INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO CORPORATIVO

EDWARDS DEMING®

saber qué hacer y cómo hacerlo

Control Estadístico **de Procesos**



Autor:

CRISTIAN HERIBERTO LIGÑA CUMBAL

AÑO 2024

Deming

EDITORIAL TECNOLÓGICA

Cristian Heriberto Ligña Cumbal

Control estadístico de procesos

Prólogo escrito por el PhD. Henry Mariño

Editorial Deming

Control estadístico de procesos
Autor: Cristian Heriberto Ligña Cumbal

Editorial Deming
Dirección: Calle Edmundo Chiriboga OE-3H y Jorge Páez, Quito, Ecuador

Primera edición – Año 2024

ISBN: 978-9942-692-33-7

Impreso por: GraficArte

Asesoría y colaboración: didáctica editorial

© Este libro es de uso científico, académico e investigativo. Prohibida su comercialización.

Para más información, escribir al correo:
editorial@deming.edu.ec

El Control Estadístico de Procesos (SPC) es una metodología esencial para la gestión de la calidad y la mejora continua en los entornos de producción y servicios. Este libro proporciona los fundamentos y aplicaciones del SPC, abarcando desde los conceptos básicos de calidad y competitividad hasta las estrategias avanzadas para la medición y control de procesos.

En el primer capítulo podrás encontrar los conceptos de calidad, productividad y variabilidad, destacando la importancia del pensamiento estadístico para comprender y gestionar la variabilidad inherente a cualquier proceso. En los capítulos siguientes, se profundiza en la capacidad de procesos y la estadística descriptiva, presentando medidas de tendencia central, dispersión y herramientas gráficas como histogramas y tablas de frecuencias. Se detallan los principios del mejoramiento continuo y los sistemas de control de procesos, distinguiendo entre la variabilidad común y asignable, y proporcionando técnicas para identificar y mitigar estas variaciones. El libro también cubre en profundidad las gráficas o cartas de control, tanto para variables como para atributos, explicando su interpretación y los índices de capacidad de procesos. Las técnicas de prevención y detección de variaciones se abordan con precisión, proporcionando una base sólida para el uso eficaz del SPC en la gestión de la calidad.

Invitamos al lector a sumergirse en esta obra para adquirir las habilidades necesarias que permitirán optimizar la calidad y eficiencia en sus organizaciones.

PhD. Henry Mariño

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN 14

CAPÍTULO I CONCEPTOS BÁSICOS DE CALIDAD 15

Calidad y competitividad 15

Estrategias para mejorar la calidad 17

Productividad 18

Factores que afectan la productividad 18

Estrategias para aumentar la productividad 19

Medición del desempeño de una empresa 19

Métodos de medición del desempeño 20

Implementación de un sistema de medición del desempeño 22

Variabilidad y pensamiento estadístico 24

Variabilidad 24

Pensamiento estadístico 27

CAPÍTULO II CAPACIDAD DE PROCESOS: ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA 28

Capacidad de procesos 28

Medidas de tendencia central 29

Media aritmética 29

Mediana 30

Moda 31

Medidas de dispersión o variabilidad 31

Rango 32

La varianza y la desviación estándar 32

Coeficiente de variación 33

Relación entre X y S (interpretación de la desviación estándar) 34

Regla empírica 34

La regla de Bienaymé Chebyshed 35

Límites reales o naturales 36

Histograma y tabla de frecuencias 37
CAPÍTULO III MEJORAMIENTO CONTINUO Y CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS 44
Prevención versus Detección 44
Sistema de control de procesos 45
Control Estadístico de Procesos (SPC) 46
La variabilidad 47
Fuentes de variación 48
Variación común, aleatoria o inherente 49
Variación asignable, sistemática o especial 50
Dos tipos de pérdidas, dos tipos de errores 51
CAPÍTULO IV GRÁFICAS O CARTAS DE CONTROL 52
Cartas de control 53
Tipos de cartas de control 54
Carta de control $X - R$ (VARIABLES) 55
Índices de capacidad de procesos 58
Carta de control p (ATRIBUTOS) 59
Interpretación de las cartas de control 61
Puntos fuera de los límites de control 61
Puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central 62
Puntos consecutivos, todos en orden creciente o decreciente 62
Ciclos en el nivel del proceso 62
Atracción hacia la línea central 63
Atracción hacia los límites de control 63
Saltos del nivel del proceso 64
GLOSARIO DE TÉRMINOS 65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67
APÉNDICE A 68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Tabla de datos ejemplo tiempo de espera* 24

Tabla 2. *Tabla ejemplo 2.1* 29

Tabla 3. *Comparación de porcentajes según distribuciones* 36

Tabla 4. *Identificación de máximos y mínimos del ejemplo 2.1* 38

Tabla 5. *Datos ejemplo 4.2* 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Esquema general de un proceso* 16

Figura 2. *Componentes de la satisfacción de un cliente* 16

Figura 3. *Relación calidad-competitividad* 17

Figura 4. *Criterios para determinar el desempeño de una empresa* 20

Figura 5. *Criterios para determinar el desempeño de una empresa* 20

Figura 6. *Criterios para determinar el desempeño de una empresa* 22

Figura 7. *Ejemplo de variabilidad en las empresas* 25

Figura 8. *Causas de la variabilidad de un proceso* 26

Figura 9. *Pensamiento estadístico en los tres niveles de la organización* 27

Figura 10. *Ejemplo de dispersión de series de datos* 31

Figura 11. *Ejemplo de dispersión de series de datos sin sesgado extremo* 35

Figura 13. Histograma con un gran número de elementos 43

Figura 14. *Esquema de un proceso enfoque prevención* 45

Figura 15. *Bloques de un proceso* 47

Figura 16. *Variación en el tiempo – causa común* 49

Figura 17. *Variación en el tiempo – causa especial* 51

Figura 18. *Actividades básicas producto del uso de cartas de control* 52

Figura 19. *Efectos de las causas especiales y comunes en el proceso* 53

Figura 20. *Datos de subgrupo para ejemplo* 55

Figura 21. *Carta de medias para ejemplo* 57

Figura 22. *Carta de rangos para ejemplo* 58

Figura 23. *Valores de Cp y su interpretación* 58

Figura 24. *Carta de control p para ejemplo 4.2* 61

Figura 25. *Puntos fuera de los límites de control*..... 61

Figura 26. *Puntos al mismo lado de la línea central* 62

Figura 27. *Puntos en tendencia creciente o decreciente* 62

Figura 28. *Puntos lejos de la línea central y cerca de los límites de control* 63

Figura 29. *Puntos atraídos hacia la línea central*..... 63

Figura 30. *Puntos atraídos hacia los límites de control* 63

Figura 31. *Puntos alrededor del cual varían las observaciones*..... 64

INTRODUCCIÓN

¿Qué sería de la calidad sin la estadística? Para prosperar en el clima económico de hoy, las empresas deben estar dedicadas al mejoramiento continuo. Se debe buscar constantemente formas más eficientes de fabricar productos y brindar servicios. Estos productos y servicios deben continuar mejorando en valor, hay que enfocarse en el cliente, tanto interno como externo; y, hacer de su satisfacción un objetivo primario para el giro del negocio.

Para lograr esto, todos en una organización deben estar comprometidos con el mejoramiento y el uso de métodos efectivos.

Este cuaderno de trabajo describe varios métodos estadísticos básicos que pueden ser usados para lograr que los esfuerzos de mejoramiento sean más efectivos. Los métodos estadísticos abordados, incluyen los asociados con control estadístico de procesos y análisis de habilidad de procesos.

El Capítulo I, ofrece bases para el control de los procesos, las cuales se enmarcan dentro del mejoramiento continuo; explica varios conceptos importantes como la productividad, la calidad y competitividad. Se explica también, como se realiza la medición del desempeño de una empresa.

El capítulo II aborda el análisis de habilidad de los procesos.

El capítulo III explica varios conceptos importantes tales como, causas especiales y comunes de la variación, se aborda también la necesidad del control de los procesos confrontando para ello, la prevención y la detección

El Capítulo IV describe la construcción y uso de gráficas de control tanto para datos de variables[1] como de atributos, la cuales pueden ser una herramienta muy efectiva para el análisis y monitoreo de los procesos.

[1] El término “variables”, es usado para distinguir la diferencia entre algo que varía, y la gráfica de control es usada para los datos tomados de una variable continua.

CAPÍTULO I
CONCEPTOS BÁSICOS DE CALIDAD

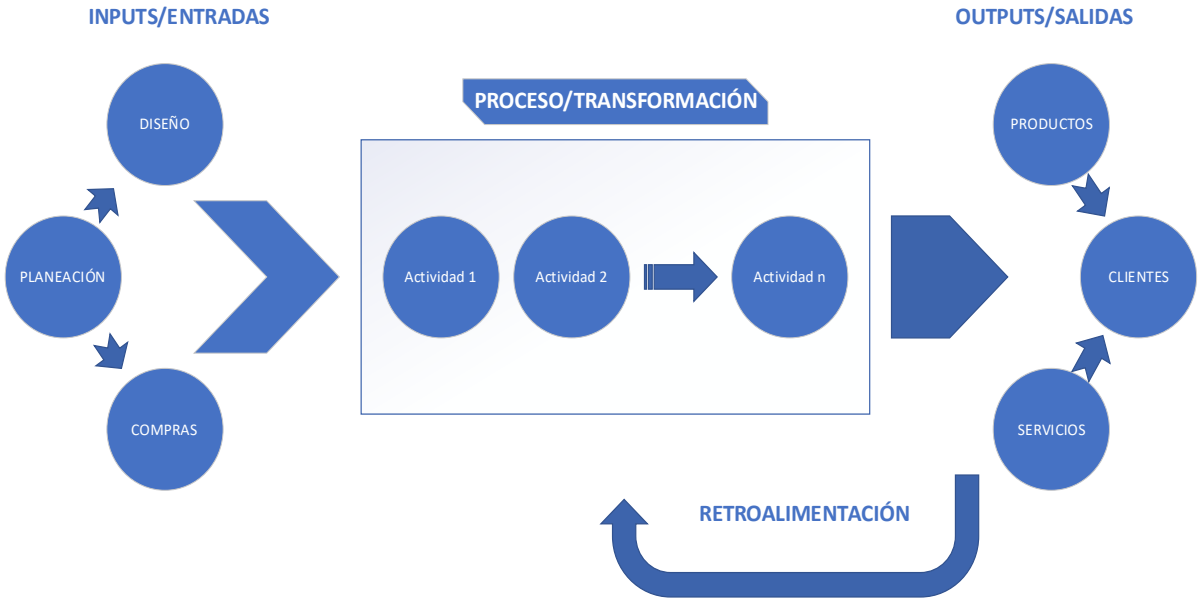
Calidad y competitividad

Existe una estrecha relación entre calidad y competitividad, ya que los clientes cada vez son más exigentes y buscan productos y servicios de alta calidad. Aquellas empresas que logran mantener altos estándares de calidad son percibidas como más confiables y capaces de brindar soluciones efectivas a las necesidades del mercado. Esto les proporciona una ventaja competitiva, ya que pueden diferenciarse de sus competidores y ganar la preferencia de los clientes. Además, una gestión de calidad eficiente permite optimizar los procesos internos, reducir los tiempos de entrega y garantizar la satisfacción de los clientes, lo que a su vez contribuye a mejorar la competitividad de la empresa en el mercado global.

Desde la perspectiva del cliente, las empresas y organizaciones existen para proporcionar productos y servicios que satisfagan sus necesidades y expectativas. Estos productos son el resultado de un proceso (Figura 1). Un proceso es un conjunto de actividades interrelacionadas que reciben insumos específicos (inputs/entradas) y se transforman en resultados (outputs/salidas) o productos. Un proceso consta de múltiples pasos o subprocesos, las entradas pueden incluir, entre otras: productos, materiales, equipos, etc. El resultado puede ser el producto mismo, o puede ser una modificación del insumo que puede ser una entrada para otro proceso.

Uno de los principales requisitos de los consumidores es la *calidad* del producto. Existen muchas definiciones al respecto, por ejemplo, Juran sostuvo que "la calidad es que un producto sea adecuado para su uso. Así, la calidad consiste en la ausencia de deficiencias en aquellas características que satisfacen al cliente” (Juran, 1990); Según lo define la *Sociedad Estadounidense para la Calidad* (ASQ, por sus siglas en inglés), "calidad es la totalidad de detalles y características de un producto o servicio que influye en su capacidad para satisfacer necesidades dadas"; la norma ISO 9000:2015 define la calidad como “el grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos”, entonces los requisitos se entienden como necesidades o expectativas en general.

Figura 1. *Esquema general de un proceso*



En términos más sencillos, la calidad, desde el punto de vista de un cliente, es la percepción que éste tiene de un producto o servicio, por lo que la calidad entonces se resume a la *satisfacción del cliente,* que está ligado a las expectativas con respecto al producto o servicio, que a su vez (técnicamente refiriéndose a las especificaciones) se generan en base a las necesidades de un cliente, pudiendo ser estas: precio de venta, publicidad, tecnología, etc.

De esto se deriva que, la satisfacción del cliente y la competitividad de una empresa, están determinadas principalmente por tres componentes: la calidad del producto, la calidad del servicio y el precio. Si se ofrece mejor calidad a bajo precio y buen servicio, una empresa se vuelve más competitiva.

Figura 2. *Componentes de la satisfacción de un cliente*



Estrategias para mejorar la calidad

Las estrategias para mejorar la calidad pueden ser de gran ayuda para las organizaciones en su búsqueda de la excelencia. Al implementar estas estrategias, se pueden lograr mejoras significativas en los productos y servicios ofrecidos. Esto implica analizar y mejorar tanto los procesos internos como la gestión de la calidad. Al adoptar un enfoque sistemático y en constante mejora, las organizaciones pueden asegurar una mayor satisfacción del cliente y una mayor competitividad en el mercado.

Figura 3. *Relación calidad-competitividad*



Implementación de sistemas de gestión de calidad

La implementación de sistemas de gestión de calidad es fundamental para lograr mejoras sostenibles en la calidad de los productos y servicios. Estos sistemas permiten establecer procesos claros y documentados, así como procedimientos para controlar y mejorar continuamente la calidad. Ejemplos de sistemas de gestión de calidad incluyen la implementación de la norma ISO 9001 y Six Sigma. Al implementar estos sistemas, las organizaciones pueden establecer estándares de calidad, realizar un seguimiento efectivo de los indicadores clave y obtener certificaciones reconocidas internacionalmente.

Capacitación del personal

La capacitación del personal es una estrategia esencial para mejorar la calidad en una organización. Es importante que todo el personal esté capacitado y consciente de la importancia de la calidad en su trabajo diario. Mediante programas de capacitación adecuados, se pueden desarrollar las habilidades y competencias necesarias para asegurar que los productos y servicios cumplan con los estándares de calidad establecidos. Además, la capacitación continua permite a los empleados mantenerse actualizados sobre las mejores prácticas y nuevas técnicas en su campo.

Control estadístico de procesos

El control estadístico de procesos es otro aspecto fundamental para mejorar la calidad en una organización. Esto implica la implementación de sistemas de control de calidad para monitorear y medir los procesos clave en la producción de bienes o la prestación de servicios. Al establecer mecanismos de control, se pueden detectar y corregir posibles desviaciones o errores, lo que ayuda a prevenir defectos y mejorar la eficiencia en general. Con un control efectivo de los procesos, las organizaciones pueden garantizar la consistencia y confiabilidad de sus productos y servicios.

Productividad

La productividad se define como la capacidad de realizar un trabajo eficiente y efectivo en un período determinado de tiempo, utilizando los recursos disponibles de manera óptima. Se trata de lograr la máxima producción o rendimiento con el mínimo esfuerzo y coste. La productividad se mide considerando la cantidad y calidad de los productos o servicios producidos en relación con los recursos utilizados. Es un indicador clave para evaluar la eficiencia y competitividad de una empresa o individuo en su desempeño laboral.

La relación entre la productividad y la calidad es estrecha y se complementan mutuamente. Una alta productividad implica la capacidad de realizar más tareas en menos tiempo, lo cual puede resultar en una mayor eficiencia y calidad en la ejecución del trabajo. Por otro lado, la calidad del trabajo tiene un impacto directo en la productividad, ya que un trabajo bien hecho reduce la necesidad de correcciones y retrabajos, lo que a su vez aumenta la eficiencia general. Además, la calidad del trabajo puede influir en la satisfacción de los clientes y en la reputación de la empresa, lo que puede afectar directamente la productividad a largo plazo. Por lo tanto, es fundamental buscar un equilibrio entre la productividad y la calidad del trabajo para lograr resultados óptimos.

Factores que afectan la productividad

La productividad de los trabajadores puede verse afectada por diversos factores. Uno de ellos es el ambiente de trabajo, ya que un entorno cómodo y bien organizado, con la aplicación por ejemplo de la técnica de las 5´S, puede influir positivamente en la productividad. Además, la capacitación y habilidades de los empleados también juegan un papel importante. Cuando los trabajadores cuentan con el conocimiento y las destrezas necesarias para realizar su trabajo de manera eficiente, esto incrementa su productividad. Otro factor a considerar es la tecnología utilizada en el lugar de trabajo. Herramientas modernas y tecnologías avanzadas pueden agilizar los procesos y aumentar la eficiencia. Por último, es importante tener en cuenta los incentivos y la remuneración adecuada. Los

trabajadores suelen ser más productivos cuando se sienten valorados y recompensados por su desempeño.

Estrategias para aumentar la productividad

La medición y evaluación de la productividad es fundamental para identificar el rendimiento y eficiencia de los procesos y recursos en una organización. Para medir la productividad, se deben establecer indicadores cuantitativos y cualitativos que reflejen el nivel de producción y la calidad del trabajo realizado. Además, es importante evaluar la productividad en relación con los objetivos establecidos y realizar comparaciones con estándares de la industria o de la empresa misma. Esta evaluación permite identificar áreas de mejora y tomar acciones para incrementar la eficiencia y efectividad de los procesos laborales.

Medición del desempeño de una empresa

La medición del desempeño de una empresa es un proceso fundamental para evaluar y analizar el rendimiento y eficacia de la organización en relación con sus objetivos y metas. A través de esta medición, se pueden identificar áreas de mejora, establecer indicadores clave y tomar decisiones basadas en datos concretos. Es necesario explorar diversos aspectos relacionados con la medición del desempeño empresarial, desde su importancia hasta las herramientas y métodos utilizados para llevarla a cabo.

La medición del desempeño de una empresa es de vital importancia para evaluar su rendimiento y tomar decisiones estratégicas basadas en información objetiva. Permite identificar el grado en que se están alcanzando los objetivos y metas establecidos, así como detectar áreas de mejora y oportunidades de crecimiento. Además, la medición del desempeño permite evaluar el impacto de las decisiones tomadas y ajustar las estrategias en función de los resultados obtenidos. También ayuda a establecer incentivos para el personal y a generar un enfoque basado en la mejora continua. En resumen, la medición del desempeño proporciona una perspectiva holística y objetiva de la empresa, facilitando la toma de decisiones informadas para alcanzar mejores resultados.

La siguiente figura es un diagrama de cómo ha evolucionado la medición y gestión organizacional. Se resume, desde el estado financiero, midiendo la calidad y la no calidad de la empresa, hasta el uso de ésta como factor clave en la gestión del valor para el cliente.

El último paso que se muestra en la imagen es el enfoque de marketing de la empresa. Para ello, además de apoyarse en el informe financiero y en los criterios de desempeño de las distintas funciones, es necesario considerar la evaluación de los propios clientes, los clientes de la competencia, y en general preguntar al mercado cómo ve a la empresa.

Figura 4. *Criterios para determinar el desempeño de una empresa*



Además de los criterios que se detallan en la figura anterior, es importante considerar dos aspectos fundamentales: satisfacción y desarrollo de los colaboradores, y las relaciones mutuamente beneficiosas con proveedores.

Por lo tanto, se necesita monitorear el éxito de la organización, desde la elección de proveedores hasta lo que afecta a los colaboradores de la empresa (en la actualidad no se puede lograr el éxito con empleados insatisfechos, temerosos e incapaces de desarrollarse como persona o como profesional).

Figura 5. *Criterios para determinar el desempeño de una empresa*



Métodos de medición del desempeño

Sin que se pretenda mencionar todos, a continuación, se listan los principales métodos de medición del desempeño, los cuales son herramientas utilizadas para evaluar el rendimiento y la eficiencia de una empresa. Estos métodos permiten identificar áreas de mejora y establecer metas y objetivos. Algunos de los métodos más comunes incluyen la medición de indicadores de proveedores, la satisfacción de los empleados, el desempeño operacional, la satisfacción del cliente y la satisfacción del accionista. Estos métodos proporcionan información cuantificable y objetiva sobre diferentes aspectos del desempeño

de la empresa, lo que ayuda a tomar decisiones informadas y mejorar su competitividad en el mercado.

Indicadores de proveedores

Los indicadores de proveedores son métricas utilizadas para evaluar el desempeño de los proveedores de una empresa. Estos indicadores permiten medir aspectos como la calidad de los productos o servicios suministrados, el cumplimiento de los plazos de entrega, la confiabilidad y la capacidad de respuesta de los proveedores. La medición de estos indicadores es fundamental para asegurar la eficiencia y la calidad de la cadena de suministro de la empresa, así como para identificar posibles áreas de mejora y optimización en las relaciones con los proveedores.

Indicadores de satisfacción de los colaboradores

Los indicadores de satisfacción de los empleados son herramientas utilizadas para medir el grado de satisfacción y compromiso de los trabajadores dentro de una empresa. Estos indicadores incluyen aspectos como la satisfacción laboral, el clima organizacional, la comunicación interna, la motivación y el desarrollo profesional. La medición de estos indicadores es esencial para evaluar el ambiente laboral, identificar posibles problemas o áreas de mejora y tomar medidas para promover la satisfacción y el compromiso de los empleados, lo que a su vez puede contribuir a mejorar el desempeño general de la empresa.

Indicadores de desempeño operacional

Los indicadores de desempeño operacional son métricas utilizadas para evaluar la eficiencia y efectividad de los procesos operativos de una empresa. Estos indicadores ayudan a medir aspectos como la productividad, la calidad, el tiempo de entrega, los costos operativos y el cumplimiento de los estándares establecidos. La medición de estos indicadores permite identificar áreas de mejora, implementar estrategias de optimización y tomar decisiones basadas en datos para mejorar el desempeño operacional de la empresa.

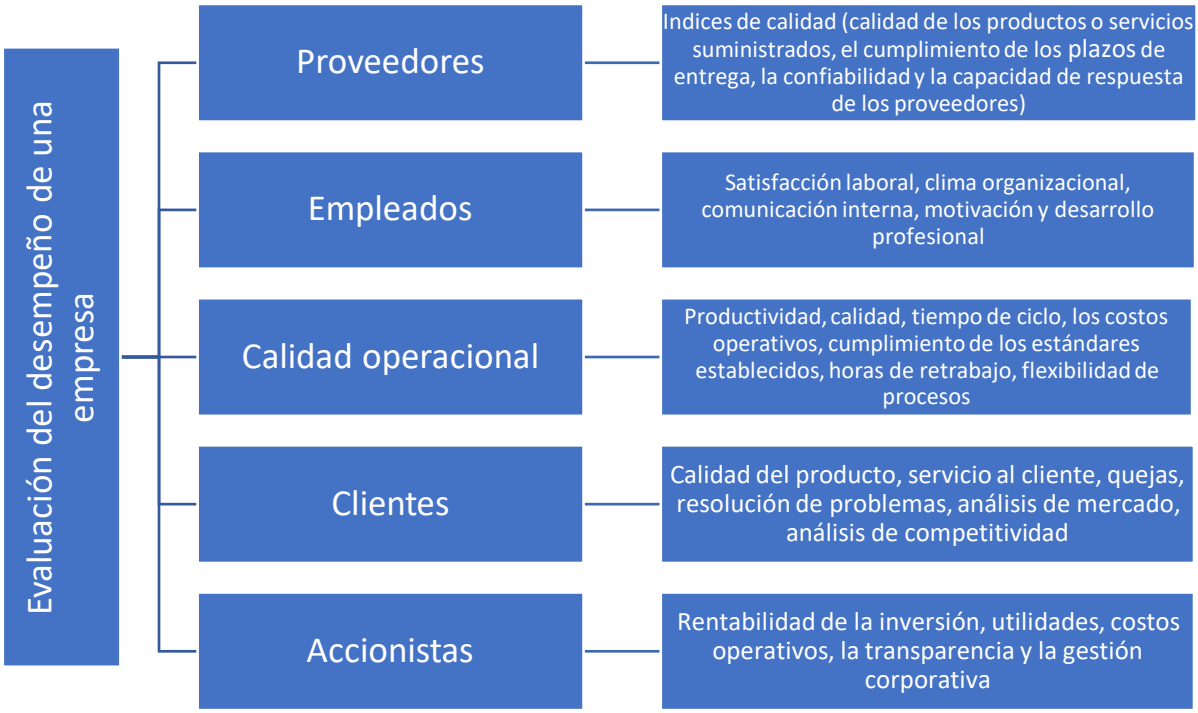
Indicadores de satisfacción del cliente

Los indicadores de satisfacción del cliente son herramientas utilizadas para medir el nivel de satisfacción y lealtad de los clientes hacia una empresa y sus productos o servicios. Estos indicadores incluyen aspectos como la calidad del producto, el servicio al cliente, la atención personalizada, la resolución de problemas y la satisfacción general de los clientes. La medición de estos indicadores permite evaluar la percepción de los clientes, identificar áreas de mejora y tomar medidas para mejorar la experiencia del cliente y aumentar su satisfacción, lo que a su vez puede conducir a una mayor fidelización y retención de clientes.

Indicadores de satisfacción del accionista

Los indicadores de satisfacción del accionista son herramientas utilizadas para medir el grado de satisfacción y confianza de los accionistas o inversionistas en una empresa. Estos indicadores evalúan aspectos como la rentabilidad de la inversión, el crecimiento del valor accionario, los dividendos o beneficios entregados, la transparencia y la gestión corporativa. La medición de estos indicadores es esencial para evaluar el desempeño financiero de la empresa, comunicar los resultados a los accionistas y tomar medidas para generar confianza y maximizar el retorno de la inversión de los accionistas.

Figura 6. *Criterios para determinar el desempeño de una empresa*



Implementación de un sistema de medición del desempeño

La implementación de un sistema de medición del desempeño es crucial para evaluar el rendimiento de una empresa de manera objetiva y eficiente. Este proceso implica establecer un marco de trabajo que permita medir los resultados obtenidos y compararlos con los objetivos y metas establecidos. Para ello, es necesario contar con indicadores clave que sean relevantes y representativos de la actividad de la empresa. Además, se deben recopilar los datos de manera sistemática y precisa, utilizando diferentes fuentes de información. Una vez recopilados, los resultados deben ser analizados y seguidos de cerca para identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas.

Definición de objetivos y metas

Antes de implementar un sistema de medición del desempeño, es fundamental definir los objetivos y metas que se desea alcanzar. Estos deben ser claros, específicos, medibles, alcanzables, relevantes y temporales (SMART). Al establecer objetivos y metas concretos, la empresa podrá orientar sus esfuerzos hacia resultados tangibles y evaluar su progreso de manera efectiva. Además, estos objetivos y metas servirán de base para la selección de los indicadores clave que se utilizarán en el sistema de medición del desempeño.

Selección de indicadores clave

La selección de indicadores clave es un paso crucial en la implementación de un sistema de medición del desempeño. Estos indicadores deben ser relevantes, cuantificables y capaces de proporcionar información clara sobre el rendimiento de la empresa en relación con sus objetivos y metas. Para seleccionar los indicadores clave adecuados, es necesario tener en cuenta la naturaleza de la empresa, su industria, sus procesos y las áreas que se desean medir. Al elegir los indicadores correctos, se facilitará el seguimiento del progreso y la identificación de áreas de mejora.

Recopilación de datos

La recopilación de datos es una etapa fundamental en el sistema de medición del desempeño de una empresa. Para obtener información válida y confiable, es necesario establecer un proceso de recopilación sistemático y preciso. Esto implica identificar las fuentes de datos relevantes, establecer técnicas de recolección y asegurar la calidad de los datos recopilados. Es importante contar con sistemas de seguimiento y registro adecuados para garantizar que los datos se recopilen de manera oportuna y efectiva. La recopilación de datos precisos y actualizados permitirá un análisis riguroso del desempeño de la empresa.

Análisis y seguimiento de resultados

El análisis y seguimiento de los resultados es esencial para aprovechar al máximo un sistema de medición del desempeño. Una vez que se han recopilado los datos, es necesario analizarlos detenidamente para identificar tendencias, patrones y áreas de mejora. Esto permitirá tomar decisiones informadas y realizar ajustes estratégicos en la empresa. Además, el seguimiento regular de los resultados garantizará que se mantengan los estándares de desempeño establecidos y que se realicen las acciones correctivas necesarias. El análisis y seguimiento de resultados son elementos clave para el éxito de un sistema de medición del desempeño empresarial.

Variabilidad y pensamiento estadístico

Variabilidad

La variabilidad se refiere a la capacidad de un sistema o proceso para experimentar cambios, fluctuaciones o diferencias en su rendimiento o características. En el contexto empresarial, la variabilidad se puede manifestar en diferentes formas, como la variabilidad de los tiempos de producción, la variabilidad en la calidad de los productos o la variabilidad en los costos. Este concepto es crucial en la gestión empresarial, ya que la variabilidad puede tener un impacto significativo en la eficiencia y en el logro de resultados consistentes. Comprender y controlar la variabilidad es fundamental para mejorar la competitividad y la rentabilidad de las organizaciones.

Existen diferentes tipos de variabilidad que pueden afectar a los procesos y resultados en un entorno de trabajo. La variabilidad se refiere a la diversidad de resultados de una variable o de un proceso debido a las diferencias en los métodos o procedimientos utilizados para llevar a cabo una tarea, lo que puede tener un impacto en la calidad y eficiencia del trabajo. Por ejemplo, en atención al cliente de una empresa de servicio público se lleva un registro de los minutos que los clientes esperan para ser atendidos; al azar se eligen 20 de estos tiempos de espera y se obtiene lo siguiente:

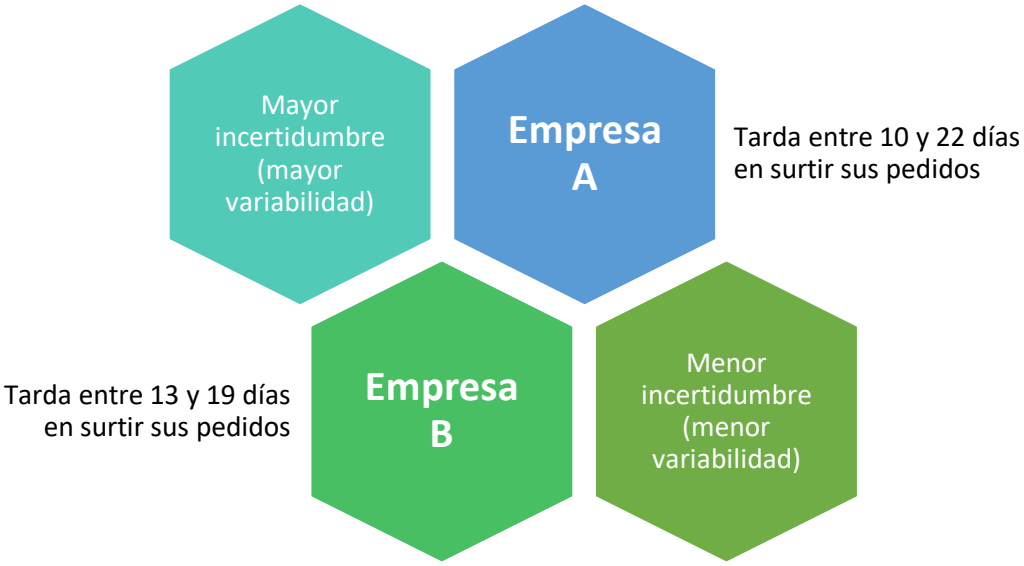
Tabla 1. *Tabla de datos ejemplo tiempo de espera*

18,1	7,9	14,6	13,6	14,2
13	11	7,4	8,7	11,3
13,4	0,7	5,4	9,2	8,0
4,8	14,2	13,5	13,9	11,8

Para el caso anterior, la muestra de tiempo promedio de espera fue de 10,7. Sin embargo, existe una variación muy marcada entre el cliente que esperó menos (0,7) y el que esperó más (18,1). De esto se deduce que una de las tareas clave de control estadístico de un proceso será no solo conocer su tendencia central (media), sino también su variabilidad.

Un ejemplo sencillo que ilustra la importancia de que los procesos tengan poca variación se ilustra a continuación:

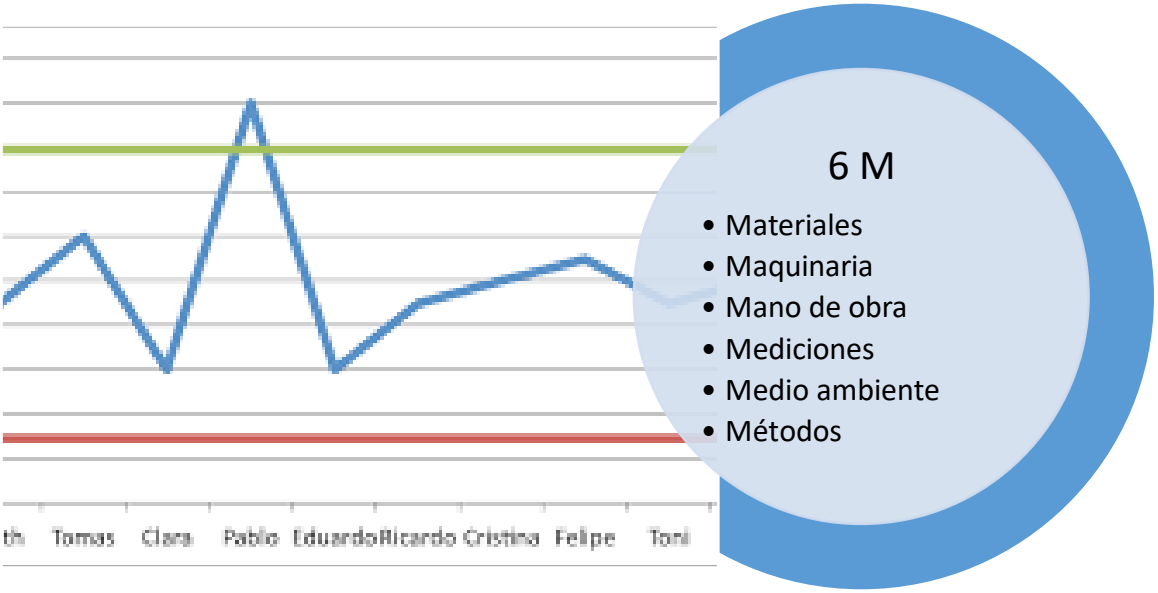
Figura 7. *Ejemplo de variabilidad en las empresas*



¿Con cuál de las empresas del ejemplo anterior le gustaría trabajar? Considere que las dos empresas tienen un promedio de entrega de 16 días, sin embargo, una de ellas tiene una incertidumbre menor.

La variabilidad puede ser causada por una serie de factores. Entre las causas más comunes se encuentran las diferencias en las habilidades y experiencia de los trabajadores (***Mano de obra***), que pueden llevar a resultados inconsistentes. Otro factor que contribuye a la variabilidad es la falta de estándares claros y procesos bien definidos (***Metodologías***). Cuando no se establecen directrices claras, cada persona puede interpretar y ejecutar las tareas de manera diferente, lo que lleva a resultados variables, esto incluye el proceso de toma de datos (***Mediciones***). Además, las variaciones en las materias primas (***Materiales***) y los equipos (***Maquinaria***) utilizados en el proceso de producción también pueden causar variabilidad. Por ejemplo, si la calidad de los insumos varía, esto puede afectar la calidad del producto final. Por último, factores externos como el clima y las condiciones del mercado (***Medio ambiente***) también pueden influir en la variabilidad de los resultados. Estos factores pueden ser difíciles de controlar, pero es importante tenerlos en cuenta al analizar y gestionar la variabilidad en el trabajo.

Figura 8. *Causas de la variabilidad de un proceso*

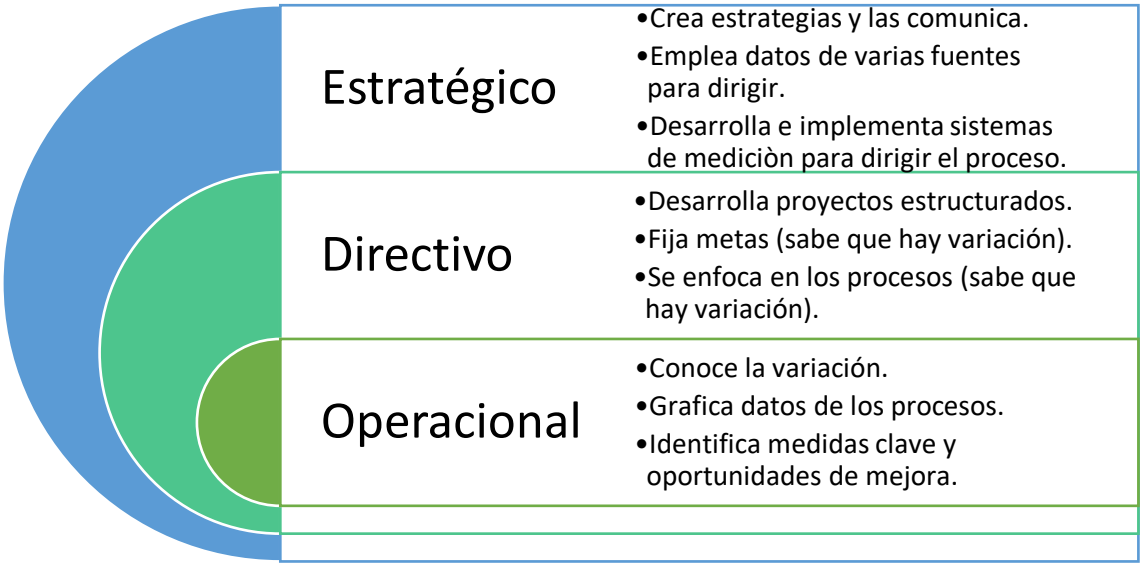


Estos seis elementos (6 M) determinan de manera general todo proceso y cada uno, de manera independiente, aporta con una variación que se verá reflejada en la calidad de la salida (producto o servicio) del proceso. Entonces, el resultado de todo proceso se debe a la acción conjunta de las 6 M, que además de tienen una variación a través del tiempo (desajuste o desgaste de máquinas y herramientas, entre otras) por lo que será necesario monitorear de manera constante y adecuada las diferentes variables del proceso; las herramientas más adecuadas para esto, son las *cartas de control.*

Incluso con los esfuerzos permanentes que son necesarios para mejorar la calidad y la productividad de un proceso, resulta indispensable apoyarse en las técnicas y pensamiento estadístico, ya que proporcionan metodologías que facilitan la planificación, el análisis y la toma de decisiones.

Pensamiento estadístico

Figura 9. *Pensamiento estadístico en los tres niveles de la organización*



Fuente: *Gutiérrez, Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma, 2009*

El pensamiento estadístico se refiere a la habilidad de analizar, interpretar y tomar decisiones basadas en datos numéricos y probabilísticos. Es una forma de pensamiento crítico que se utiliza para comprender la variabilidad y la incertidumbre en los fenómenos y eventos que ocurren en los procesos. El pensamiento estadístico implica la recolección, organización y representación gráfica de datos, así como la aplicación de técnicas estadísticas para analizar y encontrar patrones, tendencias y relaciones entre variables. Este enfoque ayuda a tomar decisiones informadas y fundamentadas en lugar de basarse en la intuición o la suposición. Además, promueve la capacidad de evaluar la calidad de los datos y la validez de los argumentos basados en evidencia estadística. En resumen, el pensamiento estadístico es una herramienta fundamental para comprender y enfrentar la incertidumbre inherente a la realidad y para tomar decisiones basadas en la evidencia, en otras palabras, se centra en formas de comprender, manejar y reducir la variación.

CAPÍTULO II
CAPACIDAD DE PROCESOS: ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Capacidad de procesos

La capacidad de procesos es una medida estadística utilizada para evaluar cuán capaz es un proceso de producir productos dentro de los límites de especificaciones establecidos, consiste en conocer la amplitud de la variación natural del proceso para una característica dada, esta capacidad se calcula comparando la variabilidad del proceso con respecto a los límites de especificación (cumplimiento de especificaciones). El índice de capacidad de procesos es una herramienta fundamental en la mejora continua de la calidad y permite a las empresas identificar y corregir posibles deficiencias en sus procesos.

Medir la capacidad de procesos es fundamental para mejorar la calidad y eficiencia de un proceso productivo. Al conocer la capacidad de un proceso, es posible identificar áreas de mejora, reducir la variabilidad y minimizar los defectos en la producción. Además, la medición de la capacidad de procesos permite establecer límites de especificación realistas y realizar ajustes necesarios para cumplir con los estándares de calidad. Esto contribuye a optimizar los recursos, reducir costos y aumentar la satisfacción del cliente.

Ejemplo 2.1

En un proceso de producción de detergente, una característica de calidad de producto es el peso en gramos que debe tener cada funda, el cual debe ser de 200 g con una tolerancia de ± 10 g. Así, para considerar que el proceso de llenado fue satisfactorio, el peso de la funda debe estar entre la especificación inferior, EI = 190 g; y, la especificación superior, ES = 210 g. En un estudio de capacidad para este proceso es necesario dar respuesta a las siguientes interrogantes: ¿El peso de las fundas de detergente es el correcto? ¿El peso medio es el adecuado? ¿la variabilidad del peso es mucho o poco? Para contestar estas preguntas, durante 30 días se obtuvieron de la línea de producción los 30 datos que se presentan a continuación:

Tabla 2. *Tabla ejemplo 2.1*

Día	Peso (g)	Día	Peso (g)	Día	Peso (g)
1	200.0	11	206.0	21	192.0
2	194.0	12	208.0	22	200.7
3	195.0	13	207.0	23	193.8
4	206.0	14	192.0	24	194.5
5	201.0	15	200.0	25	200.6
6	203.0	16	200.0	26	200.7
7	205.5	17	200.3	27	195.4
8	192.0	18	200.4	28	190.0
9	195.0	19	192.0	29	204.0
10	201.3	20	193.0	30	208.0

En cualquier análisis de datos se pueden usar una variedad de **MEDICIONES DESCRIPTIVAS** que representan las propiedades de *tendencia central, variación y forma*, para resumir las principales características de una serie de datos.

El primer paso entonces es, identificar un valor en torno al cual los datos tienden a aglomerarse o concentrarse. Esto permitirá saber si el proceso está centrado; es decir, si la tendencia central de la variable (peso) es igual o está muy próxima a un valor nominal deseado (para el ejemplo, 200 g).

Medidas de tendencia central

La mayor parte de las series de datos muestran una clara tendencia a agruparse alrededor de cierto punto central.

Dada cualquier serie de datos es posible seleccionar un valor promedio típico para describir toda la serie de datos, este valor descriptivo típico es una medición de tendencia central o de ubicación. Los tipos de promedio que se usan a menudo como mediciones de tendencia central son:

- Media aritmética
- Mediana
- Moda

Media aritmética

La media aritmética o media muestral, se obtiene sumando todos los datos y el resultado de la suma se divide entre el número de datos (*n*).

$$\overline{X} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

Lo más positivo de la media es que en su cálculo se utilizan todos los valores de la serie, por lo que no se pierde ninguna información; sin embargo, su valor se puede ver muy influido por valores extremos, que se aparten en exceso del resto de la serie. Estos valores anómalos podrían condicionar en gran medida el valor de la media, perdiendo esta representatividad.

En el ejemplo 2.1 la media de los datos es $\bar{X} = 199\ g$, por lo que el peso promedio de las fundas de detergente de la muestra es 199 g. Esto no significa que todas o la mayoría de las fundas de detergente tienen un peso de 199 g, es más, en el ejemplo, ninguna funda tiene ese peso. En este caso, hay evidencia de que el proceso está descentrado a la izquierda o hacia un valor inferior, ya que el valor para el peso objetivo es de 200 g.

La media aritmética actúa como un punto de equilibrio, las observaciones menores compensan a las mayores. ***no nos dice como se distribuyen los datos.***

Mediana

La mediana o percentil 50, es igual al valor de una serie de datos ordenada que se sitúa justamente en el centro de la muestra (un 50% de los valores son inferiores y el otro 50% son superiores). Esta medida de tendencia central, no presenta el problema de estar influida por los valores extremos, pero en cambio no utiliza en su cálculo toda la información de la serie de datos.

Para calcular la mediana de una serie de datos, en primer lugar, se los ordena de menor a mayor, luego se usa la siguiente igualdad de punto de posicionamiento **(n+1)/2.**

Si el tamaño de la muestra es impar, la mediana se representa mediante el valor numérico correspondiente al punto de posicionamiento.

Si el tamaño de la muestra es un número par, entonces el punto de posicionamiento cae entre las dos observaciones medidas de la clasificación ordenada. La mediana, en este caso, es el promedio de los valores numéricos correspondientes a estas dos observaciones medias.

El cálculo del valor de la mediana se ve afectado por el número de observaciones, no por la magnitud de las mismas.

En el ejemplo 2.1, la mediana es de 200,15 g, lo que significa que el 50% de las fundas de detergente pesan menos o igual a 200,15 g, y que el otro 50% pesan más o igual a 200,15 g.

Moda

Otra forma de medir la tendencia central de un conjunto de datos es mediante la moda, que es el valor de una serie de datos que aparece con más frecuencia y puede aparecer más de un valor, se dice entonces que la serie de datos es multimodal.

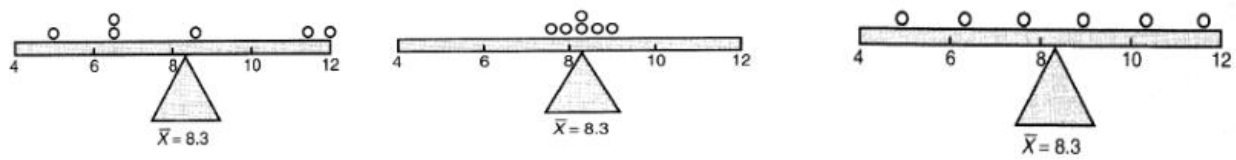
En el ejemplo del peso de las fundas de detergente, hay una sola moda y es 192 g. Esta medición fue la más frecuente; de esta forma, en el ejemplo tenemos que la media es 199 g, la mediana 200,15 g y la moda 192 g. Debido a que la media es la medida de tendencia central más usual, en ocasiones se comete el error de creer que ésta divide los datos a la mitad o que es el dato más frecuente, es decir, se confunde el concepto de media con el de mediana y moda, respectivamente.

Para describir la tendencia central de los datos, es imprescindible apoyarse tanto en la media como en la mediana y la moda, cuando la media es muy diferente a la mediana significa que existen datos atípicos o existe un sesgo importante, por lo que será mejor reportar como medida de tendencia central a la mediana e investigar a que se deben los datos atípicos.

Medidas de dispersión o variabilidad

Una segunda propiedad importante que describe una serie de datos numéricos es la variación, la variación es la cantidad de dispersión o “propagación” en los datos.

Figura 10. *Ejemplo de dispersión de series de datos*



Fuente: Imágenes Google

Dos series de datos pueden diferir tanto en la tendencia central como en la variación; ó, como se muestra en las figuras, las series de datos pueden tener las mismas mediciones de tendencia central, pero diferir grandemente en términos de variación, es por ello que además de conocer la tendencia central de un conjunto de datos es necesario saber que tan diferentes son entre si dichos datos, es decir es necesario determinar su variabilidad o dispersión.

Está característica es vital cuando se analiza la capacidad de un proceso; a continuación, se detallan las mediciones de variación que se analizarán en este cuaderno de trabajo:

Rango

El rango mide la propagación total en la serie de datos, es la diferencia entre la mayor y menor observación. Es una medición simple de la variación total en los datos, pero no toma en cuenta la forma en que los datos se distribuyen entre el mayor y menor valor, por lo que es impropio usar el rango cuando se conoce que existen observaciones extremas.

En el ejemplo 2.1, el rango es entonces la diferencia entre 208 g (mayor peso) y 190 g (menor peso), ósea 18 g.

La varianza y la desviación estándar

El rango es una medición de propagación total lo que significa que esta medición de la variación no toma en consideración como se distribuyen o agrupan las observaciones.

Dos mediciones de variación comúnmente usadas que toman en cuenta como se distribuyen todos los valores en los datos son la varianza y su raíz cuadrada, la desviación estándar. Estas mediciones evalúan la forma en que los valores fluctúan alrededor de la media.

La ***varianza de muestra*** es aproximadamente el promedio de las diferencias cuadradas entre cada una de las observaciones en una serie de datos y la media. Así, para una muestra que contiene n observaciones, $X_1, X_2, X_3, \ldots X_n$, la varianza de muestra (dada por el símbolo S^2) puede escribirse como:

$$S^2 = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \cdots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Expresado de otra manera:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Donde:

$\bar{X} = media\ aritmética\ de\ muestra$

$n\ = tamaño\ de\ la\ muestra$

$X_i = iésimo\ valor\ de\ la\ variable\ aleatoria\ X$

$\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2 =$

$sumatoria\ de\ todas\ las\ diferencias\ cuadradas\ entre\ los\ valores\ X_i\ y\ \bar{X}$

La ***desviación estándar de muestra*** (S), es la medida más usual de variabilidad e indica qué tan esparcidos están los datos con respecto a la media; es simplemente la raíz cuadrada de la varianza:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Entre más grande sea el valor de S habrá mayor variabilidad en los datos. La desviación estándar es expresada en las mismas unidades de medición (gramos, milímetros, etc.) que los datos. Además, S no muestra la magnitud de los datos, sólo refleja lo retirado que están los datos de la media y, al igual que ésta, es afectada por datos atípicos.

Si para calcular la desviación estándar se emplean todos los elementos de la población o proceso (de 120 a 150 mediciones en adelante es una buena cantidad), entonces se obtiene la ***desviación estándar poblacional*** y se denota con la letra griega sigma (σ).

Mientras más propagados o dispersos estén los datos, mayor será el rango, la varianza y la desviación estándar; mientras más concentrados u homogéneos sean los datos, estas mediciones serán menores.

Si las observaciones son todas iguales (de tal manera que no hay variaciones de datos), el rango, la varianza y la desviación estándar son todos cero.

Para el ejemplo 2.1, la varianza es $S^2 = 29{,}71\ g$; y, la desviación estándar $S = 5{,}45\ g$.

Coeficiente de variación

A diferencia de las mediciones previas que hemos revisado, el coeficiente de variación es una medición relativa de variación. Se expresa como un porcentaje antes que en términos de las unidades de datos particulares.

El coeficiente de variación, denotado por el símbolo CV, mide la dispersión promedio en los datos relativa a la media, Puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$CV = \left(\frac{S}{\bar{X}}\right) 100\%$$

Donde:

$S = desviación\ estándar\ en\ una\ serie\ de\ datos\ numéricos$

$\bar{X} = media\ aritmética\ de\ muestra$

El CV es útil para comparar la variación de dos o más variables que están medidas en diferentes escalas o unidades de medición (por ejemplo: determinar si la cantidad de horas trabajadas en una semana por un empleado de tiempo completo tiene mayor variabilidad que los ingresos personales anuales de los empleados; puesto que las horas trabajadas son una medición de tiempo y los ingresos personales anuales es una cantidad monetaria, es

imposible comparar directamente los dos desviaciones estándar ó los alcances para estas variables).

El coeficiente de variación también es muy útil al comparar dos o más conjuntos de datos que son medidos en las mismas unidades, pero difieren hasta el punto que una comparación directa de las respectivas desviaciones estándar no es muy útil (por ejemplo: comparación de velocidades en carretera, bajo diferentes condiciones de clima, no son comparables directamente).

En el caso del peso de las fundas de detergente, tenemos que la varianza es $S^2 = 29{,}71\ g$; y, la desviación estándar $S = 5{,}45\ g$, $R = 18\ g$, y $CV = 2{,}74\%$. La interpretación del rango es muy directa, ya que indica la amplitud máxima de dispersión; así 18 g es la discrepancia máxima que existió entre los pesos de las fundas de detergente en la muestra. Por lo general, la interpretación de la desviación estándar se hace en combinación con la media, como lo veremos en la siguiente sección, y su interpretación en forma individual se realiza en forma comparativa con respecto a la desviación estándar de otras líneas de producción o lotes. Es necesario considerar, en el caso de hacer estas comparaciones, que lo que se observa en una muestra variable, y por lo general pequeñas diferencias muestrales no implica diferencias entre procesos o lotes.

Por último, $CV = 2{,}74\%$ indica que la variación del peso de las fundas de detergente es del 2,74%, lo cual se puede considerar relativamente bajo.

Relación entre $\overline{X}$ y S (interpretación de la desviación estándar)

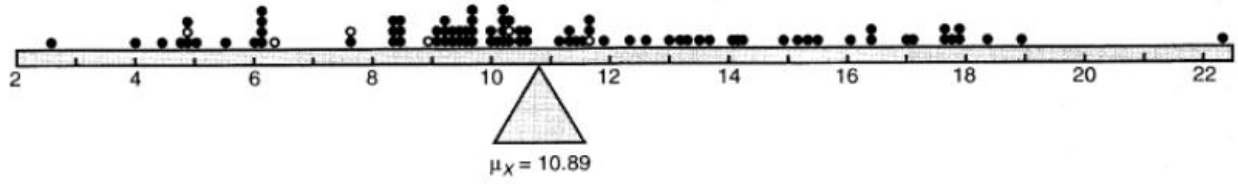
La manera de apreciar el significado de la desviación estándar como medida de dispersión en torno a la media, es a través de la relación entre la media y la desviación estándar, la cual está dada por la *desigualdad de Chevyshed* y la *regla empírica.*

Regla empírica

En la mayor parte de las series de datos, una gran porción de las observaciones tiende a agruparse de alguna manera cerca de la media y de la mediana. En serie de datos simétrica, donde la mediana y la media son iguales, las observaciones tienden a distribuirse igualmente alrededor de estas mediciones de tendencia central.

Cuando el sesgado extremo no se presenta y tal agrupamiento se observa en una serie de datos, podemos usar la denominada regla empírica para examinar la propiedad de variabilidad de datos y obtener una mejor idea de lo que la desviación estándar está midiendo.

Figura 11. *Ejemplo de dispersión de series de datos sin sesgado extremo*

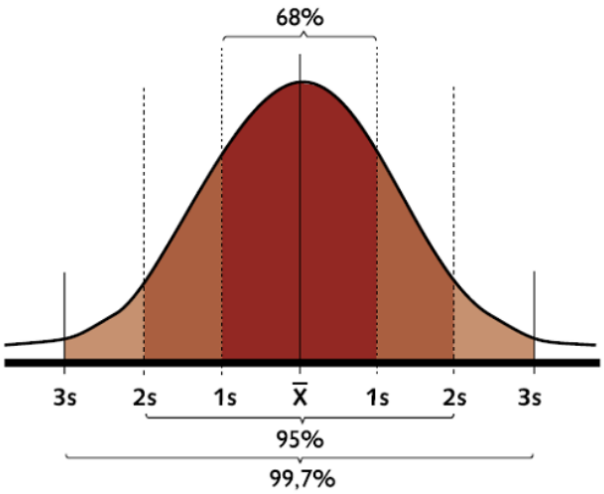


Fuente: Imágenes Google

La regla empírica establece que en la mayoría de las series de datos encontraremos que:

- Aproximadamente dos de cada tres observaciones (es decir, 67%) están contenidas en una distancia de una variación estándar alrededor de la media. $\bar{X} - S$ ***y*** $\bar{X} + S$ ***esta el 68%.***
- Aproximadamente 90% a 95% de las observaciones están contenidas en una distancia de 2 desviaciones estándar alrededor de la media. $\bar{X} - 2S$ ***y*** $\bar{X} + 2S$ ***esta el 95%.***
- Aproximadamente el 99,7% de las observaciones están contenidas en una distancia de 3 desviaciones estándar alrededor de la media. $\bar{X} - 3S$ ***y*** $\bar{X} + 3S$ ***esta el 99,7%.***

Figura 12. *Dispersión de los datos según la regla empírica*



La regla de Bienaymé Chebyshed

Sin importar como se distribuye una serie de datos, el porcentaje de observaciones que están contenidas dentro de las distancias de k desviaciones estándar alrededor de la media debe ser al menos:

$$\left(1 - \frac{1}{k^2}\right) 100\%$$

Por tanto, para datos con cualquier forma:

- Al menos el 75% de las observaciones deben estar contenidas dentro de distancias de ±2 desviaciones estándar alrededor de la media. $\bar{X} - 2S$ ***y*** $\bar{X} + 2S$ ***esta el 75%.***

- Al menos el 88,89% de las observaciones deben estar contenidas dentro de distancias de ±3 desviaciones estándar alrededor de la media. $\bar{X} - 3S$ ***y*** $\bar{X} + 3S$ ***esta el 88,89%.***
- Al menos el 93,75% de las observaciones deben estar contenidas dentro de distancias de ±4 desviaciones estándar alrededor de la media. $\bar{X} - 4S$ ***y*** $\bar{X} + 4S$ ***esta el 93,75%.***

Aunque la regla de Bienaymé Chevyshed es general en naturaleza y se aplica a cualquier tipo de distribución de datos, se conoce que, si los datos forman la distribución normal de "campana" o gausiana, 68,26% de todas las observaciones estarán contenidas dentro de distancias de ±1 desviaciones estándar alrededor de la media.

Tabla 3. *Comparación de porcentajes según distribuciones*

Porcentaje de observaciones contenidas entre la media y k desviaciones estándar		
Número de unidades de desviaciones estándar k	**Regla de Bienaymé-Chevyshed para cualquier distribución**	**Distribución gausiana**
1	No calculable	Exactamente 68,26%
2	Al menos 75,00%	Exactamente 95,44%
3	Al menos 88,89%	Exactamente 99,73%
4	Al menos 93,75%	Exactamente 99,99%

Límites reales o naturales

Los límites reales o naturales de un proceso indican los extremos entre los cuales varía naturalmente la salida de un proceso y, por lo general, se obtienen con las siguientes expresiones:

$$Límite\ Real\ Inferior\ (LRI) = \mu - 3\sigma$$

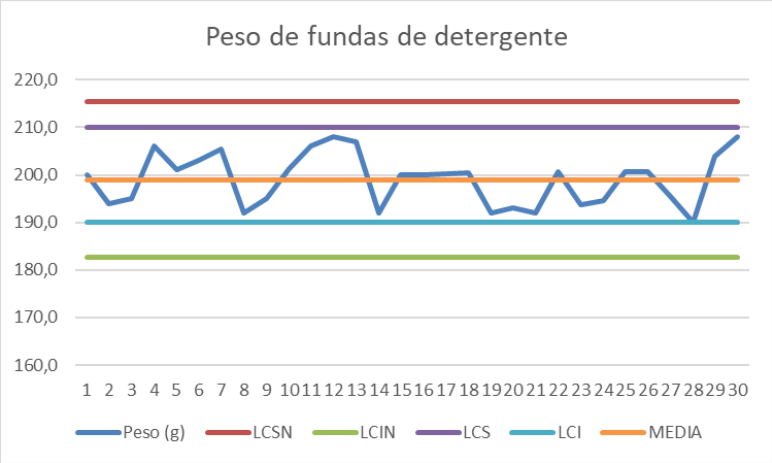
$$Límite\ Real\ Superior\ (LRS) = \mu + 3\sigma$$

Estás expresiones se basan en la *regla empírica,* que a su vez coincide con la propiedad de la distribución normal. En un estudio de capacidad estos límites reales se comparan con las especificaciones para determinar las características de calidad.

Para el ejemplo 2.1, la especificación de calidad para el peso de la funda de detergente es de 200±10 g; luego la especificación inferior es 190 g, y la superior 210 g. Si además se sabe que la media y la desviación estándar de esa característica de calidad son $\mu = 199\ g\ y\ \sigma = 5{,}45\ g$, respectivamente, entonces los límites reales son:

$$Límite\ Real\ Inferior\ (LRI) = 199 - 3(5{,}45) = 182{,}7\ g$$

$$Límite\ Real\ Superior\ (LRS) = 199 + 3(5{,}45) = 215{,}4\ g$$



Por lo tanto, se espera que esta característica de calidad varíe entre 182 g y 215 g, con una media de 199 g. Al comparar esto con las especificaciones se aprecia que los límites reales están fuera de las mismas, entonces se concluye que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones de peso.

Histograma y tabla de frecuencias

Anteriormente en este capítulo, se explicó que para el análisis de un conjunto de datos la clave es conocer su tendencia central y su dispersión. El histograma y la tabla de frecuencias permiten visualizar estos dos aspectos de un conjunto de datos, además, muestran la forma en que los datos se distribuyen dentro de su rango de variación.

El histograma es una herramienta gráfica utilizada en estadística para representar la distribución de frecuencias de un conjunto de datos. Consiste en la construcción de barras rectangulares adyacentes, donde la base de cada barra representa un intervalo o clase y la altura de la barra indica la frecuencia con la que los datos caen dentro de ese intervalo. Esto permite visualizar la forma de la distribución, identificar tendencias, y obtener una comprensión más clara de los datos en estudio. El histograma es una herramienta valiosa para el análisis exploratorio de datos y la toma de decisiones informadas.

Por lo general un histograma se obtiene a partir de una tabla de frecuencias, la cual es una forma tabular de presentar la distribución de datos en categorías o clases. En esta tabla se muestra la cantidad absoluta y relativa de observaciones que caen dentro de cada clase. La frecuencia absoluta es el número de veces que aparece cada valor o intervalo en el conjunto de datos, mientras que la frecuencia relativa es el cociente entre la frecuencia

absoluta y el tamaño total de la muestra. La tabla de frecuencias permite organizar y resumir los datos de manera ordenada, facilitando su análisis y comprensión.

Construcción de un histograma

1. Determinar el rango de las observaciones. ¿Entre que valores extremos pueden aparecer las observaciones que se hacen? Como vimos anteriormente, el rango es el valor mínimo y máximo que adopta una variable y su valor es la diferencia entre éstos.

Tabla 4. *Identificación de máximos y mínimos del ejemplo 2.1*

Día	Peso (g)	Día	Peso (g)	Día	Peso (g)
1	200.0	11	206.0	21	192.0
2	194.0	12	208.0	22	200.7
3	195.0	13	207.0	23	193.8
4	206.0	14	192.0	24	194.5
5	201.0	15	200.0	25	200.6
6	203.0	16	200.0	26	200.7
7	205.5	17	200.3	27	195.4
8	192.0	18	200.4	28	190.0
9	195.0	19	192.0	29	204.0
10	201.3	20	193.0	30	208.0

De los datos del ejemplo 2.1 se tiene que el valor máximo es 208 g y el valor mínimo es 190 g; por lo tanto, las observaciones caen dentro de estos límites y su valor es 18 g.

2. Determinar el número de clases, un método formal para determinar el número de clases necesarias para clasificar un conjunto de datos está dado por la regla de Sturges, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$C = 3.3(log_n) + 1$$

Donde:

$C = número\ de\ clases$

$n = tamaño\ del\ conjunto\ de\ datos\ que\ se\ examinan$

En la práctica, el número mínimo recomendable de clases es 5 y el máximo 15, aunque se procurará que sea una cantidad impar para que el valor central caiga en la barra de en medio de la gráfica y las demás columnas sean simétricas. Una cantidad inicial podrá ser la raíz cuadrada del número de datos; por ejemplo, si hay 50 datos, se pueden usar 7 clases.

La tabla de observaciones del ejemplo 2.1, tiene n=30; por lo tanto, el número de clases es, si se utiliza el método práctico:

$$C = \sqrt{30} \approx 5$$

Los límites de cada clase se llaman intervalos y se fijarán de modo que no haya confusión al anotar las observaciones, según la siguiente expresión:

$$Intervalo = \frac{R}{C}$$

Donde:

$C = número\ de\ clases$

$R = rango$

Si se fijan dos intervalos como: “entre 12 y 13, y entre 13 y 14”, cuando aparezca una lectura = 13, no se sabrá si ponerla en la primera clase o en la segunda. Lo correcto sería: 12.01 y 13; 13.01 y 14

Para el ejemplo 2.1 se tienen los siguientes intervalos:

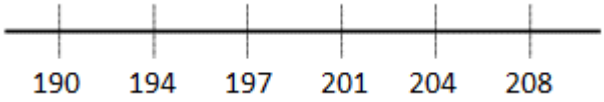
Clase	***Intervalos***	
1	190	193,6
2	193,7	197,3
3	197,4	201
4	201,1	204,7
5	204,8	208

3. Contar las observaciones en cada clase. Se puede usar una tabla como la siguiente:
Para el ejemplo 2.1 se tienen la siguiente frecuencia

Clase	***Intervalos***		***Marcas de cuenta***	***Frecuencia absoluta (número de observaciones)***
1	190	194	xxxxxx	6
2	194	197	xxxxxx	6
3	197	201	xxxxxxxx	8
4	201	204	xxxx	4
5	204	208	xxxxxx	6

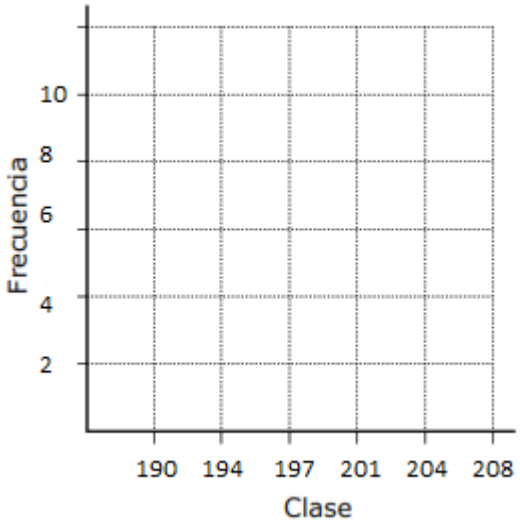
4. Dibujar el histograma. El eje horizontal se divide en el número de intervalos

En el ejemplo 2.1, hay cinco intervalos y los límites se acotan con el valor inferior de cada uno.

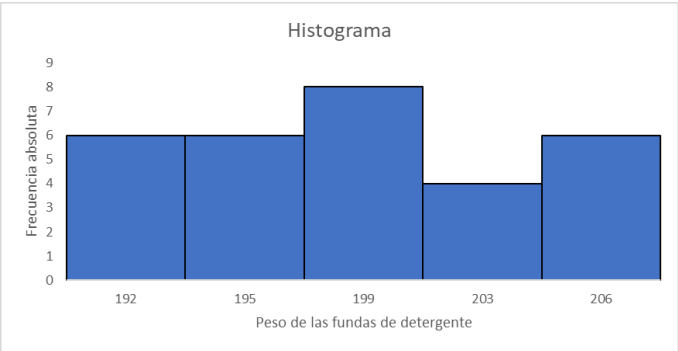


5. Ahora hay que trazar el eje vertical. Su altura está determinada por la cuenta máxima de observaciones en un intervalo.

En el ejemplo 2.1, la clase 3 contiene 8 observaciones, entonces el eje vertical puede tener 10 u 11 divisiones.



6. A continuación, se dibuja una columna en cada clase; su altura es la cantidad de observaciones dentro del intervalo.



Si el histograma está bien construido y contiene un número suficiente de datos es útil para observar el comportamiento de la población, también sirve para explicar el comportamiento de un fenómeno o de las variables de un proceso. Con un histograma se

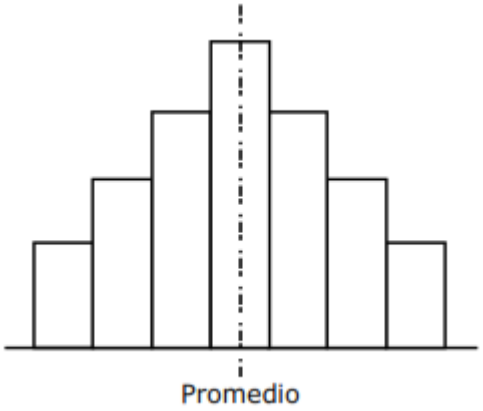
pueden observar variables como la dimensión media de una pieza y la dispersión de la misma medida en todas las piezas; estos datos son útiles para mejorar la calidad de los procesos.

Recordemos que cuando hablamos de población nos referimos a todos los elementos de un conjunto homogéneo; por ejemplo, toda la producción de clavos de una máquina durante un turno o la cantidad de lluvia diaria durante un mes en determinada ciudad, etcétera.

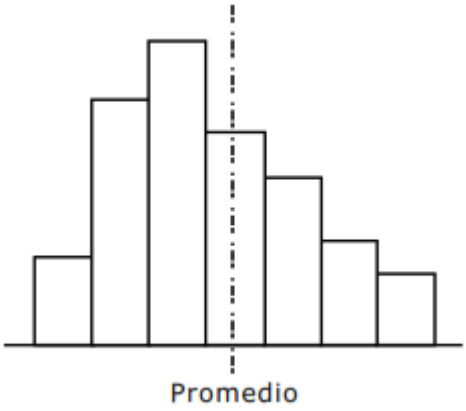
Interpretación de un histograma

Los histogramas proporcionan diversos tipos de información:

a)) Los picos indican la cantidad de elementos que hay dentro de la medida especificada (la clase o casilla). Si la muestra proviene del mismo origen, el pico indica la tendencia central de un grupo de mediciones, es decir, anuncia el promedio o valor central. Los datos más frecuentes coinciden con el promedio, los demás datos aparecen como columnas simétricas a ambos lados y caen en declive hacia los extremos.

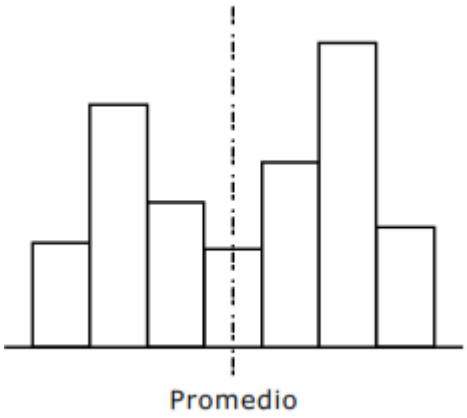


b) Indican si el comportamiento de las mediciones es simétrico; si hay la misma cantidad de elementos a ambos lados de la media o si hay asimetrías que puedan indicar otro tipo de problemas. Si la gráfica no es simétrica, se dice que el proceso tiene sesgo. La figura presenta un sesgo hacia la izquierda, es decir, las observaciones más frecuentes no coinciden con el promedio, sino que caen a su izquierda.

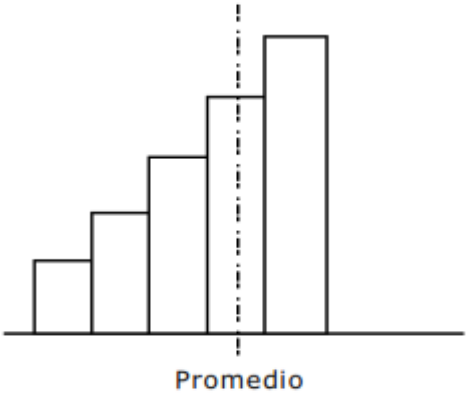


c) Ilustran si el proceso está centrado. En el ejercicio anterior, la gráfica nos indica que sólo 8 bolsas de las 30, pesaron 199 g, lo cual indica que el proceso no está centrado porque la mayoría de las mediciones no coincidieron con el promedio. Un ejemplo de esto podría ilustrarse mediante la edad de dos personas: si una tiene 20 y la otra tiene diez, en promedio tienen 15, pero ninguna de ellas tiene esa edad, la muestra no está centrada. Lo estaría si tomamos una muestra de alumnos de tercer año de secundaria; en ella, la mayoría tendría 15 años, en coincidencia con el promedio; unos cuantos tendrían 14 o menos y otros pocos tendrían 16 o más; por tanto, la muestra está centrada.

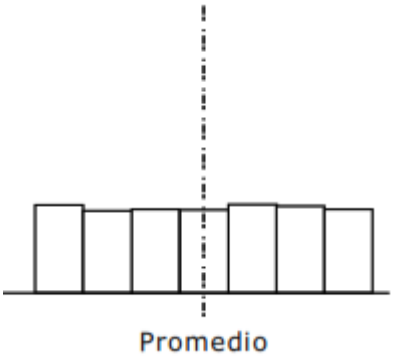
d) Varios picos indican variaciones multimodales, lo cual significa que las mediciones pueden variar por diversas causas o provienen de varios procesos independientes. La variación también se puede deber a diferencias en los operadores de una misma máquina.



e) Los acantilados son caídas bruscas de las mediciones. En la práctica, los acantilados se presentan cuando un proceso no puede rebasar cierto límite; por ejemplo, si se hace un histograma de calificaciones escolares, no se encontrarán observaciones mayores de diez ni menores de cinco porque el proceso está limitado dentro de esos valores.

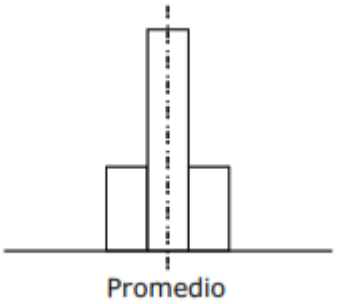


f) La variabilidad de los datos. En los casos anteriores hemos visto que hay una cantidad variable de observaciones dentro de cada clase, la mayor frecuencia coincide con la media, pero hay ocasiones en las que todas las clases contienen casi el mismo número de observaciones. Se dice que esa muestra contiene mucha variabilidad porque no hay una frecuencia que destaque alrededor del valor central.



g) También es posible encontrar procesos con poca variabilidad, como el caso de una muestra en la cual casi todas las observaciones coinciden con el promedio y unas cuantas aparecen arriba o debajo de él.

   Esta es una condición deseable en cualquier proceso; la poca variabilidad indica que está bajo control, que la muestra y la población de donde salió son homogéneas.

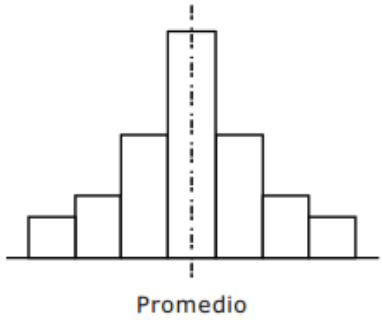


El histograma y la curva de distribución normal

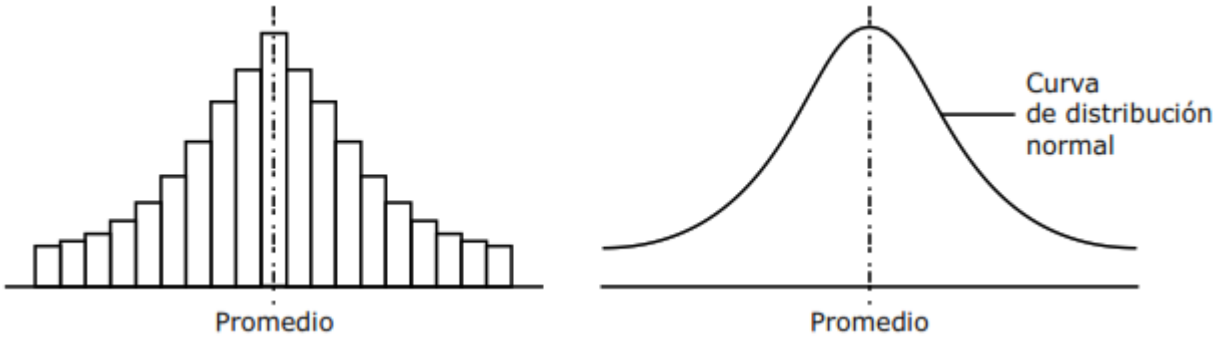
Si la variable de una población puede cambiar al azar conforme aumenta el número de elementos que se miden para formar un histograma, la frecuencia, alrededor del valor

central, también aumenta; es decir, cada vez aparecen más elementos cuya medida coincide con la media y se agudiza el perfil de las barras del histograma.

Figura 12. Histograma con un gran número de elementos



Por otro lado, si los límites entre una clase y otra se hacen más cerrados, el perfil del histograma va adquiriendo la forma característica de la curva de distribución normal.



La curva de distribución normal indica el comportamiento de cualquier medida que pueda variar exclusivamente por efecto del azar; por ejemplo, en una máquina siempre habrá variaciones en la medida de las piezas que produce, por mucho cuidado que se tenga al ajustarla. Esas variaciones se deben y se distribuyen al azar alrededor del valor medio de la medida que se toma.

CAPÍTULO III
MEJORAMIENTO CONTINUO Y CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

Prevención versus Detección

Antiguamente, la industria de la manufactura a menudo dependía de la Producción para hacer los productos y del Control de Calidad para inspeccionar el producto final y separar los productos que no cumplían con especificaciones. En situaciones administrativas, el trabajo a menudo es revisado con el fin de descubrir los errores. En ambos casos se involucra una estrategia de detección, la cual significa desperdicio, dado que se utiliza recursos (por ejemplo: tiempo y materiales) en productos ó servicios que no siempre agregan valor.

Es mucho más efectivo prevenir que se generen desperdicios, no produciendo productos o servicios que no serán utilizados, en otras palabras, utilizando una estrategia de prevención.

Una estrategia de prevención suena sensata y hasta obvia para la mayoría de la gente. Es fácilmente capturada en slogans tales como, “Hazlo correcto desde la primera vez”. Sin embargo, los slogans no son suficientes. Lo que se requiere es entender los elementos de un sistema de control estadístico de los procesos, y para ello es necesario dar respuestas a las siguientes preguntas:

¿Qué significa un sistema de control de procesos?

¿Cómo afecta la variación a los resultados del proceso?

¿Qué significa un Control Estadístico de Procesos?

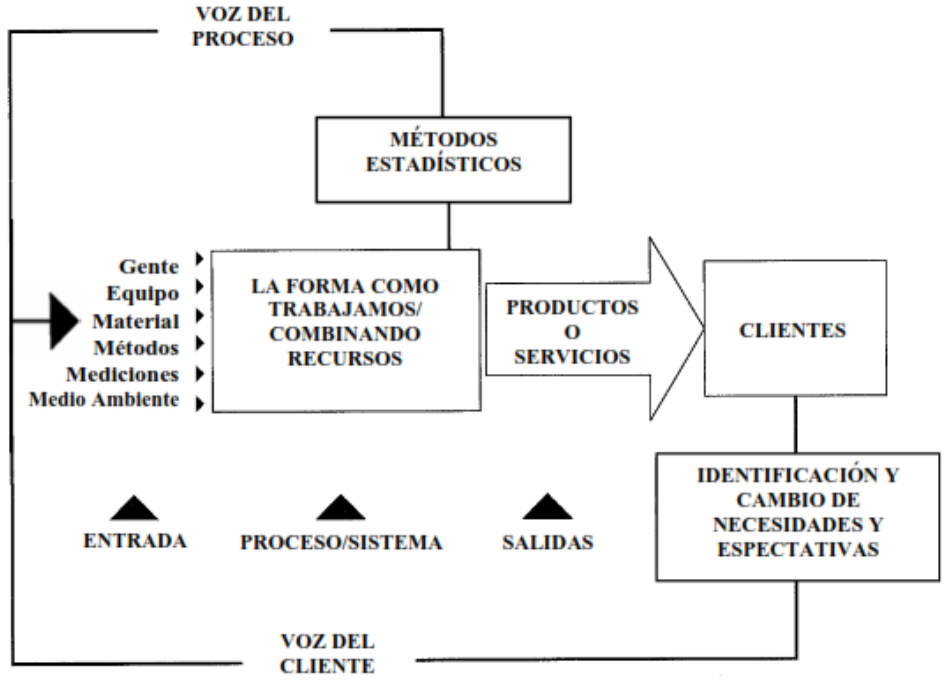
¿Qué significa que un proceso sea capaz?

¿Qué es un ciclo de mejoramiento continuo, y qué parte juega en éste el control de los procesos?

¿Qué son las gráficas de control, y cómo se usan?

¿Qué beneficios pueden esperarse del uso de gráficas de control?

Figura 13. *Esquema de un proceso enfoque prevención*



Fuente: AIAG, Control estadístico de los procesos, 2005

Sistema de control de procesos

Un sistema de control de procesos puede definirse como un sistema de retroalimentación de un proceso.

El Control Estadístico de Procesos (SPC, por sus siglas en inglés) es un tipo de sistema de retroalimentación. Existen también otros sistemas de retroalimentación, los cuales no son estadísticos. De estos sistemas se destaca los siguientes cuatro elementos:

1. **El proceso. –** por proceso se entiende a una combinación completa de proveedores, fabricantes, personas, equipo, materiales, métodos y medio ambiente (medio en el que se desarrolla el proceso) que interactúan para producir un resultado o producto. El desempeño total del proceso depende de la comunicación entre el proveedor y el cliente, y la forma en que se opera y administra. El resto del sistema de control de proceso es útil solo si contribuye a mantener un nivel de excelencia o a mejorar el desempeño total del mismo.
2. **Información acerca del desempeño. -** Mucha de la información acerca del desempeño de un proceso puede ser obtenida de los resultados del mismo proceso y de su variabilidad interna. Las características de un proceso (por ejemplo, temperatura, tiempo de ciclo, tiempos muertos, número de interrupciones, etc.) debieran ser el enfoque último de los esfuerzos. Es necesario determinar los valores meta para aquellas características que resulten en la operación más productiva del proceso, y por tanto monitorear que tan cerca o lejos estamos de los valores meta. Si esta información se recolecta e interpreta correctamente, puede mostrar si el proceso está actuando de una manera usual o inusual.

Pueden tomarse entonces acciones propias para corregir el proceso o los resultados producidos. Cuando se necesiten acciones, éstas deben ser oportunas y apropiadas, o el esfuerzo de la recolección de información estaría desperdiciado.

3. **Acciones sobre el proceso. –** Las acciones sobre el proceso son frecuentemente más económicas cuando se toman para prevenir la variación de las características de calidad del proceso. Esto asegura que la estabilidad y la variación de los resultados del proceso se mantengan dentro de los límites aceptables. Dichas acciones pueden ser:
    - Cambios en las operaciones
        - Entrenamiento a los operadores
        - Cambio de materiales
    - Cambios en los elementos del proceso
        - El equipo
        - La forma como la gente se comunica y se relaciona
        - Cambios en el diseño del proceso
4. **Acciones sobre los resultados**

    Tomar acciones sobre los resultados es frecuentemente lo menos económico cuando se restringe a la detección y corrección de producto fuera de especificaciones sin abordar los problemas sobre el proceso.

    Desafortunadamente, si el resultado no cumple consistentemente con los requerimientos del cliente, puede ser necesario la clasificación de todos los productos y desechar o retrabajar cualquier producto que no cumpla con las especificaciones y se deberá mantener esa actividad hasta que se tomen las acciones correctivas necesarias sobre el proceso.

    Es obvio que la inspección complementada con acciones sobre los resultados es una medida pobre para una efectiva administración de procesos. Las acciones solo sobre los resultados deberían usarse estrictamente como una medida provisional para procesos no estables o incapaces.

Control Estadístico de Procesos (SPC)

El Control Estadístico de Procesos es una herramienta fundamental en la gestión de la calidad, que permite monitorear y mantener la estabilidad de los procesos productivos. A través de la recopilación y análisis de datos.

La definición del Control Estadístico de Procesos radica en la aplicación de técnicas estadísticas para monitorizar y controlar la variabilidad de un proceso. En tal sentido, se analiza las definiciones importantes de este concepto.

Control

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

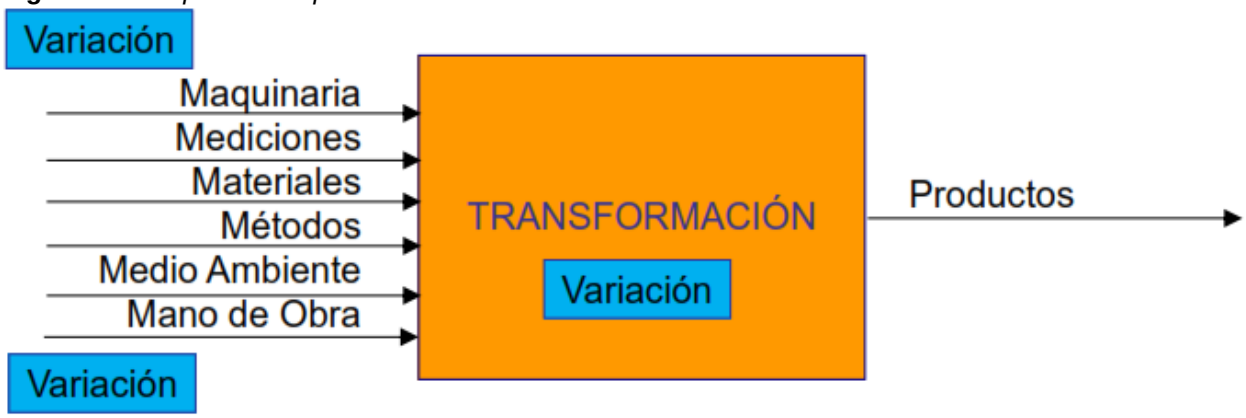
Estadística

Es la obtención de datos para ordenarlos o agruparlos de manera que nos den información de los eventos que suceden a nuestro alrededor. Esta información es útil para tomar decisiones y mejorar los eventos que suceden.

Proceso

Como se había mencionado en capítulos anteriores, un proceso es un grupo de actividades o pasos que se ejecutan de manera ordenada con el objetivo de transformar las entradas para obtener un producto (salidas).

Figura 14. *Bloques de un proceso*



La variabilidad

Basados en que dos actividades, productos o características no pueden ser exactamente iguales, entendemos que estos se producen de esta manera porque hay diferencias en todas las cosas, y esto es normal. La causa de estas diferencias es universal y se llama *variación*.

Prácticamente todo a nuestro alrededor varía, y toda variación es causada e imposible de prevenir un resultado individual. Sin embargo, un grupo de resultados, originado del mismo conjunto de causas (mismas fuentes de variación), tienden a ser predecibles, siguiendo un cierto “Patrón”, cuando aquel conjunto de causas es perturbado por causas externas, el patrón de variación se altera.

El Control Estadístico de Procesos asegura que la variación sea mínima.

A nivel industrial, de forma general, se identifican las siguientes fuentes de variación.

Fuentes de variación

Equipo

Esa causa comprende el desgaste de herramientas, vibración de la máquina, posicionamiento del soporte de la pieza, fluctuaciones hidráulicas y eléctricas, etc. Cuando se juntan todas estas

variaciones se define una cierta capacidad o precisión dentro de la cual el equipo funciona.

Aún las máquinas supuestamente idénticas tienen diferentes capacidades, y eso se vuelve una consideración muy importante cuando se programa la producción de partes críticas

Material

Como hay variación en el producto terminado, también debe existir en la materia prima (que es el producto terminado de algún otro proceso). Cabe esperar que características de la calidad, como resistencia a la tensión, ductilidad, espesor, porosidad, contenido de humedad, etc., contribuyan a la variación general del producto final.

Ambiente

La temperatura, iluminación, radiación, descarga electroestática, tamaño de la partícula, presión y humedad pueden contribuir a las variaciones en el producto.

Para controlar esta causa, algunas veces los productos se fabrican en “cuartos blancos”. Los experimentos que se hacen en el espacio exterior son para aprender más acerca del efecto del ambiente sobre la variación de los productos.

Operador

Esta fuente de variación comprende el método con el que el operador efectúa la operación. El bienestar físico y emocional del operador también puede contribuir a la variación. Un dedo cortado, un tobillo torcido, un problema personal o un dolor de cabeza pueden hacer que el desempeño de un operador varíe respecto a la calidad.

Cuando un operador no comprende las variaciones de equipos y materiales, por falta de entrenamiento, puede causar frecuentes ajustes de máquina y con ello complicar la variabilidad.

A medida que los equipos se han automatizado cada vez más, ha disminuido el efecto del operador sobre la variación.

Inspección (Mediciones)

Un equipo defectuoso de inspección, la aplicación incorrecta de una norma de calidad, o demasiada presión en un micrómetro pueden ser la causa de un informe incorrecto sobre la variación.

En general, la variación debida a la inspección debería ser la décima parte de las otras fuentes de variación. Debe observarse que por lo menos tres de esas fuentes están presentes en la actividad de inspección: *un inspector, el equipo de inspección y el ambiente.

Los procesos siempre tienen variación, ya que en el intervienen diferentes factores sintetizados en las 6 M: materiales, maquinaria, medición, mano de obra, métodos y medio ambiente. Bajo condiciones normales de trabajo, todas las M aportan variación a las variables de salida del proceso, en forma natural o inherente, pero además aportan variaciones especiales o fuera de lo común, ya que a través del tiempo las 6 M son susceptibles de cambios, desajustes, desgastes, errores, descuidos, fallas, etc.

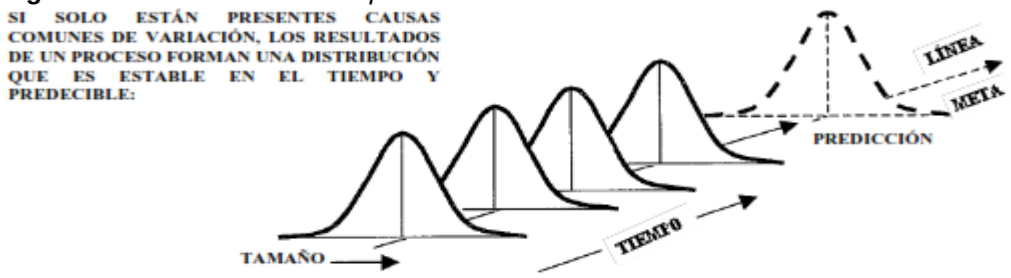
Así, hay dos tipos de variabilidad: la que se debe a causas comunes y la que corresponde a causas especiales. Resulta fundamental distinguir de forma eficiente entre ambos tipos de variación, para así tomar las medidas adecuadas en cada caso.

Variación común, aleatoria o inherente

Este tipo de variación, se refiere al conjunto fijo de muchas y pequeñas causas (6 M), inherentes al proceso, las cuales determinan su variabilidad característica o variación permitida (se mueve dentro de los límites de control). También se la conoce como la variación atribuible al proceso. Este tipo de variación no se elimina por completo a menos que haya un cambio importante en las técnicas, tecnologías, métodos, equipamiento o materiales propios del proceso.

Cuando solo hay causas aleatorias en un proceso, se considera que el proceso está en (o bajo) control estadístico. Es un estado estable y predecible (bajo control) en el tiempo.

Figura 15. *Variación en el tiempo – causa común*



Fuente: *AIAG, Control estadístico de los procesos, 2005*

"94% de los problemas (y oportunidades de mejora) se deben a causas comunes. Apenas 6% se deben a causas especiales"

W.E Deming

La línea de acción para tratar las causas comunes comprende el mejoramiento del proceso (acción más compleja) ya que:

- Requiere análisis de todo el conjunto de datos.
- Requiere conocimientos profundos del proceso (aislar el efecto individual de un parámetro en el desempeño final).
- Requiere cambios estructurales (procedimiento, personas, equipo, ambiente, etc.)
- Deben ser aplicados métodos que conduzcan a modificaciones del concepto o proyecto del proceso, o ajuste a las variables intrínsecas del mismo.

Variación asignable, sistemática o especial

Es la variación que sale de las especificaciones en una o más de las 6 M. La conocemos como la variación NO atribuible al proceso. Esta variación no es aleatoria, se elimina o reduce al investigar el problema y encontrar la causa.

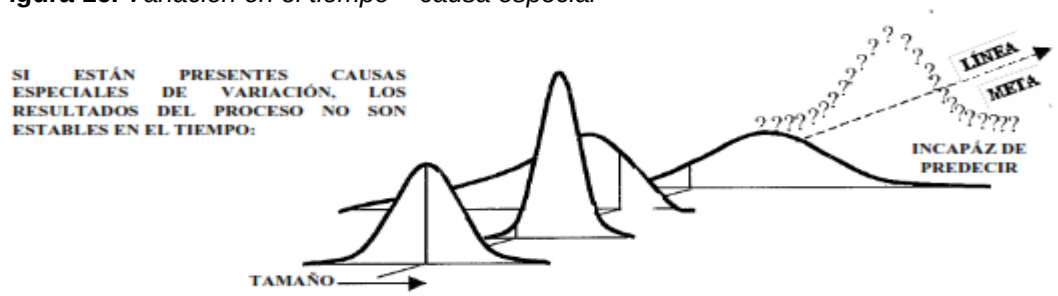
Cuando también está presente una causa de variación asignable, la variación será excesiva y se dice que el proceso está fuera de control, o que sale de la variación natural esperada.

Estos dos tipos de variación requieren respuestas administrativas distintas. Aunque uno de los objetivos de la administración de la calidad es la mejora constante mediante la reducción de la variación inherente, en general, esto no puede lograrse sin cambiar el proceso. Y no se debe cambiar el proceso hasta estar seguro de que toda la variación asignable ha sido identificada y está bajo control.

La línea de acción para tratar las causas especiales se enmarca en los siguientes principios:

- Deben ser atacados inmediatamente.
- La solución por lo general es sencilla y está al alcance de las personas directamente involucradas en la realización de las actividades.
    - Recolectar datos (a tiempo), revisar cartas de control
    - Verificar si los datos indican la presencia de causas especiales.
    - En caso afirmativo investigar inmediatamente que hay de especial asociado a aquella ocurrencia.
    - Eliminar las "causas malas" y prevenir su reincidencia.

Figura 16. *Variación en el tiempo – causa especial*



Fuente: AIAG, Control estadístico de los procesos, 2005

Dos tipos de pérdidas, dos tipos de errores

Error tipo 1: Tratar causas comunes como causa especial.

Consecuencias:

- Aumento de la variabilidad debido a la “violación” del proceso (ajuste indebido).
- Falsas sensación de “control” de la situación.
- Aumento de costos.
- Reducción de la productividad.
- Frustración, escepticismo, animosidad.
- Pérdida de confianza en los niveles jerárquicos superiores.

Error tipo 2: Tratar causas especiales como causas comunes.

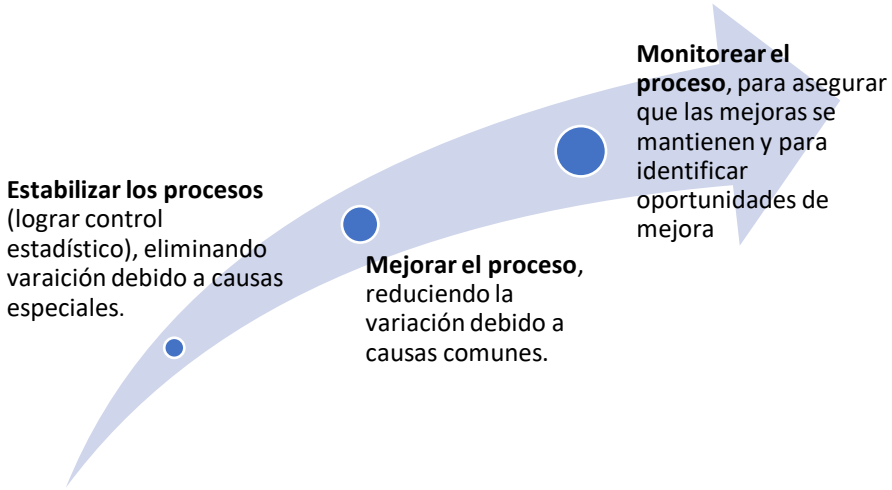
Consecuencias:

- Oportunidades de mejora son perdidas.
- Convivencia pacífica con problemas crónicos.
- Se perpetua el “caos”, no se puede predecir el proceso.
- Generadores de desperdicio

CAPÍTULO IV
GRÁFICAS O CARTAS DE CONTROL

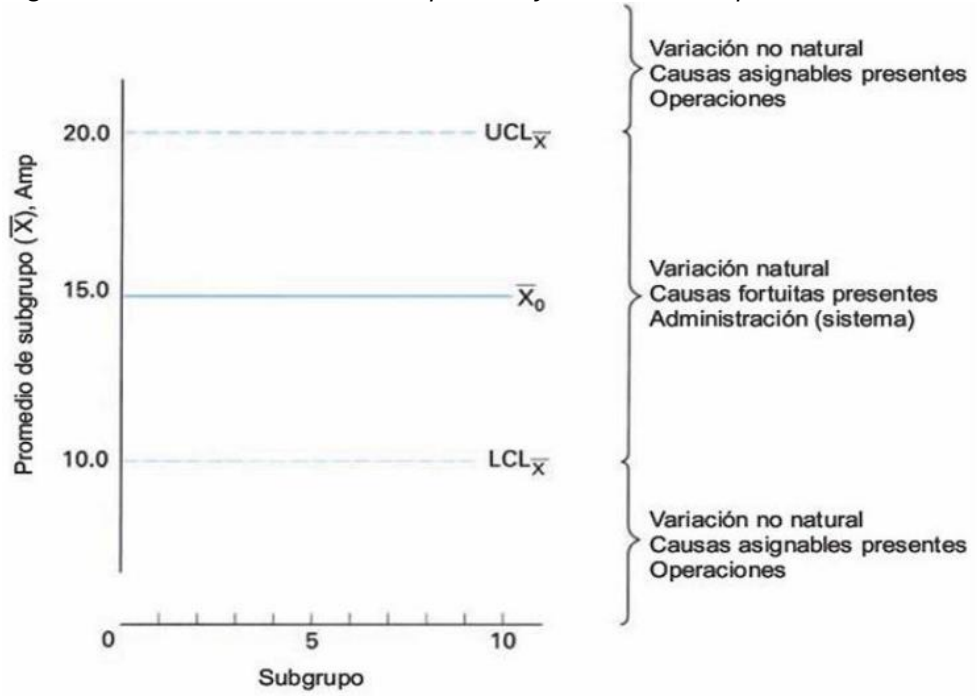
En el capítulo 2 se explicó cuáles son las herramientas para estudiar la variabilidad. Pero éstas no tomaban en cuenta la secuencia en la que fueron tomados los datos. En cambio, las cartas de control se especializan en estudiar la variabilidad a través del tiempo. Lo anterior es clave para mejorar los procesos, a través de tres actividades básicas.

Figura 17. *Actividades básicas producto del uso de cartas de control*



En el capítulo 3, se explicó que cuando un proceso es influenciado únicamente por causas comunes de variación se dice que está en *control estadístico o es estable,* porque su variación en el tiempo es predecible. Además, independientemente de que su variabilidad sea mucha o poca, el desempeño del proceso es predecible en el futuro inmediato, en el sentido de que su tendencia central y la amplitud de su variación se mantienen sin cambios, al menos en el corto plazo. En contraste, se dice que un proceso en el que están presentes causas especiales de variación está fuera de control estadístico (o simplemente que es inestable); este tipo de procesos son impredecibles en el futuro inmediato pues en cualquier momento pueden aparecer de nuevo las situaciones que tienen un efecto especial sobre la tendencia central o sobre la variabilidad.

Figura 18. *Efectos de las causas especiales y comunes en el proceso*



Cartas de control

La esencia del control estadístico de procesos consiste en identificar un parámetro que sea fácil de medir y cuyo valor sea importante para la calidad del resultado del proceso, graficarlo de tal manera que se pueda reconocer las variaciones no aleatorias, y decidir cuando hacer ajustes al proceso. Estás gráficas se conocen genéricamente como gráficas de control.

En la definición anterior se habla sobre un “valor importante para la calidad del resultado del proceso”, a este valor se lo conoce como un ***DATO*** que refleja las características de calidad (propiedad distintiva de los productos de la cual es necesario vigilar su variación).

Un dato es una información, usualmente en formato numérico, obtenido como resultado de una medida o una decisión.

En las gráficas de control los datos son necesarios para:

- Entender la situación actual de un proceso.
- Analizar un proceso y establecer la relación causa – efecto.
- Controlar un procese.
- Medir el mejoramiento continuo.
- Regular un proceso.
- Aceptar o rechazar productos.

Existen dos tipos de datos, “VARIABLE” y “ATRIBUTOS”.

- **Variable:** Características de las piezas, partes, proceso o actividades que pueden ser medidas siempre con un instrumento de medición.
- **Atributos:** Es la presencia o ausencia de cualidades, que nos permite decidir si una pieza, parte, tarea o proceso es aceptada o rechazada, pasa o no pasa, defectuosa o no defectuosa, adecuado o inadecuado. Se percibe con los sentidos**.**

Tipos de cartas de control

En consecuencia, de que existen dos tipos de datos (variables y atributos) existen dos tipos de diagramas de control, cada uno especializado para analizar los tipos de datos.

- **Cartas de control de variables:** se aplican a características de calidad de tipo continuo, que intuitivamente son aquellas que requieren de un instrumento de medición, como la cantidad de refresco de cola en una botella de dos litros o el diámetro exterior de una tubería. Un diagrama de control de variables requiere un intervalo o escala de razón de medición.

  Las cartas de control tipo *Shewhart* para variables más usuales son:

  - $\bar{X}$ (de medias), para $n \leq 10$
  - R (de rangos), para $n \leq 10$
  - S (de desviaciones estándar), para $n > 10$
  - X (de medidas individuales), para $n = 1$
- **Cartas de control de atributos:** diagramas que se aplican al monitoreo de características de calidad del tipo “pasa, o no pasa”, clasifica un producto o servicio como aceptable o inaceptable. Se basa en la escala de medición nominal. Por ejemplo: el departamento de alimentación pide calificar los alimentos servidos como aceptables o inaceptables; ó, donde se cuenta el número de no conformidades que tienen los productos no analizados.

  Las cartas de control para variables más usuales son:

  - p (proporción de artículos defectuosos)
  - np (número de unidades defectuosas)
  - c (número de defectos)
  - u (número de defectos por unidad)

Además de las cartas de control anteriores, existen una gran variedad que en general pretenden mejorar el desempeño de alguna de las cartas tradicionales.

Carta de control $\bar{X} - R$ (VARIABLES)

Existen procesos industriales considerados de producción "masiva" (producen muchos artículos, durante un lapso de tiempo pequeño). Si, además, las variables de salida de interés son de tipo continuo, entonces estamos ante el campo ideal de aplicación de las cartas de control $\bar{X} - R$. ***Por lo general, el tamaño de los subgrupos es*** $n \leq 10$***.***

Ejemplo 4.1. Uso de cartas de control $\bar{X} - R$.

La empresa ACME S.A. produce dinamita, las cuales a la salida del proceso fluyen (uno a uno o por lotes) sobre una cinta transportadora, cada determinado período de tiempo se toma un número pequeño de muestras (subgrupo) a las que se les medirá una característica de calidad. Con las mediciones de cada subgrupo se calculará la media y el rango, de modo que cada período de tiempo se tendrá una media y un rango muestral que aportarán información sobre la tendencia central y la variabilidad del proceso, respectivamente.

Para de la carta de control $\bar{X} - R$. lo veremos con un ejemplo y siguiendo los siguientes pasos:

I. Obtener los datos de una muestra (subgrupo) cada cierto tiempo. Las lecturas necesitan tomarse en diferentes tiempos para representar cuando el proceso está en ejecución. Esto tomará en cuenta calentamientos, medio ambiente u otros factores que pudieran cambiar durante el día.

II. Graficar los datos en una gráfica de control $\bar{X} - R$ en el orden en que se tomaron las lecturas.

Establecer los límites de control de la carta $\bar{X}$.

Los datos que se obtuvieron de un equipo de trabajo que midió una característica de calidad a un subgrupo de 5 piezas, cada 60 minutos (4 subgrupos) fueron los siguientes.

Figura 19. *Datos de subgrupo para ejemplo*

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
18,30	18,00	18,30	18,30	18,30
18,30	18,10	18,00	18,15	18,30
18,30	18,10	18,30	18,25	18,50
18,30	18,10	18,35	18,35	18,30

Para establecer los límites de control de las cartas tipo *Shewhart*, ***en un estudio inicial***, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \qquad LCI = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

$$Línea\ central = \bar{\bar{X}}$$

Donde:

$\bar{\bar{X}} = La\ media\ de\ las\ medias\ de\ las\ lecturas;$

$\bar{R} = Promedio\ de\ los\ rangos$

$$A_2 = Valor\ de\ la\ tabla\ (Anexo\ 3)$$

Cuando ya se conoce la media, μ, y la desviación estándar del proceso, σ, entonces estos límites para la carta de medias están dados por:

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

$$Línea\ central = \mu$$

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

De los datos de la tabla 4.1, y del anexo 3, se obtiene que:

$$\bar{\bar{X}} = 18{,}25; \qquad \bar{R} = 0{,}31; \qquad A_2 = 0{,}577$$

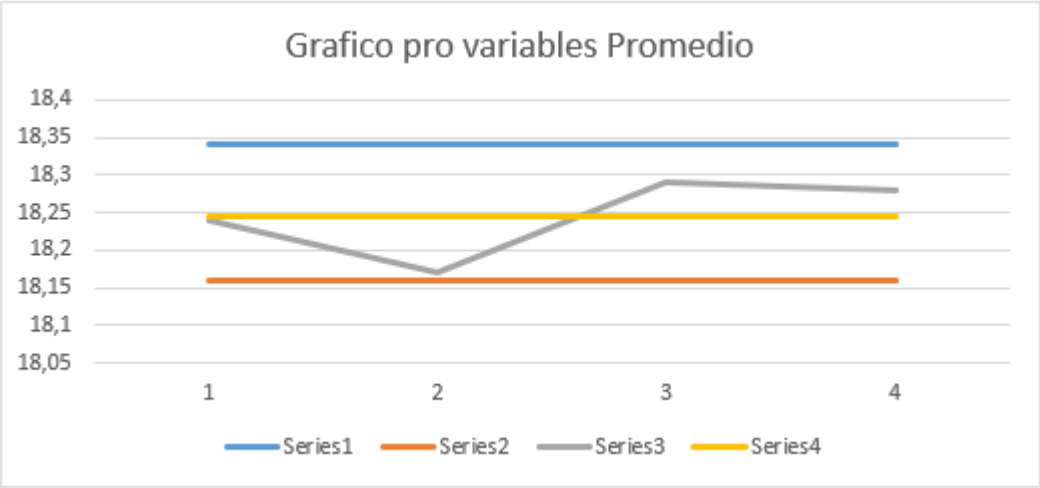
Entonces:

$$LCS = 18{,}25 + (0{,}577 * 0{,}31) = 18{,}43$$

$$LCI = 18{,}25 - (0{,}577 * 0{,}31) = 18{,}07$$

Al graficar las medias de la tabla 4.1, y trazar los límites se obtiene la carta $\bar{X}$ de la figura 4.3. en esta se observa que no hay puntos fuera de los límites de control y además el comportamiento de los puntos, no sigue ningún patrón especial (como veremos más adelante).

Figura 20. *Carta de medias para ejemplo*



Nota:

Los límites de control en una carta de medias no son iguales a los límites reales o naturales del proceso, ya que como vimos anteriormente, estos últimos están dados por:

$$Límite\ real\ superior = \mu + 3\sigma$$

$$Límite\ real\ inferior = \mu - 3\sigma$$

Y reflejan la variación esperada para las mediciones individuales, y no para la media de las muestras.

Establecer los límites de control de la carta R.

Para establecer los límites de control para el rango se utilizan las siguientes fórmulas:

$$LCS = D_4 * \bar{R} \qquad LCI = D_3 * \bar{R}$$

De la tabla (Anexo 3) se obtiene:

$$D_4 = 2{,}114; \qquad D_3 = 0$$

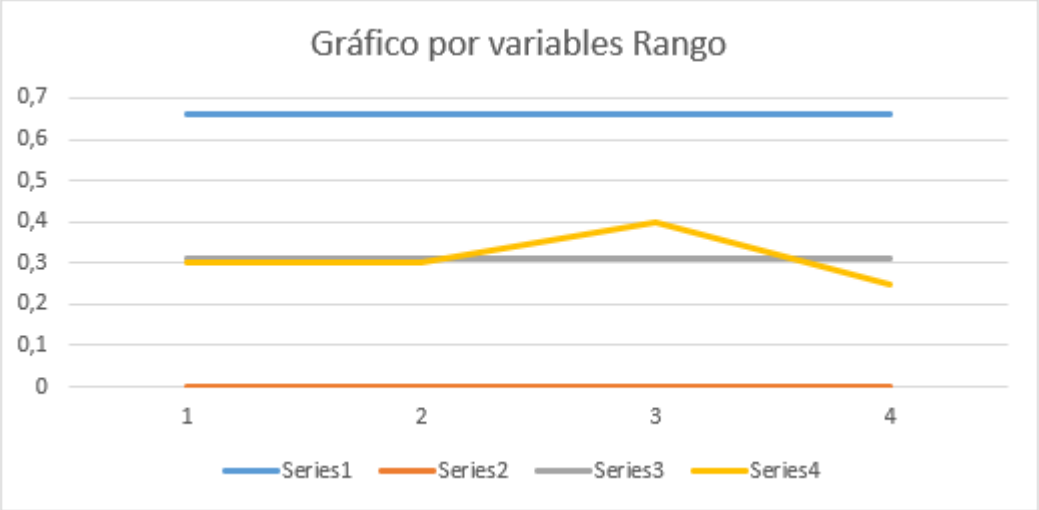
Entonces:

$$LCS = 2{,}114 * 0{,}31 = 0{,}66$$

$$LCI = 0 * 0{,}16 = 0$$

La carta R correspondiente, se muestra en la figura 4.4, donde se observa que no hay ningún punto fuera de los límites y además el comportamiento de los puntos no sigue ningún patrón especial; por tanto, el proceso ha funcionado de manera estable en cuanto a la amplitud de su variación.

Figura 21. *Carta de rangos para ejemplo*



Índices de capacidad de procesos

Los productos que se obtienen a la salida de un proceso, deben cumplir con ciertas características de calidad a fin de identificar si el proceso está funcionando de forma satisfactoria. Evaluar la habilidad o *capacidad de un proceso* consiste en conocer la amplitud de la variación natural de éste para que la característica de calidad dada.

Índice C_p

Es el índice de capacidad potencial del proceso, y se define de la siguiente manera:

$$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

Donde:

$$Es\ y\ EI = Especificaciones\ superior\ e\ inferior\ para\ la\ característica\ de\ calidad$$

$$\sigma = Desviación\ estandar\ del\ proceso$$

Interpretación del índice C_p

Figura 22. *Valores de Cp y su interpretación*

VALOR DEL ÍNDICE C_p	CLASE O CATEGORÍA DEL PROCESO	DECISIÓN (SI EL PROCESO ESTÁ CENTRADO)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

Índice C_{pk}

Se lo conoce como el índice de capacidad real del proceso, es considerado una versión corregida del C_p que si toma en cuenta el centrado del proceso. Una de las formas más comunes para calcularlo es el siguiente:

$$C_{pk} = mínimo\left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma}\right]$$

Significa que el índice C_{pk} es igual al valor más pequeño entre los factores de los corchetes ($C_{pi}\ y\ C_{ps}$)

Carta de control p (ATRIBUTOS)

Es esta carta se observan las variaciones en la fracción o proporción de artículos defectuosos por muestra o subgrupo. La carta p (proporción de defectuosos) se utiliza comúnmente para la evaluación del desempeño de una parte o de todo un proceso, tomando en cuenta su variabilidad con el propósito de detectar causas o cambios especiales en el proceso.

La línea central de esta carta de control está en p, la proporción media de defectos. La p reemplaza a la $\bar{X}$ del diagrama de control de variables. La proporción media de defectos se obtiene de la siguiente manera:

$$Proporción\ media\ de\ defectos = p = \frac{Número\ total\ de\ defectos}{Número\ total\ de\ artículos\ en\ la\ muestra}$$

La variación en la proporción de la muestra se describe por el error estándar de una proporción, por lo tanto, el límite de control superior (LCS) y el límite de control inferior (LCI) se calculan como el porcentaje medio más o menos tres veces el error estándar de los porcentajes (proporciones). La fórmula de los límites de control es:

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

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

Ejemplo 4.2

ACME Glass Company, produce espejos pequeños de mano. La compañía opera un turno diurno y uno vespertino cada día laboral de la semana. El departamento de aseguramiento de calidad (QA) supervisa la calidad de los espejos dos veces durante el turno diurno y dos veces durante el vespertino. El departamento de calidad selecciona e

inspecciona minuciosamente una muestra aleatoria de 50 espejos cada 4 horas. Cada espejo se clasifica como aceptable o inaceptable.

Por último, se cuenta el número de espejos en la muestra que no cumplen con las especificaciones de calidad. Los siguientes son los resultados de estas verificaciones durante los últimos 10 días laborables.

Tabla 5. *Datos ejemplo 4.2*

Fecha	Número muestrado	Defectos	Fecha	Número muestrado	Defectos	Fecha	Número muestrado	Defectos
10-oct	50	1	14-oct	50	6	19-oct	50	4
	50	0		50	9		50	5
	50	9		50	2		50	2
	50	9		50	4		50	5
11-oct	50	4	17-oct	50	7	20-oct	50	0
	50	4		50	9		50	0
	50	5		50	0		50	4
	50	3		50	8		50	7
12-oct	50	9	18-oct	50	6	21-oct	50	5
	50	3		50	9		50	1
	50	10		50	6		50	9
	50	2		50	1		50	9
13-oct	50	2						
	50	4						
	50	9						
	50	4						

De los datos se tiene:

n = 50

Sumatoria de muestras = 2000

Defectos totales = 196

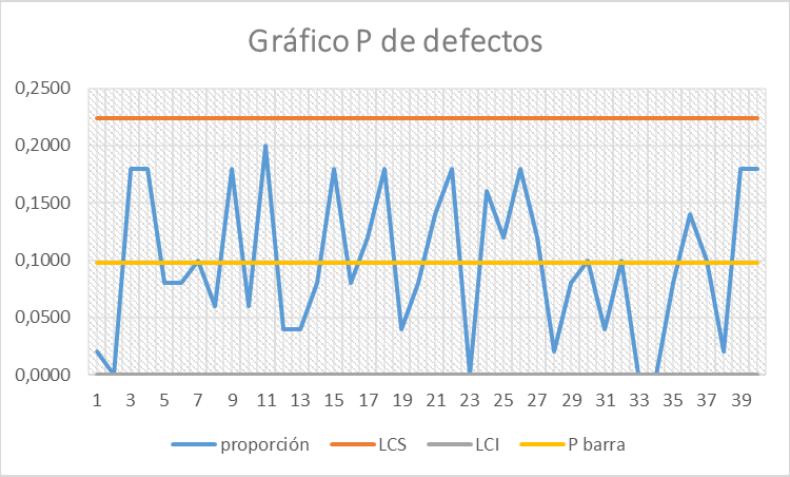
$$p = \frac{196}{2000} = 0{,}098\%$$

$$LCS, LCI = 0{,}098 \pm 3\sqrt{\frac{0{,}098(1 - 0{,}098)}{50}}$$

$$LCS = 0{,}224$$

$$LCI = -0{,}028$$

Figura 23. *Carta de control p para ejemplo 4.2*



Los límites de control reflejan la realidad del proceso. Así que mientras la proporción de defectos siga cayendo dentro de los límites de control y no haya ningún otro patrón especial, será señal de que el proceso funciona igual que siempre; bien o mal, pero su desempeño se encuentra dentro de lo previsto.

Interpretación de las cartas de control

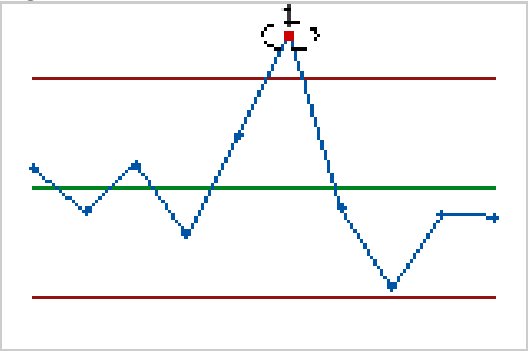
Como hemos visto a lo largo de todo este cuaderno de trabajo, la interpretación de las cartas de control es fundamental en el ámbito del control de los procesos (calidad), ya que permite analizar de manera visual la estabilidad y variabilidad de un proceso.

Es por ello que comprender el funcionamiento de las gráficas de control resulta esencial para garantizar la calidad de los productos y servicios.

Puntos fuera de los límites de control

Identifica subgrupos que son poco comunes en comparación con otros subgrupos. Cuando hay puntos fuera de los límites de control, se entiende que el proceso está fuera de control: hay observaciones fuera de los límites.

Figura 24. *Puntos fuera de los límites de control*

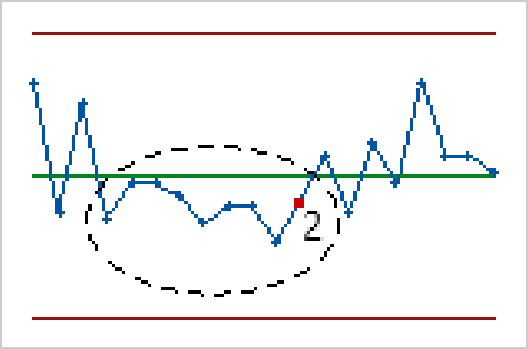


Fuente: Minitab

Puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central

Identifica cambios rápidos en el centrado o la variación del proceso, por lo general se entiende que el proceso está fuera de control cuando hay más de 7 o 9 puntos en el mismo lado de la media.

Figura 25. *Puntos al mismo lado de la línea central*

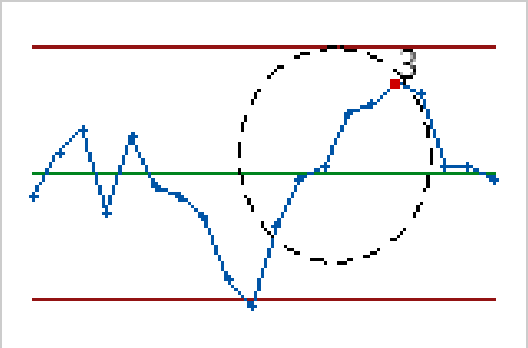


Fuente: Minitab

Puntos consecutivos, todos en orden creciente o decreciente

Esta prueba busca series largas de puntos consecutivos (generalmente 10) cuyos valores aumenten o disminuyan de manera consistente. Siempre que se encuentre una falta de aleatoriedad, debe suponer que algo sistemático lo ocasiona. Aunque todas las observaciones están dentro de los límites de control, se dice que el proceso está fuera de control.

Figura 26. *Puntos en tendencia creciente o decreciente*

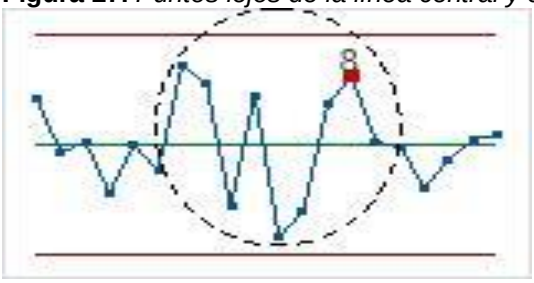


Fuente: Minitab

Ciclos en el nivel del proceso

Altibajos que se repiten arriba y debajo de la línea central; pueden indicar factores como fatiga del operador y/o cambios de operador entre turnos

Figura 27. *Puntos lejos de la línea central y cerca de los límites de control*



Fuente: Minitab

Atracción hacia la línea central

Pequeñas desviaciones uniformes con respecto a la media indican que la variabilidad se ha reducido respecto a sus niveles históricos; esto en general es deseable. Si se puede mantener la tendencia, los límites de control deberán reducirse para asegurar la mejora de la calidad.

Este patrón a veces se interpreta equivocadamente como evidencia de control adecuado.

Figura 28. *Puntos atraídos hacia la línea central*

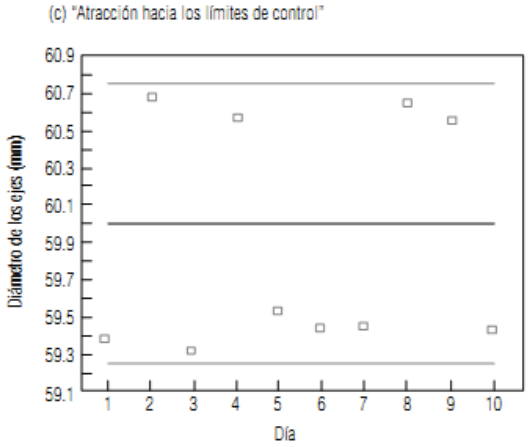


Fuente: Minitab

Atracción hacia los límites de control

Grandes desviaciones uniformes respecto a la media; pueden indicar que se están observando dos poblaciones distintas.

Figura 29. *Puntos atraídos hacia los límites de control*

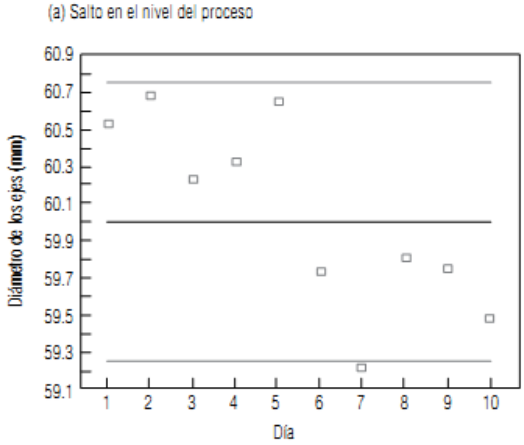


Fuente: imágenes Google

Saltos del nivel del proceso

Indica que la media del proceso pudo haber cambiado.

Figura 30. *Puntos alrededor del cual varían las observaciones*



Fuente: Imágenes Google

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AMPLITUD O RANGO. - La diferencia entre el valor máximo y mínimo de los valores de una variable se encuentran comprendidos el 100% de los valores muestrales.

DESCRIPTIVA. - Parte de la estadística que resume la información de la muestra. La información recogida y resumida en los estadísticos se usa para la estimación de parámetros poblacionales.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR (TÍPICA). - Característica de una muestra o población que cuantifica su dispersión o variabilidad. Tiene las mismas unidades que la variable. La desviación típica es invariante con respecto al origen de la distribución. Su cuadrado es la varianza.

DISTRIBUCIÓN NORMAL O DE GAUSS. - Es una distribución teórica de probabilidad que se usa tanto en la estadística aplicada como en la teórica. Aparece en la práctica con mucha frecuencia como consecuencia del importante resultado que establece el teorema central del límite. Tiene una forma de campana y viene caracterizada por únicamente dos valores: la media y la varianza.

HISTOGRAMAS. - Es un gráfico en forma de barras de una variable continua que se ha discretizado en intervalos, de forma que la altura de las barras en cada intervalo indica la frecuencia relativa en éste.

MÁXIMO. - Es un valor muestral de forma que por encima de éste no hay valores muestrales.

MEDIANA. - Corresponde al percentil 50%. Es decir, la mediana hace que haya un 50% de valores muestrales inferiores a ella y un 50% de valores muestrales superiores a ella.

MEDIA. - Es una medida de centralización para una variable continua. Se obtiene sumando todos los valores muestrales y dividendos por el tamaño muestral.

MÍNIMO. - Es un valor muestral de forma que por debajo de éste no hay valores muestrales.

MODA. - Es el valor que más se repite en una variable nominal.

MUESTRAS. - Subgrupos de observaciones de la población de estudio.

PARÁMETROS. - Son valores desconocidos de características de una distribución teórica. El objetivo de la estadística es estimarlos bien dando un valor concreto, bien dado un intervalo confidencial.

POBLACIONES. - Conjunto de individuos de interés. Normalmente no se dispone de información de toda la población y se recurre a muestras.

PORCENTAJES. - Proporciones expresadas en tanto por ciento.

PROPORCIÓN. - Número de individuos que verifican una condición entre el total muestral. Se puede expresar en tanto por ciento.

SESGO. - La diferencia entre el valor del parámetro y su valor esperado. También se utiliza en contraposición de aleatorio, así una muestra sesgada es no aleatoria.

SIMETRÍA. - Es una medida que refleja si los valores muestrales se extienden o no de igual forma a ambos lados de la media.

SUMATORIA. - Estadístico descriptivo que suma los valores numéricos de los datos muestrales de distribuciones continuas.

TAMAÑO MUESTRAL. - Número de individuos u observaciones que componen la muestra.

VALORES NUMÉRICOS. - Resultados de las variables para cada individuo en la muestra de estudio. Su naturaleza puede ser nominal, dicotómica, ordinal o continua.

VARIABLE. - Objeto matemático que puede tomar diferentes valores. Generalmente asociado a propiedades o características de las unidades de la muestra. Lo contrario de variable es constante.

VARIABLE ALEATORIA. - Variable cuyo resultado varía según la muestra según una distribución de probabilidad.

VARIABLE CONTINUA. - Aquella que puede tomar una infinidad de valores, de forma que dados dos valores cualquiera, también pueda tomar cualquier valor entre dichos valores.

VARIABLE DISCRETA. - Variable que toma un número finito o infinito de valores, de forma que no cubre todos los posibles valores numéricos entre dos dados, en contraposición de las continuas.

VARIABLES. - Describen características en las observaciones realizadas.

VARIANZA. - Característica de una muestra o población que cuantifica su dispersión o variabilidad. La varianza tiene unidades al cuadrado de la variable. Su raíz cuadrada positiva es la desviación típica. La varianza muestral es un estimador sesgado de la varianza poblacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Pande, Peter. Holpp, Larry. (2002). “¿Qué es Seis Sigma?”. McGrawHill/Interamericana de España, S.A. U. Madrid, España.

Gutiérrez Pulido, Humberto. De la Vara, Román. (2004). “Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma”. McGraww-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. México D.F., México.

Escalante Vásquez, Edgardo. (2008). “Seis Sigma, Metodología y Técnicas”. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México D.F., México.

Barba, Eric. Boix, Francesc. Cuatrecasas, Lluís. (2000). “Seis Sigma, Una iniciativa de Calidad Total”. Ediciones Gestión 2000, S.A.. Barcelona, España.

Gygi, Craig. DeCarlo, Neil. Williams, Bruce. (2005). “Six Sigma For Dummies”. Wiley Publishing. Indiana, USA.

Pande, Peter. Neuman, Robert. Cavanagh Ronald. (2000). Las claves de Seis Sigma. La implantación con éxito de una cultura que revoluciona el mundo empresarial. McGraw-Hill/Interamericana de España. Madrid, España.

De Feo, Joseph. Barnard, William. (2004). Juran Institute, Más Allá de Seis Sigma, Estrategia Para General Valor. McGraw-Hill/Interamericana de España. Madrid, España.

Seis sigma para pequeñas y medianas empresas:
www.juran.es/seissigma.com.html

iSix Sigma. Six Sigma Quality Resources for Achieving Six Sigma.
www.isixsigma.com

Comisión Nacional de la Micro y Pequeña Empresa
www.conamype.org.sv

APÉNDICE A

Factores para diagramas de control.

Tamaño de muestra, n	Factores para diagramas $\bar{x}$		Factores para diagramas R		
	$d_2 = \frac{R}{\sigma}$	$A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$	$d_3 = \frac{\sigma_R}{\sigma}$	$D_3 = 1 - \frac{3d_3}{d_2}$	$D_4 = 1 - \frac{3d_3}{d_2}$
2	1.128	1.881	0.853	0	3.269
3	1.693	1.023	0.888	0	2.574
4	2.059	0.729	0.880	0	2.282
5	2.326	0.577	0.864	0	2.114
6	2.534	0.483	0.848	0	2.004
7	2.704	0.419	0.833	0.076	1.924
8	2.847	0.373	0.820	0.136	1.864
9	2.970	0.337	0.808	0.184	1.816
10	3.078	0.308	0.797	0.223	1.777
11	3.173	0.285	0.787	0.256	1.744
12	3.258	0.266	0.779	0.283	1.717
13	3.336	0.249	0.770	0.308	1.692
14	3.407	0.235	0.763	0.328	1.672
15	3.472	0.223	0.756	0.347	1.653
16	3.532	0.212	0.750	0.363	1.637
17	3.588	0.203	0.744	0.378	1.622
18	3.640	0.194	0.739	0.391	1.609
19	3.689	0.187	0.734	0.403	1.597
20	3.735	0.180	0.729	0.414	1.586
21	3.778	0.173	0.724	0.425	1.575
22	3.819	0.167	0.720	0.434	1.566
23	3.858	0.162	0.716	0.443	1.557
24	3.895	0.157	0.712	0.452	1.548
25	3.931	0.153	0.708	0.460	1.540



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO CORPORATIVO

EDWARDS DEMING

Saber qué hacer y cómo hacerlo



Deming

EDITORIAL TECNOLÓGICA

EDICIÓN

PRIMERA

ISBN: 978-9942-692-33-7

