



APUNTES DE ESTADÍSTICA Y CONTROL DE CALIDAD

FLORENCIO VÁZQUEZ OVALLE

Soledad de Graciano Sánchez, SLP. a 06 de marzo del 2025

Contenido

Contribución académica	4
Introducción	5
Tema 1: Estadística Descriptiva	7
1.1 Conceptos básicos de estadística	7
1.2 Medidas de tendencia central y dispersión (media, moda, varianza y desviación estándar)	7
1.3 Distribución de frecuencias	8
1.3.1 Distribuciones numéricas	9
1.3.2 Distribuciones categóricas	10
1.3.3 Distribuciones acumuladas	11
1.3.4 Distribuciones porcentuales	12
1.3.5 Distribuciones porcentuales acumuladas	12
1.4 Histogramas	13
1.5 Polígono de frecuencias	14
1.6 Diagrama de Pareto	14
1.7 Diagrama de dispersión	15
Tema 2: Estadística Aplicada	18
2.1 Estadística inferencial	18
2.1.1 Concepto	18
2.1.2 Muestreo	19
2.1.3 Estimación	19
2.1.4 Prueba de hipótesis	19
2.1.5 Método clásico de estimación puntual	32
2.1.6 Estimador insesgado	32
2.2 Intervalos de confianza	33
2.2.1 Intervalos de confianza para la media	33
2.2.2 Intervalos de confianza para la desviación estándar	34
2.2.3 Intervalos de confianza para la proporción	38

Tema 3: Control de Calidad	40
3.1 Evolución de la calidad	40
3.2 Conceptos e importancia de la calidad	43
3.3 Filosofías del control estadístico de la calidad	45
3.4 Costos de la calidad	48
3.5 Cadena cliente–proveedor	51
3.6 Mejoramiento y control de calidad en las organizaciones	54
3.7 Inferencia en la calidad del proceso	57
 Tema 4: Herramientas de Calidad	 59
4.1 Recolección de datos	59
4.2 Hoja de inspección	59
4.3 Diagrama de Pareto	60
4.3.1 Histogramas	61
4.3.2 Diagrama de causa-efecto	62
4.3.3 Diagrama de dispersión	65
4.3.4 Diagrama de estratificación	66
4.4 Habilidad y capacidad del proceso	67
4.5 Gráficas de control	73
4.6 Gráficas de control para atributos	75
4.7 Gráficas de control para no conformidades	93
4.8 Gráficas X y R simples...	94
4.9 Análisis de la capacidad del proceso	106
4.10 Procedimientos especiales para el control	109
 Referencias bibliográficas	 114

CONTRIBUCIÓN ACADÉMICA

A través de los contenidos presentados en estos apuntes, los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica contarán con un apoyo clave para estudiar y aplicar, de manera profesional, metodologías que les permitan analizar, obtener información y tomar decisiones relacionadas con los niveles de calidad en procesos de producción y servicios. Estas metodologías les ayudarán a desarrollar las competencias necesarias para cumplir con los atributos de egreso, facilitando además el liderazgo y la comunicación efectiva dentro de equipos de trabajo en empresas u organizaciones.

En cuanto al atributo de egreso "Problemas de Ingeniería", los estudiantes e ingenieros mecatrónicos estarán capacitados para identificar la información necesaria con el fin de formular y resolver problemas vinculados a la calidad de los procesos y servicios de una empresa u organización. Asimismo, a través de estimaciones puntuales y cálculos por intervalo, podrán predecir el nivel de calidad de un lote de producción en la relación proveedor-cliente.

Con las competencias adquiridas, los ingenieros en mecatrónica podrán monitorear, de manera manual o automática, procesos de manufactura, servicios y la liberación de diseños de ingeniería mecatrónica, utilizando metodologías basadas en gráficas por variables o atributos. De este modo, podrán tomar decisiones oportunas y gestionar los procesos de manera eficiente.

INTRODUCCIÓN

Estadística y Control de Calidad es una asignatura fundamental en la carrera de Ingeniería Mecatrónica. Con este fin, se han desarrollado los presentes apuntes, que abordan cuatro temas principales: **Estadística Descriptiva, Estadística Aplicada, Control de Calidad y Herramientas de Calidad.**

Tema 1: Estadística Descriptiva incluye los conceptos básicos, así como las medidas de tendencia central y de dispersión, la distribución de frecuencias, los histogramas, los polígonos de frecuencias, los diagramas de Pareto y los diagramas de dispersión. En cada concepto, se presenta el procedimiento para realizar los cálculos y elaborar gráficos representativos, tanto de forma manual como utilizando el software Excel. Los ejercicios presentados están basados en enunciados tomados de las fuentes citadas en cada caso.

Tema 2: Estadística Aplicada aborda las estimaciones puntuales y por intervalos de confianza para la media, la desviación estándar y las proporciones para atributos. También incluye ejemplos prácticos de aplicación de las fórmulas y sus respectivas conclusiones para la toma de decisiones, con base en las referencias bibliográficas correspondientes. Asimismo, se presentan enunciados de ejercicios para las estimaciones y pruebas de hipótesis sobre la media, la desviación estándar y las proporciones. En lo que respecta a las pruebas de hipótesis, se incluyen gráficos para facilitar la comprensión del proceso de toma de decisiones y para respaldar las conclusiones obtenidas a partir de los cálculos. Las imágenes mostradas fueron elaboradas en PowerPoint para apoyar visualmente los contenidos.

Tema 3: Control de Calidad en este tema se inicia con la narración de la historia de la calidad, abordando cómo se han manejado los criterios para determinar la calidad de productos o servicios. Se describen los conceptos e importancia de la calidad en la relación proveedor-cliente, destacando la relevancia de este vínculo para garantizar la satisfacción mutua. Además, se hace mención de las aportaciones filosóficas de los principales gurús de la calidad, como Deming, Juran, Ishikawa, Crosby, entre otros. Se explican los costos de calidad, incluyendo sus diferentes fases, y cómo el sistema de calidad total y la mejora continua contribuyen a su reducción. También se resalta la importancia de la comunicación efectiva entre cliente y proveedor, asegurando que el primero cumpla con las especificaciones establecidas. Finalmente, se aborda el uso de la inferencia estadística para determinar los niveles de calidad que el proveedor estima en los lotes de producción o servicios entregados.

Tema 4: Herramientas de Calidad en este tema se presentan los documentos utilizados para registrar los valores de las características de calidad de un producto o proceso. Asimismo, se explica cómo esta información se aplica en herramientas estadísticas, tales como: histograma, diagrama de Pareto, diagrama de dispersión, diagrama de estratificación, diagrama de Ishikawa y gráficas de control. Cada herramienta es descrita detalladamente, junto con las fórmulas necesarias para su elaboración e interpretación. Se aborda también la habilidad y capacidad de proceso, explicando cómo aplicar las fórmulas correspondientes y cómo interpretar sus resultados para evaluar los niveles de calidad en la producción de bienes o servicios.

En conjunto, esta asignatura no solo dota a los futuros ingenieros de habilidades técnicas específicas, sino que también fomenta en ellos un enfoque integral hacia la calidad como un factor clave de éxito. Al dominar tanto los conceptos fundamentales como las herramientas avanzadas, los estudiantes están mejor preparados para implementar sistemas de gestión de calidad efectivos que aseguren la satisfacción del cliente, reduzcan los costos operativos y aumenten la competitividad de las organizaciones.

En conclusión, **Estadística y Control de Calidad** no es solo una asignatura, sino un conjunto de herramientas y conocimientos indispensables para que los ingenieros mecatrónicos puedan liderar procesos de mejora continua, garantizar la eficiencia en los sistemas productivos y contribuir al desarrollo de organizaciones que se distingan por su excelencia operativa y compromiso con la calidad. Este enfoque holístico asegura que los egresados no solo respondan a las demandas actuales de la industria, sino que también sean capaces de anticiparse a las necesidades futuras y liderar transformaciones innovadoras en un mundo cada vez más dinámico y exigente.

Tema 1 Estadística Descriptiva

1.1 Conceptos básicos de estadística

La estadística es la ciencia que se encarga de registrar datos, representarlos de manera objetiva y analizarlos para tomar decisiones relacionadas con la fuente de dichos datos, como en la elaboración de un producto. Mediante la aplicación de la estadística, es posible controlar y monitorear procesos con el fin de mantener y mejorar la calidad. La estadística se divide en dos ramas principales: descriptiva e inferencial.

La estadística descriptiva comprende las técnicas para recolectar los valores de las características de un producto durante su elaboración, por ejemplo, mediante hojas de recolección de datos. Estas técnicas permiten calcular las medidas de tendencia central y dispersión, así como representar objetivamente la distribución de frecuencias a través de histogramas, diagramas de Pareto, gráficos de correlación, entre otros. Para ilustrar lo anterior, en este tema se presentan ejemplos con datos adaptados de algunos ejercicios propuestos por Gutiérrez (2013), cuyas soluciones han sido elaboradas de forma independiente.

Por su parte, la estadística inferencial incluye las fórmulas necesarias para calcular estimaciones puntuales, intervalos de confianza y realizar pruebas de hipótesis, utilizando los valores de las medidas de tendencia central y dispersión. A partir de estos valores, se pueden tomar decisiones sobre el estado de calidad de un proceso.

Las variables son los valores que pueden cambiar a lo largo del tiempo en el proceso de fabricación de un producto, y suelen representarse mediante literales.

Una variable aleatoria es el valor que toma cualquier elemento de una muestra o población dentro de un proceso de producción. Bajo las mismas condiciones de mano de obra, materiales, herramientas, maquinaria y equipo, suele presentarse una variación mínima en estos valores.

1.2 Medidas de tendencia central y dispersión.

La media es el valor promedio que se obtiene al sumar una serie de datos y dividir el resultado entre la cantidad total de datos. Los datos pueden provenir de una muestra (una parte de la población total) o de toda la población. La media muestral se representa con la variable $\bar{X}$, mientras que la media poblacional se denota con la variable μ .

La moda es el valor que se repite con mayor frecuencia en una muestra o población.

La mediana es el valor que ocupa la posición central en un conjunto de datos ordenados de menor a mayor en una muestra o lote.

La varianza mide la dispersión de los valores en una muestra o población con respecto a la media $\bar{x}$.

La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza y representa la separación promedio de cada valor respecto a la media ($\bar{x}$) para una muestra o población (μ). Las desviaciones estándar para la muestra y la población se representan por S y σ , respectivamente.

El rango es la diferencia entre el valor mayor y el valor menor de una distribución de frecuencias.

$$R = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$$

Las medidas de tendencia central se pueden observar en la tabla 1.1.

Tabla 1.1

Resultados del cálculo de la media, moda, mediana, desviación estándar y rango

199.2	199.7	201.8	202	201	201.5	200	199.8
200.7	201.4	200.4	201.7	201.4	201.4	200.8	202.1
200.7	200.9	201	201.5	201.2	201.3	200.9	200.7
200.5	201.2	201.7	201.2	201.2	200.5	200.1	201.4
200.2	201	201.4	201.4	201.1	201.2	201	200.6
202	201	201.5	201.6	200.6	200.1	201.3	200.6
200.7	201.8	200.5	200.5	200.8	200.3	200.7	199.5
198.6	200.3	198.5	198.2	199.6	198.2	198.4	199
199.7	199.7	199	198.4	199.1	198.8	198.3	198.9
199.6	199	198.7	200.5	198.4	199.2	198.8	198.5
198.9	198.8	198.7	199.2	199.3	199.7	197.8	199.9
199	199	198.7	199.1	200.3	200.5	198.1	198.3
199.6	199	199.7	198.9	199.2	197.9	200.3	199.6
199.4	198.7	198.5	198.7	198.6	198.5		

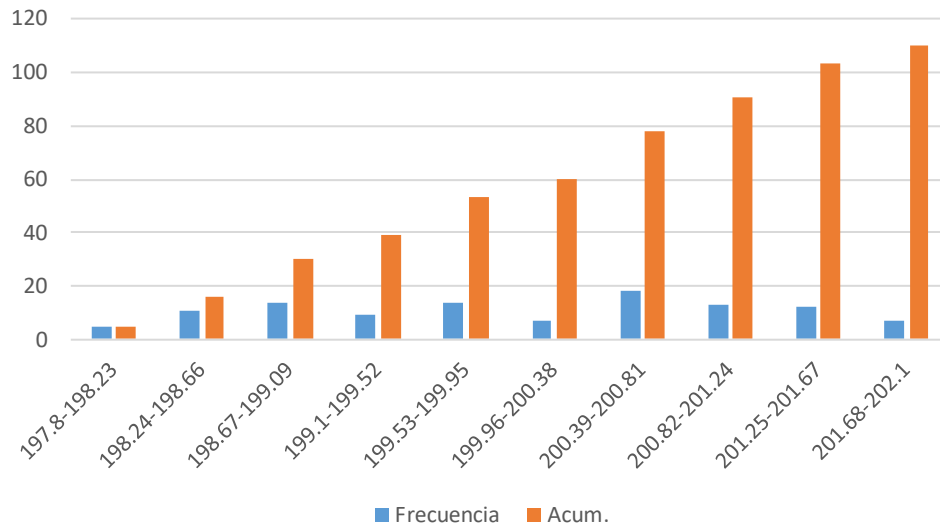
Media 199.99636
Desv. Std. 1.1556743
Moda 201.4
Mediana 200.1
Rango 4.3

Fuente: Adaptado de *Calidad y productividad* (p.172). Por Gutiérrez, H.(2014). Editorial McGraw Hill Education.

1.3 Distribución de frecuencias

La distribución de frecuencias es un registro de los valores de una variable aleatoria tomados de una muestra o población. Existen varios tipos de distribuciones, como la discreta, binomial, Poisson, geométrica y normal. Los ejemplos se presentan en la Figura 1.1, basados en la Tabla 1.1.

Figura 1.1
Distribución



Fuente: Elaboración propia

Distribución normal, también llamada distribución continua, se caracteriza porque las distribuciones de datos forman una figura de campana. Se denomina continua porque los valores de las variables son números continuos, como longitud, peso, dureza, porcentaje, resistencia, etc.

1.3.1 Distribuciones numéricas

Son conjuntos de datos numéricos relacionados con varias características de un producto o servicio, obtenidos durante su proceso de elaboración o de un lote terminado. Los ingenieros utilizan dichos datos para mostrarlos objetivamente a través de una gráfica, como se muestra en la figura 1.2.

Figura 1.2
Distribuciones numéricas

Cantidad	Punterías- Motor - automóvil						
20							
19	*						
18	*						
17	*						
16	*						
15	*	*	*				
14	*	*	*				
13	*	*	*			*	
12	*	*	*			*	
11	*	*	*		*	*	
10	*	*	*	*	*	*	
9	*	*	*	*	*	*	
8	*	*	*	*	*	*	
7	*	*	*	*	*	*	*
6	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*	*	*
3	*	*	*	*	*	*	*
2	*	*	*	*	*	*	*
1	*	*	*	*	*	*	*
0	Poros	incrustacion	rechupes	Dureza f/e	Rugosidad f	Peso f/e	Diámetro f/e

Fuente: Elaboración propia

1.3.2 Distribuciones categóricas.

Las distribuciones categóricas son datos de cualidades o atributos relacionados con un producto o servicio, obtenidos durante su proceso de elaboración o de un lote terminado. Los ingenieros utilizan dichos datos para representarlos objetivamente a través de una gráfica, como se muestra en la figura 1.3.

Figura 1.3
Distribución categórica

Válvulas para motor

Lote #	Piezas defectuosas
1	15
2	12
3	15
4	7
5	16
6	6
7	18
8	10
9	9
10	15
11	9
12	4
13	7
15	9

Fuente: Elaboración propia.



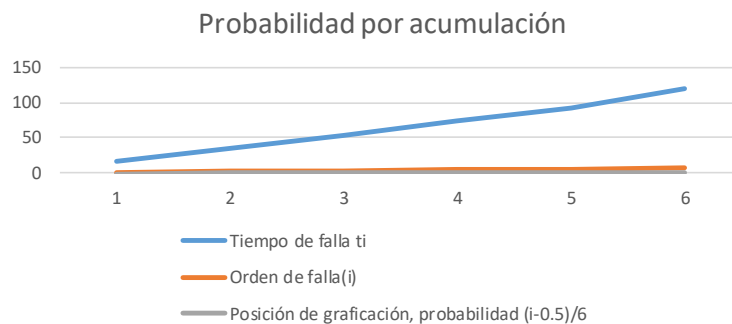
1.3.3 Distribuciones acumuladas.

Las distribuciones acumuladas son arreglos utilizados para identificar la cantidad de observaciones incluidas respecto al límite de cada tipo de distribución. En una gráfica, se representan en forma de una línea curvilínea (ojiva); hay dos casos: tipo "menor que" y "mayor que". Ver figura 1.4.

Figura 1.4
Estudio de probabilidad-distribución acumulada

Tiempo de falla t_i	Orden de falla(i)	Posición de graficación, probabilidad $(i-0.5)/6$
16	1	0.083
34	2	0.25
53	3	0.416
75	4	0.583
93	5	0.75
120	6	0.916

Fuente: Elaboración propia



1.3.4 Distribuciones porcentuales.

En este tipo de distribuciones, las frecuencias encontradas de las características de un producto o servicio se representan como un porcentaje relativo del 100%. Es decir, se calcula el porcentaje de cada defecto o atributo con respecto al total de frecuencias. Ver figura 1.5.

Fórmula:

$$\% = (D / DT) \times 100$$

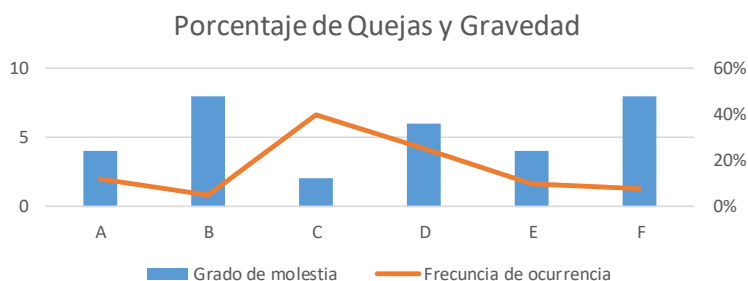
Donde:

- D: Defectos relativos
- DT: Total de defectos

Tipo de queja	Distribución de Quejas %	
	Grado de molestia	Frecuencia de ocurrencia
A	4	12%
B	8	5%
C	2	40%
D	6	25%
E	4	10%
F	8	8%

Fuente: Elaboración propia

Figura 1.5
Distribución porcentual



1.3.5 Distribuciones porcentuales acumuladas.

Considerando que la suma de las frecuencias relativas equivale al 100%, el porcentaje relativo acumulado de cada frecuencia se calcula finalmente con la fórmula. Ver figura 1.6.

Fórmula:

$$\% \text{ Relativo} = (CDR / CTD) \times 100$$

Donde:

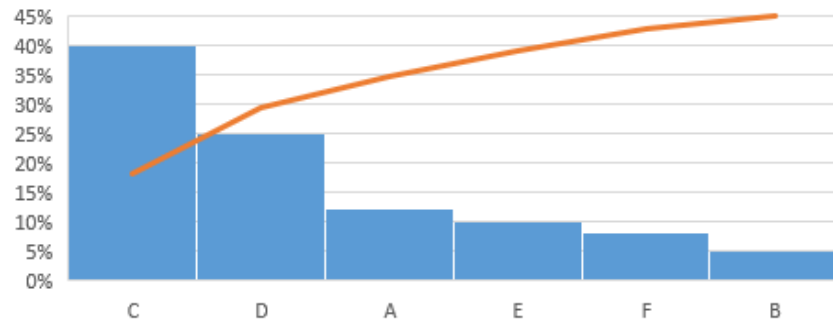
- CDR: Cantidad de defectos relativos
- CTD: Cantidad total de defectos

Figura 1.6
Distribución porcentual acumulada

Distribución de Quejas
% acumulado

Tipo de queja	Frecuencia de ocurrencia
C	40%
D	25%
A	12%
E	10%
F	8%
B	5%

Fuente: Elaboración propia



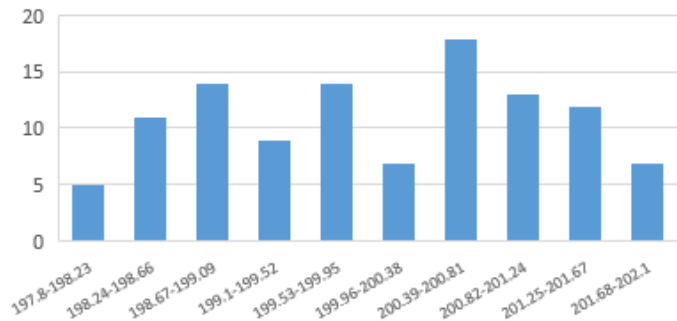
1.4 Histograma

Un histograma es una gráfica de barras que representa la distribución de datos de los subgrupos (clases) de una muestra o población. Su propósito es mostrar la situación de un proceso de producción y facilitar la toma de decisiones. Como ejemplo, véase el ejercicio de figura 1.7.

Figura 1.7
Histograma

	Frecuencia	Acumulada
197.8-198.23	5	5
198.24-198.66	11	16
198.67-199.09	14	30
199.1-199.52	9	39
199.53-199.95	14	53
199.96-200.38	7	60
200.39-200.81	18	78
200.82-201.24	13	91
201.25-201.67	12	103
201.68-202.1	7	110

Fuente: Elaboración propia.

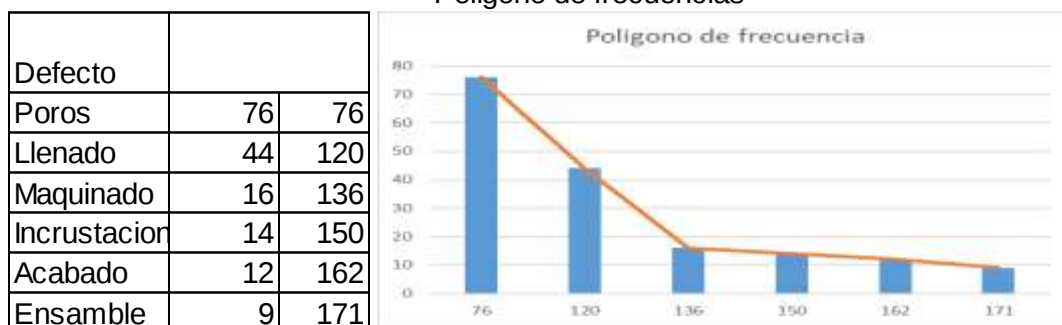


1.5 Polígono de frecuencias

El polígono de frecuencias es un diagrama de líneas que une los puntos medios superiores de cada barra de un histograma. Sirve para resaltar la distribución de frecuencias y es un complemento del histograma. Ver figura 1.8.

Figura 1.8

Polígono de frecuencias



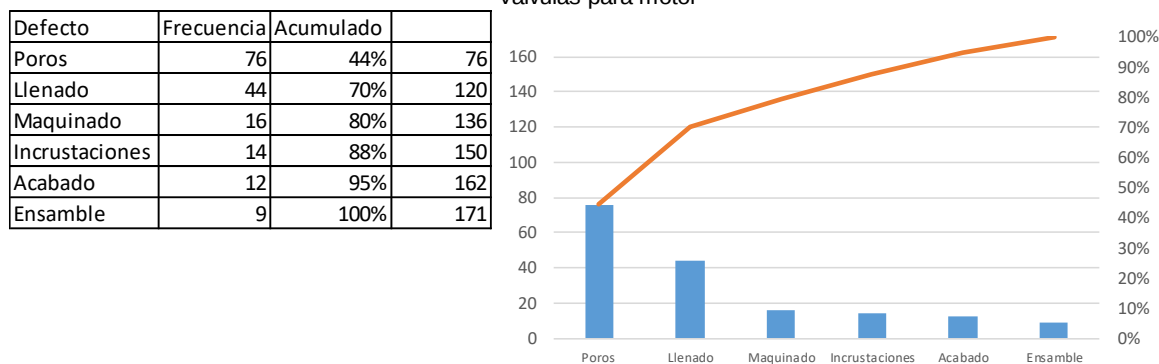
Nota. Fuente: Elaboración propia.

1.6 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una representación gráfica de barras que muestra la cantidad de defectos o problemas de forma jerarquizada. Por ello, se puede observar que los valores con mayor jerarquía representan aproximadamente un 20% en cantidad y un 80% en calidad.

Figura 1.9

Válvulas para motor

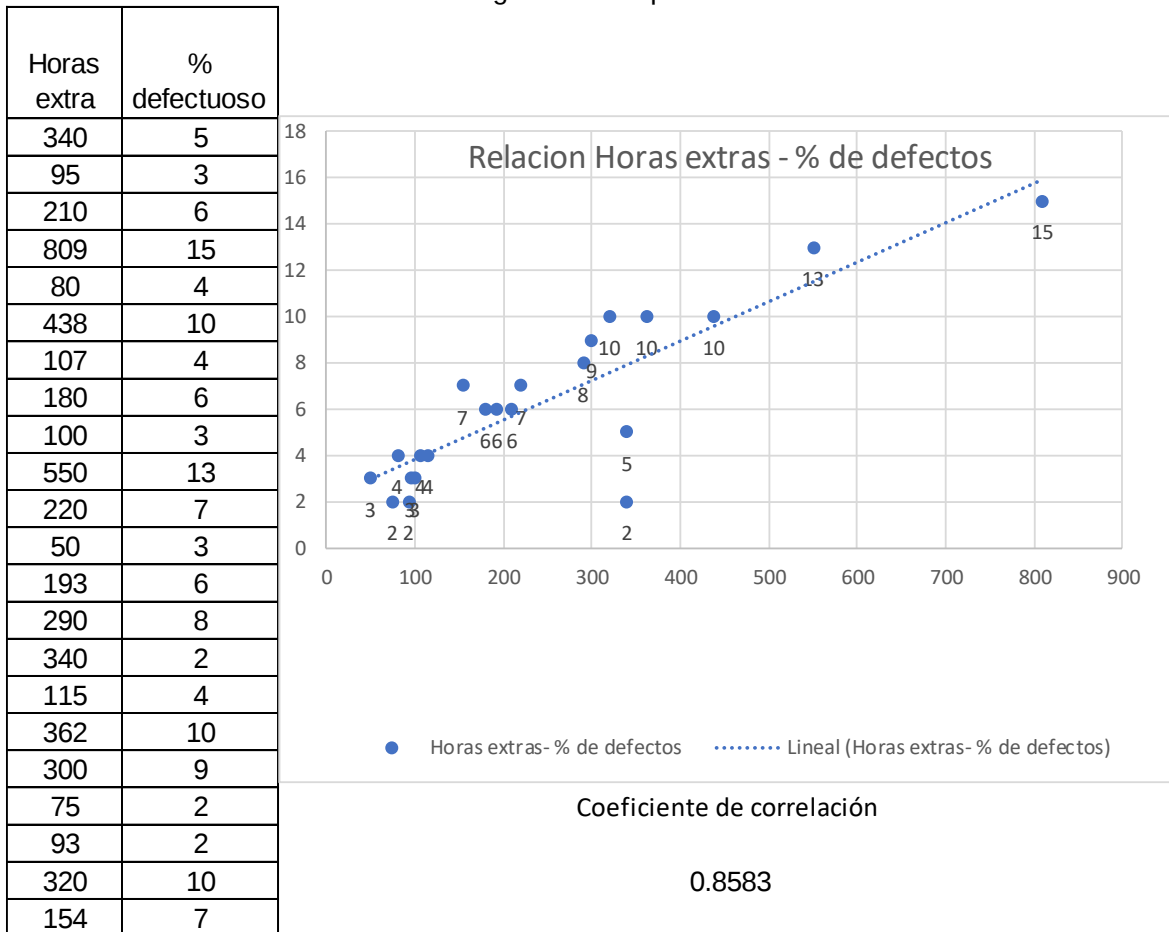


Fuente: Elaboración propia

1.7 Diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión es una representación gráfica de la relación entre dos variables que miden una característica de un producto, obtenido aleatoriamente en un proceso de manufactura. Un ejemplo sería la relación entre la dureza y el tiempo en un horno para el tratamiento térmico de válvulas de admisión. A medida que transcurre el tiempo, se puede observar cómo varía el valor de la dureza. Véase el ejemplo de la figura 1.10.

Figura 1.10
Diagrama de dispersión



Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de correlación puede obtenerse en Excel mediante el siguiente procedimiento:

Fórmulas > Más funciones > Estadísticas > COEF.DE.CORREL

La dispersión también puede determinarse calculando el coeficiente de correlación (r) utilizando las fórmulas siguientes (ver Fig. 1.11).

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

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 =$$

Calcular el coeficiente de correlación manualmente es tedioso y costoso, enseguida ver ejemplo con cinco variables.

x	Y
4	0.5
7	1
8	2.5
9	3
10	4
$\bar{x} = 7.6$	$\bar{Y} = 2.1$

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} * S_{yy}}} = \frac{3.48}{\sqrt{8.42 * 2.26}} = 0.798 \quad \text{si hay correlación en aproximadamente 80\%}.$$

16

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y}) = [(4-7.6) (0.5-2.1) (7-7.6) (1-2.1) (8-7.6) (2.5-2.1) (9-7.6) (3-2.1) (10-7.6) (4-2.1)] = (2.9) (1.2) = 3.48$$

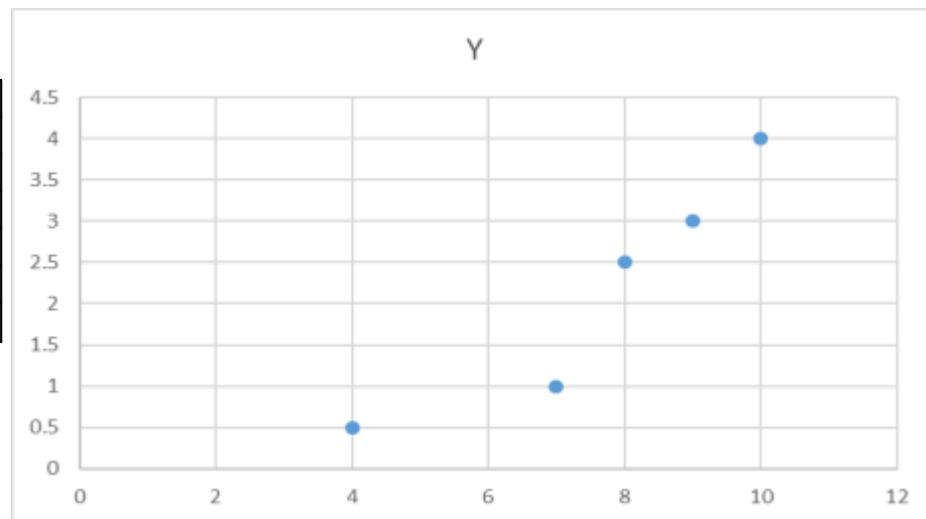
$$s_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = (-3.6)^2 (-0.6)^2 (0.4)^2 (1.4)^2 (2.4)^2 = 8.42$$

$$s_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = (-1.6)^2 (-1.1)^2 (0.5)^2 (0.9)^2 (3.6)^2 = 2.26$$

Figura 1.11
Coeficiente de correlación

X	Y
4	0.5
7	1
8	2.5
9	3
10	4
$\bar{X} = 7.6$	$\bar{Y} = 2.1$

Coeficiente de
correlación
0.934791



Fuente: Elaboración propia.

Criterio: cuando el valor de r se aproxima a 1, hay una correlación positiva; cuando se aproxima a -1, la correlación es negativa. Sin embargo, cuando r se acerca a 0, la correlación disminuye hasta no haber correlación. Se considera que una correlación positiva es fuerte entre 0.7 y 1.0, y una correlación negativa es fuerte entre -0.7 y -1.0. Es preferible utilizar una representación gráfica, ya que en ocasiones el cálculo puede ser engañoso.

Tema 2 Inferencia Estadística

2.1 Estadística Inferencial

La estadística inferencial es la parte que contiene las fórmulas para calcular estimaciones puntuales, estimaciones por intervalo y pruebas de hipótesis, usando los valores de las medidas de tendencia central y dispersión obtenidos en una muestra aleatoria extraída de una población. Con los valores obtenidos y analizados, se calculan parámetros que sirven para tomar decisiones sobre el estado de calidad de los productos y servicios elaborados en un proceso.

Para el mejor entendimiento del tema, se presentan ejemplos con datos adaptados de algunos ejercicios propuestos por Gutiérrez (2013), cuyas soluciones han sido elaboradas de forma independiente.

2.1.1 Conceptos

- **Muestra:** es una cantidad de piezas extraídas de un lote de producción realizado en determinado lapso de tiempo (cada hora, medio turno, un turno, un día, una semana, etc.). Generalmente se recomienda que sean producidas con la misma mano de obra, tipo de materiales, maquinaria y equipo, por lo cual son aleatorias, lo que permite analizarlas para pronosticar.
- **Población:** es un lote de producción o servicios realizado en determinado tiempo. Generalmente, por la cantidad, es costoso y difícil medir el 100%. El lote de productos o servicios está hecho con la misma mano de obra, tipo de materiales, maquinaria y equipo. El productor siempre está atento a la calidad de los productos o servicios, pues debe cumplir las expectativas o especificaciones de sus clientes.
- **Estadístico:** es la medida de una característica aleatoria de un producto o servicio, tomada de una muestra. Los estadísticos se usan para presentarlos en formatos de medidas de tendencia central o dispersión, o también en los diferentes tipos de gráficas de control o representación. Los estadísticos son indicadores o referencias de la calidad de los productos o servicios elaborados.
- **Parámetro:** es la medida de una característica aleatoria de un producto o servicio elaborado en un proceso. Cabe destacar que la diferencia entre una muestra y un lote es la cantidad, generalmente clasificada en los procesos, tanto de productos tangibles como intangibles. Es importante señalar la dificultad y costo que implica conocer un parámetro; por eso, generalmente se deduce de un estadístico al cual se aplica una metodología para conocer su valor.

2.1.2 Muestreo

El muestreo es la actividad realizada para tomar una cantidad de productos aleatorios de un lote de producción o servicio, con el propósito de medir generalmente una importante característica de la calidad. El muestreo se debe al alto costo que significa medir manualmente dicha característica al 100% de los productos o servicios; aunque cabe mencionar que, de manera automática, sí es posible medir el 100% del lote, pero los costos de tales dispositivos (Poka-Yoke) son elevados.

2.1.3 Estimación

La estimación consiste en aplicar los valores de un estadístico para inferir el valor del parámetro de un lote de producción o servicio. El objetivo de esta estimación es que un proveedor pueda dar a conocer a su cliente el valor estimado de la calidad de un lote, sin haber revisado el 100% de los productos o servicios. Es decir, se utilizan los valores obtenidos de una característica para que el proveedor notifique el estado de calidad de un producto o servicio a su cliente.

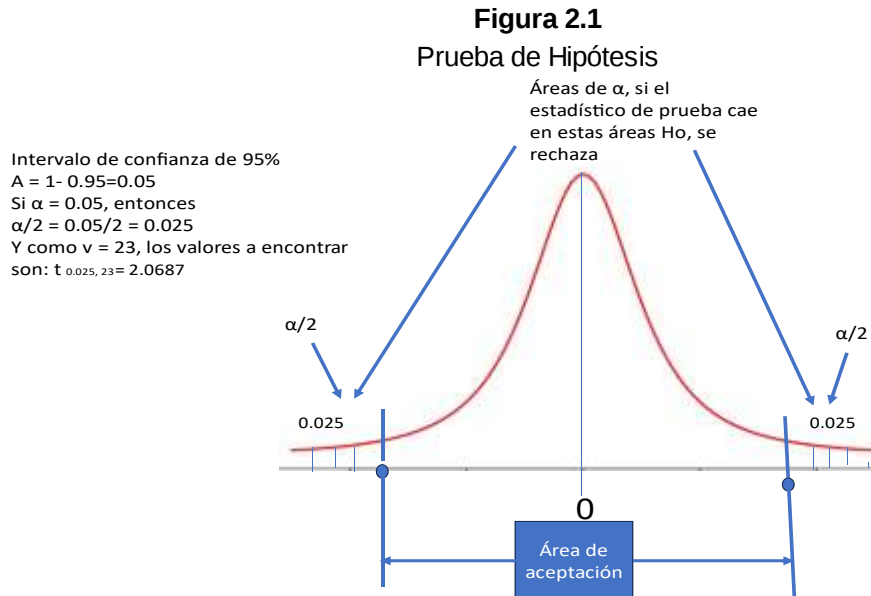
2.1.4 Prueba de Hipótesis

La prueba de hipótesis es el proceso de comprobar una suposición sobre el parámetro de una característica en un producto o servicio, utilizando un estadístico previamente obtenido. En el proceso de comprobación existen dos tipos de hipótesis: la nula (H_0) y la alternativa (H_a). Hay varios métodos para aceptar o rechazar la hipótesis, según los parámetros que se decida analizar. En estadística, se pueden inferir valores de parámetros de un lote basándose en estadísticos de una muestra, o bien, a partir de un estudio, se puede plantear una idea como hipótesis. Por ejemplo:

- El porcentaje de desperdicio de la línea de fundición es menor al 3%.
- El 3% del personal de inspección final no asiste a trabajar los lunes.
- Los cambios técnicos realizados en la línea de maquinado reducirán las piezas defectuosas del 3% al 1.5%.

El planteamiento o formulación se realiza con H_0 para la hipótesis nula y H_a para la hipótesis alternativa. H_0 representa una posible afirmación sobre el estado de una característica poblacional; esta afirmación debe comprobarse mediante H_a , de acuerdo con los datos de la muestra, por lo cual H_0 puede ser rechazada o no rechazada.

Las hipótesis H_a pueden ser bilaterales, caracterizadas por $\neq$, o unilaterales, representadas por $>$ o $<$, mientras que H_0 generalmente se plantea con el signo $=$, aunque también puede ser con $>$ o $<$. En la Figura 2.1 se indican las áreas de rechazo y aceptación. El valor de $\alpha/2$ se obtiene de las tablas t de Student y de la distribución normal estándar, y ese valor se compara con los estadísticos de prueba, calculados con fórmulas específicas para cada tipo de prueba.



Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que en estos apuntes se expondrán tres tipos de pruebas de hipótesis: para la media, para la varianza y para la proporción.

2.1.4.1 Prueba para la media

Este es el caso cuando se afirma que μ es igual a un valor estimado, el cual puede tomarse del estadístico de cualquier característica de producto o servicio a partir de una muestra aleatoria de un proceso. Por ejemplo, la prueba para la media con varianza desconocida σ tiene el siguiente planteamiento:

- Hipótesis nula (H_0): $\mu = \mu_0$
- Hipótesis alternativa (H_a): $\mu \neq \mu_0$

Para aceptar o rechazar H_0 , se utiliza un estadístico de prueba con la siguiente fórmula:

$$t_0 = \bar{X} - \mu_0 \sqrt{n}/S$$

Donde

t_0 : estadístico de prueba

μ_0 : valor supuesto de μ

n : cantidad de piezas de la muestra

S : desviación estándar de la muestra

Se compara el valor calculado de t_0 con el valor crítico de la distribución T student que se encuentra en el Apéndice Tabla A4 del libro Control Estadístico de la calidad y Seis Sigma, $n-1$ grados de libertad. Se rechaza H_0 , si el valor absoluto de t_0 es mayor que el valor $t_{\alpha/2}$; caso contrario, se acepta H_0 . Es decir, se acepta H_0 si $|t_0| < t_{\alpha/2}$.

A continuación, se revisará un ejemplo tomado del libro de Gutiérrez (2013) para entender mejor los conceptos anteriores, cuya solución es elaboración propia: Un inspector de la Procuraduría del Consumidor acude a una planta que elabora alimentos para verificar el cumplimiento de lo estipulado en los envases de los productos en cuanto a peso y volumen. Uno de los productos que decide analizar es el peso de las cajas de cereal, en las cuales se establece que el contenido neto es de 300 gramos para una de sus presentaciones. El inspector toma una muestra de 25 cajas y pesa su contenido. La media y desviación estándar obtenidas son: $\bar{X}=298$ y $S=4.5$.

- Probar que $H_0: \mu=300$ $H_A: \neq 300$, con un nivel de significancia de 5%. Formular las hipótesis, realizar los cálculos y presentar la conclusión.
- Repetir el inciso anterior con un nivel de significancia del 10%.
- Desde la perspectiva del consumidor del producto, ¿cuál debería ser la hipótesis alternativa que debe plantear el inspector en este problema? Argumente.
- Hacer el inciso a) pero ahora planteando como hipótesis alternativa $\mu < 300$.

Solución

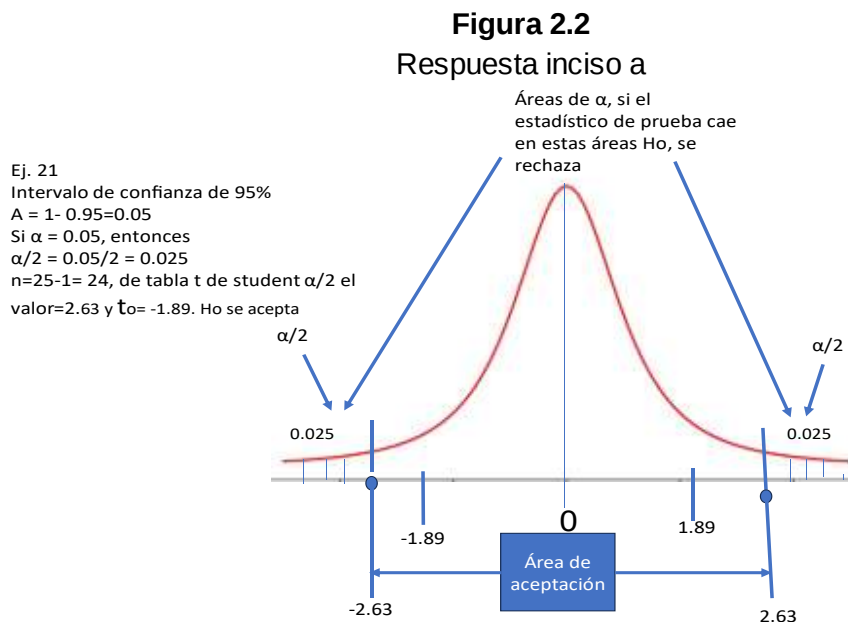
a) Prueba y conclusión:

Datos: Especificación 300 gramos $n=25$ $\bar{X}=298.3$ $S=4.5$ $\mu=300$

Planteamiento:

$$H_0=300 \quad H_A \neq 300 \quad t_o = (\bar{X} - \mu_0) \sqrt{n}/S = (298.3-300)5/4.5 = -1.89$$

De tablas $\alpha_{0.05/2}$, 24 grados de libertad, valor es 2.63, comparado con valor -1.89, el valor absoluto de t_o es menor que $\alpha_{0.05/2}$, por lo que H_0 no se rechaza. Se confirma que dicho peso es menor que el deseado. Ver figura 2.2.



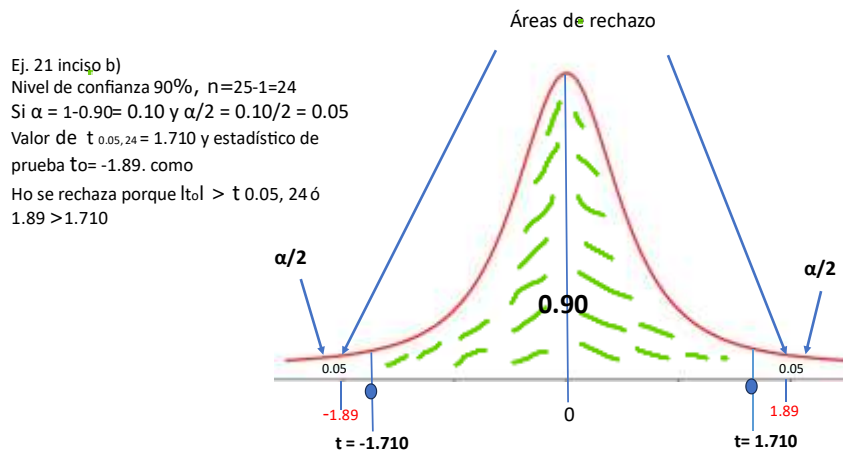
Fuente: Elaboración propia.

b) Con un nivel de significancia del 10%.

$$t_o = (\bar{X} - \mu_0) \sqrt{n}/S = (298.3-300)5/4.5 = -1.89$$

$\alpha_{0.01/2}$, 24 grados de libertad, valor es 1.710, comparado con valor -1.89, el valor absoluto de t_o es mayor que $\alpha_{0.1}$, por lo que H_0 se rechaza. Se confirma que dicho peso es menor que el deseado. Ver figura 2.3.

Figura 2.3
Respuesta del inciso b



Fuente: Elaboración propia.

c) ¿cuál debería ser la hipótesis alternativa que debe plantear el inspector en este problema? Argumentación:

$H_0=300$ $H_A \geq 300$ debido a que el consumidor espera mejor atención.

d) Inciso a) pero ahora planteando como hipótesis alternativa $\mu < 300$.

$H_0=300$ $H_A < 300$

$$t_o = (\bar{x} - \mu_0) \sqrt{n}/S = (298.3-300)5/4.5 = -1.89$$

De tabla T student $\alpha_{0.05}$, 24 grados de libertad, valor es 2.63, comparado con valor -1.89, el valor absoluto de t_o es menor que $\alpha_{0.05}$, por lo que H_0 se acepta y Se confirma que dicho peso es menor que el deseado.

Con base en el ejemplo anterior respecto a la desviación estándar:

a) Pruebe la hipótesis de que $s = 3.0$ contra la alternativa es diferente

b) ¿Si lo que se quiere es proteger al consumidor del exceso de variabilidad, la conclusión del inciso anterior le es favorable?

Solución:

a) Prueba de que la hipótesis de que $\sigma = 3.0$ contra la alternativa que es diferente.

$$H_0: \sigma = 3$$

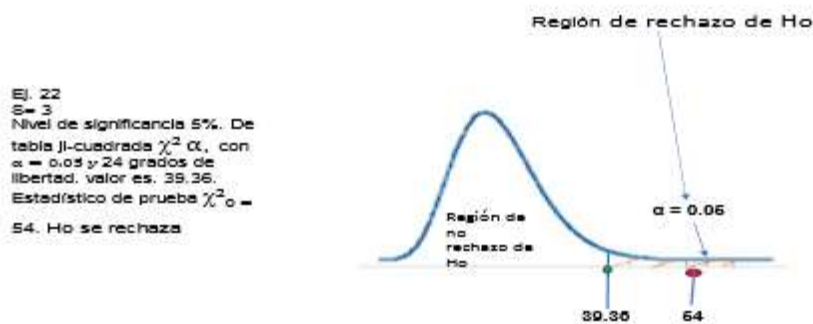
$$H_A: \sigma \neq 3$$

$$\chi^2_0 = (n-1)S^2 / \sigma^2_0 = (25-1)4.5^2 / 3^2 = 54$$

De tablas ji-cuadrada $\chi^2 \alpha$, con $\alpha = 0.05$ y 24 grados de libertad, valor es, 39.36 comparado con valor 54, el valor absoluto de χ^2_0 es mayor que $\alpha_{0.05}$, por lo que H_0 se rechaza y Se confirma que dicho la varianza es mayor que el deseado. Ver figura 2.4.

Figura 2.4

Respuesta del inciso a



Fuente: Elaboración propia.

b) ¿Si lo que se quiere es proteger al consumidor del exceso de variabilidad, la conclusión del inciso anterior le es favorable?

No, porque H_0 es rechazada, la varianza es mayor que la propuesta (deseada).

2.1.4.2 Prueba de hipótesis para dos medias

Esta prueba consiste en comparar dos parámetros, cada uno perteneciente a un proceso diferente en el que se elaboran los mismos productos. Por ejemplo, se puede comparar la producción de tornillos, tuercas, valeros, balatas, etc. En otras palabras, se plantea la hipótesis nula (H_0), que establece que el valor del parámetro es igual para ambos procesos; es decir, la característica del producto fabricado en la planta de Toluca es la misma que en la planta de Celaya.

El planteamiento es $H_0 : \mu_x = \mu_y$ $H_A : \mu_x \neq \mu_y$

El estadístico de prueba es calculado con $t_0 = \bar{X} - \bar{Y} / \sqrt{\frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}}$

En este caso también el estadístico de prueba es comparado el valor de $t_{\alpha/2}$.

Criterio. si $|t_0| > t_{\alpha/2}$, H_0 se rechaza

(Gutiérrez, 2013), presenta el siguiente ejercicio, y el resultado fue elaboración propia. Se desea adquirir una gran cantidad de bombillas y se debe elegir entre las marcas A y B. Para ello, se compraron 100 bombillas de cada marca y se encontraron los siguientes resultados: las bombillas de la marca A tuvieron un tiempo de vida promedio de 1120 horas, con una desviación estándar de 75 horas; mientras que las bombillas de la marca B presentaron un tiempo de vida promedio de 1064 horas, con una desviación estándar de 82 horas.

- a) ¿Es significativa la diferencia entre los tiempos medios de vida? Use $\alpha=0.05$. Aplique la prueba T de student suponiendo igualdad de varianzas.
b) Repita lo anterior, pero, sin suponer igualdad de varianzas

Respuestas

a) ¿Es significativa la diferencia entre los tiempos medios de vida? Use $\alpha=0.05$. Aplique la prueba T de student suponiendo igualdad de varianzas.

$H_0 : \mu_x - \mu_y = 0$ $H_A : \mu_x - \mu_y \neq 0$

$$t_0 = \bar{X} - \bar{Y} / \sqrt{\frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}} = 1120 - 1064 / \sqrt{\frac{5625}{100} + \frac{6724}{100}} = 5.04$$

De las t de student tenemos que para grados de libertad mayores a 100, con $\alpha=0.05 = 1.96$. ahora $5.04 > 1.96$, por lo cual H_0 se rechaza. La respuesta que la diferencia de las medias de vida es significativa.

- b) Repita lo anterior, pero sin suponer igualdad de varianzas
 c) $H_0 : \mu_x - \mu_y = 0$ $H_A : \mu_x - \mu_y \neq 0$

De las t de student tenemos que para grados de libertad mayores a 100, con $\alpha=0.05 = 1.96$. ahora $5.04 > 1.96$, por lo cual H_0 se rechaza. La respuesta que la diferencia de las medias de vida es significativa, misma respuesta que para varianzas iguales.

Gutiérrez (2013) presente el siguiente ejemplo, cuyas soluciones fueron resueltas de forma propia:

En condiciones controladas de laboratorio, se evaluó a 10 hombres y 10 mujeres para determinar la temperatura que cada persona encontró más confortable. Los resultados, expresados en grados Fahrenheit, fueron los siguientes:

Mujer 75 77 78 79 77 73 78 79 78 80

Hombre 74 72 77 76 76 73 75 73 74 75

- a) ¿Cuáles son en realidad los tratamientos que se comparan en este estudio?
 b) ¿Las muestras son dependientes o independientes? Explique.
 c) ¿La temperatura promedio más confortable es igual para hombres que para mujeres?

Respuestas

- a) Realidad en los tratamientos que se comparan en este estudio:

Temperatura controlada en lugar de trabajo.

- b) ¿Las muestras son dependientes o independientes? Explique.

Son dependientes de un ambiente de trabajo, debido a que se quiere conocer la relación de medias entre géneros.

- c) ¿La temperatura promedio más confortable es igual para hombres que para mujeres?

$$H_0 : \mu_x - \mu_y = 0 \quad H_A : \mu_x - \mu_y \neq 0$$

$$t_0 = \bar{X} - \bar{Y} / \sqrt{\frac{S_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}} = 77.4 - 74.5 / \sqrt{\frac{5990.75}{10} + \frac{5550.25}{10}} = 0.085$$

De las t de student tenemos que para grados de libertad mayores a $(10 + 10) - 2 = 18$, con $\alpha = 0.05 = 2.10$. ahora $0.085 < 2.10$, por lo cual H_0 no se rechaza. La respuesta que la temperatura promedio para hombres y mujeres es igual.

2.1.4.3 Prueba para la desviación estándar

Esta prueba se utiliza para comprobar un valor planteado como verdadero en una población, generalmente tomado de la varianza de una muestra. Para aceptar o rechazar la hipótesis nula, se utiliza un estadístico de prueba con la siguiente fórmula:

$$\chi^2_0 = (n-1)S^2 / \sigma^2_0 \quad \text{Planteamiento } H_0 : \sigma^2 = \sigma^2_0 \quad H_A \neq \sigma^2_0$$

Criterio:

Cuando la H_A es >0 $<$ (bilateral) que, se rechaza si $\chi^2_0 < \alpha$ ó $\chi^2_0 > \chi^2_\alpha$

Gutiérrez (2013) para entender mejor el concepto, proporciona el siguiente ejemplo, considerando que las soluciones son elaboración propia:

En una planta embotelladora de bebidas gaseosas, se busca garantizar que las botellas utilizadas tengan, en promedio, una presión de estallido superior al mínimo establecido de 200 psi.

- Formule la hipótesis para la media pertinente al problema.
- Si en una evaluación de la presión de estallamiento de 15 botellas seleccionadas al azar se obtiene que $\bar{x} = 202.5$ y $S = 7$; pruebe la hipótesis formulada antes.
- Si procedió de manera correcta no se rechaza la hipótesis nula y por lo tanto no se puede concluir lo que desea el embotellador, es decir que $\mu > 200$. Explique porque no se puede concluir esto a pesar de que la media muestral es mayor que 200.

Respuestas:

- Formule la hipótesis para la media pertinente al problema.

$$H_0 : \mu_x = \mu_y \quad H_A : \mu_x > \mu_y$$

$$H_0 : \mu_x = 200 \quad H_A : \mu_x > 200$$

- Si en una evaluación de la presión de estallamiento de 15 botellas seleccionadas al azar se obtiene que $\bar{x} = 202.5$ y $S = 7$; pruebe la hipótesis formulada antes.

$$t_0 = (\bar{x} - \mu_0) \sqrt{n}/S = (202.5 - 200)3.87/7 = 1.38$$

De tablas $\alpha_{0.05}$, 14 grados de libertad, valor α es 1.76. comparado el valor de t_0 , es menor que $\alpha_{0.05}$, por lo que H_0 no se rechaza. Se confirma que la presión soportada no es mayor que lo deseado.

c) Si procedió de manera correcta no se rechaza la hipótesis nula y por lo tanto no se puede concluir lo que desea el embotellador, es decir que $\mu > 200$. Explique porque no se puede concluir esto a pesar de que la media muestral es mayor que 200.

No se puede concluir que $\mu >$ por la forma del planteamiento, $H_0 = 200$

Con los datos del ejercicio anterior, pruebe la hipótesis para la desviación estándar de $\sigma=5.0$ contra la alternativa de que es mayor.

Planteamiento $H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2 \quad \sigma^2 > \sigma_0^2$

$$\chi^2_0 = (n-1)S^2 / \sigma_0^2 = (15-1)7^2/25 = 27.44$$

De la tabla ji-cuadrada se obtiene para χ^2_α , con $\alpha = 0.05$ de probabilidad y 14 grados de libertad un valor de 23.68.

Comparando $\chi^2_0 = 27.44$ con $\chi^2_\alpha = 23.68$, χ^2_0 es mayor que χ^2_α se rechaza H_0 y se acepta H_A .

2.1.4.4 Prueba para una proporción

Esta prueba se aplica cuando se formula una afirmación sobre una población basada en los resultados de una muestra. En este caso, la evaluación de la calidad de los productos se realiza mediante atributos (es decir, si tiene o no tiene una característica), lo cual se basa en variables cualitativas.

El objetivo de esta prueba es verificar si la proporción p de una población es igual a la proporción observada en una muestra, o a un valor de referencia específico p_0 . Matemáticamente, este planteamiento se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

$H_0: p = p_0$

$H_A: p \neq p_0$

Cuando el valor de la proporción es de una muestra, $\hat{p} = x/n$, cabe mencionar que para este caso $\hat{p}$ equivale a p_0 .

Respecto a estadístico de prueba es $Z_0 = \frac{x - np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}}$

Criterio.

Para el caso bilateral H_0 es aceptada si con una significancia α , el valor $|Z_0|$ es menor que $Z_{\alpha/2}$

Otra manera de la expresión algebraica $|Z_0| < Z_{\alpha/2}$

Para el caso unilateral ($<$ ó $>$) H_0 es aceptada si con una significancia α , el valor $Z_0 > - \text{ó} + Z_{\alpha}$.

Un ejemplo de lo anterior, como menciona Gutiérrez (2013), es la comparación entre dos métodos para inocular o contagiar una cepa del hongo del maíz, conocido como huitlacoche. En la primera etapa del estudio, el experimentador busca determinar cuál de los métodos genera un mayor porcentaje de infección.

El Método A consiste en cortar la punta de la mazorca para aplicar la cepa, mientras que el Método B implica inyectar la cepa de forma transversal. De las 41 mazorcas inoculadas con el Método A, 20 se infectaron, es decir, desarrollaron huitlacoche; mientras que, de las 38 mazorcas inoculadas con el Método B, 27 se infectaron.

a) ¿Existe evidencia estadística para afirmar que el método B genera mayor infección de huitlacoche? Plantee y pruebe la hipótesis.

Respuesta

$$A) \quad \hat{p} = x/n = 20/41 = 0.487 = 48.7\%$$

$$B) \quad \hat{p} = x/n = 27/38 = 0.71 = 71\%$$

Si existe evidencia, el porcentaje en B indica mayor infección.

Planteamiento

$$H_0: p_B = p_A$$

$$H_A: p_B > p_A$$

$$P = \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2} = \frac{20 + 27}{41 + 38} = 0.59$$

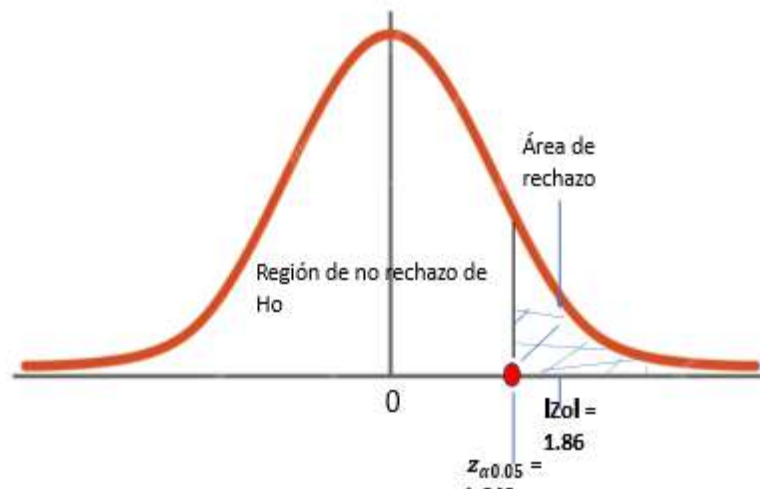
$$Z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = \frac{0.487 - 0.71}{\sqrt{0.59(0.49)(0.024 + 0.026)}} = -0.223/0.12 = -1.86.$$

Con una confianza de 95% $Z_{\alpha 0.05}$ tiene un valor de 1.649 (Tabla de distribución normal estándar) $|Z_0| > Z_{\alpha}$ en números $1.89 > 1.649$. Por cual H_0 se rechaza. Ver figura 2.5.

Figura 2.5
Respuesta inciso a

Ej. 40 Para prueba
unilateral >
 $n_1=41$ $n_2=38$
 $X_1=20$ $X_2=27$
 $P=0.59$
 $|Z_0| = 1.86$
 $Z_{\alpha 0.05} = 1.649$

Ejemplo de aplicación para hipótesis de una proporción
 H_0 se Rechaza



Fuente: Elaboración propia.

También Gutiérrez (2013) ejemplifica lo siguiente, y con las siguientes soluciones propuestas de manera personal:

Se desea comparar dos proveedores. Para ello, se toma una muestra aleatoria de la producción de cada uno, con $n = 150$ piezas cada muestra, y se les realiza una prueba en orden aleatorio. En el caso del primer proveedor, se obtuvieron $X_1 = 11$ piezas que no pasaron la prueba, mientras que para el segundo proveedor se obtuvieron $X_2 = 22$ piezas que tampoco pasaron la prueba.

- ¿Qué proveedor parece mejor?
- ¿Existe una diferencia significativa entre los dos proveedores? Pruebe la hipótesis correspondiente a 95% de nivel de confianza.

Respuestas:

- a) ¿Qué proveedor parece mejor? según los datos de piezas que no pasaron la prueba; el proveedor 1 es mejor.
b) ¿Existe una diferencia significativa entre los dos proveedores?
Pruebe la hipótesis correspondiente a 95% de nivel de confianza. Si existe diferencia marcada, el segundo proveedor tiene 100% más piezas que no pasaron la prueba que el primer proveedor.

Planteamiento

$$H_0: X_1 = X_2$$

$$H_A: X_1 < X_2$$

$$\text{Proveedor 1} = X_1$$

$$\text{Proveedor 2} = X_2$$

$$x_1) \hat{p} = x/n = 11/150 = 0.073 = 7.3\%$$

$$x_2) \hat{p} = x/n = 22/150 = 0.146 = 14.66\%$$

$$\hat{p} = \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2} = \frac{11 + 22}{150 + 150} = 0.11$$

$$Z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = \frac{0.073 - 0.1466}{\sqrt{0.11 * 0.089(0.0067 + 0.0067)}} =$$
$$\frac{0.0736}{0.0361} = -2.04$$

Con una confianza de 95% $z_{\alpha/2}$ tiene un valor de 1.96

Para el caso bilateral H_0 no se acepta porque, el valor $|z_0|$ es mayor que $z_{\alpha/2}$ o sea proveedor B es mejor.

2.1.5 Método clásico de estimación puntual

La estimación puntual consiste en estimar los valores de una población, como la media, la desviación estándar y la proporción, utilizando los valores calculados a partir de una muestra. En una estimación puntual, solo se utiliza el estadístico calculado, como se muestra en el subtema 1.2. En cambio, en el intervalo de confianza se aplica un proceso de cálculo más amplio.

Como ya se mencionó, los indicadores derivados de una muestra se denominan estadísticos, mientras que los indicadores de una población se llaman parámetros. Por lo tanto, la estimación puntual se refiere a la afirmación de que los parámetros de una población son similares a los estadísticos de una muestra.

2.1.6 Estimador insesgado

Un estimador insesgado es aquel en el que la media muestral $\bar{x}$ es igual μ . En otras palabras, es cuando la varianza de una muestra corresponde al estimador puntual de la media de la población.

Esta definición es opuesta al concepto de sesgo, el cual se refiere a la propiedad de una muestra que hace que sus resultados no sean representativos de la población. En estadística, el sesgo de un estadístico se define como la diferencia entre su esperanza matemática y el valor numérico del parámetro que se está estimando. Un estimador cuyo sesgo es igual a cero se denomina insesgado o centrado. Cabe mencionar que la ausencia de sesgo es una propiedad deseable en los estimadores, ya que asegura una mejor representatividad.

Medidas de forma

El análisis de las medidas de forma se enfoca en la distribución de los datos, determinando el sesgo mediante el cálculo de la asimetría, utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Sesgo} = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2) S^3}$$

Cuando Sesgo igual cero (0) existe un estimador insesgado, aunque no es común encontrar un estimador insesgado. Esto puede suceder cuando la hipótesis sea apoyada por la hipótesis alternativa. $H_0: \bar{x} = \mu$ y $H_A: \bar{x} \neq \mu$

Un ejemplo puede ser: en una fábrica de baleros se toma una muestra de 30 piezas de un lote de 450. Las piezas de la muestra son medidas de su diámetro interior manualmente y se encuentra que $\bar{x} = 25.55$ milímetros; las 450 piezas del lote son medidas automáticamente y se encuentra que el valor de $\mu = 25.55$ milímetros, esto indica que el estimador es insesgado.

2.2 Intervalos de Confianza

Pueden ser calculados intervalos para la media, desviación estándar y para la proporción a través de su respectiva metodología. La utilidad de esta estimación es que a través de los estadísticos de una muestra pueden calcularse los parámetros de la población, a diferencia de una estimación puntual en la que solo es usado el estadístico, mientras que en el intervalo de confianza se aplica un proceso de cálculo, como será mostrado adelante.

En el proceso de cálculo son aplicadas formula específicas para la media μ , desviación estándar σ y la proporción p . Mencionadas formulas serán mostradas y aplicadas respectivamente a continuación respectivamente.

Cabe mencionar que, en las fórmulas, para los intervalos de confianza para la media y proporción, valores de $\alpha / 2$ son tomados de las tablas T student o distribución normal estándar, considerar que para muestras ≥ 40 puede usarse la T student o la distribución normal pues los valores tienden aproximarse y a partir de $n=100$ los valores son iguales. Mientras que la para desviación estándar se usa la tabla ji-cuadrada.

2.2.1 Intervalo de confianza para la media.

En un proceso de fabricación de un producto X, el proveedor tiene la necesidad de proporcionar al cliente una estimación sobre la media del lote μ ; pero como es obvio no es practico calcular μ , aunque para este puede ser calculado un intervalo de confianza en base a la media y cantidad de la nuestra, considerando una distribución normal con una probabilidad generalmente del 95%. Ejemplos en los siguientes tres ejercicios.

En la elaboración de una bebida se desea garantizar que el porcentaje de CO₂ (gas) por envase esté entre 2.5 y 3.0. Los siguientes datos fueron obtenidos del monitoreo del proceso:

2.61 2.62 2.65 2.56 2.68 2.51 2.56 2.62 2.63 2.57 2.60
2.53 2.69 2.53 2.67 2.66 2.63 2.52 2.61 2.60 2.52 2.62
2.67 2.58 2.61 2.64 2.49 2.58 2.61 2.53 2.53 2.57 2.66
2.51 2.57 2.55 2.57 2.56 2.52 2.58 2.64 2.59 2.57 2.58
2.52 2.61 2.55 2.55 2.73 2.51 2.61 2.71 2.64 2.59 2.60
2.64 2.56 2.60 2.57 2.48 2.60 2.61 2.55 2.66 2.69 2.56
2.64 2.67

Calcular:

- a) μ con un nivel de confianza de 95%
- b) Si se supone que μ debe ser igual a 2.75. Dada la evidencia, ¿es posible rechazar tal supuesto?
- c) Con los datos anteriores, calcular con un nivel de confianza de 95% la desviación estándar del proceso σ .
- d) Con los datos muestrales se observa el mínimo es 2.48 y el máximo 2.73, ¿por qué en el inciso a) tiene menor amplitud.

Datos:

n= 68 $\bar{x}$ =2.59(calculado en Excel) S=0.24 (calculado en Excel) 1.96 es valor de tabla t de Student, para muestras de 5 piezas (tamaño común en la práctica).

a)

$$\text{Formulas } \mu = \bar{x} \pm t_{\alpha/2} s \frac{1}{\sqrt{n}} = 2.59 \pm 1.96(0.24/\sqrt{68}) = 2.647$$

$$\mu = \bar{x} - t_{\alpha/2} s \frac{1}{\sqrt{n}} = 2.59 - 1.96(0.24/\sqrt{68}) = 2.533$$

b) Si es posible rechazar el supuesto de que $\mu = 2.75$, debido a que el máximo valor calculado es 2.647.

c)

$$\text{Formula } \sigma = (\sqrt{(n-1) S^2 / \chi^2_{\alpha/2, n-1}}), (\sqrt{(n-1) S^2 / \chi^2_{1-\alpha/2, n-1}})$$

$$= (\sqrt{(68-1)0.000576 / 46.97}) = 0.96, (\sqrt{(68-1)0.000576 / 16.791}) = 1.51$$

Los valores $\chi^2_{\alpha/2}$ y $\chi^2_{1-\alpha/2}$ son tomados de la tabla ji-cuadrada. Cabe mencionar que la substitución valore de S^2 es 0.24^2 . finalmente, los valores de la estimación por intervalo de la desviación por intervalo son $\sigma=0.906$ y 1.51.

d) Los datos muestrales tienen mayor amplitud que los datos calculados en el inciso b).

2.2.2 Intervalo de confianza para la desviación estándar.

De igual forma que el apartado 2.2.1 existe la necesidad del proveedor proporcionar una estimación sobre la desviación estándar del lote de producción a su cliente, esto puede calcularse en base a datos de la muestra, como la cantidad de piezas y varianza de la muestra. Para lo cual es calculado la raíz cuadrada, con la formula mostrada. Ahora considerando una distribución ji-cuadrada y una probabilidad generalmente de 95%. Esto puede observarse en los siguientes ejemplos:

Una característica importante en la calidad de la leche de vaca es la concentración de grasa. En una industria en particular se fijó como estándar mínimo del producto que se recibe directamente de los establos lecheros sea de 3%. Por medio de 40 muestreos y evaluaciones en cierta época del año se obtuvo que $\bar{X}=3.2$ y $S=0.3$.

- Calcular con un nivel de confianza del 90% el contenido de grasa poblacional.
- ¿Cuál es el error máximo de estimación para la media? ¿Por qué?
- Si se requiere estimar la media con un error máximo de 0.05 ¿Qué tamaño de la muestra se requiere?
- Calcular con un nivel de confianza de 95%, la desviación estándar poblacional.
- ¿Qué puede decir respecto a la cantidad mínima y máxima de grasa en la leche? ¿Es posible garantizar con suficiente confianza que la leche tiene más de 3.0 % de grasa? Aplicar la regla empírica.

Datos: $n= 40$ $\bar{X}=3.2$ $s=0.3$ $t_{\alpha/2}=1.68$ valor de tabla t de student, nivel de confianza de 90%.

Respuestas

$$a) \mu = \bar{X} + t_{\alpha/2} s \frac{1}{\sqrt{n}} = 3.2 + 1.68(0.3/6.32) = 3.28$$

$$\mu = \bar{X} - t_{\alpha/2} s \frac{1}{\sqrt{n}} = 3.2 - 1.68(0.3/6.32) = 3.12$$

b) Error máximo = $t_{\alpha/2} s \frac{1}{\sqrt{n}} = 0.08$, porque es lo máximo que puede variar la media de la población μ respecto a la media de la muestra $\bar{X}$.

c) Tamaño de la muestra $n = 4S^2/E^2 = 4 \cdot 0.09/0.0025 = 144$ piezas.

$$d) \text{Formula } \sigma = [(\sqrt{n-1}) S^2 / \chi^2_{\alpha/2, n-1} ; (\sqrt{(n-1)} S^2 / \chi^2_{1-\alpha/2, n-1})]$$

$$= [(\sqrt{(40-1)}(0.09)/24.4) = 0.14 ; (\sqrt{(40-1)} * 0.09/59.3)] = 0.059.$$

Finalmente, los valores de la estimación por intervalo de la desviación por intervalo son $\sigma = 0.14$ y 0.059 .

e) La cantidad mínima de la grasa especificada por el cliente, puede garantizarse, pues los valores de la media poblacional μ serán $>3.0\%$

Regla empírica

- Entre $\bar{X}-S$ y $\bar{X}+S$ está 68% de los datos de la muestra
- Entre $\bar{X}-2S$ y $\bar{X}+2S$ está 95% de los datos de la muestra
- Entre $\bar{X}-3S$ y $\bar{X}+3S$ está 99.7% de los datos de la muestra

1. $\bar{X}-S$ y $\bar{X}+S = 3.2-0.3$ y $3.2+0.3 = 2.9$ y 3.5
2. $\bar{X}-2S$ y $\bar{X}+2S = 3.2-0.6$ y $3.2+0.6 = 2.6$ y 3.8
3. $\bar{X}-3S$ y $\bar{X}+3S = 3.2-0.9$ y $3.2+0.9 = 2.3$ y 4.1

De acuerdo con la ley empírica, el proceso no garantiza que se cumpla con el mínimo requerido de grasa.

En la fabricación de discos compactos una variable interés es la densidad mínima (grosor) de la capa de metal, la cual no debe ser menor de 1.5 micras. Por experiencia se sabe que la densidad mínima del metal casi siempre ocurre en los radios 24 y 57, aunque en el método actual también se miden los radios 32, 40 y 48.

Se realizan siete lecturas en cada radio, lo cual da un total de 35 lecturas, de las cuales solo se utiliza la mínima. A continuación, se presenta una muestra histórica de 18 densidades mínimas.

1.81 1.97 1.93 1.97 1.85 1.99 1.95 1.93 1.85 1.87
1.98 1.93 1.96 2.02 2.07 1.92 1.99 1.93

- a) Argumente en términos estadísticos si las densidades mínimas individuales cumplen con la especificación de 1.5 micras. Sugerencia aplique la regla empírica.
- b) Calcular el intervalo de confianza para 99% para la media de la densidad mínima.
- c) Calcular el intervalo de confianza para 99% para la desviación estándar.
- d) dibuje el diagrama de caja para los datos e interprete los resultados.

Solución

- a) Argumente en términos estadísticos si las densidades mínimas individuales cumplen con la especificación de 1.5 micras. Sugerencia aplique la regla empírica.

$$\bar{X} = 34.92/18 = 1.94 \quad S = 0.063 \text{ (Excel)}$$

1. $\bar{X}-S$ y $\bar{X}+S = 1.94-0.063$ y $1.94+0.063 = 1.88$ y 2.03
2. $\bar{X}-2S$ y $\bar{X}+2S = 1.94-0.126$ y $1.94+0.126 = 1.81$ y 2.07
3. $\bar{X}-3S$ y $\bar{X}+3S = 1.94-0.189$ y $1.94+0.189 = 1.75$ y 2.129

Si las densidades mínimas cumplen con las especificaciones, pues estarán en un 99.7 dentro. 1.75 y $2.129 > 1.5$

- b) Calcular el intervalo de confianza para 99% para la media de la densidad mínima.

$$\mu = \bar{X} \pm t_{\alpha/2} s \frac{1}{\sqrt{n}} = 1.94 \pm 2.56(0.064/4.24) = 1.98$$

$$\mu = \bar{X} - t_{\alpha/2} s \frac{1}{\sqrt{n}} = 1.94 - 2.56(0.064/4.24) = 1.90$$

c) Calcular el intervalo de confianza para 99% para la desviación estándar.

$$\text{Formula } \sigma = [(\sqrt{n-1}) S^2 / \chi^2_{\alpha/2, n-1} ; (\sqrt{n-1}) S^2 / \chi^2_{1-\alpha/2, n-1}]$$

$$= [(\sqrt{(18-1)}(0.004)/33.4) = 0.002 ; (\sqrt{(18-1)} * 0.004 / 6.41)] = 0.0106.$$

Finalmente, los valores de la estimación por intervalo de la desviación por intervalo son $\sigma = 0.002$ y 0.0106 .

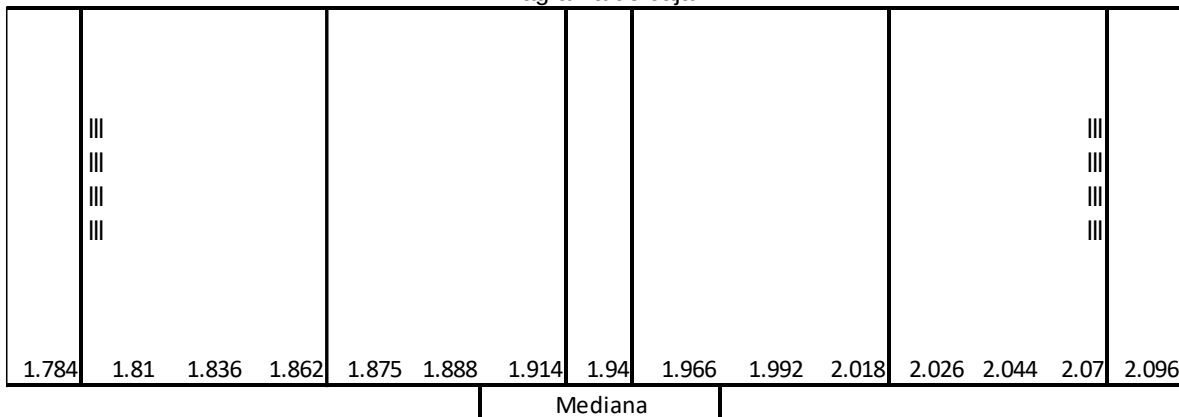
d) dibuje el diagrama de caja para los datos e interprete los resultados.

1.81	1.97	1.93	1.97	1.85	1.99	1.95	1.93	1.85	1.87
1.98	1.93	1.96	2.02	2.07	1.92	1.99	1.93		
Mediana	1.94								
Media	1.94	Moda	1.93						

Los resultados del diagrama de caja indican que la distribución de datos es simétrica, cabe mencionar que son pocos datos. la mediana y la media tiene el mismo valor y la moda solo se diferencia una unidad. Ver figura 2.6.

Figura 2.6

Diagrama de caja



Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Intervalo de confianza para la proporción.

En caso de productos que su calidad es medida por atributos, también en practico calcular el valor de la proporción de defectos de un lote, en base a la información obtenida sobre la muestra y así el proveedor dar la información respectiva a su cliente. También aquí es considerado una distribución normal T Student y una probabilidad.

En una auditoría se seleccionan de manera aleatoria 200 facturas de las compras realizadas durante el año, y se encuentra que 10 de ellas tienen algún tipo de anomalía.

- a) Estime con una confianza de 95% el porcentaje facturas con anomalías en todas las compras del año.
- b) ¿Cuál es el error de estimación? ¿Por qué?
- c) ¿Qué tamaño de muestra se tiene que usar si se quiere estimar el porcentaje de facturas con anomalías con un error máximo de 2%?

Solución

- a) Estime con una confianza de 95% el porcentaje facturas con anomalías en todas las compras del año.

Datos:

$$n=200 \quad X=10 \quad \text{formula } p = \hat{p} \pm Z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})/n} \quad \hat{p} = x/n$$

n=tamaño de lote x= cantidad de pieza defectuosas $\hat{p}$ =proporción de defectuosos
p=intervalo de confianza para la proporción poblacional Z
 $\alpha/2$ = valor de tabla para distribución normal, para 95%, es 1.96

$$\hat{p} = \frac{10}{200} = 0.05$$

$$p = \hat{p} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})/n} = 0.05 + 1.96 (\sqrt{0.05(1-0.05)/200}) = 0.080$$

$$p = \hat{p} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})/n} = 0.05 - 1.96 (\sqrt{0.05(1-0.05)/200}) = 0.02$$

con un nivel de confianza de 95%, se estima que p estaría entre 0.02 y 0.08, o bien entre 2% y 8%.

b) ¿Cuál es el error de estimación? ¿Por qué?

El error de estimación es 0.03

c) ¿Qué tamaño de muestra se tiene que usar si se quiere estimar el porcentaje de facturas con anomalías con un error máximo de 2%?

$$n = Z_{\alpha/2}^2 \hat{p}(1 - \hat{p}) / (E)^2 = 3.8416(0.0475) / 0.0004 = 456 \text{ piezas}$$

En la producción de una planta se está evaluando un tratamiento para hacer que germine cierta semilla. De un total de 60 semillas se observó que 37 de ellas germinaron.

a) Estime con una confianza de 90% la proporción de germanización que se lograra con el tratamiento.

b) Con una confianza de 90% ¿es posible garantizar que la mayoría (más de la mitad) de las semillas germinaran?

c) Contestar los dos incisos anteriores, pero ahora con 95% de confianza.

Solución

a) Estime con una confianza de 90% la proporción de germanización que se lograra con el tratamiento.

Datos: $n=60$ $x=37$ $\hat{p} = 37/60 = 0.616$

$$p = \hat{p} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})/n} = 0.61 + 1.64 (\sqrt{0.61(1-0.61)/60}) = 0.71$$

$$p = \hat{p} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})/n} = 0.61 - 1.64 (\sqrt{0.61(1-0.61)/60}) = 0.507$$

con un nivel de confianza de 90%, se estima que p estaría entre 0.71 y 0.507, o bien entre 71% y 50.7%.

b) Con una confianza de 90% ¿es posible garantizar que la mayoría (más de la mitad) de las semillas germinaran?

Si porque la proporción calculada es mayor de 50% (71% y 50.7%).

c) Contestar los dos incisos anteriores, pero ahora con 95% de confianza.

$$p = \hat{p} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})/n} = 0.61 + 1.96 (\sqrt{0.61(1-0.61)/60}) = 0.7334$$

$$p = \hat{p} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})/n} = 0.61 - 1.96 (\sqrt{0.61(1-0.61)/60}) = 0.486$$

No porque la proporción calculada es menor de 50% (48.6% y 73.3%).

Tema 3 Control de Calidad

3.1 Evolución de la calidad

La historia de la calidad para los presentes apuntes se divide en cinco etapas, cada una representando el manejo de los criterios para integral hacia la excelencia, Gutiérrez (2014):

- Época de Inspección (1800)

Se centraba en identificar defectos al final de la producción, sin prevenirlos en etapas anteriores. Era un proceso reactivo. O sea la calidad era acordada entre cliente y proveedor, el criterio era una especificación verbal y en el mejor de los casos una muestra. Aquí la preocupación base era la detección de atributos que el cliente deseaba, esto desde la época artesanal más remota. El cliente revisaba en momento que el proveedor entregaba el pedido, revisaba las características del producto como él había mencionada o bien comparaba con la muestra establecida.

A través del desarrollo industrial la producción comenzó a ser masiva, incremento la cantidad de producción paulatinamente, llegando a considerar que el criterio para evaluar la calidad entre cliente y proveedor ya no era funcional; por lo cual fue decidido asignar a un trabajador o empleado como inspector. Así también fue creado y usado las tablas de muestreo. Como ejemplo de aplicación fue en las plantas de fabricación y ensamble Ford.

Con el trabajo del inspector de control de calidad, fueron estableciéndose estándares de calidad e incluso se determinó el área de control de calidad como independiente del departamento de Producción. Lo antes mencionado sin cambio significativo hasta cerca de la década de los 30's.

- Época de control estadístico (1930)

Los países desarrollados industrialmente comenzaron a utilizar métodos estadísticos para monitorear y controlar la variabilidad en los procesos, reduciendo errores y mejorando la eficiencia. Inicios de esta década de los 30's las líneas de producción comenzaban a operar hasta todas las maquinas o equipos tuvieran un nivel de capacidad real (Cpk) de producir ≥ 1.45 , cabe mencionar que antes comenzaban a producir con el visto bueno del maestro, generalmente el trabajador con más experiencia, con el inconveniente que predominaba el trabajo a destajo.

Hubo algunos ingenieros como Walter A. Shewart, Harold F. Dodge y Harry G. Roming, los cuales aportaron sus conocimientos sobre herramientas estadísticas las Cartas de control, elaboración de hoja de registro de datos, hojas de inspección e inspección por muestras; Shewart aplico sus conocimientos en la compañía Bell Telephone Laboratories; además publico libro “Economic Control of Quality of manufactured Product”

A inicios de la 2ª guerra mundial el gobierno de EEUU agrupo a científicos como el DR. Eduard Deming, Eugene I. Grant y Holbrook Working; para preparar programas de inspección por muestreo para el servicio municiones del ejército, y su vez un programa de capacitación a personal de la industria y universidades.

Al terminar la 2a guerra mundial en 1945 las experiencias adquiridas en USA fueron transferidas a Japón, donde fueron importante apoyo para la recuperación industrial, pues como es sabido que en desastre. Eduard Deming fue a Japón e impartió varias conferencias y cursos de capacitación sobre Control estadístico a ingenieros japoneses; quienes aplicaron en sus empresas y de inmediato se vio incrementos de productividad y calidad de sus productos. Deming fue invitado por la unión de ingenieros japoneses (JUSA). Deming capacito a los ingenieros a reducir la variación de los valores de las características de los productos durante el proceso de producción mediante el uso de la inspección por muestreo y aplicación de las cartas de control. También enseñó el principio científico “Planear, Hacer, Verificar y actuar (PHVA), con esto poder controlar el proceso de producción. Cabe mencionar a Japonese destacados en el conocimiento y aplicación de las teorías estadísticas a Kaoru Ishikawa, Genichi Taguchi, Shigeo Shingo y Taichi Ohono.

- Época de Aseguramiento de la Calidad (1950):

Esta etapa se propuso un enfoque preventivo, donde todos los departamentos y etapas del proceso colaboraban para evitar defectos desde el diseño hasta la entrega. Bajo las aportaciones de Armand Feigenbaum y Joseph Juran sobre costos de calidad se promovió un movimiento económico sobre los procesos de manufactura, principalmente reflexionado sobre el costo de la calidad, detectando que la mala calidad viene desde el diseño hasta la entrega del producto al cliente. Armand edito y publico su libro “Control Total de Calidad”, derivado de esto se integró a toda la administración en participación sobre la calidad. Cabe mencionar que anteriormente se tuvo la idea que la calidad dependía solamente del departamento o área de control de calidad.

Kaoru Ishikawa promovió y formalizó los círculos de calidad, los cuales quedaron integrados por personal involucrado en el proceso, personal de diseño, aseguramiento de calidad, manufactura, así también personal de soporte como recursos humanos, compras y ventas. Mencionados equipos comenzaron a usar la herramienta estadística llamada tormenta de ideas también conocida como diagrama de Ishikawa, donde cada participante registraba una o varias causas de la mala calidad, para que finalmente se comprobara la o las causa(s) raíz(es). Philip Crosby publicó su libro "La Calidad no Cuesta", principalmente contenía el lema "Cero Defecto" que implicaba perfección aunque prácticamente era evitar a través de las herramientas estadísticas que el cliente recibiera cero piezas defectuosas.

- Época de la administración de la Calidad Total (1980):

Deming publicó su libro "Out of the Crisis. Quality Productivity and competitive Position" enfatizando la necesidad de liderazgo estratégico para fomentar una cultura organizacional basada en la mejora continua y la satisfacción del cliente. En el mundo muchas organizaciones establecieron sus programas de gestión de la calidad total para mejorar su competitividad.

En el año 1987 fueron públicas las normas ISO-9000, su propósito estandarizar los sistemas de gestión de la calidad, debido a la variedad de estos en las organizaciones. Aquí sucede un cambio al enfoque de Sistema de Aseguramiento de la Calidad por el de Sistema de Gestión de la Calidad. Con las ISO-9000 las organizaciones pudieron certificarse, con lo cual además de estandarizar su sistema adquirieron prestigio comercial.

En esta época fueron publicados muchos libros como lograr la excelencia en calidad y como lograr mejores estilos y hábitos de liderazgo, tanto de mandos intermedios como de altos directivos. Para esto otros autores como Joseph Juran, Kaoru Ishikawa, Philip Crosby, Masakumi Imai, Armand Feigenbaum, Shigeo Shingo, Taiichi Ohno, Genichi Taguchi, Peter Drucker, Peter Senge, Stephen Covey, Tom Peters y Michael Porter contribuyeron con sus libros a un auge en las organizaciones para mejorar la competitividad.

La compañía Motorola en 1988 inició un programa llamado seis sigma, para mejorar la calidad de sus productos electrónicos, este programa consistió en lograr un $CPK \geq 2$ (capacidad real de producción), cero defectos por millón de piezas producidas (proceso de clase mundial), cuando Motorola logró esto, obtuvo el premio nacional calidad USA Malcolm Baldrige. Muchas compañías el programa seis sigma fue establecido por muchas compañías, cabe mencionar que General Electric en 1995 logró adoptar seis sigma.

USA decreto el premio nacional de calidad Malcolm Baldrige el cual se entrega desde 1988. En México el premio nacional de Calidad desde 1990. También en otros países como Argentina, Europa y muchos otros.

- Época de la Calidad del Siglo XXI (2010).

Ahora se adoptó un enfoque global e innovador, priorizando soluciones holísticas que incorporen diseño, innovación y transformación organizacional para mantenerse competitivo en mercados interconectados.

Para las organizaciones líderes es fundamental establecer la cultura de calidad y productividad para alcanzar las transformaciones organizacionales, pues en muchas organizaciones pequeñas y medianas, sobresaliendo algunas gubernamentales la brecha es amplia entre un sistema de calidad que involucre la mejora continua y la competitividad y un sistema tradicional que ni siquiera está involucrado todo el personal de la organización. En la actualidad el movimiento por la calidad ha evolucionado hasta profundizar en prácticas directivas, metodológicas y estrategias que contribuyen a fortalecer la cultura y efectividad en las organizaciones para cumplir su misión y visión.

3.2 Conceptos e importancia de la calidad

La calidad es una característica esencial que, en la actualidad, las empresas aspiran a alcanzar a nivel mundial. Para lograrlo, deben implementar una filosofía de calidad total que integre todos los departamentos de la organización.

La calidad total, también conocida como Excelencia, se define como una estrategia de gestión organizacional cuyo objetivo principal es satisfacer, de manera equilibrada, las necesidades y expectativas de todos los grupos de interés. Asimismo, la calidad total, denominada en inglés como TQM (*Total Quality Management*), es un enfoque de gestión empresarial que busca que cada área realice un trabajo de calidad. Esto garantiza que, al sumarse los esfuerzos de todos los departamentos, se logre la satisfacción del cliente de manera integral.

Seis sigmas 6σ implica la aplicación de las herramientas estadísticas hasta lograr una capacidad de clase mundial, o sea $Cpk \geq 2$, en otras palabras, tener cero defectos en un millón de piezas producidas.

La misión expone la razón fundamental de la existencia de una empresa. Por ejemplo, puede ser: vender la mayor parte del mercado de su producto o ser el mejor en el mercado de sus productos.

La visión define el futuro que se busca alcanzar y el camino para lograrlo. Por ejemplo: participar y tener reconocimiento en el mercado mundial o ser reconocido como número uno por sus clientes gracias a la calidad de sus productos.

Las normas ISO 9000 están diseñadas para estandarizar los sistemas de gestión de la calidad en las organizaciones. Estas normas fueron publicadas a nivel mundial en 1987, generando una gran aceptación, ya que la estandarización facilitó tanto la comunicación dentro de las organizaciones como el comercio. La primera norma reconocida a nivel mundial fue la ISO 9001:1987, que contiene los requisitos necesarios para certificar sistemas de calidad en los procesos de manufactura de productos.

En la actualidad, la calidad es un factor clave que las organizaciones utilizan para determinar su nivel de competitividad. A través de la certificación, las empresas adquieren prestigio, lo que genera una mayor preferencia por parte de los clientes, ya que sus productos son fabricados bajo procesos controlados.

Un proceso certificado implica que el fabricante cuenta con personal capacitado y comprometido con la organización. Además, el equipo y la maquinaria forman una línea balanceada, que generalmente está compuesta por herramientas diseñadas y fabricadas específicamente para la producción de un producto o servicio en particular.

El sistema de gestión de calidad es un conjunto de elementos que respalda a la organización para operar de manera eficiente y eficaz. Su principal objetivo es mejorar la calidad de los productos y servicios que ofrece.

Recomendaciones para establecer un sistema de gestión de la calidad (SGC):

- Determinar el alcance del, puede ser solo un área, departamento o procesos, no necesariamente toda la organización.
- Hacer un diagrama de proceso o recorrido.
- Crear un equipo de trabajo o contratar un profesional especializado.
- Capacitar al equipo de trabajo en SGC.
- Llevar a cabo una auditoría interna
- Contratar a una organización certificadora.
- Publicar el certificado y las políticas de calidad, misión y visión de la empresa.

Una vez obtenida la certificación llevar a cabo la mejora continua como parte de la filosofía, usando las indicaciones del SGC, revisiones de los resultados (hallazgos) de las auditorías internas y externas, sobre las correcciones a las no conformidades encontradas.

Problemas que generalmente encontrados en los SGC de las organizaciones:

- Falta de identidad del personal.
- Falta de presupuesto.
- Sin enfoque sistemático.
- Sin integración de la alta gerencia.
- Sin integrar a los proveedores.

3.3 Filosofías del control estadístico de procesos

La influencia de los grandes maestros de la calidad en el desarrollo de la gestión moderna. Estas figuras clave no solo sentaron las bases teóricas, sino que también desarrollaron herramientas prácticas que transformaron la manera en que las organizaciones enfrentan los desafíos relacionados con la calidad y la productividad. Sus ideas continúan siendo pilares fundamentales en la gestión empresarial.

1. W. Edwards Deming (1900-1993)

Deming, conocido como el padre del control de calidad moderno, introdujo principios que revolucionaron la industria, particularmente en Japón, después de la Segunda Guerra Mundial. Su enfoque combina filosofía, estadística y liderazgo para lograr una mejora continua. Entre sus aportes más destacados están los 14 principios de gestión, que incluyen:

1. Crear constancia en el propósito: enfocarse en la mejora continua de los productos y servicios para ser competitivos y mantenerse en el negocio.
2. Adoptar la nueva filosofía: cambiar la mentalidad para evitar defectos en lugar de tolerarlos.
3. Dejar de depender de la inspección: los procesos deben diseñarse para prevenir errores desde el inicio. Usar la estadística.
4. Acabar con la práctica de hacer negocio solo con base en el precio: priorizar la compra- venta en base a una garantía de calidad antes de solo considerar el precio. Ahora los clientes deben solicitar a sus proveedores que estén certificados en SGC y que sus procesos tengan una capacidad de proceso ≥ 1.4 (Cpk).
5. Tener la mejora continua como parte de corriente filosófica: orientarse permanente mente a mejorar los niveles de calidad, reducción del desperdicio y reducir tiempos de fabricación.
6. Instituir la capacitación en el trabajo: constantemente capacitar al personal y crear Plan de carrera, o sea motivar a los empleados para mejorar su capacitación y educación, con esto los empleados participen en los planes de mejora continua, debido a los conocimientos y técnicas adquiridas.

7. Adoptar nuevo estilo de liderazgo: los líderes deben mostrar compromiso con la filosofía de mejora continua, olvidar que solo basta con un nombramiento de líder de grupo o jefe. El líder debe guiar al equipo de trabajo con amplia comunicación de los objetivos a lograr, los planes de negocio, así también las herramientas y recursos disponibles.
8. Desechar el miedo: crear un ambiente de confianza entre todo el personal, sobre todo entre líderes y subordinados, tal es el ejemplo de usar el mismo tipo de vestido o uniforme, o sea fuera cuello blanco que provoca miedo a los subalternos.
9. Romper las barreras entre departamentos: fomentar la colaboración entre áreas para mejorar la comunicación y los resultados. Puede llevarse a cabo juntas periódicas para comunicar los objetivos y logro de la empresa; reunión de todo el personal de la organización.
10. Eliminar lemas, exhortos y metas para la mano de obra: los problemas para de la organización son parte del sistema, por cual no deben dirigirse a la gente a través de carteles y pizarrones, con esto solo se confunde a los empleados, pues con esto no se modifica el diseño y método de trabajo.
11. Eliminar cuotas numéricas: estas tienden a enfocarse en la cantidad más que en la calidad. En el pasado los salarios para obreros y a veces empleados de confianza era asignado por cantidad de productos hechos sin considerar la calidad.
12. Eliminar las barreras que privan a la gente de sentir orgullo de trabajo: cuando los trabajadores no tienen ni participan en planes y logros de la organización, sienten que solo son un número en la empresa, esto causa desmotivación y falta de orgullo por trabajar en determinada empresa.
13. Estimular la educación y automejora en la organización: la nueva filosofía debe girar en torno a que el personal continuamente busque maneras de superar su educación dentro y fuera de la empresa.
14. Generar un plan de acción: llevar a cabo la filosofía Planear-Hacer- Revisar – actuar, así poner en marcha un proceso de cambio permanente.

Deming subrayó que la calidad no es solo una meta, sino un sistema continuo de aprendizaje y mejora. Su enfoque de ciclo de mejora continua (Planear-Hacer-Verificar-Actuar) es uno de los legados más duraderos y utilizados en la actualidad.

2. Joseph M. Juran (1904-2008)

Juran se centró en la gestión de la calidad a través de lo que llamó la Trilogía de la calidad, que incluye:

1. Planificación de la calidad: identificar las necesidades del cliente y diseñar productos o servicios que las satisfagan.
2. Control de calidad: medir y evaluar los resultados en comparación con los estándares establecidos.
3. Mejoramiento de la calidad: implementar procesos para eliminar errores y aumentar la eficiencia.

Su énfasis en la importancia del costo de la calidad marcó un hito en la gestión empresarial, señalando que las organizaciones deben invertir en prevención para reducir los costos derivados de fallas internas y externas. Juran también destacó el papel crucial del liderazgo en el éxito de las iniciativas de calidad.

3. Kaoru Ishikawa (1915-1989)

Ishikawa es recordado por popularizar el uso del diagrama de espina de pescado o diagrama de causa-efecto, una herramienta gráfica para identificar y analizar las causas raíz de los problemas en los procesos. Entre sus principales contribuciones se encuentran:

1. Círculos de calidad: pequeños grupos de empleados que trabajan juntos para resolver problemas relacionados con la calidad en sus áreas.
2. Democratización de la calidad: insistió en que la calidad no es responsabilidad exclusiva de los directivos, sino que todos los empleados deben participar.
3. Énfasis en la capacitación: subrayó la importancia de educar a los empleados en herramientas y técnicas de calidad.

Para Ishikawa, la calidad comienza y termina con el cliente, destacando la importancia de alinear los esfuerzos organizacionales con las expectativas del consumidor.

4. Philip B. Crosby (1926-2001)

Crosby se centró en la idea de que la calidad no tiene costo, pues los errores y defectos son los verdaderos generadores de gastos. Introdujo conceptos clave como:

1. Cero defectos: la calidad debe ser un objetivo absoluto, sin espacio para errores.
2. Cumplimiento con los requerimientos: un producto o servicio cumple con los estándares cuando satisface exactamente las especificaciones del cliente.
3. El principio de hacer las cosas bien desde la primera vez: evitar errores desde el inicio reduce costos y mejora la eficiencia.

Su libro *Quality is Free* (La calidad es gratuita) popularizó la idea de que la inversión en calidad genera retornos significativos al reducir desperdicios, mejorar procesos y aumentar la satisfacción del cliente.

5. Armand V. Feigenbaum (1922-2014)

Feigenbaum introdujo el concepto de Control Total de Calidad (CTC), un enfoque integral que considera la calidad como una responsabilidad compartida en toda la organización. Sus principales aportes incluyen:

1. Calidad en todas las etapas: desde el diseño hasta el servicio postventa, cada departamento debe contribuir a la calidad del producto.
2. Enfoque sistémico: la calidad debe integrarse en todos los procesos, no solo en las inspecciones finales.
3. Liderazgo de calidad: los directivos deben ser los principales impulsores de la calidad dentro de las organizaciones.

Feigenbaum también destacó que la calidad es una estrategia competitiva que permite a las empresas diferenciarse en el mercado global.

3.4 Costos de Calidad

Se analiza la importancia de los costos de calidad en el contexto empresarial, su clasificación, cuantificación y relación con la toma de decisiones estratégicas. En un mercado globalizado, la calidad y la eficiencia son esenciales para lograr ventajas competitivas sostenibles. Las empresas deben enfocarse en minimizar los costos derivados de fallas y maximizar los orientados a la prevención y evaluación de la calidad.

3.4.1. Concepto e Importancia de la Calidad

La calidad se define como el grado o nivel de excelencia de un producto o servicio, medido por su capacidad para satisfacer o superar las expectativas del cliente. Los estándares internacionales, como la certificación ISO 9000, han establecido lineamientos que aseguran la calidad en productos y servicios mediante sistemas auditados y procesos documentados.

Impacto de la calidad en las empresas:

- Mejora el posicionamiento en el mercado.
- Reduce defectos y aumenta la satisfacción del cliente.
- Genera ventajas competitivas mediante la diferenciación y el liderazgo en costos.

Dimensiones de la calidad:

1. Desempeño.
2. Estética.
3. Utilidad.
4. Confiabilidad.
5. Durabilidad.
6. Calidad de conformidad.
7. Capacidad de uso.

3.4. 2. Definición y Clasificación de los Costos de Calidad

Los costos de calidad se dividen en actividades que buscan garantizar productos o servicios sin defectos y aquellas que corrigen o mitigan problemas existentes. Las principales categorías incluyen:

3.4.2.1 Costos de prevención

Son inversiones destinadas a evitar defectos antes de que ocurran. Ejemplos:

- Planificación de calidad.
- Capacitación del personal.
- Revisión de productos nuevos.
- Auditorías de calidad.

3.4.2.2 Costos de evaluación

Se relacionan con verificar que los productos cumplan con estándares. Ejemplos:

- Inspección de materiales y productos.
- Verificación del empaque y envío.
- Evaluación de proveedores.

3.4.2.3 Costos por fallas internas

Ocurren cuando los defectos se detectan antes de llegar al cliente. Ejemplos:

- Retrabajos.
- Desechos.
- Tiempos muertos.

3.4.2.4 Costos por fallas externas

Aparecen cuando los defectos llegan al cliente. Ejemplos:

- Devoluciones.
- Costos de garantía.
- Rebajas por productos defectuosos.

3.4.3 Cuantificación de los Costos de Calidad

La frase "lo que no se puede medir, no se puede mejorar" enfatiza la importancia de cuantificar los costos de calidad. Esto permite identificar áreas de mejora, tomar decisiones estratégicas y evaluar el impacto financiero de los programas de calidad.

Enfoques para medir la calidad:

1. Cero defectos: Busca que los productos estén dentro de especificaciones sin defectos aceptables.
2. Calidad robusta: Se enfoca en la adecuación de uso, minimizando cualquier desviación.

3.4.4 Reportes de Costos de Calidad

Los informes de costos de calidad son herramientas clave para la administración. Estos reportes presentan:

- Costos reales y presupuestados.
- Proporción respecto a las ventas.
- Análisis de tendencias.

Beneficios:

- Identificación de áreas de oportunidad.
- Reducción de costos no esenciales.
- Mejora de la eficiencia organizacional.

3.4.5 Estrategias para Reducir Costos de Calidad

La estrategia más efectiva es invertir en actividades de prevención y evaluación, reduciendo costos por fallas internas y externas. Esto se logra mediante:

1. Promover una cultura de mejora continua (Kaizen).
2. Aumentar la inversión en prevención.
3. Implementar programas de capacitación para fomentar el trabajo correcto desde el inicio.

3.4.6 Ejemplos Prácticos y Ejercicios

Se pueden incluir casos reales y ejercicios prácticos para ejemplificar el impacto financiero de las mejoras en la calidad. Por ejemplo:

- Reducción de costos de calidad de un 20% a un 10% en relación a las ventas.
- Incremento en la utilidad gracias a menores costos por fallas internas y externas.

El control de los costos de calidad es esencial para el éxito empresarial. La inversión en prevención y evaluación no solo reduce defectos, sino que también aumenta la confianza del cliente y la rentabilidad organizacional. Los estándares de calidad, como ISO 9001, ofrecen un marco sólido para alcanzar y mantener la excelencia en productos y servicios.

3.5 Cadena Cliente-proveedor

Los principios de la gestión de la calidad, destacan conceptos esenciales para implementar un sistema efectivo que satisfaga tanto las necesidades del cliente como los objetivos estratégicos de la organización. A continuación, se presentan los aspectos más relevantes:

3.5.1 Enfoque al Cliente y a los Usuarios

La satisfacción del cliente es el eje central de cualquier sistema de gestión de calidad. Este enfoque requiere entender y superar las expectativas del cliente mediante productos y servicios que cumplan con altos estándares de calidad.

Modelo Kano

El Modelo Kano clasifica las características del producto o servicio en tres niveles:

1. Básicas: aspectos indispensables que los clientes esperan por defecto. Su ausencia genera insatisfacción.
2. De desempeño: elementos que incrementan la satisfacción a medida que se mejoran.
3. Atractivas: factores inesperados que sorprenden positivamente y generan un impacto significativo.

Cuestionario SERVQUAL

Esta herramienta mide la percepción de calidad en servicios a través de cinco dimensiones clave:

- Confiabilidad: cumplimiento de lo prometido.
- Capacidad de respuesta: disposición para ayudar al cliente.
- Seguridad: generar confianza en el cliente.
- Empatía: atender al cliente con comprensión y atención.
- Aspectos tangibles: calidad de las instalaciones y equipos.

El SERVQUAL es una guía práctica para identificar brechas entre las expectativas del cliente y la percepción del servicio recibido.

3.5.2 Liderazgo y Participación del Personal

El liderazgo desempeña un papel fundamental en la implementación y mantenimiento de un sistema de calidad efectivo. Los líderes deben crear una visión clara, inspirar al equipo y fomentar una cultura de mejora continua.

Funciones del liderazgo en la calidad:

1. Establecer una dirección estratégica basada en la satisfacción del cliente.
2. Motivar al personal hacia la excelencia.
3. Facilitar recursos, capacitación y apoyo para alcanzar objetivos de calidad.

Participación del Personal:

- El compromiso del personal es esencial para lograr la calidad organizacional.
- La creación de equipos de trabajo, como los círculos de calidad, fomenta la resolución colaborativa de problemas y la innovación.

3.5.3 Enfoque Basado en Procesos

La gestión por procesos permite a las organizaciones comprender las actividades interconectadas que transforman los insumos en productos o servicios. Este enfoque garantiza que todos los procesos estén alineados con los objetivos estratégicos.

Beneficios:

- Mayor eficiencia en el uso de recursos.
- Identificación de cuellos de botella y puntos críticos.
- Mejora de la consistencia y predictibilidad de los resultados.

3.5.4 Enfoque de Sistema para la Gestión

Un sistema de gestión de calidad busca integrar todos los procesos, departamentos y funciones para operar de manera cohesionada. Este enfoque asegura que todas las partes trabajen en conjunto hacia objetivos compartidos.

Características:

- Alineación de objetivos organizacionales.
- Mayor visibilidad de las interdependencias entre procesos.
- Mejora de la toma de decisiones estratégicas.

3.5.5 Organizaciones Abiertas al Aprendizaje

El concepto de organizaciones abiertas al aprendizaje, desarrollado por Peter Senge, resalta la capacidad de una organización para adaptarse al cambio y fomentar la innovación mediante el aprendizaje continuo.

Componentes Clave:

1. Visión Compartida: alinea a los colaboradores con objetivos organizacionales comunes.
2. Disciplina Personal: promueve el aprendizaje y desarrollo individual.
3. Pensamiento Sistémico: entiende cómo las interacciones entre procesos afectan los resultados globales.
4. Aprendizaje en Equipo: fomenta la sinergia a través de la colaboración.
5. Modelos Mentales: identifica y supera barreras culturales y estructurales.

3.5.6 Mejora Continua

La mejora continua es un principio básico de los sistemas de gestión de calidad y se basa en optimizar constantemente los procesos para cumplir con las expectativas del cliente y mejorar la eficiencia interna.

Herramientas para la mejora continua:

- Ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar): metodología iterativa para identificar problemas, implementar soluciones y evaluar resultados.
- Kaizen: filosofía japonesa enfocada en pequeños cambios incrementales que generan grandes mejoras a largo plazo.

3.5.7 Enfoque Basado en Hechos para la Toma de Decisiones

El uso de datos y análisis objetivos es esencial para una gestión eficaz. Decidir con base en hechos permite:

- Identificar tendencias y patrones.
- Medir el desempeño de los procesos.
- Justificar y priorizar las inversiones en calidad.

3.5.8 Relaciones Mutuamente Beneficiosas con Proveedores

Una gestión de calidad integral considera a los proveedores como socios estratégicos. Establecer relaciones basadas en la confianza y el beneficio mutuo mejora la calidad de la cadena de suministro y optimiza costos.

Beneficios:

- Reducción de variabilidad en los insumos.
- Mejora de tiempos de respuesta.
- Innovación compartida.

El contenido de este subtema 3.5 proporciona una guía integral para implementar sistemas de gestión de calidad. Al enfocarse en el cliente, fomentar un liderazgo efectivo, integrar procesos y adoptar un enfoque basado en hechos, las organizaciones pueden garantizar una mejora continua que les permita destacarse en mercados competitivos. La clave radica en adoptar una visión sistémica y en desarrollar una cultura organizacional orientada al aprendizaje y a la excelencia.

3.6 Mejoramiento y control de calidad en las organizaciones.

3.6.1 Premio Nacional de Calidad y su modelo de competitividad 2013

Premio Nacional de Calidad (PNC) en México, un reconocimiento otorgado a las organizaciones que destacan por sus prácticas de calidad y competitividad integral. Este premio no solo evalúa la calidad de los productos y servicios, sino también cómo la organización gestiona sus procesos y estrategias para lograr resultados sostenibles y mejoras continuas.

3.6.2 Modelo de Competitividad del PNC 2013

El modelo de competitividad se basa en un conjunto de inductores de valor que incluyen elementos fundamentales para el éxito organizacional:

- Liderazgo estratégico: evalúa cómo los líderes establecen y comunican la visión y los valores de la organización, y cómo inspiran y motivan al equipo para alcanzar los objetivos.

- Innovación y desarrollo: examina la capacidad de la organización para innovar en productos, servicios y procesos, manteniéndose a la vanguardia y respondiendo a las demandas cambiantes del mercado.
- Orientación al cliente y mercado: analiza cómo la organización entiende las necesidades del cliente, cómo las satisface y cómo adapta sus estrategias a las tendencias del mercado.
- Responsabilidad social: considera el compromiso de la organización con la ética, la responsabilidad social y el impacto ambiental, asegurando que sus operaciones sean sostenibles y responsables.
- Gestión del conocimiento y talento humano: evalúa cómo la organización maneja y desarrolla su capital humano, promoviendo la capacitación, el desarrollo de habilidades y la retención del talento.

El modelo también incluye resultados clave, que son las medidas del éxito organizacional en áreas como finanzas, satisfacción del cliente, procesos internos y aprendizaje y crecimiento.

3.6.3. Planeación Estratégica

La planeación estratégica es el proceso mediante el cual una organización define su dirección a largo plazo y toma decisiones sobre la asignación de recursos para alcanzar sus objetivos estratégicos. Los pasos fundamentales en la planeación incluyen:

Misión, Visión y Valores

- Misión: describe la razón de ser de la organización, aclarando quiénes son, qué hacen y para quién lo hacen. Una misión bien definida proporciona un propósito claro que guía las decisiones y acciones.
- Visión: define la imagen futura de la organización, indicando hacia dónde se dirige a largo plazo. La visión debe ser inspiradora y motivadora, estableciendo metas ambiciosas pero alcanzables.
- Valores: representan los principios y creencias que guían el comportamiento y las decisiones dentro de la organización. Establecen las normas culturales y éticas que definen la identidad organizacional.

Análisis de la Situación Actual y FODA

El análisis FODA es una herramienta clave en la planeación estratégica que permite a la organización identificar:

- Fortalezas: aspectos internos que representan ventajas competitivas, como habilidades únicas, recursos clave o capacidades superiores.
- Oportunidades: factores externos que la organización puede aprovechar para su beneficio, como tendencias de mercado, cambios regulatorios o avances tecnológicos.

- Debilidades: limitaciones internas que pueden impedir el éxito, como falta de recursos, deficiencias en procesos o habilidades insuficientes.
- Amenazas: factores externos que pueden afectar negativamente a la organización, como la competencia, crisis económicas o cambios en la demanda del cliente.

El análisis FODA proporciona una visión clara del entorno interno y externo, permitiendo a la organización desarrollar estrategias que maximicen las fortalezas y oportunidades y mitiguen las debilidades y amenazas.

Identificación de Objetivos y Asuntos Estratégicos

Basado en el análisis FODA, la organización establece objetivos estratégicos que son metas claras y medibles alineadas con la visión y misión. Estos objetivos se centran en solucionar problemas críticos, aprovechar oportunidades clave y guiar la dirección estratégica de la organización.

3.6.4 Implementación de la Estrategia e Indicadores de Desempeño

La implementación de la estrategia implica poner en práctica las decisiones y planes establecidos durante la fase de planeación. Para asegurar que la implementación sea efectiva, la organización utiliza indicadores de desempeño que permiten medir el progreso y el éxito de las estrategias.

Indicadores de Desempeño

Los indicadores de desempeño son métricas clave que proporcionan información sobre la eficiencia y efectividad de los procesos y estrategias. Se clasifican según su relevancia y frecuencia y pueden incluir:

- Indicadores financieros: miden aspectos como ingresos, costos, rentabilidad y retorno sobre la inversión (ROI).
- Indicadores de productividad: evalúan la eficiencia operativa, como la relación entre insumos y resultados, y la optimización de recursos.
- Indicadores de satisfacción del cliente: miden la percepción y satisfacción del cliente con los productos, servicios y experiencias proporcionadas por la organización.
- Indicadores de procesos internos: analizan la eficiencia y calidad de los procesos internos, como tiempos de producción, tasas de error y eficiencia en la cadena de suministro.

Estos indicadores son herramientas esenciales para la toma de decisiones, permitiendo a la organización ajustar sus planes y estrategias según sea necesario para alcanzar los objetivos deseados.

3.6.5 Pasos para Implementar una Estrategia de Mejora Específica

Para ejecutar una estrategia de mejora específica, la organización sigue un enfoque paso a paso que incluye:

1. Identificación del problema o área de mejora: definir claramente qué aspecto del proceso o de la organización necesita ser mejorado.
2. Establecimiento de objetivos claros: determinar metas específicas y medibles que indiquen el éxito de la mejora.
3. Desarrollo e implementación de soluciones: crear e implementar estrategias y acciones específicas para abordar el problema o mejorar el área identificada.
4. Medición y evaluación de resultados: utilizar indicadores de desempeño para medir el impacto de las soluciones y evaluar si se han alcanzado los objetivos.
5. Ajustes y mejora continua: analizar los resultados y realizar ajustes adicionales si es necesario, manteniendo un enfoque de mejora continua.

Este sub tema, 3.6, proporciona un enfoque integral sobre cómo las organizaciones pueden lograr la calidad y la competitividad a través de un modelo estructurado que incluye planeación estratégica, implementación de estrategias y medición del desempeño. El uso de herramientas como el análisis FODA y los indicadores de desempeño es esencial para asegurar que las decisiones y acciones estén alineadas con los objetivos organizacionales y que la organización pueda adaptarse y mejorar continuamente en un entorno competitivo.

3.7 Inferencia en la calidad del proceso

La estadística Inferencial tiene como pilar la teoría de la probabilidad, los modelos de distribución de la estadística descriptiva forman la base de datos para interpretar de la investigación. La inferencia integra la estadística descriptiva, la probabilidad, las estimaciones puntuales y por intervalo y la teoría de hipótesis.

Estadística descriptiva aporta la información obtenida de la muestra de población seleccionada, con esta información se forman los diferentes tipos de distribución, que a su vez se obtiene las medidas de tendencia central como la media, mediana y la moda; también las medidas de dispersión como el rango y la desviación estándar. Para detalles ver temas 1 y 4.

La probabilidad, basada en un experimento aleatorio, no permite predecir un resultado exacto, sino estimar la posibilidad de un estadístico o parámetro para una población o proceso a partir de una muestra. Una de sus ventajas es la capacidad de detectar defectos en un producto procesado y, al identificar la procedencia de la muestra, utilizar herramientas estadísticas para eliminar la o las causas raíz que los provocan.

Las estimaciones puntuales, basadas en los estadísticos obtenidos de una muestra, permiten calcular los parámetros del proceso. Por ejemplo, el valor de un estadístico obtenido de la muestra puede usarse para que un proveedor informe al cliente sobre los parámetros de la población o lote enviado. Esto es especialmente relevante, ya que actualmente muchos clientes no cuentan con áreas de inspección de recibo y requieren esta información como parte del proceso de calidad.

Por otro lado, las estimaciones por intervalo se basan en los estadísticos de medidas de tendencia central y dispersión para calcular los parámetros probabilísticos de una población o lote que será entregado al cliente. Esto se realiza utilizando fórmulas específicas para cada estadístico. La diferencia entre las estimaciones puntuales y las estimaciones por intervalo radica en que, mientras las primeras ofrecen un valor único, las segundas calculan un rango dentro del cual se estima que se encuentran los parámetros. Este rango se denomina intervalo de confianza y se calcula utilizando valores probabilísticos obtenidos de tablas, como las de *t* de Student, distribución normal y ji-cuadrada.

La hipótesis es una proposición afirmativa sobre la probabilidad de una variable aleatoria en relación con un estadístico, utilizada para determinar si el valor propuesto pertenece a la población. El contraste de hipótesis implica estudiar dos hipótesis: la nula (H_0) y la alternativa (H_a). Mediante el uso de fórmulas y cálculos probabilísticos, se determinan las regiones de rechazo y aceptación, lo que permite confirmar o rechazar la hipótesis nula.

En este sub tema no se ha detallado los cálculos respectivos, debido a que en el Tema 2 se encuentran descripciones de conceptos ejemplos de problemas con sus fórmulas de aplicación. En este subtema 3.7 solo se hace referencia a descripciones de los elementos de la estadística descriptiva con conceptos de aplicación.

Tema 4 Herramientas de Calidad

En este tema, presentan ejemplos con datos adaptados de algunos ejercicios propuestos por Gutiérrez (2013), cuyas soluciones han sido elaboradas de forma independiente.

4.1 Recolección de datos.

Consiste en obtener los valores de cada una de las muestras recolectadas durante un proceso de producción o servicio. Estos valores se registran en un formato (hoja) diseñado específicamente para casos particulares y serán utilizados en alguna de las siete herramientas estadísticas.

Durante el desarrollo de un producto o proceso, se selecciona una cantidad determinada de piezas muestra para su análisis, aplicando los resultados obtenidos a fórmulas o procedimientos de las herramientas mencionadas anteriormente. El propósito principal es evaluar el nivel de calidad de un lote producido en un periodo de tiempo específico.

El uso de muestras se debe a la complejidad y el costo que implicaría obtener información del 100% del lote de producción o servicio. Es importante destacar que los datos recolectados se registran en un formato diseñado para tal fin. Este registro puede ser realizado por el operario de la maquinaria o equipo, o, en algunos casos, por un trabajador del área de control de calidad.

Un ejemplo de este formato se muestra en la Figura 4.1.

4.2 Hoja de inspección.

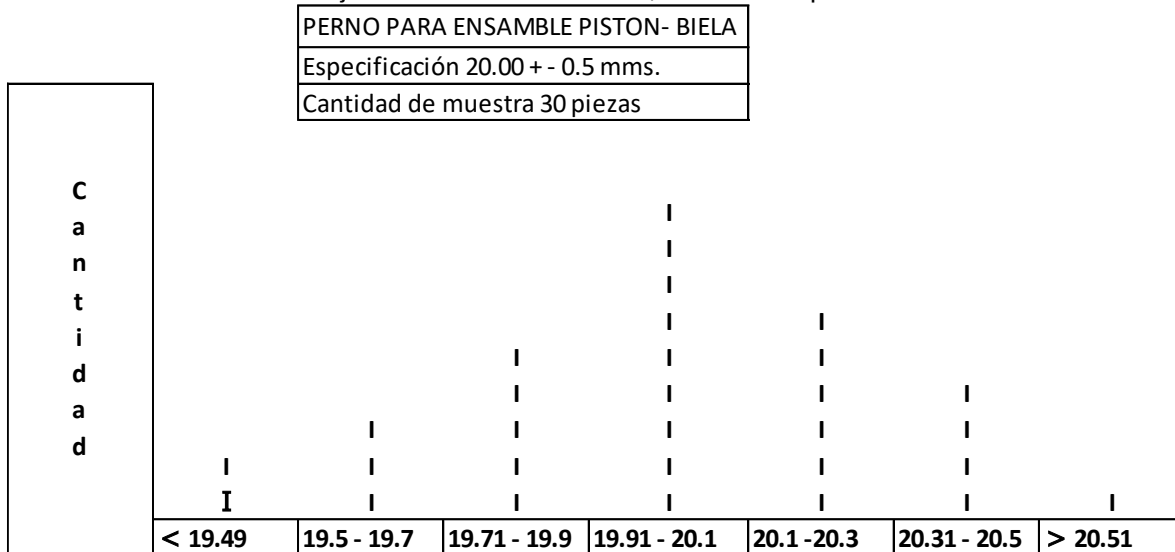
Es un formato diseñado específicamente para recabar datos de manera adecuada y sistemática de un proceso o servicio, con el objetivo de registrar información que permita analizar las principales características que intervienen o influyen en un problema específico, generalmente relacionado con la calidad. Como se mencionó anteriormente, esta hoja está destinada a la recolección de datos.

Dado que el formato proporciona información relevante, su estructura debe considerar las variables en cuestión. Esto implica determinar el número de celdas en las que se dividirá la especificación de la característica a evaluar, como puede ser dimensión, peso, conductividad, resistencia, entre otras.

Por ejemplo, en la Figura 4.1, la especificación de la variable "diámetro" está dividida en cinco celdas. En este caso, se consideró una muestra de 30 piezas, registrando en la hoja de inspección en qué celda se ubicó cada una de las piezas seleccionadas.

Figura 4.1

Hoja de recolección de datos, diámetro de perno.



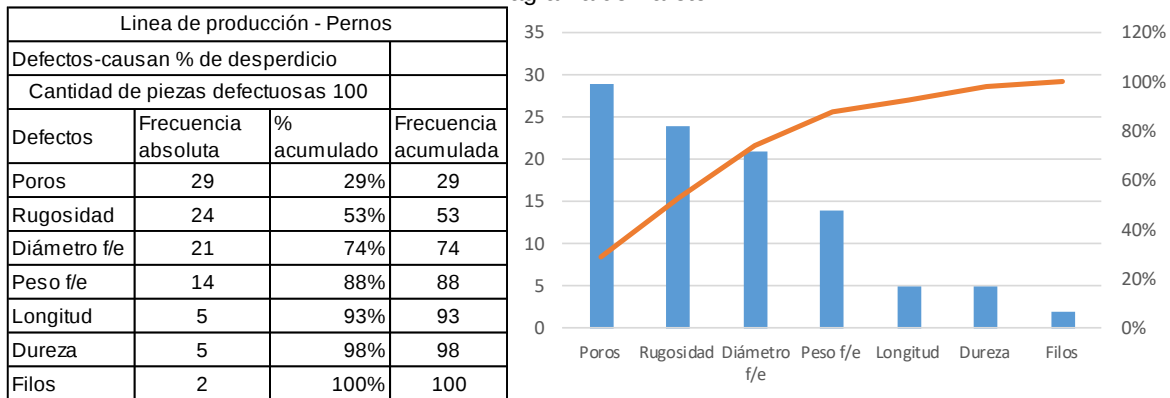
Fuente: Elaboración propia

4.3 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta estadística utilizada para jerarquizar datos obtenidos de una hoja de inspección o recolección de información. Esta herramienta fue desarrollada por Vilfredo Pareto, un economista italiano.

En la práctica, el diagrama de Pareto se conoce como la "Ley 80-20" o "los muchos triviales y pocos importantes". Este principio indica que el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas fundamentales. En el ámbito profesional, para resolver un problema, se recomienda enfocarse en identificar y atender las causas que conforman ese 20% crucial, ya que estas generan el mayor impacto en la magnitud del problema. Por lo general, en un conjunto de causas, el 20% de estas representan el 80% de la importancia del problema.

Gráfica 4.1
Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración propia

La Gráfica 4.1 muestra que los defectos relacionados con poros (29%), rugosidad (24%) y diámetro (21%) representan en conjunto el 74% de las causas totales. Según la ley de Pareto, al resolver estas causas prioritarias de manera respectiva, se lograría reducir aproximadamente el 80% del desperdicio. En contraste, corregir únicamente las causas relacionadas con defectos como peso, longitud, dureza y filos reduciría el desperdicio en solo un 20%.

En los procesos de producción y servicios, es común que se atiendan primero los defectos o problemas más fáciles de resolver, una tendencia que incluso se refleja en la vida personal. Conocer y aplicar la ley 80/20 como herramienta estadística puede generar una reflexión valiosa para los ingenieros mecatrónicos, orientándolos hacia una solución más eficiente de los problemas.

4.3.1 Histogramas

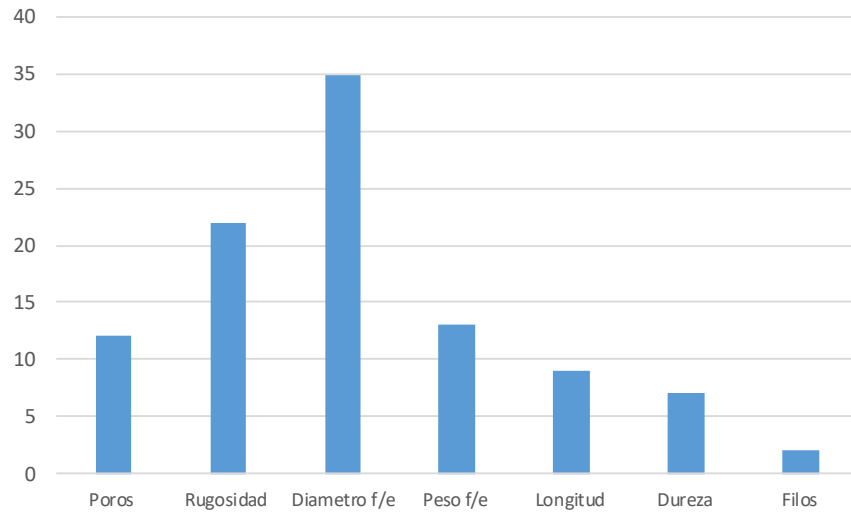
Es una representación gráfica que muestra la distribución de variables obtenidas a partir de una hoja de inspección. Los datos relacionados con una especificación se registran en celdas que representan divisiones de dicha especificación. Los histogramas se caracterizan por barras o rectángulos cuyo tamaño corresponde a la frecuencia de los datos en cada celda o división.

Los histogramas son útiles para analizar la tendencia central de la distribución, así como la variabilidad, el sesgo del proceso y la identificación de datos atípicos. En la Gráfica 4.2 se presenta un ejemplo de histograma con datos de distribución de frecuencias.

Gráfica 4.2

Histograma defectos en línea de producción

Línea de producción - Pernos	
Defectos-causan % de desperdicio	
Cantidad de piezas defectuosas 100	
Defectos	Frecuencia absoluta
Poros	12
Rugosidad	22
Diametro f/e	35
Peso f/e	13
Longitud	9
Dureza	7
Filos	2



Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Diagrama de Causa-Efecto

El diagrama de causa-efecto es una herramienta estadística que permite identificar y cuestionar las posibles causas de un problema. Por ejemplo, en el diagrama de Pareto mostrado en la Gráfica 4.1, el defecto "poros" representa el 29% del desperdicio, lo que puede considerarse como el problema principal en el análisis de causa-efecto.

En la industria, este diagrama es conocido como Diagrama de Ishikawa o Espina de Pescado. Su estructura, similar a la presentada en la Gráfica 2.3, consiste en una "cabeza" donde se registra el problema y "espinas" que representan los grupos de causas agrupados por categorías.

1. Medio Ambiente

Incluye factores como temperatura, humedad, ruido, vibraciones, entre otros, que pueden contribuir al problema. Por ejemplo, en algunos casos, la temperatura del lugar debe ser controlada según acuerdos entre cliente y proveedor.

2. Medición

Los instrumentos y equipos de medición pueden influir si no están calibrados adecuadamente o carecen de un programa de revisión. Un equipo descalibrado puede generar lecturas erróneas, ocasionando discrepancias entre cliente y proveedor. A medida que los equipos se usan, pierden su repetibilidad y reproducibilidad. Para evitar estos problemas, es necesario implementar un programa de mantenimiento adecuado.

3. Mano de Obra

Este factor a menudo contribuye al problema debido a la rotación de personal en las organizaciones. La falta de experiencia puede llevar a errores. Para prevenir esto, las empresas deben contar con programas de capacitación y manuales de descripción de puestos que garanticen la correcta formación de los trabajadores.

4. Material

Todo producto o servicio requiere materiales previamente especificados, como materia prima. Sin embargo, no siempre se cumplen las especificaciones, ya sea por errores de omisión o por reducción de costos. Los proveedores y clientes suelen apoyarse en certificados o en equipos y laboratorios para verificar la calidad de los materiales utilizados.

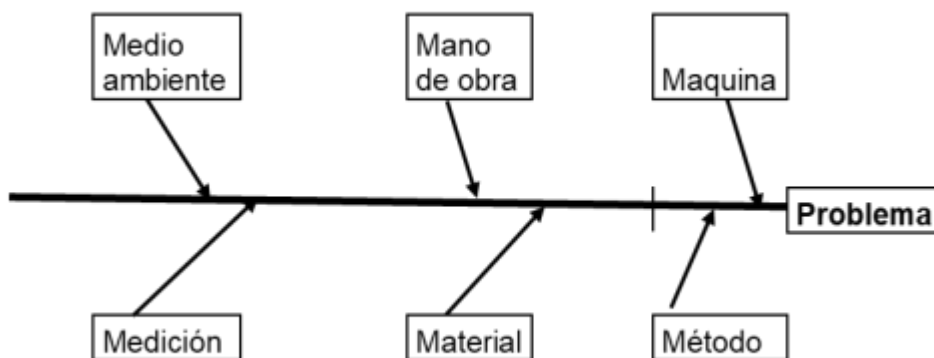
5. Maquinaria o Equipo

Los defectos pueden originarse por la falta de mantenimiento predictivo o preventivo de la maquinaria. Con el tiempo, los equipos pierden calibración, lo que afecta la repetibilidad y aumenta la probabilidad de defectos en el producto.

6. Método

Este factor implica la existencia de procedimientos documentados, como hojas de proceso o imágenes que guíen la manipulación de materiales en cada etapa del proceso. Si no se cuenta con estas guías, cada operario manejará los materiales de manera subjetiva, aumentando el riesgo de defectos. Incluso un mismo operario puede realizar el trabajo de forma diferente en cada ocasión si no existe un procedimiento estandarizado.

Figura 4.2
Diagrama Ishikawa

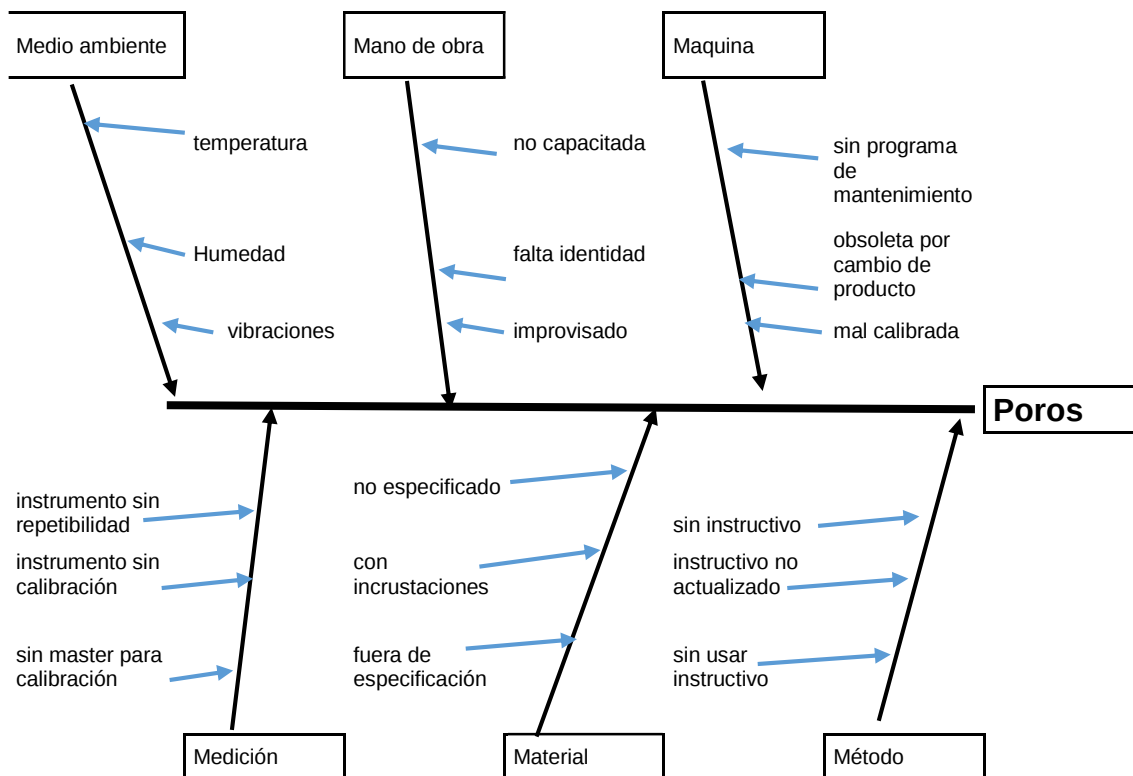


Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.3 es mostrado un ejemplo de aplicación de diagrama Ishikawa, en cada genero están indicadas las posibles causas del problema “Poros”; problema extraído de diagrama de Pareto (gráfica 4.1). Las causas son indicadas como una tormenta de ideas, realizadas en equipos de trabajo; después de registrar el diagrama, los integrantes de equipo son asignados a comprobar cada una de las posibles causas, hasta comprobar las que realmente provocan el problema, que puede ser una o varias. Cabe mencionar que esta última actividad mencionada toma un tiempo considerable. Finalmente se procede a eliminar la(s) causa(s).

Figura 4.3

Ishikawa para causas de defectos de poros en perno para ensamble pistón-biela



Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Diagrama de Dispersión

Es otra herramienta estadística utilizada para analizar el nivel de calidad de un proceso o servicio. Su particularidad radica en que permite estudiar la relación entre dos variables dentro de un proceso, con el objetivo de determinar si existe una conexión causa-efecto entre ellas, es decir, si una influye en la otra de manera significativa.

Por ejemplo, en un proceso de maquinado, se podría analizar la relación entre las dimensiones de un producto y el tiempo de elaboración. Esto permitiría observar si, a medida que transcurre el tiempo, aumenta la cantidad de piezas fuera de especificación. Tal relación podría identificarse mediante un diagrama de dispersión, que es la representación gráfica adecuada para este tipo de análisis.

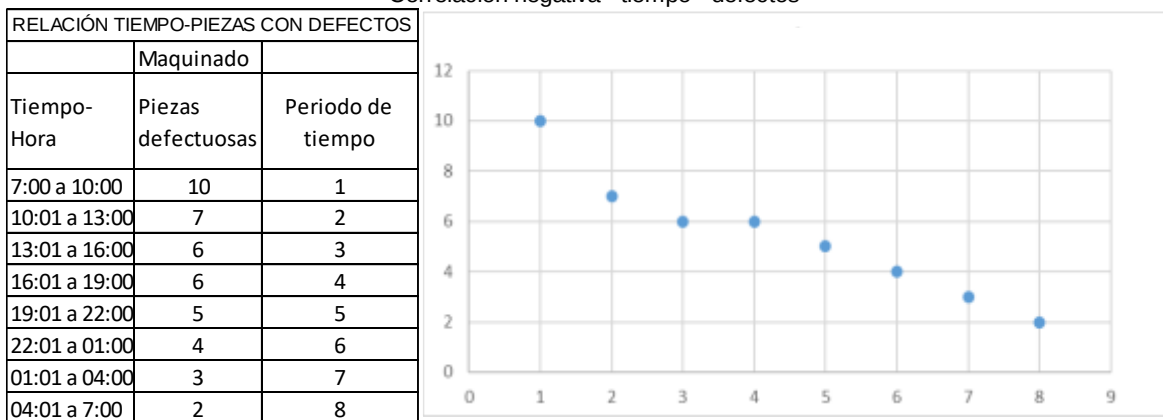
Lo mencionado anteriormente ocurre en procesos que operan 24 horas al día. A medida que pasa el tiempo, los operadores de maquinaria o equipo tienden a fatigarse, lo que puede llevar a una pérdida inconsciente de control sobre el proceso.

Para elaborar una gráfica de correlación, al igual que en las herramientas anteriores, los datos se obtienen de una hoja de recolección de datos o de inspección. Una vez elaborada, se pueden identificar tres tipos de relaciones: correlación positiva, correlación negativa y ausencia de correlación. En la Gráfica 4.3 se presenta un ejemplo de correlación negativa.

Cabe mencionar que en el subtema 1.7 también se describió el diagrama de dispersión, aunque con un enfoque conceptual. En esa sección se explicó el método matemático para calcular la relación entre variables y se incluyó un ejemplo de una gráfica de correlación positiva (Figura 1.11). Este subtema, en cambio, considera el diagrama de dispersión como parte de las siete herramientas estadísticas.

Gráfica 4.3

Correlación negativa - tiempo - defectos



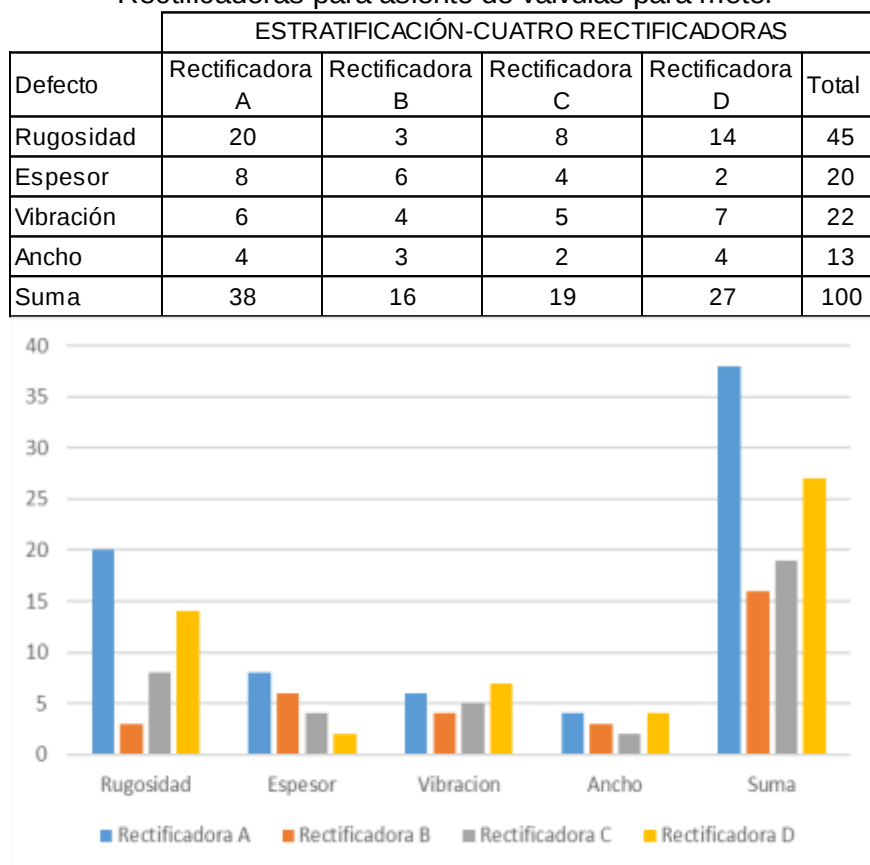
Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Diagrama de Estratificación

Esta herramienta estadística forma parte de las técnicas utilizadas para clasificar y agrupar datos con el propósito de analizar problemas. Es similar al enfoque empleado en la tormenta de ideas del diagrama de Ishikawa, donde los datos se agrupan por categorías como turno, operario, máquina o equipo, y materia prima. Esta clasificación facilita la identificación de la(s) causa(s) raíz del problema.

Para ilustrar lo anterior, en la Gráfica 4.4 se presenta un ejemplo de aplicación que analiza los tipos y cantidades de defectos generados en cuatro máquinas rectificadoras utilizadas para asientos de válvula de admisión en motores de combustión interna. En este caso, destaca que el defecto de rugosidad es el más frecuente en comparación con otros defectos. Además, se observa que la rectificadora A produce la mayor cantidad de defectos.

Gráfica 4.4
Rectificadoras para asiento de válvulas para motor



Fuente: Elaboración propia

4.4 Habilidad y Capacidad de Proceso

Para fabricar un producto, es necesario seguir una secuencia de operaciones, y el proceso debe contar con una capacidad adecuada para cumplir satisfactoriamente con las especificaciones del producto. Recordando el subtema 3.1 sobre la evolución de la calidad, en el año 1800 la calidad de los productos se evaluaba mediante acuerdos entre proveedor y cliente, utilizando como criterios descripciones verbales o alguna pieza o modelo previo.

A lo largo del tiempo, la forma de medir la calidad ha evolucionado. En la década de 1930, se comenzó a utilizar métodos estadísticos para este propósito. Para los años 60, en la industria mexicana era común que la calidad de los productos fuera evaluada por personal del departamento de control de calidad (inspectores). En esa época, el proveedor contaba con un área denominada “Inspección Final”, mientras que el cliente tenía una sección de “Inspección de Recibo”. El proveedor realizaba inspecciones por muestreo en los lotes enviados, y el cliente, a su vez, también inspeccionaba por muestreo. Tanto el proveedor como el cliente establecían criterios para aceptar o rechazar los lotes.

Si el proveedor rechazaba un lote a través de la inspección por muestreo, procedía a inspeccionar el 100% de las piezas del lote enviado. Por su parte, si el cliente rechazaba un lote, podía tomar una de dos decisiones: devolver el lote al proveedor o solicitar que este acudiera a sus instalaciones para inspeccionar el 100% de las piezas.

Lo anteriormente descrito ha quedado en el pasado. Hoy en día, los clientes solicitan a los proveedores evidencia de la capacidad del proceso mediante indicadores específicos. Los indicadores más utilizados profesional y prácticamente son el índice de capacidad real (C_{pk}) y el índice de capacidad potencial (C_p). No obstante, existen otros indicadores, como la razón de capacidad (C_r), la capacidad para la especificación inferior (C_{pi}), la capacidad para la especificación superior (C_{ps}), la capacidad para el centrado de un proceso respecto a la especificación (K), y el índice de Taguchi para el centrado y la variación del proceso (C_{pm}).

4.4.1 Capacidad real Cpk

Este indicador es el preferido en la industria, ya que refleja la calidad real de un proceso. En algunos casos, el cliente solicita al proveedor que indique de manera visible el valor de Cpk del proceso utilizado para fabricar el producto que adquiere, aunque, por lo general, el cliente realiza una verificación directa.

Con este procedimiento, la inspección final y la inspección de recibo han quedado obsoletas. Para evaluar la situación de un proceso, consulte la tabla 4.1.

Fórmula $Cpk = \text{mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right]$ De donde μ = media σ = desviación estándar EI = especificación inferior ES = especificación superior

Tabla 4.1

Cpk, Situaciones del estado de un proceso

Valor Cpk	Categoría del proceso	Estado del proceso
$Cpk \geq 2$	Clase mundial	Calidad Seis Sigma
$Cpk > 1.33$	1	Adecuado
$1 < Cpk < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere mejorar
$0.67 < Cpk < 1$	3	No adecuado. Requiere urgente análisis y correcciones.
$Cpk < 1$	4	No adecuado, debe parar la operación, hasta corregir.

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Índice de Capacidad Potencial

Este es otro indicador sobre la calidad de un proceso, aunque es más utilizado por el proveedor. Esto se debe a que, si un proceso tiene capacidad potencial pero no cumple con la capacidad real, solo es necesario realizar ajustes. Sin embargo, al cliente le interesa principalmente la capacidad real, ya que esta está directamente relacionada con la calidad del producto que adquiere.

La capacidad potencial se mide con base en las especificaciones del producto, mientras que la capacidad real se evalúa en función de la media del proceso.

Fórmula $Cp = \frac{ES - EI}{6\sigma}$

El criterio para evaluar está en tabla 4.1

4.4.3 Cr

Este indicador mide el cociente entre la desviación estándar y la especificación, es decir, evalúa la variación del proceso en relación con la variación especificada. Un buen indicador se obtiene cuando el numerador es menor que el denominador, según la fórmula.

$$Cr = 6\sigma / ES - EI$$

4.4.4 Cpi

Este indicador mide qué tan bien cumple el proceso con la especificación inferior. Dado que considera el valor de la media (μ), es útil para evaluar de forma separada el cumplimiento con respecto a dicha especificación. Valores mayores a 1.25 indican que el proceso cumple satisfactoriamente con la especificación inferior.

$$\text{Formula Cpi} = \mu - EI / 3\sigma$$

4.4.5 Cps

Este indicador evalúa qué tan bien cumple el proceso con la especificación superior. Al considerar el valor de la media (μ), permite analizar de forma separada el cumplimiento con respecto a dicha especificación. Valores menores a 1 indican que el proceso no cumple con la especificación superior.

4.4.6 K

Este indicador muestra el grado de centrado de un proceso con respecto a las especificaciones del producto. Valores positivos indican que la media (μ) es mayor que el valor medio especificado, mientras que valores negativos reflejan que la media es menor. Si el valor absoluto de **K** es menor al 20 %, el proceso se considera centrado; de lo contrario, existe una tendencia al descentrado.

$$\text{Fórmula K} = \frac{\mu - N}{1/2(ES - EI)} * 100 \quad N = \text{nominal (media) de especificación}$$

4.4.6 Cpm

El indicador, conocido como índice de Taguchi, permite evaluar simultáneamente el centrado y la variabilidad de un proceso. Este indicador toma en cuenta la variabilidad nominal (N) y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Cpm = ES - EI / 6\tau \quad \tau = \text{tau que a su vez} = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$$

Criterio, cuando $Cpm > 1$ el proceso cumple las especificaciones debido centrado y variabilidad.

El siguiente problema es mencionado por Gutiérrez (2013), pero las respuestas son propias:

La especificación de peso de una preforma en un proceso de inyección de plástico es de 60 ± 1 g. Para hacer una primera valoración de capacidad del proceso se obtiene una muestra aleatoria de $n=40$, $\bar{X} = 59.88$ y $S=0.25$.

- ¿Estime con un intervalo de confianza de 95% los indicadores Cp, Cpk y Cpm e interprete cada uno de ellos.?
- ¿Hay seguridad de que la capacidad sea satisfactoria?
- ¿Por qué fue necesario estimar por intervalo de confianza?

Respuestas:

- Intervalo de confianza para la media

$$\begin{aligned}\mu &= \bar{X} \pm t_{\alpha/2} s \frac{1}{\sqrt{n}} = 59.88 + 2.02(0.25 / 6.32) = 59.96 \\ &= 59.88 - 2.02(0.25 / 6.32) = 59.8\end{aligned}$$

Intervalo de confianza para la desviación estándar

$$\sigma = [(\sqrt{(n-1) S^2 / \chi^2_{\alpha/2, n-1}}); (\sqrt{(n-1) S^2 / \chi^2_{1-\alpha/2, n-1}})]$$

$$\sigma = [(\sqrt{(40-1) 0.25^2 / 59.3}); (\sqrt{(40-1) 0.25^2 / 24.4})] = 0.202; 0.316$$

$$Cp = ES - EI / 6\sigma \quad \text{tomando } \sigma = 0.202 + 0.316/2 = 0.256$$

$$Cp = ES - EI / 6\sigma = 61 - 59 / 6 \cdot 0.256 = 1.30$$

Proceso clase 2, parcialmente adecuado, requiere mejorar. Ver tabla 4.1

$$Cpk = \text{mínimo} \left[\mu - EI / 3\sigma, ES - \mu / 3\sigma \right]$$

$$= 59.88 - 59 / 3 \cdot 0.256, 61 - 59.88 / 3 \cdot 0.256 = 1.14, 1.46$$

Proceso clase 2, parcialmente adecuado, requiere mejorar. Ver tabla 4.1

$$Cpm = ES - EI / 6\tau \quad \tau = \text{tau que a su vez} = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$$

$$= 61 - 59 / 6 \cdot 0.283 = 1.18 \quad \tau = \sqrt{0.256^2 + (59.88 - 60)^2} = 0.283$$

Criterio, cuando $Cpm > 1$ el proceso cumple las especificaciones debido centrado y variabilidad.

b) De acuerdo con los resultados de los indicadores Cp, Cpk y Cpm, si hay seguridad, el proceso tiene capacidad, solo es necesario un ajuste.

c) Para saber las diferencias entre valores $\bar{X}$ y μ y $S - \sigma$, podrían afectar los respectivos cálculos. Realmente las diferencias no fueron significativas.

Gutiérrez (2013), plantea el siguiente problema, las respuestas son elaboración propia:

Una característica importante de la calidad es el grosor de las láminas, se tiene que las especificaciones son EI= 4.2 mm, ES= 5.8. Además de las mediciones realizadas en los últimos 3 meses, se aprecia un proceso con una estabilidad aceptable, con $\mu = 4.75$ y

$\sigma = 0.45$. Ahora conteste lo siguiente.

- Calcule el índice K e interprételo.
- Obtenga los índices Cp y Cpk e interprételos.
- A partir de la tabla 4.1 estime el porcentaje de láminas que no cumplen con especificaciones del lado, del superior y ambos lados.
- En resumen, ¿el proceso cumple con especificaciones? Argumente su respuesta.

Respuestas

Tabla 4.2

Partes Por Millón según % de piezas defectuosas.

Valor del índice	Proceso Cp.		Proceso Cpk, Cpi, Cps	
	% fuera	PPM	% fuera	PPM
0.5	13.3614	133 614	6.68	66807
0.6	7.1861	71860	3.59	35930
0.7	3.5729	35728	1.78	17864
0.8	1.6395	16395	0.82	8197
0.9	0.6934	6934	0.35	3467
1	0.2700	2700	0.13	1.35
1.1	0.0967	9670	0.05	483
1.2	0.0318	318	0.016	159
1.3	0.0096	96	0.0048	48
1.4	0.0027	27	0.0013	13
1.5	0.0007	7	0.0003	4
1.6	0.0002	2	0.0001	1
1.7	0.0000	1	0	0.17
PPM= % valor del índice * 10000				

Fuente: Elaboración propia

a) Índice K e interpretación.

$$\text{Formula K} = \frac{\mu - N}{1/2(ES - EI)} * 100 = \frac{4.75 - 5}{1/2(5.8 - 4.2)} * 100 = -31.2 \%$$

Interpretación: Valor absoluto de K >20% indica proceso no centrado, está desviado hacia la izquierda.

b) Índices Cp y Cpk e interpretación.

$$Cp = ES - EI / 6\sigma = 5.8 - 4.2 / 6 * 0.45 = 0.59$$

$$Cpk = \text{mínimo} \left[\mu - EI / 3\sigma, ES - \mu / 3\sigma \right]$$

$$= \text{mínimo} \left[4.75 - 4.2 / 1.35, 5.8 - 4.75 / 1.35 \right] = \text{mínimo } 0.41, 0.78$$

Interpretación: Índice Cp indica que el proceso tiene calidad 3, no adecuado. Mientras que Cpk indica clase 4, no adecuado. Requiere correcciones serias.

c) Porcentaje de láminas que no cumplen con especificaciones del lado, del superior y ambos lados.

Según índice k el proceso no está centrado. Cargado a lado izquierdo.

Según Cp = 0.59, el proceso tiene 7.1861 % de piezas fuera de especificación, equivalente a 71860 PPM.

Según Cpk = 0.41, el proceso tiene 11.5070% de piezas fuera de especificación, equivalente a 115070 PPM.

d) ¿El proceso cumple con especificaciones?

El proceso no cumple con especificaciones pues no está centrado, y Cpk indica 115070 PPM, para la industria automotriz sería un proceso en observación, con riesgo de dejar de ser proveedor.

El siguiente problema fue tomado del libro, página 130, ejemplo 7 de Gutiérrez (2013) mientras que las respuestas han sido desarrolladas de manera independiente por el autor de este trabajo:

Una característica importante en la calidad de la leche de vaca es la concentración de grasa. En una industria en particular se fijó 3.0% como el estándar mínimo que debe cumplir el producto que se recibe directamente de los establos lecheros. Si de los datos históricos se sabe que

$\mu = 4.1$ y $\sigma = 0.38$:

- a) Calcule Cpi
- b) Con base en la tabla 4.2 estime el porcentaje fuera de especificaciones.
- c) ¿La calidad es satisfactoria?

Respuestas

- a) Cpi

$$\text{Fórmula Cpi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma} = \frac{4.1 - 3}{3 \cdot 0.38} = 0.965$$

- b) Porcentaje fuera de especificaciones:

Para Cpi = 0.965 corresponde 0.135% de piezas fuera de especificación y 1350 PPM.

- c) ¿La calidad es satisfactoria?

La calidad no es satisfactoria, pues el proceso está dentro de una categoría se requiere análisis y mejora.

4.5 Gráfica de control

Las cartas de control se definen como una herramienta estadística utilizada para monitorear y controlar la variación de una característica de calidad de un producto durante su proceso de fabricación. Esta herramienta permite a las personas responsables del control del proceso identificar las causas de la variabilidad existente y, en algunos casos, realizar predicciones.

También conocidas como gráficas de control, su objetivo principal es observar la variación de un valor específico de un producto a lo largo del tiempo en su proceso de manufactura. Adicionalmente, estas gráficas pueden emplearse como un registro histórico de un periodo determinado para identificar la necesidad de una acción correctiva. Por otro lado, cuando se aplican durante el proceso de fabricación, pueden ayudar a implementar acciones preventivas.

Es importante destacar que las cartas por atributos se utilizan cuando la calidad de los productos es evaluada en función de la presencia o ausencia de una característica específica. En esencia, la evaluación de la calidad se realiza bajo un criterio binario: el producto pasa o no pasa, dependiendo de si cumple o no con la característica esperada.

Existen básicamente dos tipos de graficas de control, por Variables y por Atributos. Las partes principales de ambas son:

- Límite de control superior para la media y para rango. LCS
- Limite central para la media y rango, con símbolos $\bar{\bar{X}}$ y $\bar{R}$
- Límite de control inferior para la media y para rango LCI

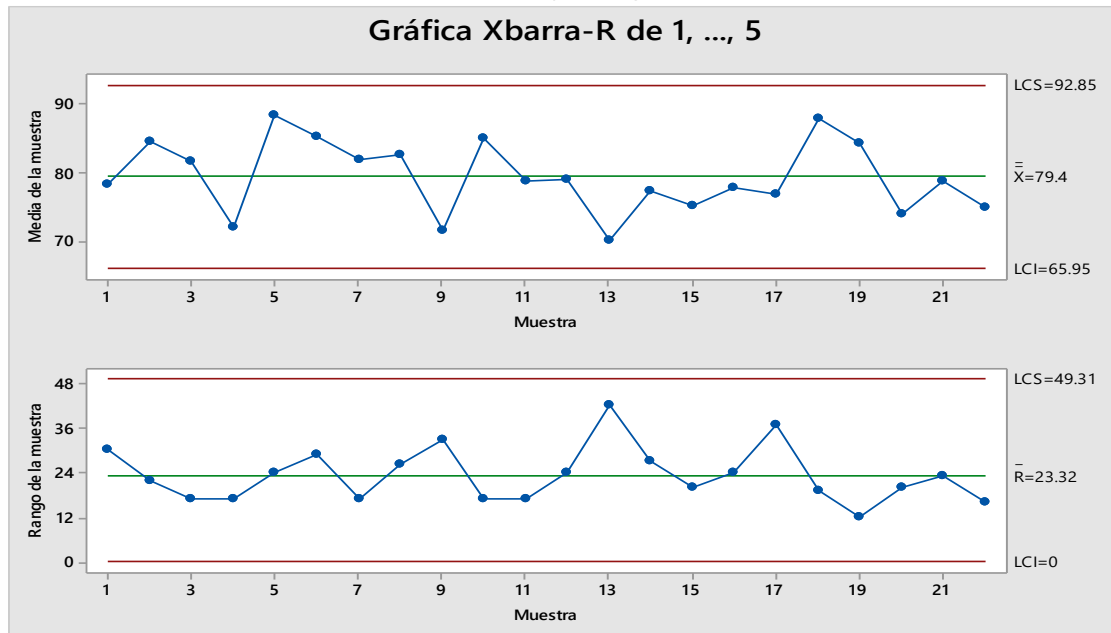
Cada limite es calculado con fórmulas específicas para cada tipo y sub tipos respectivamente, en las gráficas 4.5 y 4.6 muestran la estructura de una gráfica de control o sea sus partes básicas.

Gráfica 4.5
Estructura básica



Fuente: Adaptado de Gráficas de control de calidad/SPC, por SPC Consulting Group, s.f., <https://www.imagenes-de-graficas-de-control>.

Gráfica 4.6
Media y Rango



Fuente: Elaboración propia

4.6 Gráficos de control para atributos

Las gráficas de control son herramientas estadísticas utilizadas para evaluar la calidad de los productos, determinando si cumplen o no con las especificaciones o criterios establecidos. Estas herramientas permiten tomar decisiones sobre si un proceso debe continuar, ser detenido para realizar retrabajos o desechar los productos defectuosos, evitando así su envío al cliente.

En la elaboración de estas gráficas, las piezas que no cumplen con las especificaciones se denominan "piezas defectuosas". Es importante destacar que estos gráficos también son conocidos como cartas de control.

Además, las gráficas o cartas de control por atributos se clasifican en cuatro tipos principales: p, np, c y u.

Las gráficas (o cartas) p se utilizan para analizar la proporción de defectos en los procesos. Estas permiten controlar las variaciones en la calidad de productos seleccionados aleatoriamente. Para ello, se toma una muestra que se inspecciona, y con base en los productos defectuosos identificados, se calcula la proporción utilizando la siguiente fórmula:

$$p_i = \frac{d_i}{n_i} \text{ de donde } d_i = \text{cantidad de piezas defectuosas}$$

n_i = cantidad de piezas de la muestra.

Límite central = $\bar{P}$

$$\text{Límite de control superior} = \text{LCS} = \bar{P} + 3 \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}}$$

$$\text{Límite de control inferior} = \text{LCS} = \bar{P} - 3 \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}}$$

Las cartas p son usadas cuando la cantidad de piezas son diferentes entre las muestras; mientras que las cartas no aplican cuando la cantidad de piezas entre las muestras es constante.

El problema que se expone a continuación fue propuesto por Gutiérrez (2013). Los resultados obtenidos son producto del análisis y cálculo realizados de manera independiente.

En una empresa del ramo metalmecánico se fabrican válvulas. Después del proceso de fundición se realiza una inspección y las piezas que no cumplen con ciertas características son rechazadas. Las razones del rechazo son diversas: piezas incompletas, porosas, mal formadas, etc. Para evaluar la variabilidad y la magnitud de la proporción de piezas defectuosas en el proceso de fundición se decide implementar una carta p. El proceso de fundición se hace por lotes. En la tabla 4.3 son mostrados los datos obtenidos durante una semana para cierto tipo de válvulas. Aunque regularmente el tamaño de lote es fijo, $n=300$, en ocasiones, por diferentes motivos, en algunos lotes se hacen unas cuantas piezas de más o de menos, como se aprecia como se aprecia.

Tabla 4.3
Datos para gráfica 4.7

Lote	Tamaño lote, n=	Defectuosas	Proporción
1	300	15	0.05
2	300	12	0.04
3	300	15	0.05
4	300	7	0.23
5	300	16	0.048
6	300	6	0.02
7	300	18	0.06
8	208	10	0.036
9	290	9	0.031
10	300	15	0.05
11	300	9	0.03
12	300	4	0.013
13	300	7	0.023
14	300	9	0.03
15	305	5	0.016
16	295	15	0.051
17	300	19	0.063
18	300	7	0.023
19	300	12	0.04
20	300	10	0.033
21	300	4	0.013
	Suma 6300	Suma 224	

Fuente: Elaboración propia

- Calcule los límites de control utilizando el tamaño de subgrupo (lote) promedio.
- ¿Cómo explicaría los límites de control que obtuvo a alguien que no tiene conocimientos profundos de estadística?
- Grafique la carta correspondiente e interprétela.
- ¿El proceso es estable?
- ¿Se puede considerar que la calidad del proceso es aceptable? Argumente su respuesta.
- ¿Como aplicaría un análisis de Pareto para enfocar un proyecto de mejora en este caso?

Respuestas

a) Límites de control utilizando el tamaño de subgrupo (lote) promedio:

Datos: $n_i = 224$ $d_i = 6300$

$$p_i = \frac{d_i}{n_i} = 224/6300 = 0.035 = \bar{P}$$

$$LCS = \bar{P} + 3 \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0.035 + 3 \sqrt{\frac{0.035(0.965)}{300}} = 0.067$$

Línea central = 0.035

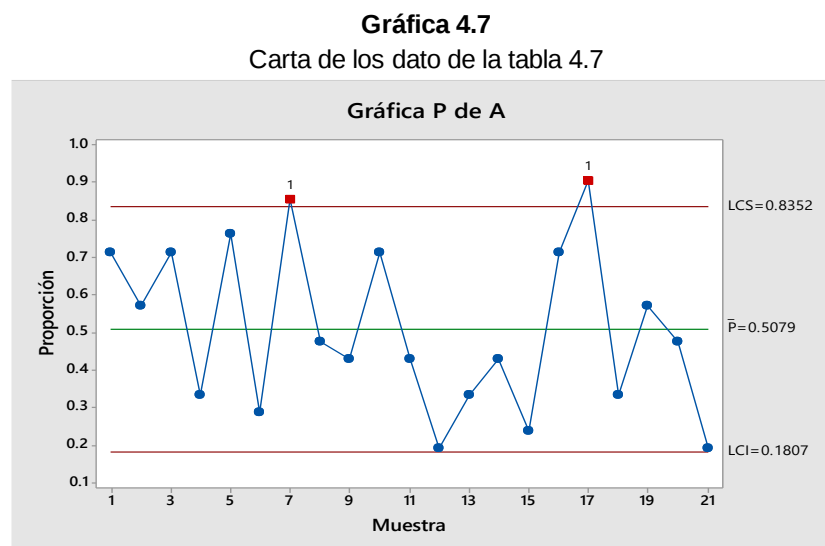
$$LCS = \bar{P} - 3 \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0.035 - 3 \sqrt{\frac{0.035(0.965)}{300}} = 0.003$$

b) Explicación

Los límites de control sirven para monitorear un proceso, estos son diferentes a los límites de especificación que el cliente establece, siempre los límites de control son de menor valor, con esto el proveedor puede monitorear el proceso evitando rebasar los valores corrigiendo las causas y garantizando el cumplimiento de las especificaciones (calidad) del cliente.

c) Gráfica e interpretación:

Los elementos 7 y 17 son valores atípicos. Por lo cual el proceso no tiene estabilidad.



Fuente: Elaboración propia

d) Estabilidad del proceso:

El proceso estable debido a que sus puntos están dentro de los límites de control y oscilan respecto a la línea central. Aunque debería haber un análisis a través de diagrama de Ishikawa para corregir los elementos atípicos.

e) Calidad del proceso:

Si debido a que todos sus puntos están dentro de los límites de control, esto implica que la entrega de producto al cliente es de buena calidad.

f) Análisis de Pareto para enfocar un proyecto de mejora:

Determinar cómo problema “Piezas defectuosas en válvulas”. hacer tormenta de ideas en equipos de trabajo, para enunciar posibles causas de máquinas, mano de obra, materiales o método de trabajo y finalmente por comprobaciones determinar la(s) causa(s) raíz(es).

A continuación, se aborda otro ejemplo propuesto por Gutiérrez (2013). Los resultados correspondientes han sido desarrollados de manera independiente, con base en la resolución del ejemplo.

En proceso de producción de producción se produce por lotes de tamaño 500, en la inspección final de los últimos 30 lotes se obtuvo la siguiente cantidad de artículos defectuosos (los datos están en orden horizontal):

11 12 15 17 11 10 13 25 17 13 11 12 17 8 12 11 20 15 12 17 18 14 10 8
10 6 7 5 9 6

a) Calcule los límites de control para la carta p.

b) Grafique la carta p e interprétela.

c) ¿El proceso es estable?

d) Con sus palabras diga que significa los límites de control y la línea central

e) A partir del lote 20 se empezó a ejecutar un plan de mejora, ¿hay algún tipo de evidencia de que el plan haya dado resultado?

Resultados

a) Límites de control para la carta p:

Datos: $n_i = 372$ $d_i = 15000$

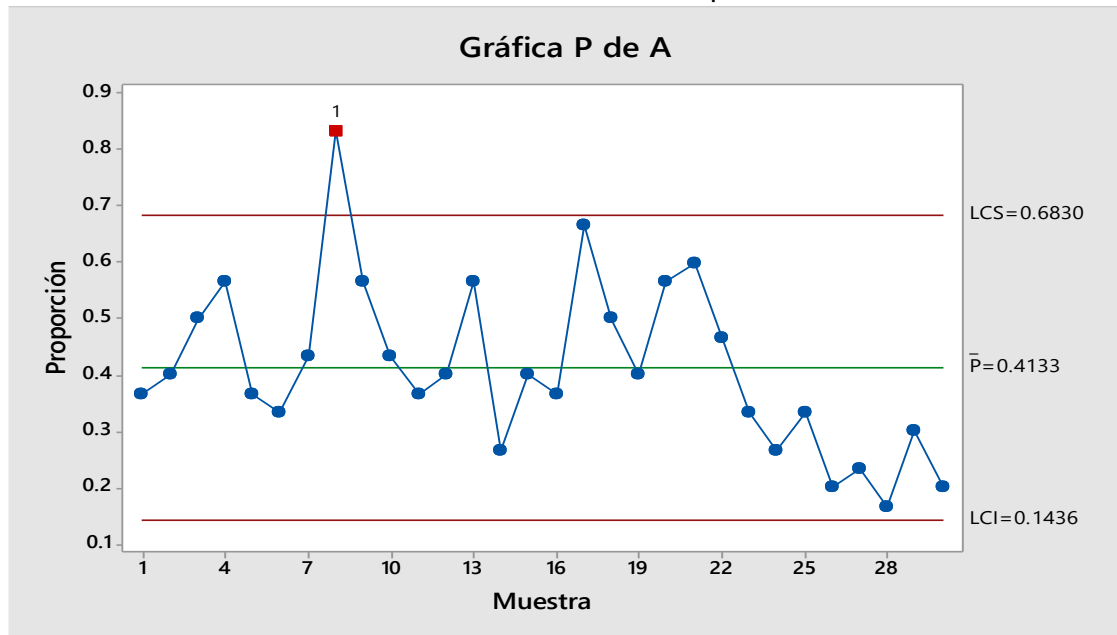
$$p_i = \frac{d_i}{n_i} = 372/15000 = 0.025$$

$$LCS = \bar{P} + 3 \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0.025 + 3 \sqrt{\frac{0.025(0.975)}{500}} = 0.046$$

$$LCS = \bar{P} - 3 \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0.025 - 3 \sqrt{\frac{0.025(0.975)}{500}} = 0.004$$

b) Gráfica e interpretación:

Gráfica 4.8
Resultados de la carta p



Fuente: Elaboración propia

c) Proceso:

El proceso no es estable, tiene puntos con cambio de nivel y un punto atípico, fuera de LCS.

d) Significado de los límites de control y la línea central

Los límites de control significan los máximo y mínimos valores permitidos en el monitoreo de un proceso, con el propósito de proteger las especificaciones generalmente del cliente. La línea central es el valor medio entre los límites de control, lo ideal sería la coincidencia de valor de esta con el valor medio de las especificaciones.

e) Evidencia:

Si hay una evidencia de mejora, aunque la variación es hacia abajo.

Las gráficas np se utilizan para representar la cantidad de elementos defectuosos en cada muestra. Son aplicables cuando el tamaño de las piezas en cada muestra es constante. Las fórmulas para calcular los límites de control incluyen la media $\bar{np}$ y la desviación estándar σ , según se muestra a continuación:

$$LCS = \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{P})}$$

$$LCS = \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{P})} \quad \bar{P} = \frac{\text{total defectuosos}}{\text{total inspeccionados}}$$

Lo anterior se puede entender mejor en el siguiente problema de Gutiérrez (2013) y los resultados que se presentan son de elaboración propia.

Del análisis de dato de inspecciones y pruebas finales de un producto ensamblado se detectó a través de una estratificación y análisis de Pareto que la causa principal por lo que los productos salen defectuosos están relacionados con los problemas de un componente en particular (el componente K12) por lo tanto. Se decide, analizar más de cerca el proceso que produce el componente. Para ello cada lote de componente K12 se decide inspeccionar una muestra de $n=120$. Como n es constante, la cantidad de defectuosos por muestra se puede analizar con una carta np . Para obtener sus límites, primero se estima $\bar{P}$, que se obtiene de dividir el total de artículos defectuosos (183) entre el total de piezas inspeccionadas (20muestras * 120 piezas cada una), es decir,

$$\bar{P} = \frac{183}{120*20} = 0.076 \text{ con lo cual, los límites de control están dados por}$$

$$LCS = 120*0.076 + 3\sqrt{120 * 0.076 (1 - 0.076)} = 17.87$$

$$LCS = 120*0.076 - 3\sqrt{120 * 0.076 (1 - 0.076)} = 0.43$$

$$\text{Línea central} = 120*0.076 = 9.12$$

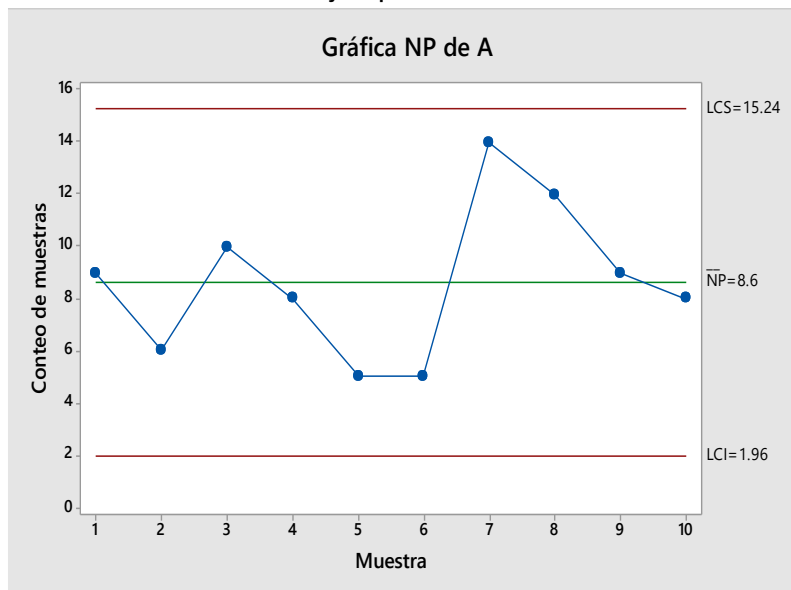
La carta np se muestra en las gráficas 4.9 10A y 10B, donde se aprecia que el proceso no funciona de manera estable ya que el número de piezas en la muestra 2 (figura 4.6 B) es mayor que el límite superior; mientras en la muestra del lote 6 el número es menor que el límite inferior. De aquí que se tenga una evidencia objetiva para afirmar que en la fabricación del lote 2 se presentó una causa o situación especial que normalmente no está presente en el proceso y que lo empeora de forma seria; mientras que en el lote 6 ocurrió una causa especial que mejoró el desempeño del proceso de fabricación del componente K12. Es necesario localizar ambas causas, ya que así se estará en posibilidades de prevenir la primera, y en caso de no haber un error en el registro de datos, fomentar la segunda.

Tabla 4.4
Datos para gráficas 4.9 A y B

Muestra A	Componentes defectuosos	Muestra B	Componentes defectuosos
1	9	1	10
2	6	2	20
3	10	3	12
4	8	4	10
5	5	5	10
6	5	6	0
7	14	7	13
8	12	8	5
9	9	9	6
10	8	10	11
Suma total 183			

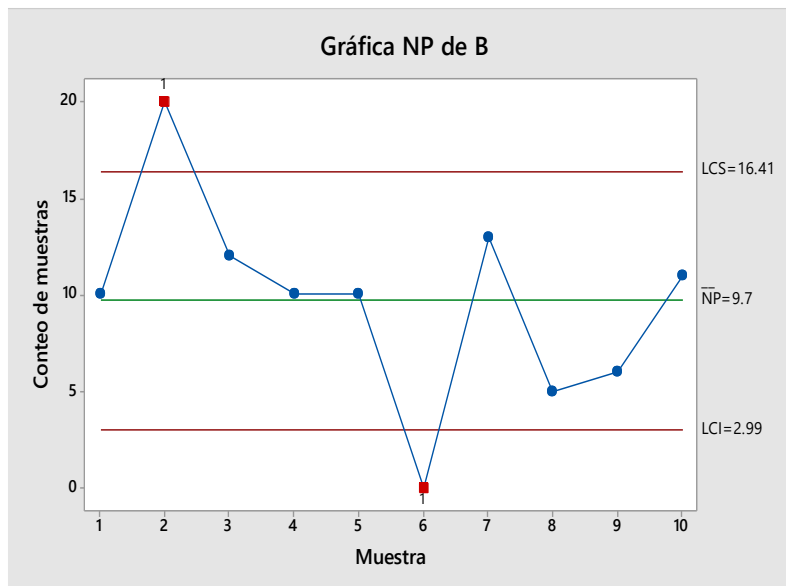
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.9 A
Ejemplo de NP



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.9 B
Ejemplo de NP



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el problema planteado en la página 81 se propone la siguiente resolución respecto a las cartas np.

- Suponga que todos los lotes tienen el mismo tamaño (el promedio), calcule los límites de control para una carta np e interprételos.
- Grafiqué la correspondiente np y analícela.
- ¿El proceso es estable?
- ¿Observa alguna diferencia importante entre la carta p y la np?
- ¿Cuál carta p o la np sería la más conveniente en este caso? Argumente.

Respuestas

- Límites de control para una carta np e interpretación:

$$p_i = \frac{di}{ni} = 224/6300 = 0.035 = \bar{P}$$

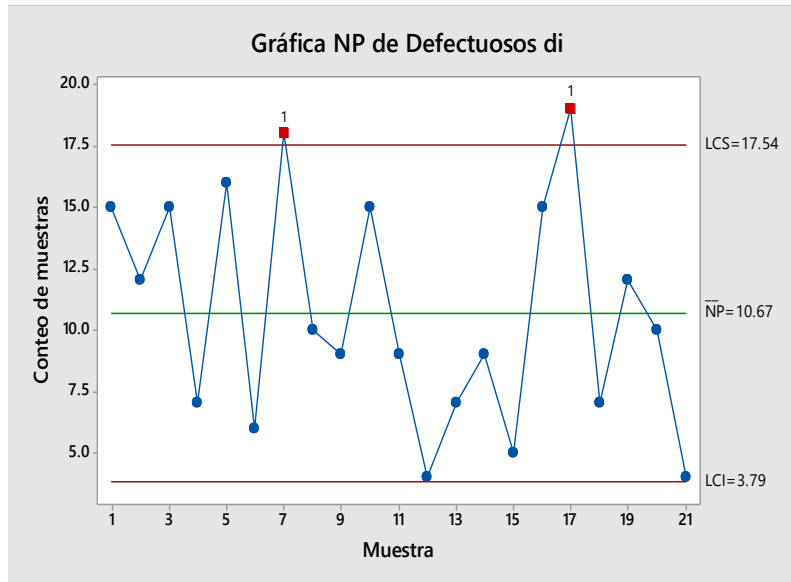
$$LCS = \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{P})} = 300 * 0.035 + 3\sqrt{10.5(0.965)} = 20.04$$

$$LCI = \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{P})} = 300 * 0.035 - 3\sqrt{10.5(0.965)} = 0.958$$

$$\text{Línea central} = 10.5 = \bar{np}$$

b) Gráfica np y análisis:

Gráfica 4.10
Cartas NP



Fuente: Elaboración propia

c) Proceso:

El proceso estable debido a que sus puntos están dentro de los límites de control y oscilan respecto a la línea central calculados, sin embargo, de acuerdo a la gráfica no es estable, porque los punto 7 y 17 están fuera de los límites de control, cabe hacer notar que las líneas centrales calculadas y de la gráfica coinciden en valores.

d) Carta p y np

No hay diferencia las gráficas son similares.

e) ¿Cuál carta p o la np sería la más conveniente en este caso? Argumente.

La más conveniente es la carta p debido a que las muestras son con diferente cantidad, aunque por facilidad de cálculo (formulas) la carta np es más conveniente.

Las gráficas (o cartas) c se emplean para analizar la cantidad de defectos en una muestra o pieza individual. Es importante destacar que estas gráficas no consideran el tamaño de la muestra, sino únicamente el número de defectos en cada unidad evaluada.

El propósito principal es examinar la variación en la cantidad de defectos por subgrupo (muestra) y se aplican cuando el tamaño de la muestra es constante. En este caso, la muestra corresponde a una sola unidad, como, por ejemplo, el número de errores cometidos por un operario, la cantidad de reclamaciones en un servicio de lavado de automóviles, las faltas de ortografía en una carta o el número de defectos en una silla.

Para calcular límites de control, son las fórmulas siguientes:

$$u_{ci} = \text{Total, de defecto/cantidad de unidades} = \bar{c}$$

$$LCS = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$\text{Línea central} = \bar{c}$$

$$LCI = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

En el caso del problema anterior una empresa se registra el número de quejas por mal servicio. Los datos de las últimas 25 semanas se muestran en seguida (el orden es por renglón):

6 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5

- ¿Es adecuado hacer un análisis mediante una carta p? Argumente.
- Calcule los límites de control.
- Obtenga la carta c y analícela.
- ¿El proceso es estable?
- ¿El nivel de calidad se puede considerar satisfactorio?

Respuestas

- Argumentación

No, porque solo incluye una unidad 8 un servicio.

- Límites de control:

$$\bar{c} = 110 / 25 = 4.4$$

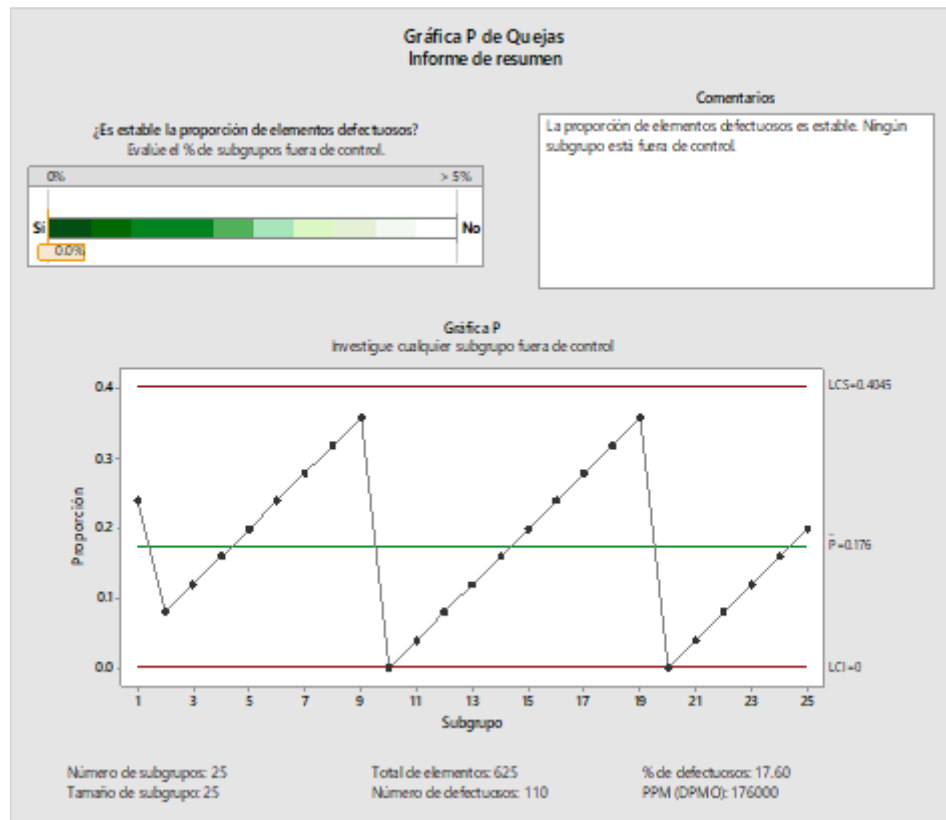
$$LCS = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 4.4 + 3*2.1 = 10.7$$

$$LCI = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 4.4 - 3*2.1 = -1.9 \quad \text{nota. - para valores negativos el límite es 0.}$$

c) Carta y análisis

Gráfica 4.11

Carta C



Fuente: Elaboración propia

La proporción de los defectuosos es con variación repetida como dientes de sierra, aunque no hay elementos fuera de los límites de control el proceso es estable. Aunque los valores de límites de control calculados y de la gráfica son diferentes, en la gráfica los cálculos son en base a proporciones y en los cálculos manuales es con cantidad de defectuosos.

d) Proceso:

No es estable por repite tendencia hacia arriba, es tipo de un desgaste de herramienta, aunque se mantiene en control, sería necesario revisar el proceso pues puede haber otras causas.

e) Nivel de calidad:

La calidad es satisfactoria, pues la cantidad de quejas no rebasa los límites de control.

A continuación, se aborda otro ejemplo propuesto por Gutiérrez (2013). Los resultados correspondientes han sido desarrollados de manera independiente, con base en la resolución del ejemplo.

En una línea de ensamble o montaje de pequeñas piezas en tarjetas electrónicas se cuantifica el número de defectos de diferente tipo por medio de una muestra de 10 tarjetas. Los defectos encontrados en las últimas 30 muestras se listan a continuación (datos en orden por renglón).

28 22 25 21 26 22 36 22 32 22 23 27 26 18
 29 24 6 20 25 29 26 24 32 31 29 24 27 21 27
 31 ~~20 22 28 26 24~~

- Note que en promedio hay más de un defecto por tarjeta, ¿es adecuado analizar estos datos mediante una carta p? Argumente.
- Calcule los límites de control para una carta c e interprete los límites obtenidos.
- Obtenga la carta c y analícela.
- El dato de la muestra 17 es especial, por lo que habría que buscar las posibles causas que ocasionaron esto ¿Por qué?
- ¿Qué opina de la estabilidad del proceso?
- ¿El nivel de calidad puede considerarse satisfactorio?
- ¿Cómo aplicaría un análisis de Pareto para enfocar mejor un proyecto de mejora?

Respuestas

- Argumentación:

No es adecuado usar la carta p porque esta es para monitorear la proporción de defectuosos en un proceso, o sea los componentes defectuosos por muestra; mientras que la carta c solo analiza la variabilidad de defectos por pieza. El enunciado del ejercicio indica “número de defectos por muestra de 10 tarjetas” NO componentes defectuosos (caso que sería para carta p).

- Límites de control para una carta c e interprete los límites obtenidos:

$$\bar{c} = 755 / 30 = 25.16$$

$$LCS = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 25.16 + 3*5.01 = 40.19$$

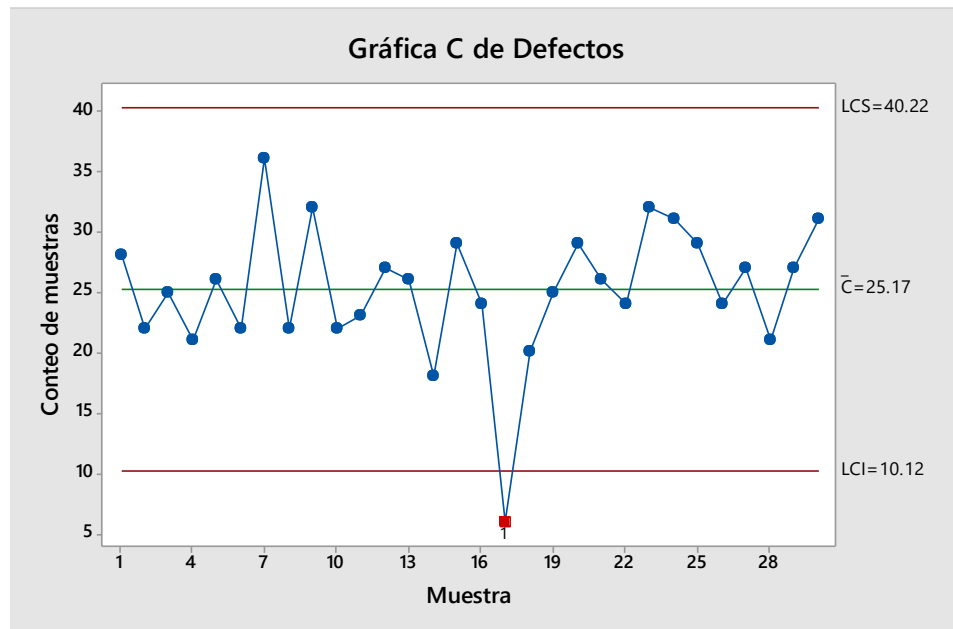
$$\text{Línea central} = 25.16$$

$$LCI = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 25.16 - 3*5.01 = 10.13 \text{ nota. - para valores negativos el límite es 0}$$

c) Carta C y análisis:

Gráfica 4.12

Carta C



Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica solo en el subgrupo 17, muestra una cantidad de defectos atípicos.

d) El dato de la muestra 17 es especial, ¿Por qué?:

Debido a que es un dato atípico, que sucedió para reducir los defectos. Podría analizar el caso a través de la herramienta estadística Ishikawa.

e) Estabilidad del proceso:

Pues así con mencionado atípico el proceso no es estable.

f) Nivel de calidad:

No porque, el valor atípico afecta la imagen de nivel de calidad del proceso, aunque el valor atípico indica reducción de defectos.

g) Análisis de Pareto para enfocar mejor un proyecto de mejora:

El diagrama de Pareto indica atender las causas más importantes y en este caso sería el valor de la muestra 17, de sería aplicar la herramienta diagrama de Ishikawa.

Las gráficas (o cartas) u se utilizan para analizar la variación del promedio de defectos por unidad. A diferencia de las cartas c, estas son aplicables cuando el tamaño del subgrupo no es constante. Es importante destacar que las gráficas u incluyen en su análisis la variación del total de defectos en cada subgrupo.

En estas cartas se considera la cantidad de defectos encontrada en cada muestra, mientras que en las cartas p se analiza la cantidad de elementos defectuosos en relación con el total de muestras.

Límites de control son calculados con las fórmulas siguientes

$$\bar{U} = \frac{\text{total de defectos}}{\text{total de artículos inspeccionados}} =$$

$$LCS = \bar{U} + 3 \sqrt{\frac{\bar{U}}{n}}$$

$$\text{Línea central} = \bar{U}$$

$$LCS = \bar{U} + 3 \sqrt{\frac{\bar{U}}{n}}$$

Con base en el problema anterior, de las cartas C, los datos también pueden analizarse mediante una carta u, si se dividen los defectos por muestra entre el tamaño de muestra (10). De esta manera se analizará el número de defectos por tarjeta por subgrupo o muestra. Haga lo anterior y realice las siguientes actividades.

- Calcule los límites de control para la carta u e interprete los límites obtenidos.
- Obtenga la carta u y analícela.
- ¿Hay diferencia en lo que detecto la carta c, de lo que observa en la carta u? ¿Por qué)?
- En este caso ¿Cuál recomendaría? ¿Por qué?

Respuestas:

- Límites de control para la carta u:

Tabla 4.5

Carta U

2.8	2.2	2.5	2.1	2.6	2.2	3.6	2.2	3.2	2.2	2.3	2.7	2.6	1.8	2.9	2.4	0.6	2
2.5	2.9	2.6	2.4	3.2	3.1	2.9	2.4	2.7	2.1	2.7	3.1	Suma 75.5					

Fuente: Elaboración propia

$$\bar{U} = 75.5/30 = 2.52$$

$$LCS = \bar{U} + 3 \sqrt{\frac{\bar{U}}{n}} = 2.52 + 3 \cdot 0.29 = 3.39 \quad \text{considerando que } n=75.5/30=3.39$$

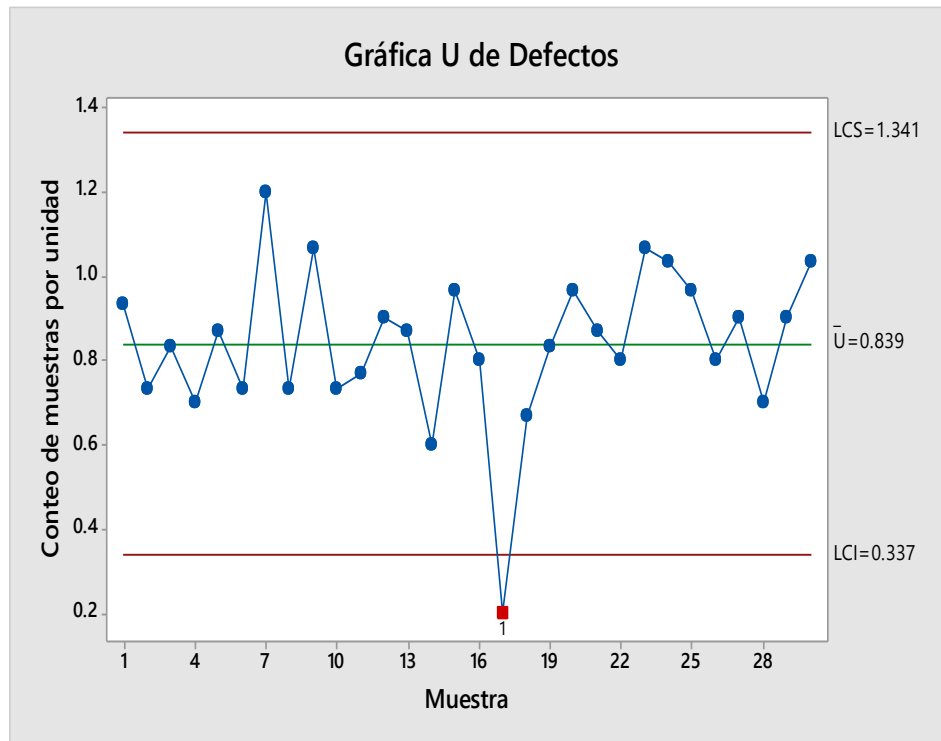
Línea central = 2.52

$$LCS = \bar{U} - 3 \sqrt{\frac{\bar{U}}{n}} = 2.52 - 3 \cdot 0.29 = 1.65$$

b) Obtenga la carta u y analícela.

Gráfica 4.13

Carta U



Fuente: Elaboración propia

c) Diferencia entre las cartas

No hay diferencia, porque son los mismos datos, solo que ahora en decimales e individuales por muestra (datos proporcionales, buenos para carta p).

d) Recomendación:

Recomendaría la primera por la forma en que están proporcionados los datos.

Siguiendo con Gutiérrez (2013), a continuación, otro ejemplo y con los resultados elaborados de forma personal: En un hotel se ha llevado de los clientes desde hace 15 semanas con el número de clientes por semana, los datos se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6
Datos de quejas

Semana	Cliente	Quejas	u_i	Semana	Cliente	Quejas	u_i
1	114	11	0.096	9	131	10	0.076
2	153	15	0.098	10	91	10	0.11
3	115	5	0.043	11	112	10	0.089
4	174	14	0.08	12	158	11	0.07
5	157	16	0.102	13	244	30	0.123
6	219	11	0.05	14	111	11	0.099
7	149	10	0.067	15	120	11	0.092
8	147	9	0.061				
				Total	2195	184	

Fuente: Elaboración propia

- Calcule los límites de control para una carta u para el número de quejas por cliente e interprete los límites que obtenga.
- Grafique la carta u correspondiente y analícela.
- ¿La estabilidad del proceso es aceptable?
- ¿Considera que la calidad del hotel es buena? Explique.
- ¿Cómo aplicaría un análisis de Pareto para enfocar un proyecto de mejora?
- ¿Si mejora o empeora la calidad, como se daría cuenta a través de esta carta de control?

Respuestas

- Límites de control para una carta u:

$$\bar{U} = 184/2195 = 0.084$$

$$LCS = \bar{U} + 3 \sqrt{\frac{\bar{U}}{n}} = 0.084 + 3 * 0.075 = 0.308$$

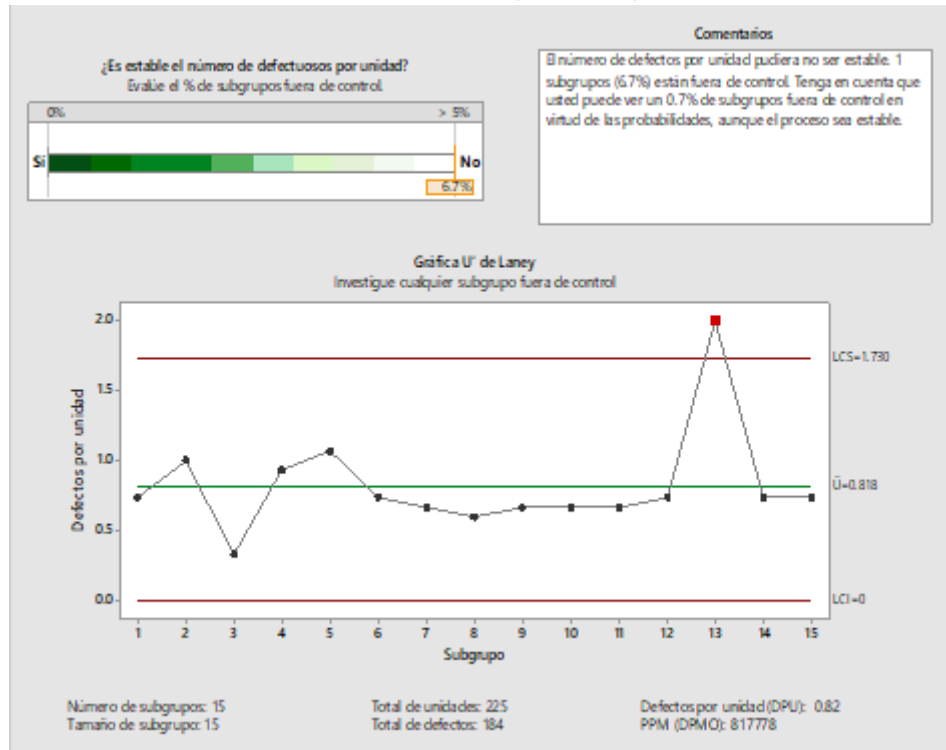
$$\text{Línea central} = 0.084$$

$$LCS = \bar{U} - 3 \sqrt{\frac{\bar{U}}{n}} = 0.084 - 3 * 0.075 = - 0.141$$

b) Carta u e interpretación:

En la gráfica el elemento 13 tiene un valor atípico.

Gráfica 4.14
Carta U de Laney de Quejas



Fuente: Elaboración propia

c) Estabilidad del proceso:

No es aceptable, aunque la mayoría de los elementos está dentro de los límites de control.

d) Calidad del hotel:

Relativamente es buena, pero tiene una analizar y determinar acciones de mejora.

e) Análisis de Pareto:

Dentro del concepto ley 80/20. Elemento 13(20%) representa el 80% de la problemática; determinar acciones.

f) ¿Si mejora o empeora la calidad, como se daría cuenta a través de esta carta de control?

4.7 Grafica de control para no conformidades

Son herramientas fundamentales para mejorar los resultados de los procesos. Con el paso del tiempo, las características de un producto tienden a presentar variaciones, las cuales deben ser controladas por los fabricantes para evitar reclamaciones de los clientes. A través de estas gráficas, es posible implementar las siguientes acciones en los procesos:

- Monitorear los procesos para estabilizarlos eliminando tanto las causas normales como, especialmente, las causas especiales. Se recomienda el uso de herramientas estadísticas descritas en este material. Las causas normales incluyen, por ejemplo, el desgaste de herramientas en procesos de maquinado, para lo cual es fundamental determinar los intervalos de cambio. En cuanto a las situaciones atípicas, se debe analizar la situación para identificar la causa raíz. Por ejemplo, en un proceso de maquinado, la materia prima podría presentar una incrustación, que suele ser un material más duro de lo habitual.

Las gráficas de control para no conformidades se utilizan para controlar el número de productos que no cumplen con las expectativas (especificaciones) de los consumidores, ya sea en organizaciones de producción o de servicios. Al detectarse una no conformidad, se debe actuar de inmediato para convertirla en una oportunidad de mejora. Las organizaciones deben contar con un procedimiento establecido para eliminar estas no conformidades. Una vez detectada, es necesario documentarla y comunicarla a los involucrados. Posteriormente, el equipo de trabajo debe determinar las acciones necesarias para su eliminación. Una herramienta sugerida para este propósito es la metodología de los "Ocho pasos en la solución de problemas".

Es crucial verificar la eficacia de las acciones correctivas implementadas, asegurándose de que no reaparezcan situaciones similares ni se repita la no conformidad que supuestamente fue corregida.

Las no conformidades pueden ser analizadas por atributos, tal como se aborda con las gráficas p, np, c y u. Es importante recordar que, ya sea en productos tangibles o intangibles, la calidad se evalúa en función de la presencia o ausencia de características especificadas. Un producto defectuoso puede presentar múltiples defectos, lo cual está detallado en los contenidos relacionados con las gráficas mencionadas.

La norma ISO 9001:2015 clasifica las no conformidades como mayores, menores y potenciales. En su apartado 4.2, establece que las organizaciones deben ser capaces de proporcionar de forma regular productos o servicios que cumplan con los requisitos del cliente y las normativas legales. Asimismo, señala la necesidad de mantener información documentada que asegure el monitoreo efectivo de los procesos. Esto incluye la implementación de acciones correctivas y la evidencia de la eficacia de dichas medidas, promoviendo así la solución de problemas y la mejora continua.

4.8 Graficas X y R simples

Están diseñadas para monitorear procesos que producen artículos cuya calidad se evalúa mediante valores variables, como peso, longitud, resistencia, conductividad, rugosidad y otras medidas. Durante las corridas de producción, estos valores pueden cambiar con el tiempo debido a causas como las identificadas en el diagrama de Ishikawa: material, mano de obra, método de trabajo, maquinaria o equipo, medio ambiente y equipo de medición.

Las causas mencionadas son comunes y, durante el proceso, pueden dar lugar a productos que no cumplan con las especificaciones establecidas. Además, existen causas especiales o atípicas que se presentan con poca frecuencia, como podría ser el caso de una acción deliberada por parte de un trabajador.

En otras palabras, estas gráficas tienen como objetivo principal observar y analizar el comportamiento de un proceso a lo largo del tiempo para identificar y controlar las variaciones que puedan afectar la calidad del producto.

Lo antes mencionado es logrado a través de una gráfica que muestra los límites de control, calculando 1º las medidas de tendencia central y dispersión como esta mostrado el tema 2. A continuación fórmulas para límite de superior (LCS) e inferior (LCI).

Límites de control para las cartas $\bar{X}$

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$$

$$\text{línea central} = \bar{\bar{X}}$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

Límites de control para las cartas X, cuando se conoce la media μ y la desviación estándar σ , aplica las siguientes.

$$LCS = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Línea central = u

$$LCI = u - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Límites de control para las cartas R

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

Línea central = $\bar{R}$

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

Límites de control para las cartas R, cuando se conoce la media u y la desviación estándar σ , aplica las siguientes.

$$u = \pm 3 \sigma_R$$

$$u = \bar{R} \quad \sigma_R = d_3 \sigma \approx d_3 \left[\frac{\bar{R}}{d_2} \right]$$

Gutiérrez (2013) propone el siguiente ejercicio, recordando que las respuestas son elaboración propia:

En una industria alimenticia se requiere garantizar que la concentración mínima de grasa sea de 1.8%. en la tabla 4.7 se muestran los datos obtenidos para un estudio inicial, con tamaño de subgrupo de 4.

- Realice un estudio de estabilidad mediante la carta $\bar{x} - R$
- Comente los resultados obtenidos en cuanto a estabilidad.
- Haga un estudio de capacidad. reporte los principales estadísticos obtenidos y coméntelos.
- ¿Cuál es el estado del proceso?

Resultados

- Estudio de estabilidad mediante la carta $\bar{x} - R$:

Cálculo de carta X

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 1.9375 + 0.729 * 0.095 = 2.006$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 1.9375$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 1.9375 - 0.729 * 0.095 = 1.868$$

Cálculo de carta R

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 0.095 = 0$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 0.095$$

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.1144 * 0.095 = 0.200$$

b) Resultados obtenidos en cuanto a estabilidad:

La estabilidad es buena, la gráfica tiene LCI= 1.8683, ninguna muestra está cerca de este límite, la especificación indica 1.8 % mínimo de contenido de grasa. ver gráfica 4.16

c) Estudio de capacidad:

$$Cpk = \text{mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma} \right] = \frac{1.9375 - 1.8}{3 * 0.07655} = 0.60$$

Realmente no se puede calcular la capacidad, debido a que no se conoce la especificación máxima. Considerando solo la especificación mínima se tiene que la capacidad no es adecuada, está en un nivel clase 4.

d) Estado del proceso:

Con la información dispuesta y los resultados de la gráfica el estado es bueno, hay poca variabilidad tanto en graficas X como en R.

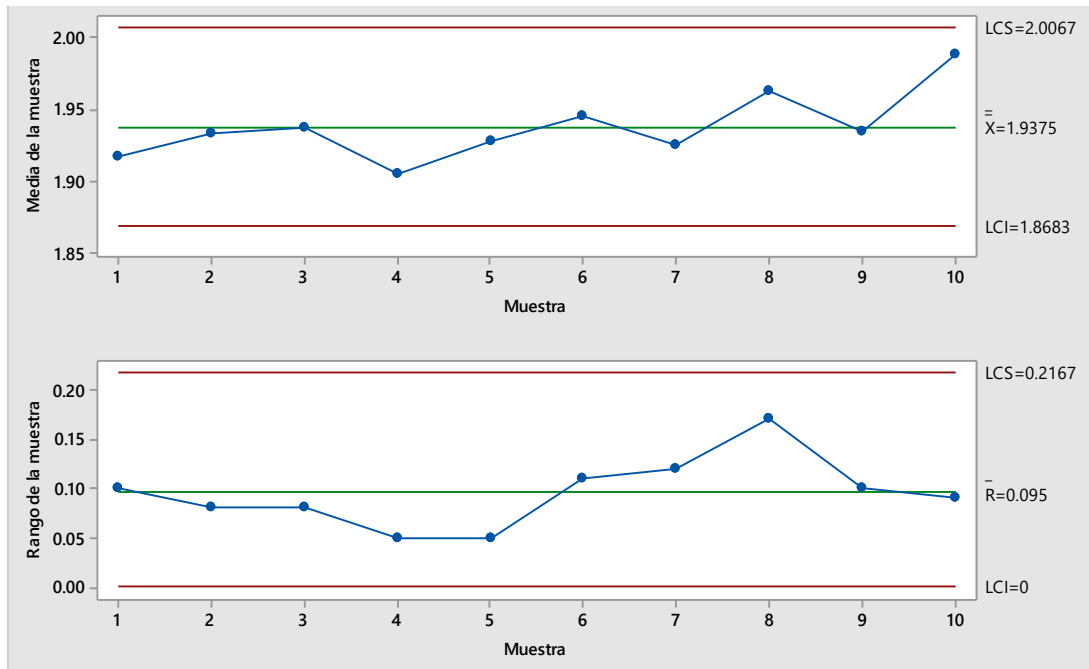
Tabla 4.7

Datos de 10 subgrupos para gráfica 4.15

Subgrupo	Grasa %				$\bar{x}$		R
1	1.88	1.93	1.98	1.88	1.9175		0.1
2	1.93	1.97	1.89	1.94	1.9325		0.08
3	1.92	1.95	1.9	1.98	1.9375		0.08
4	1.89	1.89	1.9	1.94	1.905		0.05
5	1.95	1.93	1.9	1.93	1.9275		0.05
6	2	1.95	1.94	1.89	1.945		0.11
7	1.95	1.93	1.97	1.85	1.925		0.12
8	1.87	1.98	1.96	2.04	1.9625		0.17
9	1.96	1.92	1.98	1.88	1.935		0.1
10	1.99	1.93	2.01	2.02	1.9875		0.09
	σ	0.07655	$\bar{\bar{x}}$	1.9375	$\bar{R}$		0.095

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.15
Xbarra-R de A, ..., D



Fuente: Elaboración propia

El siguiente problema corresponde a otro ejercicio planteado por Gutiérrez (2013). Los resultados presentados son de elaboración propia.

En la presentación de servicios de una empresa se registran diariamente la evaluación de los clientes. La forma operativa es la siguiente: todos los días en forma aleatoria se pide a 5 clientes atendidos que contesten una encuesta de satisfacción del servicio, la escala de satisfacción va de 10 a 100. Los datos obtenidos durante el último mes se encuentran en la Tabla 4.8.

- Mediante una tabla una carta de medias analice la estabilidad de la calidad del servicio.
- Interprete los límites de control.
- ¿El proceso es estable?
- Haga un estudio de los datos individuales (no de los promedios) calcule estadísticos básicos e histograma?
- ¿Cuál es su opinión acerca del nivel de calidad en el servicio?
- ¿Cuál es la diferencia de lo investigado en los incisos a) y d)?

Respuestas

a) Estabilidad de la calidad del servicio:

Cálculo de carta X

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 79.4 + 0.577*23.33 = 92.86$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 79.4$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 79.4 - 0.577*23.32 = 65.94$$

Cálculo de carta R

$$LCI = D_4\bar{R} = 2.1144*23.33 = 49.32$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 23.33$$

$$LCS = D_3\bar{R} = 0*23.33 = 0$$

Gráfica 4.8

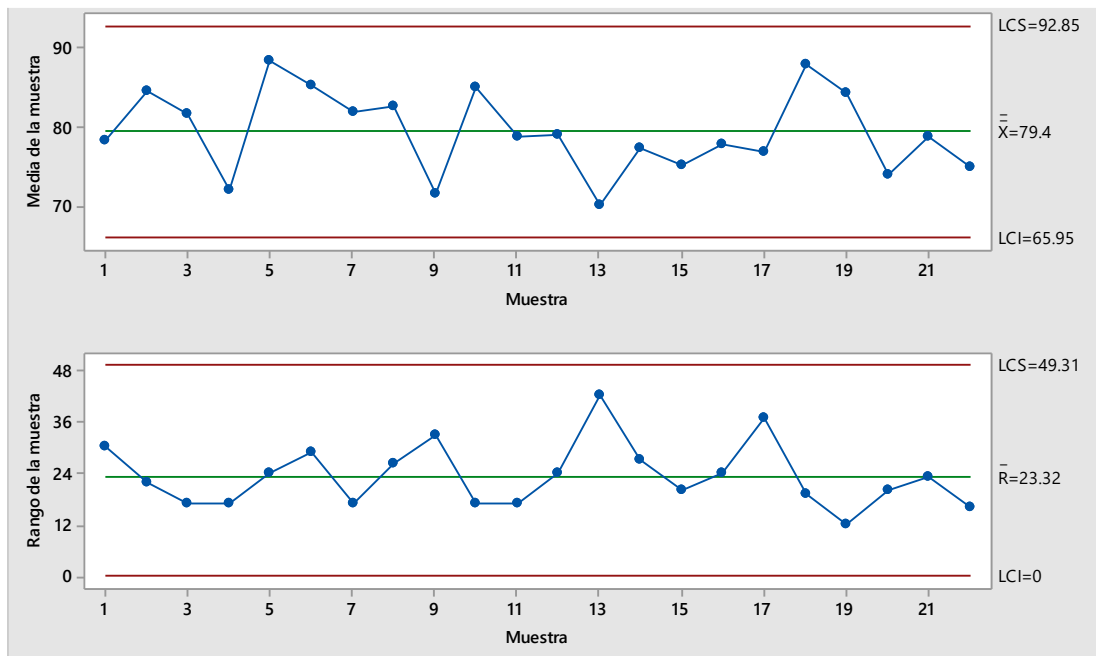
Datos de satisfacción de quejas para gráfica 4.16

Día	Calificación de los servicios					Media	Rango
1	83	84	63	68	93	78.2	30
2	84	88	71	87	93	84.6	22
3	87	76	92	75	79	81.8	17
4	71	69	79	79	62	72	17
5	76	81	100	85	100	88.4	24
6	69	86	98	84	89	85.2	29
7	88	89	75	72	86	82	17
8	96	76	71	97	73	82.6	26
9	61	71	57	90	79	71.6	33
10	82	93	87	87	76	85	17
11	80	82	66	83	83	78.8	17
12	69	84	89	88	65	79	24
13	50	92	76	62	71	70.2	42
14	74	94	73	79	67	77.4	27
15	66	74	86	78	72	75.2	20
16	80	82	84	60	83	77.8	24
17	57	87	74	94	72	76.8	37
18	99	88	83	90	80	88	19
19	87	80	89	89	77	84.4	12
20	79	85	65	71	70	74	20
21	93	70	77	80	74	78.8	23
22	73	76	81	80	65	75	16
					$\bar{\bar{X}}$	79.4	$\bar{R}$
					σ	11.54	

23.318

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.16
Xbarra-R de 1, ...,5



Fuente: Elaboración propia

Nuevamente, se presenta otro problema que corresponde a otro ejercicio planteado por Gutiérrez (2013), mientras que los resultados presentados son de elaboración propia.

En una empresa en la que se fabrican corcholatas o tapas metálicas para bebidas gaseosas, un aspecto importante es la cantidad de PVC que lleva cada corcholata el cual determina el espesor de la película que hace que la película que hace la bebida quede bien cerrada. El peso de los gránulos PVC debe estar entre 212 y 218 mg. Si el peso es menor a 212, entonces, entre otras cosas, la película es muy delgada y eso puede causar fugas de gas en la bebida. Pero si el peso es mayor a 218 mg., entonces se gasta mucho PVC y aumentan los costos. Para asegurar que se cumple con especificaciones, de manera ordinaria se usa una carta de control: cada 30 minutos se toma una muestra de cuatro gránulos consecutivos de PVC y se pesa. En la tabla 4.8 se muestran las últimas 25 medias y los rangos obtenidos del proceso.

- Calcule los límites de una carta $\bar{X}$ -R y obtenga las cartas.
- Interprete las cartas (puntos fuera, tendencias, ciclos, etcétera).
- ¿El proceso muestra una estabilidad o estado de control estadístico razonable?

Respuestas

a) Límites de una carta $\bar{X}$ -R y obtenga las cartas.

Datos: especificación de 212- 218 mg. $\bar{\bar{X}} = 300$ $R=2.136$

Cálculo de carta X

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 213.966 + 0.729*2.136 = 215.52$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 213.966$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 213.966 - 0.729*2.136 = 212.4$$

Cálculo de carta R

$$LCI = D_4\bar{R} = 2.2822*2.136= 4.8747$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 2.136$$

$$LCS = D_3\bar{R} = 0*2.136= 0$$

b) Interpretación:

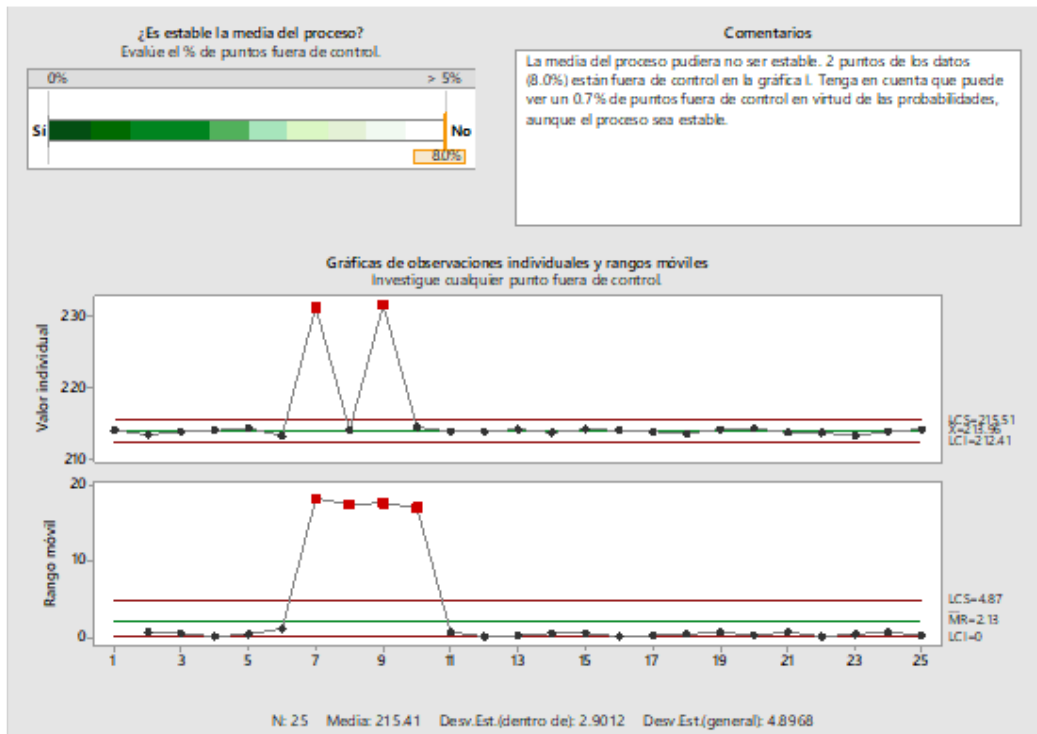
Los puntos atípicos son 7 y 9; si se considera una fe de erratas, podrían ser 231.56 y 231.72. De este modo, la tendencia mostraría poca variabilidad. La gráfica 4.17 A presenta los valores originales, mientras que la gráfica 4.17 B incluye la fe de erratas.

Tabla 4.9
Contenido de PVC para gráficas 4.17 A y B

Subgrupo	Media	Rango	Subgrupo	Media	Rango
1	214.18	2.5	14	213.74	3.2
2	213.48	2.7	15	214.26	1.2
3	213.98	2.2	16	214.18	2.2
4	214.12	1.8	17	214	1
5	214.46	2.5	18	213.6	2
6	213.38	2.7	19	214.2	2.7
7	231.56	2.3	20	214.38	0.8
8	214.08	1.8	21	213.78	2
9	231.72	2.9	22	213.74	1.6
10	214.64	2.2	23	213.32	2.4
11	213.92	2.4	24	214.02	3.2
12	213.96	3.6	25	214.24	1.1
13	214.2	0.4	$\bar{\bar{X}}$		
				215.4	
				R	2.136

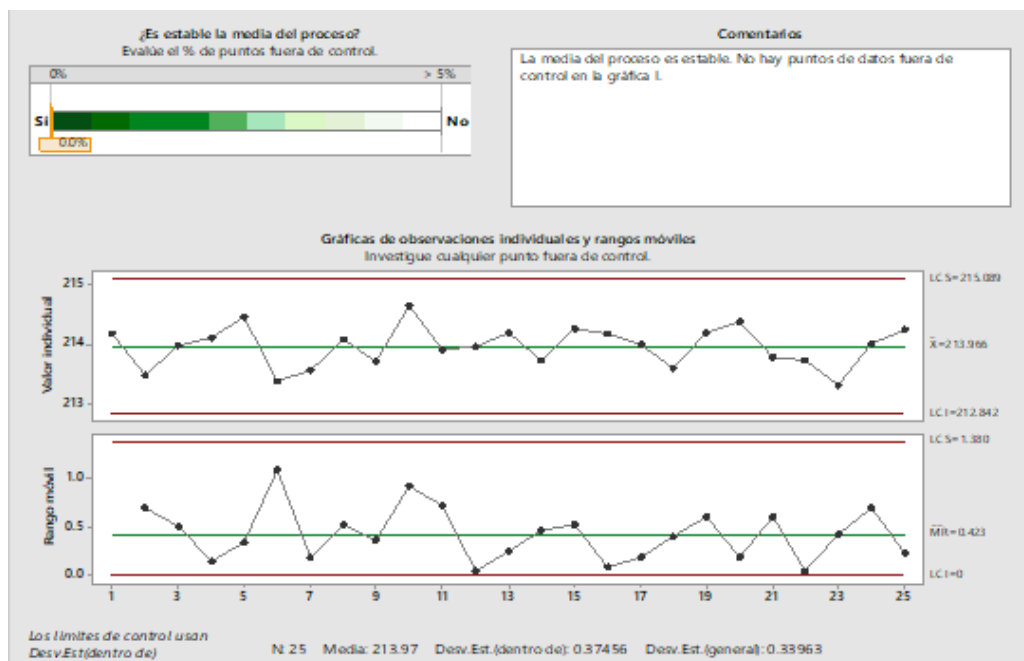
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.17 A
I-MR de media



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.17 B
I-MR de media



Fuente: Elaboración propia

c) ¿Estabilidad o estado de control estadístico razonable?

Considerando la Fe de erratas, las gráficas muestran un proceso estable. Ver Gráficas 12 A y B.

Gráficas $\bar{X} - S$

Cuando en procesos de grandes producciones se quiere mejorar la detección de pequeños cambios; son de uso las gráficas S, pues el tamaño del subgrupo debe ser >10 , pues la gráfica de Rangos ya no es recomendable para detectar cambios pequeños en los procesos, así la carta de rangos ya es deficiente para detectar la variación del proceso. La carta S integra la desviación estándar de los subgrupos.

Fórmulas:

$$\text{Límites de control} = \mu_s \pm 3\sigma_s$$

μ_s representa la media de S y σ_s la desviación estándar de S

$\mu_s = C_4 \sigma$ de donde C_4 valor de tabla de factores para la construcción de cartas de control y σ es la desviación estándar del proceso.

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

$$\text{LCS} = \bar{S} + 3 \frac{\bar{S}}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2} = \text{Límite de control superior}$$

$$\text{Línea Central} = \bar{S}$$

$$\text{LCI} = \bar{S} - 3 \frac{\bar{S}}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2} = \text{Límite de control inferior}$$

En caso de la carta $\bar{X}$ acompañada por S, los límites son calculados:

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

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}}$$

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

Gutiérrez (2013), menciona el siguiente problema, siendo las respuestas de elaboración propia.

En un proceso donde se desea detectar cambios pequeños se decide aplicar una carta de control $\bar{X}$ -S. Utilizando un tamaño de subgrupo de $n=12$, y obteniendo un total de 25 subgrupos se obtiene que $\bar{\bar{X}} = 32.2$ y $\bar{\bar{S}} = 6.2$.

- Obtenga los límites de control de la carta $\bar{X}$ e interprételos.
- Obtenga los límites de la carta S e interprételos.
- Estime los límites naturales del proceso e interprételos.
- ¿Por qué difiere la interpretación de los límites anteriores?

Respuestas

a) Límites de control de la carta $\bar{X}$ e interpretación:

$$LCS = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{\bar{S}}}{c_{4\sqrt{n}}} = 32.2 + 3 \frac{6.2}{0.9776*3.46} = 37.7$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 32.2$$

$$LCS = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{\bar{S}}}{c_{4\sqrt{n}}} = 32.2 - 3 \frac{6.2}{0.9776*3.46} = 26.7$$

b) Límites de la carta S e interpretación:

$$LCS = \bar{\bar{S}} + 3 \frac{\bar{\bar{S}}}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2} = 6.2 + 3 \frac{6.2}{0.9776} * 0.212 = 10.23$$

$$\text{Línea Central} = \bar{\bar{S}} = 6.2$$

$$LCI = \bar{\bar{S}} - 3 \frac{\bar{\bar{S}}}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2} = 6.2 - 3 \frac{6.2}{0.9776} * 0.212 = 2.17$$

c) Límites naturales del proceso e interpretación:

$$LRS = \text{Limite real superior} = \mu + 3 \sigma = 32.2 + 3*6.2 = 50.8$$

$$LRS = \text{Limite real inferior} = \mu - 3 \sigma = 32.2 - 3*6.2 = 13.6$$

Interpretación los números indican como debe variar los valores de la especificación; en este caso no se conocen las especificaciones para poder comparar.

d) Diferencia en la interpretación de los límites anteriores:

La diferencia es porque son diferentes planteamientos, gráficas $\bar{X}$, $\bar{S}$ y Límites reales. Son diferentes maneras de monitorear un proceso.

Otro problema a resolver que propone Gutiérrez (2013), con resultados de elaboración propia, es el siguiente:

Los datos de la tabla 4.10 representan los resultados obtenidos en un proceso. Como se aprecia, el tamaño del subgrupo es de $n=10$ y se obtiene en un total de 20 subgrupos. Conteste lo siguiente:

- las celdas para la media y la desviación estándar para los subgrupos 2 y 6 están vacías, calcúlelas.
- Calcule los límites de control para las cartas $\bar{X}$ -S e interprételas.
- Grafique las cartas $\bar{X}$ -S e interprételas.
- ¿El proceso tiene una estabilidad aceptable? Argumente.
- Si hay causas especiales de variación, elimine los subgrupos correspondientes y vuelva a calcular los límites de control.

Tabla 4.10
Datos de los resultados de un proceso.

Subgrupo	Subgrupo	Mediciones								$\bar{x}$		σ STDEV.S
1	50	41	21	52	55	45	62	55	28	51	46	12.780193
2	60	44	61	61	53	36	60	45	71	57	54.8	10.368756
3	69	53	65	63	54	35	37	66	55	39	53.6	12.677189
4	40	67	64	46	53	64	43	39	48	38	50.2	11.173381
5	46	60	75	55	56	59	60	73	75	60	61.9	9.5504508
6	45	50	57	45	35	61	35	53	58	31	47	10.614456
7	46	56	48	43	30	56	50	48	41	50	46.8	7.6274359
8	62	59	52	47	68	46	47	44	38	54	51.7	9.1536271
9	61	79	49	55	58	39	41	58	28	67	53.5	14.78926
10	27	62	51	50	39	40	51	47	61	60	48.8	11.113555
11	58	55	46	68	66	58	42	50	52	35	53	10.284832
12	65	20	42	75	36	65	24	65	62	33	48.7	19.866499
13	52	58	62	55	53	44	52	41	46	61	52.4	7.0427267
14	44	50	53	61	54	59	54	55	32	50	51.2	8.2569836
15	35	47	60	59	64	48	52	55	64	49	53.3	9.0191155
16	50	58	44	48	37	46	43	66	51	52	49.5	8.1411165
17	45	52	56	61	47	76	44	66	43	38	52.8	11.91451
18	40	72	25	67	47	33	54	42	50	40	47	14.476034
19	52	52	42	60	52	35	42	37	58	65	49.5	10.113248
20	50	23	37	48	52	48	33	39	60	77	46.7	15.055822
										$\bar{\bar{x}}$	50.92	
										σ	11.20096	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Respuestas:

a) Las celdas para la media y la desviación estándar:

Los valores son para celda 2, $\bar{X} = 54.8$ y $\sigma = 10.36$ y para celda 6, $\bar{X} = 47$ y $\sigma = 10.61$. Están registradas en la Tabla 4.10.

b) Límites de control para las cartas $\bar{X}$ -S e interprételas.

$$LCS = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{S}}{c_{4\sqrt{n}}} = 50.92 + 3 \frac{11.2}{0.9776\sqrt{10}} = 61.55$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 50.92$$

$$LCS = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{S}}{c_{4\sqrt{n}}} = 40.05$$

Interpretación según los valores de la tabla hay un valor cerca del LCS.

c) Gráfica de las cartas $\bar{X}$ -S e interpretación:

No es aceptable debido a que hay subgrupos atípicos.

d) ¿Estabilidad aceptable? Argumentación:

Interpretación tanto en la gráfica de medias como en la desviación estándar hay puntos cerca y arriba de LCS. Como son únicos deben ser de un subgrupo atípico. Tanto en la gráfica de medias como en la desviación estándar hay puntos cerca y arriba de LCS. Como son únicos deben ser de un subgrupo atípico.

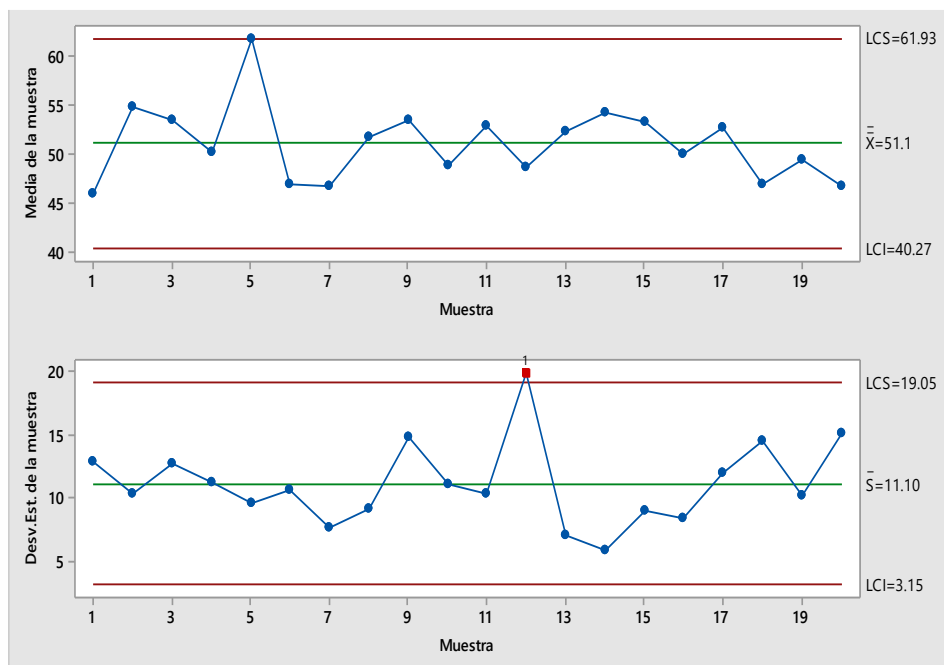
e) Eliminación de los subgrupos correspondientes y límites de control:

$$LCS = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{S}}{c_{4\sqrt{n}}} = 50.43 + 3 \frac{10.81}{0.9776\sqrt{10}} = 60.1$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 50.43$$

$$LCS = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{S}}{c_{4\sqrt{n}}} = 40.42$$

Gráfica 4.18
Xbarra-S de A, ..., J



Fuente: Elaboración propia.

4.9 Análisis de la capacidad del proceso

El análisis se centra en los conceptos esenciales de capacidad y estabilidad dentro de los procesos industriales. Estos aspectos son fundamentales para el control estadístico de la calidad, ya que permiten a las organizaciones determinar si sus procesos están funcionando dentro de los límites aceptables y si mantienen una consistencia adecuada a lo largo del tiempo. Estas características aseguran que los productos finales cumplan con los requisitos (especificaciones) de calidad esperados y reducen la probabilidad de errores o defectos.

La capacidad de un proceso se define como su habilidad para producir resultados dentro de los límites de especificación predeterminados. Este concepto es crucial en ambientes de manufactura y servicios, ya que permite asegurar que los productos cumplen consistentemente con los estándares de calidad.

La capacidad se evalúa mediante índices de capacidad como el Cpk, Cp y el Cpm. El índice Cpk mide la relación entre el rango de tolerancia y la variabilidad del proceso, mientras que el índice Cp ajusta esta medida al centrado del proceso dentro del rango de especificación. Si un proceso tiene un Cp alto, pero un Cpk bajo, puede estar produciendo dentro del rango de tolerancia, pero no de manera constante o centrada, lo que aumenta el riesgo de defectos. La evaluación de estos índices permite identificar oportunidades para reducir la variabilidad y mejorar la consistencia del proceso.

Por ejemplo, en una línea de producción de componentes electrónicos, un proceso con un índice Cp adecuado produce chips con dimensiones específicas de manera consistente. Sin embargo, si el Cpk es bajo, los chips pueden estar en el límite del rango de especificación, aumentando el riesgo de que algunos resulten inaceptables, especialmente si ocurre alguna variación menor en el proceso.

La estabilidad en un proceso se refiere a su capacidad para mantenerse en control y producir sin variaciones no deseadas a lo largo del tiempo. La estabilidad se evalúa comúnmente utilizando cartas de control como las cartas X-R, que ayudan a monitorear las tendencias del proceso. Estas cartas permiten identificar causas comunes y causas especiales de variación.

- Causas comunes: son variaciones inherentes al proceso que ocurren de manera aleatoria y constante. Ejemplos incluyen fluctuaciones menores en la temperatura ambiente o variaciones en las propiedades de los materiales.
- Causas especiales(atípicas): son variaciones inusuales y significativas, que suelen indicar problemas en el proceso, como fallos en el equipo o errores humanos. Estas causas deben ser identificadas y eliminadas para restablecer la estabilidad.

Al utilizar cartas de control, los ingenieros de calidad pueden detectar patrones inusuales, como aumentos repentinos en la variabilidad de un proceso de manufactura, y tomar medidas para corregir problemas específicos antes de que afecten la producción de manera significativa.

Cuando se determina que un proceso es inestable, se deben implementar estrategias para estabilizarlo y mejorar su rendimiento. El primer paso en este proceso es identificar y eliminar las causas especiales de variación. Entre las estrategias de mejora más comunes se incluyen:

- Ajustes en los métodos de trabajo: mejorar la consistencia en los procedimientos de trabajo puede ayudar a reducir la variabilidad.
- Capacitación del personal: invertir en la capacitación del equipo asegura que las tareas se realicen correctamente y que el personal esté capacitado para responder a situaciones inusuales.
- Optimización del equipo y maquinaria: mejorar el mantenimiento y la calibración de las máquinas reduce las fallas y aumenta la precisión del proceso.

En la práctica, una empresa dedicada a la fabricación de productos farmacéuticos puede enfrentar variabilidad en la mezcla de ingredientes activos. La implementación de estrategias para estabilizar este proceso podría incluir la instalación de sensores avanzados para monitorear la dosificación y ajustes automáticos en tiempo real para mantener las proporciones precisas.

Los procesos se pueden clasificar en cuatro tipos principales según su capacidad y estabilidad. Esta clasificación ayuda a los gestores de calidad a priorizar sus esfuerzos de mejora:

- Tipo A: Procesos estables y con alta capacidad, ideales para asegurar productos de calidad consistentes. Estos procesos requieren monitoreo regular pero no necesariamente una intervención constante.
- Tipo B: Procesos estables con baja capacidad, donde se requiere mejorar la precisión o ajustar los límites de especificación para cumplir consistentemente con los estándares.
- Tipo C: Procesos inestables y de baja capacidad, los cuales representan un riesgo significativo para la calidad y requieren de una revisión exhaustiva para mejorar tanto su control como su precisión.
- Tipo D: Procesos inestables con alta capacidad, donde el enfoque debe estar en mejorar la estabilidad para aprovechar plenamente la capacidad de producción.

Cada tipo de proceso requiere un enfoque único para la mejora continua. Los procesos Tipo C, por ejemplo, necesitan una combinación de ajustes en el equipo y mejora en los métodos de trabajo, mientras que los procesos Tipo D pueden beneficiarse de una mayor atención a la variabilidad en las materias primas o en la capacitación del personal.

Una de las consecuencias directas de mejorar la capacidad y estabilidad de los procesos es el aumento de la productividad. Procesos bien controlados permiten reducir el desperdicio, minimizar los tiempos de re-trabajo y evitar problemas de calidad que puedan afectar la satisfacción del cliente. La optimización de los procesos productivos puede conducir a una reducción en los costos y un mejor aprovechamiento de los recursos.

Por ejemplo, una empresa de producción de alimentos que implementa controles estadísticos de calidad logra reducir los errores en la mezcla de ingredientes, lo que no solo mejora la consistencia del sabor, sino que también reduce la necesidad de corregir lotes defectuosos, aumentando la productividad y reduciendo los costos de producción.

Finalmente, se introduce el concepto de procesos de clase mundial, aquellos que cumplen con estándares de calidad internacional y demuestran una alta capacidad y estabilidad. Estos procesos no solo cumplen con los requisitos de calidad internos, sino que también exceden las expectativas en términos de eficiencia y efectividad, permitiendo a las empresas ser competitivas en un mercado global. Son procesos que tiene $Cpk \geq 6$

Para lograr procesos de clase mundial, las organizaciones implementan estrategias como Seis Sigma, que ayuda a identificar y eliminar las causas de errores y variaciones en los procesos. Las empresas que alcanzan este nivel de excelencia suelen ser líderes en sus sectores y se caracterizan por su capacidad de innovación y su compromiso con la mejora continua.

En conclusión, el control de la capacidad y estabilidad de los procesos es esencial para cualquier organización que busque asegurar la calidad de sus productos y servicios. La implementación de herramientas estadísticas, junto con una estrategia de mejora continua, permite a las empresas optimizar sus procesos, reducir costos y ser más competitivas en un entorno globalizado. El desarrollo de procesos de clase mundial no solo aumenta la satisfacción del cliente, sino que también contribuye a la rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo de la organización.

4.10 Procedimientos especiales para el control de procesos

El control estadístico tiene diseñados procedimientos especiales para detectar variaciones en los procesos de producción, así como para controlar la calidad de manera más precisa y efectiva. En seguida se describen las cartas CUSUM, EWMA y ARIMA, cada una con sus propias características y aplicaciones específicas dentro del contexto del control de calidad.

1. Cartas CUSUM (Cumulative Sum Control Chart)

Las cartas CUSUM son un tipo de carta de control que se utiliza para monitorear pequeños cambios en la media de un proceso de producción. A diferencia de las cartas de control tradicionales como las X-R o X-S, que monitorizan cada punto de datos individualmente, las cartas CUSUM acumulan la desviación de cada punto respecto al valor objetivo o promedio esperado a lo largo del tiempo. Este enfoque permite detectar de manera más temprana y efectiva desviaciones pequeñas, que podrían pasar desapercibidas con otros tipos de cartas de control.

Características principales:

- **Acumulación de desviaciones:** En lugar de evaluar cada punto de datos de manera aislada, la carta CUSUM calcula la desviación de cada observación con respecto al valor objetivo y acumula estas desviaciones. Este enfoque es particularmente útil cuando los cambios en el proceso son pequeños, pero persistentes a lo largo del tiempo.
- **Detección de cambios pequeños:** Las cartas CUSUM son muy eficaces para detectar cambios de magnitud pequeña en la media del proceso. Mientras que las cartas Shewhart tradicionales detectan cambios grandes de manera rápida, las cartas CUSUM están diseñadas para identificar cambios menores, que podrían no ser detectados inmediatamente por otros tipos de cartas.
- **Control de dos lados:** Las cartas CUSUM normalmente cuentan con dos sumas acumuladas: una para monitorear desviaciones por encima del promedio y otra para monitorear desviaciones por debajo. Esto permite detectar tanto aumentos como disminuciones en el valor del proceso.

Ventajas de las cartas CUSUM:

- **Detección temprana de cambios:** Debido a que acumulan las desviaciones a lo largo del tiempo, las cartas CUSUM permiten identificar cambios en el proceso mucho antes que las cartas de control convencionales.
- **Flexibilidad:** Se pueden utilizar para monitorear tanto la media como la variabilidad de un proceso, y son especialmente útiles cuando se desea monitorear la estabilidad del proceso a largo plazo.
- **Aplicaciones en la industria:** Estas cartas son comunes en industrias donde los procesos requieren un monitoreo continuo y preciso, como en la producción farmacéutica, alimentaria o automotriz.

Desventajas:

- **Complejidad:** Requieren un mayor esfuerzo en términos de cálculo y configuración, en comparación con las cartas tradicionales.
- **Sensibilidad:** Las cartas CUSUM pueden ser más sensibles a errores aleatorios, lo que puede resultar en falsas alarmas si no se implementan correctamente.

En resumen, las cartas CUSUM son herramientas potentes y especializadas que permiten una detección precisa de desviaciones pequeñas en un proceso de manufactura o servicio. A pesar de su complejidad, ofrecen ventajas significativas en términos de precisión y capacidad de detección temprana de problemas.

2. Cartas EWMA (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart)

Las cartas EWMA son otra técnica avanzada de control estadístico de procesos que es utilizada para detectar cambios pequeños y graduales en un proceso a lo largo del tiempo. A diferencia de las cartas de control convencionales, que asignan el mismo peso a cada punto de datos, las cartas EWMA asignan más peso a las observaciones más recientes, lo que permite detectar tendencias o cambios en la media del proceso de manera más rápida y efectiva.

Características principales:

- Promedio móvil ponderado: La característica principal de las cartas EWMA es que calculan un promedio móvil ponderado, en el cual las observaciones más recientes tienen más peso que las observaciones anteriores. Esto permite que la carta EWMA reaccione más rápidamente a cambios recientes en el proceso.
- Monitorización de cambios graduales: Las cartas EWMA son especialmente útiles para detectar cambios pequeños y graduales en un proceso que puede pasar desapercibido con otros tipos de cartas de control.
- Fórmula de cálculo: El valor de EWMA se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$EWMA_t = \lambda X_t + (1 - \lambda) EWMA_{t-1}$$

Donde:

- λ es el factor de ponderación, que controla la rapidez con la que el EWMA responde a los cambios en los datos recientes. Un valor típico de λ está entre 0.2 y 0.3.
- X_t es el valor actual de la observación.
- $EWMA_{t-1}$ es el valor previo del promedio ponderado.

Ventajas de las cartas EWMA:

- Detección sensible de cambios: Gracias a la ponderación exponencial, las cartas EWMA reaccionan rápidamente a cualquier cambio reciente en el proceso, lo que permite tomar medidas correctivas antes de que los problemas empeoren.
- Monitoreo continuo: Las cartas EWMA son útiles para monitorear procesos que están sujetos a cambios graduales, en lugar de variaciones bruscas.
- Aplicaciones: Son ampliamente utilizadas en la industria química, farmacéutica y de manufactura de alta precisión, donde los cambios graduales en el proceso pueden afectar la calidad del producto.

Desventajas:

- Sensibilidad excesiva: Como las cartas EWMA dan más peso a las observaciones recientes, pueden ser más sensibles a ruidos o variaciones aleatorias, lo que puede llevar a falsas alarmas.
- Complejidad en su implementación: La configuración de los parámetros adecuados, como el valor de λ , puede requerir experimentación y ajuste para cada proceso específico.

En resumen, las cartas EWMA son herramientas eficaces para detectar cambios pequeños y graduales en la media del proceso. Aunque requieren una mayor sensibilidad en su configuración, su capacidad para reaccionar rápidamente a cambios recientes las convierte en una opción valiosa para el control de calidad.

3. Modelos ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average)

Los modelos ARIMA son una metodología estadística avanzada que se utiliza para analizar y predecir series de tiempo auto correlacionadas. En el contexto del control de calidad, estos modelos son útiles cuando las observaciones sucesivas en un proceso están correlacionadas entre sí, lo que significa que no son independientes. Este enfoque es particularmente útil en situaciones donde la variación en un proceso está influenciada por factores que persisten a lo largo del tiempo.

Características principales:

- Autocorrelación: A diferencia de las cartas de control convencionales, que asumen que las observaciones son independientes, los modelos ARIMA reconocen que las observaciones en una serie de tiempo pueden estar correlacionadas entre sí. Esto es importante en procesos donde los eventos pasados influyen en los resultados futuros.
- Tres componentes clave:
 - AR (Autorregresiva): Esta componente modela la dependencia entre una observación y los valores anteriores en la serie de tiempo.
 - I (Integrated): Se refiere a la diferenciación de los datos para hacer que la serie de tiempo sea estacionaria, es decir, que sus propiedades no cambien a lo largo del tiempo.
 - MA (Moving Average): Modela la dependencia entre una observación y los errores pasados en la serie de tiempo.
- Uso en control de calidad: Los modelos ARIMA son útiles en el control de calidad para procesos auto correlacionados, donde las cartas de control tradicionales no son eficaces. Esto incluye procesos donde las mediciones consecutivas están altamente correlacionadas, como en sistemas de monitoreo continuo.

Ventajas de los modelos ARIMA:

- Predicción precisa: Los modelos ARIMA permiten hacer predicciones más precisas sobre el futuro comportamiento de un proceso basado en sus patrones históricos, lo que es invaluable para tomar decisiones preventivas.
- Aplicación en procesos complejos: Son especialmente útiles en la industria donde los procesos son complejos y los datos muestran fuertes correlaciones temporales.

Desventajas:

- Complejidad: Los modelos ARIMA son significativamente más complejos de implementar que otros métodos de control estadístico, y requieren conocimientos avanzados en análisis de series de tiempo.
- Requiere series de tiempo estacionarias: Para aplicar un modelo ARIMA, es necesario que la serie de tiempo sea estacionaria, lo que a menudo implica la necesidad de transformar los datos antes del análisis.

En resumen, los modelos ARIMA son una herramienta poderosa para analizar y controlar procesos auto correlacionados en los que los métodos tradicionales de control de calidad no serían efectivos. Aunque son más complejos de implementar, ofrecen una precisión superior en la predicción y el análisis de series de tiempo.

Las tres herramientas avanzadas de control de calidad: cartas CUSUM, cartas EWMA y modelos ARIMA proporcionan una visión detallada de los procesos de manufactura. Cada una de estas herramientas tiene aplicaciones específicas y es especialmente útil para detectar cambios pequeños o graduales en los procesos de producción, lo que permite a las organizaciones mantener un control más estricto sobre la calidad. Aunque requieren un mayor esfuerzo en términos de configuración y análisis, estas herramientas ofrecen un control más preciso y efectivo en comparación con los métodos tradicionales.

Referencias bibliográficas

- Apuntes en línea (autor corporativo, sin fecha) Cont Adva Center-Contabilidad Administrativa y de Costos. (s. f.). *Apuntes: Estadística y control de calidad*. [Archivo PDF]. Recuperado de <http://gc.scalahed.com/costo10.pdf>
- Documento PDF en sitio web (autor corporativo, sin fecha) Universidad de Granada. (s. f.). *Tema 4: Estadística* [Archivo PDF]. Recuperado de <https://www.ugr.es/estadistica/tema4.pdf>
- Gutiérrez Pulido, H. (2014). *Calidad y Productividad* (4ª ed.). McGraw Hill Education. México.
- Gutiérrez Pulido, H., & Román de la Vara Salazar, H. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (3ª ed.), p. 87-89 ejercicios 14, 15, 17, 18,21,22,26, p.91-92 ejercicios 40,42, p.99, p. 129-130 ejercicios 4,7, p.200-201 ejercicio 12, y 14. p. 203-204 ejercicios 15 y 17, p.207-208 ejercicios 29 y 30, p.218 ejemplo 8.2, p. 231-234 ejercicios 5,10, 19, 20,21 y 24, McGraw Hill Education. México.

Florencio Vázquez Ovalle

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::20755:422167814

Fecha de entrega

20 ene 2025, 12:33 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

20 ene 2025, 12:39 p.m. GMT-6

Nombre de archivo

Apuntes FVO 2025.pdf

Tamaño de archivo

1.2 MB

115 Páginas

30,048 Palabras

145,097 Caracteres

Página 1 of 136 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::20755:422167814

Página 1 of 136 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::20755:422167814

30% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Exclusiones

N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

26% Fuentes de Internet

1% Publicaciones

21% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

Caracteres reemplazados

18 caracteres sospechosos en N.º de páginas

Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Página 2 of 136 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega
trn:oid:::20755:422167814

Página

CARTA DE RECONOCIMIENTO DEL AUTOR DE LOS DERECHOS A FAVOR DEL TECN M

Ciudad de México, 12/02 /2025

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO PRESENTE

Bajo protesta de decir verdad, **Florencio Vazquez Ovalle**, personal docente adscrito al Instituto Tecnológico de San Luis Potosí del Tecnológico Nacional de México, manifiesto que en cumplimiento de mis actividades relacionadas con el Año Sabático **elaboré la obra titulada "B-1/B2 Elaboración de Apuntes de la asignatura Estadística y Control de Calidad"**.

Con base en lo anterior, y con fundamento en los artículos 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y 46 de su Reglamento, reconozco que el Tecnológico Nacional de México es titular de los derechos patrimoniales sobre la misma y le corresponden las facultades relativas a la divulgación, integridad de la obra y de colección, conservando el derecho a figurar como autor.

Asimismo, respondo por la autoría y originalidad de la citada obra; y relevo de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México de cualquier demanda o reclamación que llegara a formular alguna persona física o moral que considere que con esta obra es afectado en alguno de los derechos protegidos por la Ley en cita, asumiendo todas las consecuencias legales y económicas.

ATENTAMENTE



Florencio Vazquez Ovalle

AUTOR

<https://registro.conahcyt.mx/account/activate?key=A2igC4FrHSf2Z6NPaxNc>