



Título del documento	
Las 7 herramientas estadísticas de Calidad	
Nombre del docente	
MTA María Josefina Fonseca Reyes	
Fecha de producción	Lugar
Abril / 2022	Querétaro
Programa educativo (Marque un solo programa con una X):	
P.7 Licenciatura en Gestión del Capital Humano - Intensivo	
Nombre de la asignatura	Unidad Temática
Sistema de Gestión de la Calidad	II. Medición del Sistema de Gestión de la Calidad
Propósito	
Material de apoyo dicactico	
Referencia (en formato APA):	Licencia Creative Commons:
Garro, E. (2017). Las 7 herramientas de Calidad. Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad. Cantú, J. H. (2011). Desarrollo de una Cultura de Calidad.	Pegue aquí la licencia



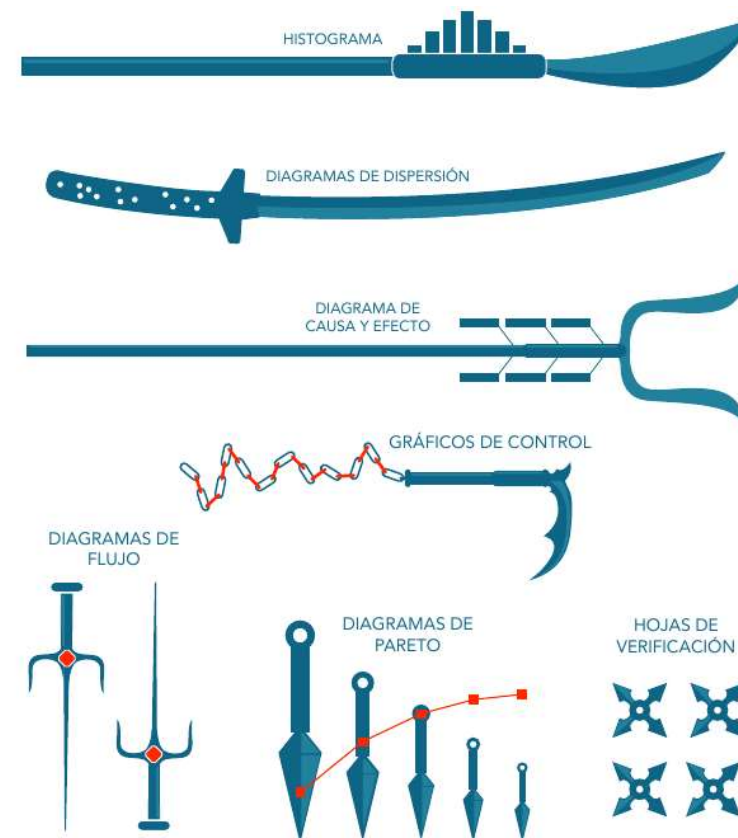
Herramientas básicas de calidad, o herramientas estadísticas de calidad.

1. Diagrama Causa-Efecto
2. Diagrama de Flujo
3. Hoja de Verificación
4. Diagrama de Pareto
5. Histograma
6. Gráfico de control
7. Gráfica de dispersión

¿Por qué son 7 y no 8 o 9 o 20?

Se atribuye a Kaoru Ishikawa la compilación de las siete herramientas, muy probablemente inspirado en las siete armas del guerrero Benkei.

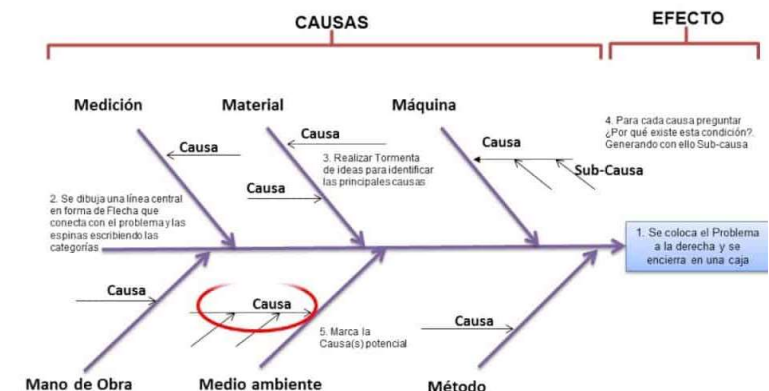
“El término ‘Siete Herramientas de Calidad’ recibe su nombre de las siete armas del famoso guerrero, Benkei. Este Sōhei (monje guerrero) poseía siete armas, que usaba para ganar todas sus batallas. Similarmente, de mi propia experiencia, usted encontrará que podrá resolver el 95% de todos los problemas a su alrededor si usa sabiamente las siete herramientas del control de calidad.” Kaoru Ishikawa.



Garro, E. (2017). Las 7 herramientas de Calidad.

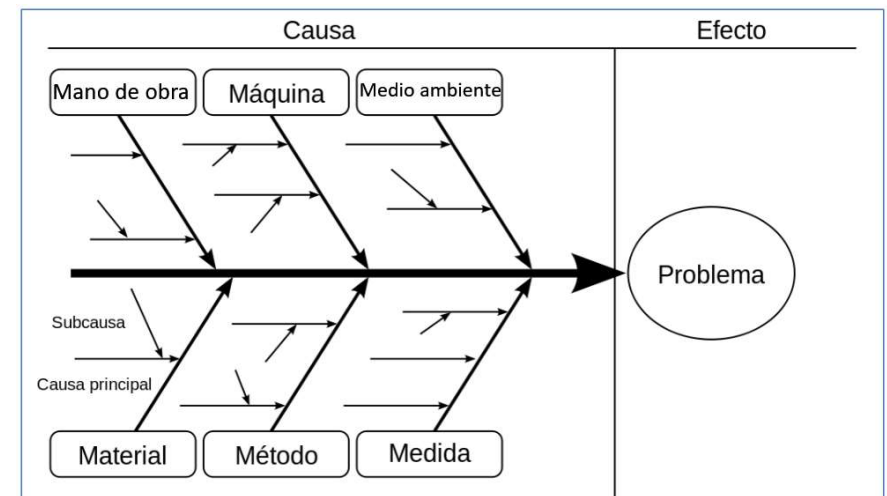
1. Diagrama de causa-efecto o Ishikawa

- Consiste en definir efectos concretos que pueden ser positivos (un objetivo) o negativos (un problema), a partir de causas concretas.
- La idea es que un equipo analice dicho efecto y trate de definir las causas potenciales. Esas causas no necesariamente son reales; en un primer momento, son supuestos que los integrantes del equipo plantean y que, más adelante, pueden abrir la puerta a investigaciones o estudios sobre el tema.



¿Cómo usarlo?

- El enunciado del problema es colocado en la cabeza de la espina de pescado, se utiliza como punto de partida para trazar el origen del problema hacia su causa raíz.
- El mecanismo para encontrar las causas consiste en considerar el problema y preguntarse “¿por qué?” hasta que se llegue a identificar la causa raíz o hasta que se hayan agotado las opciones razonables.
- Las causas posibles son clasificadas en las **6M's**, y estas M's se escriben en la punta de las espinas principales. Las causas se escriben en las ramificaciones de las espinas principales.
- En cada causa principal, repetir la pregunta de ¿Por qué? para llegar a subcausas, y sub-subcausas hasta donde sea posible.
- Finalmente, en acuerdo con el equipo, se debe encerrar en un círculo la causa que se considere como potencial del efecto.



Las 6 M's

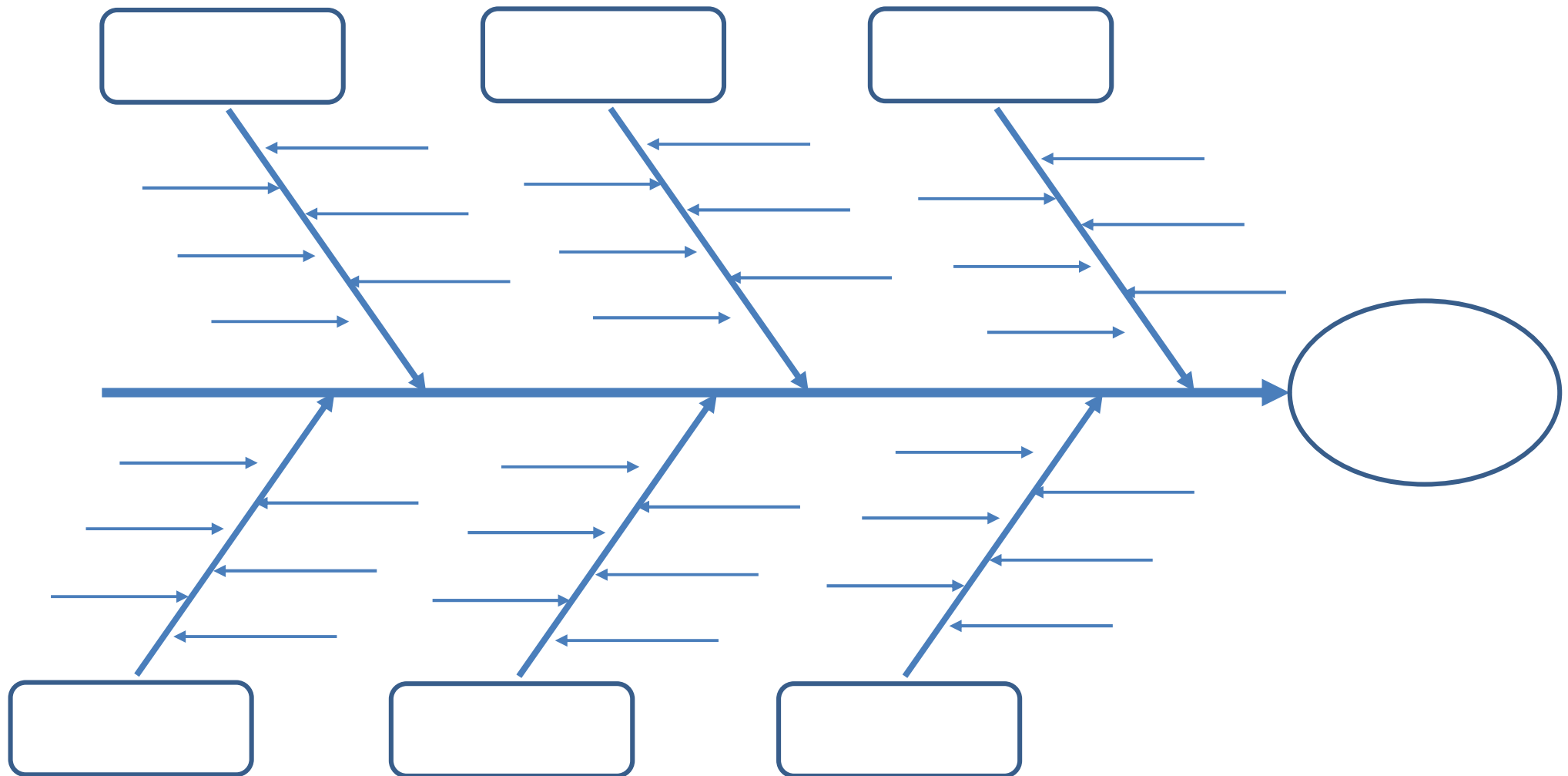
- **Medio ambiente.** Condiciones climáticas o ambiente laboral.
- **Mano de obra.** Las que se propician por las personas, trabajadores, inspectores, etc.
- **Materiales.** Materias primas o piezas resultantes de un proceso previo.
- **Mediciones.** O sistema de medición: método de medición, persona que mide o instrumento de medición.
- **Método.** La manera como se lleva a cabo un proceso. (Nomas, procedimientos, instructivos, documentación).
- **Máquina.** O equipos utilizados en el proceso.

Ejercicios:

Elaborar un diagrama de Ishikawa para analizar las siguientes situaciones:

1. ¿Por qué el tránsito en una gran ciudad es lento? Identificar vialidad a analizar.
2. ¿Cuáles son las causas por las que una persona llega tarde a una cita?
3. ¿Cuáles son las causas del ausentismo en una empresa?
4. ¿Cuáles son los obstáculos para que una persona baje de peso?

Plantilla para elaborar Diagrama de Ishikawa

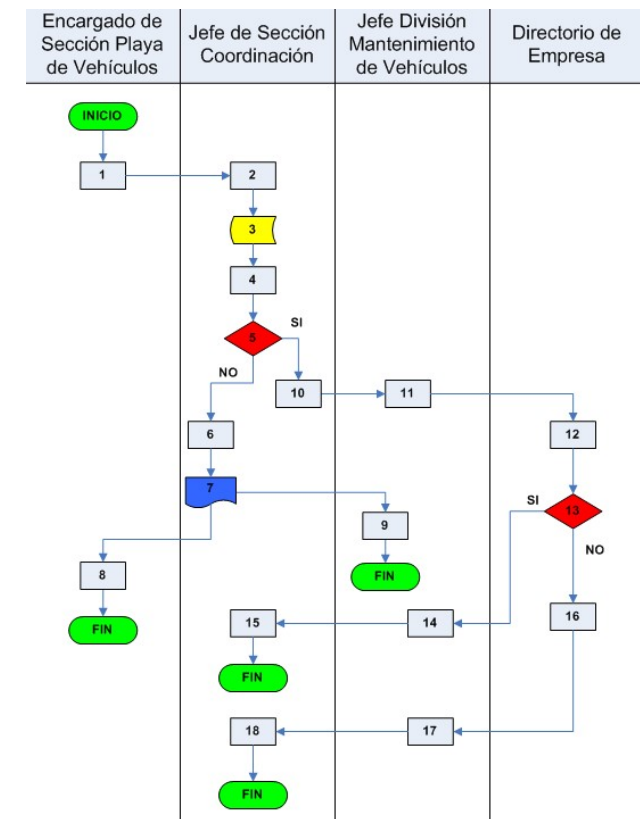


2. Diagrama de flujo




Es una representación gráfica del algoritmo o proceso.

El diagrama de flujo es una herramienta útil para investigar oportunidades para la mejora mediante la comprensión detallada de la forma en que funciona en realidad un proceso, pues permite detectar un problema en el momento que ocurre, en el área que ocurre e identificar a los responsables.

Se pueden aplicar a todos los aspectos de cualquier proceso, desde el flujo de materiales para fabricar un producto hasta los pasos para realizar un servicio, como una venta o dar un mantenimiento.



Símbolos que se utilizan más frecuentemente y su significado

Símbolo	Nombre	Descripción
 Inicio y final	Elipse u óvalo	Indica el inicio y el final del diagrama de flujo. Está reservado a la primera y última actividad. Un proceso puede tener varios inicios y varios finales.
 Proceso	Rectángulo o caja	Se utiliza para definir cada actividad o tarea. Debe incluir siempre un verbo de acción. Las cajas se pueden numerar.
 Decisión	Rombo	Se utiliza cuando se debe tomar una decisión. Incluye siempre una pregunta.






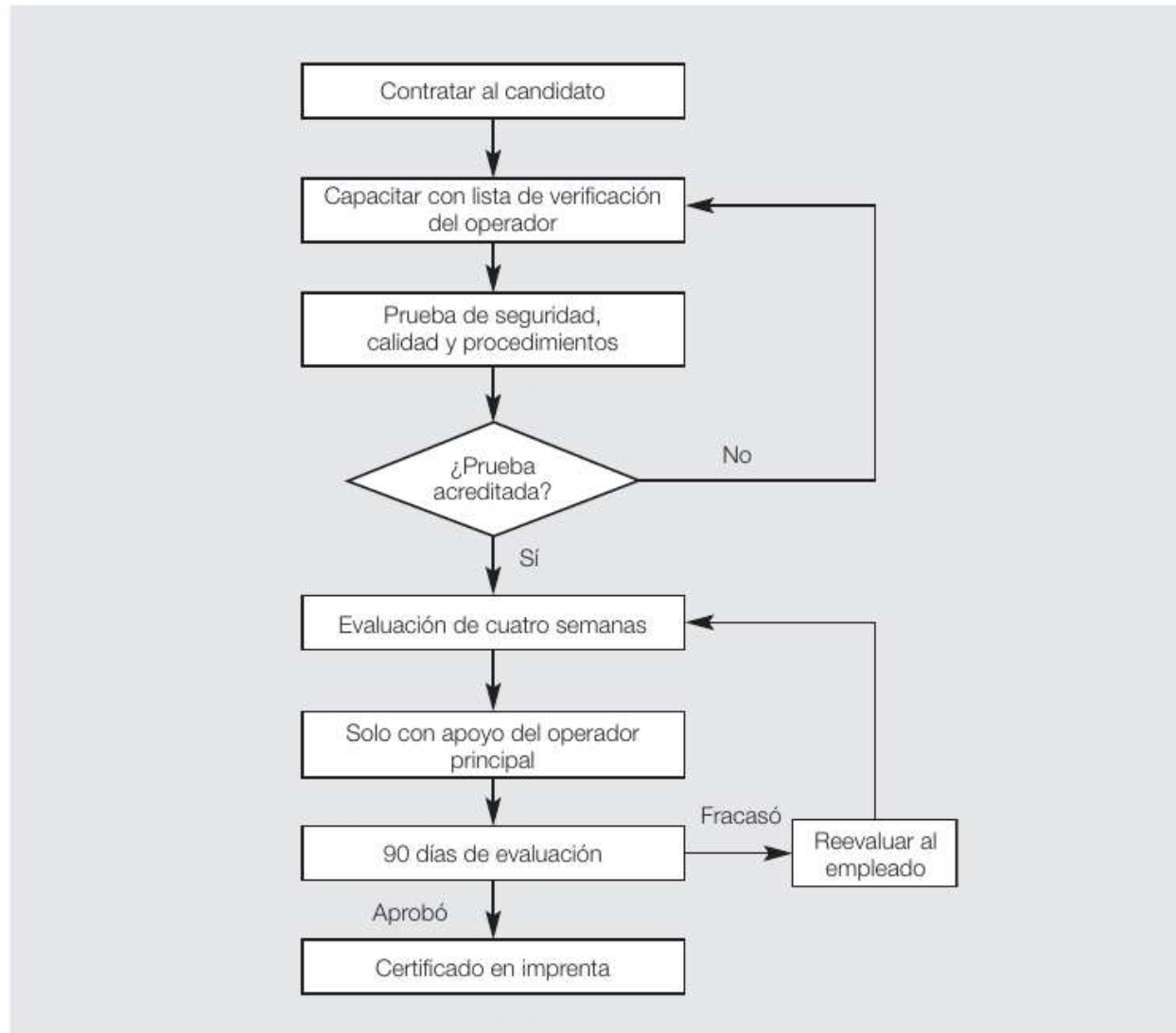
Símbolo	Nombre	Descripción
 Dirección del flujo	Flecha	Se utiliza para unir el resto de símbolos entre sí.
 Entradas / Salidas	 Documento	Símbolos de entrada y salida Sirven para representar entradas necesarias para ejecutar actividades del proceso o para recoger salidas generadas durante su desarrollo.
 Conector	 A	Conectores Representan conexiones con otras partes del flujograma o con otros procesos.

FIGURA 5.2
 Ejemplo de un
 mapa de proceso
 para capacitar a
 los operadores de
 imprentas



Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Actividad

- Reunirse en equipos y elaborar un diagrama de flujo para los siguientes procesos:
 1. Atención a los pacientes en sala de urgencias
 2. Diagrama de flujo para la elaboración de un presupuesto para un cliente.
 3. Proceso de titulación del TSU.
 4. Proceso para la contratación de personal en una empresa.

3. Hojas de Verificación

También conocidas como hojas de control. Las hojas de verificación se utilizan para **organizar los hechos** de manera que se facilite la recopilación de un conjunto de datos útiles sobre un posible problema de calidad.

Son especialmente útiles a la hora de recoger datos por atributos mientras se realizan inspecciones para identificar defectos. Por ejemplo, los datos sobre frecuencias o consecuencias de defectos recogidos en las hojas de verificación se representan a menudo utilizando diagramas de Pareto.

Se trata de un formato, diseñado de manera particular que ayude a obtener información para su posterior análisis. Por ejemplo:

- Para cuantificar los defectos por producto
- Para cuantificar defectos por localización
- Para cuantificar defectos por causa (maquina o trabajador)
- Para realizar un seguimiento a las actividades de un proceso



Tipos de hojas de verificación

- Hoja para registros de datos
- Hoja de Localización (de defectos)
- Lista de Verificación (check list)

Ejemplo

En el proceso de purificación de agua, un aspecto importante en la calidad es la dureza por calcio. En un caso particular se establece 4.0 como valor ideal de esta variable, con una tolerancia de ± 0.2 .

Al estar midiendo este tipo de variable para vigilar que su valor sea el adecuado, en ocasiones se obtienen los datos, se almacenen y posteriormente, en el mejor de los casos, se les hace algún tipo de análisis. Esto provoca que el análisis aparezca demasiado tarde, se olvide o se posponga indefinidamente.

Una forma de evitarlo sería usar una hoja de verificación para distribución de procesos como la que muestra la tabla siguiente. Por medio de ésta, es posible registrar la medición en el momento de obtenerla, lo cual reduce los errores de lectura y manejo de datos. Además, de un solo vistazo se puede apreciar el comportamiento de la variable con respecto a especificaciones.

Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Tabla 11.1 Hoja de verificación para distribución de procesos.

Producto _____ Fábrica _____ Especificaciones _____
 Sección _____ Grupo _____ Fecha _____

Frecuencia total	3	7	13	20	24	20	8	4	2	0
Frecuencia	25				—					
	20			—	—	—				
	15			—	—	—	—			
	10			—	—	—	—			
	5		—	—	—	—	—			
		—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Dimensiones	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4
	Especificación Inferior					Especificación superior				

Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Ejemplo

La tabla 11.2 ilustra una hoja de verificación para radiografías defectuosas en una clínica médica. Este tipo de hoja de registro es útil cuando es necesario registrar el tipo de problemas y la frecuencia con que se presentan. Tiene la ventaja de la oportunidad, ya que, al final de la jornada, de la semana o del mes, se aprecia inmediatamente qué tipo de problemas se presentaron con mayor frecuencia. Además, recuerda de manera objetiva y permanente a la dirección cuáles son los principales problemas, lo que puede estimular la generación de planes para reducirlos. Esta misma hoja de verificación serviría para evaluar el impacto de los planes de mejora.

Tabla 11.2 Hoja de verificación para radiografías defectuosas.

Hoja de verificación I

Producto _____ Empresa _____ Fecha _____ Inspector _____

Defectuosa por	Frecuencia	Subtotal
Movida	HHH HHH HHH HHH IIII	24
Mordida	HHH I	6
Ángulo	HHH HHH HHH II	17
Otros	IIII	4
	Total	51

Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Ejemplo



Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Recomendaciones para el uso de una hoja de verificación

1. Determinar qué situación es necesario evaluar, sus objetivos y el propósito que se persigue. A partir de lo anterior, definir qué tipo de datos se requieren.
2. Establecer el periodo durante el cual se obtendrán los datos.
3. Diseñar el formato apropiado. Cada hoja de verificación debe llevar la información completa sobre el origen de los datos: fecha, turno, máquina, proceso, quién toma los datos. Una vez obtenidos, se analizan e investigan las causas de su comportamiento. Asimismo, hay que buscar mejorar los formatos de registro de datos, para que cada día sean más claros y útiles.



Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

4. Diagrama de Pareto *

Ésta es otra herramienta utilizada en mejoramiento de la calidad para identificar y separar de forma crítica las causas principales que generan la mayoría de los problemas de calidad.

Se basa en el Principio de Pareto que establece que: aproximadamente el **80% de las consecuencias son el resultado del 20% de las causas.**

- Según la metodología, los problemas referentes a la calidad de productos y procesos, que resultan en pérdidas, pueden ser clasificados de la siguiente manera:
 - **Pocos vitales**: Representan pocos problemas que resultan en grandes pérdidas;
 - **Muchos triviales**: Representan muchos problemas que resultan en pocas pérdidas.

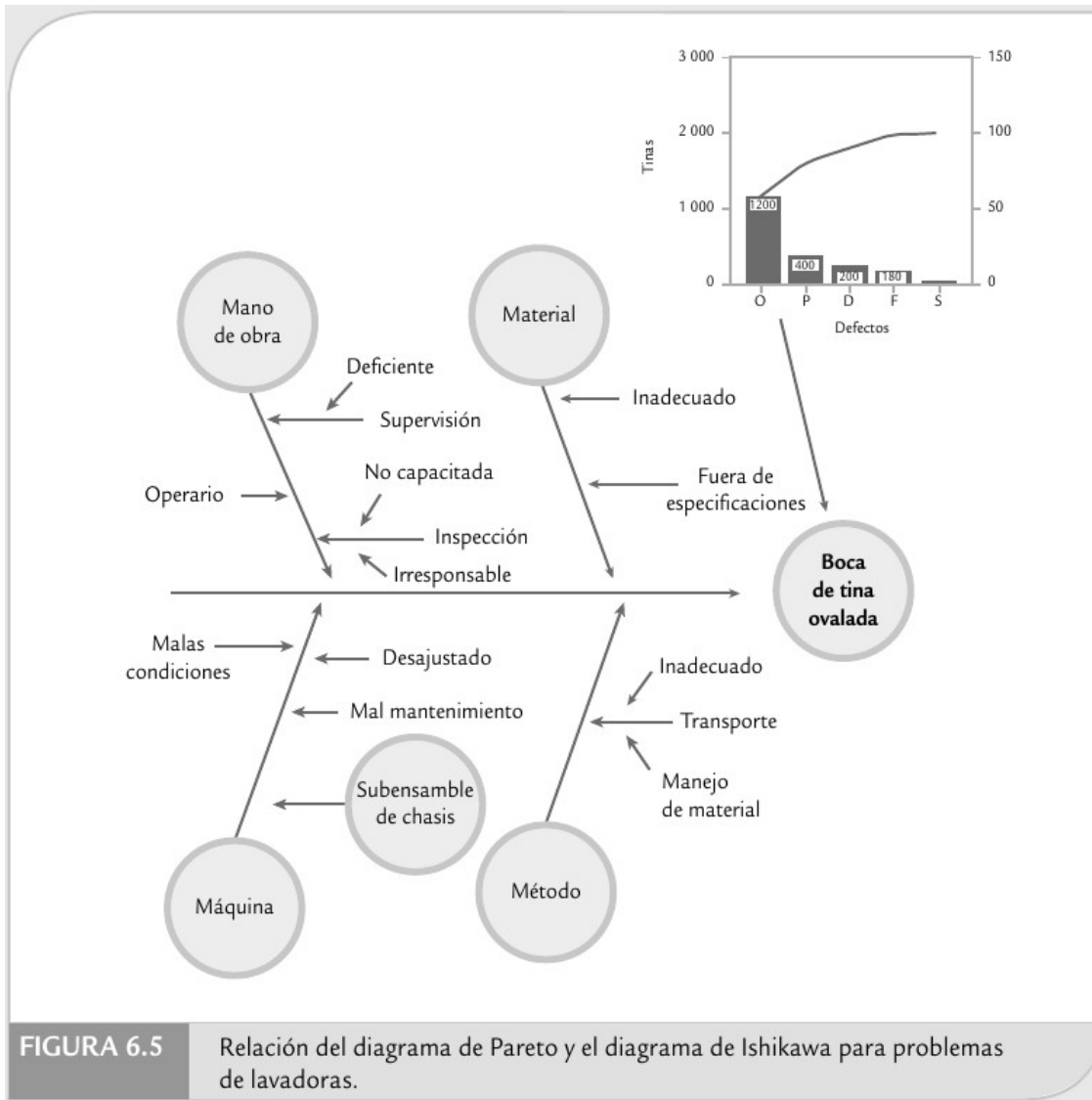


* El nombre se debe a Wilfredo Pareto, economista de origen Italiano.

Utilidad del Diagrama de Pareto: Priorización de las causas a atacar

El diagrama de Pareto es un recurso gráfico que ayuda a ordenar las causas de los problemas que deben ser resueltos, auxiliando en la priorización para que sean atendidos de acuerdo con su importancia.

Esto no quiere decir que no todos los problemas son importantes, sino que algunos necesitan ser solucionados con mayor urgencia.



Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Elaboración del Diagrama de Pareto

1. Seleccionar los datos a analizar
2. Agrupar los datos según categorías
3. Tabular los datos, ordenando de mayor a menor las frecuencias de ocurrencia.
4. Calcular frecuencias: absolutas, acumulativas, relativas unitarias y relativas acumuladas.
5. Trazar dos ejes verticales, uno para los datos de ocurrencia (frec. absolutas) y uno más para las frecuencias relativas acumuladas. En el eje horizontal, ubicar las categorías.
6. Representar el gráfico de barras.
7. Delinear la curva acumulativa de frecuencias relativas.
8. Ubicar el 80% en el eje de frecuencias relativas acumulativas, e identificar las categorías correspondientes a las causas a atacar (aproximadamente el 20%)

EJEMPLO

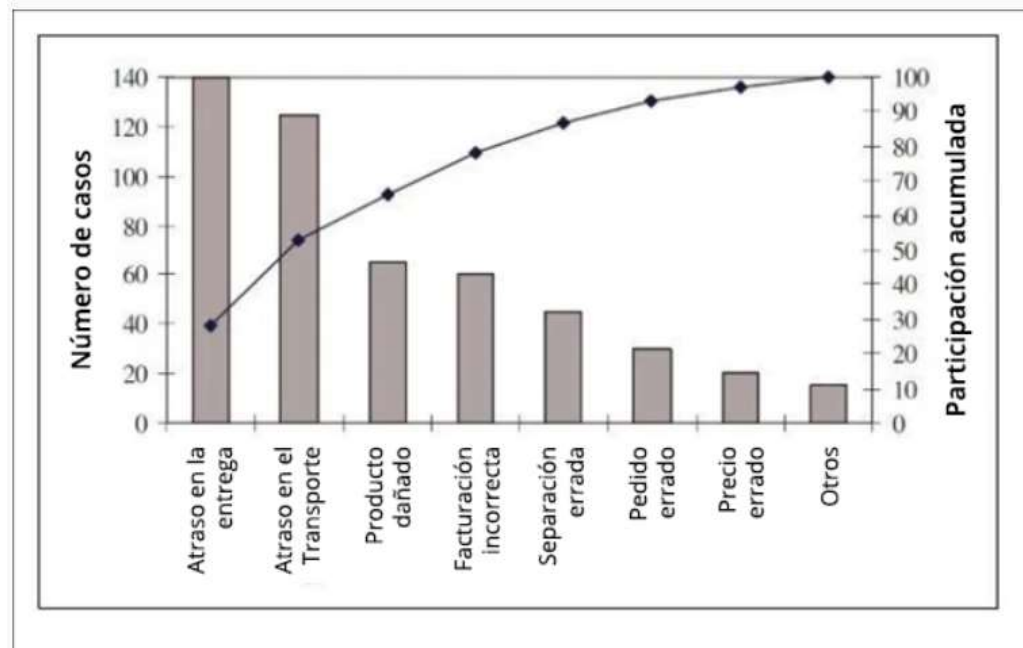
Una empresa fabrica y entrega sus productos a varias tiendas al por menor y quiere disminuir el número de devoluciones. Para ello, investigó el número de ocurrencias generadoras de devolución de la entrega en el último semestre, conforme presentado en la tabla abajo:

Razones	Número de ocurrencias
Separación incorrecta	45
Facturación incorrecta	60
Atraso en el transporte	125
Pedido errado	30
Atraso en la entrega	140
Precio errado	20
Producto dañado	65
Otros	15
Total	500

Razones: causas	Frecuencia	Frec. acumulada	Frec. Relativa	Frec. Relativa acumulada (%)
Atraso en la entrega	140	140	28	28
Atraso en el transporte	125	265	25	53
Producto dañado	65	330	13	66
Facturación incorrecta	60	390	12	78
Separación errada	45	435	9	87
Pedido errado	30	465	6	93
Precio errado	20	485	4	97
Otros	15	500	3	100
Total	500		100	

- Frecuencia relativa: proporción de frecuencia respecto un total.

$$Frec. Relativa = \frac{Frec. absoluta}{Total}$$



Ejercicio en clase

- La tabla siguiente muestra un concentrado del número de máquina de un proceso productivo, y su correspondiente número de piezas desechadas por cada una.
- Construir un diagrama de Pareto en Excel para identificar el área de oportunidad en el proceso productivo.

Máquina	Piezas desechadas
M10	1510
M40	400
M80	1905
M120	100
M130	90
M150	50
M210	110
M240	30
M300	40
M305	33

Actividad para entregar:

La siguiente tabla muestra los registros de defectos y los costos de reparación de cada uno de ellos observados en una cierta línea de ensamble, en un periodo de un mes, en el cual se produjeron 14,711 unidades.

TIPO DE DEFECTO	FRECUENCIA	COSTO DE REPARACION
Eje central caído	29	100
Mala abertura	83	250
Roturas en la base del panel	314	175
Mal aspecto	11	25
Rotación inadecuada	378	125
Torsión inadecuada	20	50
Mal acabado	105	80
Otros	3	35

- a) Elabore el Diagrama de Pareto para el número de defectos.
- b) Elabore el Diagrama de Pareto de costos.

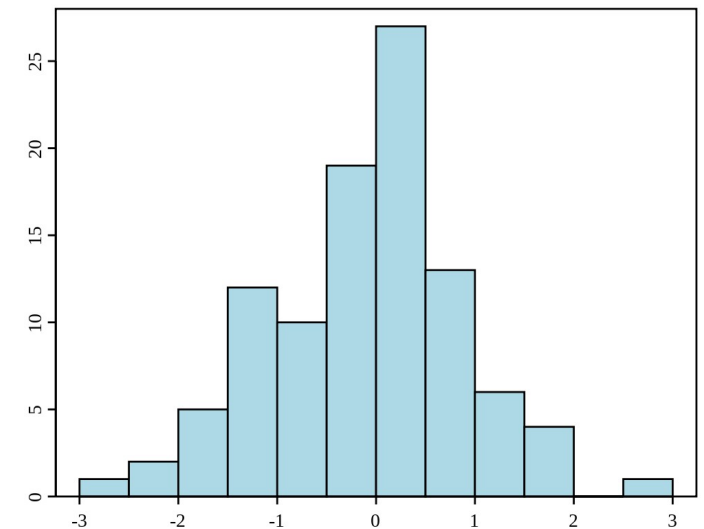
- Resolver con Excel, de acuerdo con el análisis, responder:
 1. ¿cuales son las principales razones a atender primero?
 2. ¿coinciden las razones por frecuencia con las del costo de reparación?
 3. ¿Si fueras el dueño, cuales atenderías primero?

5. Histogramas

Durante el análisis de un problema es común que el primer paso sea recolectar información que sirva de evidencia para cuantificarlo.

Un conjunto de datos sin orden no proporciona suficiente información respecto a la gravedad del problema e incluso lo pasa por alto. Por otro lado, un conjunto de datos asociados a una misma variable, pero que son diferentes entre si debido a la variabilidad propia del proceso del que provienen, son evidencia de la distribución de probabilidad, que regula el comportamiento de dicho proceso.

- Un histograma es una representación gráfica de una distribución de frecuencia de un conjunto de datos.
- Los histogramas son útiles para describir la tendencia central de los datos, su dispersión (variación), y también la forma de una distribución estadística (de probabilidad).

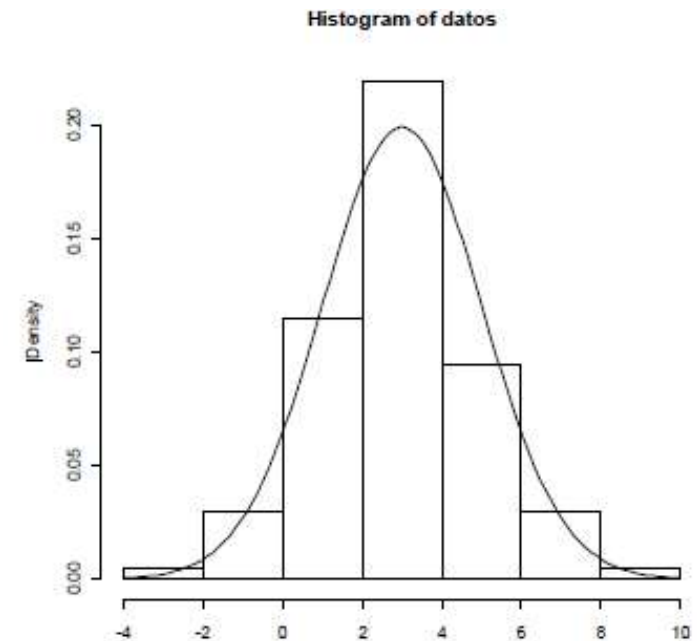


Cantú, J. H. (2011). Desarrollo de una Cultura de Calidad.

Quando usar histogramas

Quando se quiere comprender mejor un sistema, específicamente al:

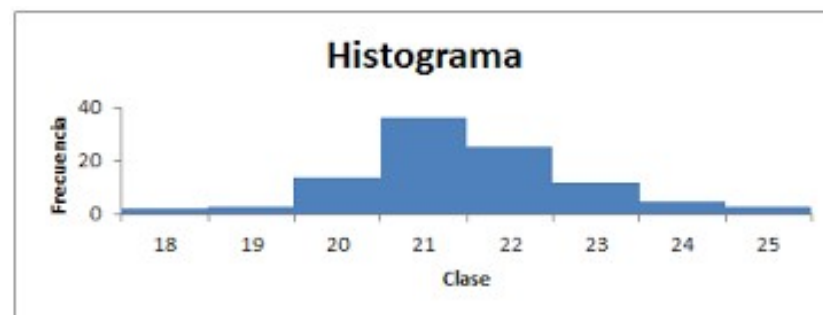
- Hacer un seguimiento al desempeño de un proceso
- Seleccionar el siguiente producto o servicio a mejorar
- Evaluar las acciones de mejora
- Obtener una revisión rápida de la variación de un proceso
- Valorar y verificar los procesos
- Medir e indicar la necesidad de acciones correctivas



Distribución de frecuencia

Una distribución de frecuencia es un resumen de datos tabular que presenta el número de elementos (frecuencia) en cada una de las clases o intervalos. Una distribución de frecuencia es la base de un gráfico que muestra la distribución de los datos (histograma).

Esta definición es válida tanto para datos cualitativos como cuantitativos. Cuando se trata de datos cuantitativos se debe tener cuidado al definir las clases o intervalos que se van a usar en la distribución de frecuencia.



Conceptos a recordar en distribuciones de frecuencias

- **Frecuencia (absoluta).** Número de veces que aparece, sucede o se realiza una actividad durante un periodo o un espacio determinado.
- **Rango.** Es la diferencia entre el dato mayor y el menor de los datos de una distribución.
- **Intervalo de clases.** Categorías o intervalos en las cuales se agrupan un conjunto de datos ordenados con características comunes.
- **Amplitud de clase o ancho de clase.** Diferencia entre el límite superior e inferior del intervalo de clase.

Para generar un histograma para datos cuantitativos:

1. Determinar el número de clases. Usar como guía la tabla siguiente:

Número de datos	Número de clases
20 - 50	6
51 - 100	7
101 - 200	8
201 - 500	9
501 - 1000	10
Más de 1000	11 - 20

2. Calcular el ancho de cada clase y redondear al entero mayor si este dato es decimal.

$$\text{Ancho aproximada de clase} = \frac{\text{Valor mayor en los datos} - \text{Valor menor en los datos}}{\text{Número de clase}}$$

3. Determinar los límites de clase con el dato anterior.

4. Agrupar mediante una tabla las frecuencias correspondientes por clase o intervalo.

5. Graficar el histograma.

6. Interpretación. Indicar la tendencia de los datos analizados.

Ejercicio en clase

- Un fabricante de llantas ha recabado de los distintos concesionarios, información sobre la cantidad de miles de kilómetros recorridos por un modelo concreto de esas llantas, hasta que se produce una ponchadura en ellas. Los concesionarios proporcionaron los datos de la tabla.
- Analizar mediante un histograma en qué kilometraje se produce la mayor cantidad de ponchaduras de llantas. Este dato podría ayudar a definir un kilometraje adecuado para la garantía de las llantas.

52.452	50.432	37.748	51.831	73.808	61.065	35.807	57.277
48.698	65.854	75.850	36.949	75.548	69.010	61.477	65.585
44.411	41.886	34.754	59.888	59.449	67.632	89.116	69.483
63.692	70.003	65.996	55.989	49.677	46.502	67.467	64.398
84.588	40.709	50.238	61.390	85.720	45.313	46.724	61.752
55.643	55.912	46.681	66.519	59.168	66.313	35.884	28.625
47.012	71.360	78.635	41.715	72.635	41.463	48.996	48.172
79.426	67.662	53.324	49.011	29.480	41.128	30.252	33.412
48.240	57.884	55.257	84.656	48.662	10.504	60.951	38.420
74.239	60.727	56.155	86.070	90.565	53.751	76.580	68.629
51.179	74.582	58.708	48.035	67.124	41.830	61.030	58.267
61.979	4.3068	41.539	62.215	51.269	82.919	34.182	37.654
80.502	35.342	44.719	37.402				

Resolver en Excel.

Ejercicio

Una empresa tiene una fábrica con un gran número de máquinas para producir un producto determinado. Dichas máquinas sufren averías menores semanalmente, y la empresa quiere analizar los datos para identificar un estimado esperado del número de averías por semana y tomar consideración de los recursos a utilizar en las reparaciones para las máquinas.

Se recogieron datos por 50 semanas, que se muestran en la tabla siguiente. Estos datos especifican el número de averías presentadas en las máquinas por semana.

21	33	20	11	13	17	21	43	37	21
30	21	44	26	37	22	26	35	28	28
41	16	28	24	37	39	19	29	13	33
27	42	33	20	15	28	17	32	25	26
15	38	25	21	27	31	35	31	43	39

- Genera un histograma e identifica un intervalo tendencia de las averías que pueden esperarse en una semana cualquiera en la fábrica.

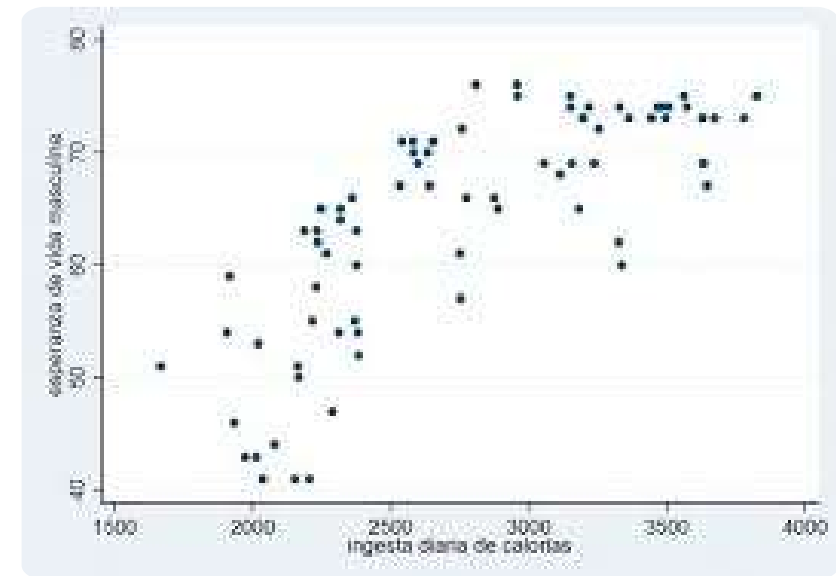
6. Gráfica de dispersión

Para la búsqueda de las causas de un problema en un proceso en ocasiones es necesario analizar la relación entre dos variables numéricas.

Por ejemplo, investigar si la variación en una variable de entrada (X) tiene algún efecto en cierta variable de salida (Y). Es decir, identificar o confirmar una relación causa-efecto.

El diagrama de dispersión es una gráfica del tipo (X,Y) de particular utilidad para analizar la relación entre dos variables numéricas.

Este gráfico ayuda a identificar si dos valores o factores o características de calidad, están relacionados uno con otro.



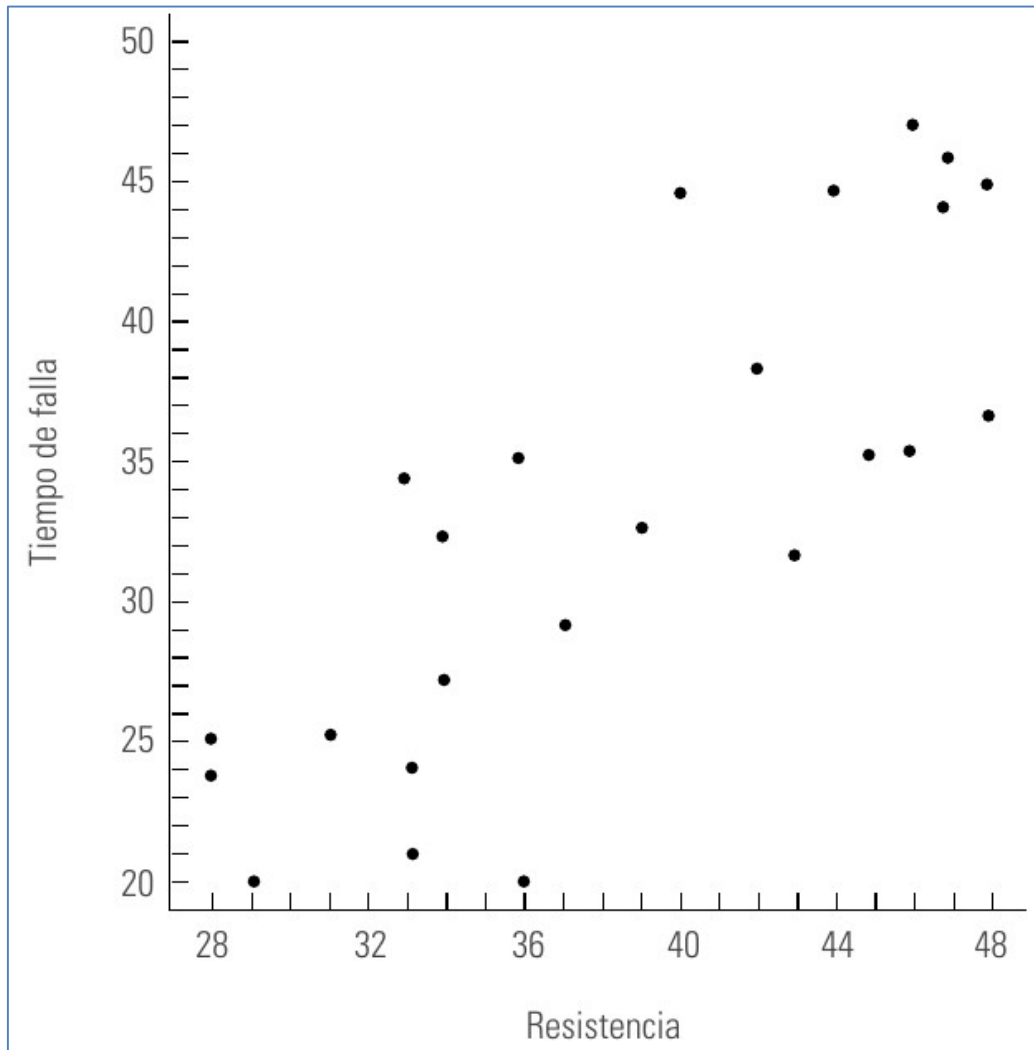
Ejemplo

Se quiere investigar mediante un diagrama de dispersión, para ciertas resistencias eléctricas sobrecargadas, la manera como puede influir su resistencia (medida en ohms) sobre el tiempo de falla de estos dispositivos. Para ello se obtienen datos para 24 resistencias.



Resistencia (X)	Tiempo de falla (Y, minutos)
43	32
29	20
44	45
33	35
33	22
47	46
34	28
31	26
48	37
34	33
46	47
37	30
36	36
39	33
36	21
47	44
28	26
40	45
42	39
33	25
46	36
28	25
48	45
45	36

Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

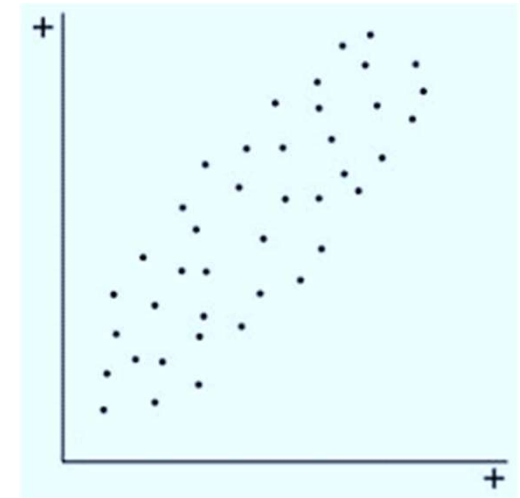


- La figura muestra el diagrama de dispersión para estos datos: en el eje X se ubica la resistencia y en el Y el tiempo de falla (que, se cree, es el efecto).

Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Pasos para la construcción de un diagrama de dispersión

1. **Obtención de datos.** Una vez que se han seleccionado las variables cuya relación se desea investigar, se recolectan los valores de éstas en parejas. Cuanto mayor sea el número de puntos con que se construye un diagrama de dispersión es mejor.
2. **Elegir ejes.** En general, si se trata de comprobar que existe una relación de causa-efecto, la causa posible se representa en el eje X y el efecto probable en el eje Y.
3. **Construir escalas.** Para construir la escala se sugiere encontrar el valor máximo y el mínimo de ambas variables.
4. **Graficar los datos.** Con base en las coordenadas en el eje X y en el eje Y, representar con un punto cada pareja de valores de las variables.
5. **Interpretación.** Verificar si existe correlación (si hay relación y que tan fuerte es), e interpretar.

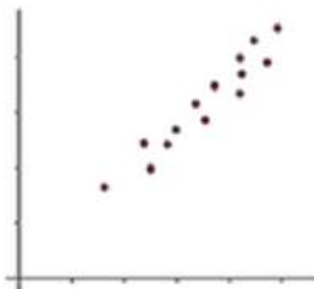


Correlación

Se dice que existe **correlación** entre dos variables cuantitativas y continuas, cuando una de ellas se encuentra relacionada con la otra. Una medida de correlación indica qué tanto afecta una variable a la otra.

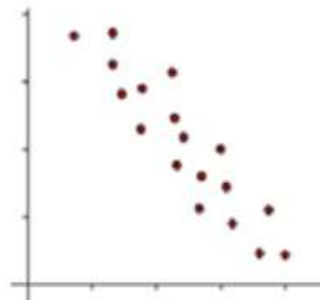
Correlación positiva

Es cuando dos factores (X , Y) se relacionan en forma lineal positiva, de tal forma que al aumentar uno también lo hace el otro.



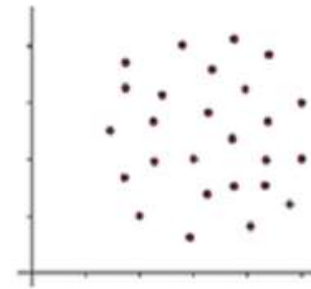
Correlación negativa

Relación lineal entre dos variables (X y Y), tal que cuando una variable crece la otra disminuye y viceversa.



No correlación

Se presenta cuando los puntos en un diagrama de dispersión están dispersos sin ningún patrón u orden aparente.



Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Coeficiente de correlación lineal

Un Diagrama de Dispersión, debe acompañarse del cálculo del coeficiente de correlación, para verificar el grado de relación entre las variables a analizar.

El valor del coeficiente r (Coeficiente de correlación lineal de Pearson) proporciona una medida del grado de relación entre dos variables (que tan fuerte o débil).

- Para un conjunto de n pares de valores (x_i, y_i) , obtenidos a partir de n unidades o productos, el coeficiente de correlación r se calcula mediante la expresión siguiente:

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}}$$

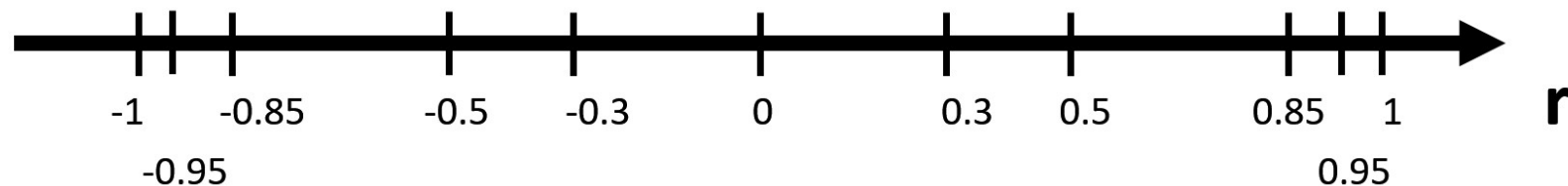
Interpretando el coeficiente de correlación r

Los valores que toma el coeficiente de correlación r , van de -1 a 1 , incluyendo estos valores. Es decir:
 $-1 \leq r \leq 1$.

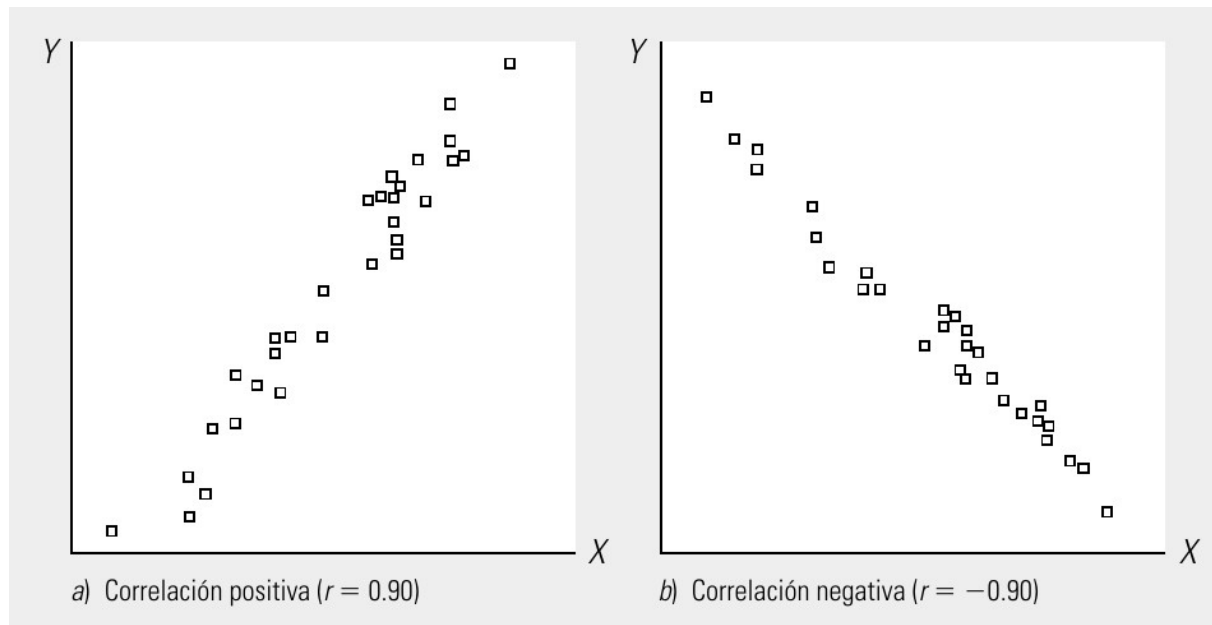
Valores cercanos a 1 y -1 indican una relación lineal muy fuerte (entre -1 y -0.95 o entre 0.95 y 1).
 Valores cercanos a -0.85 y 0.85 indican una relación fuerte.

Una correlación moderada se considera entre valores de -0.80 y -0.5 , o entre 0.5 y 0.80 . Mientras que una correlación débil se encuentra en valores de r entre -0.5 y -0.3 o entre 0.3 y 0.5 .

Los valores cercanos o iguales a cero (entre -0.3 y 0.3) implican poca o nula relación entre las variables x y y .



Ejemplos más comunes de patrones de correlación



Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.



Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Ejercicio de aplicación

En una empresa que produce un producto alimenticio, se detectó un aumento de la cantidad de productos deteriorados después de una noche de almacenaje, antes del transporte al cliente.

Una de las teorías sobre posibles causas del aumento del producto deteriorado, es que el nuevo sistema de climatización del almacén (previo al transporte) no es suficientemente preciso y la temperatura supera la máxima que el producto soporta (temperatura máxima 5° C).

El equipo recogió datos durante 40 días y los analiza en un diagrama de dispersión para comprobar la teoría.



Los siguientes son los datos recogidos durante 40 días:

	Temperatura máxima en la noche °C	% Productos deteriorados
1	0.00	0.20
2	0.20	0.00
3	0.30	0.50
4	1.00	0.00
5	1.00	0.30
6	1.50	0.00
7	1.50	0.60
8	2.00	0.40
9	2.30	0.00
10	2.60	0.40
11	3.00	0.00
12	3.00	0.70
13	3.20	0.30
14	3.90	0.30
15	4.00	0.50
16	4.10	0.00
17	4.30	0.60
18	4.80	0.50
19	4.90	0.00
20	5.10	1.20

	Temperatura máxima en la noche °C	% Productos deteriorados
21	5.20	0.80
22	5.40	0.80
23	5.50	3.00
24	5.90	3.10
25	6.00	2.00
26	6.00	4.30
27	6.10	4.10
28	6.20	4.60
29	6.50	5.30
30	7.00	5.00
31	7.00	5.30
32	7.40	6.50
33	7.70	5.50
34	8.00	7.00
35	8.20	7.80
36	8.40	8.30
37	8.50	7.10
38	9.00	9.00
39	9.20	9.00
40	9.20	9.60

Realizar un diagrama de dispersión en Excel, calcular el coeficiente de correlación e interpretar los resultados.

7. Gráficos de control

Es un gráfico que sirve para monitorear al proceso (no al producto). Se aplica para prevenir la aparición de errores en el proceso.

Recordando, en un proceso siempre habrá variación...

Un proceso industrial está sometido a una serie de factores aleatorios que hacen imposible fabricar dos productos exactamente iguales. Por ende, la variación es un elemento que siempre estará presente en cualquier proceso, sin embargo, la variación puede reducirse para mantenerse dentro de ciertos límites.

La variación en un proceso se clasifica por sus causas, en **comunes** o **atribuibles**.



Causas de variación

La **variación por causas comunes (o por azar)** es aquella que permanece día a día, lote a lote; la aportan en forma natural las actuales condiciones de las 6M. Esta variación es inherente a las actuales características del proceso y es resultado de la acumulación y combinación de diferentes causas difíciles de identificar y eliminar, debido a que son inherentes al sistema y porque la contribución individual de cada causa es pequeña; no obstante, a largo plazo representan la mayor oportunidad de mejora.

La **variación por causas especiales (o atribuibles)** es generada por situaciones o circunstancias especiales que no están permanentemente en el proceso. Por ejemplo, la falla ocasionada por el mal funcionamiento de una pieza de la máquina, el empleo de materiales no habituales o el descuido no frecuente de un operario. Las causas especiales, por su naturaleza relativamente discreta, a menudo pueden ser identificadas y eliminadas si se cuenta con los conocimientos y condiciones para ello.

Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Recordando: las 6M's

Las 6M's es una clasificación de las causas comunes en un proceso.

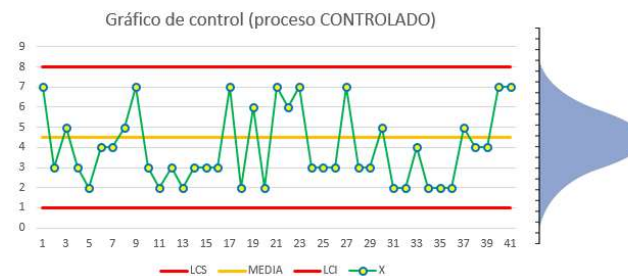
Las 6M's son:

- **Medio ambiente.** Condiciones climáticas o ambiente laboral.
- **Mano de obra.** Las que se propician por las personas, trabajadores, inspectores, etc.
- **Materiales.** Materias primas o piezas resultantes de un proceso previo.
- **Mediciones.** O sistema de medición: método de medición, persona que mide o instrumento de medición.
- **Método.** La manera como se lleva a cabo un proceso. (Nomas, procedimientos, instructivos, documentación).
- **Máquina.** O equipos utilizados en el proceso.

Control estadístico del proceso

Se dice que un proceso que trabaja sólo con causas comunes de variación **está en control estadístico** o es estable, porque su variación a través del tiempo es predecible. En el sentido de que su tendencia central y la amplitud de su variación se espera que se mantengan al menos en el corto plazo.

Un proceso en el que están presentes causas especiales de variación se dice que **está fuera de control estadístico** (o que simplemente es inestable). Este tipo de procesos son impredecibles sobre el futuro inmediato, pues esas situaciones tienen un efecto especial sobre la tendencia central o sobre la variabilidad.



Objetivo de los Gráficos de Control

- El objetivo de un gráfico o carta de control es observar y analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo. Esto permitirá distinguir las variaciones por causas comunes de las debidas a las causas especiales (atribuibles), lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y decidir sobre las mejores acciones de control y mejora.
- El gráfico indicará si el proceso se encuentra o no en control estadístico.

Elementos del gráfico o carta de control

Una carta o gráfico de control típica se compone de **tres líneas paralelas**, comúnmente horizontales, en una escala numérica en las unidades del estadístico w (parámetro analizado) que se grafica en la carta mediante una nube de puntos.

En la parte inferior, paralela a las líneas anteriores, hay un eje que sirve para identificar la procedencia de los datos (comúnmente es el tiempo).

La **línea central** de una carta de control representa el promedio del estadístico que se está graficando, cuando el proceso se encuentra en control estadístico.

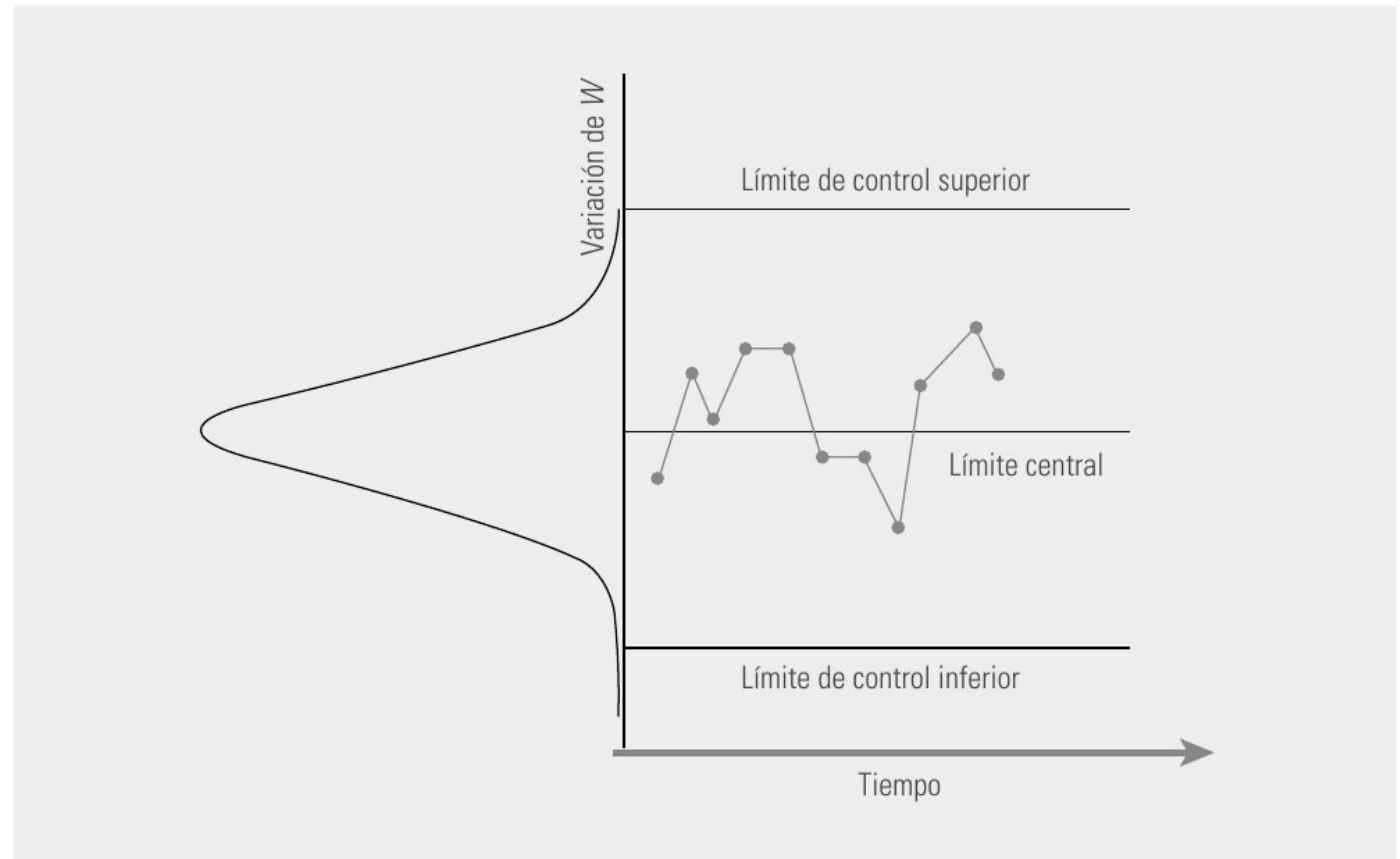
Las otras dos líneas se llaman **límites de control**, superior e inferior, y están en una posición tal que, cuando el proceso está en control estadístico, hay una alta probabilidad de que prácticamente todos los valores del estadístico (puntos) caigan dentro de los límites.

En la carta se grafican los puntos que corresponden a los datos del estadístico w , estos se unen con líneas de forma consecutiva.

Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Lo que se busca observar en una carta de control no sólo es que un punto caiga fuera de los límites de control, sino también cualquier formación o patrón de puntos que tenga muy poca probabilidad de ocurrir en condiciones “normales”, lo cual será una señal de alerta de posibles cambios debidos a causas especiales.

Figura 14.3 Idea y elemento de una carta de control.



Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Límites de control y su relación con la distribución normal

$$LCI = \mu_w - 3\sigma_w$$

$$\text{Línea central} = \mu_w$$

$$LCS = \mu_w + 3\sigma_w$$

Con los límites y bajo condiciones de control estadístico se tendrá alta probabilidad de que los valores de w estén dentro de ellos.

Si w tiene distribución normal, tal probabilidad será de 0.9973, con lo que se espera que bajo condiciones de control sólo 27 puntos de 10 000 caigan fuera de los límites.

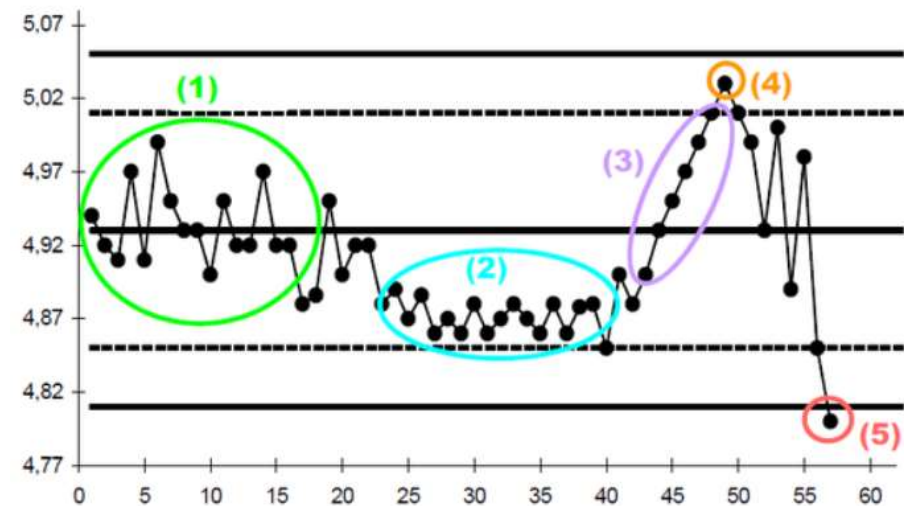
Nota: Los límites de control son distintos a los límites de tolerancia o de especificación.



¿Cómo identificar cuando un proceso se sale de control estadístico?

Señales de alerta en un grafico de control:

- Si 9 puntos consecutivos están situados en el mismo lado de la media (tendencia superior o inferior). (2)
- Si hasta 6 puntos consecutivos tienen una tendencia creciente o decreciente. (3)
- Si 2 o mas puntos están situados entre el límite de control y/o fuera de ellos. (4 y 5)



Tipos de gráficos de control

Existen dos tipos generales de cartas de control: para **variables** y para **atributos**.

Las cartas de control para variables se aplican a características de calidad de tipo continuo, que intuitivamente son aquellas que requieren un instrumento de medición (pesos, volúmenes, voltajes, longitudes, resistencias, temperaturas, humedad, etcétera).

Las cartas de control para variables (cuantitativas) más usuales son:

- \bar{X} (de medias),
- R (de rangos),
- S (de desviaciones estándar) y
- X (de medidas individuales).

Tipos de gráficos de control

Existen características de calidad de un producto que no son evaluadas con un instrumento de medición en una escala continua o al menos en una escala numérica. En estos casos, el producto se juzga como conforme o no conforme, dependiendo de si posee ciertos atributos; o también al producto se le podrá contar el número de defectos o no conformidades que tiene. Este tipo de características de calidad son monitoreadas a través de las cartas de control para atributos:

- p (proporción o fracción de artículos defectuosos),
- np (número de unidades defectuosas),
- c (número de defectos) y
- u (número promedio de defectos por unidad).

Ejemplo de una carta de control de medias \bar{X}

En una empresa que elabora agroquímicos, una característica importante de los costales de fertilizantes es su peso, que debe ser de 50 kg, con una tolerancia de ± 1 .

Por lo que la especificación inferior $EI = 49$ kg, y la superior $ES = 51$ kg.

Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.

Tabla 14.1 Peso de los costales de fertilizante.

Muestra o subgrupo	Peso de los costales (kg)				Media
1	50.2	49.9	49.0	50.1	49.80
2	50.3	50.2	50.0	49.3	49.95
3	49.8	50.0	50.0	49.7	49.88
4	50.0	49.4	50.1	50.5	50.00
5	50.2	49.8	49.1	49.9	49.75
6	49.2	50.7	49.1	49.8	49.70
7	49.6	49.9	49.5	49.9	49.73
8	50.2	49.8	49.5	50.6	50.03
9	50.1	49.3	49.0	49.3	49.43
10	50.8	49.6	49.8	50.4	50.15
11	50.7	48.8	49.7	50.1	49.83
12	50.3	49.6	49.4	49.3	49.65
13	49.3	49.3	49.2	50.5	49.58
14	50.2	50.5	50.2	50.9	50.45
15	48.8	50.2	49.5	49.6	49.53
16	50.9	49.5	49.3	49.9	49.90
17	49.7	48.8	49.6	49.5	49.40
18	49.4	49.3	49.4	50.2	49.58
19	49.9	49.7	49.9	49.1	49.65
20	49.7	49.2	49.4	49.7	49.50
21	50.6	49.6	49.6	49.9	49.93
22	49.9	49.9	50.0	49.7	49.88
23	49.6	50.2	49.9	48.7	49.60
24	49.6	48.9	50.2	49.0	49.43
					$\bar{\bar{X}} = 49.76$

Grafico de control de medias \bar{X} correspondiente al ejemplo.
 Según el grafico, ¿el proceso se encuentra en control estadístico?

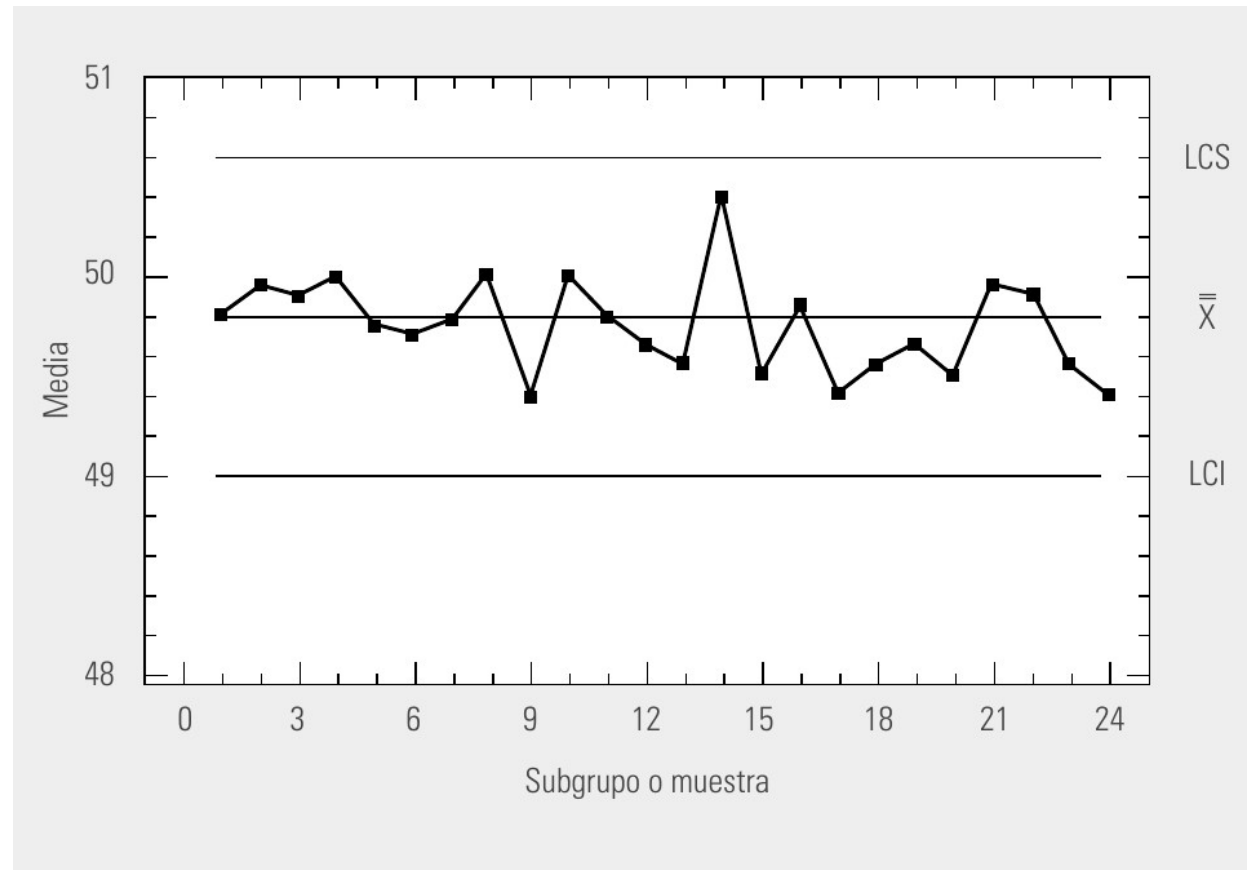


Figura 14.5 Carta de medias para el peso de los costales.

Nota: Los límites de control no son los mismos que los límites de especificación (tolerancia).

Gutiérrez, H. (2015). Calidad Total y Productividad.