
CAPÍTULO

2

GRÁFICAS DE CONTROL

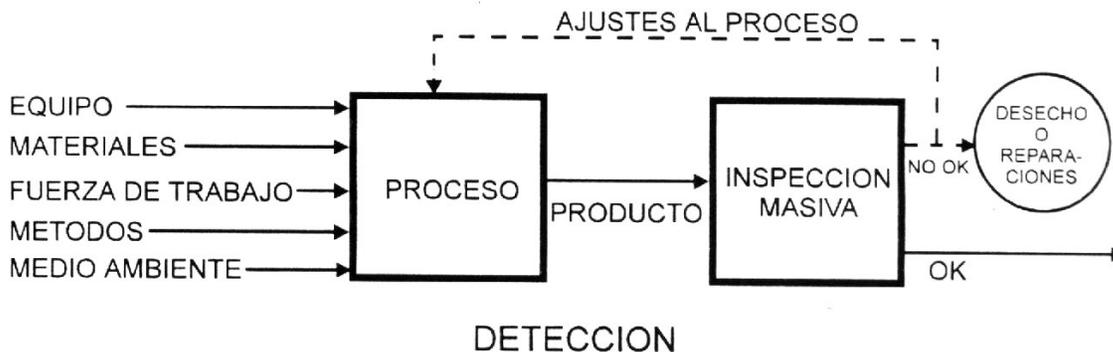
PARA VARIABLES

2.1 Conceptos generales y principios del Control Estadístico del Proceso (CEP)

Conceptos, objetivos e importancia de las Gráficas de Control

Antes de entrar de lleno al concepto de gráficas de control empezaremos por analizar el enfoque actual de calidad que es “*La adecuación al uso*” el cual tiene como significado amplio de la calidad el enfoque hacia el cliente, en las necesidades y expectativas que él tiene. El enfoque hacia la calidad ha evolucionado, a través de los años, de la detección de defectos a su prevención.

El enfoque de detección de defectos podría ser ilustrado con el siguiente esquema:



Este esquema puede representar un proceso de manufactura o un proceso administrativo. En cualquier caso, lo que tenemos aquí son una serie de elementos que influyen en el proceso. Ya sea que se trate de operar un torno o de mecanografiar una carta, los cinco elementos básicos que intervienen en el proceso son generalmente los mismos: máquinas, materiales, mano de obra (personas), métodos para desempeñar el trabajo y el medio ambiente.

Tenemos una serie de elementos que influyen en el proceso y obtenemos un cierto resultado de ese proceso, algún producto y una función de inspección que separa el producto bueno del malo. Con base en lo que se encuentre en el producto malo, podemos ajustar el proceso. Esos productos se re trabajan o se desechan. Desafortunadamente, este enfoque propicia el que haya desperdicio, ya que significa que tenemos que hacer el producto y luego revisar lo que tenemos que hacer para corregirlo. Toma tantos recursos el hacer un mal producto como el producir un producto bien hecho; e incluso en el caso primero, necesitamos regresamos para repararlo o desecharlo. En este enfoque, la energía está concentrada en la inspección masiva, en inspeccionar el producto terminal en lugar del proceso. Así, cuando el producto ha estado saliendo mal, la reacción general que se ha tenido, es incrementar la inspección masiva. La energía no se ha concentrado en el proceso, aun cuando ahí fue donde se produjo el producto defectuoso.

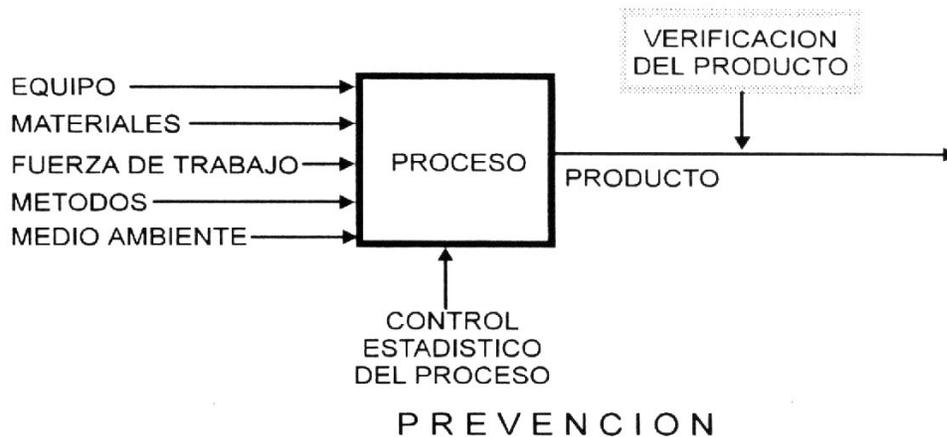
El énfasis en el enfoque de detección de defectos ha sido la inspección después de los hechos; en este sentido, se ha pensado que lo importante es que el producto cumpla con las especificaciones. Después de todo, si íbamos a inspeccionar necesitábamos tener ciertos

estándares contra los cuales podíamos comparar el producto. Entonces, se da por hecho que una vez que se ha alcanzado la especificación ya no puede haber posibilidades de mejora. Este punto de vista impide que se busquen mejoras constantes en la calidad del producto.

Otro aspecto del sistema de detección de defectos es el que involucra la relación con los proveedores. Implica un mayor énfasis en el precio que en la calidad y otros aspectos del servicio del proveedor. En este sentido, el rol tradicional se centra en disponer de una muestra inicial, hacer seguimiento a los problemas con los proveedores y utilizar la especificación de calidad basada en la inspección y en el muestreo de lotes, en otras palabras, en la detección de defectos.

Al utilizar este enfoque se da la impresión de que la calidad es responsabilidad del departamento de Control de Calidad y con frecuencia el personal de producción se hace responsable del volumen. La tendencia es mantener líneas que separan a los departamentos, con lo que no se favorece el trabajo en equipo.

El enfoque hacia la prevención puede esquematizarse de la siguiente manera:



Aquí tenemos algunos insumos (máquinas, materiales, fuerza de trabajo, métodos y medio ambiente), los mismos que teníamos en la detección de defectos y tenemos también algún resultado. El enfoque de prevención de defectos significará el reemplazar la inspección masiva que se vio con anterioridad, por lo que se llama verificación del producto. El énfasis aquí no está en la inspección masiva sino en el proceso en sí mismo. Cuando algo sale mal, podemos detectarlo observando el proceso en lugar de esperar a la inspección final. Este esquema también puede representar lo mismo un proceso de oficina que un proceso de manufactura.

El enfoque hacia la prevención reconoce que el resultado de un proceso no va a ser el mismo producto tras producto, parte tras parte. Esto significa que existe cierta variación asociada con ese resultado. La variación en el resultado dependerá de las variaciones que se presenten en el equipo, los materiales, los métodos de trabajo, la gente que participe en el proceso y los cambios que se presenten en el medio ambiente.

La herramienta con la que contamos para conocer cómo varía un proceso es el *CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO*; a través de esta herramienta podemos observar y mejorar la variabilidad en el proceso.

Los métodos de estadística nos permiten observar lo que ocurre en el proceso a través del tiempo. No tenemos que esperar un día o una semana o un mes para conocer los resultados del proceso que se está operando; es posible obtener esta información casi de manera instantánea.

El papel del Control Estadístico del Proceso (CEP) no es la inspección, no es separar las partes buenas de las malas, sino controlar y mejorar el proceso proporcionando los insumos necesarios. El Control Estadístico del Proceso no es una parte del proceso en sí, es el enfoque que nos permite mejorar el proceso cotidianamente.

La clave para el enfoque de prevención de defectos son los métodos de estadística y el uso del control estadístico del proceso, tanto internamente como con los proveedores.

Un sistema para el control del proceso.

Un sistema para el control del proceso puede ser descrito como un sistema para conocer nuestros resultados. A continuación se definen los elementos básicos de este sistema:

1. **El proceso.** Por proceso nos referimos a la combinación de gente, máquinas, equipo, materiales, métodos y medio ambiente que trabajan juntos para producir un resultado. El desempeño total del proceso -la calidad del resultado y su eficiencia productiva depende de la manera en que este proceso haya sido diseñado y de la manera en que lo estemos operando.
2. **Información sobre el Comportamiento del Proceso.** Podemos aprender mucho sobre el comportamiento actual del proceso analizando el resultado del mismo. Si esta información la colectamos e interpretamos correctamente nos puede mostrar las acciones que es necesario tomar para corregir el proceso. Si no tomamos las acciones apropiadas y en tiempo requerido, cualquier información de la que dispongamos se estará desperdiciando.
3. **Acción sobre el Proceso.** Las acciones que tomemos para mejorar el proceso están orientadas hacia el futuro, en este sentido de que prevendrán que vuelva a ocurrir un problema. Estas acciones pueden consistir en cambios que se efectúen en las operaciones (por ejemplo: adiestrar al operario, cambiar los materiales, etc.), o en los elementos más básicos del proceso en sí (por ejemplo. El equipo, el cual es necesario reparación; o en el diseño del proceso, el cual también puede ser susceptible de cambios). Sólo debemos efectuar un cambio a la vez y observar cuidadosamente los efectos para conocer con precisión si el cambio que hicimos fue o no la causa del problema. Esto nos da la pauta para realizar futuros análisis y para tomar acciones en caso de que se requieran.
4. **Acción sobre el Resultado.** Las acciones que tomemos sobre el resultado están orientadas hacia el pasado, ya que implica detectar los productos que están fuera de especificaciones cuando ya fueron producidos. Desafortunadamente, si los resultados actuales no están cumpliendo consistentemente con los requerimientos de nuestros clientes, puede ser necesario inspeccionar todos los productos y desechar o retrabajar aquellos que no se adecúen a dichos requerimientos. Esto debe continuar

hasta que se tomen las acciones necesarias sobre el proceso, o hasta que se cambien las especificaciones del producto.

Variación: Acciones locales para causas especiales y acciones sobre el sistema para causas comunes

Para utilizar efectivamente los datos que obtengamos al controlar un proceso, es importante comprender el concepto de variación.

No hay dos productos que sean exactamente iguales debido a que cualquier proceso tiene muchas fuentes de variación. Las diferencias entre los productos pueden ser muy grandes o pueden ser tan pequeñas que no puedan medirse, pero siempre están presentes. El diámetro de una flecha maquinada, por ejemplo, puede ser susceptible a una variación potencial de la máquina (claros, baleros muy usados); de la herramienta (fuerza, promedio de uso); del material (diámetro, dureza); del operador (alimentación de la parte, precisión del centrado); de mantenimiento (lubricación, reemplazo de partes usadas) y del medio ambiente (temperatura, uniformidad de la corriente suministrada).

Algunas fuentes de variación en el proceso causan diferencias de períodos de tiempo muy cortos; por ejemplo, los claros y la precisión del operario. Otras fuentes de variación tienden a causar cambios en el producto solamente después de un largo periodo de tiempo; también puede presentarse un cambio gradualmente, como el desgaste de una herramienta o máquina, o paso a paso, por ejemplo al cambiar un procedimiento; puede también haber cambios irregulares, por ejemplo, cambios ambientales tales como variaciones en la corriente eléctrica. Por lo tanto, el período de tiempo y las condiciones bajo las cuales sean hechas las mediciones afectarán la cantidad de la variación total que se presente.

Desde el punto de vista de requerimientos mínimos, el resultado de la variación es frecuentemente simplificado: Las partes dentro de tolerancias de especificación son aceptadas, las partes fuera de tolerancias no son aceptadas; los reportes que se entreguen a tiempo son aceptados, los que llegan tarde no se aceptan. Sin embargo, para dirigir cualquier proceso y reducir su variación, la variación debe analizarse en función de las fuentes que la ocasionan. El primer paso para lograr esto es hacer la distinción entre CAUSAS COMUNES y CAUSAS ESPECIALES de variación y el tipo de acciones que deben tomarse para cada caso con el propósito de reducir dicha variación.

Las causas especiales de variación pueden ser detectadas a través de las técnicas de estadística que se vieron en el capítulo anterior. Estas causas de variación no son comunes a todas las operaciones involucradas; por ejemplo, en un máquina particular puede haber un operario ya entrenado o, si se tiene una herramienta sin afilar, está también puede también ocasionar una variación mayor. El descubrimiento de una causa especial de variación y su arreglo es usualmente responsabilidad de alguien que está directamente conectado con la operación. Entonces, la solución de una causa especial de variación requiere generalmente de una acción local.

La magnitud de las causas comunes de variación también pueden ser detectadas a través de las técnicas de estadística vistas en el punto 1.6 (herramientas estadísticas) de este libro, ya que pueden implicar el cambio de un proceso de manufactura o el cambio de un

proveedor que no está surtiendo el material que satisface las necesidades del cliente, etc. Para corregir las causas comunes de variación, se requiere, generalmente, de decisiones que deben tomar las personas que son responsables de proporcionar servicios al área productiva y de administrar el sistema; sin embargo, las personas directamente relacionadas con la operación son quienes, algunas veces están en la mejor posición para identificar estas causas y comunicarlas a las personas que puedan corregirlas. Entonces, la solución de las causas comunes de variación requiere generalmente las acciones sobre el sistema

Las gráficas de control nos permiten analizar un proceso, de tal manera que puedan tomarse las acciones apropiadas para lograr y mantener un proceso dentro de control estadístico, en el cual han sido eliminadas todas las causas especiales de variación y únicamente permanecen las causas comunes.

Gráficas de Control: (herramienta para el control del proceso)

El Dr. Walter Shewhart de los laboratorios Bell, mientras estudiaba los datos de un proceso en 1920, hizo por primera vez la distinción entre variación controlada y no controlada, debido a lo cual ahora nosotros distinguimos las causas comunes y las causas especiales. El desarrolló una simple pero poderosa herramienta para distinguir las causas especiales de las comunes -las gráficas de control. Desde aquella época, las gráficas de control han sido utilizadas exitosamente en una amplia variedad de situaciones para el control del proceso, tanto en los Estados Unidos, como en otros países como lo es el Japón y México. La experiencia ha demostrado que las gráficas de control efectivamente dirigen la atención hacia las causas especiales de variación cuando éstas aparecen y reflejan la magnitud de la variación debida a las causas comunes.

Todos los tipos de gráficas de control tienen dos usos básicos que son:

- Dan evidencia acerca de si un proceso ha estado operando bajo control estadístico y señalan la presencia de causas especiales de variación que deben ser corregidas en cuanto se presente.
- Permiten mantener el estado de control estadístico ya que pueden tomarse decisiones con base en el comportamiento del proceso a lo largo del tiempo.

Beneficios de las Gráficas de Control

Es importante mencionar algunos de los beneficios que pueden derivarse del uso de las gráficas de control. La siguiente lista incluye las ventajas encontradas en este campo.

- Las gráficas de control son herramientas simples y efectivas para lograr un control estadístico. Se prestan para que el operario las maneje en su propia área de trabajo. Dan información confiable a la gente cercana a la operación sobre cuando debieran tomarse ciertas acciones y cuando no debieran tomarse.
- Cuando un proceso está en control estadístico puede predecirse su desempeño respecto a las especificaciones. Por consiguiente, tanto el productor como el cliente

pueden contar con niveles consistentes de calidad y ambos pueden contar con costos estables para lograr ese nivel de calidad.

- Una vez que un proceso se encuentra en control estadístico, su comportamiento puede ser mejorado posteriormente reduciendo la variación. A través de los datos de las gráficas de control pueden anticiparse las mejoras que se requieren en el sistema. Estas mejoras en el proceso deberán:
 - Incrementar el porcentaje de productos que satisfagan las expectativas de los clientes (mejoras en la calidad).
 - Disminuir los productos que necesiten retrabajarse o desecharse (mejoras en el costo por unidad bien producida)
 - Incrementar la cantidad total de productos aceptados a través del proceso (mejoras efectivas de la habilidad).

ACCIÓN	TIPO DE MEJORA
Incrementar el porcentaje de productos que satisfagan las expectativas de los clientes.	Mejoras en la calidad.
Disminuir los productos que necesiten retrabajarse o desecharse.	Mejoras en el costo por unidad bien producida.
Incrementar la cantidad total de productos aceptables a través del proceso.	Mejoras efectivas en la habilidad.

- Las gráficas de control proporcionan un lenguaje común para comunicarse sobre el comportamiento de un proceso entre los diferentes turnos que operen un proceso; entre la línea de producción (supervisor, operario) y las actividades de soporte (mantenimiento, control de materiales, ingeniería de manufactura, calidad del producto); entre las diferentes estaciones en el proceso; entre el proveedor y el usuario; entre la planta de manufactura o ensamble y las actividades de ingeniería del producto.
- Las gráficas de control, al distinguir entre las causas especiales y las causas comunes de variación, dan una buena indicación de cuándo algún problema debe ser corregido localmente y cuándo se requiere de una acción en la que deben participar todos los niveles de la organización. Esto minimiza la confusión, frustración y costo excesivo que se deriva de los problemas no resueltos.
- Permite modificar especificaciones que no pueden lograrse económicamente.
- Se puede mejorar (o disminuir) la inspección, sus costos.

¿Qué es una gráfica de control?

Es una representación gráfica de una característica de un proceso mostrando los valores graficados de algún estadístico obtenido de esa característica, y uno o dos límites de control.

Las gráficas de control fijan los límites estadísticos de variación dentro de los cuales se encuentra presente la variabilidad natural del proceso. Los puntos que caen fuera de estos límites estadísticos o el agrupamiento de puntos de una forma particular dentro de los límites estadísticos, indican posibles cambios en el proceso debido generalmente a la presencia de causas anormales.

¿Para qué se usa una gráfica de control?

Una gráfica de control tiene dos usos básicos en forma general (como ya se mencionó anteriormente):

- a) Como juicio para determinar si el proceso estuvo dentro de control.
- b) Como una ayuda para lograr y mantener el control estadístico.

De una manera amplia una gráfica de control nos sirve para:

- a) Medir el comportamiento del proceso de una manera dinámica.
- b) Si el proceso se sale de control, la gráfica lo va a detectar casi enseguida a través de una tendencia, una corrida, varios puntos cerca de un límite de control, etc.
- c) Un punto fuera de control nos indica que un factor externo está alterando la variabilidad normal inherente.
- d) Si el proceso ha logrado la reducción de la variabilidad, la gráfica nos indicará la necesidad de recalcular el valor de los límites de control.

Otras características del uso de gráficas de control son:

- a) El CEP no implica ausencia de artículos defectivos. El CEP es un estado de variación al azar.
- b) Es mejor que el operario mismo grafique punto por punto en la gráfica de control, esto le hará tomar interés en el proceso.
- c) Si la gráfica muestra ausencia de control estadístico, entonces el siguiente paso es una exploración de las causas especiales.
- d) Use la gráfica de control para medir la combinación de las fallas del sistema.

A continuación se darán algunas definiciones importantes que son utilizadas en las gráficas de control.

¿Qué es un límite de control?

Es una línea (o líneas) de una gráfica de control, usada como base para juzgar el significado de la variación de una medición a otra. Nos dice lo que es el proceso hoy, y lo que será mañana.

¿Cómo se obtienen los límites de control?

Los límites de control se obtienen a partir de los datos del proceso y no deben ser confundidos con los límites de especificación dados por el departamento de ingeniería en el diseño del producto.

¿Qué es la línea central?

Es la línea que representa el valor promedio de las mediciones indicadas en una gráfica de control. Generalmente se indica con una línea continua.

2.2 Elaboración e interpretación de gráficas para variables

Una característica variable de calidad es la que se puede medir en una escala variable de valores. Como la medida de las variaciones puede determinarse por medio de instrumentos de medición variables, puede obtenerse más información sobre la característica de calidad que se examine que en el caso por atributos. Aunque esta medición representa mayores costos debido al costo del equipo de medición y la conservación de este.

Algunos ejemplos de características variables son la presión, la resistencia a la tracción, la dureza, longitud, el diámetro, etc. Aunque estos pudieran llegarse a medir por medio de aparatos pasa-no pasa, el número de productos que es necesario tomar para medir es menor, con lo cual por otro lado reduce el costo de la medición al realizar menos mediciones,

¿Por qué es útil el uso de gráficas de control por variables?

Existen varias razones por las cuales son útiles, a continuación se mencionan algunas de ellas:

- a) La mayoría de los procesos y sus resultados tienen características que son medibles, por lo que su aplicación potencial es amplia.
- b) Un valor medible (por ejemplo, “el diámetro es 16.45 mm”) contiene más información que una simple afirmación si-no (por ejemplo, “la pieza está dentro de tolerancia).
- c) A pesar de que el costo en la medición precisa de una pieza es mayor que el establecer simplemente si la misma está bien o no, como se requieren menos piezas para obtener más información sobre el proceso, en algunos casos los costos totales de inspección pueden ser menores.
- d) Debido a que se requiere medir una menor cantidad de piezas para tomar decisiones confiables, el período de tiempo entre la producción de las piezas y la acción correctiva puede ser acortado significativamente.

Antes de llevar a cabo las gráficas de control se deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. El proceso debe estar claramente definido, mediante las hojas de instrucción de operación correspondiente.
2. El método de inspección debe estar definido mediante hojas de instrucción de inspección.
3. El flujo de proceso debe estar adecuadamente definido.
4. El operador y la gente que lo rodea o interactúa con él deben estar perfectamente enterados en los métodos de ejecución y medición del proceso, de manera que este se lleve a cabo siempre de manera idéntica y no se tengan variaciones atribuibles a este concepto.
5. Se deben definir con precisión cuales características se manejarán mediante las gráficas de control.
6. Se debe conocer adecuadamente la correlación que existe entre variables, de manera que se seleccionen para su control aquellas cuya medición es más sencilla y significativa.
7. Las piezas que se verifiquen en las gráficas de control deben de venir de una misma línea.
8. Las piezas deben ser acomodadas en contenedores siguiendo siempre el mismo orden y marcarse las que se toman como muestra. Lo más práctico es tomar las piezas conforme van saliendo de las máquinas.



Una vez que se tienen todos los puntos anteriores, se deben llevar a cabo los siguientes pasos para establecer una gráficas de control.

1.- Elegir la característica que debe graficarse.

- Dar una alta prioridad a esa característica que por el momento tiene una tasa de defectos alta. Un análisis de Pareto puede establecer las prioridades.
- Identificar las variables del proceso y las condiciones que contribuyen a las características del producto terminado, para definir las aplicaciones potenciales de las gráficas desde la materia prima hasta los pasos de procesado y las características finales. Por ejemplo, pH, concentración salina y temperatura de la solución del recubrimiento son variables del proceso que contribuyen a la tersura del mismo.
- Elegir los métodos de medición que proporcionarán el tipo de datos necesarios para el diagnóstico de problemas. Los datos por atributos (por ejemplo, porcentaje de unidades defectuosas) proporcionan información resumida pero pueden necesitar completarse con datos por variables para diagnosticar las causas y determinar la acción.
- Determinar el tiempo más cercano en el proceso de producción en el que se pueden hacer pruebas para obtener información sobre las causas atribuibles, para que la gráfica pueda servir como un dispositivo de advertencia temprana efectivo en la prevención de defectos.

- 2.- Elegir el tipo de gráfica de control. La siguiente tabla compara tres gráficas de control básicas

Gráfica de medidas estadísticas	Promedio \bar{X} y rango R	Porcentaje no conformante (p)	Número de no conformancias (c)
Desventajas significativas	No se entiende a menos que se de capacitación; puede causar confusión entre los límites de control y los límites de tolerancia. No se puede usar con datos del tipo seguir/parar.	No proporciona información detallada del control de características individuales. No reconoce distintos grados de defectos en las unidades de producto.	No proporciona información detallada del control de características individuales.
Tamaño de la muestra	Por lo general 4 ó 5	Utiliza los resultados de la inspección o muestras de 25, 50 ó 100.	Cualquier unidad conveniente de producto como 100 metros de alambre o una camisa.

- 3.- Decidir la línea central que debe usarse y la base para calcular los límites. La línea central puede ser el promedio de los datos históricos, o puede ser el promedio deseado (por ejemplo, un valor estándar). Estos límites por lo general se establecen a $\pm 3\sigma$ pero se pueden elegir otros valores con riesgos diferentes.
- 4.- Seleccionar el "subgrupo racional". Cada punto en una gráfica de control representa un subgrupo (o muestra) que consiste de varias unidades de producto. Con el propósito de controlar el proceso, los subgrupos deben elegirse de manera que las unidades dentro de un subgrupo tengan la mayor oportunidad de ser similares y las unidades entre subgrupos tengan la mayor oportunidad de ser diferentes.
- 5.- Proporcionar un sistema de recolección de datos. Si la gráfica de control ha de servir como una herramienta cotidiana en la planta, debe ser sencilla y conveniente en su uso. La medición se debe simplificar y mantener sin errores. Deben diseñarse instrumentos indicativos para dar lecturas confiables y a tiempo. Mejor aún, deben diseñarse instrumentos que puedan registrar al igual que indicar. El registro de datos se puede simplificar con el diseño creativo de hojas de datos. Las condiciones de trabajo son también un factor. Un departamento de maquinado que tiene aceite de corte por todos lados no puede tener registros confiables. Debe evitarse el copiado de datos.
- 6.- Calcular los límites de control y proporcionar instrucciones específicas sobre la interpretación de los resultados y las acciones que debe tomar cada persona en producción. Las fórmulas de límites de control para tres tipos de gráficas se dan en la siguiente tabla. Estas fórmulas están basadas en $\pm 3\sigma$ y usan una línea central igual al promedio de los datos utilizados al calcular estos límites.
- 7.- Graficar los datos e interpretar los resultados.

Gráfica para	Línea central	Límite inferior	Límite superior
Promedios \bar{X}	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$
Rangos R	\bar{R}	$D_3\bar{R}$	$D_4\bar{R}$
Porcentaje de no conformidad p	\bar{p}	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
Número de no conformancias c	\bar{c}	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$

La gráficas de control es un concepto estadístico poderoso, pero su uso debe mantenerse en perspectiva. El propósito final de un proceso de manufactura es hacer un producto adecuado para el uso, no un producto que simplemente cumpla con los límites de control. Una vez que las gráficas se usan, deben hacerse a un lado y el esfuerzo debe dirigirse a otras características que necesiten mejorar. Shilling (1990) registra el ciclo de vida de la aplicación de las gráficas de control. Una aplicación dada puede emplear varios tipos de gráficas de control. Observe que en la etapa de "eliminación" se ha logrado el control estadístico y algunas de las gráficas se sustituyen por puntos de verificación.

Etapa	Paso	Método
Preparatoria	Establecer el propósito de estudio. Determinar el estado de control. Determinar variables críticas. Determinar candidatos para el control. Elegir tipo adecuado de gráfica. Decidir cómo tomar la muestra. Escoger tamaño de subgrupo y frecuencia.	Relacionar con el sistema de calidad. Gráfica de atributo. Causa y efecto. Pareto Dependiendo de los datos y el propósito. Subgrupos racionales. Sensibilidad deseada
Inicio	Asegurar la cooperación. Capacitar usuario. Análisis de resultados.	Enfoque de equipos. Acciones de carga. Buscar patrones.
Operativa	Evaluar efectividad. Mantener el interés. Modificar la gráfica.	Verificación periódica de uso y relevancia. Cambiar la gráfica, involucrar a los usuarios. Mantener la frecuencia y naturaleza de la gráfica actual con resultados.
Eliminación	Eliminar la gráfica una vez logrado el propósito.	Cambiar a puntos de verificación. Inspección por muestreo periódico, global p , gráficas c .

Formatos sugeridos para las Gráficas de Control

Antes de pasar a los formatos que se sugieren utilizar en las gráficas de control, debemos conocer los datos que deben contener estos formatos, aunque estos pueden variar de acuerdo a las propias necesidades de la empresa, los cuales deben ser:

Planta- Indica el nombre de la planta en donde se desarrollan las gráficas de control.

Departamento.- Indica el nombre del departamento en el que se están elaborando las gráficas de control (corte, maquinado, etc.)

Operación.- Indica la operación donde se llevará la gráfica de control (aplicación, taladrado, corte, etc.)

Especificación.- Indica claramente el valor específico que deberá cumplir la característica a controlar.

Parte Número.- Indicar el No. de parte a controlar de acuerdo al diseño.

Ítem de control.- Señalar si la parte a controlar es ITEM de control o no.

Máquina No.- Indicar el número de máquina donde se efectúa la operación.

Característica.- Indicar la característica a controlar (longitud, tensión, peso, resistencia, conicidad, etc.)

Frecuencia y tamaño de muestreo.- Indicar claramente la frecuencia de la toma de los datos y la continuidad de los mismos en base al plan de control continuo.

Nombre de la parte.- Indicar el nombre de la parte que se va a controlar.

Fecha.- Indicar la fecha de inicio de la gráfica y ocasionalmente la fecha de terminación o período de tiempo que abarca la gráfica.

Turno.- Especificar claramente el turno o los turnos en que se realice la gráfica.

Nombre del operador.- Indicar el nombre del operador que esté operando la gráfica

Fecha/hora.- Indicar la fecha y la hora en que se realizó la toma de lecturas para cada subgrupo (columna)

Lecturas.- Anotar las lecturas que se tomen de cada subgrupo de acuerdo al plan de control establecido.

Además de los anteriores datos es necesario que se tenga una bitácora del proceso, la cual puede ir en la parte posterior de la gráfica, el cual puede incluir también las fórmulas para calcular los límites de control y los valores de tablas necesarios para su elaboración, en caso de que algún operario se pudiera olvidar éstas, lo mismo que aquellos valores constantes analizados dentro de las gráficas de control por variables.

A continuación se presentan el siguiente formato para utilizar en la gráfica de control por variables. Aunque esta puede ser modificada de acuerdo con las necesidades propias de la empresa donde se desee aplicar.

Interpretación de la gráfica de control por variables

El objeto de analizar una gráficas de control es identificar cual es la variación del proceso, las causas comunes y las causas especiales de dicha variación, y en función de esto tomar alguna acción apropiada cuando se requiera.

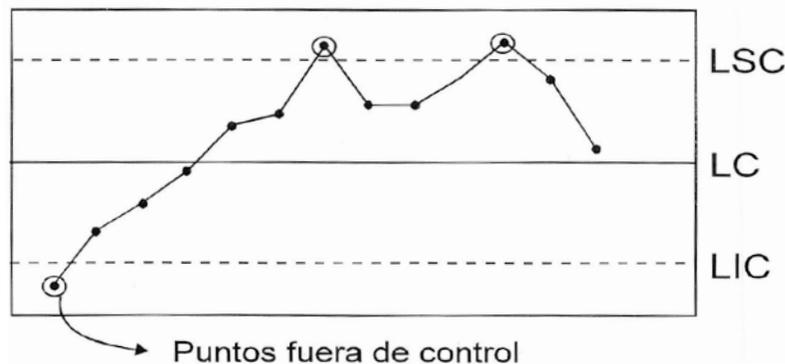
A continuación se indican los pasos a seguir:

Paso 1 Analice el conjunto de datos en la gráfica (\bar{R})	<ul style="list-style-type: none"> • Variación dentro de los límites. Causas comunes (fallas del sistema). • Puntos fuera de los límites. Causas especiales.
Paso 2 Analice el conjunto de datos de la gráfica de promedio (\bar{X})	<ul style="list-style-type: none"> • Puntos fuera de los límites de control (adhesión, series).
Paso 3 Identifique y corrija las causas especiales	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de la operación. • Corrección. • Prevención.
Paso 4 Recalcule los límites de control	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar puntos fuera de control.

Para poder interpretar las gráficas de control es necesario conocer cuáles son las situaciones anormales y cuales las normales al ver el comportamiento del proceso a través de las líneas de control. A continuación se mencionan situaciones anormales de un proceso que nos reflejan las gráficas de control. Al trazar las líneas límite de control y la línea que nos muestra el promedio del total de nuestras lecturas, podemos apreciar la dispersión o variación de los datos y así saber cuándo se presenta una situación anormal en el proceso.

a) ¿Qué son los puntos fuera de control?

Son los puntos que sobrepasan nuestras líneas límites. Por ejemplo:



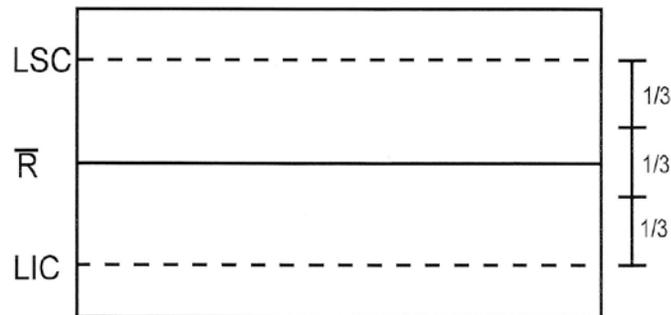
La variación de los puntos dentro de los límites de control es debida a causas comunes (fallas del sistema). Cuando se presentan fuera de los límites de control se deben a causas especiales (fallas de la operación).

Un punto fuera de los límites de control es una señal de que algo extraño está pasando:

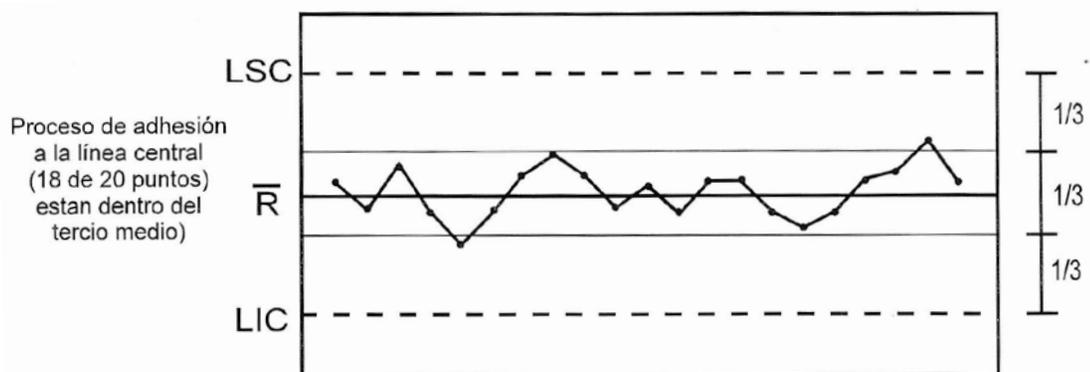
- El límite de control está mal calculado.
- Los límites están mal agrupados.
- Existe variación de pieza a pieza muy grande.
- Existe dispersión.
- El sistema de medición ha sido cambiado (diferente inspector, calibrador).
- Existió alguna condición desfavorable que debe evitarse.
- Hay error de medición, cálculo o trazo.

b) ¿Qué es la adhesión?

Hablamos de adhesión cuando en la gráfica de control los puntos se agrupan junto a la línea promedio o junto a las líneas de control. Tal y como se muestra en la siguiente figura.



Si una cantidad substancialmente mayor a $2/3$ de los puntos graficados se encuentra concentrada dentro del tercio medio existe adhesión a la línea central.

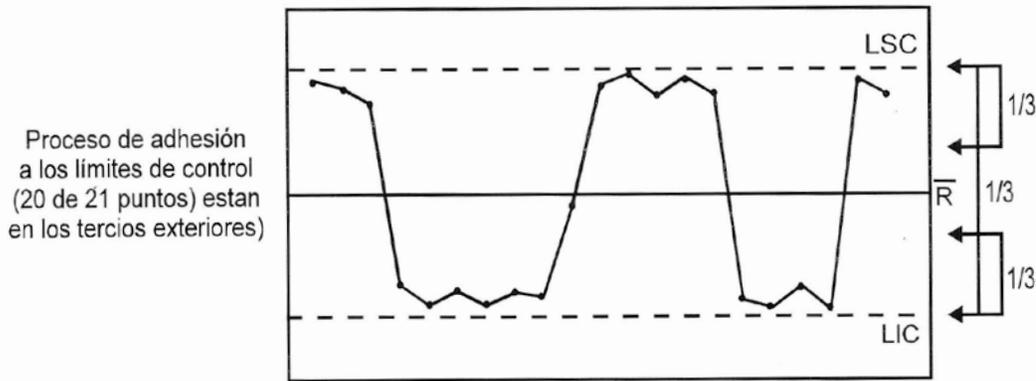


Si existe adhesión a la línea central se tiene que verificar lo siguiente:

- Los límites de control han sido mal calculados.
- Los puntos fueron mal graficados.

- Los datos han sido adulterados (los valores que se alejan mucho del promedio R fueron alterados u omitidos).
- Pudieron haberse mezclado en el subgrupo un tipo diferente de datos o datos de factores diferentes (máquinas, materiales, mano de obra diferentes).

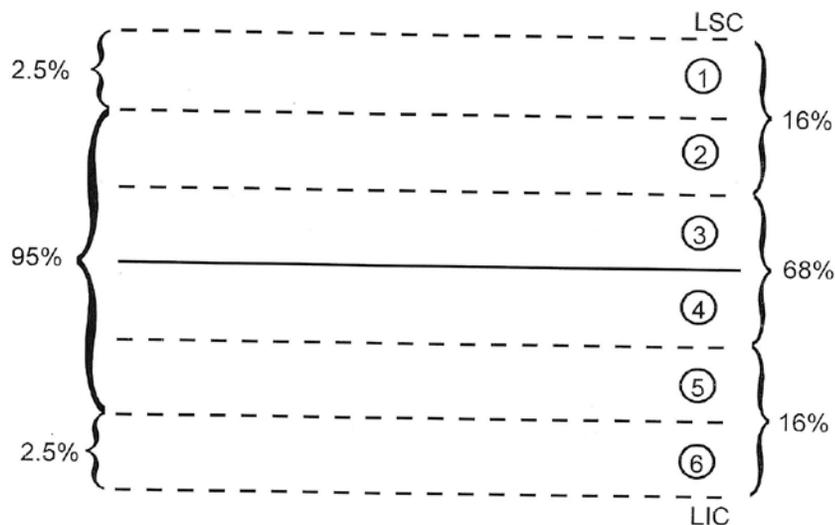
Si una cantidad substancialmente mayor de 1/3 se encuentra dentro de los tercios exteriores, existe adhesión a los límites de control.



Cuando esta situación se presenta, es necesario verificar lo siguiente:

- Los límites de control han sido mal calculados.
- Los puntos han sido mal graficados.
- El proceso o el método de muestreo es tal, que los subgrupos contienen mediciones de dos o más factores diferentes.

Para entender la adhesión, se subdivide la distancia del límite inferior al superior en seis partes iguales.



Aproximadamente el 60% de los puntos deberían encontrarse en la zona 3 y 4, 16% en la zona 1 y 2 y lo mismo en 5 y 6. Una discrepancia demasiado marcada en estos porcentajes implica adhesión.

Al límite central si 3 y 4 contiene más de lo esperado.

A límites de control si es al revés.

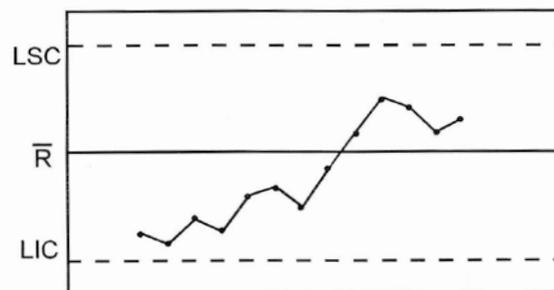
De la misma manera, lo normal es encontrar 95% de los datos en la zona 2,3,4 y 5, 2.5% en 1 y lo mismo en la 6. Todos estos porcentajes son propiedades de la distribución normal y permiten detectar muchos comportamientos anormales.

c) ¿Qué son las series?

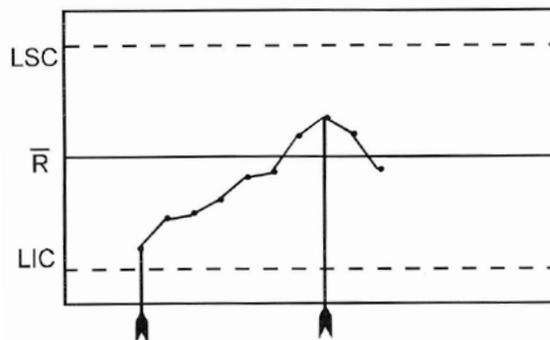
Una serie es una sucesión de puntos que indican la iniciación de una tendencia o desplazamiento del proceso.

Cuando 7 o más puntos consecutivos se alinean hacia un lado del promedio, la serie recibe el nombre de corrida.

Si 7 o más intervalos consecutivos se presentan con valores crecientes o decrecientes, la serie recibe el nombre de tendencia.



Este proceso presenta una corrida de 8 puntos abajo de \bar{R}



Este proceso muestra una tendencia ascendente de 8 intervalos en ascenso

Una serie por arriba del rango promedio (\bar{R}) puede significar:

- Mayor dispersión de los resultados, la cual puede venir de una causa irregular (funcionamiento del equipo) o un cambio en la distribución de los materiales (un nuevo material).

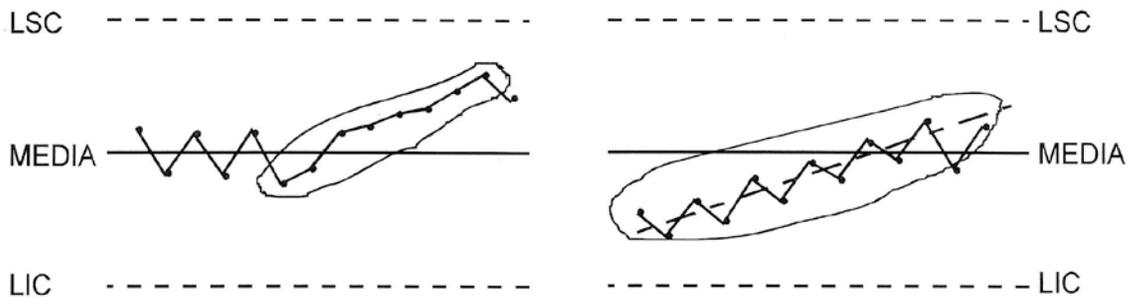
- Un cambio en el sistema de medición (cambio de inspector o de calibrador).

Una serie por debajo del rango promedio (R) puede significar:

- Menos variación en los resultados, lo cual es generalmente una buena condición que debe estudiarse para ampliar su aplicación.
- Un cambio acerca de las series:

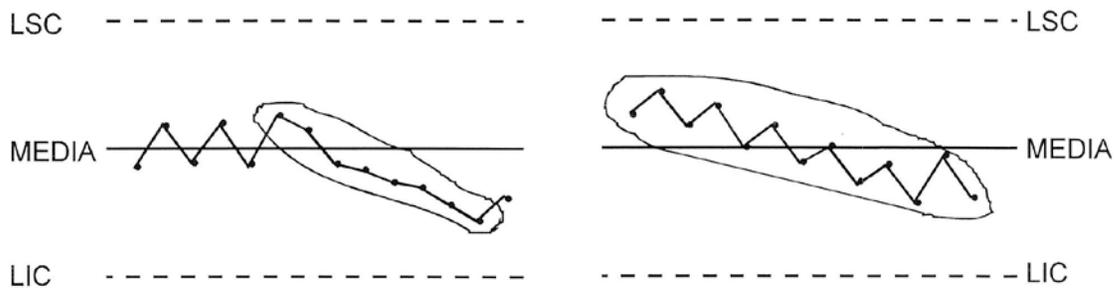
Otros comentarios acerca de las series:

1.- Una serie es una tendencia ascendente en puntos sucesivos (típicamente 7 u 8).



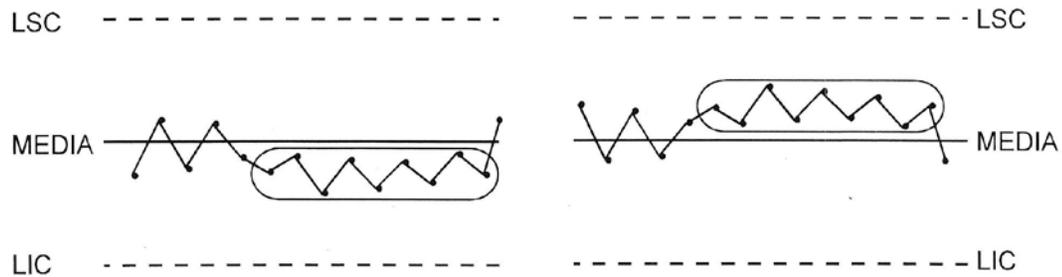
- Si se trata de gráficas por variable es indicativo de que la media del proceso ha aumentado.
- Si se trata de gráficas por atributos, además que ha empeorado el proceso.

2.- Una serie es una tendencia descendente en puntos sucesivos (típicamente 7 u 8).



- Si se trata de gráficas por variable es indicativo de que la media del proceso ha disminuido.
- Si se trata de gráficas por atributos, además una mejoría del proceso.

3.- Puntos sucesivos debajo o por encima de la media (típicamente 7 u 8).



- Si se trata de gráficas por variable puede significar que la media del proceso ha disminuido o aumentado respectivamente.
- Si se trata de gráficas por atributos, además son indicativos de una mejoría o empeoramiento del proceso, respectivamente.

¿Cuáles son las características de un patrón natural de comportamiento de una gráfica de control?

1. Los puntos no deben variar al azar, sin seguir ningún orden particular identificable.
2. La mayoría de los puntos deben estar cerca de la línea central.
3. El número de puntos de un lado de la línea central deberá ser aproximadamente igual al número de puntos del otro lado de la línea central.
4. La distribución normal tiene extremos que se extienden a $\pm 3\sigma$, por lo tanto, es natural que ocasionalmente algunos puntos se acerquen a los límites de control.
5. Ninguno de los puntos (o muy ocasionalmente algún punto) excederá los límites de control. Una regla práctica es considerar no más de un punto fuera de control en 35 puntos o 2 puntos en 100 puntos como evidencia de control.

Un patrón de control debe reunir todas las características anteriores simultáneamente.

2.2.1 Gráfico $\bar{X} - R$ (medias y rangos)

Las gráficas de control por variables es una herramienta poderosa que puede utilizarse cuando se dispone de mediciones de los resultados de un proceso. El diámetro de un cojinete en milímetros, el esfuerzo de cierre de una puerta en libras o el torque de un tornillo en libras-pie son algunos ejemplos típicos de aplicación. Las gráficas de control por variables más conocidas son las gráficas $\bar{X} - R$

Las gráficas de control por variables son particularmente útiles por varias razones:

1. La mayoría de los procesos y sus resultados tienen características que son medibles, por lo que su aplicación potencial es amplia

2. Un valor medible (por ejemplo, “el diámetro es 16.45 mm”) contiene más información que una simple afirmación de si-no (por ejemplo, “la pieza está dentro de tolerancia”).
3. A pesar de que el costo en la medición precisa de una pieza es mayor que el de establecer simplemente si la misma está bien o no, como se requieren menos piezas para obtener más información sobre el proceso, en algunos casos.
4. Debido a que se requiere medir una menor cantidad de piezas para tomar decisiones confiables, el período de tiempo entre la producción de las piezas y la acción correctiva puede ser acortado significativamente.

Pasos para la elaboración de las Gráficas de Control \bar{X} - R

Una gráfica de control \bar{X} - R muestra tanto el valor promedio (\bar{X}) como el rango R de nuestro proceso.

La porción \bar{X} de una gráfica muestra cualquier cambio en el valor promedio del proceso, mientras que la porción R muestra cualquier dispersión o variación del proceso. A continuación se describen los pasos a seguir para elaborar una gráfica de control \bar{X} - R.

Paso 1 Recolección de datos.

Los datos son resultado de la medición de las características del producto, los cuales deben ser registrados y agrupados de acuerdo al siguiente plan:

- Seleccione la frecuencia y el tamaño de la muestra

Para un estudio inicial de un proceso, las muestras (sub-grupos) deben ser formados de 4 a 8 piezas producidas consecutivamente; de esta manera las piezas en cada subgrupo estarán producidas bajo condiciones similares de producción. Generalmente se toma como valor típico de la muestra de 5 piezas consecutivas, ya que con menos de 5 empieza a perderse la sensibilidad de la gráfica para detectar problemas y, con más de 5 se obtiene muy poca información adicional.

Otra forma de tomar la muestra es a intervalos cortos de tiempo en forma consecutiva para detectar si el proceso puede cambiar o mostrar inconsistencia en breves períodos de tiempo. Se recomienda que el intervalo sea de $\frac{1}{2}$ a 2 horas, ya que con más frecuencia puede representar demasiado tiempo invertido y menos frecuente pueden perderse eventos importantes que sean poco usuales. Cuando el proceso es estable (a través del diagrama de causa-efecto) y, desde el punto de vista estadístico, deben recolectarse al menos 25 subgrupos.

- Establezca la forma en que se registrarán los datos.

Las gráficas de control normalmente son dibujadas con la gráfica \bar{X} arriba de la gráfica R e incluyen un conjunto de datos de identificación en la parte superior.

Los valores de \bar{X} - R serán registrados en forma vertical y la secuencia de los subgrupos a través del tiempo estarán en forma horizontal.

Paso 2 Calcule el promedio (\bar{X}) y el rango R para cada subgrupo.

El cálculo de \bar{X} y R para cada subgrupo se hace de la siguiente forma:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{n}$$

R = X mayor - X menor (dato mayor menos dato menor)

Donde X_1, X_2, \dots, X_n son los valores individuales en cada subgrupo y n es el tamaño de la muestra

- Seleccione la escala para las gráficas de control. En las escalas verticales de las gráficas X-R se indican los valores calculados de \bar{X} y R respectivamente. A continuación se presenta la forma general para determinar las escalas, aunque en circunstancias especiales deban ser modificadas. Para la gráfica \bar{X} la amplitud de valores en la escala debe incluir como mínimo el mayor de los siguientes valores: a) los límites de tolerancia especificados o b) 2 veces el rango promedio (\bar{R}) Para la gráfica R, los valores deben extenderse desde el valor de cero hasta el valor superior equivalente a 1½ a 2 veces el rango mayor obtenido en el período inicial de estudio. En general, la escala en la gráfica de rangos debe ser la mitad de la correspondiente a la gráfica de promedio.
- Trace la gráfica de rangos y promedios. Marcar con puntos los promedios y los rangos en sus respectivas gráficas y unirlos con líneas; esto nos ayudará tanto a visualizar la situación del proceso como su tendencia.

Paso 3 Calcule el rango promedio (\bar{R}) y el promedio del proceso ($\bar{\bar{X}}$)

Para el estudio de K subgrupos, calcular:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_N}{n}$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_K}{K}$$

Donde K es el número de subgrupos, R_1 y \bar{X}_1 son el rango y el promedio del primer subgrupo, R_2 y \bar{X}_2 son del segundo subgrupo, etc.

Paso 4 Calcule los Límites de Control.

Los límites de control son calculados para mostrar la extensión de la variación de cada subgrupo. El cálculo de los límites de control está basado en el tamaño del subgrupo.

Las fórmulas abreviadas para los límites de control sobre los promedios muestrales son:

$$\text{Límite de control superior} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{Límite de control inferior} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

Donde: $\bar{\bar{X}}$ = gran promedio = promedio de los promedios muestrales.
 \bar{R} = promedio de los rangos muestrales
 A_2 = constante que depende del tamaño de muestra.

Las fórmulas abreviadas para los límites de control sobre los rangos muestrales son:

$$\text{Límite control superior} = D_4 \bar{R}$$

$$\text{Límite de control inferior} = D_3 \bar{R}$$

Donde: D_3, D_4 son constantes que varían según el tamaño de la muestra.

Los valores de D_3, D_4 se encuentran en la siguiente tabla, así mismo también se encuentran en el formato sugerido para utilizar en las gráficas de control por variable, descrito anteriormente en este documento.

n	A_2	D_3	D_4	d_2
2	1.880	0	3.268	1.128
3	1.023	0	2.574	1.693
4	0.79	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.114	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.777	3.078

- Dibuje las líneas de promedios y límites de control en las gráficas.

Ejemplo:

A continuación se presentan los datos recolectados en la empresa "Autos, S.A." de la operación de doblado del clip en el departamento de vestidura L.T.D. cuya característica de calidad es el diámetro de la ranura "A" cuya especificación es de 0.50 a 0.90 mm y cuya frecuencia de muestreo es de cada 2 horas con un tamaño de muestra de 5 unidades.

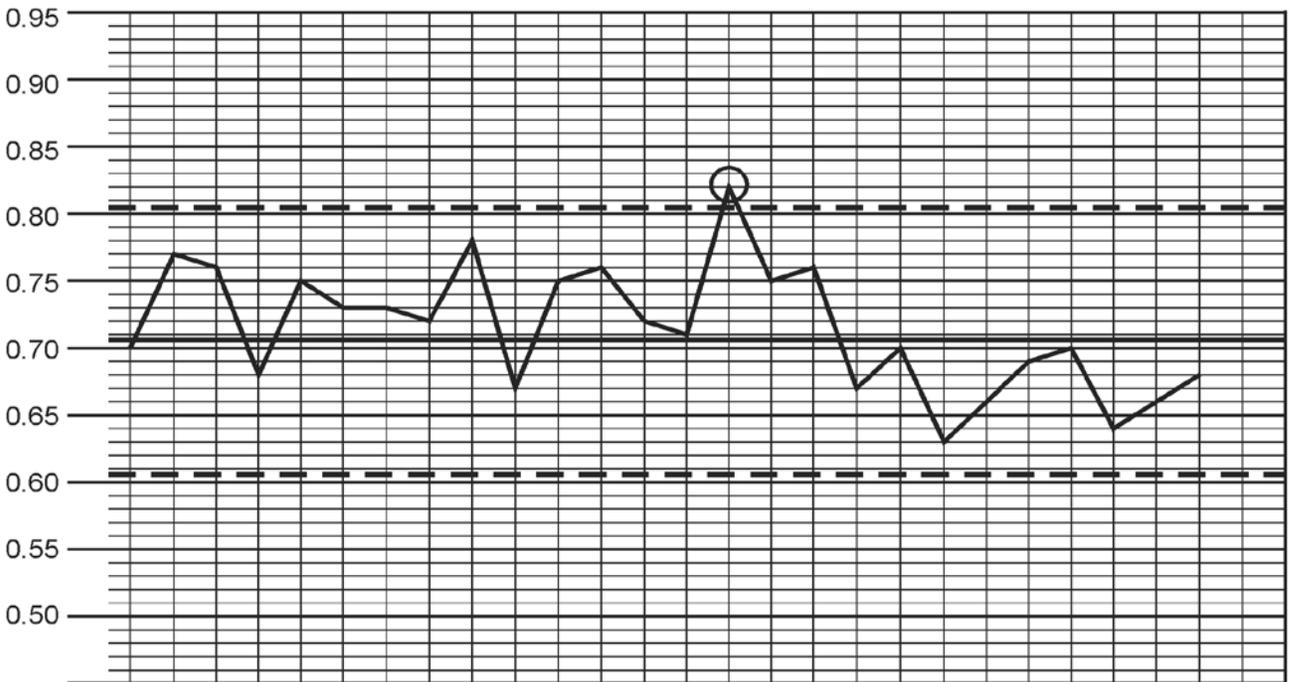
Dentro de la misma hoja se presentan todos los pasos para completar la gráfica de control.



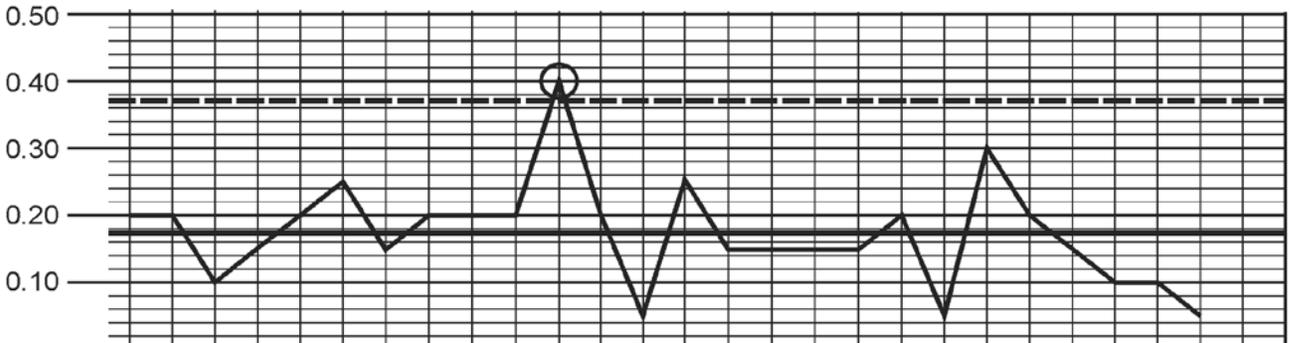
GRÁFICA DE CONTROL POR VARIABLES

PLANTA/DEPARTAMENTO L.T.D. Vestidura	NÚMERO Y NOMBRE DE OPERACIÓN O EQUIPO 0.30 Doblado de clip	No. DE PIEZA Y NOMBRE E2BB-12321-A Reten
CARACTERÍSTICA MEDIDA Ranura Diam. "A"	ESPECIFICACIÓN 0.50 a 0.90 mm	ITEM CRITICO <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
NOMBRE DEL OPERADOR Federico García López	TURNO 1	FREC./TAMAÑO DE MUESTRA 5/cada 2 horas

GRÁFICA \bar{X} : PROMEDIO $\bar{X}=0.7146$ LSC = $\bar{X}+A_2\bar{R}=0.7146+0.577*0.173=0.814$ LIC = $\bar{X}-A_2\bar{R}=0.7146-0.577*0.173=0.614$



GRÁFICA \bar{R} : PROMEDIO $\bar{R}=0.173$ LSC = $D_4\bar{R}=2.114*0.173=0.365$ LIC = $D_3\bar{R}=0*0.173=0$



FECHA/HORA	6/10	6/12	6/14	6/17	7/10	7/12	7/14	7/17	8/10	8/12	8/14	8/17	9/10	9/12	9/14	9/17	10/10	10/12	10/14	10/17	11/10	11/12	11/14	11/17	12/10	12/12	
LECTURAS	1	0.65	0.75	0.75	0.60	0.70	0.60	0.75	0.60	0.65	0.60	0.80	0.85	0.70	0.65	0.90	0.75	0.75	0.75	0.65	0.60	0.50	0.60	0.80	0.65	0.65	0.70
	2	0.70	0.85	0.80	0.70	0.75	0.75	0.80	0.70	0.80	0.70	0.75	0.75	0.70	0.70	0.80	0.80	0.70	0.70	0.65	0.60	0.55	0.80	0.65	0.60	0.70	0.65
	3	0.65	0.75	0.80	0.70	0.65	0.75	0.65	0.80	0.85	0.60	0.90	0.85	0.75	0.85	0.80	0.75	0.85	0.60	0.85	0.65	0.65	0.65	0.75	0.65	0.70	0.70
	4	0.65	0.85	0.70	0.75	0.85	0.85	0.75	0.75	0.85	0.80	0.50	0.65	0.75	0.75	0.75	0.80	0.70	0.70	0.65	0.60	0.80	0.65	0.65	0.60	0.60	0.70
	5	0.85	0.65	0.75	0.65	0.80	0.70	0.70	0.75	0.75	0.65	0.50	0.70	0.70	0.60	0.85	0.65	0.80	0.60	0.70	0.65	0.60	0.75	0.65	0.70	0.65	0.65
SUM.	3.50	3.85	3.80	3.40	3.75	3.65	3.65	3.60	3.90	3.35	3.75	3.80	3.60	3.55	4.10	3.75	3.80	3.35	3.50	3.10	3.30	3.45	3.50	3.20	3.30	3.40	
\bar{X}	0.70	0.77	0.76	0.68	0.75	0.73	0.73	0.72	0.78	0.67	0.75	0.76	0.72	0.71	0.82	0.75	0.76	0.67	0.70	0.62	0.66	0.69	0.70	0.64	0.66	0.68	
R	0.20	0.20	0.10	0.15	0.20	0.25	0.15	0.20	0.20	0.20	0.40	0.20	0.05	0.25	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20	0.05	0.30	0.20	0.15	0.10	0.10	0.05	

Si analizamos nuestra gráfica por variables del ejercicio anterior podemos hacer varias conclusiones:

De la Gráfica de Rangos.

- Alrededor de 2/3 de los puntos están dentro del tercio medio de los Límites de Control (16 de 25) Por lo cual no hay adhesión en este proceso.
- Un punto está fuera de los Límites de Control (correspondiente al 8/14).
- No existe tendencia.
- Existe cambios bruscos.

De la Gráfica de Medias.

- 16 de 25 puntos se encuentran en los tercios exteriores, por lo que existe una adhesión a los Límites de Control; posible falta de control en el proceso.
- Un punto está fuera de los límites de Control.
- Una sucesión de 8 puntos por debajo del promedio del proceso; se sospecha una alteración del proceso.

2.2.2 Gráfico $\bar{X} - S$ (medias y desviaciones)

Los gráficos de control de medias \bar{X} y desviación estándar S, se construyen de forma similar a los gráficos de medias \bar{X} y rangos R; solamente que ahora calcularemos la media de la muestra y la desviación estándar de la muestra.

Generalmente es preferible trabajar con los gráficos de control \bar{X} y S, que con los gráficos \bar{X} y R. Fundamentalmente por las mejores propiedades estadísticas de la desviación estándar en comparación a las del rango.

Para calcular la desviación de cada subgrupo, si tenemos el tamaño del subgrupo (n), la desviación estándar de cada muestra se calcula con la siguiente fórmula:

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

El principio para el cálculo de los límites de control, en las gráficas de medias y desviaciones es el mismo que para el de medias y rangos, es decir tienen sus propios límites $\pm 3\sigma$. La única diferencia es que la medida de dispersión una utiliza el rango de la muestra, y la otra, la desviación estándar muestral.

Las fórmulas para el cálculo de los límites de control son:

En el caso de la gráfica de medias:

$$\text{LIMITE INFERIOR} = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$$

$$\text{LIMITE CENTRAL} = \bar{\bar{X}}$$

$$\text{LIMITE SUPERIOR} = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$$

En el caso de la gráfica de desviaciones

$$\text{LIMITE INFERIOR} = B_3\bar{S}$$

$$\text{LIMITE CENTRAL} = \bar{S}$$

$$\text{LIMITE SUPERIOR} = B_4\bar{S}$$

Constantes para las gráficas $\bar{X} - S$

N	A ₃	B ₃	B ₄	D ₂
2	2.659	0	3.267	1.128
3	1.954	0	2.568	1.693
4	1.628	0	2.266	2.059
5	1.427	0	2.089	2.326
6	1.287	0.030	1.970	2.534
7	1.182	0.118	1.882	2.704
8	1.099	0.185	1.815	2.847
9	1.032	0.239	1.761	2.970
10	0.975	0.284	1.716	3.078

Tabla 1.13 Valores de las constantes A₂, D₃, D₄ y d₂

Ejemplo:

En la empresa “El Birlito S.A.” se fabrican bridas para gas, para mejorar la producción se decide utilizar gráficas de control para la característica de calidad que ha estado fallando con mayor frecuencia. Esta característica tiene una especificación de calidad de 1230mm ± 15mm. Para esto se decide tomar 4 muestras cada dos horas por la mañana que es cuando más se producen defectos. Los datos recolectados aparecen en la siguiente gráfica. Los valores están dados por encima de 1200mm.

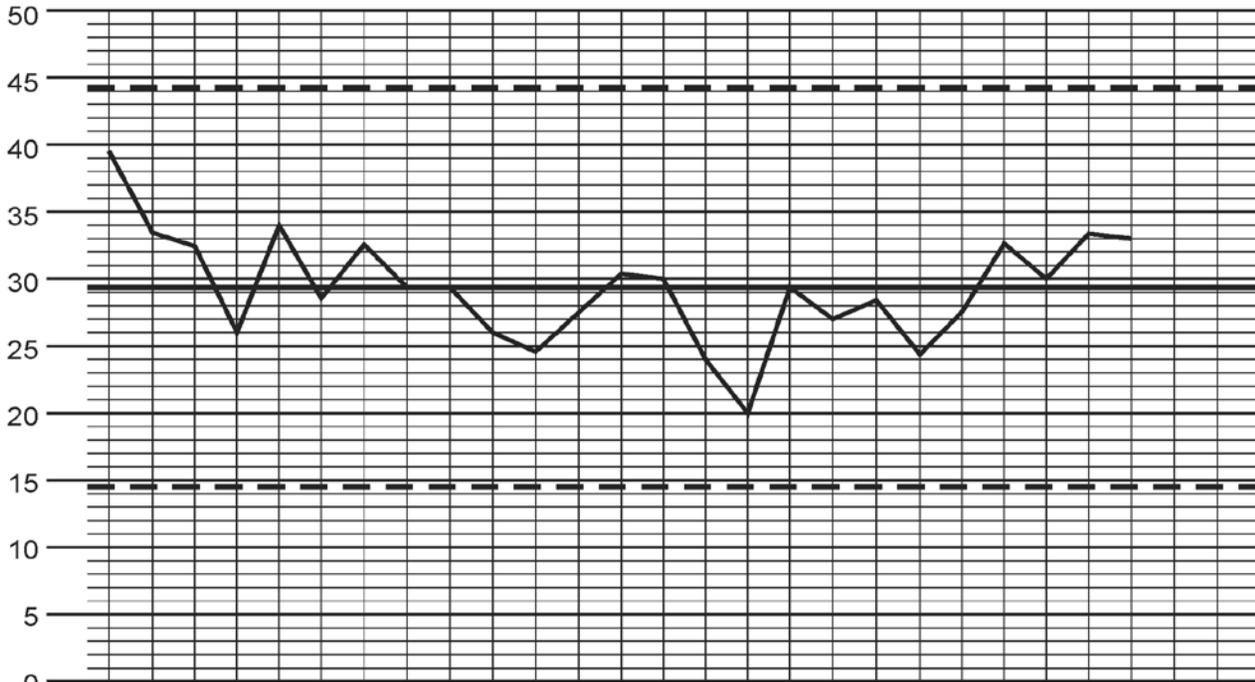
Se van a colocar los datos y sus cálculos de los límites y se graficaran.



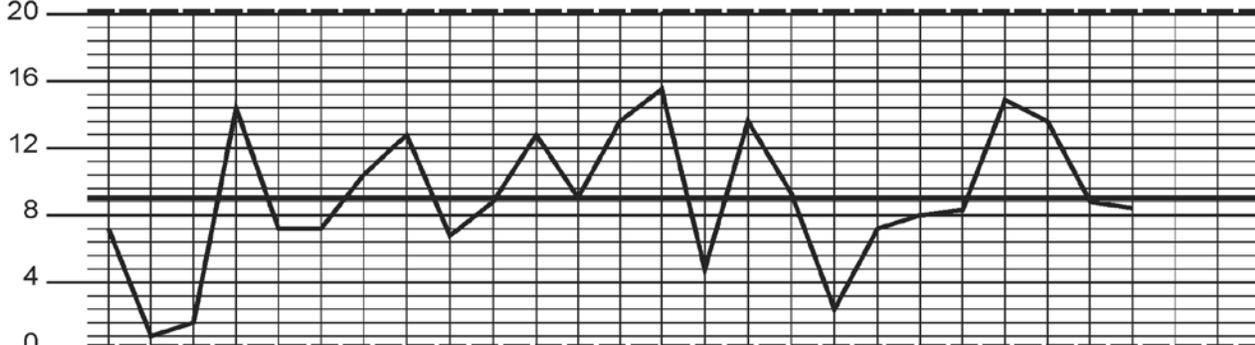
GRÁFICA DE CONTROL POR VARIABLES

PLANTA/DEPARTAMENTO Maquinado	NÚMERO Y NOMBRE DE OPERACIÓN O EQUIPO C2-1 Corte	No. DE PIEZA Y NOMBRE E21-92-A Perno
CARACTERÍSTICA MEDIDA Ranura Diam. "A"	ESPECIFICACIÓN 1215 a 1245 mm	ITEM CRITICO SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
NOMBRE DEL OPERADOR Federico García López	TURNO 1	FREQ./TAMAÑO DE MUESTRA 4/cada 2 horas

GRÁFICA \bar{X} : PROMEDIO $\bar{X}=29.38$ $LSC = \bar{X} + A_3\bar{S}=29.38+1.628*9.168=44.30$ $LIC = \bar{X} - A_3\bar{S}=29.38-1.628*9.168=14.45$



GRÁFICA \bar{S} : PROMEDIO $\bar{S}= 9.168$ $LSC = B_4\bar{S}=2.266*9.168=20.77$ $LIC = B_3\bar{S}=0*9.168=0$



FECHA/HORA	2/8	2/10	2/12	2/14	3/8	3/10	3/12	3/14	4/8	4/10	4/12	4/14	5/8	5/10	5/12	5/14	6/8	6/10	6/12	6/14	7/8	7/10	7/12	7/14	8/8	
LECTURAS	1	47	33	34	12	35	19	23	33	25	29	40	21	26	52	16	19	28	29	21	24	28	41	14	32	42
	2	32	33	34	21	23	37	45	12	22	32	18	18	35	29	20	1	34	25	37	22	39	32	23	28	34
	3	44	34	31	24	36	31	26	29	37	30	30	36	31	21	30	30	39	24	32	16	33	46	41	46	22
	4	35	34	34	47	40	27	37	43	33	13	11	34	29	18	20	30	17	30	25	35	21	12	42	27	34
	5																									
SUM.	158	134	133	104	136	114	131	117	117	104	29	109	121	120	96	80	118	108	115	97	111	131	120	133	132	
\bar{X}	39.5	33.5	33.25	26.0	34.0	28.5	32.75	29.25	29.25	26.0	24.75	27.25	30.25	30.0	24.0	20.0	29.5	27.0	28.75	24.25	27.75	32.75	30.0	33.25	33.0	
S	7.1	0.6	1.5	14.9	7.6	7.6	10.1	12.9	7.0	8.8	12.8	9.1	13.8	15.4	4.9	13.7	9.5	2.9	7.1	7.9	8.1	15.0	13.8	8.8	8.3	

Si analizamos la anterior gráfica tenemos:

Para la gráfica de medias:

- Aunque todos los puntos dentro del proceso están dentro de los límites de control, el problema se presenta por la gran dispersión que se presentan en sus datos.

Para la gráfica de Desviaciones:

- Se tienen cambios bruscos.
- Un punto cercano al límite inferior de control.
- La mayor parte de los puntos se encuentran en los 2/3, por lo que se considera correcto.
- El problema es la gran dispersión que se tienen en los datos.

Se deben hacer un análisis profundo de las causas que están causando esta dispersión, para tratar de corregirla y evitar que sigan saliendo productos defectuosos, que lo único que hacen es encarecer el producto, con la posible pérdida de los clientes.

2.2.3 Gráfico \bar{X} de individuales (también llamado gráfico de rangos móviles)

Cuando hablamos de los gráficos de control \bar{X} -R y \bar{X} -S, tomamos subgrupos racionales, cuyo tamaño es normalmente 5. A medida que el tamaño del subgrupo racional sea más grande, aumenta la sensibilidad de los gráficos de control para detectar los cambios en la media o la variabilidad.

En algunas ocasiones, por cuestiones prácticas, es conveniente tomar subgrupos de tamaño 1, en ese caso trabajaremos con el gráfico de control \bar{X} -Rm, de datos individuales y rangos móviles.

Si estamos muestreando algún tipo de líquido, generalmente el comportamiento es homogéneo en cuanto a sus propiedades, de tal suerte que si tomamos cinco muestras para formar un subgrupo racional, nos daríamos cuenta que las lecturas serían prácticamente idénticas. Así que, en estos casos, sería suficiente con tomar un subgrupo racional de tamaño 1.

En algunos casos la producción es demasiado baja, por ejemplo si se hace un producto por hora, por día, por semana o algún intervalo largo de tiempo. En ese caso, no tiene sentido formar subgrupos racionales de varios productos, ya que en el periodo en que se fabricaron esos productos las condiciones del proceso pudieron cambiar, así que no se satisface la condición de la muestra para que sea un subgrupo racional. En este caso lo indicado sería trabajar con gráficos de control de datos individuales y rangos móviles.

Cálculo de los Límites de Control

$$LCS_X = \mu_X + 3\sigma_X = \bar{X} + 3 \frac{\overline{Rm}}{d_2}$$

$$LC_X = \mu_X$$

$$LCI_X = \mu_X - 3\sigma_X = \bar{X} - 3 \frac{\overline{Rm}}{d_2}$$

En donde:

$$\hat{\sigma}_X = \frac{\bar{R}}{d_2} \text{ y } \hat{\mu}_X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \bar{X}$$

Para el gráfico de control de rangos móviles, tenemos que el rango móvil es un rango calculado sobre dos valores, recordaremos que en el tema 2.2.1 para el gráfico de Rangos, el gráfico de control \bar{X} -R, habíamos encontrado que los límites de control para el rango son:

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

$$LC_R = \bar{R}$$

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

Así que para este caso del rango móvil, las ecuaciones de los límites de control de gráfico del Rango Móvil, nos quedaría:

$$LCS_{Rm} = D_4 \overline{Rm}$$

$$LC_{Rm} = \bar{R}$$

$$LCI_{Rm} = D_3 \overline{Rm}$$

En una fábrica determinada, el Departamento Químico tiene la responsabilidad de preparar agua a baja temperatura con una solución de ácido al 9% mínimo, a fin de que la calidad del producto tratado sea la correcta.

De cada tambo de 200 litros preparado, se toma sólo una muestra con una probeta y se examina en el laboratorio para determinar el porcentaje de concentración del ácido. Las observaciones durante dos días consecutivos se encuentran en la siguiente gráfica, así como la gráfica resultante y los límites de control calculados.

Análisis de la gráfica

Gráfica de medias

- Existen puntos fuera de control.
- Esta propensa a una corrida de la lectura 13 a la 18 al existir seis puntos seguidos por arriba de la media.
- Existe tendencia del punto 13 al 20, con siete intervalos decrecientes. Además es propenso del 22 al 28.

Gráfica de Rangos

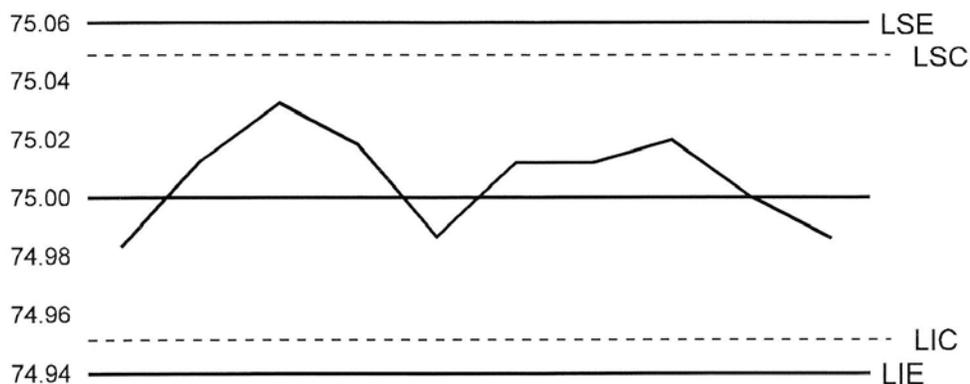
- Puntos fuera de los límites de control. En la gráfica salen los puntos 13 y 14, pero lo más probable es que el 14 salga por efecto del 13.
- Existe una corrida muy fuerte del punto 15 al 25 con 11 puntos por debajo de la media.
- No hay tendencia que sea observable.

2.3 Capacidad del Proceso C_p , C_{pk} , C_{pm} .

Como se mencionó en el punto 1.7 Habilidad y capacidad del proceso de este libro, trataremos de forma más profunda el tema, haciendo las operaciones necesarias para calcular los índices C_p (índice de capacidad potencial), C_{pk} (índice de capacidad real del proceso), C_{pm} .

En primer lugar si recordamos debemos de tener empleando las gráficas de control para una de las operaciones del proceso, ya que está nos permite visualizar el proceso y además de que nos da la información numérica de los datos que se van obteniendo de las lecturas.

Para analizar la relación entre los límites de control inherentes a la operación de un proceso (LSC y LIC) y los límites de especificación (LSE y LIE) dispondremos de un ejemplo: suponiendo que los límites de especificación son de LSE= 75.07 y de LIE= 74.93 dibujándolos en una gráfica de promedios \bar{X} para un tamaño de muestra de $n = 5$ obtendríamos lo siguiente:



Podemos observar que todos los puntos están dentro de los límites de control y dentro de los límites de especificación. De acuerdo a la primera observación, podemos decir que el proceso está dentro de Control estadístico. De cualquier manera es necesario considerar lo siguiente:

- Hay que revisar las lecturas individuales, ya que puede haber un porcentaje alto de piezas que puedan estar fuera de especificación aun cuando el proceso está dentro de Control Estadístico y
- Aun cuando los límites de especificación no son funciones del tamaño de muestra, los límites de control sí.

Con todo lo anterior concluimos lo siguiente:

1. El hecho de que un proceso esté en control estadístico, no implica que estemos elaborando un producto dentro de las especificaciones.
2. El estar dentro de control estadístico implica que el proceso de producción es consistente, pero nada nos dice acerca de las especificaciones.
3. No se deben comparar directamente los límites de control con los límites de especificación.
4. No existe relación algebraica o matemática entre límites de control y límites de especificación. Los límites de especificación se obtienen del mercado o del consumidor, lo que se desea que dé el proceso, sin embargo los límites de control provienen del proceso mismo, nos indican lo que el proceso es en sí, no lo que nosotros deseamos que sea.

Por lo tanto, a fin de poder obtener información de si un proceso está generando productos fuera de especificación (productos defectuosos), es necesario conocer su habilidad.

Si recordamos para calcular la tasa o índice de habilidad se emplea la siguiente fórmula cuando el proceso se está controlando con $\pm 3\sigma$:

$$C_p = \text{Índice de habilidad} = \frac{\text{Rango de especificación}}{\text{Habilidad del proceso}} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Donde: LES = Límite de especificación superior;

LEI = Límite de especificación inferior

Se puede utilizar $6s$ como una estimación de 6σ .

Así el C_p mide la capacidad *potencial*, suponiendo que el promedio del proceso es igual al punto medio de los límites de especificación y que el proceso está operando bajo control estadístico, es decir que los puntos de las muestras están dentro de los límites de control, como con frecuencia el promedio no se encuentra en el punto medio es útil tener un índice de habilidad que refleje ambas variaciones y la localización del promedio del proceso. Tal índice es el C_{pk} , llamada también índice de capacidad real.

El índice C_{pk} se calcula mediante:

$$C_{pk} = \min \left[\frac{\bar{X} - LEI}{3s}, \frac{LES - \bar{X}}{3s} \right]$$

En un ejemplo se tienen los siguientes datos:

$$\begin{array}{ll} LES = 20 & \bar{X} = 16 \\ LEI = 8 & s = 2 \end{array}$$

La razón de habilidad estándar se estima como:

$$\frac{LES - LEI}{6\sigma} = \frac{20 - 8}{12} = 1.0$$

Lo que implica que si el proceso se centra entre los límites de especificación (límite central en 14), entonces sólo una pequeña proporción (alrededor de 0.27%) de producto será defectuoso.

Sin embargo, cuando se calcula C_{pk} se obtiene

$$C_{pk} = \min \left[\frac{16 - 8}{6}, \frac{20 - 16}{6} \right] = 0.67$$

Lo que advierte que la media del proceso está actualmente más cerca del LES. (Observe que si el proceso se centrara en 14, el valor de C_{pk} sería 1.0) Un proceso aceptable requerirá reducir la desviación estándar y/o que la media se centre.

Note que si el promedio actual es igual al punto medio del rango de especificación, entonces $C_{pk} = C_p$.

Análisis de la habilidad de la máquina

En un estudio del potencial de un proceso, se recolectan datos del proceso en operación sin cambios en los lotes de material, los trabajadores, las herramientas o el establecimiento del proceso. Esta evaluación a corto plazo usa una producción consecutiva durante un periodo. Este análisis debe estar precedido por un análisis de gráficas de control en el que se haya detectado y eliminado del proceso cualquier causa atribuible.

Como los límites de especificación por lo general se aplican a valores individuales, los límites de control de los promedios muestrales no se pueden comparar con los límites de especificación. Para hacer una comparación, se debe primero convertir \bar{R} a la desviación estándar para los valores individuales, se calculan los límites $\pm 3\sigma$ y se comparan después con los límites de especificación. Esto se explica enseguida.

Si un proceso se encuentra en control estadístico, está operando con la cantidad mínima de variación posible (la variación debida a causas aleatorias). La siguiente relación se cumple para usar s como una estimación de σ si, y sólo si, un proceso se encuentra en control estadístico:

$$s = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

La tabla 1.13 proporciona los valores de d_2 . Conociendo la desviación estándar se pueden establecer los límites de habilidad del proceso en $\pm 3s$ y usar esto como la estimación de 3σ .

Ejemplo: para los datos del ejemplo de la primera gráfica de control por variables del capítulo dos tenemos:

$$s = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0.173}{2.326} = 0.0743$$

Si el proceso es estable, podemos estimar los parámetros \bar{X} y σ' a partir del valor \bar{R} y comparar con los límites de especificación.

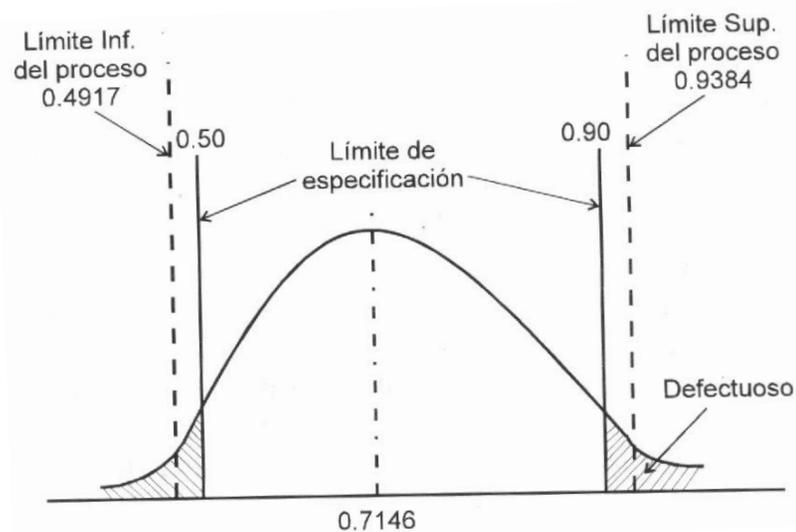
$$\bar{X}' = \bar{\bar{X}} \quad \text{de donde} \quad \bar{X}' = 0.7146 \quad \text{y} \quad \sigma' = 0.0743$$

Mientras el proceso se mantenga estable, el producto se estará produciendo con una tendencia central $\bar{X}'=0.7146$ y con variaciones en la característica de calidad controlada entre $\bar{X}' = \pm 3\sigma'$ o sea:

$$0.7146 + 3(0.0743) = 0.9348 \quad \text{superior}$$

$$0.7146 - 3(0.0743) = 0.4917 \quad \text{inferior}$$

Representando gráficamente estas condiciones, nos queda:



El proceso se encuentra centrado, pero los límites de especificación son más estrechos que los límites del proceso, de modo que se sigue obteniendo producto defectuoso.

El porcentaje de producto defectuoso es:

$$Z = \frac{0.90 - 0.7146}{0.0743} = 2.495; \quad Z = \frac{0.50 - 0.7146}{0.0743} = -2.888$$

Área entre $+\infty$ y 2.495 = 0.0064

Área entre $-\infty$ y -2.888 = 0.0019

% total defectuoso 0.0083

Y si calculamos su habilidad potencial, entonces tenemos:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6s} = \frac{0.90 - 0.50}{6(0.0743)} = 0.897$$

Por lo que podemos concluir que el proceso no es capaz debido a que el proceso aunque se encuentra centrado, los límites de control están fuera de los límites de especificación, por lo que se estará produciendo un 0.0083% de productos defectuosos, el cual se considera pequeño y por otra parte el índice de habilidad es menor de 1 por lo que el proceso no es hábil, se deben tratar de corregir las variaciones excesivas o en su defecto hacer más grandes los límites de especificación para evitar que se sigan produciendo productos defectuosos.

En la práctica, el análisis de las gráficas de control original con frecuencia mostrará que el proceso se encuentra bajo control estadístico. (Puede o no estar cumpliendo con las especificaciones de producto). Sin embargo, una investigación puede demostrar que las causas no pueden eliminarse del proceso en forma económica. En teoría, no debe hacerse una predicción de la habilidad del proceso hasta que éste se encuentre en estado de control estadístico. No obstante en la práctica, se necesita algún tipo de comparación de la habilidad con las tolerancias del producto. El peligro de retrasar esta comparación es que es posible que nunca se eliminen del proceso las causas asignables. La indecisión que resulta, por lo tanto, prolongará la discusión entre los departamentos sobre si "las tolerancias son demasiado estrechas" o la "manufactura es demasiado descuidada".

Es importante distinguir entre un proceso que se encuentra en estado de control estadístico y un proceso que está cumpliendo con las especificaciones. Un estado de control estadístico no necesariamente significa que el producto de ese proceso sale conforme a las especificaciones. Los límites de control estadístico sobre los promedios muestrales no pueden compararse directamente con los límites de especificación porque los límites de control se refieren a las unidades individuales. Algunos procesos no están bajo control, pero se cumplen las especificaciones y no se requiere ninguna acción; otros procesos se encuentran bajo control pero no se cumplen las especificaciones y se necesita hacer algo al respecto.

En resumen, se necesitan procesos que sean tanto estables (bajo control estadístico) como hábiles (cumplen las especificaciones del producto).

Un estudio del desempeño del proceso recolecta datos de un proceso que está operando bajo las condiciones normales, pero incluye los cambios normales en los lotes de material, los trabajadores, las herramientas y la preparación. Este estudio, que abarca un

periodo mayor que el estudio del potencial del proceso, también requiere que el proceso se encuentre en estado de control estadístico.

El índice de habilidad para un estudio del desempeño del proceso es:

$$C_{pk} = \min \left[\frac{\bar{X} - LSE}{3s}, \frac{\bar{X} - LIE}{3s} \right]$$

Aplicando está fórmula para el problema anterior tenemos:

$$C_{pk} = \min \left[\frac{0.7146 - 0.50}{3(0.0743)}, \frac{0.90 - 0.7146}{3(0.0743)} \right] = \min[0.962, 0.831]$$

$$C_{pk} = 0.831$$

Por lo que tampoco se considera un valor aceptable.

Al usar C_{pk} para evaluar un proceso, debe reconocerse que C_{pk} es una abreviatura de dos parámetros: el promedio y la desviación estándar. Tal abreviatura puede ocultar, sin que se note, importantes detalles sobre estos parámetros, por ejemplo, la siguiente figura indica que tres procesos completamente diferentes pueden tener el mismo C_{pk} (en este caso $C_{pk}=1$).

El aumento del valor de C_{pk} puede requerir un cambio en el promedio del proceso, en la desviación estándar del mismo o en ambos. Para algunos procesos, puede ser más sencillo aumentar el valor de C_{pk} cambiando el valor del promedio (quizá mediante un sencillo ajuste en la meta del proceso) que reduciendo la desviación estándar (con la investigación de muchas causas de variabilidad). Siempre debe revisarse el histograma del proceso para resaltar tanto su promedio como su dispersión.

