Control Estadístico de Calidad

Prof. Zoritza Bravo

Conceptos básicos y variabilidad

CALIDAD
(ISO 9000:2000)

- Grado en el que un conjunto de características (rasgos diferenciadores) inherentes (existen en algo, especialmente como características permanentes) cumple con los requisitos (necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria).

Dimensiones de la calidad
(Garvin, 1987)

La calidad de un producto se puede evaluar de varias formas:

1. **Desempeño.** ¿Desempeñará el producto la función para la cual fue creado?
2. **Confiabilidad.** ¿Con qué frecuencia falla el producto?
3. **Durabilidad.** ¿Cuánto dura el producto?
4. **Disponibilidad del servicio.** ¿Qué tan fácil es reparar un producto?

Dimensiones de la calidad
(Garvin 1987)

5. **Estética.** ¿Cómo se ve el producto?
6. **Características distintivas.** ¿Qué más hace el producto?
7. **Calidad percibida.** ¿Cuál es la reputación de la compañía o de sus productos?
8. **Conformancia o cumplimiento con los estándares.** ¿Está hecho el producto conforme el diseñador lo pretendía?

Calidad significa adecuación para el uso

- **Calidad de conformancia**. Qué tan bien cumple un producto o servicio con las especificaciones de diseño. Se ve afectada por: el proceso de manufactura, el entrenamiento y la supervisión, el sistema de calidad, el grado al cual se aplican los procedimientos del sistema de calidad y la motivación de la fuerza de trabajo, entre otros factores.

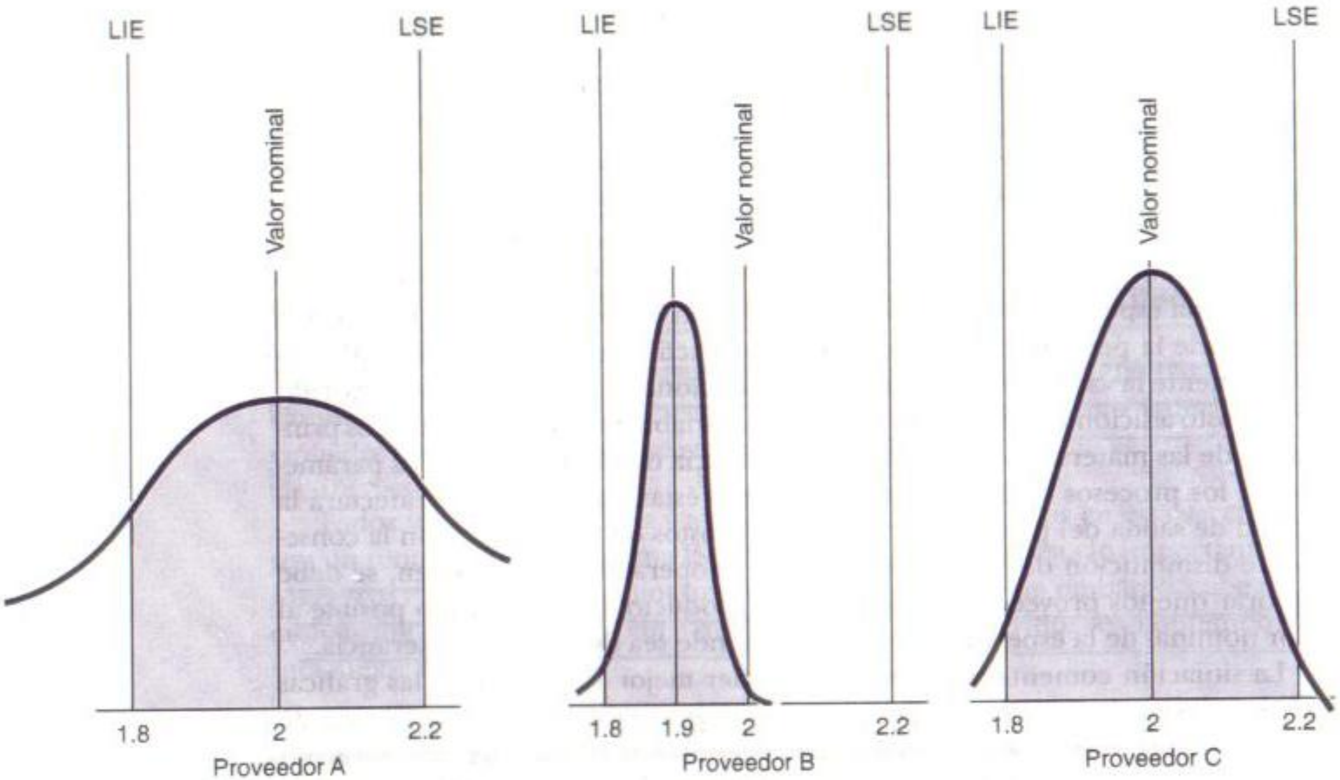
Procesos Productivos

- Los procesos productivos son incapaces de producir dos unidades de producto exactamente iguales. Esto se debe a un sin número de causas que provocan variación y que por lo tanto es necesario controlarlas cuando se presentan en exceso.

Variabilidad
(Devor, 1992)

- No existen dos productos exactamente iguales.
- La falla de un producto para alcanzar la función que se pretende, según el cliente, puede surgir de alguna o de las dos siguientes fuentes:
  - Falla para lograr el desempeño nominal requerido por el diseño.
  - Variación excesiva alrededor del nivel de desempeño nominal pretendido.

Variabilidad de los procesos



Causas de variación

- *Causas no Asignables*

Ocurren al azar y se deben a la naturaleza tecnológica de máquinas, procesos y materiales. Estas causas tienen una influencia muy pequeña sobre la calidad del producto y no son determinantes para que el proceso salga fuera de control. Estas causas son independientes entre sí.

Causas de variación

- *Causas Asignables*

Ocurren debido al comportamiento anormal de uno o más factores de calidad, son pocas en número pero de gran influencia en la calidad del producto. Estas causas pueden ser estudiadas a fondo para disminuir o anular su influencia.

Ejemplo

❖ Una operación de corte de lámina, ejecutada en una guillotina, se efectúa siguiendo este procedimiento:

i. Colocar la lámina bajo la guillotina y sujetarla con el dispositivo.
ii. Accionar la palanca de avance para que la guillotina baje.
iii. Cortar la lámina.
iv. Accionar la palanca de avance para que la guillotina suba.
v. Descargar las dos piezas y colocarlas a un lado de la guillotina.

Ejemplo

- *Causas imputables al hombre*
  - Falta de adiestramiento
  - Exceso de confianza
  - Descuido
  - Desmotivación
  - Negligencia

- *Causas imputables a la máquina*
  - Filo de la cuchilla
  - Lubricación de partes mecánicas
  - Desajustes de cuchilla
  - Golpe de la guillotina
  - Desajuste de dispositivo
  - Dispositivo mal colocado

Ejemplo

- *Causas imputables al método de trabajo*
  - Puesto de trabajo mal diseñado
  - Distancia a la palanca
  - Método de carga y descarga
  - Accionar de la pieza no controlado

- *Causas imputables a la materia prima y materiales*
  - Dureza de la lámina
  - Láminas torcidas
  - Porosidad
  - Defectos superficiales
  - Brillo
  - Granulación
  - Rayaduras

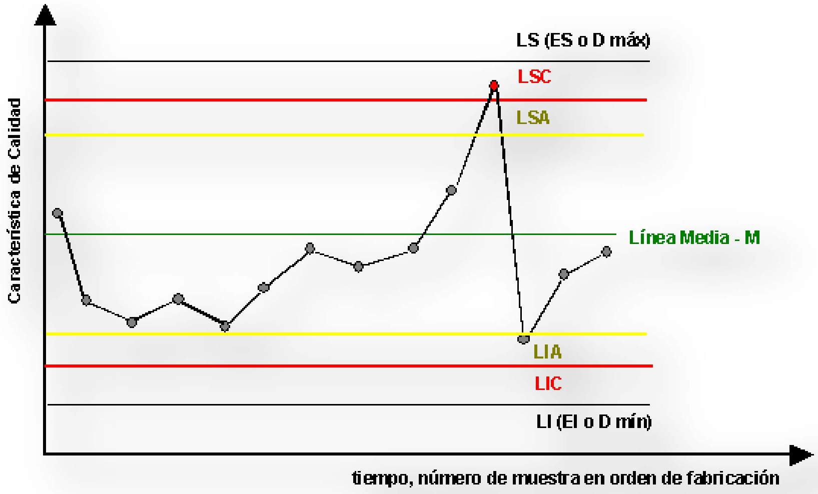
Mejoramiento de la calidad

- Reducción de la variabilidad en procesos y productos. Excesiva variabilidad en el desempeño de un proceso se traduce frecuentemente en desperdicios.

Control estadístico de la Calidad

- Consiste en el acopio, análisis e interpretación de datos para su uso en el control de calidad. Dos elementos importantes del CEC son el Control Estadístico de Procesos (CEP) y el Muestreo de Aceptación.

Gráficas de Control



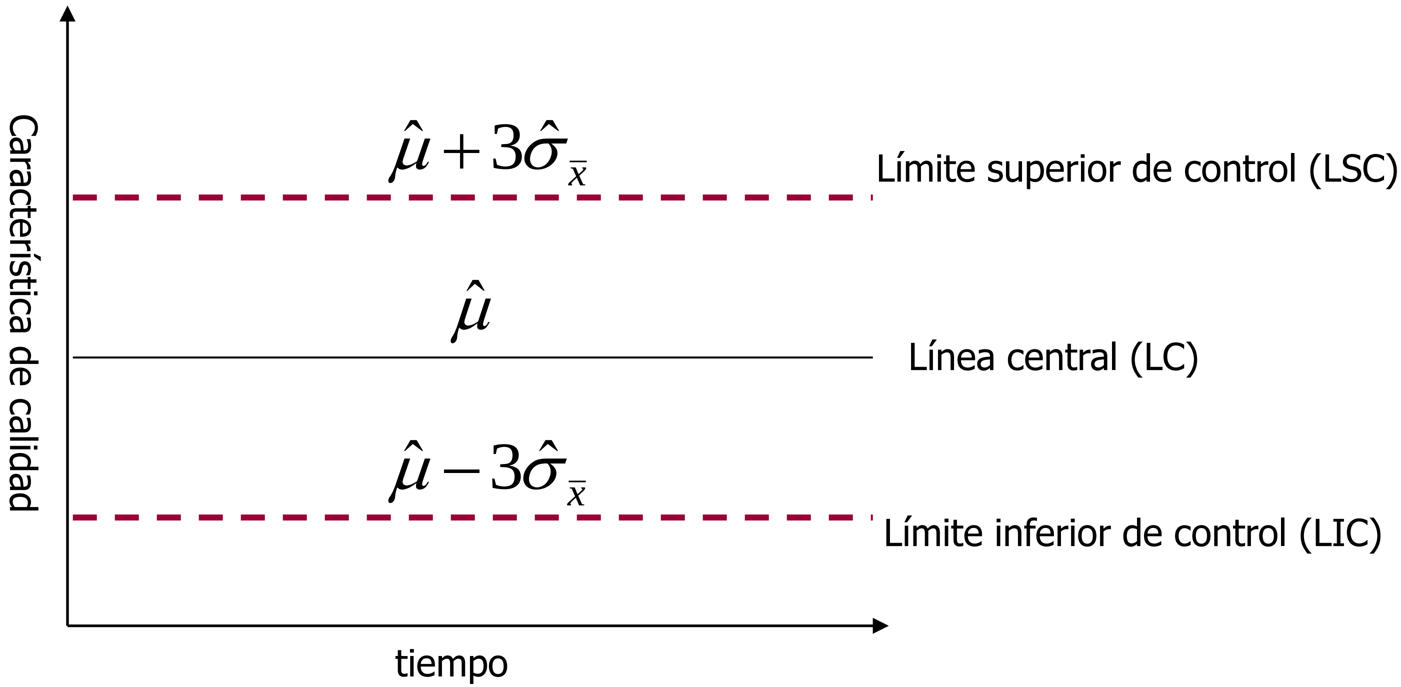
Gráficas de control

- El gráfico de control es una forma gráfica y cronológica de representar el comportamiento de una o más características de calidad, fijando límites que sean acordes con experiencias y valores especificados y previamente establecidos. Fueron propuestos por primera vez por el Dr. Walter A. Shewhart.

Gráficas de control

- Estadísticamente, el gráfico de control se puede definir como un intervalo de confianza en una escala serie-tiempo, en donde los límites de control son niveles de significación, con sus coeficientes correspondientes a la desviación estándar de la característica en estudio.

Gráficas de control



Dónde el tiempo representa la muestra o subgrupo

Gráficas de control

- El objetivo es llevar un estudio detallado del comportamiento de la variable con el fin de tomar las acciones correctivas y en especial preventivas para que las anomalías no se presenten.

- Los gráficos de control para variables se componen de dos partes: una se basa en promedios y controla la exactitud; la otra se basa en medidas de dispersión y controla la precisión.

Gráficas de control

- Las gráficas de control nos muestran cómo se compara una característica a través del tiempo.
- Si todos los puntos están dentro de los límites y no siguen un patrón específico, se dice que el proceso está *bajo control o bajo control estadístico*.
- Los límites de control dependen del comportamiento de los datos.

Gráficas de control

- Concepto de control estadístico de Shewhart:
  - Se dice que un fenómeno está controlado cuando, a través del uso de la experiencia pasada, se puede predecir al menos dentro de ciertos límites como se espera que varie el fenómeno en el futuro.
  - Si un proceso no está en estado controlado, la productividad o el éxito económico no se garantiza.

Gráficas de control

- **Límites de especificación:** dependen del diseño o del cliente.

- **Límites de control:** los determina el proceso.

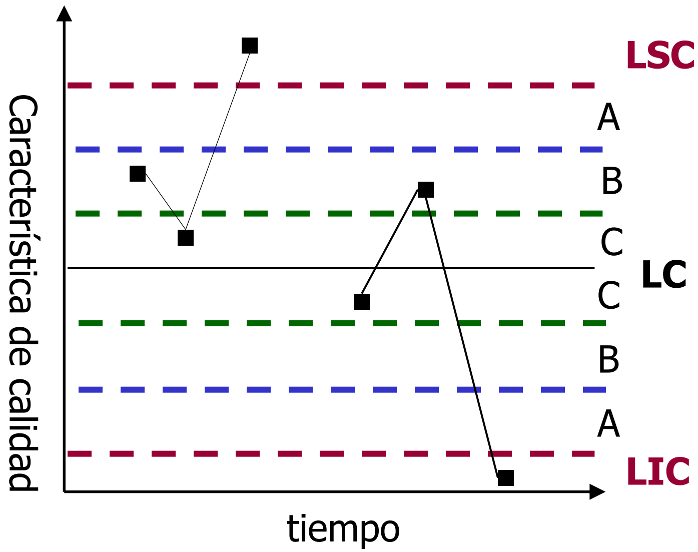
Zonas de una gráfica de control

- Zona A= media + 3σ= 99% de los datos
- Zona B= media + 2σ= 95% de los datos
- Zona C= media + σ = 68% de los datos

Gráficas de control

Ocho pruebas para verificar que una gráfica está bajo control estadístico

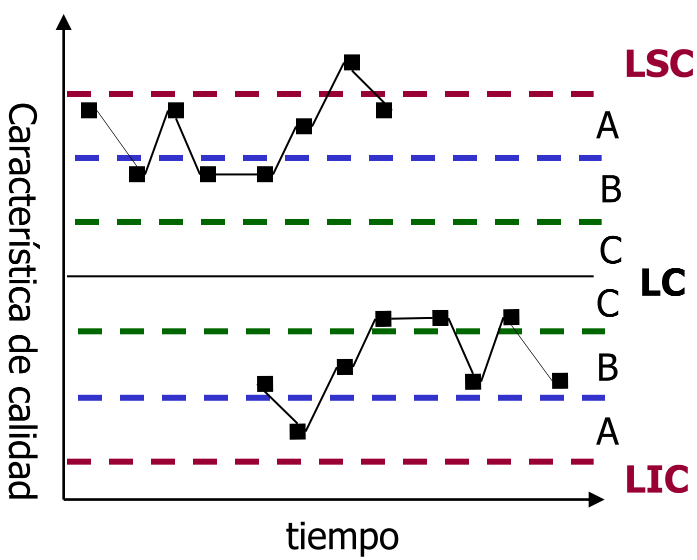
Prueba # 1: un dato fuera del límite de control



Gráficas de control

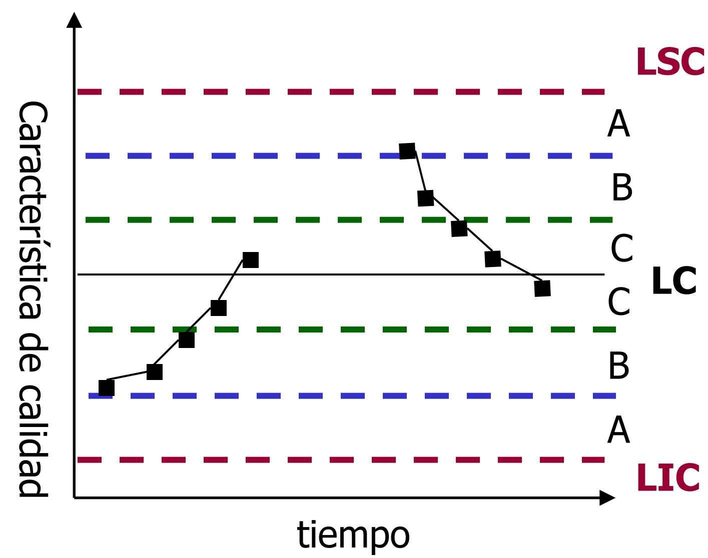
Prueba # 2

Ocho puntos en forma consecutiva por arriba o por debajo del promedio



Prueba # 3

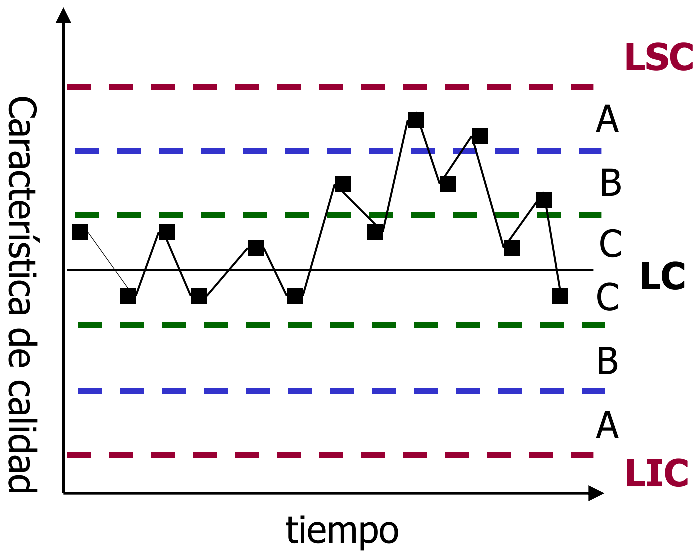
Cinco puntos consecutivos en forma ascendente o descendente



Gráficas de control

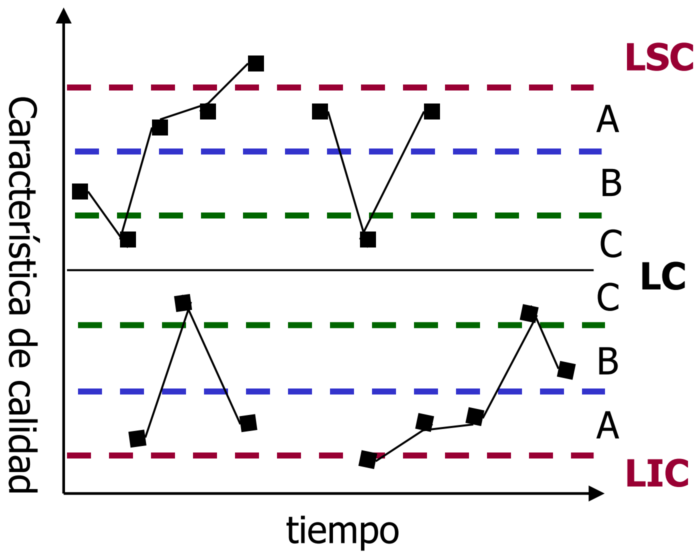
Prueba # 4

Catorce puntos alternándose en forma consecutiva arriba y abajo.



Prueba # 5

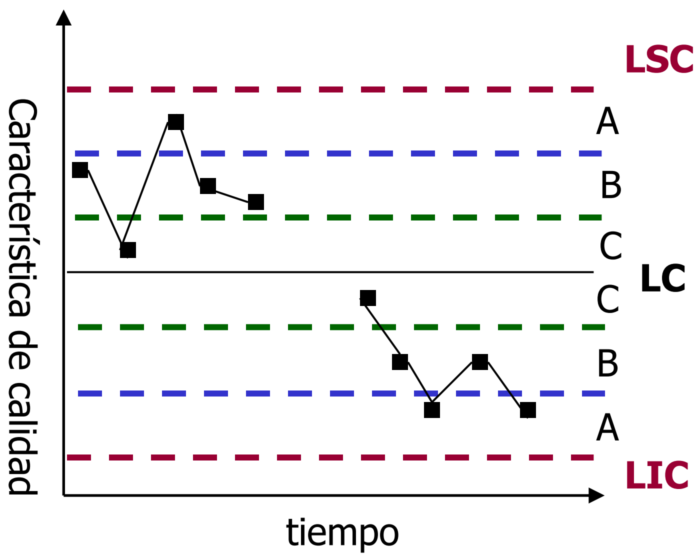
Dos o tres puntos en la zona A o más allá



Gráficas de control

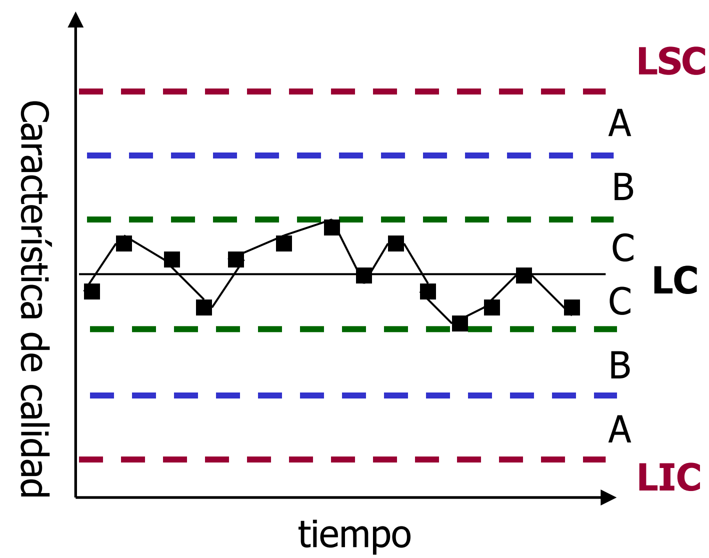
Prueba # 6

Cuatro de cinco puntos consecutivos en la zona B o más allá



Prueba # 7

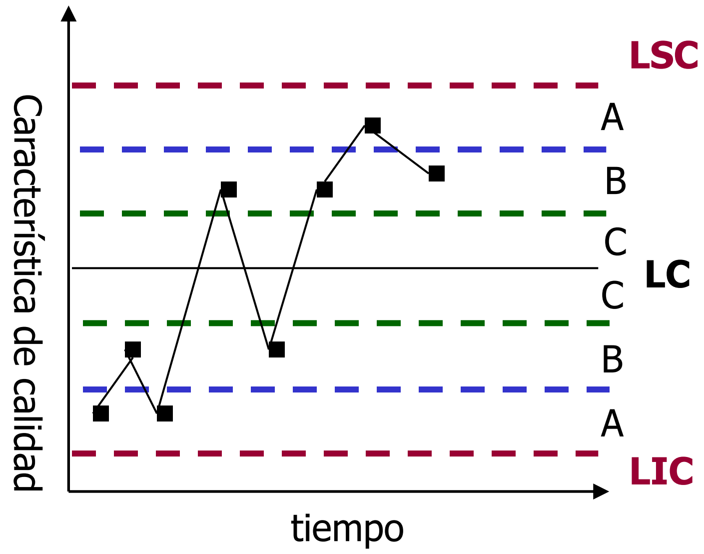
Quince puntos consecutivos en la zona C



Gráficas de control

Prueba # 8

Ocho puntos consecutivos que no caigan en la zona C



Gráficas de control

- Cuando una gráfica no está en control estadístico, se puede deber a:
  - <u>Causas comunes de variación</u>: fuentes de variación dentro de un proceso que tienen una distribución estable y repetible en el tiempo.
  - <u>Causas especiales de variación</u>: factores que causan variación y que no están actuando siempre sobre el proceso.

Estadística de las gráficas de control

- **Prueba de hipótesis:**

H_o: El proceso está bajo control

H_a: El proceso no está bajo control

- **Error tipo I:** Rechazar H_o cuando esta es verdadera. Se concluye que *"el proceso no está bajo control, cuando realmente si lo está".*

P(Error tipo I)= α

Estadística de las gráficas de control

- **Error tipo II:** Aceptar H_o cuando esta es falsa. Se concluye que *"el proceso está bajo control, cuando realmente no lo está".*

P(Error tipo II)= β

- Para fines de cálculo de α y β, suponga que el proceso no está bajo control *si hay un cambio en la media del mismo.*

Estadística de las gráficas de control

- La elección de los límites de control es similar a la elección de una región crítica.

- Como en el caso de prueba de hipótesis el tamaño de la muestra en cada punto es importante. Mientras más grande sea la muestra en cada periodo, más rápida es la detección de un proceso fuera de control.

Estadística de las gráficas de control

- Debido a que hay incertidumbre acerca del valor de la variable para cualquier pieza, representamos estos valores a través de una variable aleatoria *X*.
- Supongamos que para un proceso bajo control, *X* tiene una distribución normal.

$$\overline{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

Estadística de las gráficas de control

$$P\left(\mu - 3\sigma_{\overline{X}} \leq \overline{X} \leq \mu + 3\sigma_{\overline{X}}\right)$$

$$P\left(-3.00 \leq Z \leq 3.00\right) = 0.9974$$

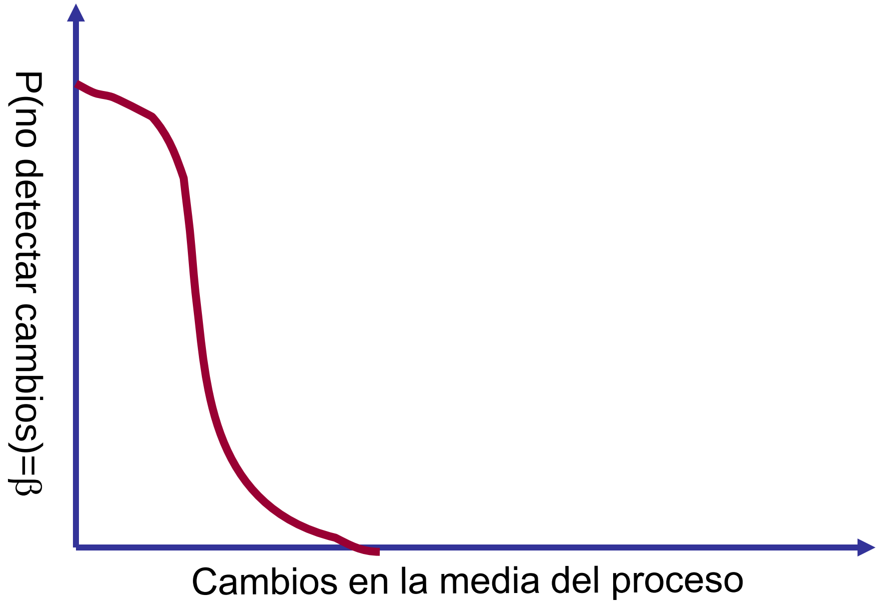
$$Z = \frac{\overline{X} - \mu_{\overline{X}}}{\sigma_{\overline{X}}}$$

$$\sigma_{\overline{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Es muy probable que para un proceso bajo control, la media muestral caerá dentro de 3 desviaciones estándar

Curva característica de operación

- Es una medida de la bondad de una gráfica de control para detectar cambios en los parámetros de los procesos (μ, σ).



ARL (Average run length)

- Denota el número de muestras que en promedio se requieren para detectar una señal fuera de control.
  - Si el proceso está bajo control:

$$ARL = \frac{1}{\alpha}$$

    - Entre más grande sea el ARL es mejor, ya que no se tienen muchas falsas alarmas.

ARL (Average run length)

- Si el proceso no está bajo control:

$$ARL = \frac{1}{1-\beta}$$

  - Entre más pequeño sea el ARL necesito menos muestras para calcular el error tipo II

Efectos de los límites de control sobre α y β

a) **si los límites de control son más anchos:**
   - α se reduce
   - β se incrementa

b) **si los límites de control son más angostos:**
   - α se incrementa
   - β se reduce

c) **si se toman muestras más grandes:**
   - α se reduce
   - β se reduce

Subgrupos racionales

1. Una idea fundamental en el uso de los gráficos de control es colectar los datos muestrales de acuerdo con lo Shewhart denominó *subgrupo racional*.
2. El subgrupo racional debe tomarse de tal forma que si la causa asignable está presente, la probabilidad de aparición de diferencias significativas dentro de los grupos se minimice.
3. Los subgrupos deben elegirse de forma que tengan la máxima probabilidad de que las mediciones realizadas en cada subgrupo sean semejantes y la máxima probabilidad

Subgrupos racionales

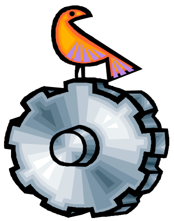
de que los subgrupos se diferencian entre sí.

4. Los subgrupos se realizan agrupando las mediciones de tal modo que haya la máxima variabilidad entre subgrupos y la mínima variabilidad dentro de cada subgrupo.

Ejemplo: Subgrupos racionales

- Supongamos una fábrica que produce piezas cilíndricas para la industria automotriz. La característica de calidad que se desea controlar es el diámetro de las piezas.

- Existen dos maneras de formar subgrupos racionales



✓ Retirar las piezas juntas a intervalos regulares, por ejemplo cada hora. Este método se utiliza cuando el propósito fundamental del gráfico de control es detectar cambios de nivel del proceso.

✓ Retirar piezas individuales a lo largo del intervalo del tiempo correspondiente al subgrupo. Este método se utiliza sobre todo cuando los gráficos se emplean para tomar decisiones respecto a la aceptación de todas las unidades producidas desde la última muestra

Tipos de gráficas de control

- Para valores continuos:
  - Gráfica de medias y desviación estándar.
  - Gráfica de medias y rangos.
  - Gráfica de observaciones individuales y rangos móviles.

Tipos de gráficas de control

- Para valores discretos (atributos):
  - Gráfica de proporción de artículos defectuosos (p)
  - Gráfica de número de artículos defectuosos (np)
  - Gráfica de número de defectos o disconformidades (C)
  - Gráfica de número de defectos por unidad (U)

Beneficios de las gráficas de control

1. Son herramientas efectivas para entender la variación del proceso y ayudan a lograr el control estadístico.
2. Si un proceso está en control estadístico su desempeño es predecible y tanto el fabricante como el cliente pueden confiar en niveles consistentes de calidad y en costos estables para lograr la calidad.
3. Un proceso bajo control estadístico se puede mejorar a través de la reducción de variación y el centrado en un valor objetivo; esto reduce costos y mejora la productividad.

Beneficios de las gráficas de control

4. Las gráficas de control proporcionan un lenguaje común para comunicar información sobre el desempeño de un proceso entre muy diversas personas dentro y fuera de la empresa.
5. Las gráficas de control indican dónde está o quien tiene la posible solución de un problema, con lo cual se minimiza la confusión, frustración y el costo de los esfuerzos mal dirigidos para la solución de un problema.

Gráfica de medias y rangos

$$\left(\bar{x} - R\right)$$

Gráficas de medias y rangos

- **Gráfica de rangos:**

Si $x_1,\ldots,x_n$ es una muestra de tamaño n

$$R = x_{máx} - x_{mín}$$

$$\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^{m} R_i}{m}$$

Límites de control $\Rightarrow$

$$UCL = D_4\overline{R}$$
$$LC = \overline{R}$$
$$LCL = D_3\overline{R}$$

Gráficas de medias y rangos

- **Gráfica de medias:** antes de calcular los límites es necesario que esté bajo control la gráfica de rangos.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \ldots + \bar{x}_m}{m}$$

Límites de control

$$LC = \bar{\bar{x}}$$

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$$

$$LSC = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$$

Gráficas de medias y rangos

- σ se puede obtener a partir de los datos recopilados, pero generalmente se obtiene de la información proporcionada por la gráfica de un *proceso bajo control.*

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{R}}{d_2}$$

Interpretación de gráfica de rangos

- Pueden ocurrir dos situaciones:

- Que todos los puntos muestrales, tanto el gráfico para la media, como el gráfico del rango, caigan dentro de los límites de control.

a) Como en el fondo el GC es una prueba de hipótesis con una probabilidad alta del error tipo II, el hecho de que todos los puntos muestrales caigan entre los límites de control, no lo podemos interpretar como la absoluta certeza de que el proceso se encuentra “bajo control”

Interpretación de gráfica de rangos

Y existen ciertos detalles que podrían ser interpretados como signos de falta de control. Estos son:

i. Tendencias o desplazamientos continuo en una dirección: si se observa una tendencia creciente o decreciente de la media muestral, esto podría interpretarse como desgaste de una maquinaría. Siete o más puntos consecutivos de un mismo lado, constituyen una sospecha de que el proceso esta fuera de control.

Interpretación de gráfica de rangos

ii. Existencia de patrones cíclicos, que revelen que cada cierto tiempo se produce un cambio en la ubicación de los puntos con respecto a la línea central. Tal comportamiento puede ser el reflejo de rotación de operarios, cambios de turno, etc…

iii. Correlación entre los valores de la media y del rango: cuando el proceso está bajo control, el valor de la media y el rango para una misma muestra son independientes. Por lo tanto, si ambos valores para una misma muestra

Interpretación de gráfica de rangos

se ubican siempre a un mismo lado de su respectiva línea central, podría inferirse que no existe tal independencia, y que alguna causa asignable está actuando.

- Que alguno de los puntos muestrales se salga de los límites de control.

  De producirse esta situación, el gráfico ha detectado que presumiblemente alguna causa asignable ha actuado sobre el proceso y debe iniciarse una investigación.

Interpretación de gráfica de medias

- Si la gráfica de rangos está bajo control, la dispersión del proceso está estable y por lo tanto se puede analizar la gráfica de los promedios; los límites de control de esta gráfica se basan en la cantidad de variación de los rangos. Con la gráfica de medias se determina si el centro del proceso está cambiando con el tiempo y si ese es el caso, entonces existen causas especiales de variación que están ocasionando esos problemas.

Gráfica de medias y desviación estándar

$$\left(\bar{x} - S\right)$$

Procedimiento para elaborar una gráfica x - S

1. **Defina cuál será la característica de la calidad:** Otorgar la máxima prioridad a aquellas variables o características medibles y expresables mediante números y que causen problemas en producción o costos.
2. **Escoja el subgrupo racional:** Los elementos que conformen cada subgrupo deberán de haberse producido básicamente dentro de las mismas condiciones.

Procedimiento para elaborar una gráfica x - S

3. **Recolectar los datos:** Recoger información de 25 subgrupos con más de 10 datos en cada subgrupo. Regístrelos en una hoja de datos.
4. **Calcular los promedios para cada subgrupo**
5. **Calcular :** dividiendo el total de los promedios de cada subgrupo por el número de subgrupos.

$$\bar{\bar{x}}$$

Procedimiento para elaborar una gráfica x - S

6. **Calcular S:** Calcular la desviación estándar de cada subgrupo.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}{n-1}}$$

7. **Calcular $\underline{S}$:** dividiendo el total de las S de cada subgrupo por el número de subgrupos.

Procedimiento para elaborar una gráfica x - S

8. **Calcular las líneas de control:** Calcular cada una de las líneas de control para la gráfica $\bar{X}$ y la gráfica S con las siguientes fórmulas:

Procedimiento para elaborar una gráfica x - S

- **Gráfica S:**
  - **Línea central:** $LC = \overline{S}$
  - **Límite superior de control:** $UCL = B_4\overline{S}$
  - **Límite inferior de control:** $LCL = B_3\overline{S}$

Nota importante: En estas gráficas de control la desviación estándar se estima con la expresión $\overline{S}/c_4$

Procedimiento para elaborar una gráfica x - S

- La desviación estándar muestral S no es un estimador insesgado de σ, si la distribución es normal, entonces S es una estimación de c_4 σ, donde c_4 es una constante que depende del tamaño de la muestra.

- La desviación estándar de S es $\sigma\sqrt{1-c_4{}^2}$

Procedimiento para elaborar una gráfica x - S

- Gráfica $\overline{X}$:
  - Línea central: $LC = \overline{\overline{x}}$
  - Límite superior de control: $UCL = \overline{\overline{x}} + A_3\overline{S}$
  - Límite inferior de control: $LCL = \overline{\overline{x}} - A_3\overline{S}$

Procedimiento para elaborar una gráfica x - S

9. **Dibujar las líneas de control:** Preparar una hoja de papel cuadriculado; dividirla en dos partes iguales para las dos gráficas, colocando en la parte inferior la de desviaciones estándar y en la parte superior la de medias; marcar cada eje vertical de la izquierda con los valores de las media y de las desviaciones estándar, según sea el caso, y el eje horizontal con los números de los subgrupos. Dibuje una línea sólida para la línea central y una línea punteada para los límites.

Procedimiento para elaborar una gráfica x - S

10. **Localizar los puntos:** Registrar los valores de la media y de la desviación estándar de cada subgrupo, por partes, según el número del subgrupo.

11. **Registrar los datos que puedan ser de utilidad:** Escriba el tamaño del subgrupo (n) en el extremo superior izquierdo de la gráfica de medias.

Interpretación de gráfica S

- Primero se debe analizar esta gráfica, ya que si no está bajo control estadístico los límites de la gráfica de medias no tendrán sentido.
- En caso de que no este bajo control estadístico, se deberán encontrar las causas especiales de variación y eliminar los puntos fuera de control y recalcular los límites.

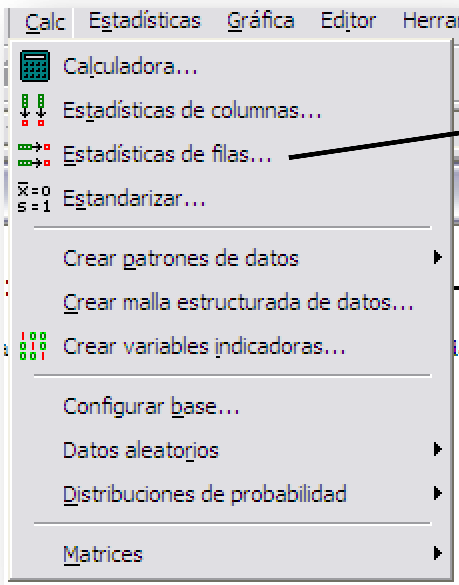
Interpretación de gráfica de medias

- Después de haber revisado la gráfica S, es cuando se interpreta la de medias.
- Nunca se deben relacionar los puntos en una gráfica de medias con los límites de especificación, ya que los puntos en la gráfica son promedios y las especificaciones corresponden a valores individuales, presentando una variabilidad mayor que los subgrupos.

Ejemplo usando Minitab

- Se controla un proceso de fabricación de partes componentes para misiles, con la resistencia a la tensión, en libras por pulgada cuadrada, como característica de comportamiento.
- Se toman muestras de tamaño 5 cada hora y se reportan 25 muestras.

Ejemplo usando Minitab



↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
						Medias	Rangos
1	1515	1518	1512	1498	1511	1510,8	20
2	1504	1511	1507	1499	1502	1504,6	12
3	1517	1513	1504	1521	1520	1515,0	17
4	1497	1503	1510	1508	1502	1504,0	13
5	1507	1502	1497	1509	1512	1505,4	15
6	1519	1522	1523	1517	1511	1518,4	12
7	1498	1497	1507	1511	1508	1504,2	14
8	1511	1518	1507	1503	1509	1509,6	15
9	1506	1503	1498	1508	1506	1504,2	10
10	1503	1506	1511	1501	1500	1504,2	11
11	1499	1503	1507	1503	1501	1502,6	8
12	1507	1503	1502	1500	1501	1502,6	7
13	1500	1506	1501	1498	1507	1502,4	9
14	1501	1509	1503	1508	1503	1504,8	8
15	1507	1508	1502	1509	1501	1505,4	8
16	1511	1509	1503	1510	1507	1508,0	8
17	1508	1511	1513	1509	1506	1509,4	7
18	1508	1509	1512	1515	1519	1512,6	11
19	1520	1517	1519	1522	1516	1518,8	6
20	1506	1511	1517	1516	1508	1511,6	11
21	1500	1498	1503	1504	1508	1502,6	10
22	1511	1514	1509	1508	1506	1509,6	8
23	1505	1508	1500	1509	1503	1505,0	9
24	1501	1498	1505	1502	1505	1502,2	7
25	1509	1511	1507	1500	1499	1505,2	12

Ejemplo usando Minitab

- Como indicamos antes, es importante en un principio establecer las condiciones de variabilidad “bajo control”. La línea central calculada de la gráfica *R* es

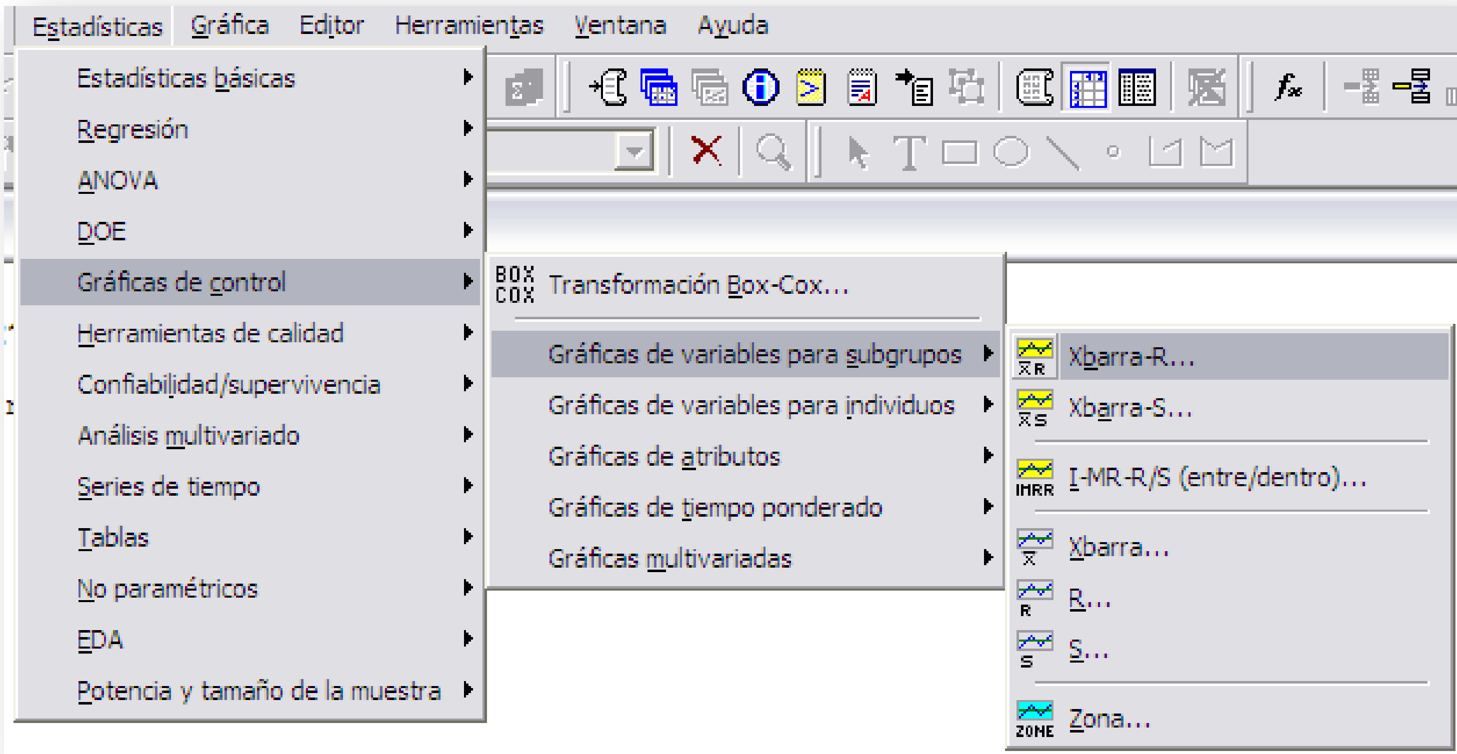
$$\overline{R} = \sum_{i=1}^{25} \frac{R_i}{25} = 10.72$$

- De la tabla encontramos que para n=5, D_3=0 y D_4=2.115. Los límites de control son:

Tabla para elaborar GC

Observaciones en la muestra, *n*	Gráfica para promedios		Gráfica para las desviaciones estándar						Gráfica para rangos				
	Factores para los límites de control		Factores para la línea central		Factores para los límites de control				Factores para la línea central		Factores para los límites de control		
	A_2	A_3	c_4	$1/c_4$	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	$1/d_2$	d_3	D_3	D_4
2	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.267
3	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	2.574
4	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	2.282
5	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	2.114
6	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	2.004
7	0.419	1.182	0.9594	1.04230	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.076	1.924
8	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.136	1.864
9	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.184	1.816
10	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.223	1.777
11	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.256	1.744
12	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.283	1.717
13	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	0.307	1.693
14	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	0.328	1.672
15	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	0.347	1.653
16	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	0.363	1.637
17	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	0.378	1.622
18	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	0.391	1.608
19	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	0.403	1.597
20	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	0.415	1.585
21	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	0.425	1.575
22	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	0.434	1.566
23	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	0.443	1.557
24	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	0.451	1.548
25	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	0.459	4.541

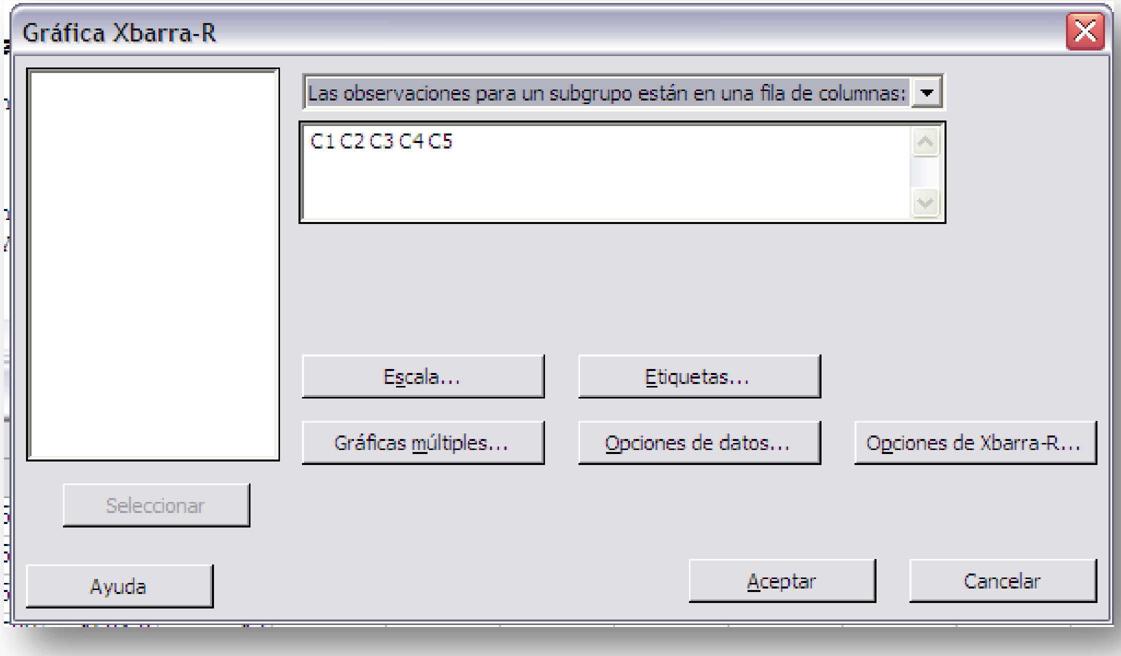
Ejemplo usando Minitab



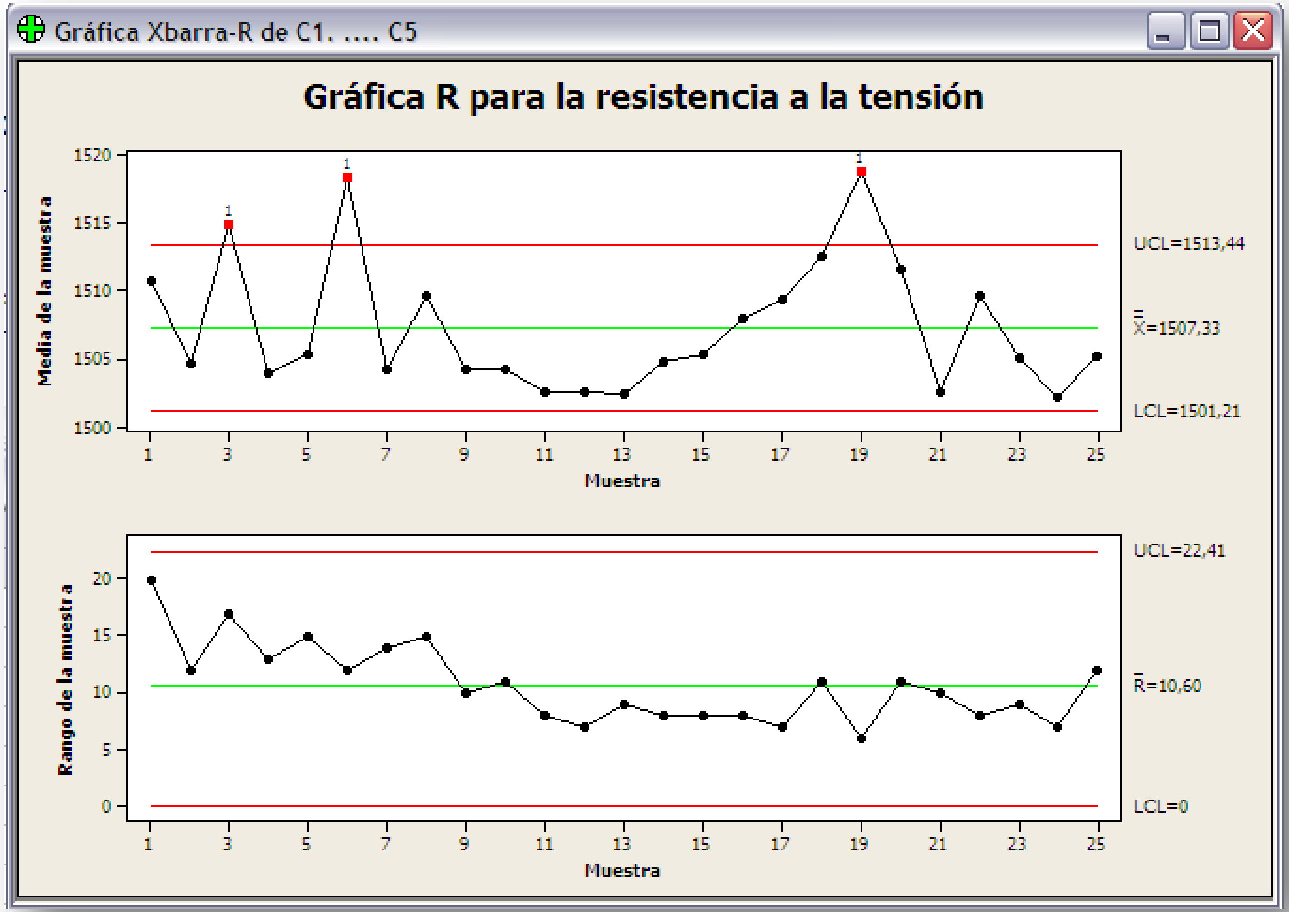
Ejemplo usando Minitab

$$LCL = \overline{R}D_3 = (10.72)(0) = 0$$

$$UCL = \overline{R}D_4 = (10.72)(2.115) = 22.6728$$



Ejemplo usando Minitab



Ejemplo usando Minitab

- En la gráfica *R*, ninguno de los rangos graficados cae fuera de los límites de control. Como resultado, no hay indicación de una situación fuera de control.
- Ahora para construir la gráfica $\overline{X}$

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\sum_{i=1}^{25} \overline{x}_i}{25} = 1507.328$$

Ejemplo usando Minitab

- Para muestras de tamaño 5, encontramos en la tabla que A_2=0.577. Los límites de control son:

$$UCL = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R} = 1507.328 + (0.577)(10.72) = 1513.5134$$

$$LCL = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R} = 1507.328 - (0.577)(10.72) = 1501.1426$$

- Como se puede observar, tres valores caen fuera de los límites de control. Como resultado, los límites de control para $\overline{X}$ no se deben usar para la línea de control de calidad.

Ejemplo usando Minitab

- Se producen contenedores mediante un proceso donde el volumen de los contenedores se sujeta a un control de calidad. Se utilizan 25 muestras de tamaño 10 cada una para establecer los parámetros de control de calidad.

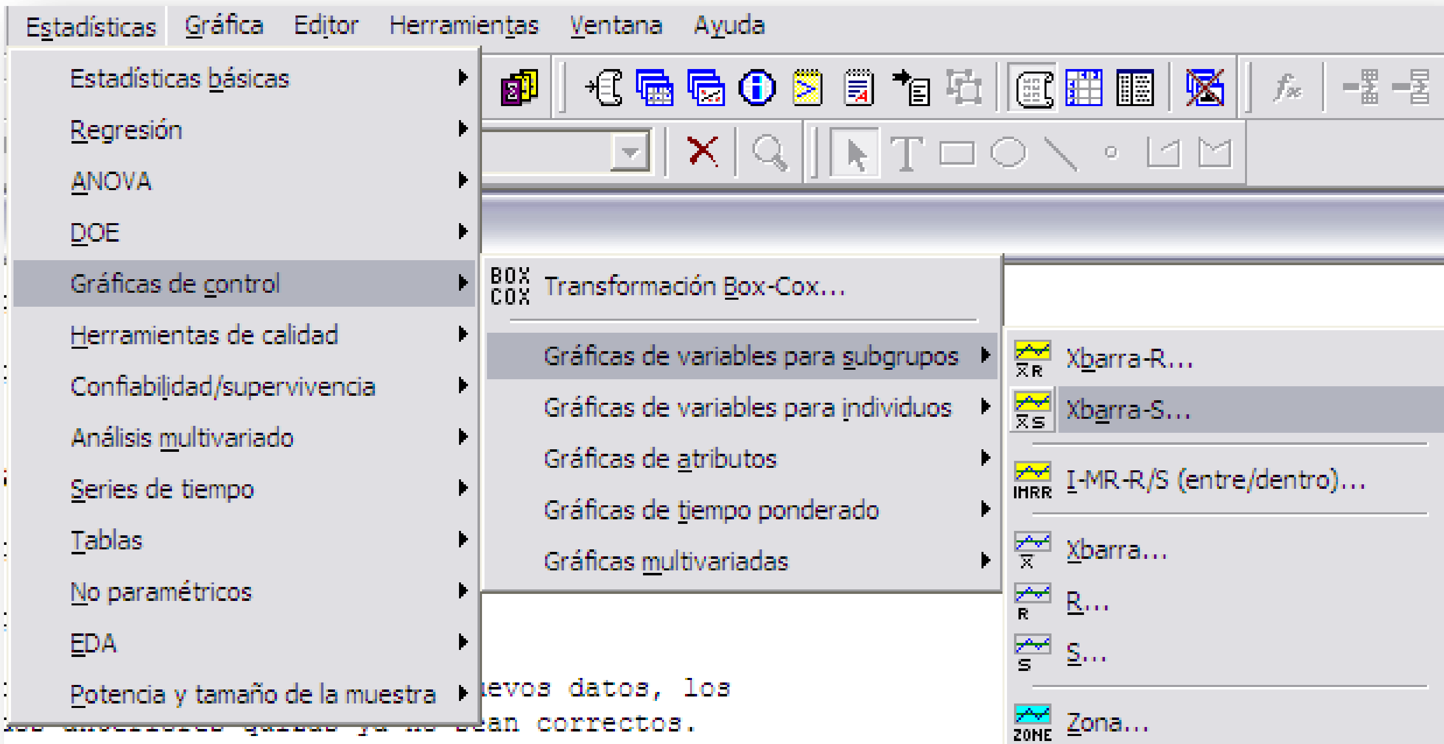
Ejemplo usando Minitab

$$\overline{\overline{X}} = \sum_{i=1}^{25} \frac{\overline{x}_i}{25} = 62.3256$$

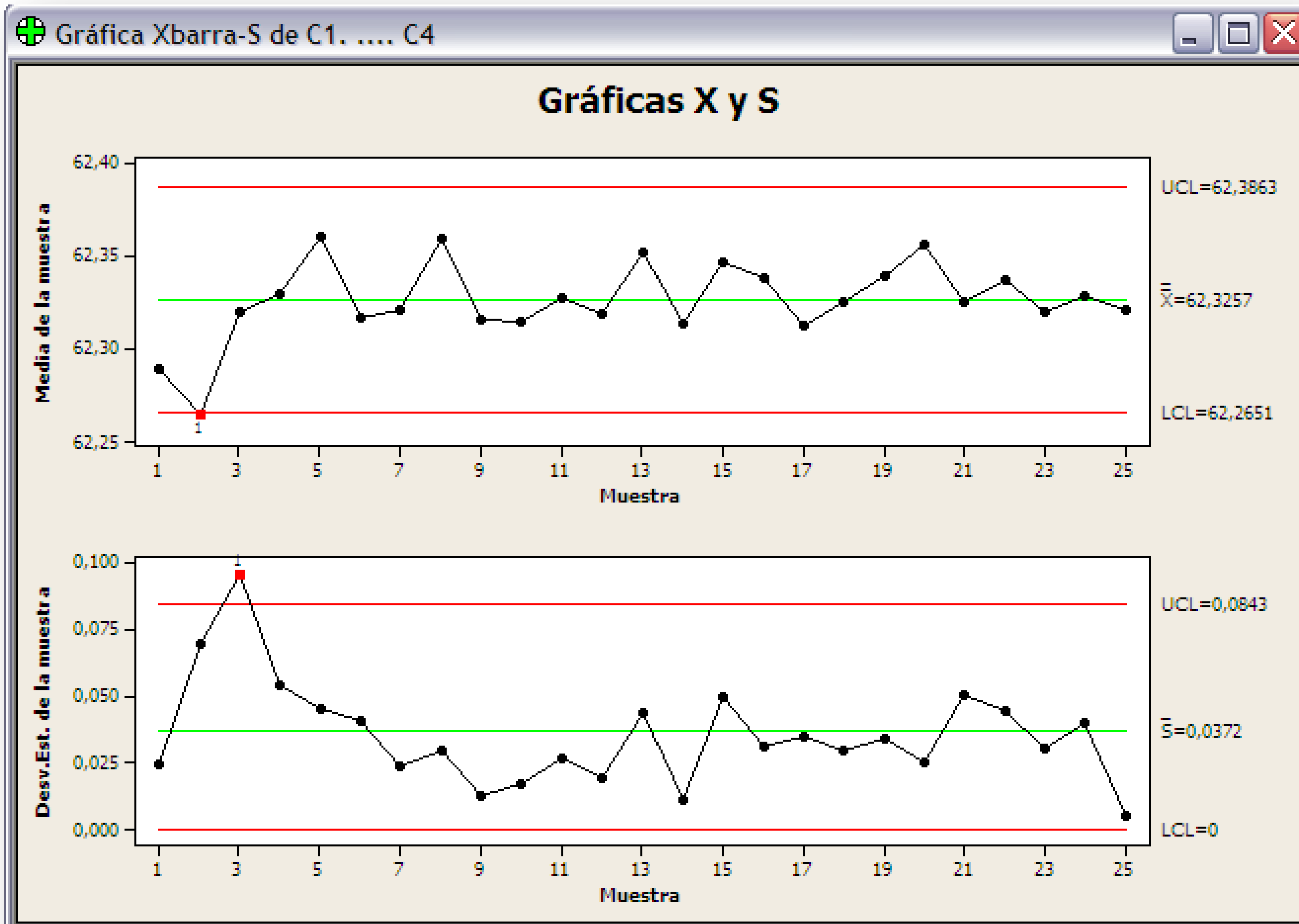
$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^{25} \frac{\left(x_i - \overline{X}\right)^2}{24}} = 0.0361$$

					Medias	Desviaciones
1	62,255	62,301	62,289	62,311	62,2890	0,0243858
2	62,187	62,225	62,337	62,307	62,2640	0,0698284
3	62,421	62,377	62,257	62,222	62,3192	0,0949048
4	62,301	62,315	62,293	62,409	62,3295	0,0537742
5	62,400	62,375	62,295	62,372	62,3605	0,0454349
6	62,372	62,275	62,315	62,302	62,3160	0,0408819
7	62,297	62,303	62,337	62,344	62,3203	0,0236837
8	62,325	62,362	62,351	62,397	62,3588	0,0298482
9	62,327	62,297	62,318	62,318	62,3150	0,0127279
10	62,297	62,325	62,303	62,333	62,3145	0,0172337
11	62,315	62,366	62,308	62,319	62,3270	0,0263944
12	62,297	62,322	62,344	62,313	62,3190	0,0196129
13	62,375	62,287	62,362	62,382	62,3515	0,0437912
14	62,317	62,321	62,297	62,319	62,3135	0,0111206
15	62,299	62,307	62,383	62,394	62,3458	0,0496748
16	62,308	62,319	62,344	62,378	62,3372	0,0310631
17	62,319	62,357	62,277	62,295	62,3120	0,0345832
18	62,333	62,362	62,292	62,314	62,3252	0,0296802
19	62,313	62,387	62,315	62,341	62,3390	0,0344480
20	62,375	62,321	62,354	62,375	62,3563	0,0255000
21	62,399	62,308	62,292	62,299	62,3245	0,0500966
22	62,309	62,403	62,318	62,317	62,3367	0,0443499
23	62,293	62,293	62,342	62,349	62,3192	0,0304453
24	62,388	62,308	62,315	62,303	62,3285	0,0399708
25	62,328	62,318	62,317	62,319	62,3205	0,0050662

Ejemplo usando Minitab



Ejemplo usando Minitab



Ejemplo usando Minitab

- Para muestras de tamaño 5, encontramos en la tabla que B_3 =0, B_4=2.089, A_3=1.427. Los límites de control para ambas gráficas son:

$$UCL = \overline{\overline{X}} + A_3\overline{S} = 62.3771, UCL = B_4\overline{S} = 0.0754$$

$$LCL = \overline{\overline{X}} - A_3\overline{S} = 62.2740, LCL = B_3\overline{S} = 0$$

- Como se puede observar, parece que el control se establece después de las primeras muestras.