificación completa y ordenada de un proyecto estimulando el pensamiento lógico,
- Proporciona una visión general del proyecto,
- Permite identificar todas las interrelaciones y dependencias lógicas secuenciales de las diferentes actividades necesarias para llevar a cabo el proyecto,
- Facilita revisiones del proyecto y de su planificación.

Para elaborar un diagrama de flechas se debe realizar lo siguiente:

- 1. Identificar las actividades, se procede a la identificación de las actividades que conformarán el proyecto a planificar.
- 2. Determinar la primera actividad del proyecto. Posteriormente, y listadas las actividades, se establece cuál es la primera en la ejecución del proyecto.
- 3. Iniciar la ordenación de las actividades. A partir de la primera actividad, se pregunta si hay actividades simultáneas, así como qué actividad sucede a la inicial.
- 4. Conectar las actividades y asignar tiempos.
- **5.** Especificar la trayectoria fundamental. Finalmente, se identifica el recorrido principal o ruta crítica que será la trayectoria acumulativa más larga.



### + EJEMPLO

Una compañía de aviones necesita analizar el proceso de preparación de un avión, para lo cual proporciona los datos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6-4 Tabla de proceso de preparación de un avión.

Tarea	Descripción	Predecesor	Tiempo minutos
А	Desalojar pasajeros	Ninguno	15
В	Descargar equipaje	Ninguno	25
С	Reabastecer motores	Ninguno	30
D	Limpiar interior	А	15
Е	Cargar comidas	А	15
F	Cargar equipajes	В	20
G	Abordaje de pasajeros	D	20
Н	Revisión de seguridad	C, E, F, G	10

Se pide que se elabore el diagrama de flechas para este proceso.

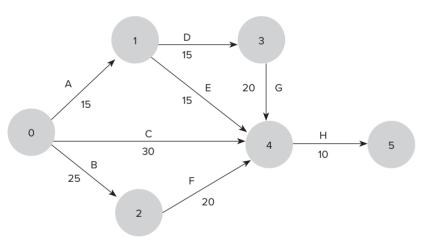


Figura 6-7 Diagrama de flechas proceso de preparación de avión.

La ruta más larga es A-D-G-H que equivale a 60 minutos

# Aplicación práctica: diagrama de flechas

Nombre del estudiante:			
Número de cuenta:			
Fecha:	Sección:	Calificación:	

**Instrucciones:** Tomando como base lo estudiado en esta sección, elabore un diagrama de flechas. El problema principal puede ser asignado por el catedrático, o si él lo estima conveniente, dejarlo a libre elección del o los estudiantes. Esta actividad se puede desarrollar en equipos de trabajo.

Motas	



# Introducción a la metodología de mejora con Seis Sigma

### Objetivos de aprendizaje

- En este capítulo de Introducción a la metodología de mejora con Seis Sigma se pretende que el lector adquiera los conocimientos básicos prácticos y habilidades para lograr desarrollar satisfactoriamente un proyecto de mejora en una empresa o institución, especialmente del rubro de la fabricación o transformación.
- El lector al seguir todas las etapas que conforman la metodología DMAIC (definir, medir, analizar y controlar) logrará mejoras significativas en el sistema de producción con un mínimo de inversión para la empresa.
- Lograr establecer indicadores de resultados desde el sistema de mejora continua para proyectos orientados a la reducción de desperdicios y eficiencia de los procesos fundamentado en el control estadístico.



Tenemos entendido que Sigma  $\sigma$  corresponde a la letra griega usada comúnmente para definir la desviación estándar poblacional, y nos ayuda para medir o cuantificar la variabilidad de una determinada variable en la población en cuestión.

Por otro lado la iniciativa de usar seis sigma o SIX SIGMA, desarrollada en los años ochenta como una metodología fundamentada en la estadística para encontrar y resolver problemas relacionados con la producción en masa de artículos, inherentes a la calidad, procesos y en busca siempre de oportunidades de mejora y así incrementar la productividad y eficiencia de los procesos.

Es un método que utiliza datos y se basa en análisis estadísticos para medir y mejorar el desempeño operacional de las compañías, identificando y eliminando "defectos" en los procesos de manufactura y servicios.

El objetivo principal de Six Sigma es incrementar las utilidades de la empresa, eliminando la variabilidad, los defectos y el desperdicio.

Esto incrementa el desempeño y reduce la variación. Con el fin de reducir los defectos se destacan diferentes actores con roles definidos en el desarrollo de la metodología. Estos actores tienen experiencia tanto en la capacitación como en la ejecución, llevando proyectos relacionados con millones de dólares en ahorros o mejoras al año.

Estos niveles son:

**Green belt**, que es quien se encarga de llevar el proyecto a lo largo del proceso. Se encarga de entrenar a todos los miembros de este sistema.

**Black Belt** que se encarga de proyectos más avanzados con inversiones más altas incluso controlando áreas regionales de las empresas, y sus entrenadores son los Master Black Belt.

Master Black belt generan proyectos para que los Black belts y Green belts desarrollen. También existe un Champion que maneja toda la estructura de proyectos para una región más amplia como por ejemplo, Latinoamérica, y sus proyectos generan millones de dólares en mejoras e incrementos de productividad a las empresas.

En este capítulo se espera que el lector después de haber logrado avanzar en sus habilidades estadísticas aplicadas al control de la calidad, pueda apoyarse en la metodología que aquí se presenta para usarla adecuadamente y que le permita cumplir con las responsabilidades de mejorar constantemente en las empresas y así lograr una ventaja competitiva para el resto de los actores en el grupo donde se encuentren.

Todas las empresas de fabricación y servicios del mundo buscan incansablemente cómo fabricar más usando lo mínimo disponible de recursos, esto se hace para ser más competitivos y eficientes en el uso de los mismo, pero no todos lograr superarse a sí mismos constantemente, y esta es una de las ventajas de la metodología, permite día a día ir encontrando esquemas de operación más eficientes y operativos más sencillos de aplicar y cambiar.

Uno de los principios básicos de la cultura de calidad es dar el mejor valor para nuestros clientes, y la metodología se centra en todo lo que al cliente le conviene, al tratar de reducir el enfoque en la variación de los procesos revisados, y especialmente se centra en el proceso, no viene a buscar a las personas y por último se fundamenta en los datos recolectados para la toma de decisiones, y no la información subjetiva y sin fundamento.



Figura 7-1 Niveles de Sigma.

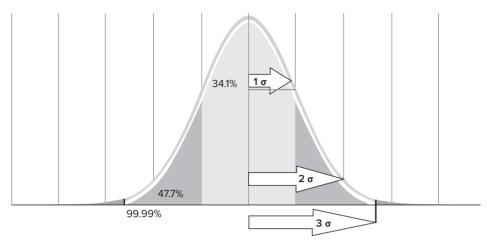


Figura 7-2 Gráfica de curva normal con niveles de Sigma.

### Un poco de historia

Todo comenzó en 1987 en la empresa Motorola que en ese momento fabricaba radios de comunicación. La empresa estaba perdiendo mercado a manos de los japoneses que tenían mejores prácticas de calidad y productividad. Esto constituyó el mejor reto para que se empezara a crear un esquema de mejora continua donde la meta era cero errores.

Para definir el concepto de mejorar lo que el cliente desea se definen tres premisas básicas:

Identificar cuáles son las necesidades del cliente y en qué medida se están cumpliendo. Cuantificar lo que no se está haciendo bien para cumplir con los requerimientos del cliente y documentar por qué están fuera de los parámetros del cliente.

Y por último es **eliminar de raíz** las prácticas erróneas para evitar que se repitan. Al estar en un proceso crítico de producción, esto establece las necesidades imperativas de mejorar y corregir.

### ¿Cuándo usar la metodología?

En muchos casos los ingenieros de proyectos y de las fabricas se enfrascan en buscar oportunidades de mejora, y muchas veces tenemos problemas latentes diarios que limitan la capacidad de producción y eficiencia del sistema, es por tanto importante determinar la solución a problemas cotidianos. La experiencia apunta a que para que los problemas se resuelvan fácilmente, los asociados u operadores deben ser los beneficiarios de las mejoras, pues son ellos los que pueden ayudar (o perjudicar) en un proyecto de mejora.

Entonces se recomienda que cuando se necesite resolver problemas se deben pensar antes que todo en el sentido común, porque a veces la mayoría de los problemas se pueden revisar y resolver con la simple lógica, después se debe pensar en las herramientas de ingeniería para resolver problemas ya que nos sirven de una forma práctica para definir causas simples para resolver problemas puntuales y fácilmente identificables, cabe mencionar que todos estos elementos funcionan cuando ya se conoce le problema, y se trata de identificar la causa, en cambio con el uso de las herramientas de Seis Sigma se pueden determinar problemas ocultos inherentes al proceso y es ahí donde se esperan mejores resultados al detectar costos de oportunidad ocultos.



#### ¿Qué es DMAIC?

Por las razones expuestas anteriormente se introduce la metodología de mejora de procesos llamada DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar. Este es un esquema sencillo pero eficaz para hacer mejoras de procesos o reducción de desperdicios, tanto en materiales, como en tiempo y otros insumos.

A continuación se explica cada uno dentro de los pasos sucesivos para lograr el éxito dentro del proyecto, ya que se debe pensar que cada proyecto tiene su inicio y su final para poder pasar al siguiente proyecto.

Recuerde que esta metodología no es un proyecto del tipo de formulación y evaluación de proyectos, donde se hacen estudios y se analizan inversiones para determinar el retorno del capital, ni se hacen análisis socioeconómicos relacionados con el impacto en la sociedad de los mismos.

En el siguiente cuadro se puede apreciar el esquema de trabajo de la metodologia DMAIC.



#### Definir

 Aqui es cuando se detallan las necesidad de mejora y se establecen los parametros de trabajo.

© Shutterstock/Creativa Images



#### Medir

 En esta etapa se definen los planes de recolección de datos que vamos a analizar.

© McGraw-Hill Education



#### Analizar

• En esta etapa se hace una revisión exaustiva de los datos para hacer una eficiente toma de desición.

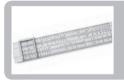
© Adam Gault/age fotostock



#### Implementar

• En esta etapa es donde ocurre la acción de mejora, ya sea a nivel de prueba piloto o ya definitiva.

© Shutterstock/Andrea Dant



#### Controla

• Esta ultima etapa y no menos importante, es donde se definen los parametros para evitar que el problema aparezca de nuevo.

© Coprid/Shutterstock

Figura 7-3 Metodologia DMAIC.

#### **Definir**

En esta primera etapa el equipo o proyectista define el problema como una meta a lograr, identifica los clientes internos o externos que se benefician del proceso a mejorar, y define sus parámetros de operación y especificaciones necesarias para lograr la completa satisfacción.



A través de este trabajo el equipo debe estar en completo contacto con los dueños de los procesos de la empresa, jefes de producción, jefes de mantenimiento, calidad, etcétera.

Al final de esta etapa se define la meta a lograr como una reducción porcentual de desperdicio o incremento en la productividad del departamento.

#### Definición de los requerimientos del cliente

Aquí empezamos a definir por escrito los requerimientos técnicos del cliente en relación con el producto o servicio solicitado. Siempre es importante generar un documento que el cliente se sienta cómodo para llenar y solicitar adecuadamente su demanda traducida en cantidades y especificaciones especiales de cada pedido.

Cabe notar que muchas empresa dan por sentado este requerimiento, y muchas veces los clientes no saben cómo hacer los pedidos. Por lo que es importante el trabajo del empleado que atiende al cliente (customer service) y que este pueda traducir las necesidades en especificaciones para lograr el éxito en la transacción.

Siempre es adecuado generar un formato estándar que sirva de guía para el departamento de producción y que sea el mismo el que desarrolle la orden de trabajo.

#### Identificar la situación del producto entregado

El siguiente paso va encaminado a evaluar la percepción del cliente de lo que ha estado recibiendo históricamente de nuestra empresa. Con base en estos datos se detectará qué imagen tiene de nuestra empresa, para saber si se están satisfaciendo las necesidades del cliente. Un método común es la encuesta en la entrega del producto o servicio, pero este se puede extender a un contacto postservicio, y así evaluar a lo largo del tiempo si se continúa teniendo la misma percepción del mismo.

Se sugiere realizar una escala numérica (definida por la empresa) donde se puedan medir niveles de aceptación y/o rechazo de los productos o servicios de la empresa.

#### Escriba un enunciado de los requerimientos del cliente

Hasta este punto es importante que la empresa junto con el equipo de mejora hagan un borrador empático, es decir que desde el punto de vista del cliente hagan un enunciado de cómo esperan que el producto o servicio sea entregado, y después socializarlo para ver qué tan cerca o lejos se está de las verdaderas necesidades y expectativas del cliente. No debe ser algo complicado, debe ser simple y claro para que todos los clientes se sientan conformes y compartan lo ahí escrito.

#### Lluvia de ideas de problemas en la empresa

A partir de aquí se empieza a realizar el esquema de la lluvia de ideas como parte inicial de la metodología donde se detallan por lo menos 30 items de ideas, desarrolladas mediante un círculo de calidad¹ o bien un equipo formado por la gerencia y mandos medios interesados en mejorar algún aspecto del proceso.

#### +

#### **EJEMPLO DE LLUVIA DE IDEAS**

Se empieza con el enunciado de todos los posibles problemas como si fuera una tormenta.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Un círculo de calidad es un grupo de especialistas de diferentes áreas que se reúnen para afrontar y resolver un problema que afecta a todos.



#### + EJEMPLO ENVASADORA DE MIEL

Falta de capacidad de manejo de recursos.

Fumigación irresponsable.

Falta de desarrollo del profesionalismo.

Falta de desarrollo de competencias.

Incumplimiento de los protocolos de procedimientos.

Instalaciones pequeñas.

No hay motivación para el personal.

Mantenimiento inadecuado e impuntual para las máquinas.

No existe la calibración en el equipo.

Facturación errónea de los productos entregados.

Falta de coordinación con las tareas a realizar.

No hay mantenimiento al equipo de transporte.

Facturación tardía en los productos entregados.

Falta de coordinación con las tareas a realizar.

Errores en el proceso de elaboración.

Coordinación deficiente de los horarios.

Falta de aseo de los desperdicios.

Envasado deficiente de la miel.

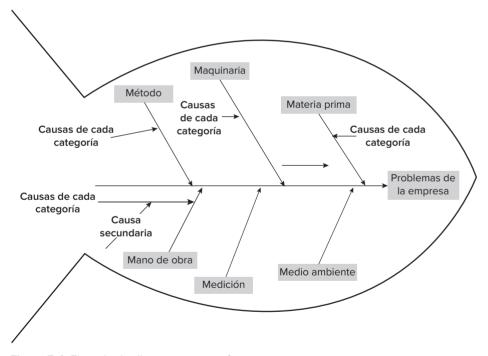


Figura 7-4 Ejemplo de diagrama causa-efecto.

Es importante notar que no todas las categorías pueden tener causas secundarias, pero siempre se deben esquematizar los seis elementos conocidos comúnmente como las seis "M" del diagrama de causa y efecto.

A partir de aquí se procede a ver cuál de las categorías "M" tiene mayor concentración de causas y causas secundarias para así enfocar la medición del siguiente paso de la metodología.



#### Mapeo SIPOC

El mapeo SIPOC es un modelo para darnos una idea general de todo el proceso de valor<sup>2</sup> y es una gran ayuda para empezar el plan de documentar los procesos ya que a veces se pierde tiempo en situaciones que no generan valor al producto o servicio final.

El modelo SIPOC puede ser de gran ayuda a todos los directivos y posibles clientes, pues les da una idea clara y sencilla del proceso desde la perspectiva de la cadena de valor.

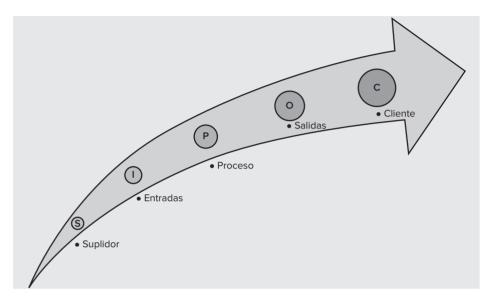


Figura 7-5 Modelo SIPOC.

**Suplidor:** Es la empresa o departamento interno que se encarga de entregar la materia prima o los insumos para el siguiente proceso.

**Entradas:** Puede ser la materia prima del proceso o la información necesaria para desarrollar una actividad, que después será transformada o procesada.

**Proceso:** Es la serie de pasos que transforman o convierten la materia prima o información y le agregan valor a las entradas.

Salidas: Es el producto o servicio terminado que usará o se servirá el cliente.

Cliente: Pueden ser las personas de otros departamentos o las personas naturales, inclusive las empresas que se benefician de los productos o servicios ofrecidos.

Los diagramas SIPOC se pueden realizar en cada proceso productivo de los departamentos o uno general de toda la empresa, y debe contener toda la información general del proceso en estudio.

#### Hoja de project chart

La Hoja de *proyect chart*, es un documento parecido al extinto resumen ejecutivo , donde se plasma la idea de mejora del proyecto, se establecen los parámetros de acción, el equipo

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> El proceso de valor solo incluye al proveedor de la materia prima, el proceso en sí, como transformación y la logística hacia el cliente final. No se incluyen gerentes ni personal de servicios asociados.



involucrado y además la idea inicial de cuánto se espera mejorar en datos cuantificables, es decir, en valor porcentual o datos numéricos de lo que se desea lograr.

Este documento es muy importante ya que define y clarifica la idea de mejora, tampoco es una camisa de fuerza que no se puede modificar o cambiar.

También sirve para conseguir la aprobación de la gerencia de cada proyecto y ayuda a negociar fondos e incluso tiempos de trabajo, con el fin de dar una idea en la línea de tiempo de cuándo iniciamos y cuándo terminamos el proyecto.

DMAIC hoja de proyecto					
Titulo de proyecto	Se debe pensar en redactar el nombre del proyecto en forma de objetivo, iniciando con un verbo que dé la idea de un presente progresivo. Ejemplo. "reducir el desperdicio de"				
Líder del proyecto	Se escribe su nombre como líder del proyecto pero también se nombran los colaboradores que le permitirán y ayudarán a lograr los objetivos del proyecto.				
Caso de empresa	Aquí se describe rápidamente lo que hace el departamento dentro de la empresa, y la importancia del mismo dentro de la cadena de valor.				
Oportunidad de mejora	l '	uál es el problema a tratar, en qué área o ea centrarse para hacer la mejora.			
<ul> <li>Diagrama de Gantt del Proy En este apartado de hace u en línea de tiempo</li> </ul>		<b>Meta:</b> cuánto espera reducir en valores cuantificables, o cuánto espera incrementar en producción o eficiencia.			
		Recursos: todo lo que usted necesita para lograr su meta.			

Figura 7-6 Cuadro de formato de project chart.

#### Medir

En la segunda etapa de medición se busca el rendimiento del proceso actual para calcular la situación de partida o línea base y refinar la declaración del problema u oportunidad de mejora.

En este apartado de debe planificar adecuadamente y medir el rendimiento frente a los requisitos del cliente.

Se llevarán a cabo las mediciones de los productos defectuosos para establecer en qué medida están afectando a la empresa y así identificar más fácilmente las oportunidades de mejora, tal como dice Edward Deming, "si se puede medir se puede mejorar."

También es importante que se genere el instrumento acorde a las necesidades del producto para la recabación correcta de los datos.

Pero para conocer ya en profundidad se tiene que desarrollar en el área (si no hay) un diagrama de flujo de procesos donde se expliciten las operaciones, traslados, inspecciones y demás elementos generales de la producción.

#### Diagrama de flujo de proceso/producto

El diagrama de flujo de procesos en un esquema dentro de una tabla que lleva componentes relacionados con la productividad, tiempos, y distancias de los procesos productivos



de un departamento o área. El diagrama define con claridad la secuencia de producción y las distancias que deben recorrerse. Este diagrama es exclusivo y ajustado especialmente a cada empresa, por lo que ningún diagrama es estándar. Lo que sí deben tener son los datos del encabezado donde se describe el nombre del proceso, el área o departamento, quién lo realizó, quién lo aprobó y quién lo autorizo para su uso final.

Dentro de este diagrama aparecen varias figuras que denotan algunas actividades.



Figura 7-7 Símbolos del diagrama de flujo de procesos.

**Operación:** esta es una actividad que le agrega valor al producto o materia prima, también es la actividad de servicio entregado.

**Inspección:** este elemento se refiere a la comparación de los parámetros de trabajo de una operación contra los parámetros preestablecidos generados por el cliente.

**Traslado:** es la acción del movimiento de un proceso a otro cuando este es mayor a 1 metro de distancia.

**Demora:** este proceso no debería incluirse dentro del esquema de producción cuando hay un buen balanceo de las líneas, pero en la realidad no se logra como debiera esperarse, por tanto se agrega como un elemento que no es agradable pero que tiene que estar ahí. Es exactamente cuando el producto tiene que esperar a la siguiente estación de trabajo y no existe transformación.

**Almacenaje:** es la acción especial donde se guarda el producto ya sea en proceso o terminado para la siguiente operación o departamento.

**Operación combinada:** esta resulta de cuando existe una operación pero ahí mismo se revisa si cumple con los parámetros estándares de calidad.

Diagrama de flujo de procesos							
Empresa:	Realizó:	_ Fecha:					
Departamento:	Revisó:	_ Fecha:					
Área:	Aprobó:	_ Fecha:					



Continuación

		Operación	Inspección	Traslado	Demora	Combinada	Almacenaje	Distancia	Tiempo
Ítem	Descripción del flujo del proceso			$\Rightarrow$				Metros	Segundos
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Figura 7-8 Tabla de diagrama de flujo de procesos.

Al final del diagrama se tiene un dato sumatorio de las distancias recorridas en el proceso y el tiempo estándar de fabricación.

#### Selección de lo que se debe medir

Al establecer los parámetros de nuestro proyecto y ya conociendo en qué nos vamos a enfocar, definimos lo que vamos a medir. Esta etapa es crucial ya que si elegimos incorrectamente todo nuestro proyecto puede fallar y no lograr el impacto deseado de mejora. Dentro de los criterios que se deben establecer es que la información debe ser suficientemente fuerte y no basada en corazonadas, o creencias, y establecer claramente los tiempos de ciclos, tipos de defectos, frecuencia de los mismos, e identificar las actividades de valor agregado.

También incluimos las siglas DPU, que nos relacionan con los defectos que se pueden encontrar por cada unidad producida y es no conforme a las especificaciones.

Dentro de las formas de determinar las medidas se debe especificar el lenguaje común con el equipo de trabajo, el equipo de mejora y los clientes para así hablar dentro de los mismos parámetros.

Otro aspecto importante antes de seleccionar lo que vamos a medir es establecer los recursos y el tiempo para realizar las mediciones y la cantidad mínima esperada de muestras, incluyendo las respuestas a las siguientes preguntas:



- ¿Qué clase de medida es?
- ¿Con qué frecuencia debo tomar las muestras?
- ¿Qué me indicaran estos datos?
- ¿En qué punto del proceso se mide?

### Plan de recolección de datos. Hoja de planificación de mediciones

Al generar el plan se tienen llevar a cabo los siguientes pasos:

- 1. Decidir las metas esperadas del plan.
- 2. Generar definiciones operativas y procedimientos para recolectar los datos.
- 3. Asegurar la consistencia de datos y la forma de recolección.
- 4. Asegurarse de entrenar adecuadamente al equipo de recolección (si lo hay).
- 5. Monitorear periódicamente a los recolectores de la información.

Cualquier sugerencia de mejora se debe incorporar para sacarle el mayor provecho a la actividad, y al final de esta parte se debe hacer a manera de lista de comprobación de lo que se va a medir, dónde, cuándo y quién lo hará.

#### Herramientas de recolección de datos

Todas las herramientas que nos ayudan y se adaptan a la necesidad de la recolección de datos son correctas y aplicables. Siempre es importante mantener la continuidad y el orden al usar las herramientas, logrando así la estabilidad al momento de recolectar los datos recibidos.

A continuación se presenta un ejemplo de una herramienta de recolección

Proceso	Pegado de manga en camiseta raglan								
Fecha	xx-xx-xx	Turno: 4 × 3	Empleado	Juan Pérez					
Categoría	de defecto	Frecuencia	Total						
Hilo suelto		///	3						
Mancha	de aceite	/////	5						
Agujero	en la tela	///	3						
Punta	da suelta	///////////////////////////////////////	17						
Т	otal		28						

Figura 7-9 Tabla de herramienta de recolección de datos.

Otras herramientas que también se pueden usar:

Use gráficos de Pareto para encontrar los pocos vitales y muchos triviales.

Puede usar gráficos de tendencia para encontrar patrones a lo largo del tiempo.

Histograma de polígono nos ayuda a revisar visualmente dónde podemos centrarnos.



#### **Analizar**

El paso analizar de la metodología DMAIC incluye un análisis detallado de los datos recolectados del proceso para poder comprender a fondo el comportamiento actual del proceso que se espera mejorar.

Entonces aparece en escena la variación como un aspecto inherente a la operación del sistema de producción, el gráfico de Pareto nos da una idea real para enfocarnos donde centrar la atención aunque no es el único método, este se adapta a las posibles fallas donde se deben discriminar fácilmente las más importantes y de más impacto a estar perdiendo el tiempo con las que no generan mayor cambio en la actividad del proceso.

Se tiene que convertir en un detective que busca con los datos obtenidos la raíz del problema y así fácilmente encontrar la solución.

## Herramienta de los cinco por qué en la búsqueda de las causas raíz

Dentro de las hipótesis encontradas a través de las herramientas como Pareto se complementa el uso de los 5 porqués, dando espacio a contestar cada pregunta y dicha respuesta se convierte en la siguiente pregunta.

Fundamentado inicialmente en el diagrama de Pareto se establecen las preguntas y estas deben contestarse hasta el quinto nivel, donde se espera poder generar la opción más cercana a la respuesta a trabajar.

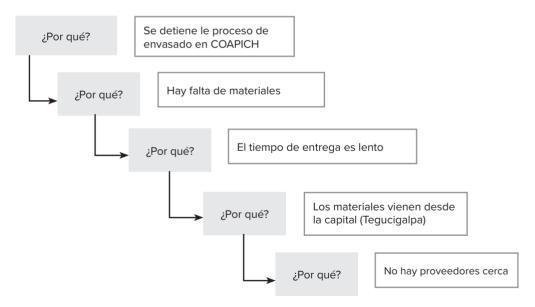


Figura 7-10 Ejemplo de los 5 porqués.

#### Preparación de propuesta para la implementación de la prueba piloto

Al completar toda esta información ya se encuentra listo para establecer los parámetros y realizar la prueba piloto. Es importante notar que hasta este momento no se ha realizado ninguna acción real de mejora en el proceso, y es hasta este momento donde se preparan todos los elementos para realizar en una planificada y aprobada acción, el piloto en baja escala de la mejora con el objetivo de preparar todo lo necesario para lograr el éxito en el proyecto.



#### **Implementar**

El objetivo de la implementación es llevar a cabo las soluciones propuestas en la etapa anterior, generando y evaluando soluciones usando la base del control estadístico, buscando reducir o eliminar en la medida de lo posible las variaciones, encontrando la causa principal y corrigiéndola desde el origen, para evitar la recurrencia de la misma.

Aquí se debe continuar con la mente abierta para hacer los ajustes correspondientes de la mejora que encontremos correctos y factibles en el camino, suelen darse los mismos por los cambios de la personas o equipos, pero no debe ser algo fuera de lo normal y ayuda a incrementar la probabilidad de éxito de la mejora en todos los sentidos.

Al implementar la mejora repasamos el camino realizado desde la definición del problema hasta las acciones concretas de cambios, esto se puede ver en el cuadro siguiente.

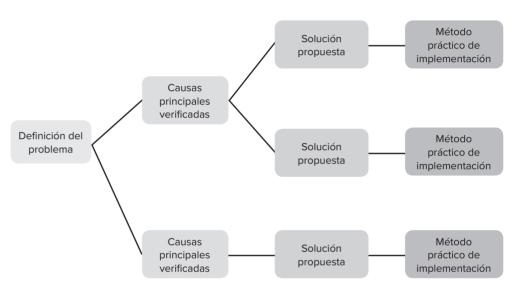


Figura 7-11 Matriz de selección de soluciones.

## Medición de resultados de la prueba piloto comparados con la propuesta inicial

Para continuar en la metodología se establece que debemos medir otra vez los indicadores que teníamos inicialmente para hacer un comparativo y determinar en qué medida se ha logrado la mejora, o la eliminación de la causa del problema.

#### Controlar

La fase de control es usada para principalmente para documentar cualquier proceso, procedimiento, o nueva responsabilidad del empleado y los requerimientos inherentes a los resultados que se han cambiado o creado por la implementación del plan de mejoramiento de procesos.

El propósito de la fase de control es institucionalizar los nuevos sistemas de operatividad y esta estaría completa cuando la comunicación de requerimientos de resultados del nuevo proceso se terminan y el sistema de monitoreo del nuevo proceso está funcionando.



En general se espera que la falla no regrese y que los involucrados conozcan adecuadamente la nueva forma de operar y así dejar olvidada la forma anterior.

Se implementaran los siguientes métodos de control:

- Establecer el plan de entrenamiento de todos los involucrados en el proceso.
- Definir el nuevo diagrama de flujo de procesos con el método mejorado.
- Generar un check list de los puntos críticos de control donde se evaluará periódicamente los niveles esperados de aceptación.
- Establecer los mecanismos a prueba de fallas dentro de los controles de operación.

Y por último el plan de comunicación de la transición

Se deben contestar adecuadamente los siguientes items:

- ¿Quién debe saber y qué debe saber cada dueño de proceso?
- ¿Cuándo debe saberlo?
- Establecer la jerarquía de métodos de comunicación.
- Propietarios del proceso principal con quienes se debe comunicar.
- Transferencia adecuada y disponible de conocimientos.



# Ocho pasos para la solución de un problema

#### Objetivos de aprendizaje

Al completar el estudio de este apartado, el estudiante será capaz de:

- Conocer en qué consiste la técnica de los ocho pasos para solucionar un problema.
- Conocer cómo se relaciona la técnica de los ocho pasos con el círculo de Deming.
- Aplicar la técnica de los ocho pasos en la solución de un problema.

En el diario vivir el ser humano se enfrenta a una serie de problemas u oportunidades de mejora para lo cual se deben de estar tomando decisiones que contribuyan a disminuir o a eliminar las mismas; hay que tener presente que un problema será aquella situación que resulta del alejamiento del resultado actual del logro de un resultado ideal (objetivo que se pretende alcanzar), en otras palabras, es el obtener resultados indeseables en un proceso.

La cultura de calidad de una empresa para solucionar problemas se apoya en el círculo de la calidad o círculo de Deming, enmarcado en la mejora continua. Aquí, a través de las etapas del circulo (planear, hacer, verificar y actuar), se establecen una serie de pasos a seguir apoyados con las herramientas básicas de la calidad para ir solucionando la situación problemática u oportunidad de mejora. En la siguiente figura se aprecia cómo se relacionan los pasos con las etapas del círculo de Deming:

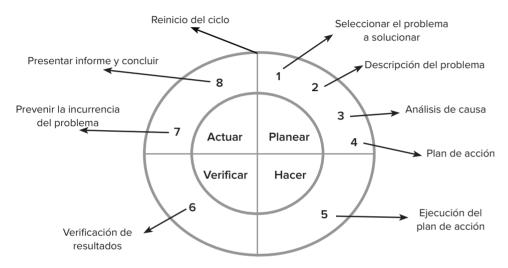


Figura 8-1 Circulo de Deming para solucionar problemas.

Los pasos para desarrollar este proceso de mejora son los siguientes:

- 1. Seleccionar el problema a solucionar: en este paso se define, delimita y analiza la magnitud de la situación problemática y se debe de realizar lo siguiente:
  - a) Hacer listado de los problemas que afectan a su área de trabajo. Sugerencia: pensar en los problemas o efectos y no en sus causas o soluciones.
  - b) Establecer prioridades. Sugerencia: basarse en hechos y datos reales.
  - c) Seleccionar el problema que se va a solucionar.
  - d) Definir el proyecto, incluyendo objetivo a lograr y beneficios que se podrían obtener.

Las herramientas por utilizar en este paso pueden ser: tormentas de ideas, diagramas de Ishikawa, diagramas de Pareto, hojas de verificación, histograma o cartas de control.

- 2. Descripción del problema: precisar las características de la situación problemática buscando todas las posibles causas que lo podrían estar provocando. Se debe de dibujar el diagrama de flujo del proceso para identificar operaciones, actividades, variables y atributos, señalando cuáles son críticos y cuáles no controlados.
  Las herramientas por utilizar en este paso pueden ser: diagramas de flujo, tormentas de ideas, diagrama de Ishikawa.
- 3. Análisis de causas: se debe de investigar a profundidad las causas que están provocando la situación problemática y determinar la causa o causas principales. Se debe realizar lo siguiente:



- a) Hacer un listado de las posibles causas del problema.
- b) Seleccionar las causas más probables.
- c) Comprobar que existe una relación entre las causas más probables y la situación problemática.
- d) Determinar la causa principal de la situación problemática y verificar su posible eliminación o bloqueo.

Las herramientas por utilizar en este paso pueden ser: tormentas de ideas, diagramas de Ishikawa, diagramas de Pareto, hojas de verificación, diagrama de dispersión.

- 4. Plan de acción: se deben de considerar las medidas remedios que serán las acciones específicas necesarias para eliminar las causas principales del problema. Se puede apoyar con las siguientes interrogantes: ¿Por qué? Para encontrar la necesidad. ¿Qué? Para definir el objetivo. ¿Dónde? Para determinar el lugar. ¿Cuánto? Para establecer los tiempos a utilizar y el costo de cada actividad. ¿Cómo? Que será el plan de acción a ejecutar. Se debe de realizar lo siguiente:
  - a) Definir la estrategia de acción a seguir.
  - b) Elaborar el plan de acción con el detalle del cronograma de las actividades.

La herramienta por utilizar en este paso puede ser: diagrama de Gantt.

- **5.** Ejecución del plan de acción: poner en práctica lo establecido en el plan elaborado en el paso anterior y llevar registro de los resultados. Se debe de realizar lo siguiente:
  - a) Difundir el plan de acción a todos los involucrados, comunicando a cada uno de los responsables: qué se va a hacer, por qué se va a hacer y cómo se va a hacer.
  - b) Entrenar a todas las personas que van a ejecutar las acciones planeadas.
  - c) Ejecutar las acciones planeadas.
  - d) Hacer un seguimiento permanente a la ejecución del plan.
  - e) Registrar todos los resultados.

Las herramientas para utilizar en este apartado son: programa de la capacitación del personal, hojas de recolección de datos, histogramas, cartas de control, hojas de verificación y diagrama de Gantt.

- **6.** Verificación de resultados: se tienen que revisar los resultados obtenidos después de la implementación del plan de acción. Se debe de realizar lo siguiente:
  - a) Comprobar la efectividad de las acciones ejecutadas antes y después de ejecutar las acciones
  - b) Comprobar los resultados, obtenidos al ejecutar las acciones, con las metas propuestas
  - c) Listar los efectos adicionales que se lograron durante el plan de acción
  - d) Preguntar: ¿La causa principal fue efectivamente eliminada o bloqueada? ¿Los resultados indeseables desaparecieron? Si las respuestas son afirmativas se puede continuar con el siguiente paso, si la respuesta es negativa se debe pasar al paso 2.

Las herramientas a utilizar en este apartado son: inspección y supervisión, hojas de verificación, cartas de control

- 7. Prevenir la recurrencia del problema: se debe estandarizar el procedimiento establecido garantizando que las causas principales fueron bloqueadas o eliminadas. Se debe de realizar lo siguiente:
  - a) Elaborar o modificar las normas o estándares.
  - b) Difundir los nuevos estándares o normas o los cambios que ellos sufrieron.



- c) Educar y entrenar a todos los involucrados en la ejecución de los estándares.
- d) Verificar periódicamente el cumplimiento de las normas

Las herramientas para utilizar son la inspección y la supervisión, hojas de verificación.

**8.** Presentar informe y concluir: Se debe de documentar el procedimiento establecido para evitar la reaparición de la situación problemática y planear nuevos proyectos de mejora.

El reinicio del ciclo será el producto del proceso de mejora continua, ya que hay que tener en cuenta que las situaciones ideales son muy difíciles de lograr y que, por lo tanto, buscar la perfección no es efectivo ni productivo. Tal como no es aconsejable trabajar demasiado tiempo en el mismo tema.

#### + EJEMPLO

#### Aplicación de la técnica de los ocho pasos para solucionar un problema:

En el departamento de producción de una empresa dedicada al procesamiento de camarón se forma un equipo integrado por cinco personas para poder identificar cuáles son los problemas que están afectando actualmente la productividad de este, El equipo está integrado por: 2 supervisores de producción, 2 supervisores de calidad y 1 operario de producción. Este equipo se apoyará en la técnica de los ocho pasos para solucionar un problema.

Paso 1: Seleccionar el problema a solucionar:

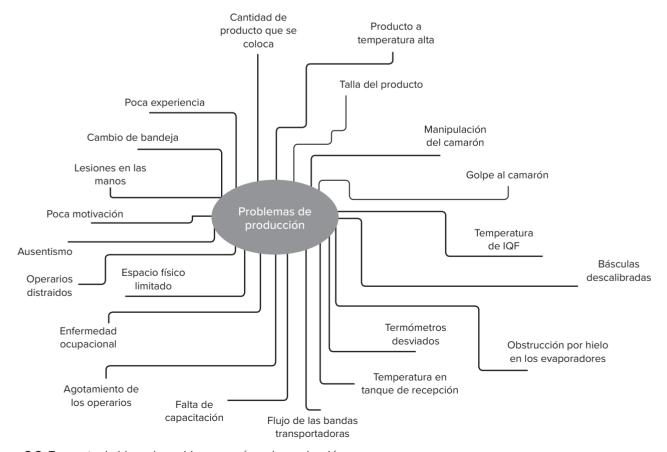


Figura 8-2 Tormenta de ideas de problemas en área de producción.



Tomando en cuenta los problemas que se muestran en la lluvia de ideas el equipo decidió enfocar la mejora en los resultados que se están produciendo por la temperatura de IQF (congelamiento individual rápido) que consiste en que el camarón se pega, ante lo cual se plantean el siguiente objetivo:

Reducir la cantidad de producto pegado en el proceso de IQF crudo en un 10%.

#### Paso 2: Descripción del problema:

Enfocados el proceso de IQF crudo el equipo de trabajo detalla en qué consiste este proceso: el camarón entra al IQF donde es congelado individualmente después lo dirigen a un glaseo para que el camarón adquiera una mejor contextura y más peso. Seguidamente el camarón es inspeccionado nuevamente para apartar el camarón pegado y con defectos, luego es embolsado, pesado y sellado para empacarlo y llevarlos a almacén.

#### Paso 3: Análisis de causas:

Analizando las situaciones que se presentan durante el proceso el equipo elaboró un diagrama de Ishikawa para mostrar las causas que están provocando el problema del camarón pegado que se presenta en la siguiente figura:

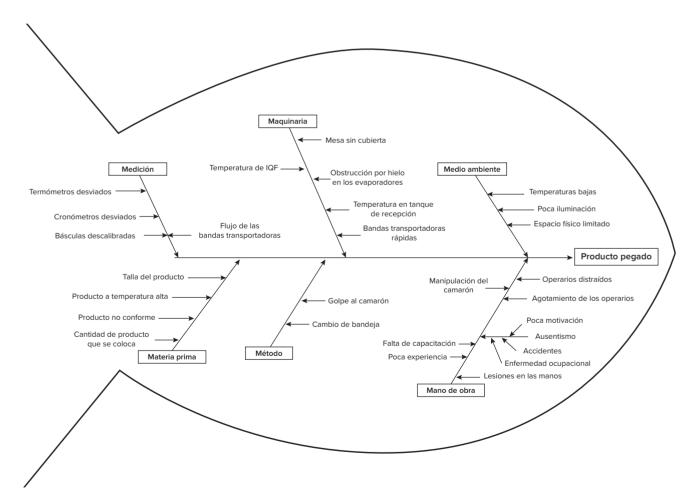


Figura 8-3 Diagrama de Ishikawa de camarón pegado en IQF crudo.

Analizando el diagrama de causa-efecto se pueden observar las diferentes categorías que presentan problemas en la empresa.



- Maquinaria y equipo, en esta categoría se encuentran cinco razones por las cuales puede existir problemas, una de ellas radica en la temperatura en IQF, obstrucción por hielo en los evaporadores, temperatura en tanque de recepción, los cuales juegan un papel importante en el aseguramiento de la calidad e inocuidad del camarón, otro aspecto es mesa sin cubierta, la cual atrasa el proceso de empaque debido al sumo cuidado que deben tener los auxiliares al colocar la bandeja donde se encuentran los camarones.
- Medición, entre las causas se encuentra termómetros y cronómetros desviados, básculas descalibradas lo cual afecta la calidad e inocuidad del producto, también se encuentra el flujo de las bandas transportadoras debido a que no presentan un flujo estable.
- Métodos, entre las causas principales se encuentran: golpe al camarón, al aplicar una fuerza mayor a la que pueda soportar el camarón, produce que este se quiebre y se conviertan en pedazos y como último; el cambio de bandeja, muchas de las auxiliares de producción no conocen el método apropiado para realizar esta actividad al momento de pesar el producto, esto provoca un atraso en el proceso de empacado.
- Mano de obra: la falta de capacitación del personal y poca experiencia como también el agotamiento y laceraciones en las manos de los operarios evita la eficiencia en la separación del camarón lo cual aumenta el resultado de producto pegado, por lo tanto, no se podrá asegurar la calidad del producto.
- Medio ambiente: en esta categoría se pudo encontrar el espacio físico limitado que afecta la movilización del personal dando como resultado cuello de botella; la poca iluminación evita una mejor visualización y produce una sensación de letargo, también la temperatura ambiente es baja lo que provoca que los operarios no se sientan en confort y disminuye la efectividad en todo el proceso.
- Materia prima: se encuentran productos no conforme, que se deben eliminar del proceso y se encuentra producto a temperatura alta y debido a esto se pega en la banda transportadora, y provoca retrasos en el proceso de selección.

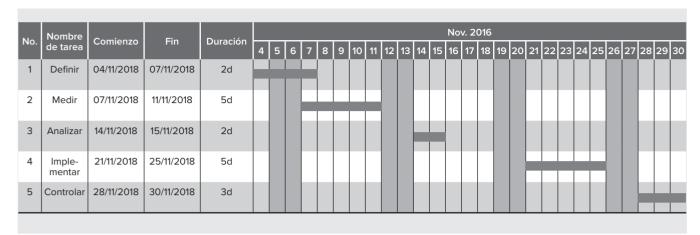
Basados en el análisis del diagrama el equipo de mejora concluye que la causa que está teniendo mayor incidencia en el problema de camarón pegado en el IQF crudo es la mano de obra.

Paso 4: Plan de acción

Título de proyecto	Reducción del producto pegado en IQF crudo	
Lider del proyecto	Equipo de mejora de calidad	
Caso de empresa	Camarones Sureños S. A. de C. V. se encarga de procesar camaró de distintas maneras según las especificaciones que el cliente so licite. Enfocados el proceso de IQF crudo: El camarón entra al IQ donde es congelado individualmente después lo dirigen a un glase para que el camarón agarre una mejor contetura y más peso. Segu damente el camarón es inspeccionado nuevamente para apartar camarón pegado y con defecto, luego es embolsado, pesado y sellado para empacarlo en másteres y llevarlos a almacén.	
Oportunidad de mejora	Se pretende reducir la cantidad de producto pegado en el proceso de congelamiento individual rápido (IQF) para evitar no conformidad y queja por parte del cliente.	

Continuación

#### Gráfico de Gantt



Meta: Reducir la cantidad de producto pegado en el proceso de IQF crudo en un 10%.

Recursos: Hoja de datos, cronómetro, lápiz, balanza, acceso al área de proceso, apoyo del supervisor y operario.

Figura 8-4 Plan de acción basado en metodología DMAIC.

#### Paso 5: Ejecución del plan de acción:

La metodología para implementar el plan de acción será la siguiente:

- El plan de recolección de datos será puesto en marcha durante una semana, debido a que el proceso de producción de IQF es muy irregular y el personal de turno cambia al culminar esa semana. Se tomarán los datos mediante la toma de flujo (libras pesadas durante un minuto) en la segunda banda transportadora, dichas observaciones se tomarán cada 20 minutos mientras se está separando el camarón después de haber salido de su congelamiento individual rápido y glaseo. Mediante el estudio de tiempos y movimientos se medirá el tiempo que le toma a los auxiliares de la primera banda trasportadora separar el producto.
- La hoja de planificación de mediciones estará basada en el flujo y el producto pegado que se encuentre en ese flujo previo a ser empacado y en los movimientos de los auxiliares de la primera banda trasportadora. La hoja llevara la siguiente información:

			Producto	pesado				Producto		
Fecha	Ho	ora	(kg)	(lb)	Flujo	Talla	Código	Pegado (lb)	Pegado (kg)	% pegado (kg)

Figura 8-5 Hoja de recolección de datos.

#### Paso 6: Verificación de resultados:

Una vez aplicado el plan de acción se obtuvieron los siguientes resultados:



Mediciones	Antes de la prueba piloto	Después de la prueba piloto	% Reducción
Promedio % pegado (kg):	5.62	1.8	-68%

Figura 8-6 Hoja de recolección de datos.

Dado los resultados de la tabla anterior se pudo determinar que la mejora fue mucho más (+68%) de lo que se había planteado en el objetivo que era reducir en 10% el camarón pegado.

#### Paso 7: Prevenir la recurrencia del problema:

Para prevenir la recurrencia del problema el equipo de mejora plantea lo siguiente:

- Capacitar al personal supervisores y operarios 2 veces al año.
- Realizar auditorías internas periódicamente para estar evaluando la calidad del trabajo que está efectuando el recurso humano.

#### Paso 8: Presentar informe y concluir:

El equipo de mejora logró el objetivo que se planteó al utilizar la técnica de los ocho pasos para reducir la situación problemática del camarón pegado en la línea de IQF.

Para realizar la prueba piloto se les comunicó a los auxiliares de producción que debían utilizar ambas manos, para aumentar el número de camarones que separan, se evitó que tiraran el camarón para que no se pegue en los camarones que ya habían sido separados. Las personas que están en la ventanilla del IQF no pueden moverse para tirar el camarón al comienzo de la banda transportadora, solo lo harán las personas que están en medio, ya que al no haber personal separando en la parte donde necesita más precisión la probabilidad de que el camarón se congele pegado es mayor. La supervisión para estos operarios fue más continua y se les comunicaba cuando los porcentajes de camarón pegado iban subiendo, así se tuvo más información del proceso.

Se logró determinar que se debe capacitar al equipo de producción (supervisores y operarios) dos veces al año, así como establecer auditorías periódicas al sistema.

# Aplicación práctica: ocho pasos para la solución de problemas

Nombre del estudiante:		
Número de cuenta:		
Fecha:	Sección:	Calificación:
	OCCCIOII	Camillacion.

**Instrucciones:** Tomando como base lo estudiado en esta sección, aplica la herramienta de los ocho pasos para solucionar un problema apoyado con círculo de Deming. El problema principal puede ser asignado por el catedrático, o si él lo estima conveniente, dejarlo a libre elección del o los estudiantes. Esta actividad se puede desarrollar en equipos de trabajo.

140	Jias		



# Capacidad de procesos

#### Objetivos de aprendizaje

 Aprender a calcular e interpretar los índices Cp y Cpk. Las herramientas estadísticas ayudan a cuantificar la variabilidad del proceso, a analizar la variabilidad respecto a las especificaciones. También sirven de insumo para tomar medidas tendientes a eliminar o reducir esta variabilidad. Precisamente a esto se le llama análisis de la capacidad del proceso. Cuando se habla de capacidad del proceso, se refiere a su uniformidad; es decir, la medición de la uniformidad de las salidas del proceso. En otras palabras, es importante saber si un proceso es capaz cuando cumple con las especificaciones técnicas que se desean.

Recordando la gráfica de los niveles signasigma, y la distribución de probabilidad norma (Z), cuando un proceso está dentro de control estadístico, 99,73% de los datos se encuentran en el intervalo de la media, más o menos 3 desviaciones estándar:  $\mu - 3\sigma$  y  $\mu + 3\sigma$ . Esto se encuentra representado en la siguiente figura:

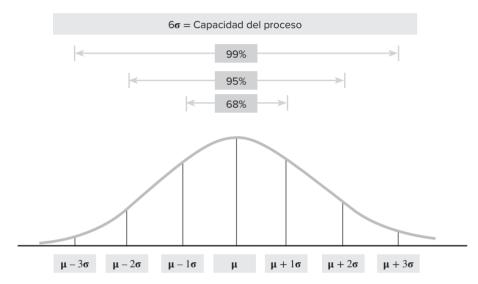


Figura 9-1 Capacidad del proceso.

Se utilizan índices de capacidad y proceso, Cp y Cpk. Se calculan con las siguientes fórmulas:

$$Cp = \frac{\text{L\'imite de control superior} - \text{L\'imite de control inferior}}{6*\text{Estimado de la desviación est\'andar}}$$

$$Cpk = Min \boxed{ \frac{\text{Media} - LCI}{3*\text{Estimado de la desviación est\'andar}}; \frac{\text{LCS} - \text{Media}}{3*\text{Estimado de la desviación est\'andar}};$$

Figura 9-2 Índices de capacidad de procesos.

Para que la producción esté dentro de las tolerancia se busca un Cp>1. Existe también el criterio de manejar un Cp>1.33

Pero el Cp no considera el centrado del proceso, por esta razón, si el proceso no está centrado, se calcula el CpK.

En un proceso de producción, se tomaron 15 muestras, cada muestra está conformada por 4 mediciones. Se han registrado las lecturas en Ohms de un dispositivo electrónico. Se sabe que se cuenta con una tolerancia de ±35 Ohms. En la siguiente tabla se presentan las lecturas obtenidas:

Tabla 9-1 Datos para cálculo de capacidad de proceso.

Núm. Muestra	Lectura (ohms)							
1	1010	991	985	986				
2	995	996	1009	994				
3	990	1003	1015	1008				
4	1015	1020	1009	998				
5	1013	1019	1005	993				
6	994	1001	994	1005				
7	989	992	982	1020				
8	1001	986	996	996				
9	1006	989	1005	1007				
10	992	1007	1006	979				
11	996	1006	997	989				
12	1019	996	992	998				
13	981	991	989	1020				
14	1015	993	988	984				
15	1007	1008	1005	982				

En primer lugar, agregar dos columnas, una para calcular el promedio de cada muestra y otra para calcular el rango. El rango se calcula restando el valor mayor menos el valor menor de cada muestra. A partir de esto se obtienen los siguientes datos:

Tabla 9-2 Cálculo de medias y rangos.

Núm. Muestra	Lectura (ohms)				Promedio	Rango
1	1010	991	985	986	(1010+991+985+986)/4 = 993	(1010-985) = 25
2	995	996	1009	994	998.5	15
3	990	1003	1015	1008	1004	25
4	1015	1020	1009	998	1010.5	22
5	1013	1019	1005	993	1007.5	26
6	994	1001	994	1005	998.5	11
7	989	992	982	1020	995.75	38
8	1001	986	996	996	994.75	15
9	1006	989	1005	1007	1001.75	18
10	992	1007	1006	979	996	28
11	996	1006	997	989	997	17



#### Continuación

Núm. Muestra	Lectura (ohms)				Promedio	Rango
12	1019	996	992	998	1001.25	27
13	981	991	989	1020	995.25	39
14	1015	993	988	984	995	31
15	1007	1008	1005	982	1000.5	26
				Promedio	999.283333 Esta es la media de las medias, es decir, de toda esta columna.	24.2 Este es el rango promedio

			_
Especificación		1000	Ohms
TOLERACION ±		20	Ohms
LCI	980		
LCS	1020		

Media de las medias	999.283333	
Estimación de la desviación S =	11.7532783	S = RANGO MEDIO/d2 El valor de d2 = 2.059, es una constan- te para 4 muestras de 4 mediciones

$$Cp = \frac{1020 - 980}{6 * 77.75}$$

$$Cpk = Min \left[ \begin{array}{c} 999.28 - 980 \\ \hline 3*11.7532783 \end{array}; \begin{array}{c} 1020 - 999.28 \\ \hline 3*11.7532783 \end{array} \right]$$

Al calcular los índices Cp y Cpk, se obtiene:

$$CP = 0.56721763$$
 se recomienda un  $Cp > 1.33$   
 $CPK = Min$  [0.54689233; 0.58754293]

Estos resultados indican que un porcentaje significativo de las mediciones estará fuera de las especificaciones.

Estos cálculos no solo se pueden realizar de esta forma, hay programas especiales para el área de calidad, sin embargo, Excel también permite efectuar los cálculos de una forma más rápida, a través de un complemento llamado SPC For Excel, el cual se encuentra disponible en su versión de prueba en la página www.spcforexcel.com. Descárguelo en su computadora. Una vez instalado en Excel se creará una sección como se muestra en la siguiente figura:

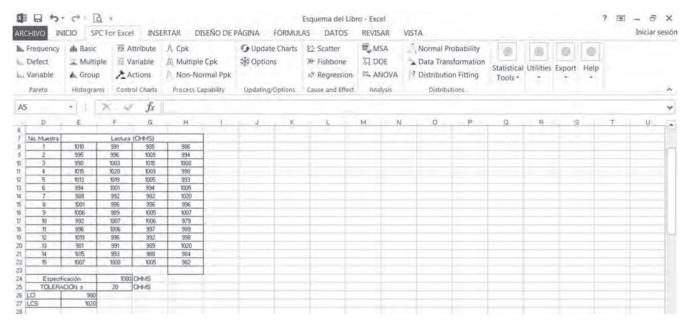
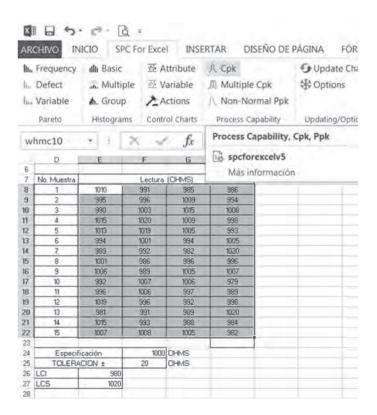


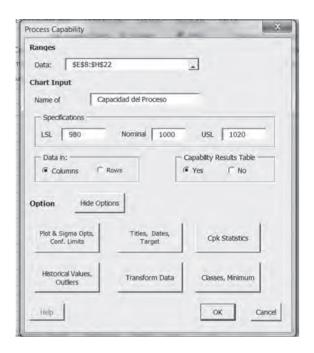
Figura 9-3 SPC For Excel.

En este caso se mostrará cómo calcular Cp y Cpk. Primero seleccione las celdas de los 60 datos y dé clic en Cpk.

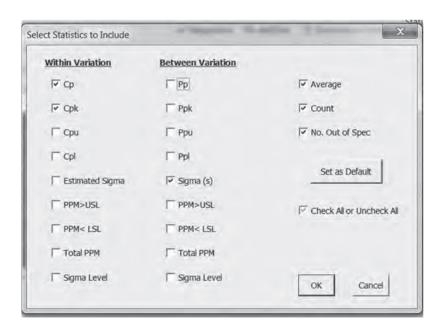




Aparecerá el siguiente cuadro de diálogo. Introduzca el nombre que desea darle a la hoja que Excel creará y en la cual generará un gráfico. LSL es la especificación inferior, Nominal en este caso es 1000 y USL es la especificación superior. Activar Yes en la sección de Capability Results Table.



Luego dar clic en el botón Cpk Statistics y active las siguientes opciones:



Dar clic en Ok.

#### Análisis de la capacidad

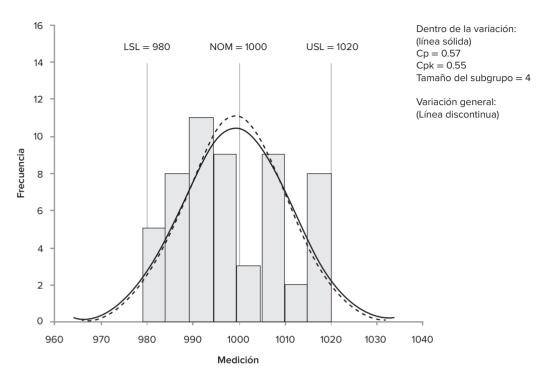


Figura 9-4 Gráfica de capacidad de proceso.

Lo anterior concuerda con los cálculos hechos de forma manual.

Realmente SPC For Excel es un excelente complemento, después de haber estudiado los distintos capítulos de este libro, podrá navegar y probar las diferentes opciones que proporciona, por ejemplo, hacer histogramas, cartas de control, diagramas de Pareto, diagramas causa efecto, diagramas de dispersión, cálculos de capacidad de procesos, entre otros.



#### Bibliografía

- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., & Williams, T. A. *Estadistica para la administracion y economía*. México, D.F. Cengage Leaming, 2008.
- Besterfield, D. H. Control de calidad. México. Prentice Hall, 2009.
- Cantú, H. D. Desarrollo de una cultura de la calidad. México. McGraw-Hill Interamericana, 2006.
- Crosby, P. Quality is Free. Nueva York. McGraw-Hill, 1979.
- Deming, W. Out of the Crisis. Cambridge, MA. Center for Advanced Engineering Study, 1986.
- Feigenbaum, A. V. Control total de la calidad. México. Compañía Editorial Continental, 1997.
- Girotra, K., Terwiesch, C., & Ulrich, K. *Idea Generation and the Quality of the Best Idea*. Management Science, 56(4), 591-605, 2010.
- Grant, L., E., & Leavenworth, R. S. Control estadístico de calidad. México. Continental, 1996.
- Gutiérrez Pulido, H. Calidad y productividad. México, D.F. McGraw-Hill, 2014.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. Control estadístico de la calidad y seis sigma. México, D.F. McGraw-Hill, 2013.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Colado, C., & Baptista Lucio, P. *Metodología de la investigación*. México. McGraw-Hill, 2014.
- Ishikawa, K. Guide to Quality Control. Hong Kong. Asian Productivity Organization, 1976.
- Juran, J., & Gyrna, F. Quality Planning and Analysis. Nueva York. McGraw-Hill, 1980.
- L. D. O. Métodos estadísticos aplicados a la investigación y a la producción. Argentina, 1996.
- Pinel, M. *Informe de la práctica profesional supervisada*. Choluteca. Universidad Católica de Honduras, 2018.
- UNIT. Herramientas para la mejora de la calidad. Uruguay. UNIT, 2009.
- Webster, A. L. Estadística aplicada a los negocios y la economía. Colombia. McGraw-Hill, 2008.