

MANUAL DE LABORATORIO DE PROCESOS DE CALIDAD



Segundo Semestre 2024

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	HORARIO	ACTIVIDAD
Lunes	08:00-12:00	Práctica 1: Muestreo de aceptación por medio de tablas
Martes	08:00-12:00	Práctica 2: Gráficas de control para variables y atributos
Miércoles	08:00-12:00	Práctica 3: Mapeo de la cadena de valor
Jueves	08:00-12:00	Práctica 4: Capacidad de proceso y métricas de Seis-Sigma
La evaluación será virtual, según programación		

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.

No.	Reactivos y Material
1	Hojas en blanco Lapiceros Computadora Regla
2	Hojas en blanco Lapiceros Computadora
3	Hojas en blanco Lapiceros Computadora Instalar diagrams.net
4	Hojas en blanco Lapiceros Computadora

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 **28 de octubre 2024 a las 8:00 al 1 de noviembre 2024 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. Encabezado..... | 0 puntos |
| b. Resumen de la teoría | 20 puntos |
| c. Objetivos | 20 puntos |
| d. Desarrollo del contenido | 40 puntos |
| e. Conclusiones | 20 puntos |
| f. Total | 100 puntos |

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

- a. **RESUMEN DE LA TEORÍA:** Redactar un resumen, no mayor a una página, de los conceptos clave vistos en clase.

- b. **OBJETIVOS:** Son las metas que se desean alcanzar en la práctica. Se inician generalmente con un verbo, que guíara a la meta que se desea alcanzar, los verbos finalizan en AR, ER o IR, ejemplo: conocer, determinar, etc.
- c. **DESARROLLO DE CONTENIDO:** Esta sección corresponde al contenido del informe, aquello que se ha encargado realizar según las condiciones del laboratorio.
- d. **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.

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

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 provee-or. 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.

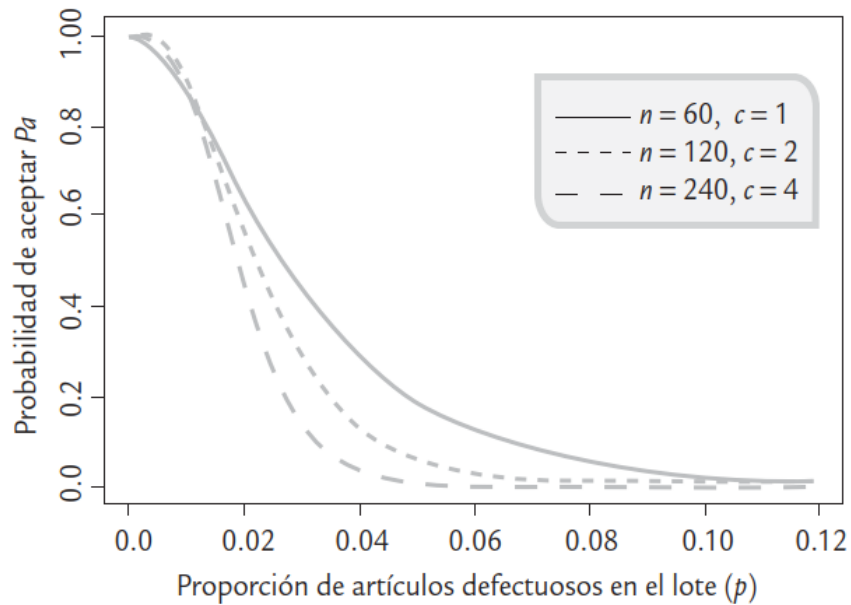
Lotes no aceptados: una vez que un lote no ha sido aceptado, hay varias acciones alternativas que pueden tomarse.

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.

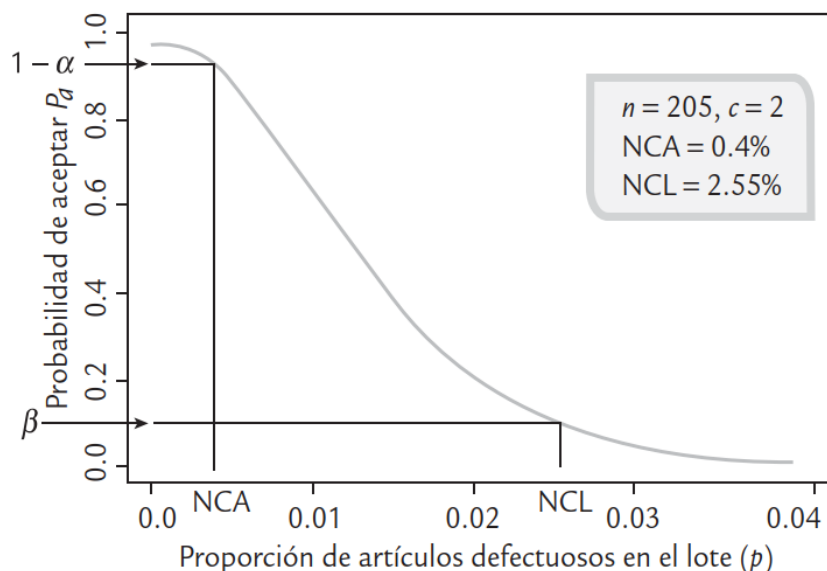
Curvas CO tipo A y tipo B: para obtener todas las curvas CO se ha supuesto que las muestras se extraen de un lote grande o que el lote proviene de un flujo continuo de productos. A este tipo de curvas CO se les conoce como curvas CO tipo B, y la distribución apropiada para calcular las probabilidades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

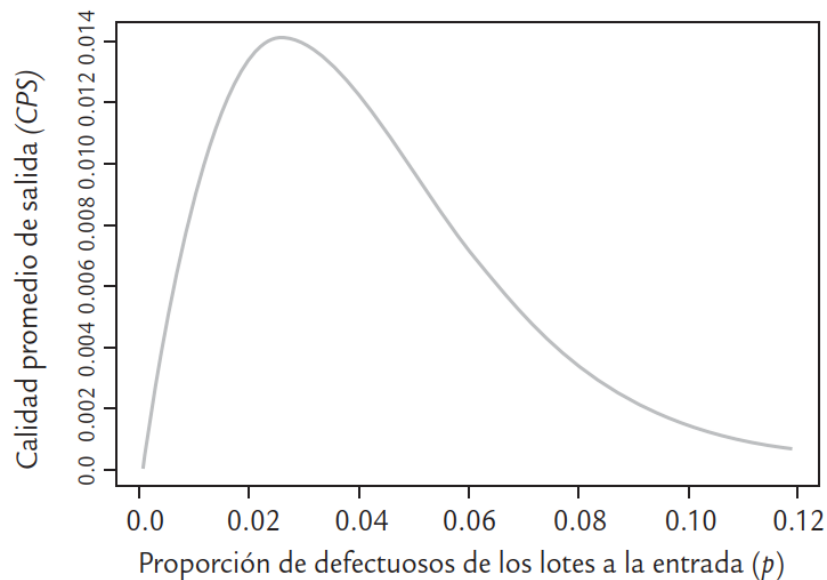
Nivel de calidad aceptable, NCA o AQL (Acceptancing Quality Level): se define como el porcentaje máximo de unidades que no cumplen con la calidad especificada, que para propósitos de inspección por muestreo se considera como satisfactorio o aceptable como un promedio para el proceso (al NCA también se 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 $p_1 = \text{NCA}/100$ y $p_2 = \text{NCL}/100$.
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. $\text{NCA} = 0.4\%$, $\alpha = 0.05$, $\text{NCL} = 2.5\%$ 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 $Ac = 0$, $Re = 1$, 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 Ac pero es menor que Re .
- 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 1

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 $\beta = 0.10$.

- Con base en lo anterior, bosqueje la curva CO que se requiere para el plan de muestreo.
- Por medio de las tablas de Cameron encuentre el plan que regulará este muestreo y explique su funcionamiento.
- Obtenga una forma más o menos exacta de la curva CO para el correspondiente plan, apoyándose en tablas o con ayuda de Excel.
- ¿El plan encontrado no acepta lotes con 2% de artículos defectuosos?
- 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.

- 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.
- Obtenga la curva CO para el plan.
- Si el lote tiene un nivel de calidad igual al promedio del proceso, ¿cuál es la probabilidad de aceptarlo?
- ¿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:

- 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.
- De acuerdo con lo anterior, ¿este plan garantiza que no se acepten lotes con un porcentaje de defectuosos mayor a 1.5%? Explique.
- 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:

- Construya las curvas CO para cada plan.
- ¿Cuál es la protección que cada plan proporciona al nivel de calidad aceptable que es de 1.0%? Comente los resultados obtenidos.

PRÁCTICA NO. 2

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.

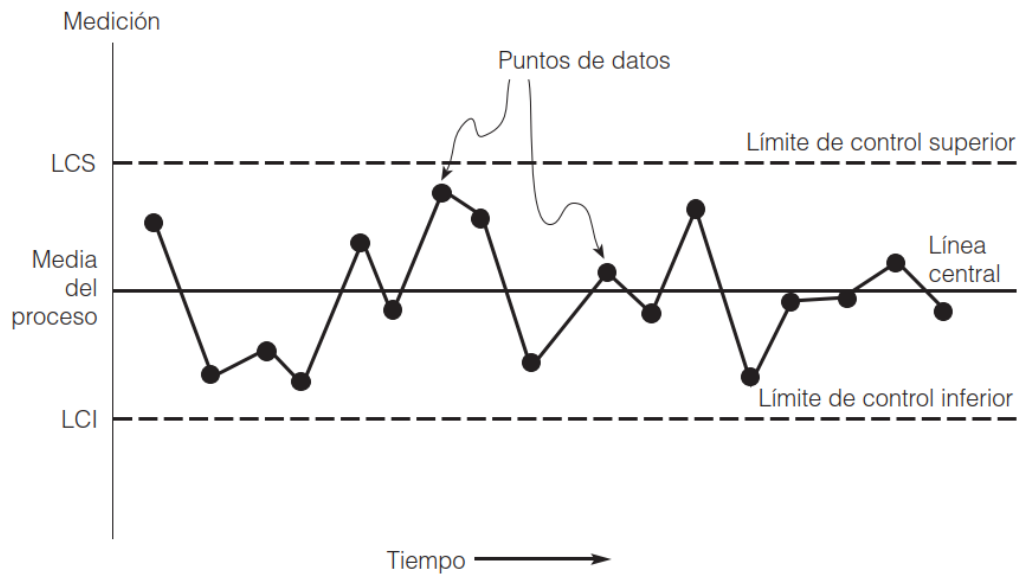
Una tercera causa es el **ambiente**. La temperatura, iluminación, radiación, descarga electrostática, tamaño de partícula, presión y humedad pueden contribuir a las variaciones en el producto. Para controlar esta causa, algunas veces los productos se fabrican en “cuartos blancos”. Los experimentos que 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 \bar{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 = Promedio de los datos + 3 * desviación estándar poblacional de los datos

LCI = Promedio de los datos – 3 * 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:

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

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

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

Para la gráfica R:

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

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

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 \bar{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:

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

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

$\bar{\bar{X}}$ 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:

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

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

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:

$$\sigma_0 = \frac{\bar{s}_{rev}}{c_4}$$

Para la gráfica X barra:

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

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

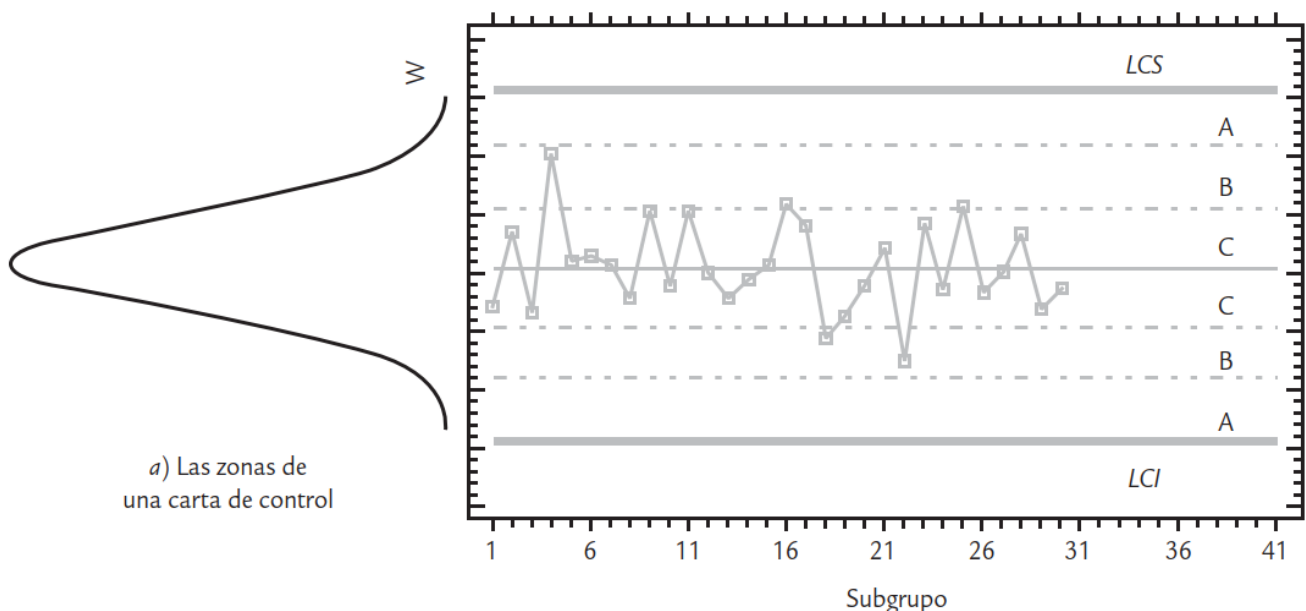
Para la gráfica S:

$$LCS = B_6\sigma_0$$

$$LCI = B_5\sigma_0$$

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:

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

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

Para la gráfica R:

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

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.

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:

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

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:

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

$$LCI = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$$

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 específica 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:

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

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

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:

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

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

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 2

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		

Caso 5. En una empresa del ramo metalmeccánico 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.

Lote	Tamaño de lote	Unidades defectuosas	Lote	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

- Calcule los límites de control utilizando el tamaño de subgrupo (lote) promedio.
- Construya la gráfica correspondiente e interprétela.
- ¿El proceso es estable?
- ¿Se puede considerar que la calidad del proceso es aceptable? Argumente su respuesta.
- Obtenga una gráfica p con límites de control variables. ¿Qué diferencias observa con respecto a la gráfica obtenida en el ejercicio anterior?
- 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.
- ¿Cuál gráfica p o la np sería la más conveniente en este caso? Argumente.

Caso 6. 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 7. 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 8. 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

PRÁCTICA NO. 3

MAPEO DE LA CADENA DE VALOR

1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Conocer los fundamentos para el mapeo de la cadena de valor.
- 1.2. Construir un diagrama para representar la cadena de valor de una empresa.

2. Marco Teórico:

Mapeo de la cadena de valor: el Value Stream Mapping (VSM), o Mapeo de la Cadena de Valor, es una herramienta fundamental en la metodología *Lean* que se utiliza para analizar y diseñar el flujo de materiales y la información necesaria para llevar un producto o servicio desde su inicio hasta el cliente final. Este enfoque permite visualizar todos los pasos involucrados en un proceso y destacar tanto las actividades que añaden valor como las que no.

Objetivos del Value Stream Mapping:

- Visualizar el flujo de trabajo completo: desde el suministro de materias primas hasta la entrega del producto o servicio final al cliente.
- Identificar y eliminar desperdicios: al resaltar actividades que no añaden valor.
- Mejorar la eficiencia y efectividad: optimizando el flujo de trabajo para reducir tiempos y costos.
- Comunicación y colaboración: facilitando el entendimiento compartido del proceso entre todos los miembros del equipo y partes interesadas.

Metodología para realizar el VSM: Construir un mapeo de la cadena de valor es un proceso detallado y metódico que involucra varias etapas clave para capturar y analizar el flujo de materiales e información en una organización. El objetivo es visualizar el proceso completo, identificar desperdicios y diseñar un flujo de trabajo más eficiente. Aquí se describe cómo se realiza paso a paso.

Primero, se debe seleccionar la familia de productos o servicios que se va a mapear. Esto implica escoger aquellos productos o servicios que comparten un flujo de valor similar y representan una parte significativa del negocio. Es fundamental involucrar a un equipo multidisciplinario que incluya personas de diferentes áreas de la organización para tener una visión completa del proceso.

Con el equipo listo, se define el alcance del mapa. Es crucial decidir desde dónde hasta dónde se va a mapear el proceso, lo que puede abarcar desde los proveedores hasta los clientes finales. Esto ayuda a delimitar el trabajo y a enfocarse en la cadena de valor relevante.

El siguiente paso es la recopilación de información. Aquí, se observa y documenta el flujo actual de materiales e información. Esto puede incluir la recolección de datos sobre tiempos de ciclo, tiempos de espera, niveles de inventario, frecuencia de entrega, entre otros. La observación directa en el lugar donde ocurre el trabajo es esencial para obtener datos precisos y actualizados.

Una vez recopilada la información, se procede a dibujar el mapa del estado actual. Este mapa es una representación visual del proceso tal como está actualmente. Se utilizan símbolos estandarizados para

representar diferentes elementos del flujo de valor. Por ejemplo, los rectángulos se usan para los procesos, los triángulos para los inventarios y las flechas para los flujos de materiales e información. Este mapa permite ver cómo fluyen los materiales y la información a lo largo del proceso, así como identificar dónde se encuentran los inventarios y los tiempos de espera.

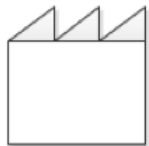
Con el mapa del estado actual en mano, se realiza un análisis exhaustivo para identificar desperdicios y oportunidades de mejora. Los desperdicios pueden incluir actividades que no añaden valor, como exceso de producción, esperas, transportes innecesarios, procesos innecesarios, inventarios, movimientos y defectos. Este análisis es crucial para entender dónde se puede mejorar el proceso.

Después del análisis, se diseña el mapa del estado futuro. Este mapa es una representación del flujo de valor ideal, donde se han minimizado los desperdicios y mejorado la eficiencia. Se visualiza cómo debería fluir el proceso una vez implementadas las mejoras. El diseño del estado futuro debe ser realista y alcanzable, teniendo en cuenta las limitaciones y capacidades actuales de la organización.

Finalmente, se desarrolla un plan de implementación. Este plan detalla las acciones específicas necesarias para transformar el estado actual en el estado futuro. Incluye la asignación de responsabilidades, la definición de plazos y la medición del progreso. Es fundamental que el plan sea claro y que todos los involucrados entiendan sus roles y responsabilidades en el proceso de mejora.

La construcción de un mapeo de la cadena de valor es un esfuerzo colaborativo que requiere tiempo, precisión y un enfoque sistemático. Es una herramienta poderosa que permite a las organizaciones visualizar su flujo de trabajo, identificar y eliminar desperdicios, y mejorar la eficiencia y efectividad de sus procesos. Al seguir estos pasos detalladamente, las organizaciones pueden transformar sus operaciones y aumentar su competitividad en el mercado.

Símbolos del VSM: a continuación se presentan los símbolos utilizados en el mapeo de la cadena de valor.



Fuentes externas: Este símbolo representa clientes y proveedores.



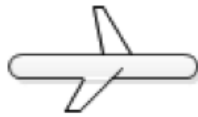
Flecha de traslado: Este símbolo representa el traslado de materias primas y producto terminado. De proveedor a planta o de planta a cliente.



Transporte mediante camión de carga.



Transporte mediante tren.



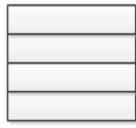
Transporte mediante avión.



Operación del proceso.



Información: Pronóstico, plan de producción, programación.



Casillero de datos con indicadores del proceso.



Flecha de empuje para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo este se lleva a cabo mediante un sistema push.



Flecha de arrastre para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo este se lleva a cabo mediante un sistema pull.



Flecha para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo este se lleva a cabo mediante una secuencia: «primeras entradas, primeras salidas»



Inventario: De materia prima, producto en proceso, producto terminado.



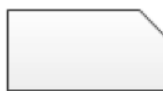
Información transmitida de forma manual.



Información transmitida de forma electrónica.



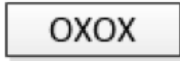
Relámpago Kaizen: Este símbolo representa los puntos dónde deben realizarse eventos de mejora enfocados en implementar la herramienta de Lean Manufacturing expresada.



Kanban de producción.



Kanban de transporte.

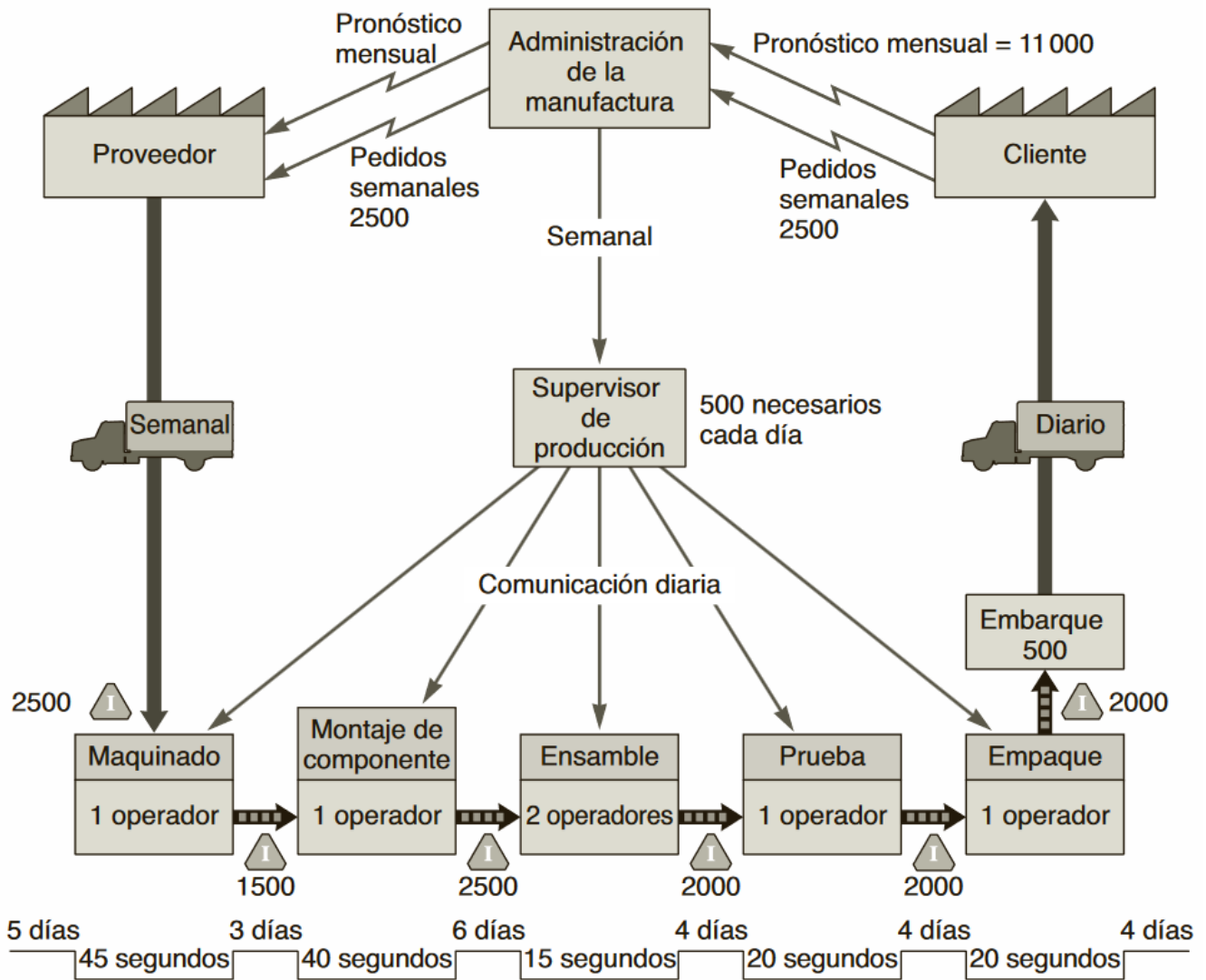


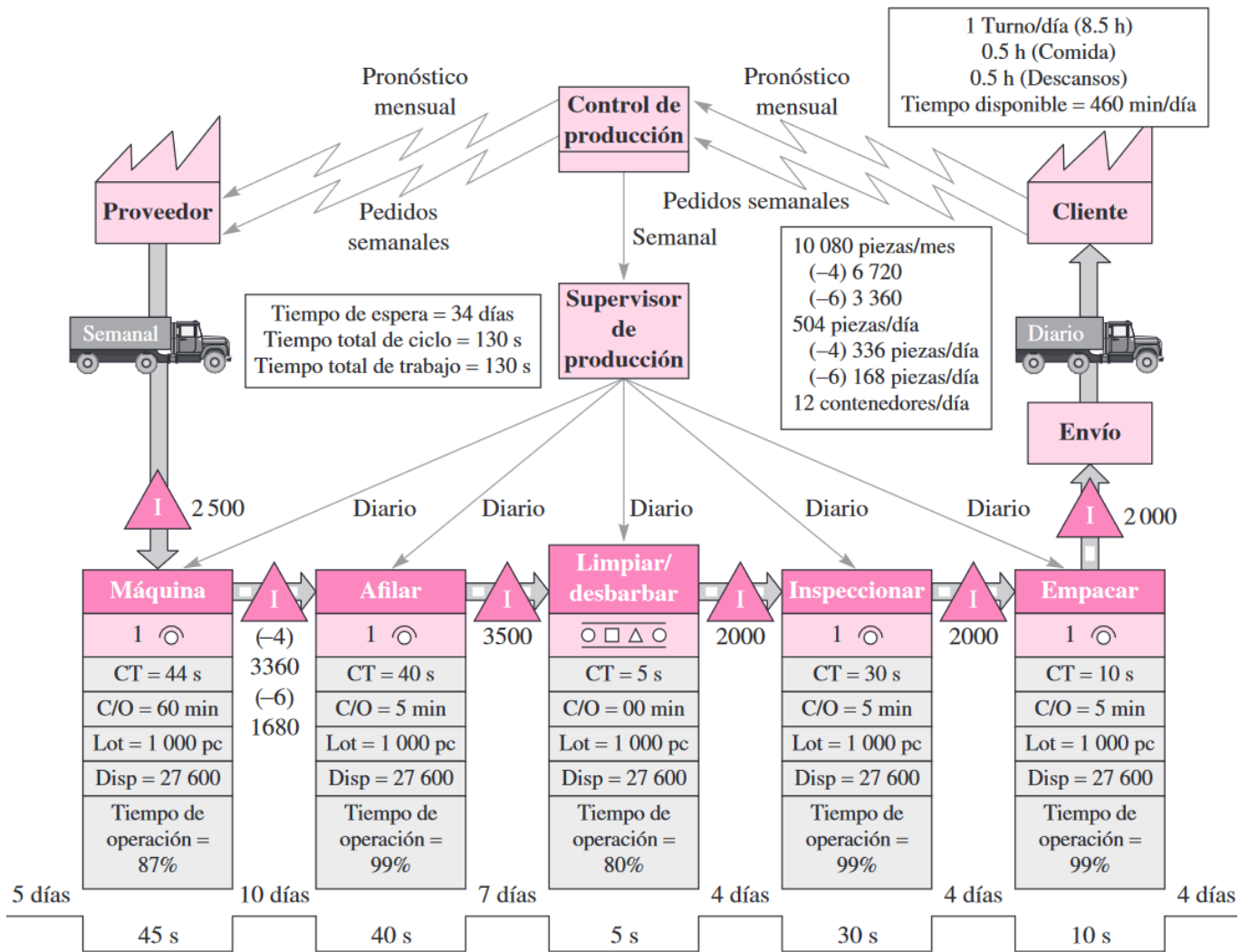
Nivelación de la carga: Herramienta que se emplea para interceptar lotes de Kanbans y nivelar el volumen de la producción.



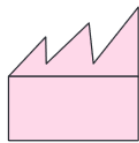
Línea de tiempo: Muestra los tiempos de ciclo de las actividades que agregan valor, y los tiempos de las actividades que no agregan valor.

Ejemplo de un mapa de cadena de valor:

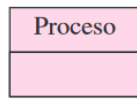




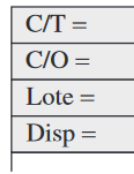
Símbolos de proceso



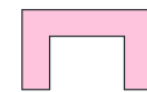
Cliente/proveedor



Proceso



Caja de datos



Celda de trabajo

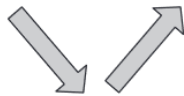


Operador

Símbolos de material



Inventario



Envíos



Punto de almacenaje kanban



Retiro de material

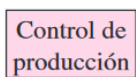


Existencia de seguridad



Envío externo

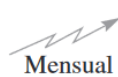
Símbolos de información



Punto central de control

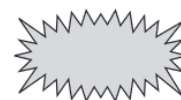


Info manual

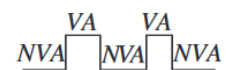


Info electrónica

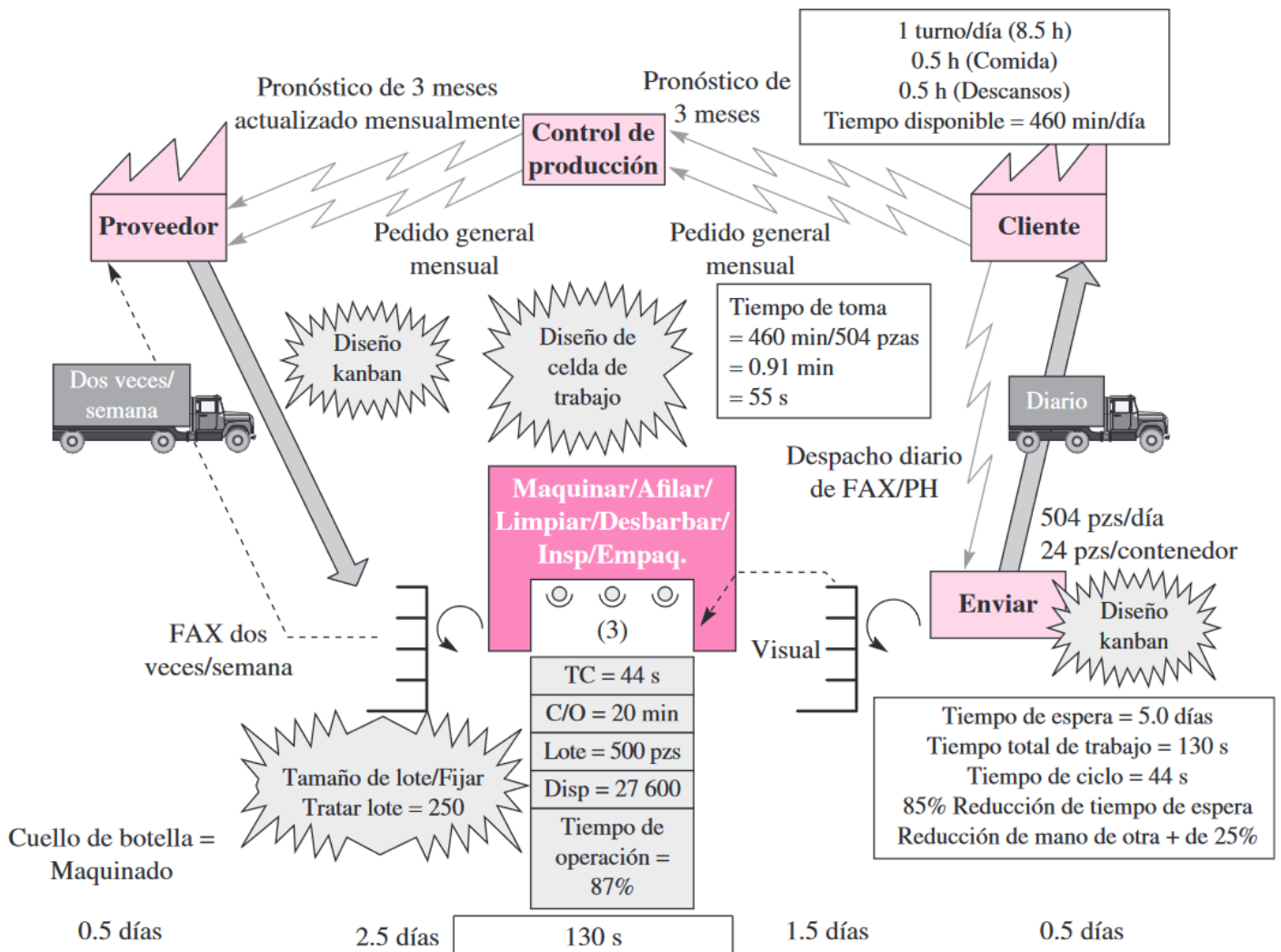
Símbolos generales



Explosión kaizen



Tiempo de valor agregado, sin valor agregado



atención al cliente y de prestación de servicios. Ejemplo: Atención Médica: En un hospital, el VSM puede mapear el flujo de pacientes desde la admisión hasta el alta. Al identificar desperdicios como tiempos de espera excesivos, redundancias en el procesamiento de información y movimientos innecesarios de los pacientes, los administradores pueden diseñar un flujo de trabajo más eficiente que reduzca el tiempo de espera de los pacientes y mejore la calidad del servicio.

Industria de la Logística: En la industria de la logística, el VSM se utiliza para optimizar el flujo de materiales y productos desde el proveedor hasta el cliente final. Esto incluye la gestión de inventarios, el transporte y la distribución. Ejemplo: Cadena de Suministro: En una cadena de suministro, el VSM puede ayudar a identificar puntos de ineficiencia en el transporte y almacenamiento de bienes. Al mapear el flujo de productos desde el proveedor hasta el minorista, las empresas pueden identificar áreas donde se pueden reducir los tiempos de entrega, minimizar los niveles de inventario y mejorar la coordinación entre los diferentes actores de la cadena de suministro.

Industria de la Tecnología de la Información: En la industria de la tecnología de la información, el VSM se utiliza para mapear el desarrollo de software y la entrega de servicios de TI. Esto incluye la planificación, el desarrollo, la prueba y la implementación de software. Ejemplo: Desarrollo de Software: En un equipo de desarrollo de software, el VSM puede ayudar a identificar desperdicios en el proceso de desarrollo, como retrasos en la aprobación de requisitos, ineficiencias en la codificación y pruebas y tiempos de espera para la implementación. Al optimizar estos procesos, los equipos pueden reducir el tiempo de desarrollo, mejorar la calidad del software y entregar productos más rápidamente.

Industria Alimentaria: En la industria alimentaria, el VSM se utiliza para optimizar el flujo de productos desde la producción hasta la entrega al cliente final. Esto incluye la gestión de materias primas, la producción, el empaquetado y la distribución. Ejemplo: Producción de Alimentos Procesados: En una planta de producción de alimentos procesados, el VSM puede mapear el flujo de materias primas desde el proveedor hasta el producto terminado. Al identificar desperdicios como tiempos de espera en el procesamiento, excesos de inventario de materias primas y productos terminados, y defectos en el empaquetado, las empresas pueden mejorar la eficiencia de producción, reducir costos y garantizar la calidad y frescura de los productos.

Educación: En el sector educativo, el VSM puede ser utilizado para mapear y mejorar procesos administrativos y académicos, como la inscripción de estudiantes, la planificación de cursos y la entrega de materiales educativos. Ejemplo: Universidad: En una universidad, el VSM puede mapear el proceso de inscripción de estudiantes desde la solicitud hasta la matrícula. Al identificar desperdicios como tiempos de espera en la aprobación de solicitudes, redundancias en la verificación de documentos y ineficiencias en la asignación de cursos, los administradores pueden diseñar un proceso más eficiente que mejore la experiencia de los estudiantes y reduzca el tiempo necesario para completar la inscripción.

Beneficios Generales del VSM en la Industria:

- **Identificación de Desperdicios:** Ayuda a identificar actividades que no añaden valor, permitiendo a las organizaciones eliminar o reducir desperdicios.
- **Mejora de la Eficiencia:** Optimiza el flujo de trabajo, reduciendo tiempos de ciclo y mejorando la productividad.
- **Reducción de Costos:** Al eliminar desperdicios y mejorar la eficiencia, las organizaciones pueden reducir costos operativos.

- **Mejora de la Calidad:** Permite identificar y corregir defectos en el proceso, mejorando la calidad del producto o servicio final.
- **Aumento de la Satisfacción del Cliente:** Un flujo de trabajo más eficiente y de mayor calidad resulta en una mejor experiencia para el cliente.

El mapeo de la cadena de valor es una herramienta esencial en diversas industrias para analizar y mejorar procesos. Su capacidad para visualizar el flujo de trabajo, identificar desperdicios y diseñar un flujo más eficiente permite a las organizaciones mejorar la eficiencia, reducir costos, aumentar la calidad y mejorar la satisfacción del cliente.

HOJA DE TRABAJO 4

A continuación, se presenta la información de varias empresas, con estos datos realice lo siguiente:

- Dibujar del mapa del estado actual
- Análisis del mapa del estado actual: Identifica las áreas donde hay inventarios elevados, tiempos de espera, o cualquier otro tipo de desperdicio.
- Se deben proponer mejoras para reducir o eliminar desperdicios identificados.
- Dibujar un nuevo mapa que represente estos cambios y muestre un flujo de producción más eficiente.

Caso 1. La empresa manufacturera Metalmecánica Global produce varios componentes para la industria aeroespacial. En este ejercicio, nos centraremos en una familia específica de productos: un sub-ensamble de soporte estructural de aluminio en dos variantes: tipo A y tipo B. Estos componentes son enviados al cliente final para el ensamblaje de aviones.

Procesos de Producción

Para esta familia de productos, la fabricación implica una serie de procesos: corte, mecanizado, inspección, ensamblaje y empaquetado. Los componentes son luego almacenados y enviados a la planta de ensamblaje de aviones en una base diaria. El flujo de trabajo sigue el orden siguiente, y cada pieza pasa por todos los procesos:

1. Corte:

- Máquina de corte láser automatizada.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 2 segundos (30 piezas por minuto).
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): 30 minutos.
- Tiempo de ocupación: 90%.
- Inventario observado:
 - 3000 piezas de tipo A cortadas.
 - 1500 piezas de tipo B cortadas.

2. Mecanizado:

- Máquina de fresado CNC.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 45 segundos.
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): 15 minutos.
- Tiempo de ocupación: 95%.
- Inventario observado:
 - 1200 piezas de tipo A mecanizadas.
 - 700 piezas de tipo B mecanizadas.

3. Inspección:

- Inspección manual con dos operarios.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 30 segundos.
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): 5 minutos.

- Tiempo de ocupación: 85%.
- Inventario observado:
 - 1000 piezas de tipo A inspeccionadas.
 - 600 piezas de tipo B inspeccionadas.

4. Ensamblaje:

- Proceso manual con tres operarios.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 55 segundos.
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): Ninguno.
- Tiempo de ocupación: 100%.
- Inventario observado:
 - 800 piezas de tipo A ensambladas.
 - 400 piezas de tipo B ensambladas.

5. Empaquetado:

- Proceso manual con dos operarios.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 25 segundos.
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): Ninguno.
- Tiempo de ocupación: 90%.
- Inventario de productos terminados observado:
 - 700 piezas de tipo A empaquetadas.
 - 350 piezas de tipo B empaquetadas.

Departamento de Despachos: El departamento de despachos retira los productos terminados, los almacena y los prepara para el envío diario al cliente.

Requerimientos del Cliente:

- 16000 piezas por mes.
- 10000 piezas de tipo A por mes.
- 6000 piezas de tipo B por mes.
- Un envío diario a la planta de ensamblaje por camión.
- Empaques con 25 soportes por caja y hasta 8 cajas por paleta.

Tiempo de Trabajo:

- 22 días laborales por mes.
- 2 turnos de operación en todos los departamentos de producción.
- 8 horas por turno, con horas extras si es necesario.
- 2 descansos de 15 minutos por turno.

Caso 2. La empresa de alimentos Delicias Gourmet produce varios tipos de galletas artesanales. En este ejercicio, nos centraremos en una familia específica de productos: galletas de chocolate en dos variedades: clásica y con nueces. Estos productos son enviados al cliente final para su distribución en tiendas.

Procesos de Producción

Para esta familia de productos, la fabricación implica una serie de procesos: mezcla de ingredientes, horneado, enfriado, empaquetado y almacenamiento. Los productos son luego almacenados y enviados a los distribuidores en una base diaria. El flujo de trabajo sigue el orden siguiente, y cada pieza pasa por todos los procesos:

1. Mezcla de Ingredientes:

- Mezcladora industrial automática.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 5 minutos por lote (20 kg de masa).
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): 15 minutos.
- Tiempo de ocupación: 95%.
- Inventario observado:
 - 500 kg de masa para galletas clásicas.
 - 300 kg de masa para galletas con nueces.

2. Horneado:

- Horno de cinta transportadora.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 10 minutos por lote (20 kg de galletas).
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): 30 minutos.
- Tiempo de ocupación: 90%.
- Inventario observado:
 - 200 kg de galletas clásicas horneadas.
 - 150 kg de galletas con nueces horneadas.

3. Enfriado:

- Enfriador de aire forzado.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 15 minutos por lote (20 kg de galletas).
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): Ninguno.
- Tiempo de ocupación: 85%.
- Inventario observado:
 - 150 kg de galletas clásicas enfriadas.
 - 120 kg de galletas con nueces enfriadas.

4. Empaquetado:

- Línea de empaquetado manual con cuatro operarios.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 20 minutos por lote (20 kg de galletas).
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): Ninguno.
- Tiempo de ocupación: 95%.
- Inventario observado:
 - 100 kg de galletas clásicas empaquetadas.
 - 80 kg de galletas con nueces empaquetadas.

5. Almacenamiento:

- Almacén climatizado.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 5 minutos por lote (20 kg de galletas).
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): Ninguno.
- Tiempo de ocupación: 100%.
- Inventario de productos terminados observado:

- 90 kg de galletas clásicas almacenadas.
- 70 kg de galletas con nueces almacenadas.

Departamento de Despachos: El departamento de despachos retira los productos terminados, los almacena y los prepara para el envío diario a los distribuidores.

Requerimientos del Cliente:

- 22000 kg de galletas por mes.
- 14000 kg de galletas clásicas por mes.
- 8000 kg de galletas con nueces por mes.
- Un envío diario a los distribuidores.
- Empaques con 1 kg de galletas por caja y hasta 20 cajas por paleta.

Tiempo de Trabajo:

- 20 días laborales por mes.
- 2 turnos de operación en todos los departamentos de producción.
- 8 horas por turno, con horas extras si es necesario.
- 2 descansos de 15 minutos por turno.

Caso 3. La empresa cosmética Belleza Radiante produce varios productos de cuidado personal. En este ejercicio, nos centraremos en una familia específica de productos: cremas faciales en dos variedades: hidratante y anti-envejecimiento. Estos productos son enviados al cliente final para su distribución en tiendas y spas.

Procesos de Producción

Para esta familia de productos, la fabricación implica una serie de procesos: mezcla de ingredientes, emulsionado, envasado, etiquetado y empaquetado. Los productos son luego almacenados y enviados a los distribuidores en una base diaria. El flujo de trabajo sigue el orden siguiente, y cada pieza pasa por todos los procesos:

1. Mezcla de Ingredientes:

- Mezcladora industrial automática.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 15 minutos por lote (100 kg de mezcla).
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): 45 minutos.
- Tiempo de ocupación: 90%.
- Inventario observado:
 - 2000 kg de mezcla para crema hidratante.
 - 1200 kg de mezcla para crema anti-envejecimiento.

2. Emulsionado:

- Emulsionador a alta velocidad.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 20 minutos por lote (100 kg de mezcla).
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): 30 minutos.
- Tiempo de ocupación: 85%.
- Inventario observado:

- 1800 kg de crema hidratante emulsionada.
- 1000 kg de crema anti-envejecimiento emulsionada.

3. Envasado:

- Línea de envasado automática.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 10 minutos por lote (1000 unidades).
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): 20 minutos.
- Tiempo de ocupación: 95%.
- Inventario observado:
 - 15000 unidades de crema hidratante envasadas.
 - 9000 unidades de crema anti-envejecimiento envasadas.

4. Etiquetado:

- Máquina etiquetadora automática.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 8 minutos por lote (1000 unidades).
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): 10 minutos.
- Tiempo de ocupación: 100%.
- Inventario observado:
 - 14000 unidades de crema hidratante etiquetadas.
 - 8500 unidades de crema anti-envejecimiento etiquetadas.

5. Empaquetado:

- Línea de empaquetado manual con tres operarios.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 12 minutos por lote (1000 unidades).
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): Ninguno.
- Tiempo de ocupación: 95%.
- Inventario de productos terminados observado:
 - 13000 unidades de crema hidratante empaquetadas.
 - 8000 unidades de crema anti-envejecimiento empaquetadas.

Departamento de Despachos: El departamento de despachos retira los productos terminados, los almacena y los prepara para el envío diario a los distribuidores.

Requerimientos del Cliente:

- 60000 unidades de cremas por mes.
- 40000 unidades de crema hidratante por mes.
- 20000 unidades de crema anti-envejecimiento por mes.
- Un envío diario a los distribuidores.
- Empaques con 50 cremas por caja y hasta 20 cajas por paleta.

Tiempo de Trabajo:

- 20 días laborales por mes.
- 2 turnos de operación en todos los departamentos de producción.
- 8 horas por turno, con horas extras si es necesario.
- 2 descansos de 15 minutos por turno.

Caso 4. La empresa de servicios TecnoSoluciones ofrece servicios de reparación y mantenimiento de equipos de cómputo. En este ejercicio, nos centraremos en el proceso de reparación de laptops para clientes corporativos. Este servicio incluye diagnóstico, reparación, pruebas y entrega de las laptops reparadas.

Procesos de Servicio

Para este servicio, el flujo de trabajo sigue una serie de procesos: recepción de equipos, diagnóstico, reparación, pruebas de funcionamiento y entrega. Cada equipo pasa por todos los procesos en el siguiente orden:

1. Recepción de Equipos:

- Recepción y registro de equipos defectuosos.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 10 minutos por equipo.
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): Ninguno.
- Tiempo de ocupación: 95%.
- Inventario observado:
 - 30 laptops recibidas y registradas.

2. Diagnóstico:

- Técnicos especializados en diagnóstico.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 30 minutos por equipo.
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): Ninguno.
- Tiempo de ocupación: 90%.
- Inventario observado:
 - 20 laptops en diagnóstico.

3. Reparación:

- Técnicos especializados en reparación.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 1 hora por equipo.
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): Ninguno.
- Tiempo de ocupación: 85%.
- Inventario observado:
 - 15 laptops en reparación.

4. Pruebas de Funcionamiento:

- Técnicos de pruebas.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 45 minutos por equipo.
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): Ninguno.
- Tiempo de ocupación: 80%.
- Inventario observado:
 - 10 laptops en pruebas.

5. Entrega:

- Embalaje y entrega al cliente.
- Tiempo de Ciclo (T/C): 20 minutos por equipo.
- Tiempo de Cambio de modelo (T/M): Ninguno.
- Tiempo de ocupación: 100%.
- Inventario de productos terminados observado:
 - 8 laptops listas para entrega.

Departamento de Atención al Cliente: El departamento de atención al cliente coordina con los clientes para recoger los equipos reparados y proporcionar actualizaciones sobre el estado de la reparación.

Requerimientos del Cliente:

- 400 laptops reparadas por mes.
- Un promedio de 20 laptops por día hábil.
- Un servicio con tiempo de respuesta máximo de 5 días hábiles.
- Entrega diaria a los clientes.

Tiempo de Trabajo:

- 20 días laborales por mes.
- 1 turno de operación en todos los departamentos de servicio.
- 8 horas por turno, con horas extras si es necesario.
- 2 descansos de 15 minutos por turno.

PRÁCTICA NO. 4

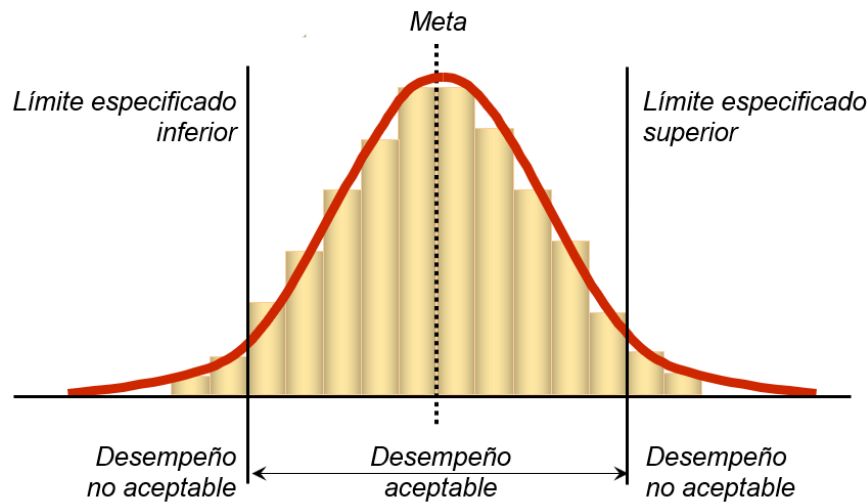
CAPACIDAD DE PROCESO Y MÉTRICAS DE SEIS-SIGMA

1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Identificar la capacidad de un proceso para cumplir con especificaciones.
- 1.2. Determinar si un proceso cumple con una calidad de seis-sigma.

2. Marco Teórico:

Capacidad de proceso: los procesos tienen variables de salida o de respuesta, las cuales deben cumplir con ciertas especificaciones a fin de considerar que el proceso está funcionando de manera satisfactoria. Evaluar la habilidad o capacidad de un proceso consiste en conocer la amplitud de la variación natural de éste para una característica de calidad dada, lo cual permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple especificaciones).



En esta práctica se supone que se tiene una característica de calidad de un producto o variable de salida de un proceso, del tipo valor nominal es mejor, en donde, para considerar que hay calidad las mediciones deben ser iguales a cierto valor nominal o ideal (N), o al menos tienen que estar con holgura dentro de las especificaciones inferior (EI) y superior (ES).

Índice C_p : el índice de capacidad potencial del proceso, C_p , se define de la siguiente manera:

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

Donde σ representa la desviación estándar del proceso, mientras que ES y EI son las especificaciones superior e inferior para la característica de calidad. Como se puede observar, el índice C_p compara el ancho de las especificaciones o la variación tolerada para el proceso con la amplitud de la variación real de éste:

$$C_p = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación real}}$$

Se dice que 6σ (seis veces la desviación estándar) es la variación real, debido a las propiedades de la distribución normal, en donde se afirma que entre $\mu \pm 3\sigma$ se encuentra 99.73% de los valores de una variable con distribución normal. Para que el proceso sea considerado potencialmente capaz de cumplir con especificaciones, se requiere que la variación real (natural) siempre sea menor que la variación tolerada. De aquí que lo deseable es que el índice C_p sea mayor que 1; y si el valor del índice C_p es menor que uno, es una evidencia de que el proceso no cumple con las especificaciones.

Valor del índice C_p	Clase o categoría del proceso	Decisión (si el proceso está centrado)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

Si al analizar el proceso se encuentra que su capacidad para cumplir especificaciones es mala, entonces algunas alternativas de actuación son: mejorar el proceso (centrar y reducir variación), su control y el sistema de medición, modificar tolerancias o inspeccionar a 100% los productos. Por el contrario, si hay una capacidad excesiva, ésta se puede aprovechar, por ejemplo: con la venta de la precisión o del método, reasignando productos a máquinas menos precisas, así como al acelerar el proceso y reducir la cantidad de inspección.

Índice C_{pi} , C_{ps} y C_{pk} : la desventaja del índice C_p es que no toma en cuenta el centrado del proceso, debido a que en la fórmula para calcularlo no se incluye de ninguna manera la media del proceso, μ . Una forma de corregir esto consiste en evaluar por separado el cumplimiento de la especificación inferior y superior, a través del **índice de capacidad para la especificación inferior**, C_{pi} , y el **índice de capacidad para la especificación superior**, C_{ps} , respectivamente, los cuales se calculan de la siguiente manera:

$$C_{pi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma} \qquad C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma}$$

Estos índices sí toman en cuenta μ , al calcular la distancia de la media del proceso a una de las especificaciones. Esta distancia representa la variación tolerada para el proceso de un solo lado de la media. Por esto sólo se divide entre 3σ porque sólo se está tomando en cuenta la mitad de la variación natural del proceso. Para interpretar los índices unilaterales es de utilidad la tabla anterior; no obstante, para considerar que el proceso es adecuado, el valor de C_{pi} o C_{ps} debe ser mayor que 1.25, en lugar de 1.33.

Por su parte el índice C_{pk} , que se conoce como **índice de capacidad real del proceso**, es considerado una versión corregida del C_p que sí toma en cuenta el centrado del proceso. Existen varias formas equivalentes para calcularlo, una de las más comunes es la siguiente:

$$C_{pk} = \text{MIN}(C_{pi}; C_{ps})$$

Del índice C_{pk} se pueden concluir los siguientes aspectos:

- El índice C_{pk} siempre va a ser menor o igual que el índice C_p . Cuando son muy próximos, eso indica que la media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones, por lo que la capacidad potencial y real son similares.

- Si el valor del índice C_{pk} es mucho más pequeño que el C_p , significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. De esa manera, el índice C_{pk} estará indicando la capacidad real del proceso, y si se corrige el problema de descentrado se alcanzará la capacidad potencial indicada por el índice C_p .
- Cuando el valor del índice C_{pk} sea mayor a 1.25 en un proceso ya existente, se considerará que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria. Mientras que para procesos nuevos se pide que $C_{pk} > 1.45$.
- Es posible tener valores del índice C_{pk} iguales a cero o negativos, e indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones.

Índice K: un aspecto importante en el estudio de la capacidad de un proceso es evaluar si la distribución de la característica de calidad está centrada con respecto a las especificaciones, por ello es útil calcular el índice de centrado del proceso, K, que se calcula de la siguiente manera:

$$K = \frac{\mu - N}{0.5(ES - EI)} \times 100$$

En donde N representa el valor nominal o central de la especificación. La interpretación usual de los valores de K es como sigue:

- Si el signo del valor de K es positivo significa que la media del proceso es mayor al valor nominal y será negativo cuando $\mu < N$.
- Valores de K menores a 20% en términos absolutos se consideran aceptables, pero a medida que el valor absoluto de K sea más grande que 20%, indica un proceso muy descentrado, lo cual contribuye de manera significativa a que la capacidad del proceso para cumplir especificaciones sea baja.
- El valor nominal, N, es la calidad objetivo y óptima; cualquier desviación con respecto a este valor lleva un detrimento en la calidad. Por ello, cuando un proceso esté descentrado de manera significativa se deben hacer esfuerzos serios para centrarlo, lo que por lo regular es más fácil que disminuir la variabilidad.

Estimación de los índices de capacidad a corto plazo: para calcular los índices de capacidad e interpretarlos se necesita conocer la media, μ , y la desviación estándar, σ , del proceso con una buena aproximación. Sin embargo, cuando no se conocen estos parámetros será necesario utilizar datos muestrales y estimar por aproximación a la media de medias y la desviación estándar calculada por medio de los rangos **como se vio en la práctica sobre gráficos de control para variables.**

Capacidad a largo plazo: La capacidad de corto plazo se calcula a partir de muchos datos tomados durante un periodo suficientemente corto para que no haya influencias externas sobre el proceso (por ejemplo, que no haya importantes cambios de temperatura, turnos, operadores, lotes de materia prima, etc.) El hecho relevante para que sea capacidad de corto plazo es que la desviación estándar utilizada sea de corto plazo, y ésta también se puede estimar de muchas muestras pequeñas (subgrupos) de piezas consecutivas obtenidas durante un periodo largo. Por lo tanto, esta capacidad representa el potencial del proceso, es decir, lo mejor que se puede esperar del mismo.

Por otra parte, está la perspectiva de largo plazo que, a final de cuentas, es la que la interesa al cliente. De aquí que la capacidad de largo plazo se calcula con muchos datos tomados de un periodo suficientemente largo como para que los factores externos influyan en el desempeño del proceso. Para calcular σ de largo plazo se determina de manera directa la desviación estándar de todos los datos. Por lo tanto, si se tiene una buena cantidad de datos y éstos representan un periodo suficientemente grande, entonces se tendrá una perspectiva de largo plazo en la cual se consideran los desplazamientos y la variación del proceso a través del tiempo; además, se toma en cuenta la variación entre muestras y dentro de muestras. Así, **el índice C_p y C_{pk} se convierten en P_p y P_{pk} , al calcularse con la desviación estándar a largo plazo.**

Métricas Seis-Sigma: calidad Seis Sigma o los procesos Seis Sigma se refieren a un concepto que plantea una aspiración o meta común en calidad para todos los procesos de una organización. El término se acuñó en el decenio de 1980-1989, y le dio su nombre al programa de mejora Seis Sigma. Por medio de los conceptos vistos antes es fácil analizar y entender el nivel de calidad en términos del número de sigmas.

Índice Z: Es la métrica de capacidad de procesos de mayor uso en Seis Sigma. Se obtiene calculando la distancia entre la media y las especificaciones, y esta distancia se divide entre la desviación estándar.

$$Z_i = \frac{\mu - EI}{\sigma} \qquad Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma}$$

La capacidad de un proceso medida en términos del índice Z es igual al valor más pequeño de entre Z_s y Z_i , es decir:

$$Z = \text{MIN}(Z_i; Z_s)$$

Si la desviación estándar utilizada para calcular el índice Z es de corto plazo, entonces el correspondiente Z también será de corto plazo y se denota como Z_c . En cambio, si la σ es de largo plazo, entonces el correspondiente Z será designado de largo plazo y se denota con Z_L .

Calidad Tres Sigma: proceso cuya capacidad para cumplir especificaciones a corto plazo es igual a $Z_c = 3$ y el índice es $C_{pk} = 1$. En un proceso Tres Sigma los productos que cumplen con especificaciones (área bajo la curva normal que cae dentro de especificaciones) sea de 99.73% y sólo 0.27% los que no cumplen, lo cual corresponde a 2 700 partes por millón (PPM) fuera de especificaciones.

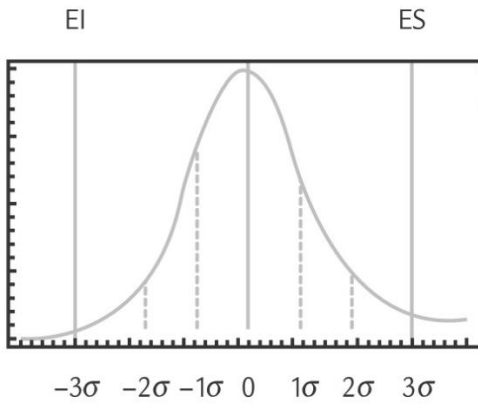
De acuerdo con lo anterior, a primera vista un proceso Tres Sigma parece que tiene un nivel de calidad adecuado. Sin embargo, para las exigencias actuales, tal calidad por lo general no es suficiente por dos razones:

- Un porcentaje de 0.27% de artículos defectuosos implica 2 700 partes defectuosas por cada millón (PPM) producidas. En un mundo donde las cifras de consumo anual para muchos productos son de varios millones, esa cantidad de defectuosos es demasiado.
- Lo anterior se agrava si consideramos la diferencia entre la capacidad de corto y largo plazo que se estudió antes, en donde los estudios indican que la media de un proceso puede desplazarse hasta 1.5 sigmas respecto al valor nominal, debido a factores externos y desplazamientos del propio proceso.

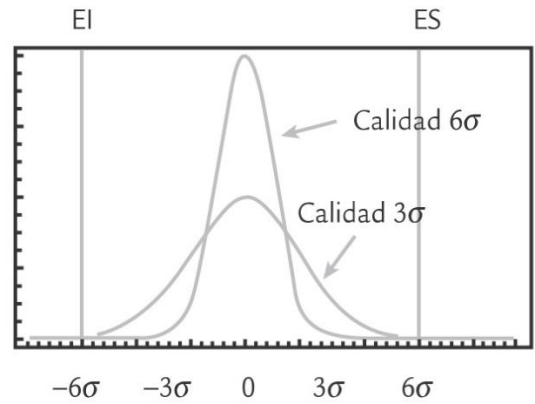
Todo esto hace a la calidad Tres Sigma poco satisfactoria, por eso se requiere tener una meta de calidad más elevada, y ésta se llama: calidad Seis Sigma.

Calidad Seis Sigma: proceso cuya capacidad para cumplir especificaciones a corto plazo es igual a $Z_c = 6$ o cuando es a largo plazo $Z_L = 4.5$, lo cual, a corto plazo significa $C_{pk} = 2$ y a largo plazo $P_{pk} = 1.5$. En ese caso, a corto plazo se tendría una tasa de defectos de 0.002 ppm, que en términos prácticos equivale a un proceso con cero defectos. Con un proceso Seis Sigma, si a largo plazo ocurriera que la media del proceso se moviera hasta 1.5σ veces a partir del valor nominal, hacia la especificación superior, por ejemplo, eso no generaría problemas.

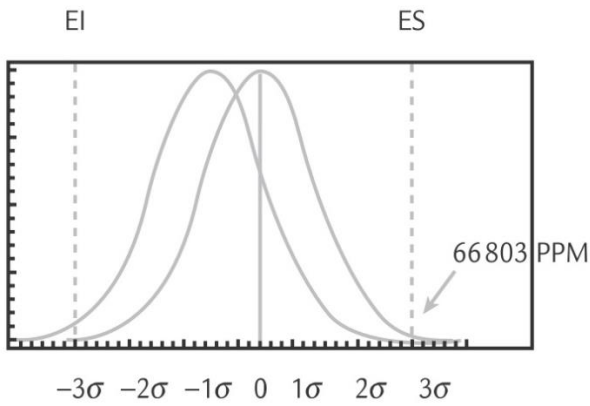
Con la información anterior queda claro que tener una empresa Seis Sigma no es una labor que termine en un año, por el contrario, requiere del trabajo decidido de varios años. Por ejemplo, en algunos investigadores han publicado trabajos donde se hace un análisis que plantea que pasar de cuatro a Seis Sigma requiere de cinco años. Una comparación entre un nivel de calidad Tres Sigma contra uno Seis Sigma se observa en la siguiente gráfica.



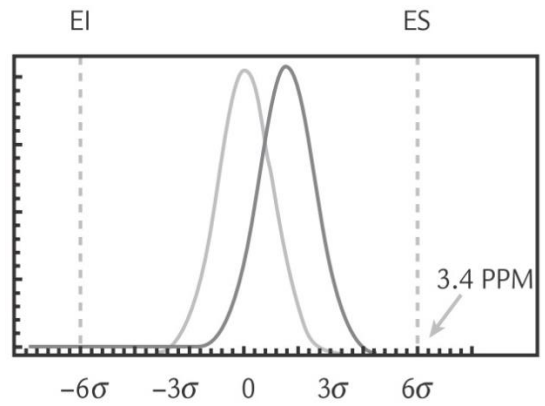
a) Calidad Tres Sigma; $Z_c = 3$ y $C_{pk} = 1$



c) Calidad 3 y 6σ ($C_p = 2.0$, $C_{pk} = 2.0$, $Z_s = Z_i = 6$)



b) Calidad 3σ; con un movimiento de 1.5σ
($Z_{mov} = 1.5$) ($C_p = 1.0$, $C_{pk} = 0.5$)



d) Calidad 6σ; con un movimiento de 1.5σ
($Z_{mov} = 1.5$) ($C_p = 2.0$, $C_{pk} = 1.5$)

HOJA DE TRABAJO 4

Caso 1. Un proceso continuo de producción de piezas metálicas debe generar placas con una longitud de 10 ± 0.20 cm según las especificaciones del cliente. Para evaluarlo se han realizado mediciones durante un período de tiempo, los resultados se encuentran en la siguiente tabla. Determine la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones. Interprete los índices de calidad y determine el tipo de calidad en sigmas. Construya la gráfica X barra y R.

Subgrupo	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
1	9.92	10.00	9.95	10.03	10.13
2	9.91	10.06	10.01	10.07	9.90
3	9.93	9.93	10.02	10.01	9.92
4	10.03	10.15	9.90	10.00	10.06
5	9.94	9.93	10.07	10.15	10.16
6	9.90	10.04	10.11	10.02	10.00
7	9.96	9.95	9.95	9.89	9.90
8	10.00	10.13	10.04	10.01	10.02
9	9.97	9.89	10.03	10.07	10.15
10	10.06	10.04	9.96	10.00	9.99
11	10.00	10.04	9.92	10.07	10.11
12	10.11	10.11	10.09	9.87	10.02
13	9.99	9.90	10.10	10.09	10.00
14	9.98	10.14	9.94	9.96	10.01
15	10.10	9.99	9.99	10.06	10.06
16	10.02	9.89	10.07	9.94	9.87
17	10.09	9.98	10.01	9.94	9.99
18	10.06	10.16	10.15	9.83	9.99
19	9.93	9.98	10.11	9.87	10.02
20	10.07	10.08	10.07	10.00	10.05
21	9.99	10.13	10.07	9.95	10.09
22	10.10	10.06	9.92	9.96	10.06
23	9.92	10.06	9.91	9.87	10.06
24	9.97	10.05	10.00	10.02	9.97
25	9.96	10.01	10.06	10.04	10.03
26	10.00	9.90	9.84	9.95	10.08
27	10.03	9.92	10.10	10.08	10.04
28	9.88	9.84	9.96	10.02	9.97
29	10.10	10.08	9.98	9.95	9.96
30	9.97	10.03	10.01	10.09	9.98

Caso 2. Un proceso continuo de producción de madera debe generar muebles con una longitud de 1.5 ± 0.1 m según las especificaciones del producto. Para evaluarlo se han realizado mediciones durante un período de tiempo, los resultados se encuentran en la siguiente tabla. Determine la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones. Interprete los índices de calidad y determine el tipo de calidad en sigmas. Construya la gráfica X barra y R.

Subgrupo	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
1	1.47	1.73	1.58	1.53	1.50
2	1.52	1.48	1.52	1.55	1.61
3	1.52	1.65	1.65	1.67	1.50
4	1.53	1.60	1.58	1.53	1.59
5	1.60	1.45	1.48	1.65	1.50
6	1.53	1.50	1.60	1.55	1.49
7	1.36	1.56	1.54	1.63	1.54
8	1.60	1.49	1.70	1.65	1.60
9	1.60	1.67	1.57	1.54	1.49
10	1.45	1.46	1.62	1.68	1.51
11	1.55	1.72	1.56	1.57	1.46
12	1.40	1.51	1.55	1.69	1.54
13	1.71	1.70	1.67	1.41	1.59
14	1.61	1.59	1.38	1.41	1.64
15	1.56	1.52	1.68	1.58	1.74
16	1.48	1.54	1.49	1.45	1.53
17	1.48	1.57	1.65	1.64	1.59
18	1.47	1.65	1.54	1.59	1.58
19	1.62	1.49	1.52	1.60	1.60
20	1.48	1.54	1.60	1.45	1.37
21	1.55	1.65	1.57	1.60	1.56
22	1.58	1.36	1.47	1.47	1.47
23	1.47	1.55	1.40	1.54	1.60
24	1.66	1.56	1.47	1.56	1.54
25	1.68	1.40	1.56	1.56	1.61
26	1.38	1.68	1.61	1.60	1.52
27	1.62	1.64	1.60	1.51	1.65
28	1.39	1.55	1.48	1.46	1.40
29	1.44	1.63	1.59	1.40	1.54
30	1.50	1.70	1.59	1.71	1.47

Caso 3. Un proceso debe fabricar resmas de papel bond con 5000 hojas con un margen de error del 0.5% Para evaluarlo se han realizado mediciones durante un período de tiempo, los resultados se encuentran en la siguiente tabla. Determine la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones. Interprete los índices de calidad y determine el tipo de calidad en sigmas. Construya la gráfica X barra y R.

Subgrupo	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
1	5002	5006	4997	5007	4998
2	5000	5005	4999	4996	4999
3	5003	4999	5004	5004	5009
4	4999	4995	5000	4998	5003
5	4998	5002	5001	4995	5002
6	5003	4997	5001	5009	5005
7	4994	5000	4999	5005	5001
8	5003	5005	5006	4999	4996
9	4994	5000	5002	4997	5007
10	4999	4994	4998	5003	5006
11	4999	4996	4994	5003	4995
12	5000	5007	4993	5004	4996
13	4995	5006	5001	5007	4993
14	5001	5003	5005	4997	5001
15	4999	4999	5005	5001	4997
16	5005	4995	5003	5000	5006
17	5000	5001	4992	5004	4991
18	5004	4999	5004	4998	4999
19	4991	4998	5006	5001	5003
20	5005	5006	4990	4993	5000
21	4997	4994	4994	4998	4998
22	5007	5005	4997	5004	4994
23	5001	4997	5004	4991	4994
24	5003	5002	4997	4993	5004
25	4997	5008	5003	5008	5001
26	5002	4996	4998	4997	5000
27	4994	4995	4995	4993	4998
28	4999	5002	4998	4999	5000
29	4997	5004	5003	4998	5001
30	5003	5002	5002	4993	4994

Caso 4. Un proceso de producción de bolsas de frituras que debe contener una masa de 200 con un margen de error del 0.25%. Para evaluarlo se han realizado mediciones durante un período de tiempo, los resultados se encuentran en la siguiente tabla. Determine la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones. Interprete los índices de calidad y determine el tipo de calidad en sigmas. Construya la gráfica X barra y R.

Subgrupo	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
1	199.9	200.0	199.9	200.0	200.0
2	199.8	200.0	199.8	199.8	199.8
3	200.0	199.9	199.9	200.0	199.9
4	199.8	200.0	199.8	199.9	200.1
5	199.9	199.9	200.0	199.9	199.8
6	200.0	199.8	200.0	199.7	200.0
7	200.0	199.9	200.0	200.0	199.9
8	199.7	199.9	200.0	199.9	200.0
9	199.8	199.9	200.0	199.9	200.0
10	199.8	200.0	199.9	199.9	199.9
11	200.0	199.8	200.0	200.1	199.7
12	200.1	200.1	199.9	199.8	200.0
13	199.9	200.0	200.0	199.8	200.0
14	199.9	199.8	200.0	200.0	200.0
15	199.9	200.0	199.8	199.9	199.8
16	200.0	200.0	199.9	199.8	200.0
17	199.8	199.9	199.8	199.9	199.7
18	200.0	199.9	199.8	199.9	200.0
19	200.0	200.0	199.8	199.9	199.8
20	200.0	199.9	200.0	199.9	199.9
21	200.0	199.9	200.1	199.8	200.0
22	200.0	199.9	199.9	199.7	199.9
23	200.0	199.9	200.0	199.9	200.0
24	200.0	200.0	200.0	199.8	200.0
25	199.8	199.8	199.9	199.9	199.8
26	199.9	199.9	199.9	200.0	200.0
27	199.8	200.0	200.0	199.8	199.8
28	199.8	200.0	199.8	199.9	199.9
29	200.1	199.8	199.9	200.0	199.9
30	199.7	199.9	199.9	199.9	199.8

BIBLIOGRAFÍA

1. Besterfield, D. H. (2009). *Control de Calidad 8ED*.
2. Mayoral, M. A. M., & Socuéllamos, J. M. (2022). *Lean seis Sigma para la mejora de Procesos*. Universidad Miguel Hernández.
3. Pulido, H. G., & De La Vara Salazar, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis Sigma*.
4. Santos, I. S. L., & De Obesso Arias, M. M. (2020). *Gestión de la calidad*. ESIC.

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>P_a</i> = .995	<i>P_a</i> = .975	<i>P_a</i> = .950	<i>P_a</i> = .900	<i>P_a</i> = .750	<i>P_a</i> = .500	<i>P_a</i> = .250	<i>P_a</i> = .100	<i>P_a</i> = 0.050	<i>P_a</i> = 0.025	<i>P_a</i> = .010	<i>P_a</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									
<i>(See 4.9.1 and 4.9.2)</i>									
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

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

Sample size Code Letters	Acceptable Quality Levels (Normal Inspection)																									
	0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000
A	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
B	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
C	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
D	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
E	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
F	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
G	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
H	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
J	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
K	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
L	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
M	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
N	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
P	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Q	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
R	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

↑ = 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
NORMAL

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

Sample size Code Letters	Acceptable Quality Levels (Normal Inspection)																										
	0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000	
A	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
B	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
C	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
D	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
E	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
F	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
G	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
H	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
J	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
K	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
L	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
M	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
N	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
P	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
Q	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
R	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
S	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac

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

↓ = Use first sampling plan above arrow.

Ac = Acceptance number

Re = Rejection number

**SINGLE
TIGHTENED**

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

Sample size Code Letters	Sample size	Acceptable Quality Levels (Reduced Inspection)†																												
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000			
		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	
A	2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
B	2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
C	2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
D	3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
E	5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
F	8	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
G	13	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
H	20	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
J	32	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
K	50	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
L	80	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
M	125	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
N	200	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
P	315	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Q	500	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
R	800	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

↑ = 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

● = Use corresponding single sampling plan (or alternatively, use double sampling plan below, where available)
 † = If, after the second sample, the acceptance number has been exceeded, but the rejection number has not been reached, accept the lot, but reinstate normal inspection (see 4.10.1.4)

SINGLE
REDUCED

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

OBSERVACIONES EN LA MUESTRA, n	TABLA DE PROMEDIOS						TABLA DE DESVIACIONES ESTÁNDAR						TABLA DE RANGOS					
	FACTORES PARA LÍMITES DE CONTROL			FACTORES PARA LÍNEA CENTRAL			FACTORES PARA LÍMITES DE CONTROL			FACTORES PARA LÍNEA CENTRAL			FACTORES PARA LÍMITES DE CONTROL			FACTORES PARA LÍNEA CENTRAL		
	A	A_2	A_3	C_4	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	d_3	d_4	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.