

MANUAL DE LABORATORIO PROCESOS DE CALIDAD



Décimo Semestre, 2026.

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	HORARIO	ACTIVIDAD
Lunes	08:00-12:00	Práctica 1: Herramientas de la Calidad
Martes	08:00-12:00	Práctica 2: Muestreo de aceptación por medio de tablas
Miércoles	08:00-12:00	Práctica 3: Gráficas de control para variables
Jueves	08:00-12:00	Práctica 4: Gráficas de control para atributos
La evaluación virtual estará habilitada del 26 de octubre de 2026 a las 8:00 al 30 de octubre de 2026 a las 18:00. Para obtener el punteo correspondiente y aprobar el curso, es obligatorio asistir a las prácticas presenciales y completar esta evaluación en línea dentro del período establecido.		

MATERIAL NECESARIO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Cada grupo de estudiantes debe de traer el material que se le indica en la siguiente tabla, según el día junto con materiales de limpieza.

No.	Reactivos y Material
1	Hojas en blanco Lapiceros Regla Computadora Microsoft Excel
2	Hojas en blanco Lapiceros Regla Computadora Microsoft Excel
3	Hojas en blanco Lapiceros Regla Computadora Microsoft Excel
4	Hojas en blanco Lapiceros Regla Computadora Microsoft Excel

INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LAS PRÁCTICAS

Para la realización adecuada de las prácticas deberán atenderse las siguientes indicaciones:

1. Presentarse puntualmente a la hora del inicio del laboratorio y permanecer durante la duración de este.
2. Realizar las actividades y hojas de trabajo planteadas durante la práctica.
3. Participación y cuidado de cada uno de los integrantes del grupo en todo momento de la práctica.
4. Conocer la teoría, (leer el manual antes de presentarse a cada práctica).
5. **No se permite el uso de teléfono celular dentro del laboratorio**, Si tiene llamadas laborales deberá atender las mismas únicamente en el horario de receso.
6. Si sale del salón de clases sin la autorización del docente perderá el valor de la práctica.
7. No puede atender visitas durante la realización de la práctica.
8. El horario de receso es únicamente de 15 minutos.
9. **Respeto dentro del laboratorio hacia los catedráticos o compañeros (as).**

La falta a cualquiera de los incisos anteriores será motivo de una inasistencia.

Considere que se prohíbe terminantemente comer, beber y fumar. Éstos también serán motivos para ser retirado de la práctica.

Recuerde que para tener derecho al punteo y aprobar el curso deberá presentarse a las prácticas y realizar las evaluaciones en línea, las cuales estarán habilitadas **del 26 de octubre 2026 a las 8:00 al 30 octubre 2026 a las 18:00.**

INFORME DE PRÁCTICA

Las secciones de las cuales consta un informe, el punteo de cada una y el orden en el cual deben aparecer son las siguientes:

- a) Resultados
- b) Resumen de la práctica
- c) Conclusiones

Si se encuentran dos informes parcial o totalmente parecidos se anularán automáticamente dichos reportes.

- a. **Resultados:** es la sección en la que se presentan de manera clara y objetiva los datos obtenidos a partir de la práctica realizada.
- b. **Conclusiones:** constituyen la parte más importante del informe. Son las decisiones tomadas, respuestas a interrogantes o soluciones propuestas a las actividades planteadas durante la práctica.

- c. **Resumen de la práctica:** esta sección corresponde al contenido del informe, aquello que se ha encargado realizar según las condiciones del laboratorio.

Detalles físicos del informe

- El informe debe presentarse en hojas de papel bond **tamaño carta**.
- Cada sección descrita anteriormente, debe estar debidamente identificada y en el orden establecido.
- Todas las partes del informe deben estar escritas a mano con letra clara y legible, a menos que se indique lo contrario.
- Se deben utilizar ambos lados de la hoja.
- No debe traer folder ni gancho, simplemente engrapado.

Importante:

Los informes se entregarán al día siguiente de la realización de la práctica al entrar al laboratorio sin excepciones. Todos los implementos que se utilizarán en la práctica se tengan listos antes de entrar al laboratorio pues el tiempo es muy limitado. Todos los trabajos y reportes se deben de entregar en la semana de laboratorio no se aceptará que se entregue una semana después

PRÁCTICA NO. 1

HERRAMIENTAS DE LA CALIDAD

1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Conocer los fundamentos teóricos de las herramientas de la calidad.
- 1.2. Aplicar las herramientas de la calidad en la resolución de un problema.

2. Marco Teórico:

Concepto de calidad

La calidad es un concepto fundamental en la ingeniería industrial y en la gestión de las organizaciones, ya que constituye la base para satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes mediante productos y servicios que cumplen con los requisitos establecidos. A lo largo del tiempo, el concepto de calidad ha evolucionado desde un enfoque centrado únicamente en la inspección de productos terminados hacia una filosofía de gestión orientada a la mejora continua de todos los procesos organizacionales.

De acuerdo con la **Norma ISO 9000:2015**, la calidad se define como: **grado en que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos**. La calidad de los productos y servicios incluyen no sólo su función y desempeño previstos, sino también su valor percibido y el beneficio para el cliente.

El estudio de la calidad proporciona las bases para comprender y aplicar las herramientas utilizadas en el análisis y mejora de procesos, las cuales facilitan la toma de decisiones basada en datos y contribuyen al logro de los objetivos organizacionales.

Herramientas de control de calidad

Las herramientas de la calidad son un conjunto de técnicas y métodos que permiten recopilar, organizar, analizar e interpretar información relacionada con el desempeño de los procesos. Su propósito es facilitar la identificación de problemas, determinar sus causas, evaluar la variabilidad, apoyar la toma de decisiones y promover la mejora continua dentro de las organizaciones.

Estas herramientas se caracterizan por su facilidad de aplicación y por estar basadas en el análisis de datos, lo que las convierte en instrumentos fundamentales para el control y la mejora de la calidad en procesos productivos y de servicios. Aunque pueden utilizarse de manera individual, su mayor efectividad se alcanza cuando se emplean de forma complementaria dentro de una metodología sistemática de solución de problemas.

Las herramientas de la calidad permiten:

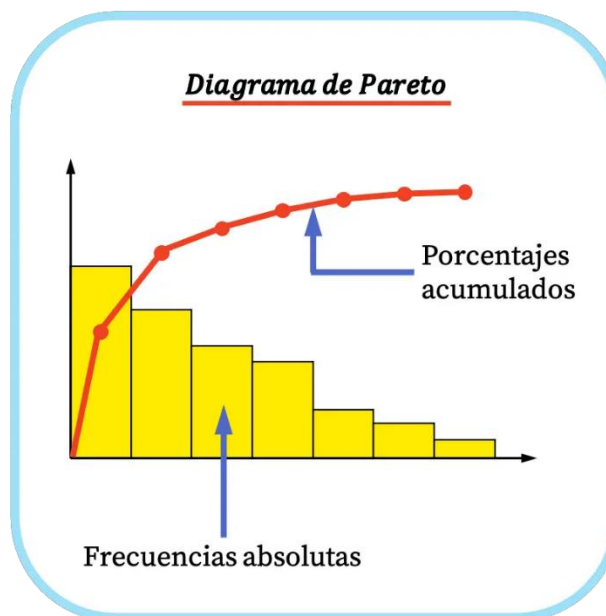
- ✓ Identificar y priorizar problemas que afectan el desempeño de un proceso.
- ✓ Recopilar y organizar información de manera estructurada.
- ✓ Analizar las causas que originan las no conformidades.
- ✓ Evaluar la variabilidad de los procesos mediante el uso de datos.
- ✓ Facilitar la toma de decisiones basada en evidencia.
- ✓ Dar seguimiento a los resultados de las acciones de mejora.
- ✓ Promover una cultura de mejora continua en la organización.

- **Diagrama de Pareto**

Definición

El diagrama de Pareto es una de las siete herramientas básicas de la calidad y se utiliza para identificar, organizar y priorizar los problemas o causas que tienen mayor impacto sobre un proceso. Consiste en un gráfico de barras verticales ordenadas de mayor a menor de acuerdo con la frecuencia, el costo, el tiempo o cualquier otra medida de interés. Sobre las barras se representa una línea de porcentaje acumulado, la cual permite visualizar la contribución de cada categoría respecto al total.

Su principal propósito es facilitar la toma de decisiones mediante la identificación de los aspectos que requieren atención prioritaria, permitiendo concentrar los esfuerzos de mejora en aquellos factores que generan el mayor impacto.



Fundamento del diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto se basa en el principio propuesto por el economista italiano **Vilfredo Pareto**, quien observó que una gran proporción de la riqueza de Italia estaba concentrada en un pequeño porcentaje de la población. Posteriormente, **Joseph M. Juran** adaptó este principio al ámbito de la gestión de la calidad, estableciendo que en muchos procesos un número reducido de causas es responsable de la mayor parte de los problemas.

Este concepto es conocido como el principio de los "**pocos vitales y muchos triviales**", el cual indica que, al identificar y controlar las causas más importantes, es posible obtener mejoras significativas en el desempeño del proceso.

Aunque comúnmente se hace referencia a la relación **80/20**, esta no debe interpretarse como una regla fija. Dependiendo de las características del proceso analizado, la distribución puede variar; sin embargo, el objetivo del diagrama permanece constante: distinguir las categorías que aportan la mayor contribución al problema para establecer prioridades de acción.

Objetivo

El objetivo del diagrama de Pareto es identificar y jerarquizar las causas, defectos o problemas que generan el mayor impacto en un proceso, proporcionando información objetiva que facilite la toma de decisiones y la asignación eficiente de recursos para la mejora continua.

Aplicaciones

El diagrama de Pareto puede utilizarse en diferentes contextos dentro de la gestión de la calidad, entre ellos:

- Identificar los principales problemas de calidad que afectan un proceso.
- Determinar las causas que generan la mayor cantidad de defectos o no conformidades.
- Priorizar acciones de mejora de acuerdo con el impacto de cada problema.
- Analizar los principales factores que contribuyen a los costos de calidad.
- Evaluar los resultados obtenidos después de implementar acciones correctivas o de mejora.
- Facilitar la asignación de recursos hacia las oportunidades de mejora más relevantes.

Características

El diagrama de Pareto presenta las siguientes características:

- Las categorías se organizan en el eje horizontal y se ordenan de mayor a menor según su frecuencia o impacto.
- El eje vertical izquierdo representa la frecuencia absoluta, el costo, el tiempo u otra unidad de medida cuantificable.
- El eje vertical derecho muestra el porcentaje acumulado en una escala de 0 % a 100 %.
- Incluye una línea de porcentaje acumulado que permite identificar el aporte relativo de cada categoría al problema total.
- Cuando existen numerosas categorías con baja incidencia, es recomendable agruparlas en una categoría denominada "**Otros**", siempre que esta no represente una proporción significativa del total.
- El diagrama puede construirse utilizando diferentes variables de análisis, como frecuencia de ocurrencia, costos, tiempo perdido, número de defectos o reclamaciones.

Interpretación del diagrama

La interpretación del diagrama de Pareto consiste en identificar las categorías que concentran la mayor proporción del problema analizado. Generalmente, las primeras barras representan los **pocos vitales**, es decir, las causas que deben atenderse prioritariamente debido a su elevado impacto.

Cuando la primera o las primeras categorías presentan una diferencia considerable respecto a las demás, se evidencia una oportunidad clara para enfocar los esfuerzos de mejora. En cambio, si las barras presentan alturas similares y el porcentaje acumulado aumenta de manera uniforme, puede ser necesario revisar la clasificación de los datos o profundizar en el análisis del problema, ya que no existe una causa predominante.

Procedimiento para elaborar un diagrama de Pareto

1. Definir el problema que se desea analizar.
2. Establecer las categorías que serán objeto de estudio.
3. Seleccionar la unidad de medida (frecuencia, costo, tiempo, entre otras).
4. Recolectar y registrar los datos correspondientes.
5. Calcular el total de observaciones para cada categoría.
6. Ordenar las categorías de mayor a menor según la variable analizada.
7. Calcular el porcentaje individual y el porcentaje acumulado de cada categoría.
8. Construir el gráfico de barras y superponer la curva del porcentaje acumulado.
9. Analizar los resultados para identificar las categorías prioritarias y establecer acciones de mejora.

Ventajas

- Facilita la identificación de los problemas más importantes.
- Permite priorizar acciones de mejora con base en datos objetivos.
- Favorece la toma de decisiones fundamentadas.
- Optimiza la utilización de recursos al concentrar esfuerzos en las causas de mayor impacto.
- Facilita el seguimiento y la evaluación de las mejoras implementadas.

Ejemplo:

Una planta embotelladora y empacadora de jugos en Escuintla ha presentado un incremento del 15% en las quejas de los clientes durante el último trimestre. El departamento de Gestión de Calidad realizó una auditoría en la línea de producción y recolectó los datos de los defectos encontrados en los lotes rechazados durante un mes de operación.

Los datos obtenidos por los inspectores de calidad se muestran en la siguiente tabla:

Defecto Detectado en Planta	Frecuencia Absoluta (f)
Etiqueta desalineada o rota	45
Volumen de llenado menor al especificado	120
Tapa mal enroscada (fuga de líquido)	260
Mal sellado del empaque secundario (caja)	15
Presencia de partículas extrañas	5
Código de lote e impresión ilegible	35
Botella plástica deformada	20

Instrucciones: Con base en los datos recolectados en la línea de empaque:

1. **Ordenar** de forma estrictamente decreciente (de mayor a menor) los defectos según su frecuencia absoluta.
2. **Calcular** el porcentaje individual y el porcentaje acumulado para cada una de las filas.
3. **Estructurar** la Tabla de Frecuencias de Pareto normalizada.
4. **Construir** de forma física o digital el Diagrama de Pareto, empleando barras para representar las frecuencias absolutas e implementando un eje secundario derecho para graficar la ojiva del porcentaje acumulado.
5. **Analizar e interpretar** técnicamente los resultados, delimitando con exactitud los "pocos vitales" y sugiriendo la toma de decisiones correspondiente.

Resolución del ejercicio:

- **Paso 1: Ordenamiento y Clasificación de Datos**

Se listan los defectos de mayor a menor frecuencia absoluta, garantizando que el problema de mayor impacto operativo encabece la tabla analítica.

- **Paso 2: Cálculo del Porcentaje Individual**

Permite cuantificar la representatividad de cada fallo sobre el universo completo de estudio. Se calcula mediante la expresión matemática:

$$\% = \frac{fi}{\sum f} * 100$$

Donde **fi** corresponde a la frecuencia de la fila en evaluación y $\sum f$ representa la sumatoria total de los defectos encontrados (en este caso, 500).

- **Paso 3: Cálculo del Porcentaje Acumulado**

Se obtiene mediante la adición sucesiva de los porcentajes individuales de cada fila. Sirve como base para trazar la curva acumulativa u ojiva del gráfico. Como regla de validación indispensable, la última fila debe cerrar exactamente en el **100.0%**.

- **Paso 4: Resolución y Tabla de Frecuencias Operativa**

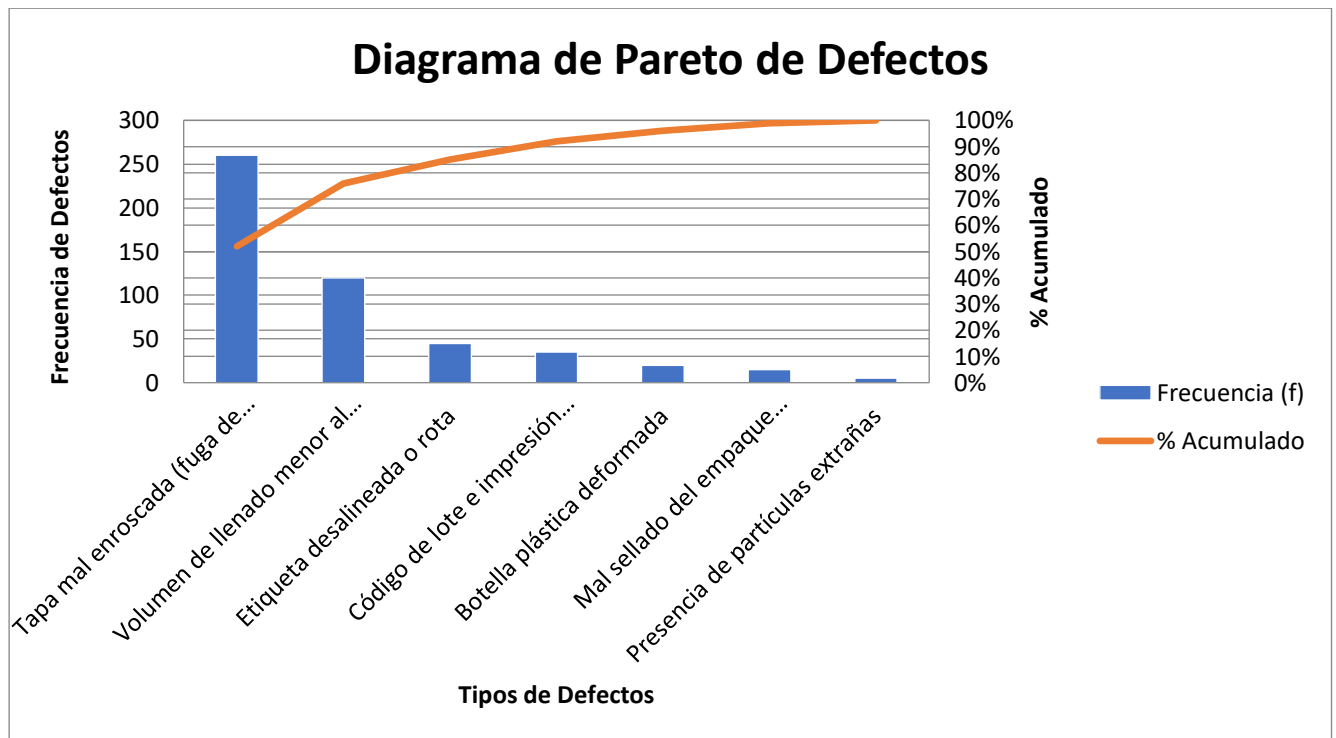
A continuación, se expone la matriz de datos procesada de forma correcta:

No.	Defecto Detectado	Frecuencia (f)	% Individual	% Acumulado
1	Tapa mal enroscada (fuga de líquido)	260	52.0%	52.0%
2	Volumen de llenado menor al especificado	120	24.0%	76.0%
3	Etiqueta desalineada o rota	45	9.0%	85.0%
4	Código de lote e impresión ilegible	35	7.0%	92.0%
5	Botella plástica deformada	20	4.0%	96.0%
6	Mal sellado del empaque secundario (caja)	15	3.0%	99.0%
7	Presencia de partículas extrañas	5	1.0%	100.0%
TOTAL		500		

- Paso 5: Configuración y Construcción de la Gráfica de Pareto

Con los datos de la tabla procesados, se procede a construir la gráfica interactiva. A diferencia de un gráfico de barras común, el Diagrama de Pareto es un **gráfico combinado bidimensional** que requiere configurar tres elementos esenciales:

1. Eje Horizontal (X): En la base del gráfico se colocan los nombres de los defectos de forma ordenada, de izquierda a derecha, comenzando con el de mayor frecuencia ("Tapa mal enroscada") y terminando con el menor ("Presencia de partículas").
2. Eje Vertical Izquierdo (Frecuencia Absoluta): Este eje sirve para dibujar las **barras rectangulares** de cada defecto. Su escala debe empezar en cero y subir hasta alcanzar o superar el total de la muestra (en este caso, una escala de 0 a 300 o 500 es ideal). La altura de cada barra corresponderá al número exacto de fallas de la columna *Frecuencia (f)*.
3. Eje Vertical Derecho (Porcentaje Acumulado): Este es el eje secundario y es indispensable para trazar la **línea continua u ojiva de Pareto**. Su escala se configura estrictamente de **0% a 100%**. En este espacio no se hacen barras, sino que se colocan puntos que representan el valor de la columna *% Acumulado* correspondientes a cada defecto (el primer punto marcará 52.0%, el segundo 76.0%, y así sucesivamente hasta que el último punto toque el 100.0% en la esquina superior derecha). Al unir estos puntos con una línea, se genera la curva analítica.



Análisis de Ingeniería y Conclusión del Caso:

Al evaluar la columna del porcentaje acumulado, se hace evidente que únicamente dos categorías de defectos, "**Tapa mal enroscada**" (52%) y "**Volumen de llenado menor al especificado**" (24%), agrupan de forma combinada el **76.0%** del problema global de rechazos en la planta embotelladora.

Aplicando estrictamente la regla de Pareto (80/20), estos dos fallos representan los "**Pocos Vitales**". Por consiguiente, la recomendación técnica para el Ingeniero de Calidad es suspender cualquier inversión temporal orientada a mitigar problemas menores (como el sellado de cajas o impresión de etiquetas) y concentrar los recursos de manera inmediata en la calibración/mantenimiento preventivo de la máquina roscadora y los sensores volumétricos de las boquillas de llenado. Ejecutando esta acción prioritaria, se erradicará más de las tres cuartas partes de los fallos de la fábrica.

- **Diagrama de Causa- Efecto**

El diagrama de Ishikawa, también conocido como **diagrama de causa-efecto** o **diagrama de espina de pescado**, es una de las siete herramientas básicas de la calidad utilizada para identificar, organizar y analizar las posibles causas que originan un problema específico. Su representación gráfica facilita la comprensión de la relación existente entre un efecto y las diferentes causas que pueden influir en su ocurrencia.

Esta herramienta fue desarrollada en 1943 por el profesor japonés **Kaoru Ishikawa**, quien propuso un método sistemático para analizar problemas de calidad mediante la participación de equipos multidisciplinarios. Su principal objetivo es identificar las causas potenciales de un problema antes de implementar acciones correctivas, evitando que las decisiones se basen únicamente en suposiciones o experiencias individuales.

Objetivo

El objetivo del diagrama de Ishikawa es identificar, organizar y analizar las posibles causas que generan un problema determinado, con el propósito de facilitar la identificación de la causa raíz y apoyar la toma de decisiones para la mejora de los procesos.

Estructura del diagrama

El diagrama está compuesto por los siguientes elementos:

- **Efecto:** corresponde al problema que se desea analizar y se ubica en el extremo derecho del diagrama.
- **Espina principal:** línea horizontal que conecta las causas con el efecto.
- **Causas principales:** representan las categorías generales que pueden influir en el problema.
- **Causas secundarias y terciarias:** corresponden a factores más específicos derivados de cada causa principal.

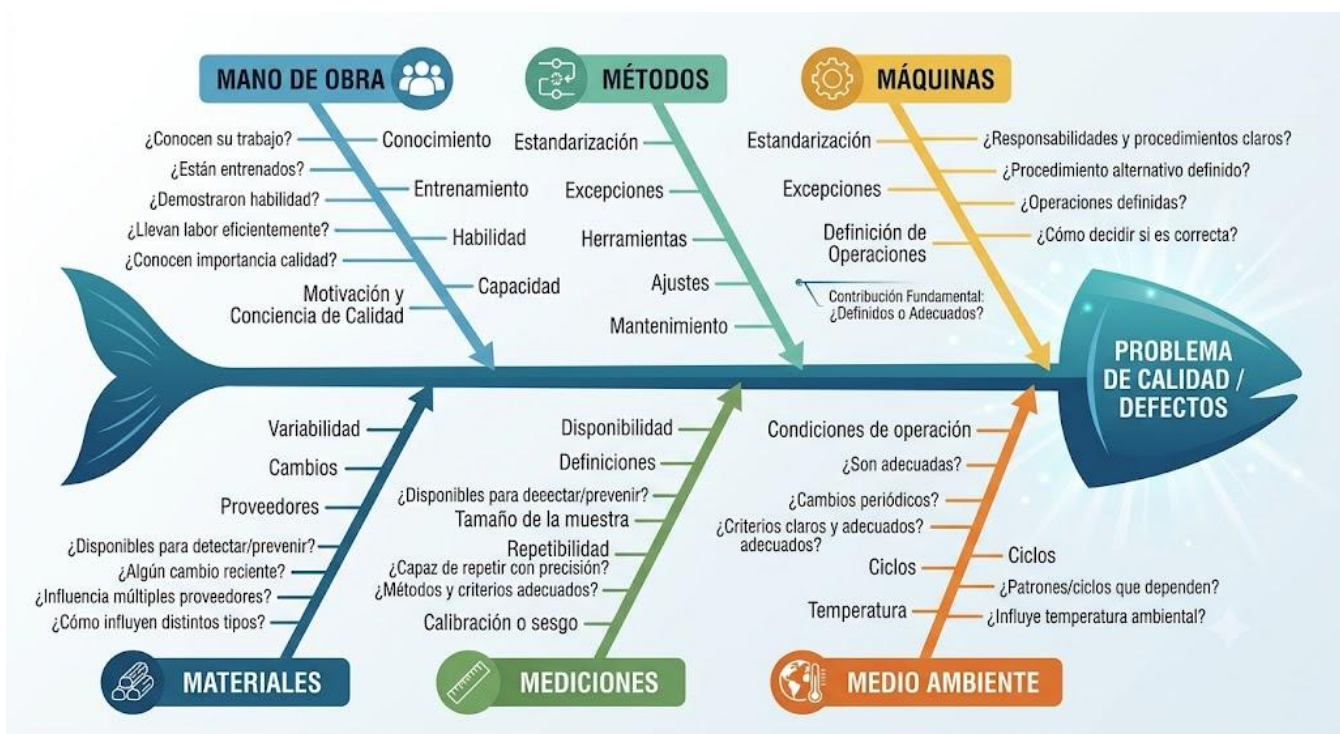
La representación gráfica se asemeja al esqueleto de un pez, razón por la cual también recibe el nombre de **diagrama de espina de pescado**.

Las 6M del diagrama de Ishikawa

En procesos industriales, las causas generalmente se agrupan en seis categorías conocidas como las **6M**, las cuales permiten realizar un análisis integral del proceso.

- **Método:** procedimientos, instrucciones de trabajo, secuencia de operaciones o estandarización de los procesos.
- **Mano de obra:** conocimientos, habilidades, capacitación, experiencia, comunicación y desempeño del personal.
- **Maquinaria:** equipos, herramientas, mantenimiento, calibración y condiciones de funcionamiento.
- **Materiales:** materia prima, insumos, especificaciones, almacenamiento y calidad de los materiales.
- **Medición:** instrumentos de medición, métodos de inspección, registros, calibración y confiabilidad de los datos.
- **Medio ambiente:** temperatura, humedad, iluminación, ruido, limpieza, distribución de planta y demás condiciones del entorno de trabajo.

Dependiendo del tipo de organización o proceso, estas categorías pueden modificarse o ampliarse para adaptarse al contexto de análisis.



Aplicaciones

El diagrama de Ishikawa puede emplearse para:

- Analizar problemas de calidad.
- Identificar causas potenciales de defectos.
- Investigar las causas de fallas en procesos productivos.
- Analizar reclamaciones de clientes.
- Identificar oportunidades de mejora.

- Apoyar actividades de mejora continua y solución de problemas.
- Facilitar sesiones de trabajo en equipo y lluvia de ideas.

Procedimiento para elaborar un diagrama de Ishikawa

1. Definir claramente el problema o efecto que se desea analizar.
2. Dibujar la estructura básica del diagrama.
3. Establecer las categorías principales de las causas.
4. Identificar las posibles causas mediante sesiones de lluvia de ideas o análisis de información.
5. Incorporar las causas secundarias y terciarias relacionadas con cada categoría.
6. Analizar el diagrama para identificar las causas con mayor probabilidad de generar el problema.
7. Validar las causas mediante datos, observaciones o herramientas complementarias antes de implementar acciones correctivas.

Ventajas

- Facilita el análisis sistemático de problemas.
- Favorece el trabajo colaborativo.
- Permite visualizar la relación entre un problema y sus posibles causas.
- Contribuye a identificar la causa raíz de un problema.
- Sirve como apoyo para la toma de decisiones basada en el análisis de procesos.
- Puede combinarse con otras herramientas de la calidad, como el diagrama de Pareto, los cinco porqués y el análisis estadístico.

Limitaciones

- Identifica causas potenciales, pero no demuestra relaciones de causa y efecto.
- Requiere información confiable y la participación de personal con conocimiento del proceso.
- Puede generar un número elevado de causas, dificultando la identificación de las más relevantes.
- Debe complementarse con otras herramientas que permitan validar las causas identificadas mediante evidencia objetiva.

Ejemplo:

Dando continuidad a los hallazgos del Diagrama de Pareto en la planta embotelladora de jugos, el departamento de Gestión de Calidad decidió abrir una investigación formal sobre el defecto principal identificado: **"Tapa mal enroscada (fuga de líquido)"**, el cual representaba el 52% de los rechazos.

Se convocó a una sesión de lluvia de ideas (Brainstorming) con el jefe de planta, los operadores de la línea, el técnico de mantenimiento y el auditor de calidad. Las anotaciones crudas recopiladas durante la sesión técnico-operativa fueron las siguientes:

- Los operadores de la tarde reportan fatiga debido a turnos rotativos mal distribuidos.
- El calibrador (vernier) digital de la línea de inspección no cuenta con el certificado de calibración vigente.
- La resina plástica utilizada por el proveedor de las tapas cambió de lote este mes, mostrando una mayor rigidez de la habitual.
- No existe un manual o procedimiento estándar documentado (POE) que describa la velocidad adecuada de la roscadora.
- El cabezal neumático roscador de la máquina presenta un desgaste notable en las estrías de agarre.

- La temperatura ambiental en la planta supera los 34°C en las horas pico, sobrecalentando las bandas transportadoras.
- Falta de capacitación técnica a los operadores de nuevo ingreso sobre el ajuste de torque de la máquina.
- Las botellas plásticas recibidas presentan una variación micrométrica en el diámetro exterior de la corona (rosca del cuello).
- La presión del aire comprimido que alimenta a la roscadora sufre fluctuaciones constantes debido a fugas en la tubería principal.
- Las plantillas de inspección visual en el piso de producción se encuentran desgastadas e ilegibles.

Instrucciones:

Con base en la información recopilada en la sesión de lluvia de ideas, el estudiante deberá:

1. **Analizar** cada una de las anotaciones técnicas de la planta.
2. **Clasificar** cada causa potencial dentro de la categoría correspondiente de las 6M (Mano de obra, Maquinaria, Métodos, Materiales, Medición o Medio ambiente).
3. **Dibujar y Estructurar** el Diagrama de Ishikawa colocando el problema principal en la "cabeza del pescado" y las causas en las espinas secundarias.
4. **Proponer** una conclusión técnica con acciones correctivas inmediatas para mitigar la causa raíz más evidente.

Resolución:

Clasificación en las 6M

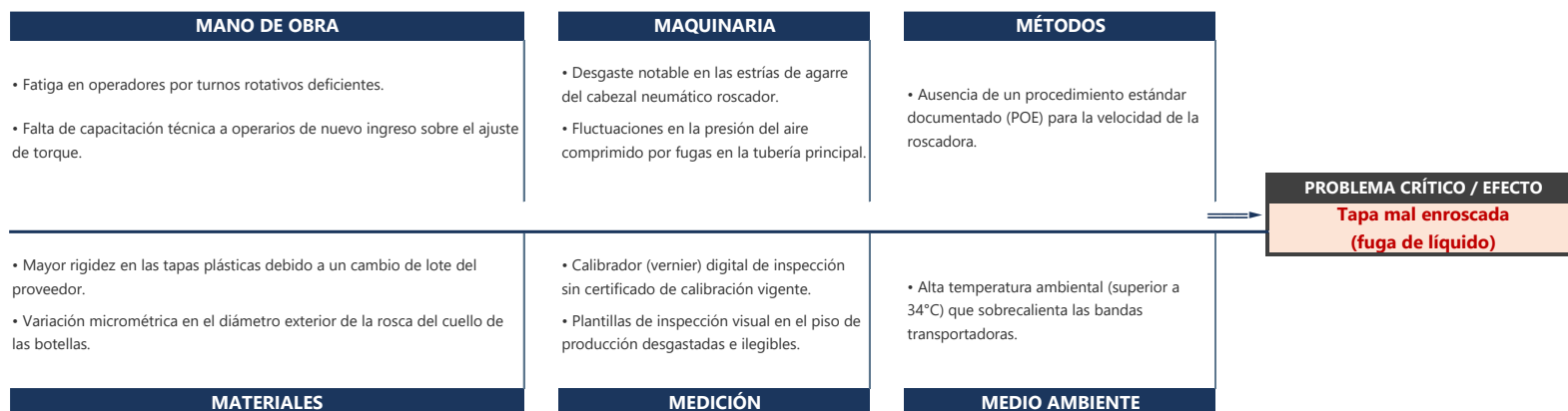
Para guiar la resolución del caso de forma lógica, se detalla la asignación de cada problema a su categoría correspondiente:

Categoría (M)	Causas Específicas Detectadas en Planta
Mano de Obra	• Fatiga en operadores por turnos rotativos deficientes. • Falta de capacitación técnica a operarios de nuevo ingreso sobre el ajuste de torque.
Maquinaria	• Desgaste notable en las estrías de agarre del cabezal neumático roscador. • Fluctuaciones en la presión del aire comprimido por fugas en la tubería principal de la máquina.
Métodos	• Ausencia de un procedimiento estándar documentado (POE) para la velocidad de la roscadora.
Materiales	• Mayor rigidez en las tapas plásticas debido a un cambio de lote del proveedor. • Variación micrométrica en el diámetro exterior de la rosca del cuello de las botellas plásticas.

Medición	• Calibrador (vernier) digital de inspección sin certificado de calibración vigente. • Plantillas de inspección visual en el piso de producción desgastadas e ilegibles.
Medio Ambiente	• Alta temperatura ambiental (superior a 34°C) que sobrecalienta las bandas transportadoras.

Construcción y Explicación del Gráfico

- **La Cabeza (Efecto):** En el extremo derecho, dentro de un rectángulo principal, se escribe textualmente el problema crítico: "Tapa mal enroscada (fuga de líquido)".
- **La Espina Central:** Una flecha horizontal gruesa que apunta directamente hacia el rectángulo del efecto.
- **Las Espinas Principales (Las 6M):** Seis líneas diagonales que se conectan a la espina central (tres arriba y tres abajo). Cada una llevará el título de una de las categorías analizadas (Mano de obra, Maquinaria, etc.).
- **Las Espinas Secundarias (Causas Raíz):** Flechas horizontales más pequeñas que se desprenden de cada línea diagonal. En ellas se anotan textualmente los problemas de la tabla.



Conclusión y Plan de Acción:

El análisis causa-efecto revela que, aunque existen factores ambientales y de materiales, el núcleo del problema radica en Maquinaria y Mano de Obra. Como acción de ingeniería correctiva inmediata, se debe programar el reemplazo del cabezal neumático roscador y reparar las fugas de la línea de aire comprimido. En paralelo, es importante estandarizar el proceso mediante un POE y capacitar al personal de nuevo ingreso en el control del torque para asegurar la repetibilidad de la operación.

- **Histograma**

El **Histograma** es una de las siete herramientas básicas de la calidad (7 QC Tools), popularizadas por el Dr. Kaoru Ishikawa en el control industrial. Consiste en la representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

A diferencia de un diagrama de barras convencional (que compara categorías discretas), el histograma se utiliza para visualizar la distribución de **datos continuos**, permitiendo identificar patrones de variabilidad, tendencias centrales, dispersión y la forma general de una distribución de datos numéricos.

Importancia en el Control de Calidad

- **Visualización de la Variabilidad:** Todo proceso industrial o de servicios posee variabilidad inherente. El histograma transforma largas listas de números en patrones visuales interpretables.
- **Evaluación de Capacidad:** Permite contrastar la distribución real del proceso frente a los límites de especificación exigidos por el cliente (Límite de Especificación Inferior - LEI y Superior - LES).
- **Identificación de Anomalías:** Ayuda a detectar de inmediato comportamientos inusuales como distribuciones bimodales (mezcla de dos lotes o máquinas distintas) o sesgos pronunciados.

Parámetros Clave:

Al analizar un histograma, los analistas de calidad observan tres características fundamentales:

1. **Centro:** Dónde se localiza la mitad de los datos (Media, Mediana).
2. **Ancho / Dispersión:** Qué tan separados están los datos desde el centro (Rango, Desviación Estándar).
3. **Forma:** Si la distribución es simétrica (campana de Gauss), sesgada a la izquierda/derecha, o truncada.

Metodología de Construcción paso a paso

Para construir un histograma de forma rigurosa se siguen los siguientes pasos matemáticos:

Paso 1: Recolección de datos. Reunir una muestra significativa (usualmente $N \geq 30$ o 50 observaciones) de la variable continua a estudiar.

Paso 2: Determinar el Rango (R). Identificar el valor máximo ($X_{\max}$) y el valor mínimo ($X_{\min}$). Se calcula como:

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

Paso 3: Determinar el número de clases / intervalos (K). Existen varias reglas. Una de las más comunes y científicas es la *Regla de Sturges*:

$$K = 1 + 3.322 \times \log(N)$$

O alternativamente de forma práctica se utiliza $K = \sqrt{N}$ (redondeado al entero más cercano).

Paso 4: Calcular la Amplitud de Clase (A). Define el ancho de cada intervalo de barra:

$$A = \frac{R}{K}$$

Paso 5: Construir los intervalos de clase y contar las frecuencias. Definir los límites inferiores y superiores de cada clase y contabilizar cuántos datos caen en cada rango.

Ejemplo Práctico Aplicado

Caso de Estudio: Una planta embotelladora está analizando el peso del llenado en gramos (*g*) de un lote de botellas. El peso objetivo teórico es de **500 g**. Se toma una muestra representativa de ***N* = 40** botellas consecutivas en la línea de producción.

Datos Recolectados (Gramos):

498.2	501.5	499.0	500.2	502.1	497.5	500.6	499.8
503.4	501.1	498.7	500.0	499.5	502.3	501.0	498.1
500.3	499.2	501.8	500.5	496.8	502.9	499.9	500.8
501.2	498.5	500.1	502.0	497.9	501.4	499.4	500.4
502.6	498.9	501.7	499.1	500.9	503.1	498.3	501.3

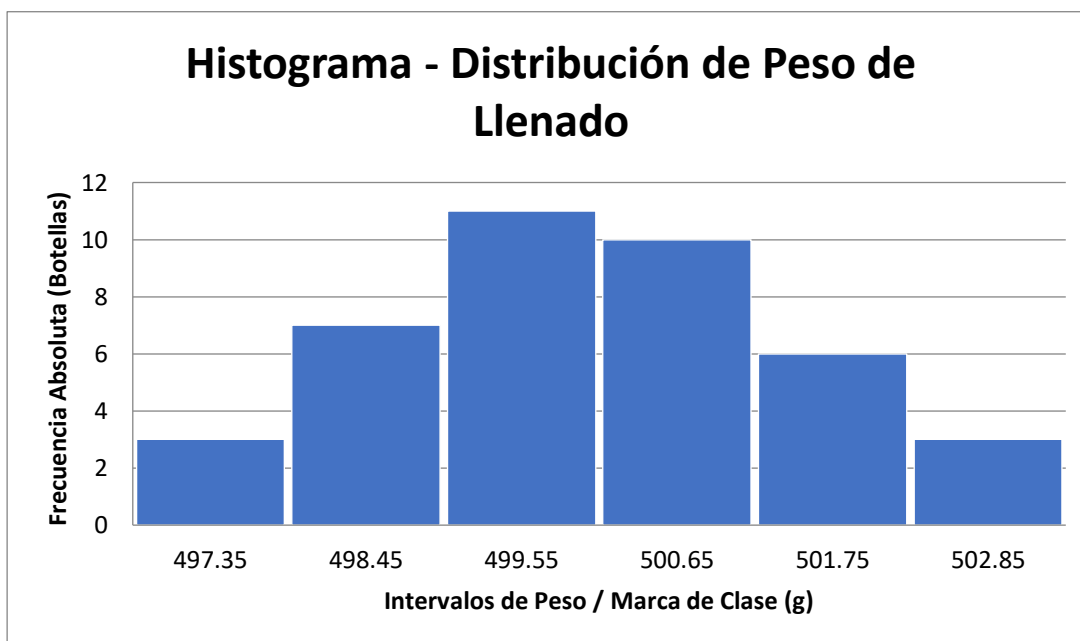
Cálculos Estadísticos:

- **Valor Máximo (*X*):** 503.4 g *máx*
- **Valor Mínimo (*X*):** 496.8 g *mín*
- **Rango (*R*):** $503.4 - 496.8 = 6.6$ g
- **Número de Clases (*K*):** $\sqrt{40} \approx 6.32 \rightarrow 6$ clases comerciales.
- **Amplitud de Clase (*A*):** $6.6 / 6 = 1.1$ g

Tabla de Distribución de Frecuencias:

Clase	Límite Inferior (g)	Límite Superior (g)	Marca de Clase (Centro)	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa (%)
1	496.8	497.9	497.35	3	7.5%
2	497.9	499.0	498.45	7	17.5%
3	499.0	500.1	499.55	11	27.5%
4	500.1	501.2	500.65	10	25.0%
5	501.2	502.3	501.75	6	15.0%
6	502.3	503.4	502.85	3	7.5%

Visualización del Histograma del Lote:



Conclusiones:

El histograma resultante muestra una **distribución simétrica y unimodal**, muy cercana a una distribución normal (Campana de Gauss). El pico de la frecuencia se concentra en la Clase 3 (499.0 g a 500.1 g), lo que indica que el proceso de envasado está correctamente centrado en torno a su valor objetivo de 500 g. No se aprecian sesgos extremos ni distribuciones bimodales, sugiriendo un comportamiento estable bajo condiciones normales de operación.

HOJA DE TRABAJO No. 1

Ejercicio 1: Defectos en Línea de Ensamblaje de Electrodomésticos

Una planta manufacturera de estufas residenciales ha registrado un incremento en las unidades rechazadas. El departamento de aseguramiento de la calidad recopiló los siguientes datos sobre los tipos de defectos detectados durante el último mes:

- Pases de soldadura defectuosos u omitidos: 142 casos
- Rayaduras superficiales en la pintura del chasis: 45 casos
- Componentes eléctricos faltantes en panel: 18 casos
- Desalineación en la puerta del horno: 87 casos
- Perillas de control flojas o quebradas: 24 casos
- Fugas de gas detectadas en válvulas: 112 casos
- Empaque de protección roto o dañado: 12 casos

Tipo de Defecto	Frecuencia Abs.	Frecuencia Acum.	Porcentaje (%)	% Acumulado

Instrucciones:

Con base en los datos recolectados realice lo siguiente:

1. **Ordenar** de forma estrictamente decreciente (de mayor a menor) los defectos según su frecuencia absoluta.
2. **Calcular** el porcentaje individual y el porcentaje acumulado para cada una de las filas.
3. **Estructurar** la Tabla de Frecuencias de Pareto normalizada.
4. **Construir** de forma física o digital el Diagrama de Pareto, empleando barras para representar las frecuencias absolutas e implementando un eje secundario derecho para graficar la ojiva del porcentaje acumulado.
5. **Analizar e interpretar** técnicamente los resultados, delimitando con exactitud los "pocos vitales" y sugiriendo la toma de decisiones correspondiente.

Ejercicio 2: Reclamaciones en una Plataforma de Comercio Electrónico

El departamento de Servicio al Cliente de un portal de E-Commerce desea reducir la deserción de usuarios analizando los motivos de quejas ingresadas en el trimestre:

- El repartidor logístico externo entregó el producto con daños físicos: 48 quejas
- Error en el cobro de la tarjeta de crédito o duplicidad de cobro: 14 quejas
- Retraso en el tiempo de entrega prometido en la plataforma: 215 quejas
- El artículo recibido no corresponde con el color o talla seleccionada: 84 quejas
- Dificultad o lentitud extrema para navegar en la aplicación móvil: 29 quejas
- Falta de respuesta o lentitud por parte del chat de soporte en vivo: 122 quejas

Actividades: Construya la matriz de Pareto conceptual y responda: Si el presupuesto solo permite atacar dos problemáticas, ¿cuáles deben seleccionarse para maximizar el impacto positivo?

Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto)

Ejercicio 3:

En una **planta de panificación y repostería industrial**, el departamento de Gestión de Calidad decidió abrir una investigación formal sobre el defecto principal identificado en la zona de empaque: **"Bolsa de pan mal sellada (pérdida de vacío y producto rancio)"**, el cual representaba el 58% de los rechazos del mes.

Se convocó a una sesión de lluvia de ideas (*Brainstorming*) con el jefe de panificación, los operarios de la línea de empaque, el ingeniero de mantenimiento electromecánico y el supervisor de inocuidad. Las anotaciones crudas recopiladas durante la sesión técnico-operativa fueron las siguientes:

- Los operarios del tercer turno (nocturno) reportan problemas de visibilidad e hipólisis por fatiga crónica debido a horas extra acumuladas.
- El pirómetro digital (indicador de temperatura de las mordazas de sellado) no cuenta con su etiqueta ni certificado de calibración anual vigente.
- El polímero plástico de polipropileno suministrado por el nuevo proveedor tiene un espesor menor (calibre incorrecto), lo que hace que se queme fácilmente.
- No existe un procedimiento operativo estándar (POE) por escrito que regule el tiempo de contacto (*dwell time*) de la mordaza sobre el plástico.
- Las resistencias eléctricas de la máquina selladora automática presentan acumulación de carbón y desgaste notable en su transferencia térmica.
- La humedad relativa dentro de la sección de empaque supera el 85% debido a una falla en el extractor de aire, lo que humedece los bordes de la película plástica antes de sellar.
- Falta de capacitación técnica a los ayudantes generales sobre cómo ajustar la velocidad de la banda de alimentación en relación con el sellador.
- Las bandejas plásticas de transporte donde se asienta el pan presentan pequeñas rebabas que tuercen o desalinean la bolsa antes de entrar a las mordazas.
- El suministro de energía eléctrica de la planta sufre caídas de voltaje intermitentes debido a una sobrecarga en la subestación principal de la fábrica.
- Las hojas de verificación visual diarias pegadas en las estaciones de trabajo están manchadas con grasa industrial y son completamente ilegibles.

Instrucciones:

Con base en la información recopilada en la sesión de lluvia de ideas de la planta de panificación, el estudiante deberá:

1. **Analizar** cada una de las anotaciones técnicas de la planta.
2. **Clasificar** cada causa potencial dentro de la categoría correspondiente de las **6M** (Mano de obra, Maquinaria, Métodos, Materiales, Medición o Medio ambiente). Puedes guiarte usando la siguiente estructura para el ordenamiento analítico previo:
3. **Dibujar y Estructurar** el Diagrama de Ishikawa colocando el problema principal ("**Bolsa de pan mal sellada**") en la "cabeza del pescado" y las causas clasificadas en las espinas secundarias correspondientes.
4. **Proponer** una conclusión técnica con acciones correctivas inmediatas para mitigar la causa raíz más evidente observada en los hallazgos de mantenimiento y materiales.

Ejercicio 4: Tiempo Excesivo de Espera en la Ventanilla de un Banco Comercial

Un banco recibe calificaciones negativas porque los clientes pasan en promedio más de 45 minutos en fila. Proponga de manera teórica una causa raíz adecuada para cada una de las variables adaptadas a servicios:

• **Personal (Mano de Obra):**

• **Tecnología (Maquinaria):**

• **Procesos (Métodos):**

• **Formularios (Materiales):**

Ejercicio 5: Variación de Llenado en Línea Automatizada

El departamento de Calidad de una planta farmacéutica detectó que el 64% de los rechazos de un jarabe pediátrico se deben al defecto principal: "**Volumen de llenado fuera de tolerancia (Dosificación inconsistente)**".

En la sesión de lluvia de ideas, el equipo técnico recopiló los siguientes 10 hallazgos en la planta:

- Las básculas automatizadas de la línea fallan porque reciben interferencia eléctrica (*ruido electromagnético*) de los motores vecinos.
- El sensor óptico que detecta los frascos se descalibra por la acumulación de vapor, debido a una falla en el extractor de aire de la sala limpia.
- Compras cambió las mangueras de las bombas por unas de menor dureza; la presión continua las deforma y altera el volumen de bombeo.
- El programa del PLC de la máquina calcula el llenado usando una densidad fija del jarabe, ignorando las variaciones reales entre lotes.
- La máquina presenta micro-vibraciones mecánicas continuas porque los soportes de goma antivibración de la base están totalmente desgastados.

- El sistema de aire acondicionado bajó su presión estática, generando corrientes de aire que desestabilizan las lecturas de las básculas.
- El manual de operación permite que el ajuste de velocidad de la bomba se haga "a criterio visual del operador" para evitar la espuma.
- El personal técnico actual de la planta no ha recibido la capacitación certificada por parte del fabricante de la llenadora automatizada.
- La agitación mecánica del reactor falló durante la fabricación del jarabe, provocando variaciones microscópicas de viscosidad en el líquido.
- Los gráficos de control se llenan a mano cada 4 horas en vez de usar el software SCADA en tiempo real, retrasando la detección del error.

Instrucciones:

Con base en esta información, resuelve los siguientes incisos:

1. **Análisis de Interdependencia:** Identifique si existen causas ambientales o mecánicas que estén afectando directamente a los sistemas de medición y control de la máquina.
2. **Clasificación en las 6M:** Clasifique cada uno de los 10 hallazgos dentro de la categoría correcta de las **6M** (*Mano de obra, Maquinaria, Métodos, Materiales, Medición o Medio ambiente*).
3. **Estructuración del Diagrama:** Dibuje el Diagrama de Ishikawa colocando el defecto principal en la **cabeza** y despliegue las causas en las espinas secundarias. Agregue sub-ramificaciones (causas terciarias) donde sea necesario.
4. **Acción Correctiva Sistémica:** Determine cuál es la causa raíz más crítica y proponga un plan de acción de 3 puntos clave para mitigar el problema sin detener la producción de la planta de forma definitiva.

Histograma (Distribución y Variabilidad)

Ejercicio 6: Control de Diámetro Externo de Pernos de Seguridad

Un taller metalmecánico tornea pernos cuyo diámetro nominal objetivo es de 12.00 mm. Se extrae una muestra de $N = 24$ piezas. Organice los datos, determine el número de intervalos, rango y amplitud:

12.02	11.95	12.11	12.00	11.88	12.05	11.97	12.01
11.92	12.08	12.03	11.99	12.14	11.94	12.06	12.00
11.90	12.04	11.98	12.02	12.01	11.96	12.07	12.10

Tabla de Frecuencias a Llenar:

Intervalo (Clase)	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Absoluta

Ejercicio 7: Tiempo de Resolución de Incidencias en Servidores

Un centro de datos analiza los tiempos (en minutos) para mitigar caídas críticas de servidores globales. El valor mínimo de atención fue de 10 min y el máximo de 130 min. Al construir el histograma, el analista observó un marcado sesgo a la derecha (asimetría positiva).

Preguntas de Análisis:

- a) ¿Qué significado operativo tiene para la gerencia que el histograma tenga sesgo hacia la derecha?
- b) Si los acuerdos de nivel de servicio (SLA) exigen resolver en menos de 60 minutos, ¿qué representan las barras situadas a la derecha de dicho límite.

PRÁCTICA NO. 2

MUESTREO DE ACEPTACIÓN POR MEDIO DE TABLAS

1. Propósito de la práctica:

- 1.1 Conocer los fundamentos para el muestreo de aceptación por atributos.
- 1.2 Crear un plan de muestreo de aceptación por atributos para aceptar o rechazar lotes.

2. Marco Teórico:

Muestreo de aceptación: en las actividades de control de calidad, en ocasiones es necesario inspeccionar lotes de materia prima, así como partes o productos terminados para asegurar que se cumplen ciertos niveles de calidad con un buen grado de confianza. El muestreo de aceptación es el proceso de inspección de una muestra de unidades extraídas de un lote que se realiza con el propósito de aceptar o rechazar todo el lote.

El muestreo de aceptación se puede aplicar en cualquier relación cliente-proveedor, ya sea en el interior de una empresa o entre diferentes empresas; se considera una medida defensiva para protegerse contra la amenaza del posible deterioro en la calidad. Una situación típica del muestreo de aceptación es la siguiente: una compañía recibe un lote de materiales o componentes de cierto proveedor, se selecciona una muestra de artículos del lote y se inspeccionan de acuerdo con ciertos criterios de calidad. Con base en la información obtenida en la inspección se tomará una decisión: aceptar o rechazar todo el lote. Si los lotes son aceptados pasan directamente a ser utilizados, pero si el lote es rechazado, entonces es devuelto al proveedor o podría estar sujeto a alguna otra disposición (por ejemplo, inspección de todos los productos del lote —inspección al 100%— pagada por el proveedor).

Si los criterios de calidad con los que se inspecciona son variables de atributos del tipo aceptado o rechazado, entonces un plan simple de muestreo de aceptación **estaría definido por un tamaño de lote, N , un tamaño de muestra, n , y el número de aceptación, c .** Por ejemplo:

$$N = 6,000, n = 200 \text{ y } c = 2$$

Significa que de un lote de 6,000 unidades se seleccionan e inspeccionan 200; y si entre éstas se encuentran dos o menos piezas defectuosas, entonces el lote completo es aceptado. Pero si aparecen tres o más piezas defectuosas el lote es rechazado.

Se debe tener claro que el muestreo de aceptación es una forma particular de inspección, en la que simplemente se aceptan y rechazan lotes, pero no mejora la calidad. Es decir, este muestreo no es una estrategia de mejora de la calidad, sino más bien una estrategia para proporcionar cierto nivel de seguridad de que los niveles de calidad con los que se diseña el plan se están alcanzando. Por lo tanto, **es una estrategia defensiva ante el posible deterioro de la calidad.** Cuando se pretende enjuiciar un lote se tienen tres alternativas: inspección al 100%, cero inspección o muestreo de aceptación. Esta última es una decisión intermedia entre las otras dos alternativas opuestas, y a veces resulta la más económica a nivel global. A continuación, se presenta cuándo se aplica cada una de ellas.

1. **Cero inspecciones (aceptar o mandar el lote sin inspección):** esta alternativa es adecuada cuando se ha demostrado que el proceso que fabricó el lote cumple de manera holgada los niveles de calidad acordados entre el cliente y el proveedor. También se aplica cero inspecciones cuando la pérdida global causada por las unidades defectuosas es pequeña en comparación con el costo del muestreo.
2. **Inspección al 100%:** consiste en revisar todos los artículos del lote y quitar los que no cumplan con las características de calidad establecidas. Los que no cumplen podrían ser devueltos al proveedor, reprocesados o desechados. La inspección al 100% se utiliza en aquellos casos en que los productos son de alto riesgo y si pasan defectuosos se puede generar una gran pérdida económica. También es útil cuando la capacidad del proceso de fabricación del lote es inadecuada para cumplir las especificaciones.
3. **Muestreo de aceptación (inspección por muestras):** esta opción es útil cuando se tienen una o varias de las siguientes situaciones:
 - Cuando la inspección se realiza con pruebas destructivas (como pruebas de tensión y resistencia) es indispensable la inspección por muestras, de lo contrario todos los productos serían destruidos por las pruebas.
 - Cuando el costo de inspección al 100% es demasiado alto en comparación con el costo de pasar unidades defectuosas.
 - En los casos en que la inspección al 100% es imposible en términos técnicos o económicos.
 - Cuando el lote está formado por una gran cantidad de artículos que se debe inspeccionar y la probabilidad de error en la inspección es suficientemente alta, de manera que la inspección al 100% podría dejar pasar más unidades defectuosas que un plan de muestreo.
 - En situaciones donde, históricamente, el vendedor ha tenido excelentes niveles de calidad y se desea una reducción en la cantidad de inspección, pero la capacidad del proceso no es suficientemente buena como para no inspeccionar. Cuando es necesario asegurar la confiabilidad del producto, aunque la capacidad del proceso fabricante del lote sea satisfactoria.

El muestreo de aceptación con respecto a la inspección al 100% tiene las siguientes ventajas:

1. Tiene menor costo porque se inspecciona menos, a pesar de algunos costos adicionales generados por la planificación y administración de los planes de muestreo.
2. Requiere de menos personal en las actividades de inspección, con lo cual se simplifica el trabajo de coordinación y se reducen costos.
3. El producto sufre menos daño porque hay menos manipulación.
4. Es aplicable en pruebas destructivas.
5. A menudo reduce el error de inspección y la monotonía.
6. El rechazo de lotes completos por la existencia de artículos defectuosos proporciona una motivación al fabricante del lote para que mejore su calidad.

El muestreo de aceptación presenta algunas desventajas como las siguientes:

1. Existe cierto riesgo de aceptar lotes malos y rechazar los buenos, aunque en un plan de muestreo de aceptación estos riesgos están previstos y cuantificados.
2. Proporciona menos información acerca del nivel de calidad del producto o de su proceso de fabricación; aunque bien utilizada, la información obtenida es suficiente.
3. Se requiere más tiempo y conocimiento para planificar y documentar el muestreo, comparado con la inspección al 100 por ciento.

Tipos de planes de muestreo: un primer nivel de clasificación de los planes de muestreo de aceptación está en función del tipo de característica de calidad bajo análisis, que puede ser de atributos o por variables continuas. En los planes por variables se toma una muestra aleatoria del lote y a cada unidad se le mide una característica de calidad de tipo continuo (longitud, peso, etc.). Con las mediciones se calcula un estadístico que por lo general está en función de la media, la desviación estándar muestral y las especificaciones, y al comparar el valor de tal estadístico frente a un valor de tablas, se aceptará o rechazará todo el lote.

En los **planes por atributos** se extrae de manera aleatoria una o más muestras de un lote y cada pieza de la muestra es clasificada de acuerdo con ciertos atributos como aceptable o defectuosa; la cantidad de piezas defectuosas es usada para decidir si el lote es aceptado o no. En general, los planes más usuales son los de atributos, a pesar de que con los planes por variables se requiere un menor tamaño de muestra para lograr los mismos niveles de seguridad. Esta aparente contradicción se puede deber a la tradición, pero también a que en los planes por variables es necesario diseñar un plan para cada característica de calidad. Además, en ocasiones, las mediciones en los planes por variables son más costosas. En cualquier caso, se debe evaluar cuál de los dos tipos de planes es más adecuado en una situación en particular.

Planes de muestreo según la cantidad de muestras: hay cuatro clases de planes de muestreo: sencillo, doble, múltiple y secuencial. En el plan de muestreo sencillo, se toma una muestra del lote y se decide aceptar o no aceptar el lote de acuerdo con los resultados de la inspección de esa muestra. Este es el método tradicional. Los planes de muestreo doble (o doble muestreo) son algo más complicados. Con la muestra inicial se toma una decisión de acuerdo con los resultados de la inspección, sobre: (1) aceptar el lote (2) no aceptar el lote, o (3) tomar otra muestra. Si la calidad es muy buena, se acepta el lote en la primera muestra y no se toma una segunda muestra; si la calidad es muy mala, no se acepta el lote con la primera muestra, y no se toma una segunda muestra. Sólo cuando el grado de calidad no es ni muy bueno ni muy malo se toma una segunda muestra.

Un plan de muestreo múltiple es una continuación del muestreo doble, porque se pueden establecer tres, cuatro, cinco o las muestras que se desee. Los tamaños de muestra son mucho menores. La técnica es la misma que la descrita para el doble muestreo. En los planes de muestreo múltiple se usan hasta siete muestras. Con los planes de muestreo doble y múltiple por lo general se requiere menos inspección que con el simple, pero es más difícil administrarlos. En cuanto a los riesgos, pueden ser diseñados de modo que produzcan resultados equivalentes.

Formación del lote y selección de la muestra: la formación de un lote influye en la eficacia del plan de muestreo de aceptación, por lo que se sugiere atender las siguientes recomendaciones para formar los lotes que serán sometidos a un plan de inspección.

1. Los lotes deben ser homogéneos. Las unidades que forman un lote en particular deben haber sido fabricadas en condiciones similares en cuanto a máquinas, operadores, materia prima, tiempo (fechas), etc. Cuando el lote se forma mezclando unidades de diferentes fuentes, la variación dentro del lote aumenta y el muestreo de aceptación pierde efectividad.
2. Los lotes deben ser formados de manera que no compliquen su manejo durante la inspección. Todos los artículos de los lotes deben ser empaquetados y embarcados con un mínimo de riesgo y de manera que la selección de las unidades de la muestra sea relativamente fácil.
3. Los lotes deben ser tan grandes como sea posible. Esto debido a que en los lotes grandes es necesario inspeccionar, de manera proporcional, menos que en los lotes pequeños; además, los planes que resultan de tamaños de lotes grandes tienen mayor poder para detectar los lotes de mala calidad. Por lo que se tendrá un menor costo y mayor eficacia de la inspección. Sin embargo, esta recomendación puede tener un aumento significativo en los inventarios en procesos y en producto terminado, con el consecuente aumento de los costos y del tiempo de ciclo del proceso. De aquí que la recomendación de referencia sólo se debe aplicar en la medida que no se afecten sensiblemente los aspectos comentados.

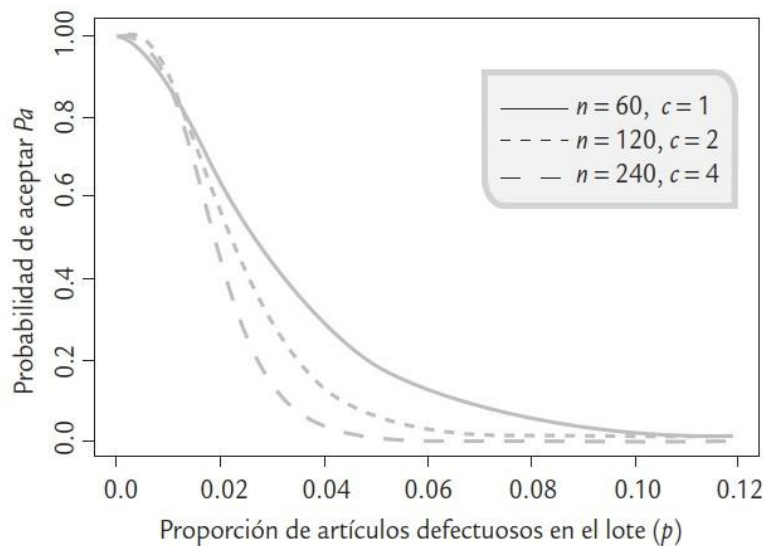
Todos los planes de muestreo de aceptación basan su funcionamiento en que las unidades seleccionadas para la inspección son representativas de todo el lote. De aquí que la selección de las unidades que forman la muestra debe hacerse aplicando un método de muestreo aleatorio. Por ejemplo, si se aplica el método de muestreo aleatorio simple, entonces se asigna un número a cada uno de los N artículos del lote, y al azar se seleccionan n de estos números para determinar qué artículos del lote constituyen la muestra. Para la selección de los números es posible recurrir a una tabla de números aleatorios o a un software estadístico.

Lotes no aceptados: una vez que un lote no ha sido aceptado, hay varias acciones alternativas que pueden tomarse.

1. **El lote no aceptado puede pasarse a las instalaciones de producción, y el personal de producción selecciona las unidades no conformes.** Esta acción no es alternativa satisfactoria, porque invalida el objetivo del muestreo de inspección y hace lenta la producción. Sin embargo, si las unidades se necesitan con urgencia, no habrá otra opción.
2. **El lote no aceptado puede rectificarse en la planta del consumidor por personal del productor o del consumidor.** Aunque se ahorran costos de transporte, hay una desventaja psicológica, porque todo el personal del consumidor se da cuenta que el producto del productor X no fue aceptado. Eso se puede usar como motivo para explicar el mal desempeño cuando se use el material del productor X en el futuro. Además, en la planta del consumidor debe ocuparse espacio para que el personal haga la clasificación.
3. **El lote no aceptado puede regresarse al productor para su rectificación.** Es la única acción adecuada, porque causa una mejora de la calidad a largo plazo. Ya que los costos de transporte se pagan en ambas direcciones, el costo se vuelve un motivador para mejorar la calidad. Además, cuando el lote se selecciona en la planta del productor, todos los empleados se dan cuenta de que el consumidor Y espera recibir unidades de alta calidad. Eso también es un factor motivante para mejorar la calidad la próxima vez que se surta un pedido para el consumidor Y . Esta acción podrá necesitar también parar la línea de producción, lo cual será una señal fuerte y clara al proveedor y al personal de operación, de que la calidad es importante.

Se supone que los lotes no aceptados recibirán el 100% de inspección, y que se desecharán las unidades no conformes. Un lote presentado por segunda vez no se vuelve a inspeccionar, en el caso normal; pero si se inspecciona, la inspección se debe limitar a la no conformidad original. Ya que las unidades no conformes se desecharon, un lote vuelto a presentar tendrá menos unidades que el original.

Curva característica de operación para planes de muestreo sencillo: una excelente técnica de evaluación es la curva característica de operación (curva OC, de *operating characteristic*). Para juzgar determinado plan de muestreo es preferible conocer la probabilidad de que un lote presentado con cierto porcentaje $100p_0$ de no conformes, sea aceptado. La curva característica de operación contiene esa información y una curva típica es la que muestra la figura siguiente. Cuando el porcentaje de no conformes es bajo, la probabilidad de que el lote sea aceptado es grande y disminuye a medida que el porcentaje de no conformes aumenta.



Algunas características de los planes de muestreo derivados de estas curvas de operación son las siguientes:

- ✦ No existe un plan de muestreo que tenga una curva CO ideal, capaz de distinguir perfectamente los lotes buenos de los malos. De esta manera, todo plan de muestreo tiene riesgos de rechazar la buena calidad y aceptar la mala. Lo que sí existe son planes que tienen mayor probabilidad de aceptar la buena calidad y de rechazar la mala.
- ✦ Al aumentar el tamaño de muestra y el número de aceptación se obtienen planes que tienen mayor potencia para distinguir la buena calidad de la mala.
- ✦ El criterio de tamaño de muestra igual a un porcentaje del tamaño de lote es un mal criterio.
- ✦ Al disminuir el número de aceptación, la curva CO cae más rápido y con ello los planes se vuelven más estrictos.
- ✦ Los planes con $c = 0$ no siempre son los más apropiados.
- ✦ La influencia del tamaño de lote en el diseño de planes de muestreo es menor de lo que comúnmente se cree.

Curvas CO tipo A y tipo B: para obtener todas las curvas CO se ha supuesto que las muestras se extraen de un lote grande o que el lote proviene de un flujo continuo de productos. A este tipo de curvas CO se les conoce como curvas CO tipo B, y la distribución apropiada para calcular las probabilidades de aceptación es la binomial.

La curva CO de tipo A se utiliza para calcular las probabilidades de aceptación de un lote aislado y de tamaño pequeño. En este caso, si el tamaño del lote es N , el de la muestra es n y el número de aceptación es c , entonces la distribución exacta del número de artículos defectuosos en la muestra es la distribución hipergeométrica.

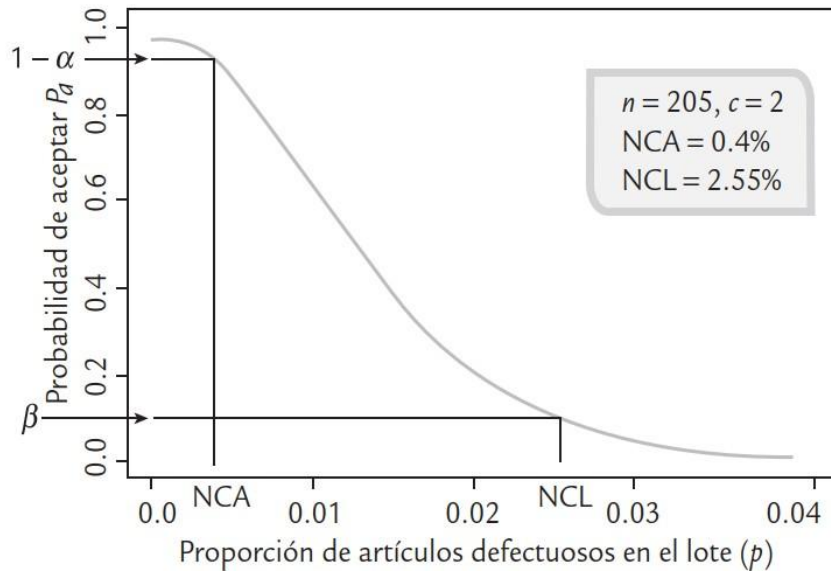
En particular, si el tamaño de muestra es menor que 10% del lote, la diferencia entre las curvas tipo A y tipo B es considerablemente pequeña, lo cual indica que en esos casos el efecto del tamaño de lote se considera despreciable.

Índices para los planes de muestreo de aceptación: en una relación cliente-proveedor en la que existe un plan de muestreo de aceptación de por medio hay dos intereses: por un lado, el proveedor quiere que todos los lotes que cumplen con un nivel de calidad aceptable sean aprobados; y por el otro, el cliente desea que todos los lotes que no tienen un nivel de calidad aceptable sean rechazados. Por desgracia, no es posible satisfacer de manera simultánea ambos intereses mediante un plan de muestreo de aceptación. Ante esta situación, lo que se hace para atender de manera parcial ambos intereses es diseñar planes de muestreo que tengan una alta probabilidad de aceptar lotes “buenos” y una baja probabilidad de aceptar lotes “malos”. El punto de partida para esto es definir índices que establezcan, para una situación específica, lo que se considerará como calidad aceptable, intermedia y no aceptable, con sus correspondientes probabilidades de aceptación. Esto se explica a continuación:

Nivel de calidad aceptable, NCA o AQL (*Acceptancing Quality Level*): se define como el porcentaje máximo de unidades que no cumplen con la calidad especificada, que para propósitos de inspección por muestreo se considera como satisfactorio o aceptable como un promedio para el proceso (al NCA también se le conoce como nivel de calidad del productor). De acuerdo con lo anterior, si un lote tiene un nivel de calidad igual al NCA, entonces la probabilidad de aceptarlo debe ser alta (0.90, 0.95), y a esa probabilidad se le designa con

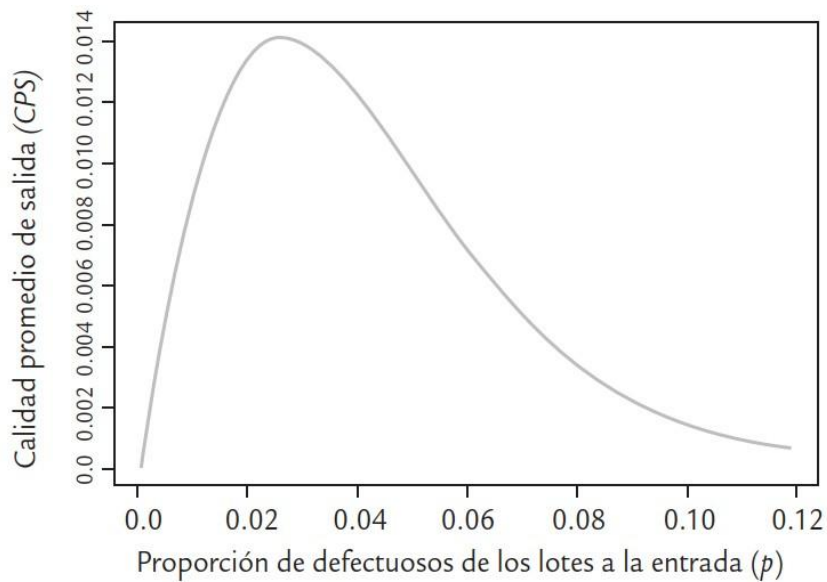
$1 - \alpha$. Note que la probabilidad de aceptar lotes con un NCA no es igual a 1 y por lo tanto hay un riesgo de no aceptar lo que se considera un nivel de calidad satisfactorio. A este riesgo que tiene una probabilidad igual a α , por lo general pequeña (0.05, 0.10), se le conoce como **riesgo del productor**. Debido a este riesgo, el NCA debe ser un nivel de calidad de referencia para el proceso de producción del productor y de ninguna manera un valor objetivo. Más aún, el productor debe buscar que su proceso opere con un mejor nivel que el NCA.

Nivel de calidad límite, NCL o LQL (*Limiting Quality Level*): es el nivel de calidad que se considera como no satisfactorio y que los lotes que tengan este tipo de calidad casi siempre deben ser rechazados. El NCL en algunos planes específicos se conoce como porcentaje defectivo tolerado del lote, PDTL o LTPD (*Lot Tolerance Percent Defective*). Por lo antes dicho, si un lote tiene calidad igual al NCL entonces la probabilidad de aceptarlo debe ser muy baja (por lo general de 0.05, 0.10), y a esta probabilidad se le designa con la letra β . Note que la probabilidad de aceptar lotes de calidad no satisfactoria (NCL) no es cero y, por lo tanto, hay un riesgo de no rechazar este tipo de lotes. A este riesgo, que tiene probabilidad igual a β , se le conoce como **riesgo del consumidor**.



Calidad promedio de salida, CPS o AOQ (*Average Outgoing Quality*): es la calidad promedio que se alcanza después de aplicar el proceso de inspección. Este concepto es una forma de medir el efecto de un plan de muestreo sobre la calidad que se tendrá después de aplicarlo. Cuando un programa de muestreo de aceptación aplica muestreo de 100% a los lotes rechazados, entonces la calidad de salida de esos lotes es perfecta (si no hay error de inspección), ya que todas las unidades defectuosas de éstos son sustituidas por artículos buenos. Mientras tanto, en los lotes aceptados es probable que su calidad de salida después de la inspección mejore un poco, porque las unidades defectuosas encontradas en la muestra son reemplazadas por unidades buenas. De esta manera, independientemente de si el lote es aceptado o rechazado, la calidad que llega al cliente tiende a ser mejor que la que tenían los lotes antes de ser inspeccionados.

Por lo anterior, una forma de caracterizar la bondad de un plan de muestreo de aceptación es calcular la calidad promedio de salida que genera. Este cálculo se realiza en forma similar a como se obtiene la curva característica de operación, ya que para cada proporción de defectuosos que contiene el lote en la entrada se espera una proporción promedio de defectuosos de salida (CPS o AOQ). Al graficar la proporción de entrada, p , frente a la proporción promedio de defectuosos después de la inspección, CPS, se obtiene una curva para la calidad promedio de salida (curva CPS).



Límite de la calidad promedio de salida, LCPS o AOQL (Average Outgoing Quality Limit): es el valor máximo de la curva CPS y representa la peor calidad promedio que puede obtenerse del programa de inspección. Es decir, no importa qué tan mala sea la proporción de defectuosos en los lotes que entran, la calidad promedio de salida nunca será peor que el límite de la calidad promedio de salida. Desde luego que esto no significa que el programa de inspección no deje pasar lotes con calidad peor que el LCPS, más bien, se está hablando de un límite promedio que es válido después de aplicar el programa de referencia a muchos lotes de un flujo continuo de producción.

La curva CPS, cuando se tiene un tamaño de lote grande, se obtiene con la fórmula:

$$CPS = p * P_a$$

$$p = c / n$$

Donde p es la proporción de defectuosos a la entrada del lote, y P_a la probabilidad de aceptación de tal lote que proporciona el plan de muestreo. De esta manera, si ya se tienen los cálculos para la curva CO, entonces la obtención de CPS es directa.

Diseño de un plan de muestreo: una forma lógica de regular la relación cliente-proveedor mediante un plan de muestreo de aceptación simple es diseñar planes con una alta probabilidad de aceptar la calidad NCA y que casi nunca acepten la calidad NCL. **Todas las tablas mencionadas se encuentran al final del manual.**

Método de Cameron: se basa en la distribución de Poisson y da una buena aproximación a la distribución binomial. Este método se aplica con los siguientes pasos:

1. Especificar los valores porcentuales deseados para NCA y NCL, con su correspondiente probabilidad de aceptación, $1 - \alpha$ y β , respectivamente.
2. Convertir estos porcentajes a proporciones, sea $p_1 = NCA/100$ y $p_2 = NCL/100$.

3. Calcular la razón de operación, $R_c = p_2/p_1$.
4. De acuerdo con los valores de α y β , buscar en la columna apropiada de la tabla 12.4 el valor R más cercano a R_c . Si en la tabla hay dos números R aproximadamente igual de cercanos a R_c se debe elegir el menor.
5. Ubicado el valor R en la tabla 12.4, el número de aceptación, c , se encuentra en el mismo renglón que R en la columna c hacia la izquierda.
6. En el mismo renglón donde se localizó a R , pero en la columna np_1 a la derecha de R , localizar el valor de np_1 . El tamaño de muestra se encontrará al dividir ese valor entre p_1 .
7. Para tener un mejor panorama del desempeño de un plan diseñado con el método de Cameron, se obtiene la curva CO correspondiente mediante la tabla 12.5.

El método de Cameron garantiza de manera exacta el NCA, mientras que el NCL sólo lo refiere de manera aproximada (debido a que el tamaño de muestra es redondeado). Además, en este método el plan se obtiene suponiendo que el tamaño de lote es grande, por lo que, si el tamaño de muestra es más de 10% del lote, entonces el plan obtenido será aproximado y será mejor tener una curva tipo A usando la distribución hipergeométrica, o bien, alguno de los otros métodos que toman en cuenta el tamaño del lote.

Ejemplo: al aplicar los pasos anteriores una situación donde ya se conocen los índices para los planes de muestreo de aceptación se obtiene que:

1. $NCA = 0.4\%$, $\alpha = 0.05$, $NCL = 2.5\%$ y $\beta = 0.10$.
2. $p_1 = 0.4/100 = 0.004$; $p_2 = 2.5/100 = 0.025$.
3. $R_c = p_2/p_1 = 0.025/0.004 = 6.25$.
4. En la columna de $\alpha = 0.05$ y $\beta = 0.10$ de la tabla 12.4, el valor de R más cercano a 6.25 es 6.51.
5. A la izquierda de $R = 6.51$, en la columna de c , se observa que $c = 2$.
6. A la derecha de $R = 6.51$, en la columna de np_1 se encuentra que $np_1 = 0.82$, así que $n = 0.82/0.004 = 205$.

Por lo tanto, el plan simple por atributos que ayuda a garantizar los niveles de calidad acordados es $n = 205$ y $c = 2$.

Método de la Military Standard 105E: en la actualidad es el sistema de muestreo de aceptación por atributos más usado en el mundo. Alternativamente se puede usar su contraparte civil ANSI/ASQ Z1.4. Para diseñar planes con MIL STD 105E se usa principalmente el nivel de calidad aceptable, NCA o AQL. Aunque la probabilidad de aceptar los lotes con calidad NCA siempre es alta (entre 0.89 y 0.99), pero no es la misma para todos los planes que se obtienen con esta norma.

Por lo general, el NCA es especificado en el contrato o por la autoridad responsable del muestreo, de acuerdo con diferentes criterios, por ejemplo: al nivel de calidad que se considera como aceptable, a los antecedentes del productor y los niveles de calidad que tiene la rama industrial o comercial del productor. Pueden considerarse diferentes NCA para distintos tipos de defectos. Por ejemplo, el estándar distingue entre defectos críticos, defectos mayores y defectos menores. Es una práctica común escoger un $NCA = 1.00\%$ para defectos mayores y $NCA = 2.5\%$ para

defectos menores. Ningún defecto crítico debe ser aceptado, aunque a veces se usan NCA menores a 0.10 por ciento.

El estándar ofrece tres procedimientos de muestreo: muestreo simple, doble y múltiple. Para cada plan de muestreo se prevé: inspección **normal, severa o reducida**. La inspección normal es usada al iniciar una actividad de inspección. La inspección severa se establece cuando el vendedor ha tenido un mal comportamiento en cuanto a la calidad convenida. Los requisitos para la aceptación de los lotes bajo una inspección severa son más estrictos que en una inspección normal. La inspección reducida se aplica cuando el vendedor ha tenido un comportamiento bueno en cuanto a la calidad. El tamaño de muestra utilizado en una inspección reducida es menor que en una inspección normal, por lo que el costo de inspección es menor. Así, la idea de estos tres tipos de inspección es alentar al vendedor para mejorar su calidad o castigarlo si no lo hace. Un plan de muestreo inicia con el plan normal y el estándar proporciona reglas que señalan cuándo cambiar a inspección severa o a inspección reducida.

El tamaño de muestra usado en MIL STD 105E se determina por medio del tamaño del lote, el nivel de inspección elegido y el NCA acordado. El estándar proporciona tres niveles generales de inspección: I, II, III. El nivel II es el más usual. El nivel I requiere cerca de la mitad de inspección que el nivel II y podría ser usado cuando pocos productos son rechazados. La diferencia entre usar algunos de estos niveles se da en el tamaño de muestra y, por lo tanto, en la capacidad del plan para rechazar una calidad peor que el NCA, ya que la curva CO del nivel de inspección III cae más rápido que la de los otros dos. De manera adicional, el estándar proporciona cuatro niveles especiales de inspección, S1, S2, S3 y S4, que se aplican en las situaciones que requieren tamaños pequeños de muestra, por ejemplo, en pruebas destructivas y cuando es posible tomar riesgos altos de no rechazar niveles de calidad peores que el NCA.

Para obtener los planes de muestreo aplicando el MIL STD 105E se procede según los siguientes pasos:

1. Determinar el tamaño de lote.
2. Especificar el NCA (o AQL).
3. Escoger el nivel de inspección (usualmente el **nivel II**, que puede ser cambiado si la situación lo justifica).
4. Dada la información anterior, en la tabla correspondiente se encuentra la letra código correspondiente para el tamaño de muestra.
5. De acuerdo con la letra código y el NCA, en la tabla correspondiente se especifican los planes simples para inspección normal, severa y reducida. Se indica el tamaño de la muestra y los defectuosos permitidos.

Indicaciones para el uso de las tablas: si en la intersección del renglón (letra código) y la columna (NCA) se encuentra una flecha en lugar de los números de aceptación (Ac) o de rechazo (Re), entonces siga la dirección de la flecha y use el primer plan que esté después de la flecha. Por ejemplo, supongamos que la letra código para un caso particular es H, por lo que el tamaño de muestra asociado con esta letra es $n = 50$, y si

NCA = 0.1%, entonces en la intersección correspondiente se encuentra una flecha con dirección hacia abajo; al seguirla al primer plan que se encuentra es $A_c = 0$, $R_e = 1$, y el tamaño de muestra a usar es $n = 125$.

Reglas de cambio: los requisitos que establece el estándar para hacer cambios entre los tres tipos de inspección se enuncian a continuación:

1. **De inspección normal a inspección severa:** cuando se efectúa inspección normal y con ésta se rechazan dos de cinco lotes consecutivos, entonces se aplica la inspección severa.

2. **De inspección severa a inspección normal:** si al estar aplicando el plan de inspección severa se aceptan cinco lotes consecutivos, entonces se aplica la inspección normal.

3. **De inspección normal a inspección reducida:** para realizar estos cambios se deben cumplir las siguientes cuatro condiciones:

- ✦ Diez lotes consecutivos han sido aceptados.
- ✦ El número total de defectuosos encontrados en los 10 lotes anteriores es menor o igual al número dado en la tabla correspondiente de números límite.
- ✦ La producción es continua; esto es, recientemente no han ocurrido problemas como máquinas descompuestas, escasez de material u otros contratiempos.
- ✦ Si la autoridad responsable del muestreo considera que es deseable una inspección reducida.

4. **De inspección reducida a normal:** si en la actualidad se aplica inspección reducida y ocurre cualquiera de las cuatro condiciones siguientes:

- ✦ Un lote o una serie de lotes son rechazados.
- ✦ La inspección del lote termina sin decisión, es decir, el número de defectuosos en el lote es mayor que A_c pero es menor que R_e .
- ✦ Si la producción es irregular o retardada.
- ✦ Si se dan otras condiciones que de alguna manera justifiquen la aplicación de la inspección normal, tales como los deseos del cliente.

Entonces, a partir del siguiente lote se aplicará inspección normal.

5. **Suspensión de inspección:** en caso de que 10 lotes consecutivos continúen bajo inspección severa (o cualquier otro número que señale la autoridad responsable), de acuerdo con el estándar la inspección deberá ser suspendida en espera de que se mejore la calidad del material sometido a inspección.

Las reglas de cambio desde una inspección normal a una inspección severa, o viceversa, también son sujetos de crítica, debido a que algunos cambios ocurren aun cuando no hay una evidencia suficientemente fuerte de que la calidad ha mejorado o empeorado. Si las reglas de cambio son usadas de manera incorrecta, como consecuencia se tienen grandes fallas. Cuando esto sucede los resultados de la inspección son inefectivos y engañosos, además que aumentan el riesgo del consumidor.

Debido a los dos puntos anteriores, en la práctica algunas veces sólo se emplea el plan normal y no se aplican las reglas de cambio.

Ejemplo:

Retomamos la situación descrita en el ejemplo anterior, el $NCA = 0.4\%$. Si el tamaño de lote es de $N = 6,000$ unidades y se utiliza el nivel de inspección II, entonces, de acuerdo con la tabla 1, la letra código para el tamaño de muestra es L. Con esta letra se obtienen los planes para inspección normal, severa y reducida.

Plan de muestreo normal. En la tabla correspondiente, en el renglón de la letra L y la columna $NCA = 0.4\%$, se encuentra que $n = 200$ y $c = 2$ (en la tabla aparece Ac). Bajo este plan se rechaza al lote cuando se obtienen tres ($Re = 3$) defectuosos o más. Este plan es relativamente similar al que se diseñó por el método de Cameron en el ejemplo anterior, donde además de tener $NCA = 0.4\%$ se fijó $NCL = 2.5\%$.

Plan de muestreo severo. De la misma forma, pero en la tabla correspondiente se obtiene $n = 200$, $Ac = 1$,

$Re = 2$. Así, en este plan, se toma el mismo tamaño de muestra que en inspección normal, pero se es más estricto ya que el número de aceptación es menor.

Plan de muestreo reducido. De la tabla siguiente, se obtiene $n = 80$, $Ac = 1$, $Re = 3$. De esta manera, es claro que, si en la muestra se encuentran uno o cero defectuosos el lote es aceptado, si se encuentran tres o más, entonces el lote es rechazado. Pero si se encuentran dos unidades malas el lote es aceptado, aunque al siguiente lote se le debe aplicar el plan de inspección normal.

HOJA DE TRABAJO 2

A continuación, se presentan una serie de casos de estudio, en cada uno de ellos realizar lo que se indica:

Caso 1: se decide implementar un muestreo de aceptación para atributos con el propósito de regular la salida de lotes de tamaño grande, el nivel de calidad aceptable (NCA o AQL) se fija en 1.2% con $\alpha = 0.05$ y el NCL = 5% con $\beta = 0.10$.

- a) Con base en lo anterior, bosqueje la curva CO que se requiere para el plan de muestreo.
- b) Por medio de las tablas de Cameron encuentre el plan que regulará este muestreo y explique su funcionamiento.
- c) Obtenga una forma más o menos exacta de la curva CO para el correspondiente plan, apoyándose en tablas o con ayuda de Excel.
- d) ¿El plan encontrado no acepta lotes con 2% de artículos defectuosos?
- e) En la redacción inicial del problema se supuso que los lotes eran de tamaño grande dado el tamaño de la muestra, ¿cuál debe ser el tamaño de lote para que se siga cumpliendo la suposición inicial?

Caso 2: para medir la eficacia de un proceso en una empresa se cuantifica la proporción de artículos defectuosos. De acuerdo con los datos históricos se tiene que el porcentaje promedio de artículos defectuosos es de 3.5 por ciento.

- a) Un cliente de esta empresa exige que antes de enviar los embarques, inspeccione los lotes y que aplique un NCA de 2.5%. De acuerdo con esto, con las tablas de Cameron diseñe un plan apropiado suponiendo un NCL = 5% y tamaño de lote grande.
- b) Obtenga la curva CO para el plan.
- c) Si el lote tiene un nivel de calidad igual al promedio del proceso, ¿cuál es la probabilidad de aceptarlo?
- d) ¿Qué opina de la utilidad del plan en este caso?

Caso 3: en una empresa se ha aplicado un muestreo de aceptación con base en MIL STD 105E, en el que usan NCA de 1.5%. Conteste lo siguiente:

- a) Suponiendo los lotes de 12,000 piezas y usando el nivel de inspección usual (II) encuentre los planes normal, reducido y severo que se aplicarán.
- b) De acuerdo con lo anterior, ¿este plan garantiza que no se acepten lotes con un porcentaje de defectuosos mayor a 1.5%? Explique.
- c) Si el tamaño de lote en lugar de 12,000, fuera de 32,000, compruebe que de acuerdo con MIL STD 105E el tamaño de muestra y el número de aceptación serían los mismos. ¿Por qué cree usted que ocurre esto?

Caso 4: en una empresa se usa un método de muestreo de aceptación que consiste en lo siguiente: se toma una muestra de 10% de lote, y si en ésta se encuentra 1% o menos de piezas defectuosas entonces el lote es aceptado, en caso contrario el lote es rechazado. Los tamaños

de lote más frecuentes son de 1 000 y 2 000 piezas, por lo tanto ($n = 100$, $c = 1$) y ($n = 200$, $c = 2$), respectivamente. De acuerdo con lo anterior conteste:

- a) Construya las curvas CO para cada plan.
- b) ¿Cuál es la protección que cada plan proporciona al nivel de calidad aceptable que es de 1%? Comente los resultados obtenidos.

Caso 5: en grupos, y utilizando granos de frijol negro, crear lotes de 50, 75 y 100 unidades. En cada lote, sustituir de 3 a 7 granos negros por granos de otro color aleatoriamente, estos granos simbolizan unidades defectuosas. Diseñar un plan de muestreo para los lotes utilizando el método Cameron y la MIL STD 105E. Realizar la inspección de los lotes según el plan de muestreo 10 veces e indicar el nivel de rechazo. Expresar los resultados en una tabla.

PRÁCTICA NO. 3

GRÁFICAS DE CONTROL PARA VARIABLES

1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Comprender los conceptos para la creación de una gráfica de control para variables.
- 1.2. Interpretar las gráficas de control de variables para la toma de decisiones.

2. Marco Teórico:

Variación: está presente en todo proceso, debido a una combinación de equipo, materiales, ambiente y operador. La primera fuente de variación es el **equipo**. Esta causa comprende desgaste de herramientas, vibración de la máquina, posicionamiento del soporte de la pieza, y fluctuaciones hidráulicas y eléctricas. Cuando se juntan todas estas variaciones se define una cierta capacidad o precisión dentro de la cual el equipo funciona. Aun las máquinas supuestamente idénticas tienen diferentes capacidades, y eso se vuelve una consideración muy importante cuando se programa la producción de partes críticas.

La segunda fuente de variación es el **material**. Como hay variación en el producto terminado, también debe existir en la materia prima (que es el producto terminado de alguien más). Cabe esperar que características de la calidad, como resistencia a la tensión, ductilidad, espesor, porosidad y contenido de humedad contribuyan a la variación general del producto final.

Una tercera causa es el **ambiente**. La temperatura, iluminación, radiación, descarga electrostática, tamaño de 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.

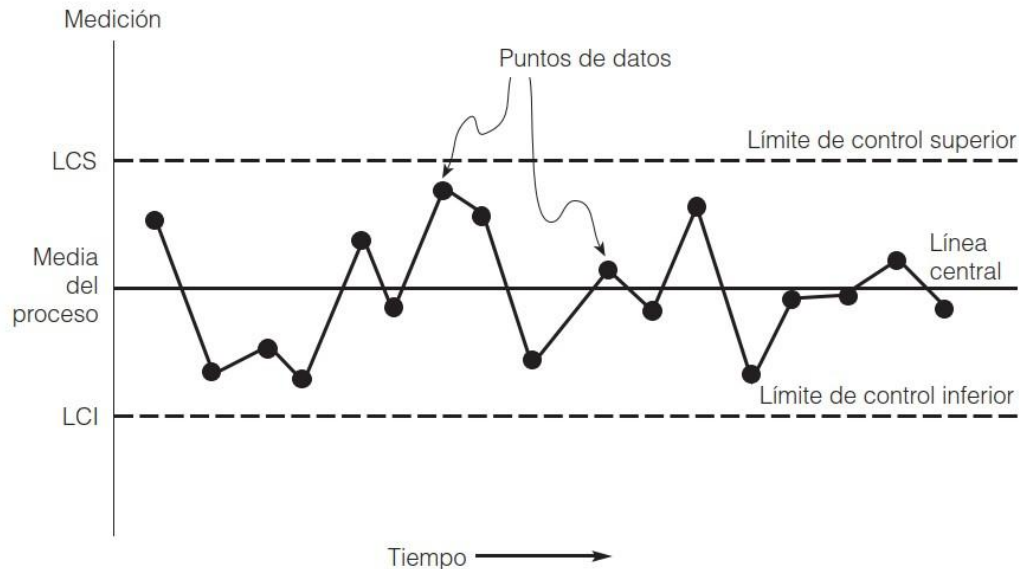
Una cuarta fuente es el **operador**. Esa fuente de variación comprende el método con el que el operador efectúa la operación. El bienestar físico y emocional del operador también puede contribuir a la variación. Un dedo cortado, un tobillo torcido, un problema personal o un dolor de cabeza pueden hacer 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.

Esas cuatro fuentes juntas causan la variación real. También hay una variación citada, que se debe a la actividad de **inspección**. 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.

Mientras esas fuentes de variación fluctúen en una forma natural o esperada, se produce un patrón estable de muchas causas fortuitas (**causas aleatorias**) de variación. Las causas aleatorias de variación son inevitables. Las causas de variación que son de gran magnitud, y en

consecuencia fácilmente identificables, se clasifican como **causas asignables**. Cuando sólo hay causas aleatorias en un proceso, se considera que el proceso está en (o bajo) control estadístico. Es un estado estable y predecible. Sin embargo, 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.

Método de la gráfica de control: es un medio de visualizar las variaciones que se presentan en la tendencia central y en la dispersión de un conjunto de observaciones. Es un registro gráfico de la calidad de determinada característica. Muestra si el proceso está o no en un estado estable.



La recta continua en el centro de la gráfica puede tener tres interpretaciones diferentes, que dependen de los datos disponibles. En primer lugar, y lo más común, puede ser el promedio de los puntos graficados, que en el caso de una gráfica de medias es el promedio de promedios, o ("X doble barra"). En segundo lugar, puede ser un valor patrón o de referencia, basado en datos anteriores representativos, un valor económico basado en costos de producción o necesidades de servicio, o un valor objetivo, basado en especificaciones. En tercer lugar, puede ser la media poblacional, si se conoce ese valor.

Las dos líneas externas interrumpidas son los **límites de control superior e inferior**. Esos límites se establecen para ayudar a juzgar la importancia de las variaciones en la calidad del producto o servicio. Con frecuencia, los límites de control se confunden con los **límites de especificación**, que son los límites admisibles de una característica de calidad de cada unidad individual de un producto. Sin embargo, los límites de control se usan para evaluar las variaciones en la calidad de un subgrupo a otro.

Las gráficas de control para variables se aplican a características de calidad de naturaleza continua, que intuitivamente son aquellas que entre cualquier par de sus valores siempre puede existir otro, al menos en teoría. El límite de esto lo pone la resolución de la escala de medición del instrumento que se utiliza para medirla. Ejemplos de características continuas son: peso, volumen, ángulo, voltaje, longitud, resistencia, temperatura, humedad, tiempo, etc. Las gráficas para variables tipo Shewhart más usuales son:

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

El nombre de una gráfica de control se debe al correspondiente estadístico que se representa en la gráfica. Este estadístico permite estudiar el comportamiento en el tiempo de algún aspecto relevante de la característica de calidad, típicamente su localización o dispersión.

Objetivos de las gráficas de control de variables: Las gráficas de control de variables proporcionan la información:

1. **Para mejorar la calidad.** El tener una gráfica de control de variables sólo porque indica que hay un programa de control de calidad es estar en un error. Una gráfica de control de variables es una técnica excelente para obtener el mejoramiento de la calidad.
 2. **Para determinar la capacidad del proceso.** La capacidad real del proceso sólo se puede alcanzar después de haber mejorado la calidad en forma sustancial. Durante el ciclo de mejoramiento de la calidad, la gráfica de control indicará que ya no es posible mejorarla sin una apreciable inyección de dinero. En ese punto se obtiene la capacidad real del proceso.
 3. **Para tomar decisiones respecto a las especificaciones del producto.** Una vez obtenida la capacidad real del proceso, se pueden determinar las especificaciones efectivas. Por ejemplo, si la capacidad del proceso es ± 0.003 , entonces el personal de operación puede obtener especificaciones de ± 0.004 en forma realista.
 4. **Para decisiones del momento respecto al proceso de producción.** Primero, se necesita una decisión para juzgar si existe un control. Si no existe, se usa la gráfica de control para obtenerlo. Una vez obtenido el control, se usa la gráfica de control para mantenerlo. Entonces, la gráfica de control se usa para decidir cuándo existe un patrón natural de variación, y se debe dejar solo el proceso, y cuándo está sucediendo una pauta de variación no natural que requiere tomar acciones para encontrar y eliminar las causas asignables.
- A este respecto, el personal de operación está obteniendo un desempeño en calidad mientras los puntos de la gráfica estén dentro de los límites de control. Si ese desempeño no es satisfactorio, la responsabilidad es del sistema y no del operador.
5. **Para decisiones del momento respecto a artículos producidos recientemente.** Así, la gráfica de control se usa como una fuente de información para ayudar a decidir si uno o varios elementos deben liberarse a la siguiente fase de la producción, o si se debe ejecutar una disposición alternativa, como clasificarlo y repararlo.

Estos objetivos dependen con frecuencia entre sí. Por ejemplo, se necesita mejorar la calidad antes de determinar la capacidad real del proceso, lo cual se necesita saber antes de determinar las especificaciones efectivas. Las gráficas de control de variables deben establecerse para alcanzar determinado objetivo. Su uso debe suspenderse cuando se haya alcanzado el objetivo, o continuar su uso con inspecciones apreciablemente reducidas.

Gráfica X (de medias) y R (de rangos): a veces llamada gráfica “x barra”, son diagramas para variables que se aplican a procesos masivos, en donde en forma periódica se obtiene un subgrupo de productos, se miden y se calcula la media y el rango R para registrarlos en la gráfica correspondiente. El rango R es la diferencia entre el valor mayor y menor de cada muestra. En general se usan los promedios en las gráficas de control y no las observaciones individuales porque los valores promedio indican la existencia de una variación con mucha mayor rapidez. También, con dos o más observaciones en una muestra, se puede obtener una medida de la dispersión para determinado subgrupo.

Técnicas para elaborar gráficas de control X barra y de rangos: para establecer un par de gráficas de control para el promedio y el rango (R), es preferible apegarse a un procedimiento establecido. A continuación, se presentan los pasos de este procedimiento:

1. **Seleccionar la característica de calidad:** la característica que se escoja para elaborar una gráfica y R debe ser una característica de la calidad que se pueda medir y expresar en números.
2. **Escoger el subgrupo racional:** seleccionar las muestras de subgrupo del producto o servicio que se obtienen en un momento en el tiempo, o tan cerca de ese momento en el tiempo como sea posible. Los lotes de donde se toman los subgrupos deben ser homogéneos. Esto quiere decir que las piezas del lote sean tan parecidas como sea posible: la misma máquina, el mismo operador, misma cavidad de molde, etcétera.

Por la facilidad de cómputo, un tamaño de muestra de 5 es bastante común en la industria; sin embargo, cuando se usan calculadoras electrónicas de bolsillo ya no es válida esa razón. Cuando el tamaño de subgrupo es mayor que 10, se debe usar la gráfica S en lugar de la gráfica R para controlar la dispersión. Se recomienda apoyarse en las técnicas de muestreo para determinar la cantidad de inspecciones a realizar.

No hay una regla para determinar la frecuencia de toma de subgrupos, pero debe ser la suficiente para detectar cambios del proceso. Las incomodidades de la distribución de la fábrica u oficinas, y el costo de tomar subgrupos, deben balancearse con el valor de los datos obtenidos. En general, lo mejor es muestrear con bastante frecuencia al principio, y reducir la frecuencia cuando lo permitan los datos.

3. **Reunir los datos.** Suponiendo que ya se seleccionaron la característica de la calidad y el plan para subgrupo racional, se puede asignar a un técnico la tarea de reunir los datos como parte de sus tareas normales. El supervisor de primera línea y el operador deben estar informados de las actividades del técnico; sin embargo, todavía no se ponen gráficas o datos en lugares visibles del centro de trabajo.

Es necesario reunir un mínimo de 25 subgrupos de datos. Menos subgrupos no permiten tener una cantidad suficiente de datos para calcular con exactitud la línea central y los límites de control, y más subgrupos demorarían la implantación de la gráfica de control. Cuando los subgrupos se obtienen con lentitud podrá preferirse obtener conclusiones preliminares con menos subgrupos.

4. **Determinar en forma tentativa la línea central y los límites de control.** Los límites tentativos de control para las gráficas se establecen en ± 3 desviaciones estándar del valor central, como se indica en las siguientes fórmulas:

Línea central = Promedio de los datos

$LCS = \text{Promedio de los datos} + 3 * \text{desviación estándar poblacional de los datos}$

$LCI = \text{Promedio de los datos} - 3 * \text{desviación estándar poblacional de los datos}$

En la práctica, los cálculos se simplifican usando el producto del rango por un factor (A_2) para reemplazar las 3 desviaciones estándar en las fórmulas para la gráfica X barra. En la gráfica R, se usa el rango para estimar la desviación estándar del rango. Entonces, las fórmulas deducidas son:

Para la gráfica X barra:

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2R$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2R$$

$\bar{\bar{X}}$ representa el promedio del promedio de los datos.

Para la gráfica R:

$$LCS = D_4R$$

$$LCI = D_3R$$

Los factores A y D se presentan en la tabla al final del manual. Para la gráfica X barra, los límites de control superior e inferior son simétricos respecto a la línea central. Teóricamente, los límites de control para una gráfica R también deberían ser simétricos respecto a la línea central. Pero para que se dé ese caso, con subgrupos de tamaño 6 o menor, se necesitaría que el límite inferior de control tuviera un valor negativo. Como es imposible un rango negativo, el límite inferior de control se ubica en 0, asignando el valor 0 a D_3 , para subgrupos de 6 o menores.

La interpretación correcta de los límites de control es de especial relevancia para una adecuada aplicación de la gráfica X barra, ya que de lo contrario se caerá en el error de confundir los límites de control con las especificaciones o con los límites reales. Por lo general, estos errores provocan que se trate de utilizar la carta para evaluar capacidad, cuando se debe usar para analizar estabilidad y detectar de manera oportuna cambios en la media del proceso.

5. Establecer la línea central y los límites de control revisados. El siguiente paso es adoptar valores estándar para las líneas centrales, o dicho en forma más correcta, de la mejor estimación de los valores estándar, con los datos disponibles. Si en un análisis de los datos preliminares resulta que hay un buen control, se podrá considerar entonces que las gráficas son representativas del proceso, y se convierten en los valores estándar. Se puede describir en forma sucinta que un buen control es el que no tiene puntos fuera de control, no tiene corridas largas en alguno de los lados de la línea central, y que no tiene pautas anómalas de variación.

Si el valor X barra o R de un subgrupo está fuera de control y tiene una causa asignable, los dos valores se desechan, o sólo se desecha el valor que esté fuera de control dentro del subgrupo. Una vez desechados los datos anómalos, con justificación, se vuelve a calcular los límites de control y la línea central. El objetivo es obtener la mejor estimación de esos valores estándar

poblacionales. Los datos preliminares de los 25 subgrupos iniciales no se grafican con los límites de control revisados. Estos límites son para informar los resultados de los subgrupos futuros. Para usar con eficiencia la gráfica de control durante la producción, ésta debe mostrarse en un lugar conspicuo, donde la puedan ver los operadores y los supervisores.

Las líneas centrales y los límites de control 3σ , para las operaciones reales, se obtienen usando los valores estándar y las siguientes fórmulas:

$$\sigma_0 = \frac{R_{\text{rev}}}{d_2}$$

Para la gráfica X barra:

$$LCS = \bar{X}_{\text{rev}} + A\sigma_0$$

$$LCI = \bar{X}_{\text{rev}} - A\sigma_0$$

$\bar{X}$ representa el promedio del promedio de los datos.

Para la gráfica R:

$$LCS = D_2\sigma_0$$

$$LCI = D_1\sigma_0$$

Donde el subíndice “rev” indica que se han eliminado del cálculo aquellos puntos con causas asignables.

6. Alcanzar el objetivo. Cuando se introducen las gráficas de control por primera vez en un centro de trabajo, suele mejorar el desempeño del proceso. Esta mejora inicial se nota en especial cuando el proceso depende de la habilidad del operador. La mayoría de los trabajadores desean producir un artículo de alta calidad, en consecuencia, cuando la gerencia muestra que le interesa la calidad, el operador responde.

Cuando se ha alcanzado el objetivo de iniciar el uso de las gráficas, se debe discontinuar, o se debe reducir la frecuencia de la inspección hasta sólo una operación de vigilancia por parte del operador. Se debe tratar entonces de mejorar alguna otra característica de la calidad. Si intervino un equipo de proyecto, se le debe felicitar por su papel, y se debe desintegrar.

Gráfica S (de desviaciones estándar): Cuando con una carta X barra - R se quiere tener mayor potencia para detectar cambios pequeños en el proceso, se incrementa el tamaño de subgrupo. Pero si el tamaño del subgrupo es mayor a 10, la carta de rangos ya no es eficiente para detectar cambios en la variabilidad del proceso, y en su lugar se recomienda utilizar la carta S, en la que se grafican las desviaciones estándar de los subgrupos. Para construir una gráfica S se utiliza el mismo procedimiento anterior, solo cambia la metodología para calcular los límites de control superior e inferior:

Para la gráfica X barra:

$$LCS = \bar{X} + A_3\bar{s}$$

$$LCI = \bar{X} - A_3\bar{s}$$

Para la gráfica S:

$$LCS = B_4\bar{s}$$

$$LCI = B_3\bar{s}$$

Las líneas centrales y los límites de control 3σ , para las operaciones reales, se obtienen usando los valores estándar y las siguientes fórmulas:

$$\sigma_0 = \frac{s_{rev}}{c_4}$$

Para la gráfica X barra:

$$LCS = \bar{X}_{rev} + A\sigma_0$$

$$LCI = \bar{X}_{rev} - A\sigma_0$$

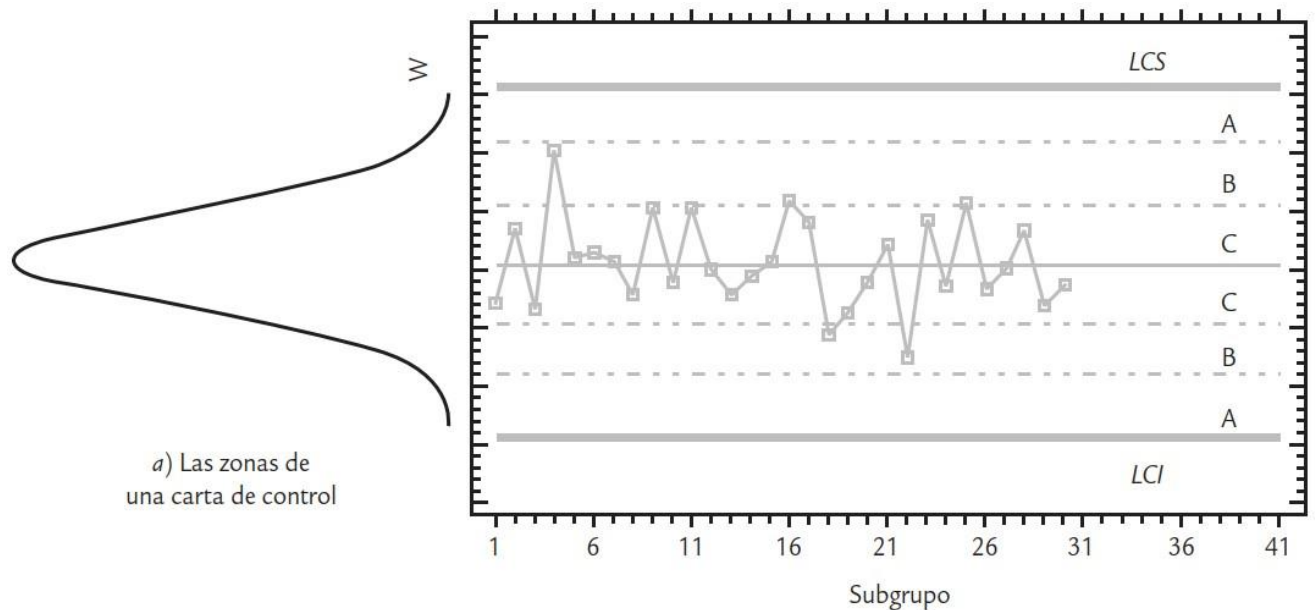
Para la gráfica S:

$$LCS = B_6\sigma_0$$

$$LCI = B_5\sigma_0$$

Donde el subíndice “rev” indica que se han eliminado del cálculo aquellos puntos con causas asignables.

Interpretación de las cartas de control y causas de la inestabilidad: la señal de que se ha detectado una causa especial de variación (o señal de que hay un cambio especial en el proceso) se manifiesta cuando un punto cae fuera de los límites de control, o cuando los puntos graficados en la carta siguen un comportamiento no aleatorio (por ejemplo, una tendencia ascendente, un movimiento cíclico, etc.). Por el contrario, la gráfica indica que es un proceso estable (bajo control estadístico), cuando sus puntos caen dentro de los límites de control y fluctúan o varían de manera aleatoria (con una apariencia errática, sin un orden) a lo ancho de la carta, con tendencia a caer cerca de la línea central. Para facilitar la identificación de patrones no aleatorios, lo primero que se hace es dividir la carta de control en seis zonas o bandas iguales, cada una con amplitud similar a la desviación estándar del estadístico que se grafica.



Se pueden identificar patrones en el comportamiento según la posición de los valores en estas zonas especiales:

Patrón 1. Desplazamientos o cambios en el nivel del proceso. Este patrón ocurre cuando uno o más puntos se salen de los límites de control o cuando hay una tendencia larga y clara a que los puntos consecutivos caigan de un sólo lado de la línea central. Los criterios más usuales para ver si este patrón se ha presentado son:

- ✦ Un punto fuera de los límites de control.
- ✦ Hay una tendencia clara y larga a que los puntos consecutivos caigan de un sólo lado de la línea central. Tres pruebas concretas para este patrón son:
 - Ocho o más puntos consecutivos de un sólo lado de la línea central.
 - Al menos 10 de 11 puntos consecutivos caen de un mismo lado de la línea central.
 - Por lo menos 12 de 14 puntos consecutivos ocurren por un mismo lado de la línea central.

Patrón 2. Tendencias en el nivel del proceso. Este patrón consiste en una tendencia hacia arriba (o hacia abajo) de los puntos en la carta. Para determinar si hay una tendencia en el proceso se tienen los siguientes criterios:

- ✦ Seis o más puntos consecutivos en ascenso (o descenso).
- ✦ Un movimiento demasiado largo de puntos hacia arriba (o abajo) de la gráfica de control, aunque no todos los puntos en ascenso (o descenso).

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

Patrón 3. Ciclos recurrentes (periodicidad). Otro movimiento no aleatorio que pueden presentar los puntos en las gráficas es un comportamiento cíclico de los puntos.

Patrón 4. Mucha variabilidad. Una señal de que en el proceso hay una causa especial de mucha variación se manifiesta mediante una alta proporción de puntos cerca de los límites de control, en ambos lados de la línea central, y pocos o ningún punto en la parte central de la gráfica. Los criterios para detectar una alta proporción de puntos cerca o fuera de los límites son los siguientes:

- ✦ Ocho puntos consecutivos en ambos lados de la línea central con ninguno en la zona C.

Patrón 5. Falta de variabilidad (estatificación). Una señal de que hay algo especial en el proceso es que prácticamente todos los puntos se concentren en la parte central de la carta, es decir, que los puntos reflejen poca variabilidad o estatificación. Para detectar la falta de variabilidad se tienen los siguientes criterios:

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

Cuando alguno de los patrones anteriores se presenta en una gráfica, es señal de que en el proceso hay una situación especial (proceso inestable o fuera de control estadístico), la cual provoca que los puntos no estén variando de manera aleatoria dentro de la gráfica.

Índice de estabilidad: mide qué tan inestable es un proceso y se obtiene dividiendo el número de puntos especiales entre el total de puntos graficados en una gráfica.

$$S_t = \frac{\text{Número de puntos especiales}}{\text{Número total de puntos}} \times 100$$

Para interpretar el índice de inestabilidad S_t , se parte de que su valor ideal es cero, que ocurre cuando no hubo puntos especiales. Aunque no existen acuerdos de qué tan pequeño tiene que ser el índice S_t para considerar que un proceso posee una buena estabilidad, nosotros creemos que un valor entre 0 y 2% corresponde a un proceso con una estabilidad relativamente buena, de 2 a 4%, regular y en adelante se considera como un proceso inestable.

La gráfica de individuales: es un diagrama para variables de tipo continuo, pero en lugar de aplicarse a procesos semimasivos o masivos como es el caso de la gráfica X barra - R, se emplea en procesos lentos, en los cuales para obtener una muestra de la producción se requerirían periodos relativamente largos, de aquí que lo más razonable sea hacer el control basándose directamente en las mediciones individuales. Ejemplos de este tipo de procesos son:

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

En estos casos, la mejor alternativa es usar una carta de individuales, donde cada medición particular de la variable que se quiere analizar se registra en una carta.

Para la gráfica X:

$$LCS = \bar{X} + 3 \frac{R}{d_2}$$

$$LCI = \bar{X} - 3 \frac{R}{d_2}$$

R se convierte en la diferencia entre las lecturas individuales, el tamaño de la muestra se asume en 2.

Para la gráfica R:

$$LCS = D_4 R$$

$$LCI = D_3 R$$

Las gráficas pueden ser construidas en cualquier *software* especializado en el manejo de datos estadísticos, en la práctica se verá el uso de un complemento de Excel gratuito conocido como **SPCCharts**, desarrollado por Samuel Buttrey en el 2009 para la revista de *software* estadístico.

HOJA DE TRABAJO 3

Caso 1. Un proceso continuo de producción de frituras debe empacar bolsas de 200 g, se toman muestras de con subgrupos de un tamaño de 5 unidades cada 10 minutos y son pesadas. Los resultados se encuentran en la tabla. Construya las gráficas de control X barra, R y S en papel milimetrado primero y luego en una hoja de cálculo. Determine los límites de control 3σ . Determine el índice de inestabilidad e interprételo.

Subgrupo	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
1	200.2	199.7	200.4	200.2	200.2
2	199.6	199.4	200.7	199.8	199.4
3	199.7	199.7	199.6	200.2	200
4	199.5	199.7	199.6	200.2	200.2
5	197.8	196.1	198.7	197.5	199.8
6	199.2	199.7	200.3	199.9	200.1
7	200.1	200.1	200.6	200.0	199.4
8	200.4	200.1	200.6	200.2	199.6
9	200.0	200.7	199.5	200.2	199.9
10	199.5	199.8	200.0	200.5	199.6
11	199.6	199.3	199.7	200.0	200.3
12	200.8	199.3	199.3	200.3	200.3
13	200.7	199.1	199.6	200.8	200.7
14	200.2	200.1	200.8	200.0	200.0
15	199.7	200.3	199.8	200.0	200.0
16	200.4	199.9	199.7	200.4	199.5
17	199.8	200.7	199.8	199.8	199.3
18	199.8	200.5	199.6	200.2	199.5
19	199.3	200.4	199.8	200.1	199.5
20	199.4	200.0	199.7	200.4	200.1
21	200.1	199.8	199.2	200.0	199.3
22	200.3	200.0	200.0	200.0	199.4
23	199.7	199.8	200.0	199.8	200.4
24	199.9	199.8	199.9	200.7	199.8
25	200.2	199.8	199.9	199.3	199.4

Caso 2. En una planta de producción de alcohol medicinal se controla frecuentemente la concentración de alcohol, esta se debe mantener en un $70\%=0.70$ en porcentaje de volumen. Los resultados se encuentran en la tabla. Construya las gráficas de control X barra, R y S en

papel milimetrado primero y luego en una hoja de cálculo. Determine los límites de control 3σ . Determine el índice de inestabilidad e interprételo.

Subgrupo	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
1	0.73	0.74	0.69	0.68	0.65
2	0.73	0.70	0.74	0.72	0.70
3	0.66	0.68	0.66	0.78	0.76
4	0.67	0.70	0.67	0.66	0.78
5	0.65	0.66	0.69	0.72	0.76
6	0.76	0.71	0.71	0.69	0.74
7	0.75	0.63	0.66	0.61	0.77
8	0.71	0.70	0.71	0.75	0.66
9	0.76	0.66	0.70	0.68	0.75
10	0.69	0.76	0.77	0.67	0.61
11	0.70	0.69	0.70	0.75	0.70
12	0.67	0.74	0.75	0.63	0.71
13	0.72	0.66	0.66	0.64	0.78
14	0.65	0.74	0.68	0.72	0.69
15	0.66	0.78	0.62	0.72	0.77
16	0.63	0.70	0.74	0.63	0.71
17	0.72	0.70	0.67	0.69	0.68
18	0.64	0.64	0.75	0.64	0.68
19	0.68	0.70	0.69	0.71	0.69
20	0.76	0.64	0.69	0.67	0.72
21	0.68	0.68	0.79	0.72	0.70
22	0.78	0.64	0.70	0.66	0.71
23	0.67	0.69	0.68	0.68	0.71
24	0.73	0.70	0.73	0.72	0.76
25	0.71	0.76	0.63	0.71	0.73

Caso 3. En una planta de producción de piezas metálicas se controla la longitud de un elemento mecánico, esta se debe mantener en un valor de 10 cm y son medidos cada hora. Los resultados se encuentran en la tabla. Construya las gráficas de control X y R en papel milimetrado primero y luego en una hoja de cálculo. Determine los límites de control 3σ . Determine el índice de inestabilidad e interprételo.

Subgrupo	Medida	Subgrupo	Medida
1	10.0	14	10.0
2	9.7	15	10.0
3	10.1	16	10.1
4	10.2	17	10.0
5	10.3	18	9.9
6	9.9	19	10.0
7	10.0	20	9.9
8	10.0	21	10.0
9	10.1	22	10.0
10	10.0	23	10.1
11	9.9	24	9.8
12	9.9	25	9.8
13	9.7		

Caso 4. En una planta de producción de jalea se controla la cantidad de azúcar en el jarabe, esta debe ser de 30 °B, y se monitorea cada 10 minutos. Los resultados se encuentran en la tabla. Construya las gráficas de control X y R en papel milimetrado primero y luego en una hoja de cálculo. Determine los límites de control 3σ . Determine el índice de inestabilidad e interprételo.

Subgrupo	Medida	Subgrupo	Medida
1	29	14	29
2	29	15	29
3	31	16	29
4	28	17	28
5	29	18	29
6	30	19	30
7	31	20	31
8	31	21	30
9	30	22	31
10	29	23	30
11	30	24	30
12	29	25	29
13	32		

PRÁCTICA NO. 4

GRÁFICAS DE CONTROL PARA ATRIBUTOS

1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Comprender los conceptos para la creación de una gráfica de control para atributos.
- 1.2. Interpretar las gráficas de control de atributos para la toma de decisiones.

2. Marco Teórico:

Atributo: el término atributo, tal como se usa en control de calidad, quiere decir que las características de la calidad son conformes con las especificaciones, o que no son conformes con las especificaciones.

Se usan los atributos:

1. Cuando no es posible hacer mediciones, por ejemplo, de elementos que se inspeccionan visualmente como color, partes faltantes, rayaduras y daños.
2. Cuando se pueden hacer mediciones, pero no se hacen debido al tiempo, costo o necesidad. En otras palabras, aunque el diámetro de un agujero se puede medir con un micrómetro de interiores, podrá preferirse usar un calibrador pasa - no pasa, y determinar si el agujero está fabricado de manera conforme o no con las especificaciones.

Cuando un atributo no se encuentra conforme con las especificaciones se usan varios términos descriptivos. Una **no conformidad** es una desviación de una característica de la calidad respecto a un valor o estado pretendido, que se presenta con una severidad suficiente como para hacer que el producto o servicio respectivo no cumpla con un requisito de una especificación. La definición de un **defecto** es similar, pero concierne a la satisfacción de requisitos pretendidos de uso normal, o razonablemente previsibles. El uso del término defecto es adecuado cuando la evaluación es en términos de uso, y no conformidad es adecuado respecto a la conformidad con las especificaciones.

Limitaciones de las gráficas de control para variables: las gráficas de control para variables son métodos excelentes para controlar la calidad para entonces mejorarla; sin embargo, tienen sus limitaciones. Una limitación obvia es que no se pueden usar para características de calidad que sean atributos. La inversa no es cierta, porque una variable puede cambiarse a un atributo, indicando que se apega (conforme) o no se apega (no conforme) con las especificaciones. En otras palabras, las no conformidades, como partes faltantes, color incorrecto, etc., no son medibles, y no se les puede aplicar una gráfica de control.

Otra limitación es el hecho de que hay muchas variables en una unidad manufacturera. Hasta una planta manufacturera pequeña podría tener hasta 1000 características variables de calidad. Como para cada característica se necesita una gráfica X y R, se necesitarían 1000 gráficas. Es claro que eso sería muy costoso e impráctico. Una gráfica de control para atributos también puede minimizar esa limitación al presentar información general sobre la calidad a una fracción del costo de las anteriores.

Gráficas para atributos: se considerarán las siguientes gráficas. Hay dos grupos diferentes de gráficas de control para atributos. Uno es para unidades no conformes. El otro grupo de gráficas es para no conformidades.

- ✦ Gráfica p
- ✦ Gráfica np
- ✦ Gráfica c
- ✦ Gráfica u

Objetivos de las gráficas de atributos:

1. Determinar el nivel promedio de la calidad.
2. Llamar la atención de la administración cuando hay cambios en el promedio.
3. Mejorar la calidad del producto.
4. Evaluar el desempeño del personal y de la administración respecto a la calidad.
5. Sugerir lugares para usar gráficas X barra y R.
6. Determinar los criterios de aceptación de un producto antes de enviarlo al cliente.

Elaboración de la gráfica de atributos para tamaño constante de subgrupo: los procedimientos generales que se aplican a las gráficas de control para variables, también se aplican a la gráfica de atributos:

1. Seleccionar la o las características de calidad.
2. Determinar el tamaño del subgrupo y el método.
3. Reunir los datos.
4. Calcular la línea central y los límites de control tentativos.
5. Establecer la línea central y los límites de control revisados.
6. Alcanzar el objetivo.

Gráfica p: se usa para datos consistentes en la proporción de cantidad de ocurrencias de un evento entre la cantidad total de ocurrencias. Se usa en control de calidad para presentar la fracción o porcentaje de no conformes en un producto, característica de calidad o grupo de características de calidad. Como tal, la fracción de no conformes es la proporción de la cantidad de no conformes en una muestra o subgrupo, entre la cantidad total en la muestra o subgrupo. En símbolos, la fórmula es:

$$p = \frac{\text{número de unidades defectuosas}}{\text{número de unidades del subgrupo}}$$

En general, la fracción p de no conformes es pequeña, digamos que 0.10 o menos. Excepto en circunstancias extraordinarias, los valores mayores que 0.10 indican que la organización está en serias dificultades, y que se requieren medidas más drásticas que una gráfica de control. Como la fracción de no conformes es muy pequeña, los tamaños de subgrupo deben ser muy grandes para obtener una gráfica que tenga sentido.

Para seleccionar el tamaño de subgrupo se requieren algunas observaciones preliminares para formarse una idea aproximada de la proporción de no conformes y un juicio del número promedio de unidades no conformes con las que se obtendría una gráfica adecuada. Se sugiere un número mínimo de 50 como punto de partida. Un método preciso para determinar el tamaño de muestra consiste en aplicar la fórmula:

$$n = p(1 - p) \left(\frac{Z_{\alpha/2}}{E} \right)^2$$

Donde:

- ✦ n = tamaño de muestra.
- ✦ p = estimación de la proporción de no conformes en la población. Si no se dispone de alguna estimación, suponer el “peor caso” de $p = 0.50$. Por seguridad se debe estimar por exceso.
- ✦ $Z_{\alpha/2}$ = coeficiente de distribución normal (valor Z) para el área entre las dos colas. Esa área representa el equivalente decimal del límite de confianza. Generalmente se utiliza un valor de 1.96 que representa un límite de confianza del 95%.
- ✦ E = error máximo admisible en la estimación de p , también se llama precisión deseada. Suele ser del 10%.

Se sugiere repetir periódicamente el cálculo de n durante el estudio para obtener una mejor estimación de p . Cuando el tamaño de subgrupo n no se mantiene constante a lo largo de las muestras se tienen dos alternativas: la primera es usar el tamaño promedio de subgrupo, en lugar de n . La segunda es construir una gráfica de control con límites variables.

Los límites de control de la gráfica p con tamaño de subgrupo constante, están dados por:

$$LCS = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad LCI = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

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. Al igual que con las gráficas de control de variables, se deben revisar los límites de control, eliminando los datos que salgan de los límites calculándolos nuevamente, utilizando las mismas ecuaciones.

Gráfica np: la gráfica de número de no conformes, o gráfica np , es casi igual que la gráfica p ; sin embargo, no se usan las dos para el mismo objetivo. La gráfica np es más fácil de comprender para el personal de operación, que la gráfica p . También, los resultados de la inspección se anotan directamente en ella, sin hacer más cálculos. Si se permite variar el tamaño de subgrupo, variarán la línea central y los límites de control, lo cual dará como resultado una gráfica casi sin sentido.

Por consiguiente, uno de los límites de una gráfica np es el requisito que el tamaño de subgrupo sea constante. Ese tamaño de muestra debe indicarse en la gráfica para que los que la vean tengan un punto de referencia. Como la gráfica de número de no conformes es matemáticamente equivalente a la gráfica de proporción de no conformes, la línea central y los límites de control cambian en un factor de n. Las fórmulas son:

$$LCS = np + 3\sqrt{np(1-p)} \quad - \quad - \quad LCI = np - 3\sqrt{np(1-p)} \quad -$$

Se sigue el mismo procedimiento para construir la gráfica que en las demás variantes.

Gráfica c: el objetivo de la carta c es analizar la variabilidad del número de defectos por subgrupo, cuando el tamaño de éste se mantiene constante. El otro grupo de gráficas para atributos es el de las gráficas de no conformidades. Mientras que una gráfica p controla la proporción de no conformes en el producto o servicio, la gráfica de no conformidades controla el conteo o la cuenta de no conformidades dentro del producto o servicio. Regularmente, se evalúa la cantidad de no conformidades que posee una unidad.

Como esas gráficas se basan en la distribución de Poisson, deben cumplirse dos condiciones. La primera es que la cuenta promedio de no conformidades debe ser mucho menor que la cuenta total posible de no conformidades. En otras palabras, la oportunidad de que haya no conformidades es grande, mientras que la probabilidad de que haya una no conformidad en cualquier lugar determinado es muy pequeña. La segunda condición especifica que las ocurrencias sean independientes. En otras palabras, que la ocurrencia de una no conformidad no aumente o disminuya la probabilidad de que la siguiente sea una no conformidad. Las fórmulas para calcular los límites de control tentativos son:

$$LCS = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad LCI = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

Donde $\bar{c}$ es la cuenta promedio de no conformidades para varios subgrupos. Note que los límites de control son simétricos, pero la distribución de Poisson no lo es, de manera que se requiere una aproximación razonable de la Poisson por la normal, la cual se comienza a tener cuando la tasa de falla $\bar{c}$ es mayor que 5. Si no se da la aproximación se observarán más falsas alarmas de las esperadas.

Gráfica u: cuando se presentan casos en los que varía el tamaño de subgrupo, entonces la gráfica u (cuenta de no conformidades/unidad) es la gráfica adecuada. La gráfica u es matemáticamente equivalente a la gráfica c. Se elabora en la misma forma que la gráfica c, con la recolección de 25 subgrupos, cálculo de la línea central y los límites de control tentativos, estimación de la cuenta estándar o de referencia de no conformidades por unidad, y el cálculo de los límites revisados. Las fórmulas que se usan en el procedimiento son:

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

Para los límites de control:

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

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

Los límites de control revisados se obtienen sustituyendo $\bar{u}$ por $\bar{u}_{rev}$ en la fórmula de límites de control tentativos. Como varía el tamaño del subgrupo, se calculan los límites de control para cada subgrupo. Otra alternativa es determinar un tamaño promedio de muestra.

La gráfica u es idéntica a la gráfica c, en todos sus aspectos, excepto en dos. Una diferencia es la escala, que es continua para una gráfica u, pero discreta para la gráfica c. Esta diferencia permite tener más flexibilidad en la gráfica u, porque el tamaño del subgrupo puede variar. La otra diferencia es el tamaño del subgrupo, que es 1 para la gráfica c.

HOJA DE TRABAJO No. 4

Caso 1. En una empresa del ramo metalmecánico se fabrican válvulas. Después del proceso de fundición se realiza una inspección y las piezas que no cumplen con ciertas características son rechazadas. Las razones del rechazo son diversas: piezas incompletas, porosas, mal formadas, etc. Para evaluar la variabilidad y la magnitud de la proporción de piezas defectuosas en el proceso de fundición se decide implementar una carta p. El proceso de fundición se hace por lotes. En la tabla se muestran los datos obtenidos durante una semana para cierto tipo de válvulas. Aunque regularmente el tamaño de lote es fijo, $n = 300$, en ocasiones, por diferentes motivos, en algunos lotes se hacen unas cuantas piezas de más o de menos.

Lot e	Tamaño de lote	Unidades defectuosas	Lot e	Tamaño de lote	Unidades defectuosas
1	300	15	11	300	9
2	300	12	12	300	4
3	300	15	13	300	7
4	300	7	14	300	9
5	300	16	15	305	5
6	300	6	16	295	15
7	300	18	17	300	19
8	280	10	18	300	7
9	290	9	19	300	12
10	300	15	20	300	10
			21	300	4

- a) Calcule los límites de control utilizando el tamaño de subgrupo (lote) promedio.
- b) Construya la gráfica correspondiente e interprétela.
- c) ¿El proceso es estable?
- d) ¿Se puede considerar que la calidad del proceso es aceptable? Argumente su respuesta.
- e) Obtenga una gráfica p con límites de control variables. ¿Qué diferencias observa con respecto a la gráfica obtenida en el ejercicio anterior?
- f) Suponga que todos los lotes tienen el mismo tamaño (el promedio), calcule los límites de control para una gráfica np e interprételos. Grafique la correspondiente gráfica np y analícela.
- g) ¿Cuál gráfica p o la np sería la más conveniente en este caso? Argumente.

Caso 2. En un proceso se produce por lotes y éstos se prueban al 100%. Se lleva un registro de la proporción de artículos defectuosos por diferentes causas. Los datos de los últimos 25 lotes se muestran en la tabla.

Lote	Tamaño	Defectuosos	Lote	Tamaño	Defectuosos
1	200	21	14	200	21
2	200	20	15	200	25
3	200	27	16	200	29
4	200	33	17	200	20
5	200	22	18	220	28

6	200	40	19	220	18
7	180	27	20	220	24
8	180	23	21	200	13
9	180	20	22	200	23
10	200	26	23	200	12
11	200	28	24	200	19
12	200	21	25	200	26
13	200	23			

- Obtenga una gráfica p usando el tamaño de subgrupo (lote) promedio.
- ¿Cómo explicaría los límites de control que obtuvo a alguien que no tiene conocimientos profundos de estadística?
- Obtenga una gráfica p con límites de control variables.
- Suponiendo que todos los lotes tienen el mismo tamaño (el promedio), obtenga una gráfica np.
- ¿Observa alguna diferencia importante entre la gráfica p y la np?

Caso 3. En un banco se compilaron los datos de la tabla siguiente, sobre la cuenta de no conformidades para 100,000 transacciones de contabilidad por día, durante diciembre y enero. Suponga que todos los puntos fuera de control tienen causas asignables.

Día	Cuenta de no conformidades	Día	Cuenta de no conformidades
1	8	14	17
2	19	15	14
3	14	16	9
4	18	17	7
5	11	18	15
6	16	19	22
7	8	20	19
8	15	21	38
9	21	22	12
10	8	23	13
11	23	24	5
12	10	25	2
13	9	26	16

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

Caso 4. Determine los límites de control tentativos y los límites de control revisados para una gráfica u, con los datos de la tabla siguiente, de acabado superficial en rollos de papel blanco.

Lote	Muestra	No conformidades totales	Lote	Muestra	No conformidades totales
1	10	45	15	10	48
2	10	51	16	11	35
3	10	36	17	10	39
4	9	48	18	10	29
5	10	42	19	10	37
6	10	5	20	10	33
7	10	33	21	10	15
8	8	27	22	10	33
9	8	31	23	11	27
10	8	22	24	10	23
11	12	25	25	10	25
12	12	35	26	10	41
13	12	32	27	9	37
14	10	43	28	10	28

BIBLIOGRAFÍA

1. Besterfield, D. H. (2009). Control de Calidad 8ED.
2. Besterfield, D. H. (2008). Control de Calidad (8 Har/Cdr ed.). Prentice Ha
3. Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2012). Managing for Quality and Performance Excellence (9 Har/Psc ed.). South-Western Pub.
4. Gutiérrez, H. (2009). Control estadístico de la Calidad y Seis Sigma (Spanish Edition). McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. de C.V.
5. Mayoral, M. A. M., & Socuélamos, J. M. (2022). Lean seis Sigma para la mejora de Procesos. Universidad Miguel Hernández.
6. Pulido, H. G., & De La Vara Salazar, R. (2009). Control estadístico de calidad y seis Sigma.
7. Santos, I. S. L., & De Obesso Arias, M. M. (2020). Gestión de la calidad. ESIC.
8. Organización Internacional de Normalización. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad: Requisitos (ISO 9001:2015)*. Organización Internacional de Normalización.

TABLA 12.4 Tabla de Cameron para diseñar planes de muestreo simple

Valores de R para:					Valores de R para:				
c	$\alpha = .05$ $\beta = .10$	$\alpha = .05$ $\beta = .05$	$\alpha = .05$ $\beta = .01$	np_1	c	$\alpha = .01$ $\beta = .10$	$\alpha = .01$ $\beta = .05$	$\alpha = .01$ $\beta = .01$	np_1
0	44.89	58.80	89.78	0.05	0	229.1	298.1	458.2	0.01
1	10.95	13.35	18.68	0.35	1	26.18	31.93	44.68	0.14
2	6.51	7.70	10.28	0.82	2	12.20	14.43	19.27	0.43
3	4.89	5.67	7.35	1.36	3	8.11	9.41	12.20	0.82
4	4.06	4.65	5.89	1.97	4	6.24	7.15	9.07	1.27
5	3.55	4.02	5.01	2.61	5	5.19	5.88	7.34	1.78
6	3.21	3.60	4.43	3.28	6	4.52	5.08	6.25	2.33
7	2.96	3.30	4.01	3.98	7	4.05	4.52	5.50	2.90
8	2.77	3.07	3.70	4.69	8	3.70	4.11	4.96	3.50
9	2.62	2.89	3.46	5.42	9	3.44	3.80	4.54	4.13
10	2.50	2.75	3.26	6.16	10	3.22	3.55	4.22	4.77
11	2.40	2.63	3.10	6.92	11	3.05	3.35	3.95	5.42
12	2.31	2.53	2.96	7.69	12	2.91	3.18	3.74	6.09
13	2.24	2.44	2.85	8.46	13	2.79	3.04	3.55	6.78
14	2.17	2.37	2.75	9.24	14	2.69	2.92	3.40	7.47
15	2.12	2.30	2.66	10.03	15	2.60	2.82	3.26	8.18
16	2.07	2.24	2.58	10.83	16	2.52	2.73	3.15	8.89
17	2.03	2.19	2.52	11.63	17	2.45	2.65	3.04	9.61
18	1.99	2.14	2.45	12.44	18	2.39	2.58	2.95	10.34
19	1.95	2.10	2.40	12.25	19	2.33	2.51	2.87	11.08
20	1.92	2.06	2.35	14.07	20	2.28	2.45	2.79	11.82
21	1.89	2.03	2.30	14.89	21	2.24	2.40	2.73	12.57
22	1.86	2.00	2.26	15.71	22	2.20	2.35	2.67	13.32
23	1.84	1.97	2.22	16.54	23	2.16	2.31	2.61	14.08
24	1.82	1.94	2.19	17.38	24	2.12	2.27	2.56	14.85
25	1.79	1.92	2.15	18.21	25	2.09	2.23	2.51	15.62

TABLA 12.5 Tabla Cameron para determinar la curva CO

<i>c</i>	<i>Pa</i> = .995	<i>Pa</i> = .975	<i>Pa</i> = .950	<i>Pa</i> = .900	<i>Pa</i> = .750	<i>Pa</i> = .500	<i>Pa</i> = .250	<i>Pa</i> = .100	<i>Pa</i> = 0.050	<i>Pa</i> = 0.025	<i>Pa</i> = .010	<i>Pa</i> = .005
0	.005	.025	.051	.105	.288	.693	1.38	2.30	2.99	3.68	4.60	5.29
1	.103	.242	.355	.532	.961	1.67	2.69	3.89	4.74	3.57	6.63	7.43
2	.338	.619	.818	1.10	1.72	2.67	3.92	5.32	6.29	7.22	8.40	9.27
3	.672	1.09	1.36	1.74	2.53	3.67	5.10	6.68	7.75	8.76	10.0	10.9
4	1.07	1.62	1.97	2.43	3.36	4.67	6.27	7.99	9.15	10.2	11.6	12.5
5	1.53	2.20	2.61	3.15	4.21	5.67	7.42	9.27	10.5	11.6	13.1	14.1
6	2.03	2.81	3.28	3.89	5.08	6.67	8.55	10.5	11.8	13.0	14.5	15.6
7	2.57	3.45	3.98	4.65	5.95	7.66	9.68	11.7	13.1	14.4	16.0	17.1
8	3.13	4.11	4.69	5.43	6.83	8.67	10.8	12.9	14.4	15.7	17.8	18.5
9	3.71	4.79	5.42	6.22	7.62	9.66	11.9	14.2	15.7	17.0	18.7	19.9
10	4.32	5.49	6.16	7.02	8.62	10.67	13.0	15.4	16.9	18.3	20.1	21.3
11	4.94	6.20	6.92	7.82	9.51	11.67	14.1	16.5	18.2	19.6	21.4	22.7
12	5.95	6.92	7.69	8.64	10.42	12.67	15.2	17.7	19.4	20.9	22.8	24.1
13	6.23	7.65	8.46	9.47	11.32	13.67	16.3	18.9	20.6	22.2	24.1	25.4
14	6.89	8.39	9.24	10.30	12.23	14.67	17.4	20.1	21.8	23.4	25.4	26.8
15	7.56	9.14	10.03	11.13	13.15	15.67	18.4	21.2	23.0	24.7	26.7	28.2
16	8.24	9.90	10.83	11.97	14.06	16.67	19.5	22.4	24.3	25.9	28.0	29.5
17	8.24	10.76	11.63	12.82	14.98	17.67	20.6	23.6	25.5	27.2	29.3	30.8
18	9.94	11.43	12.44	13.67	15.90	18.67	21.7	24.7	26.6	28.4	30.5	32.1
19	10.35	12.21	13.25	14.52	16.83	19.67	22.8	25.9	27.8	29.6	31.8	33.4
20	11.06	12.99	14.07	15.38	17.75	20.67	23.8	27.0	29.6	30.8	33.1	34.7
21	11.79	13.78	14.89	16.24	18.68	21.67	24.9	28.1	30.2	32.1	34.3	35.9
22	12.52	14.58	15.71	17.10	19.61	22.67	26.0	29.3	31.4	32.3	35.6	37.2
23	13.25	15.37	16.54	17.97	20.54	23.67	27.0	30.04	32.5	34.5	36.8	38.5
24	13.99	16.17	17.38	18.84	21.47	24.67	28.1	31.5	33.7	35.7	38.0	39.7
25	14.74	16.98	18.21	19.71	22.40	25.67	29.2	32.7	34.9	36.9	39.3	41.0

TABLE I – Sample Size code letters									
(See 4.9.1 and 4.9.2)									
Lot or batch size			Special inspection levels				General inspection levels		
			S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2	To	8	A	A	A	A	A	A	B
9	To	15	A	A	A	A	A	B	C
16	To	25	A	A	B	B	B	C	D
26	To	50	A	B	B	C	C	D	E
51	To	90	B	B	C	D	D	F	G
91	To	150	B	B	C	D	D	F	G
151	To	280	B	C	D	E	E	G	H
281	To	500	B	C	D	E	F	H	J
501	To	1200	C	C	E	F	G	J	H
1201	To	3200	C	D	E	G	H	K	L
3201	To	10000	C	D	F	G	J	L	M
10001	To	35000	C	D	F	H	K	M	N
35001	To	150000	D	E	G	J	L	N	P
150001	To	500000	D	E	G	J	M	P	Q
500000	And	Over	D	E	H	K	N	Q	R
CODE LETTERS									

Niveles de inspección según el tamaño del lote

See 4.9.3. and 4.9.4)

[illegible]

AC	=	Acceptance Number
Re	=	Rejection number

[illegible]

TABLE II-B – Single sampling plans for tightened inspection (Master table)
(See 4.9.3. and 4.9.4)

Sample size Code Letters	Sample size	Acceptable Quality Levels (Normal Inspection)																Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	100	150	250	400	650	1000						
A	2	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
B	3	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
C	5	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
D	8	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
E	13	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
F	20	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
G	32	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
H	50	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
J	80	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
K	125	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
L	200	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
M	315	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
N	500	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
P	800	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
Q	1250	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
R	2000	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
S	3150	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re

↑ = Use first sampling plan below arrow. If sample size equals or exceeds lot or batch size, do 100 percent inspections

Ac = Acceptance number

Re = Rejection number

**SINGLE
TIGHTENED**

TABLA B Factores para calcular líneas centrales y límites de control 3σ para gráficas de $\bar{X}$, s y R

TABLA DE PROMEDIOS				TABLA DE DESVIACIONES ESTÁNDAR						TABLA DE RANGOS						
OBSERVACIONES EN LA MUESTRA, n	FACTORES PARA LÍMITES DE CONTROL			FACTOR PARA LÍNEA CENTRAL		FACTORES PARA LÍMITES DE CONTROL				FACTOR PARA LÍNEA CENTRAL		FACTORES PARA LÍMITES DE CONTROL				
	A	A_2	A_3	C_4		B_3	B_4	B_5	B_6	d_2		d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	0	3.267	0	2.606		1.128		0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	0	2.568	0	2.276		1.693		0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	0	2.266	0	2.088		2.059		0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	0	2.089	0	1.964		2.326		0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	0.030	1.970	0.029	1.874		2.534		0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	0.118	1.882	0.113	1.806		2.704		0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	0.185	1.815	0.179	1.751		2.847		0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	0.239	1.761	0.232	1.707		2.970		0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	0.284	1.716	0.276	1.669		3.078		0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	0.321	1.679	0.313	1.637		3.173		0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	0.354	1.646	0.346	1.610		3.258		0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	0.382	1.618	0.374	1.585		3.336		0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	0.406	1.594	0.399	1.563		3.407		0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	0.428	1.572	0.421	1.544		3.472		0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	0.448	1.552	0.440	1.526		3.532		0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	0.466	1.534	0.458	1.511		3.588		0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	0.482	1.518	0.475	1.496		3.640		0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	0.497	1.503	0.490	1.483		3.689		0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	0.510	1.490	0.504	1.470		3.735		0.729	1.549	5.921	0.415	1.585

Copyright ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA, 19428.