

# 10. Control estadístico del proceso y administración de calidad

## Introducción

El control estadístico del proceso es un grupo de estrategias, técnicas y acciones de una organización para asegurar que está produciendo un producto de calidad o que proporciona un servicio de calidad. SPC (statistical process control) inicia en la etapa de planeación del producto, cuando se especifican los atributos del producto o servicio, y continúa en la etapa de producción.

Cada atributo durante el proceso contribuye a la calidad general del producto. Para un uso eficaz del control de calidad, se desarrollan atributos y especificaciones mensurables con las cuales se comparan los atributos reales del producto o servicio.

## Variación

En cualquier proceso productivo, no hay dos productos exactamente iguales, siempre hay alguna variación. Si al comprar una hamburguesa, nos dicen que tiene 0.25 libras de carne; no significa que todas las hamburguesas van a pesar lo mismo siempre; puede ser que, una tenga 0.253 libras de carne o 0.2489 libras, es una pequeña variación que si multiplica con 1,000 hamburguesas la variación ya no es tan pequeña. En un proceso existen dos fuentes generales de variación: aleatoria y asignable

**VARIACIÓN ALEATORIA:** Variación de naturaleza aleatoria. Este tipo de variación no se elimina por completo a menos que haya un cambio importante en las técnicas, tecnologías, métodos, equipamiento o materiales propios del proceso.

Cuando los procesos están siendo influenciados por el clima o eventos externos, se conoce como variación aleatoria. Si se está efectuando el llenado de latas de jugo y el contenido es caliente, no se puede controlar la cantidad de agua que se evapora; también, se está probando la resistencia de una llanta, no es lo mismo si la prueba se hace en carretera de tierra o de asfalto.

**VARIACIÓN ASIGNABLE:** Variación que no es aleatoria. Se elimina o reduce al investigar el problema y encontrar la causa.

Los eventos son dificultades que se tienen con el equipo que una vez que se repara, el problema desaparece. Si a la fotocopidora se le debe cambiar el revelador cada 80,000 copias y han pasado 100,000 y tiene el mismo, la calidad de la fotocopia es menor y se pueden observar manchas o pigmentos en el papel.

Hay varias razones a las que debemos poner atención respecto de la variación.

1. Cambiará la forma, dispersión y ubicación central de la distribución de la característica del producto que se mide.
2. La variación asignable por lo general es corregible, en tanto que la variación aleatoria por lo general no se puede corregir o estabilizar de manera económica.

En las empresas que se trabaja con gestión de la calidad, se le da seguimiento a todos los procesos para ir haciendo correcciones para garantizar la calidad en el producto final. Las herramientas más utilizadas son diagramas que facilitan la labor de seguimiento, los cuales pueden ser de dos tipos:

- Diagramas de diagnóstico
- Diagramas de control

## Diagramas de diagnóstico

Existen varias técnicas de diagnóstico para investigar problemas de calidad, los más comunes son:

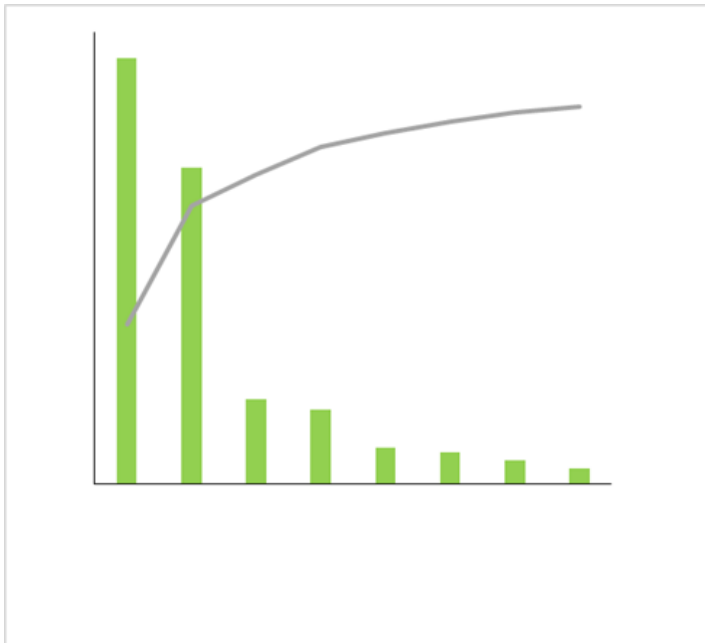
- Diagramas de Pareto
- Diagramas de esqueleto de Pez

### Diagramas de Pareto

Se utiliza para llevar la cuenta del número de defectos que aparecen dentro de un producto o servicio. Su nombre es en honor a su creador el científico italiano del siglo XIX, Wilfredo Pareto, quien observó que la mayor parte de la “actividad” en un proceso se debe a relativamente pocos factores.

Su concepto, con frecuencia denominado regla 80-20, es que 80% de la actividad se debe a 20% de los factores. Al concentrarse en 20% de los factores, los gerentes pueden dedicarse a 80% del problema.

Se determinan los errores que más problemas causan y se acumula la distribución para saber cuáles tienen el 80% de los problemas. Primero se resuelven los que generan mayor dificultad. El formato general de un diagrama de Pareto se muestra en la siguiente figura:



En la barra se colocan las frecuencias simples y en línea la frecuencia acumulada (en porcentaje). Cada barra corresponde a una de las características de la tabla o distribución de frecuencias.

### Ejemplo 10.1

1. El Gerente General de la empresa que suministra el servicio de agua potable, va a investigar cuáles son las actividades que más generan gasto de agua. Se seleccionó una muestra de 100 hogares para determinar los consumos por cada actividad y se obtuvieron los siguientes resultados:

Consumo de agua	Galones por día
Lavandería	24.9
Regar el jardín	143.7
Baño personal	106.7
Cocina	5.1
Alberca	28.3
Lavar trastos	12.3
Lavar el automóvil	10.4
Bebida	7.9

¿Cuál es el área con mayor consumo? ¿Dónde debe concentrar sus esfuerzos para reducir el consumo de agua?

### Desarrollo

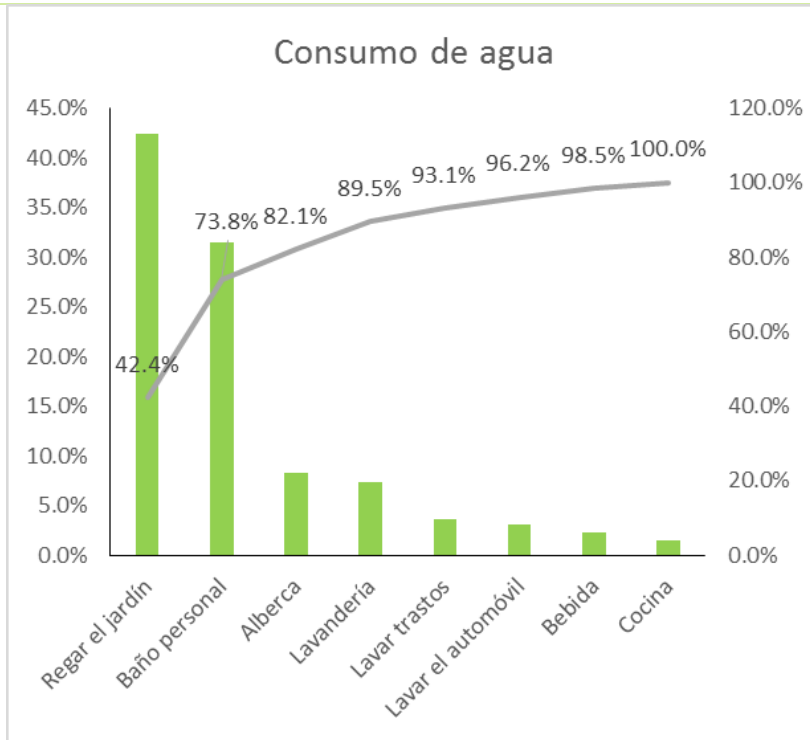
El primer paso es ordenar, de mayor a menor, la tabla por la columna de “Galones por día” para identificar el área con mayor consumo.

Consumo de agua	Galones por día
Regar el jardín	143.7
Baño personal	106.7
Alberca	28.3
Lavandería	24.9
Lavar trastos	12.3
Lavar el automóvil	10.4
Bebida	7.9
Cocina	5.1

Calcular el porcentaje que corresponde a cada característica del “Consumo de agua” y acumular las frecuencias porcentuales.

Consumo de agua	Galones por día	Porcentaje	Frecuencia Acumulada
Regar el jardín	143.7	42.4%	42.4%
Baño personal	106.7	31.4%	73.8%
Alberca	28.3	8.3%	82.1%
Lavandería	24.9	7.3%	89.5%
Lavar trastos	12.3	3.6%	93.1%
Lavar el automóvil	10.4	3.1%	96.2%
Bebida	7.9	2.3%	98.5%
Cocina	5.1	1.5%	100.0%
<b>Total</b>	<b>339.3</b>	<b>100.0%</b>	

Trazar la gráfica resultante con las frecuencias de “Galones por día” y “Frecuencia acumulada”.



El 82% del consumo de agua se produce en regar el jardín, bañarse y la alberca.

- El departamento de Servicio al Cliente de un banco que proporciona servicio de tarjeta de crédito/débito se instaló un buzón de quejas para que los clientes expresen sus inconformidades con la atención. El resultado del último mes fue el siguiente:

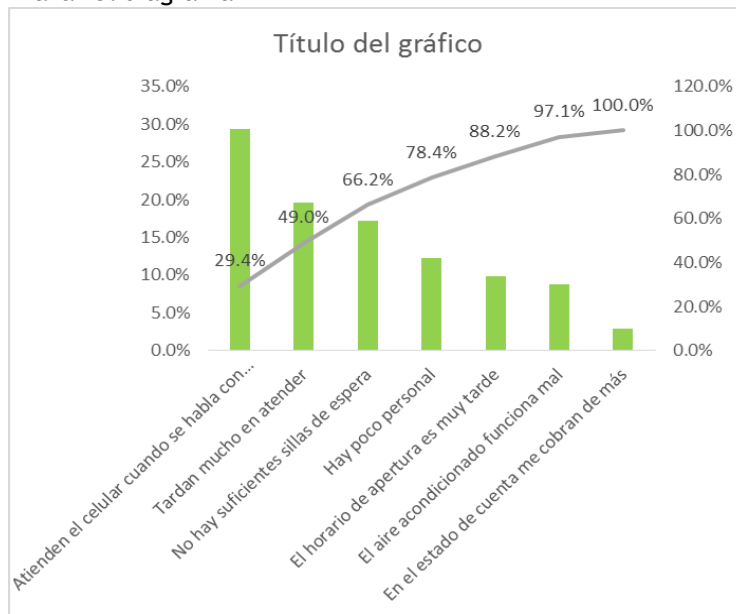
Quejas	Clientes
Tardan mucho en atender	80
Atienden el celular cuando se habla con ellos	120
El aire acondicionado funciona mal	36
En el estado de cuenta me cobran de más	12
El horario de apertura es muy tarde	40
No hay suficientes sillas de espera	70
Hay poco personal	50

## Desarrollo

Ordenar de mayor a menor los datos, calcular el porcentaje por característica y acumular las frecuencias.

Quejas	Cientes	Procentaje	Frecuencia Acumulada
Atienden el celular cuando se habla con ellos	120	29.4%	29.4%
Tardan mucho en atender	80	19.6%	49.0%
No hay suficientes sillas de espera	70	17.2%	66.2%
Hay poco personal	50	12.3%	78.4%
El horario de apertura es muy tarde	40	9.8%	88.2%
El aire acondicionado funciona mal	36	8.8%	97.1%
En el estado de cuenta me cobran de más	12	2.9%	100.0%
<b>Total</b>	<b>408</b>	<b>100.0%</b>	

Trazar el diagrama

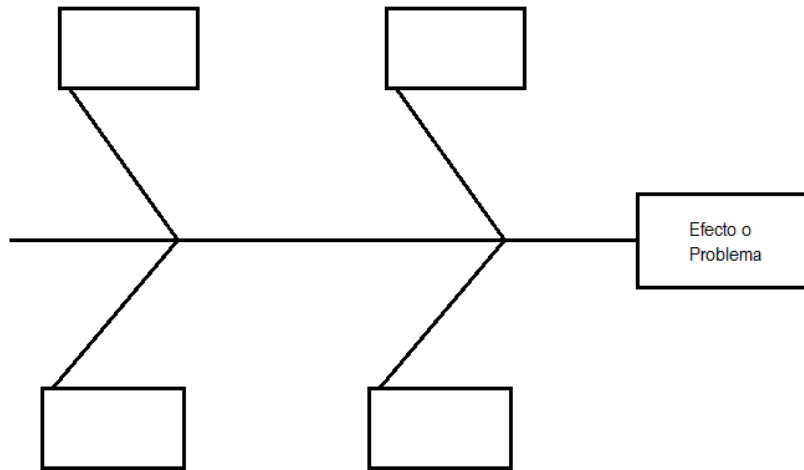


## Diagrama de esqueleto de pez

También conocido como **diagrama de causa y efecto**, se utiliza para destacar la relación entre un efecto particular y un conjunto de causas posibles que lo producen.

Este diagrama es útil para organizar ideas e identificar relaciones. Es una herramienta que fomenta la generación de ideas. Identificar estas relaciones permite determinar factores que son la causa de variabilidad en nuestro proceso. El nombre esqueleto de pez proviene de la manera como se organizan las diversas causas y efectos en el diagrama.

El efecto, por lo general, es un problema particular, o tal vez un objetivo, y se muestra a la derecha del diagrama. Las causas principales se enumeran del lado izquierdo del diagrama.



Para cada una de las áreas se generan todas las posibilidades que se puedan tener y determinar la que tiene mayor incidencia en el problema detectado.

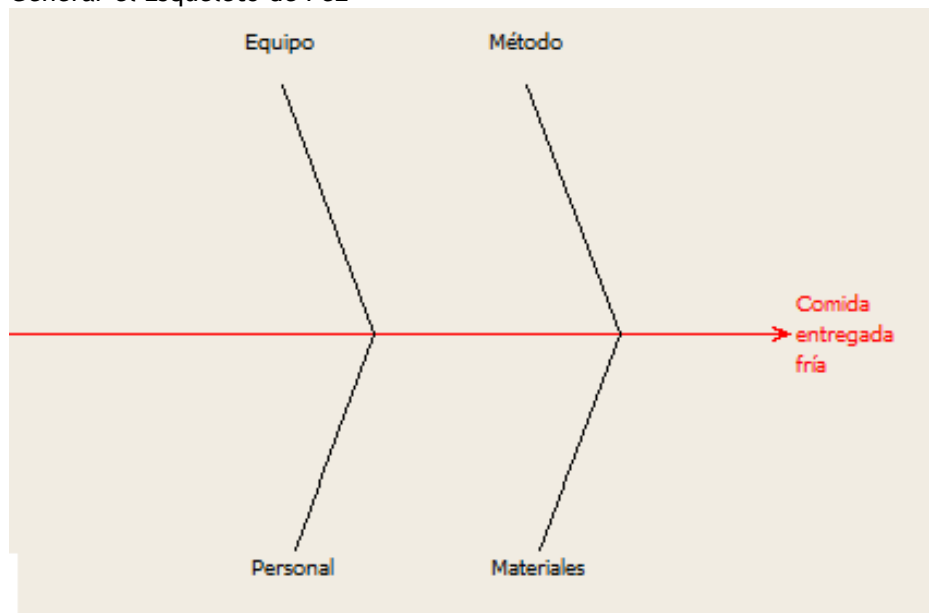
Muy útil cual se trabaja en equipo y todos tienen algo que aportar. En este caso todas las causas son válidas, al final solamente se descartan no que no afectan.

### Ejemplo 10.2

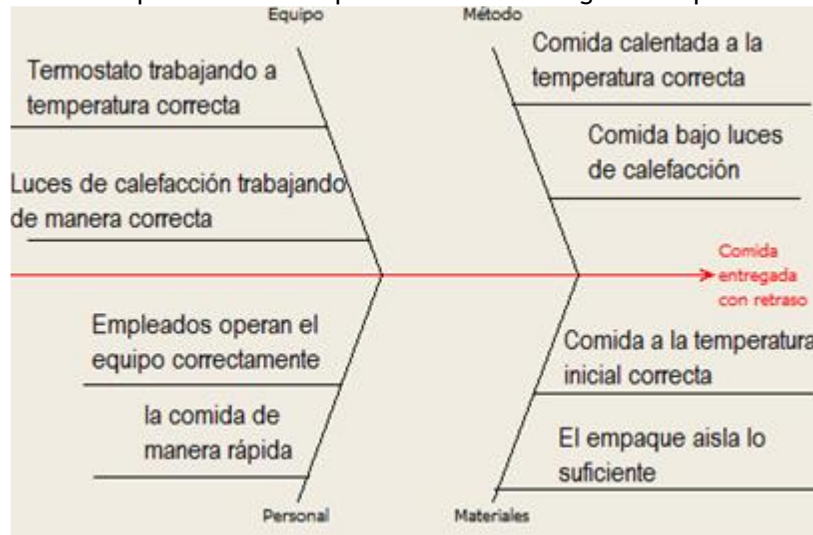
1. En el restaurante La Gaviota se han estado recibiendo quejas de parte de los clientes por que los platillos están siendo entregados fríos en la mesa. El equipo de reunión para revisar todas las áreas que trabajan para atender a los clientes y se pidió generar una diagrama de esqueleto de Pez en Minitab para tratar el tema y detectar los posibles problemas que estén causando el problema.

#### Desarrollo

- a. Generar el Esqueleto de Pez



b. Buscar las posibles causas que retrasan la entrega de los pedidos.

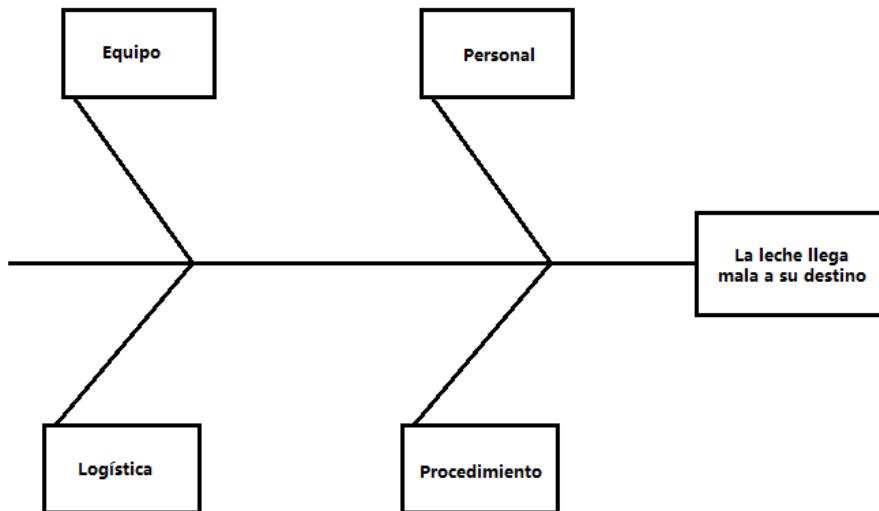


2. En el área de Servicio al Cliente de una empresa distribuidora de productos alimenticios se han recibido quejas de las entregas que se han recibido en los últimos 6 meses. Los clientes reportan que la leche ha estado llegando mala. El director de Ventas va a reunir el personal para identificar las causas que están provocando que la leche no llegue en buen estado.

### Desarrollo

Utilizando Paint se diseñó el diagrama de esqueleto de pez para reunir con el personal y evaluar las causas. Se considera que los principales proceso son:

- Equipo
- Logística
- Personal
- Procedimientos



Cada miembro del equipo generará una lluvia de ideas para tratar de identificar las causas que están produciendo que la leche llegue mala a su destino.

## Diagramas de control

Los diagramas de control identifican el momento en que entran al proceso las causas asignables de variación o los cambios. Hay dos tipos de diagramas de control

1. Diagrama de control de variables
2. Diagrama de control de atributos

Todos diagrama de control permite a los responsables de los procesos determinar si la producción está trabajando de manera normal o existen momentos en que los resultados no son los esperados.

Los diagramas de control son útiles para detectar el cambio en las condiciones del proceso. Es importante saber cuándo entraron cambios en el proceso, de modo que la causa se identifique y corrija antes de que se produzca un número grande de artículos inaceptables.

### Diagrama de control de variables

Los diagramas de control de variables son el resultado del análisis los intervalos de confianza con apoyo del teorema del límite central:

**TEOREMA DEL LÍMITE CENTRAL:** Si todas las muestras de un tamaño en particular se seleccionan de cualquier población, la distribución muestral de la media se aproxima a una distribución normal. Esta aproximación mejora con muestras más grandes.

Se toman de manera aleatoria varias muestras, se calcula la media aritmética de cada muestra y al final se obtiene la media de todas las medias, la cual se conoce como “Media global”.

**MEDIA GLOBAL:** 
$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_i}{k} = \frac{\sum \text{las medias de las muestras}}{\text{total de muestras}}$$

Adicionalmente, se calcula el rango de cada muestra y al final se suman ambas para obtener la variación media de las muestras. Este estadístico sustituye al error estándar de la media muestral, la suma de los rangos dividido entre el número de muestras da el rango medio (rango promedio).

**RANGO MEDIO:** 
$$\bar{R} = \frac{\sum(\text{Dato mayor}_i - \text{Dato menor}_i)}{k}$$

Estas relaciones permiten establecer límites respecto de las medias de las muestras para mostrar cuánta variación se espera en un tamaño determinado de la muestra. Estos límites esperados se denominan límite de control superior (LCS) y límite de control inferior (LCI). Un ejemplo ilustrará el uso de los límites de control y la forma de determinarlos.

**LÍMITES DE CONTROL PARA LA MEDIA:**

$$LC = \bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$$

Donde



$\bar{\bar{X}}$  : Es la media de las medias de la muestra

$\bar{R}$  : Es el rango medio de cada muestra

$A_2$  : Es una constante que se obtiene de los Factores de las tablas de control

Número de elementos en la muestra, $n$	Tablas de promedios	Tablas de rangos	
	Factores para los límites de control	Factores para la línea central	Factores para la línea de control
	$A_2$	$d_2$	$D_3$ $D_4$
2	1.880	1.128	0   3.267
3	1.023	1.693	0   2.575
4	.729	2.059	0   2.282
5	.577	2.326	0   2.115
6	.483	2.534	0   2.004
7	.419	2.704	.076   1.924
8	.373	2.847	.136   1.864
9	.337	2.970	.184   1.816
10	.308	3.078	.223   1.777
11	.285	3.173	.256   1.744
12	.266	3.258	.284   1.716
13	.249	3.336	.308   1.692
14	.235	3.407	.329   1.671
15	.223	3.472	.348   1.652

FUENTE: Adaptado de American Society for Testing and Materials, *Manual on Quality Control of Materials*, 1951, tabla B2, p. 115. Para una tabla y una explicación más detalladas, véase Acheson J. Duncan, *Quality Control and Industrial Statistics*, 3a. ed., Homewood, Ill: Richard D. Irwin, 1974, tabla M, p. 927.

La mejor manera de dar seguimiento a los procesos con control estadístico es mediante graficas que pueden ser consultadas de manera regular. Los valores de los intervalos son los límites del control y toda la operación deberá oscilar entre ellos. El salirse de los límites denota procesos que no están controlados y que se deben tomar acciones para hacer las correcciones cuando sean necesarias.



### Ejemplo 10.3

1. Un Call Center hizo una revisión sobre los tiempos que tardan los empleados en contestar una llamada. Se tomó una muestra entre 7:00 a.m. y 12:00 p.m. con los siguientes resultados:

Hora	Datos de la muestra				
	1	2	3	4	5
a.m. 7	8	9	15	4	11
8	7	10	7	6	8
9	11	12	10	9	10
10	12	8	6	9	12
11	11	10	6	14	11
p.m. 12	7	7	10	4	11

### Desarrollo

Calcular la media de cada una de las muestras y el rango.

Hora	Datos de la muestra					$\bar{X}$	R
	1	2	3	4	5		
a.m. 7	8	9	15	4	11	9.4	11
8	7	10	7	6	8	7.6	4
9	11	12	10	9	10	10.4	3
10	12	8	6	9	12	9.4	6
11	11	10	6	14	11	10.4	8
p.m. 12	7	7	10	4	11	7.8	7

Calcular la media de medias y el rango medio.

Hora	Datos de la muestra					$\bar{X}$	R
	1	2	3	4	5		
a.m. 7	8	9	15	4	11	9.4	11
8	7	10	7	6	8	7.6	4
9	11	12	10	9	10	10.4	3
10	12	8	6	9	12	9.4	6
11	11	10	6	14	11	10.4	8
p.m. 12	7	7	10	4	11	7.8	7
Promedios						9.17	6.50

Determinar el valor de  $A_2$ .

Cada muestra tiene 5 elementos, por lo que su tamaño es 5.

$k = 5$ .

$A_2 = 0.577$

Calcular el límite de control inferior (LCI) y el límite de control superior (LCS) del intervalo de confianza de la media

$$LC = \bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$$

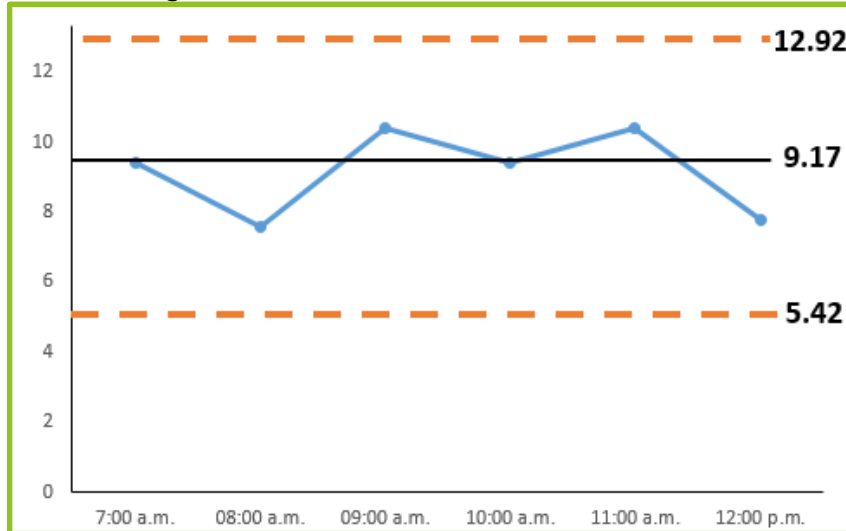
$$LC = 9.17 \pm 0.577 * 6.50$$

$$LC = 9.17 \pm 3.75$$

$$LC = \begin{cases} 9.17 - 3.75 \\ 9.17 + 3.75 \end{cases}$$

$LCI = 5.42$   
 $LCS = 12.92$

Trazar el diagrama de control de variable



El diagrama muestra que la operación está dentro de los límites del control. La operación se está llevando a cabo según lo previsto.

2. El Banco Oriental está haciendo una investigación sobre la variación que hay actualmente en las agencias de las provincias del norte del País y solicitó la relación de la cantidad de préstamos que se otorgan a la semana en las 6 agencias. Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

AGENCIA	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4
El Progreso	7	8	6	10
Corozal	3	7	4	2
La Vegas	12	9	7	5
La Jutosa	5	3	9	4
El Porvenir	8	3	6	9
San Pedro	12	14	16	15

## Desarrollo

Calcular la media de cada una de las muestras y el rango.

AGENCIA	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	$\bar{X}$	R
El Progreso	7	8	6	10	7.75	4
Corozal	3	7	4	2	4.00	5
La Vegas	12	9	7	5	8.25	7
La Jutosa	5	3	9	4	5.25	6
El Porvenir	8	3	6	9	6.50	6
San Pedro	12	14	16	15	14.25	4

Calcular la media aritmética de las medias y la media aritmética de los rangos.

AGENCIA	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	$\bar{X}$	R
El Progreso	7	8	6	10	7.75	4.0
Corozal	3	7	4	2	4.00	5.0
La Vegas	12	9	7	5	8.25	7.0
La Jutosa	5	3	9	4	5.25	6.0
El Porvenir	8	3	6	9	6.50	6.0
San Pedro	12	14	16	15	14.25	4.0
Medias					<b>7.67</b>	<b>5.3</b>

Determinar el valor de  $A_2$ .

Cada muestra tiene 4 elementos, por lo que su tamaño es 4.

$n = 4$ .

$A_2 = 0.729$

Calcular los intervalos de confianza para el control de variable

$$LC = \bar{X} \pm A_2 \bar{R}$$

$$LC = 7.67 \pm 0.729(5.3)$$

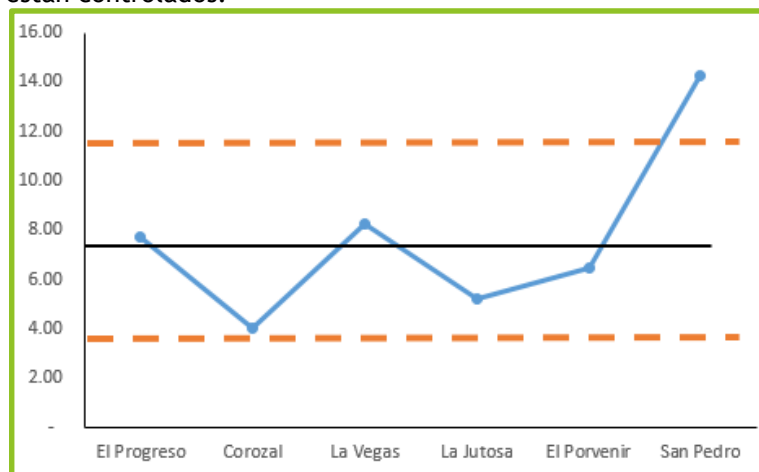
$$LC = 7.67 \pm 3.9$$

$$LC = \begin{cases} 7.67 - 3.9 \\ 7.67 + 3.9 \end{cases}$$

$$LCI = 3.78$$

$$LCS = 11.55$$

Los préstamos que se otorgan por semana están entre 4 y 12 en todas las agencias. En el plano cartesiano se colocan los límites con su respectiva media de medias y luego se grafican los valores de cada semana para determinar si los niveles de préstamos están controlados.



Según se muestra en el diagrama, la agencia de San Pedro está fuera de control. Revisar las circunstancias que hizo que los préstamos de esa localidad haya aumentado tanto.

## Diagrama de Rangos

El diagrama de rangos controla la variación interna que existe en los procesos en un conjunto de muestras. Al igual que con la media, la variación es controlada a través de los límites aceptables dentro del proceso. Es común que el límite inferior sea 0. Las ecuaciones para calcular los límites son:

**LÍMITES DE CONTROL PARA EL RANGO MEDIO:**

$$LCS = D_4 \bar{R}$$

$$LCI = D_3 \bar{R}$$

Los factores D3 y D4 se buscan en la tabla de “Factores de las tablas de control” en las columnas:

Tablas de rangos		
Factores para la línea central	Factores para la línea de control	
$d_2$	$D_3$	$D_4$

### Ejemplo 10.4

1. El Call Center La Guarida lleva el control sobre los tiempos que tardan los empleados en contestar una llamada en el horario 7:00 a.m. y 12:00 p.m.; sin embargo, está interesado en determinar cuál es la variación una llamada y otra.

Hora	Datos de la muestra					$\bar{X}$	R
	1	2	3	4	5		
a.m. 7	8	9	15	4	11	9.4	11
8	7	10	7	6	8	7.6	4
9	11	12	10	9	10	10.4	3
10	12	8	6	9	12	9.4	6
11	11	10	6	14	11	10.4	8
p.m. 12	7	7	10	4	11	7.8	7
Promedios						9.17	6.50

### Desarrollo

Determinar el rango medio

$$\bar{R} = 6.5$$

Determinar el factor de control de variable

$$k = 5$$

$$D_3 = 0$$

$$D_4 = 2.115$$

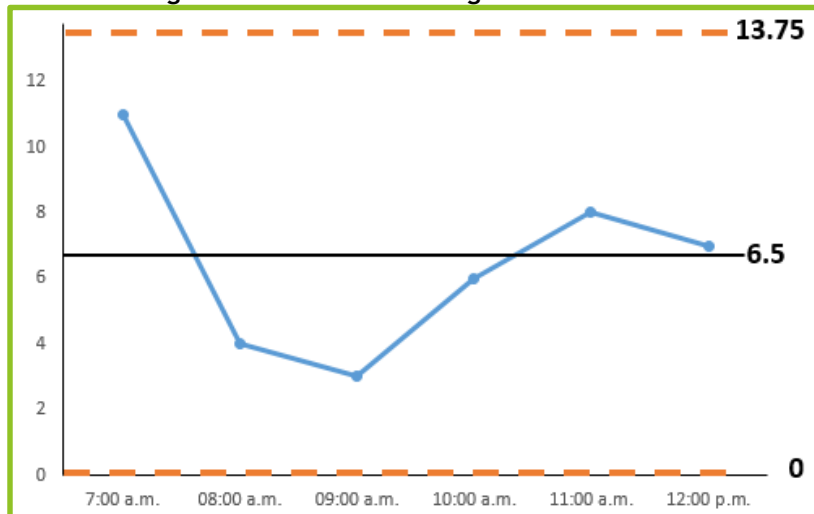
Calcular el intervalo de los rangos

$$LC = \begin{cases} D_3 \bar{R} = (0)(6.5) = 0 \\ D_4 \bar{R} = (2.115)(6.5) = 13.75 \end{cases}$$

$$LCI = 0$$

$$LCS = 13.75$$

**Trazar el diagrama de control de rangos**



2. El gerente general de Banco Oriental ha solicitado el control de rangos de los préstamos que se han otorgado en las sucursales del norte, que cuenta con la siguiente información:

AGENCIA	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	$\bar{X}$	R
El Progreso	7	8	6	10	7.75	4.0
Corozal	3	7	4	2	4.00	5.0
La Vegas	12	9	7	5	8.25	7.0
La Jutosa	5	3	9	4	5.25	6.0
El Porvenir	8	3	6	9	6.50	6.0
San Pedro	12	14	16	15	14.25	4.0
Promedios					<b>7.67</b>	<b>5.3</b>

## Desarrollo

Determinar los factores de la tabla de control para el rango

$$k = 4$$

$$D_3 = 0$$

$$D_4 = 2.282$$

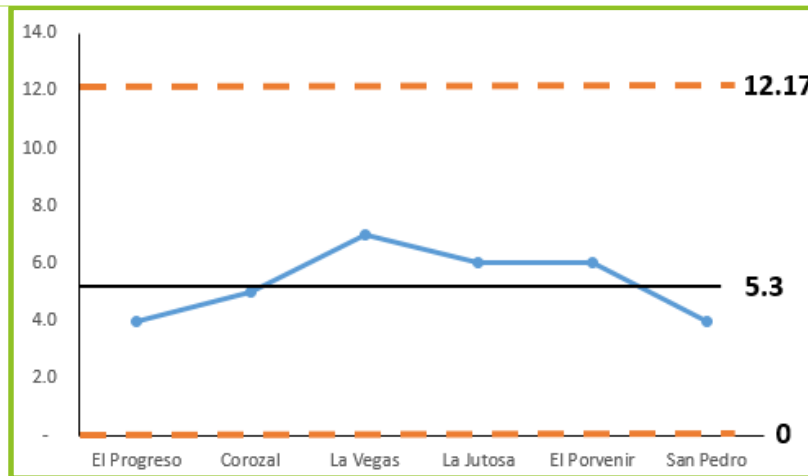
Calcular los intervalos de control de rangos

$$LC = \begin{cases} D_3 \bar{R} = (0)(5.3) = 0 \\ D_4 \bar{R} = (2.282)(5.3) = 12.17 \end{cases}$$

$$LCI = 0$$

$$LCS = 12.17$$

Trazar el diagrama de control de rangos



La variación entre una semana y otra está dentro de los límites de control definidos.

## Diagramas de control de atributos

Con frecuencia, los datos que se recopilan son el resultado de contar en vez de medir. Se trata de validar o no un proceso específico. La variable se observa a través de la presencia o ausencia de algún atributo. Los diagramas más utilizados son:

- a.) Diagrama de porcentaje defectuoso
- b.) Diagrama de líneas c

## Diagrama de porcentaje defectuoso

También conocido como “Tabla P”, se estructura entre la aceptación o rechazo de un proceso. Su base está basado en dos respuestas, ya sea de aceptación o de rechazo y el cálculo del porcentaje asociado.

### PORCENTAJE DEFECTUOSO

$$P = \frac{\text{Total de defectos}}{\text{Total de datos observados}}$$

Los resultados son valorados como porcentaje y el diagrama se representa a través de sus límites de control utilizando la regla empírica asociada a la distribución normal y la binomial.

**REGLA EMPÍRICA:** En cualquier distribución de frecuencias simétrica con forma de campana, aproximadamente 68% de las observaciones se encontrarán entre más y menos una desviación estándar de la media; cerca de 95% de las observaciones se encontrarán entre más y menos dos desviaciones estándares de la media y, de hecho todas (99.7%), estarán entre más y menos tres desviaciones estándares de la media.

Es decir, en la mayoría de los casos se asocia con 3 desviaciones estándar con respecto a la media. En el caso del porcentaje defectuoso, el valor medio que se utiliza es la proporción de un conjunto de datos.

**PROPORCIÓN MEDIA DE DEFECTOS**

$$p = \frac{\text{Total de defectos}}{\text{Total de datos observados}}$$

Los límites de control del porcentaje defectuoso se determinan por la siguiente fórmula

**LÍMITES DE CONTROL DEL PORCENTAJE DEFECTUOSO**

$$LC = \bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

**Ejemplo 10.5**

- Vidrios y Más, es una empresa que produce espejos de mano y opera con dos turnos. El departamento de calidad selecciona una muestra aleatoria de 50 espejos durante 4 horas por día. Cada espejo se clasifica como aceptable o inaceptable. Los resultados de estas verificaciones de los últimos 10 días laborables.

Fecha	Espejos revisados	Espejos defectuosos
10-oct	50	1
11-oct	50	4
12-oct	50	9
13-oct	50	2
14-oct	50	6
17-oct	50	7
18-oct	50	6
19-oct	50	4
20-oct	50	0

**Desarrollo**

Calcular la proporción de espejos defectuosos de cada día (espejo defectuoso sobre el total del día) y el promedio de las proporciones.

Fecha	Espejos revisados	Espejos defectuosos	<i>p</i>
10-oct	50	1	0.020
11-oct	50	4	0.080
12-oct	50	9	0.180
13-oct	50	2	0.040
14-oct	50	6	0.120
17-oct	50	7	0.140
18-oct	50	6	0.120
19-oct	50	4	0.080
20-oct	50	0	-
<b>Total</b>	<b>450</b>	<b>39</b>	<b>0.087</b>

Calcular el intervalo del control del proceso.



$$LC = \bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$$

$$LC = 0.087 \pm \sqrt{\frac{0.087(1 - 0.087)}{50}}$$

$$LC = 0.087 \pm 3(0.0398575)$$

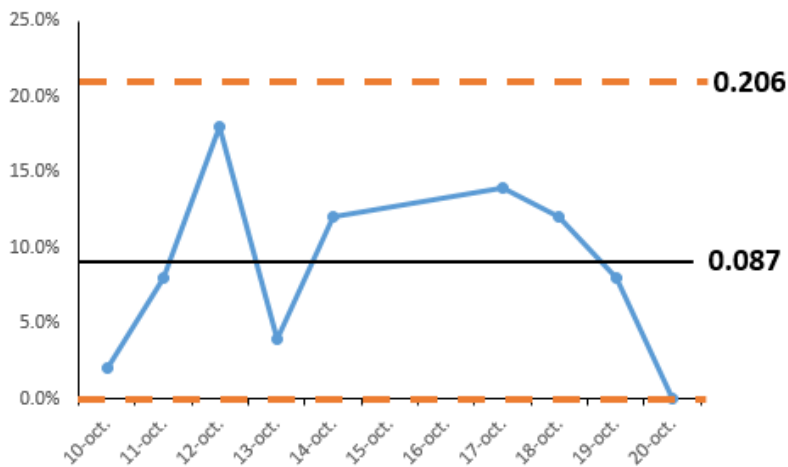
$$LC = 0.087 \pm 0.11957$$

$$LC = \begin{cases} 0.087 - 0.11957 = -0.0326 \\ 0.087 + 0.11957 = 0.2060 \end{cases}$$

$$LCI = 0$$

$$LCS = 0.2060$$

Trazar el diagrama de control de porcentaje defectuoso



El porcentaje de espejos con defecto se mantiene en control.

- Induma es una empresa que se dedica a fabricar muebles para el hogar y le da seguimiento a los procesos de fabricación a través del control de los defectos por unidades. De manera aleatoria se eligieron 10 pedidos que se deben entregar la próxima semana a diez de sus distribuidores, cada envío está formado por 60 unidades. A raíz de los recientes cortes de energía realizado por la ENEE, hubo fallas en los equipos de fabricación, por lo que se espera que hay defectos en los productos terminados. Se va a revisar el control del porcentaje de muebles defectuosos para determinar las correcciones que deberán efectuarse, los resultados fueron los siguientes:

Código Cliente	Muebles fabricados	Muebles con defectos
D-0825	60	10
D-0107	60	12
D-0815	60	9
D-0513	60	15
D-1801	60	27
D-0410	60	8
D-1201	60	11
D-0601	60	11
D-0803	60	13
D-0801	60	15

## Desarrollo

Calcular la proporción de cada día y la proporción promedio.

Código Cliente	Muebles fabricados	Muebles con defectos	$p$
D-0825	60	10	0.167
D-0107	60	12	0.200
D-0815	60	9	0.150
D-0513	60	15	0.250
D-1801	60	27	0.450
D-0410	60	8	0.133
D-1201	60	11	0.183
D-0601	60	11	0.183
D-0803	60	13	0.217
D-0801	60	15	0.250
<b>Total</b>	<b>600</b>	<b>131</b>	<b>0.218</b>

Calcular el intervalo del control del proceso.

$$LC = \bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$$

$$LC = 0.218 \pm \sqrt{\frac{0.218(1 - 0.218)}{60}}$$

$$LC = 0.218 \pm 3(0.0533)$$

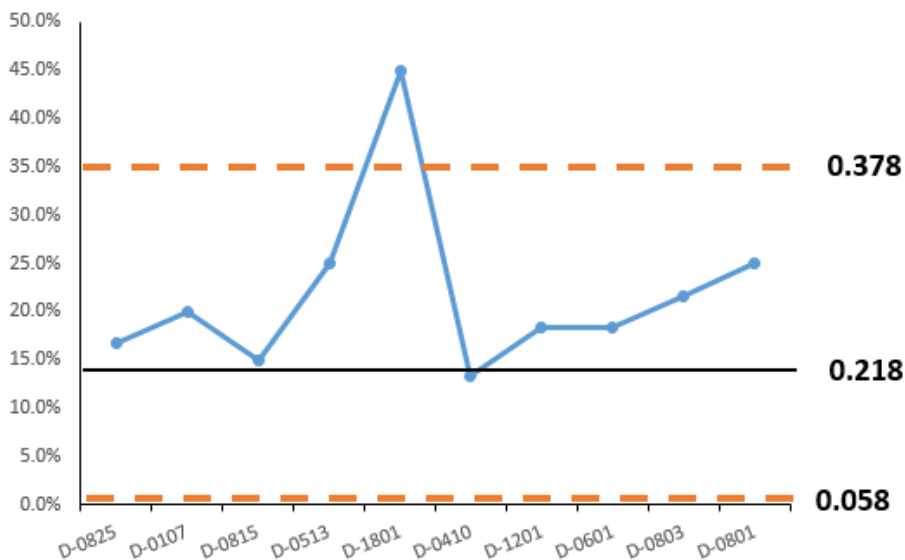
$$LC = 0.218 \pm 0.16$$

$$LC = \begin{cases} 0.218 - 0.16 = 0.058 \\ 0.218 + 0.16 = 0.378 \end{cases}$$

$$LCI = 0.058$$

$$LCS = 0.378$$

Trazar el diagrama de control de porcentaje defectuoso



La mayoría de lotes están bajo control, se puede corregir en tiempo normal; para el caso del cliente D-1801 habrá que trabajar en tiempo extra, ya que es el único que está fuera de control.

## Diagrama de línea C

Este tipo de diagrama es más a detalle en los procesos productivos, ya que se trata de detectar el número de errores que se encuentran por cada unidad. Dependiendo del número de defectos de cada unidad, se puede determinar si una unidad es aceptada o rechazada; puede ser que una unidad con x defectos sea aceptada y si se rebasa un límites, se procesa como “no aceptable”. Se usa la misma técnica que en el caso anterior, asociada a cada unidad.

**LÍMITES DE CONTROL DEL NÚMERO DE DEFECTOS POR UNIDAD**

$$LC = \bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$$

### Ejemplo 10.6

1. El editor de La Tribuna ha detectado fallas de ortografía en los últimos meses. Toma una muestra de los periódicos de los últimos 10 días y localiza los errores ortográficos de cada una de ellas con los siguientes resultados: 5, 6, 3, 0, 4, 5, 1, 2, 7 y 4. ¿Hubo algunos días en los que las palabras mal escritas estuvieron fuera de control?

### Desarrollo

Calcular el promedio de errores en los 10 días.

PALABRAS MAL ESCRITAS	5	6	3	0	4	5	1	2	7	4

$$\bar{c} = 3.7$$

Calcular los límites de control del número de errores por día.

$$LC = \bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LC = 3.7 \pm 3\sqrt{3.7}$$

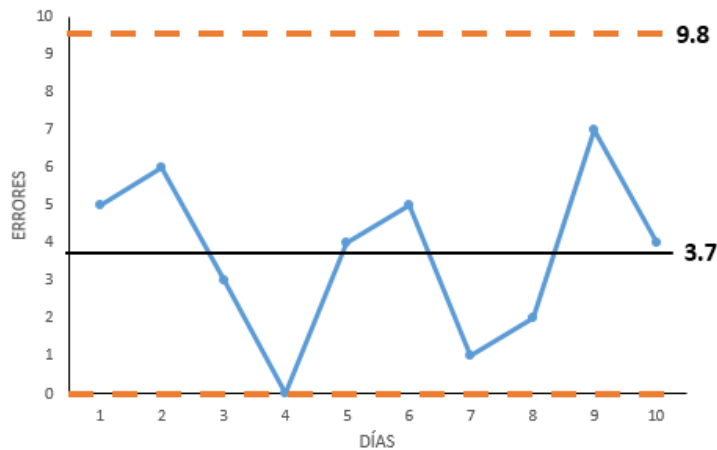
$$LC = 3.7 \pm 5.77$$

$$LC = \begin{cases} 3.7 - 5.77 = -2.07 \\ 3.7 + 5.77 = 9.47 \end{cases}$$

$$LCI = 0$$

$$LCS = 9.47$$

Trazar el diagrama de control de línea c.



2. En una franquicia de restaurantes de comida rápida, se hacen inspecciones mensuales para determinar si cada uno de ellos están cumpliendo con las normas de salubridad que se exige a cada una de ellas. En la última inspección a 12 de los restaurantes se les encontraron una serie de no conformidades y se requiere determinar si los casos están en control o es necesario tomar acciones correctivas más fuertes. Los datos recabados fueron los siguientes: 6, 7, 19, 3, 5, 2, 1, 4, 8, 9, 7 y 4

### Desarrollo

Calcular el promedio de no conformidades de los restaurantes

NO CONFORMIDADES	6	7	19	3	5	2	1	4	8	9	7	4
---------------------	---	---	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$$\bar{c} = 6.25$$

Calcular los límites de control del número de errores por día.

$$LC = \bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$$

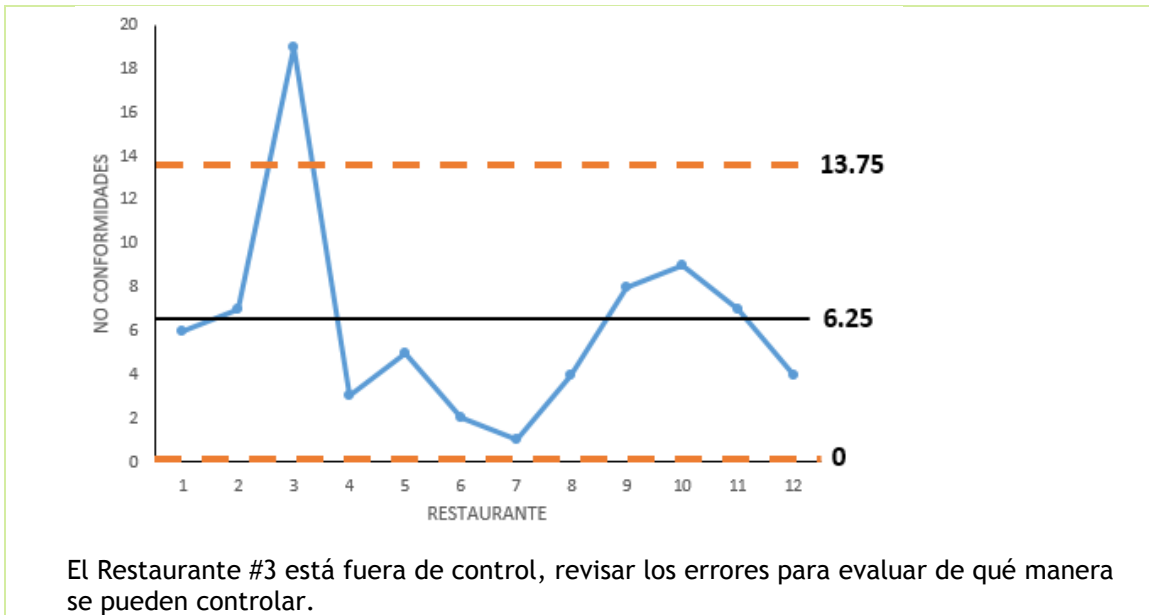
$$LC = 6.25 \pm 3\sqrt{6.25}$$

$$LC = 6.25 \pm 7.5$$

$$LC = \begin{cases} 6.25 - 7.5 = -1.25 \\ 6.25 + 7.5 = 13.75 \end{cases}$$

$$LCI = 0$$

$$LCS = 13.75$$



## Ejercicios

- Un fabricante de zapatos deportivos realizó un estudio acerca de sus nuevos zapatos para trotar. Los siguientes son el tipo y frecuencia de las discrepancias y fallas encontradas. Desarrolle un diagrama de Pareto para indicar las principales áreas problemáticas.

Tipo de discrepancia	Pares
Separación de la suela	34
Separación del tacón	98
Abertura en la suela	62
Ruptura de agujetas	14
Defecto en ojal	10
Otros	16

- En la distribuidora de repuestos DIDERE se han estado presentando quejas de los clientes y para tomar acciones se necesita conocer cuáles son las quejas más presentadas (diagrama de Pareto). En una muestra seleccionada aleatoriamente entre los clientes que llegaron al local en los últimos dos meses, las quejas fueron las siguientes:

Tipo de discrepancia	Pares
Mal funcionamiento de equipo de Tarjetas de crédito	20
Repuestos que no hay en existencia	50
Precios muy altos	18

Muy poco personal para atender	36
Atención deficiente	5
Repuestos equivocados	27
Problemas con el sistema	8

- El centro comercial La Cumbre se abre a las 10 de la mañana; sin embargo, en la última semana han estado entrando a las 10:30 am. Elabore un diagrama de Esqueleto de Pez de las posibles causas.
- En su empresa, los clientes han estado reportando que los pedidos se les está entregando con mucho tiempo de retraso. ¿Puede generar un diagnóstico de la forma de solucionarlo con un diagrama de Esqueleto de Pez?
- Long Last Company, como parte de su proceso de inspección, prueba sus neumáticos para verificar el desgaste del área de contacto en condiciones de caminos simulados. Se seleccionaron 20 muestras de 3 neumáticos de turnos distintos durante el mes pasado de operación. El desgaste del área de contacto aparece a continuación, en centésimos de pulgada, para determinar si la media y la variación están en control.

Muestra	TURNOS		
	A	B	C
1	44	42	19
2	39	31	21
3	38	16	25
4	20	33	36
5	34	33	36
6	28	23	39
7	40	15	34
8	36	36	35
9	32	29	30

- La gerente general de Más Alimentos solicitó los diagramas de control de variable y de rangos sobre el nuevo producto para revisar si los pesos del producto se mantiene en control. Los resultados que se tienen hasta la fecha son:

Día	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5
Lunes	42	48	28	43	52
Martes	52	57	24	41	21
Miércoles	48	65	54	35	45
Jueves	59	35	53	63	55
Viernes	57	54	42	32	35
Sábado	51	51	51	34	35

- Early Morning Delivery Service garantiza la entrega de paquetes pequeños a las 10:30 a.m. Por supuesto, algunos paquetes no se entregan a las 10:30 a.m. En una muestra de 200 paquetes entregados cada uno de los últimos 15 días laborables, el siguiente número de paquetes se entregó después del límite de tiempo: 9, 14, 2, 13, 9, 5, 9, 3, 4, 3, 4, 3, 3, 8 y 4.
  - Determine los límites de control de la proporción de paquetes entregados después de las 10:30 a.m.
  - ¿Hubo algunos días muestreados fuera de control?
  - si 10 paquetes de 200 se entregaron hoy después de las 10:30 a.m., ¿la muestra está dentro de los límites de control?
- Un inversionista considera que hay una posibilidad de 50% de que una acción suba o baje en un día en particular. Para investigar esta idea, durante 30 días consecutivos el inversionista selecciona

una muestra de 50 acciones y cuenta el número de veces que aumenta. El número de acciones, en la muestra, que aumentaron es el siguiente.

VECES QUE	14	12	13	17	10	18	10
AUMENTAN	13	13	14	13	10	12	11

Elabore un diagrama del porcentaje defectuoso y resuma sus resultados en un reporte breve. Con base en éstos, ¿es razonable concluir que las probabilidades de que la acción aumente son de 50%? ¿Qué porcentaje de las acciones necesitaría subir en un día para que el proceso esté “fuera de control”?

9. Fox Pictures distribuye muchas películas a sus teatros de todo el país. Decide tomar muestras de lotes de una película en particular para determinar si las copias fueron reproducidas sin imperfecciones. si el proceso de muestreo sugiere que no más del 5% de las copias tienen un defecto, todo el lote se distribuirá a las empresas de cine. Los funcionarios desean rechazar los lotes bueno no más del 10% de las veces. En el muestreo de descubrió que el número de fallas por película fueron: 6, 7, 2, 12, 19, 10, 2, 2, 22, 21, 0, 1, 19, 0, 15 y 3. ¿El proceso de reproducción está fuera de control?
10. Budget Rental, una empresa de alquiler de autos que practica una política en la cual a cada carro se coloca en una lista de verificación antes que se entregue a un cliente. Una valoración reciente de 15 carros descubrió que algunos puntos de la verificación habían sido pasados por alto. Verificar si el sistema de verificación está bajo control en base a los resultados de la muestra obtenida: 3, 5, 7, 2, 6, 8, 10, 4, 9, 12, 7, 3, 6, 13 y 12.

ANEXOS

# Apéndice B

## B.8: Factores de las tablas de control

Número de elementos en la muestra, $n$	Tablas de promedios	Tablas de rangos	
	Factores para los límites de control	Factores para la línea central	Factores para la línea de control
	$A_2$	$d_2$	$D_3$ $D_4$
2	1.880	1.128	0 3.267
3	1.023	1.693	0 2.575
4	.729	2.059	0 2.282
5	.577	2.326	0 2.115
6	.483	2.534	0 2.004
7	.419	2.704	.076 1.924
8	.373	2.847	.136 1.864
9	.337	2.970	.184 1.816
10	.308	3.078	.223 1.777
11	.285	3.173	.256 1.744
12	.266	3.258	.284 1.716
13	.249	3.336	.308 1.692
14	.235	3.407	.329 1.671
15	.223	3.472	.348 1.652

FUENTE: Adaptado de American Society for Testing and Materials, *Manual on Quality Control of Materials*, 1951, tabla B2, p. 115. Para una tabla y una explicación más detalladas, véase Acheson J. Duncan, *Quality Control and Industrial Statistics*, 3a. ed., Homewood, Ill: Richard D. Irwin, 1974, tabla M, p. 927.

## BIBLIOGRAFÍA

- Lind, D.A., Marchal, W.G., Wathen, S.A. (15). (2012). *Estadística Aplicada a los Negocios y la Economía*. México: McGraw-Hill
- David M. Levine, Timothy C. Krehbiel, Mark L. Berenson. 2006. *Estadística para Administración*. (4° edición). Naucalpan de Juárez, México.: Pearson Prentice Hall
- Allen L. Webster. 2006. *Estadística aplicada a los Negocios y la Economía*. (3° edición). Sata Fe de Bogotá, Colombia.: Irwin McGraw-Hill