Estadística Industrial

Control Estadístico de Procesos (SPC)

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Departament d'Estadística
i Investigació Operativa

Contenido

Contenido

Introducción y objetivos del SPC

Fase 1: Selección y diseño del gráfico

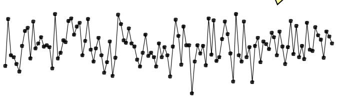
Fase 2: Utilización del gráfico

Gráficos más comunes

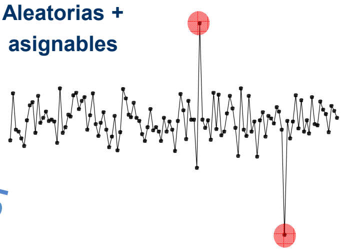
Caracterización de las causas de variabilidad

Proceso en estado de control estadístico:
sólo sometido a causas aleatorias de variabilidad

Aleatorias



Aleatorias + asignables



REPASO

Muchas
Cambios pequeños
Permanentes
Difíciles de eliminar

⇩

Cambios en el proceso
Responsabilidad de la dirección

Pocas
Cambios grandes
Esporádicas
“Fáciles” de detectar y corregir

⇩

Mecanismo de detección: SPC
Responsabilidad de ingeniería de procesos, encargados y operarios

Caso de la entidad bancaria

Se desea realizar un estudio sobre la calidad del servicio en las 4 oficinas que una entidad bancaria posee en una ciudad.

Para ello, durante 1 año, cada trimestre se toma una muestra aleatoria de 50 clientes de cada oficina y mediante una encuesta se determina si están satisfechos o no con los servicios que reciben.

Objetivos del SPC

Objetivos:

- ✓ Tener procesos estables en su nivel de mínima variabilidad y centrados en su valor nominal, a base de actuar rápidamente cuando haya alguna causa asignable

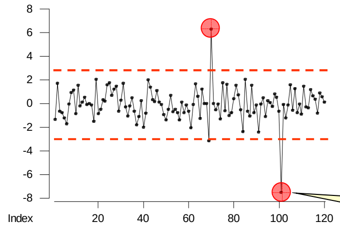
  Es una herramienta de control

- ✓ Ir aprendiendo de nuestro proceso a base de identificar patrones de comportamiento, situaciones en las que tenemos valores anómalos, etc.

  Es una herramienta de mejora

El control estadístico de procesos (CEP) se conoce a menudo con sus siglas en inglés (SPC: *Statistical Process Control*)

La herramienta para el SPC son los gráficos de control



Seguir la evolución de los valores de una característica de calidad, estableciendo los límites de lo que es variabilidad natural (debida a causas aleatorias)

Los puntos fuera de los límites de control son alarmas de causa asignable

¿Qué se pretende?

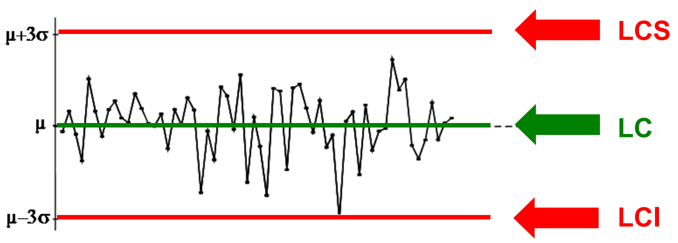
- Mantener el proceso con la mínima variabilidad (la debida a causas aleatorias)
- Aprender del funcionamiento del proceso (entender qué causas asignables le afectan, con qué frecuencia…

¿Cómo se consigue?

- Detectando la aparición de causas asignables (gráfico de control)
- Identificando la causa que ha producido el cambio (tarea de encargados, operarios, ingenieros de proceso)

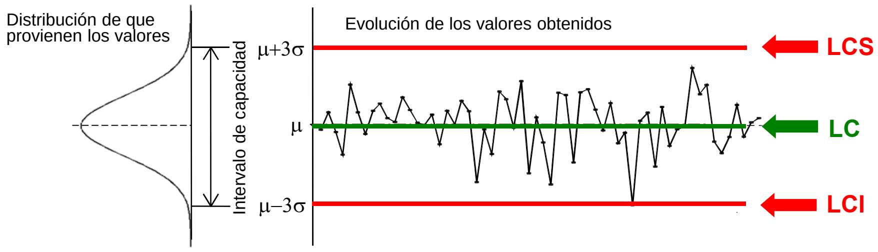
Límites de control

Cada gráfico tiene unos parámetros: línea central (LC) y límites de control superior (LCS) e inferior (LCI) que han de ser estimados a partir de datos que representen el funcionamiento del proceso en estado de control (sólo causas aleatorias)



Los límites representan la variación “natural” del proceso

Ejemplo con datos que siguen una normal

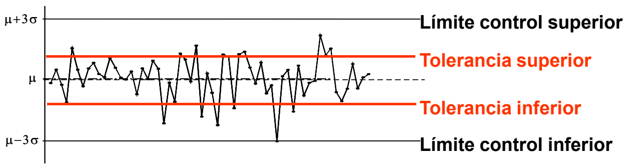


Los valores de un proceso en estado de control tienen un comportamiento aleatorio.
Las diferencias aleatorias respecto a la media μ no se pueden evitar.

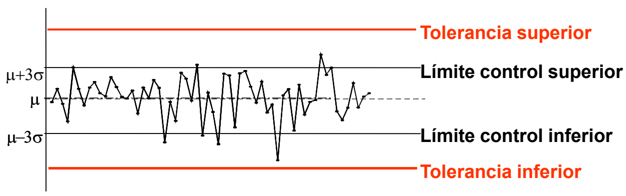
Sólo hay que actuar cuando ocurren acontecimientos "raros" (es decir, cuando tenemos causas asignables de variabilidad)
Un punto fuera de los límites de control es una señal de alarma de causa asignable. Hay otras alarmas de causa asignable.

Diferencia entre límites de control y tolerancias del proceso

Proceso en estado de control, pero con muchas unidades fuera de tolerancias

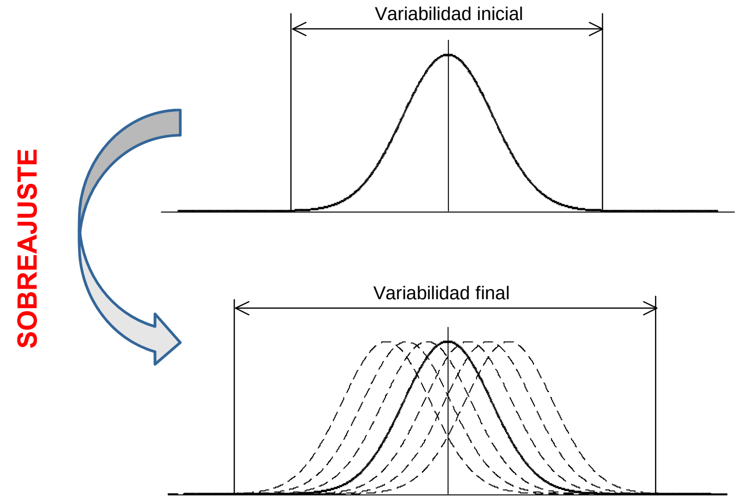


Proceso fuera de control, pero sin unidades fuera de tolerancias



La relación entre las tolerancias y la variabilidad del proceso se establece con los estudios de capacidad
Mínima variabilidad no significa variabilidad satisfactoria

Estrategia incorrecta: Sobreajuste



Correcciones ante la variabilidad aleatoria

Tipos de gráficos de control

Según las características de calidad a controlar:

VARIABLES:
Características cuantitativas (peso, humedad, densidad, espesor, longitud,…)

Gráficos de control para variables X-R; I-RM; CuSum,…

Modelo teórico de referencia: Distribución Normal

ATRIBUTOS:
Características cualitativas (manchado/no manchado; poro/no poro,…)

Gráficos de control para atributos p, np, c, u

Modelos teóricos de referencia: Binomial y Poisson

Contenido

Introducción y objetivos del SPC

Fase 1: Selección y diseño del gráfico

Fase 2: Utilización del gráfico

Gráficos más comunes

Estrategia del control estadístico de procesos

FASE 1: DISEÑO DEL GRÁFICO (I)

1. Seleccionar una característica de interés
2. Establecer un comportamiento de referencia para esta característica representando al proceso en condiciones estables de funcionamiento (sólo con variabilidad aleatoria):
   - Identificar el modelo matemático de apoyo que representa bien la variabilidad debida a causas comunes: normal, binomial, Poisson, ...
   - Estimar los parámetros del modelo: $N(\mu, \sigma)$, $B(n,p)$, $P(\lambda)$. ¿Cómo?
     – Basándose en datos históricos.
     – Recogiendo una muestra representativa del proceso

Estrategia del control estadístico de procesos

FASE 1: DISEÑO DEL GRÁFICO (II)

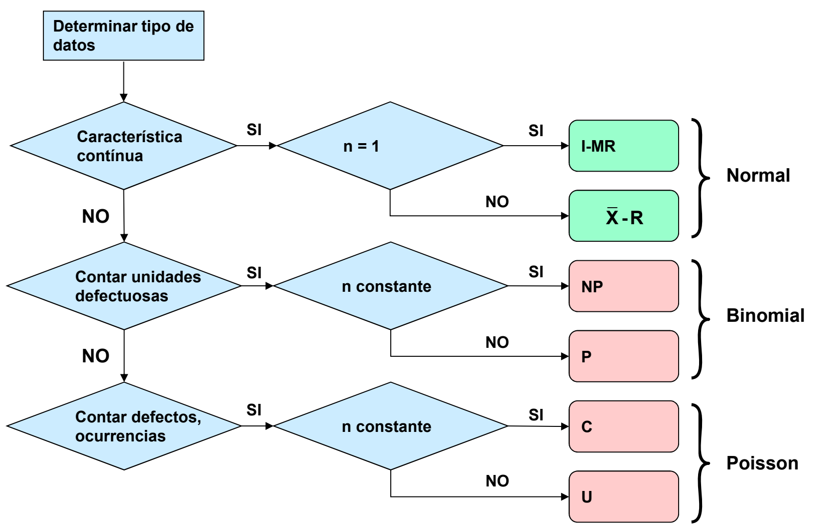
3. **Construir los gráficos de control de referencia . Habitualmente se elige un 3‰ de riesgo (Límites de control a ±3σ, pero se pueden elegir riesgos mayores o menores)**

4. **Comprobar si tienen sentido estos gráficos de referencia (la muestra de referencia no está afectada por causas asignables). Si lo está, identificar y eliminar la casusa asignable y recalcular los límites sin esos puntos**

5. **Decidir plan de control:**
    - **Qué y cómo se va a medir**
    - **Frecuencia de muestreo. Teniendo en cuenta costes y frecuencia de aparición de causas asignables**
    - **Responsabilidades: toma de muestras, medición y acciones en caso de causa asignable**

⚠ **Los gráficos se deben hacer cerca del proceso (encargados y operarios) y actuar rápido.**

¿Qué gráfico usar? Diagrama de flujo



¿Binomial o Poisson? Un par de trucos…

Binomial

✓ **Tiene sentido hablar de defectuoso / no defectuoso**

Ejemplos:
- Cliente satisfecho / cliente no satisfecho
- Envío correcto / envío incorrecto

✓ **Tiene límite por arriba**

Ejemplos:
- Si preguntamos a 100 clientes, como máximo encontramos 100 no satisfechos

Poisson

✓ **No tiene sentido hablar de defectuoso / no defectuoso**

Ejemplo:
- Visitas a una página web / no visitas a una página web. ¿Cuántas no visitas hemos tenido? No tiene sentido preguntar esto.

✓ **No tiene límite por arriba**

Ejemplo:
- La página web no tiene un límite de visitas que sea imposible superar

Subgrupos racionales

Walter A. Shewhart
(1891-1967)

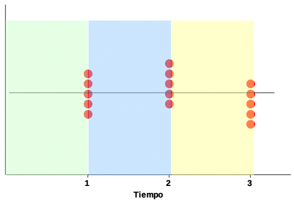
Una idea importante: lo que Shewhart denominó subgrupo racional

Un subgrupo racional es un grupo de unidades muestreadas en el proceso de manera que, si hay causas asignables:

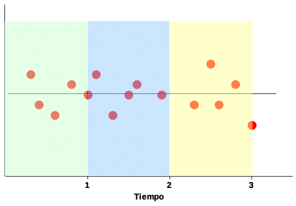
- **Las diferencias entre los subgrupos se maximizan.**
- **Las diferencias dentro de los subgrupos se minimizan.**

Construcción de subgrupos racionales

Dos posibilidades para construir subgrupos racionales:

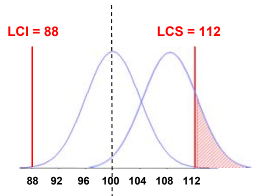


1. **Cada muestra (subgrupo) está formado por unidades consecutivas de producción.**



2. **Cada subgrupo es una muestra tomada con algún criterio de homogeneidad (minimizar la variación dentro del subgrupo) de las unidades producidas desde el último momento en que hemos muestreado.**

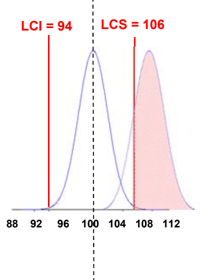
¿Por qué controlar medias de subgrupos?



Control individual

$X \sim N(100, 4) \Rightarrow X \sim N(108, 4)$

Probabilidad de detectar el descentramiento (punto fuera de límites): 0,16



Control por medias (n=4)

$\bar{X} \sim N(100,2) \Rightarrow \bar{X} \sim N(108,2)$

Probabilidad de detectar el descentramiento (punto fuera de límites): 0,84

Tamaño de subgrupo y frecuencia de muestreo

Frecuencia de muestreo

Lo ideal es muestrear con mucha frecuencia para detectar descentramientos lo más rápidamente posible.

Lo mejor es: tomar subgrupos grandes con mucha frecuencia.

Pero eso supondrá tener que hacer muchas medidas.

Dependiendo del tipo de proceso puede ser mejor:

- **Priorizar la rapidez de detección (muestras frecuentes)**
- **Priorizar el poder de detección (subgrupos grandes)**
- **En general se busca un copromiso**

Longitud media de tanda (o de corrida): ARL (1)

Si la probabilidad de que un punto salga fuera de los límites de control es p, entonces:

El número esperado de puntos que hay que muestrear antes de que un punto indique una condición de fuera de control es la longitud media de tanda (ARL: *average run length*).

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

Longitud media de tanda (o de corrida): ARL (2)

Cuando el proceso está en estado de control, la probabilidad de que un punto salga fuera de los límites (con los límites situados en el lugar habitual en un gráfico Shewhart clásico, a 3σ) es p = 0,0027

$$ARL_0 = \frac{1}{p} = \frac{1}{0{,}0027} = 370$$

Al ARL con el proceso en estado de control lo llamamos ARL_0

Incluso con el proceso en estado de control, tendremos un punto fuera de límites (una falsa alarma), en promedio, cada 370 muestras

Dos críticas al uso del ARL

Aunque el uso del ARL es útil para comparar distintos planes de control, y se utiliza muy a menudo, pueden hacérsele 2 críticas:

✗ 1. El ARL es un valor promedio. La desviación tipo de la distribución de las longitudes de tanda (una distribución geométrica) es muy grande. En el caso de un gráfico Shewhart con límites de control a 3σ, el ARL es 370, pero la desviación tipo es ~370 (!!)

✗ 2. La distribución de las longitudes de tanda es muy poco simétrica (es muy sesgada), por lo que la media de la distribución (el ARL) no es necesariamente un valor muy típico.

Contenido

Estrategia del control estadístico de procesos

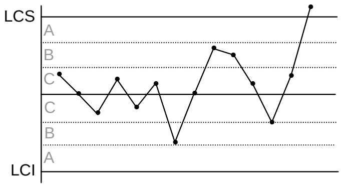
FASE 2: UTILIZACIÓN DEL GRÁFICO

1. Sin señal de alarma, variabilidad natural, no hay causas asignables. No tocar.
2. Señal de alarma. Analizar el proceso para hallar la causa asignable.
3. Corregir y tomar medidas para evitar que no reaparezca

La frecuencia del muestreo se debe ajustar al comportamiento del proceso (a la frecuencia en la aparición de causas asignables)

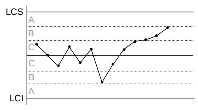
En caso de cambios permanentes en el proceso hay que volver a la fase 1 y recalcular los límites de control

Alertas: acontecimientos raros (causas asignables)

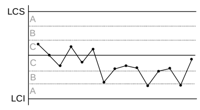


Un punto fuera de límites

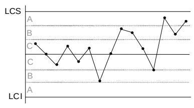
La alerta más típica. Si sólo se activa una, es esta



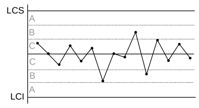
6 puntos seguidos creciendo o decreciendo



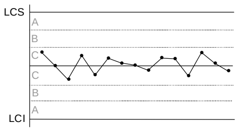
9 puntos seguidos al mismo lado de la línea central



2 de 3 puntos seguidos en la zona A (del mismo lado)

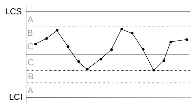


14 puntos seguidos alternativamente arriba y abajo

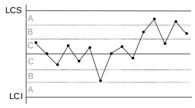


15 puntos seguidos en la zona C

¿Qué está pasando si tenemos esto?



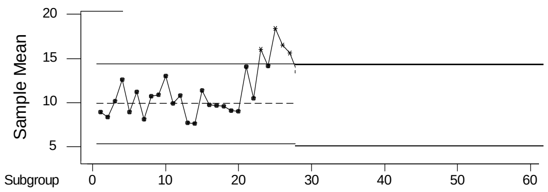
Patrón que sugiere un comportamiento no aleatorio



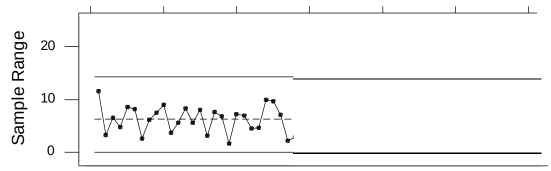
4 de 5 puntos seguidos en A o B (del mismo lado)

Interpretación gráfico Xbar - R a tiempo real

Con SPC no se analizan datos históricos



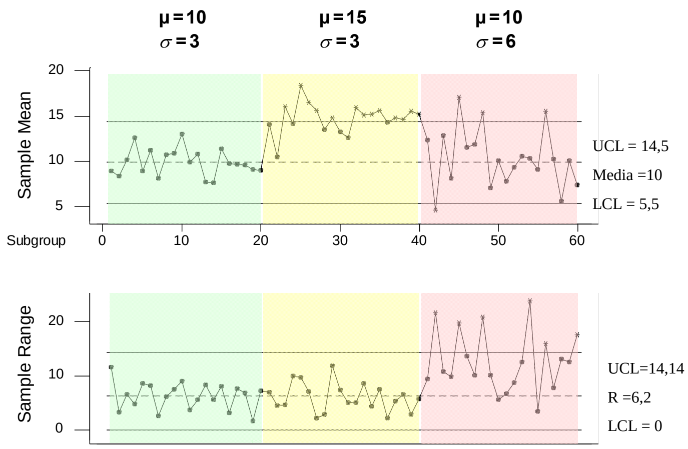
UCL = 14,5
Media =10
LCL = 5,5



UCL=14,14
R =6,2
LCL = 0

Con SPC se toman decisiones cada vez que llega un dato

Interpretación gráfico Xbar – R a posteriori



Proceso con descentrado y cambio de variabilidad

Gráficos de control para variables

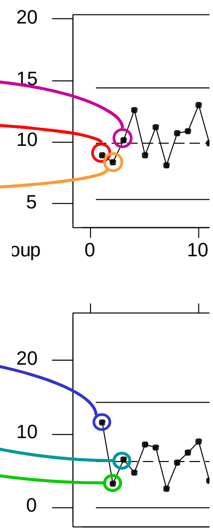
Modelo de referencia: ley normal

Gráfico $\bar{X}$-R

- Se utiliza cuando se muestrean subgrupos
- Permite realizar un gráfico de control para la variabilidad
- Se utiliza el rango por razones históricas (era mucho más fácil de calcular a mano)
- Sin embargo se sigue utilizando ya que con subgrupos de tamaño pequeño (entre 2 y 5) es un estimador igual de bueno que la S. Hay quien prefiere utilizar la S, el funcionamiento es totalmente análogo.

Gráfico $\bar{X}$-R

	0,99	7,31	6,63	13,27	...
	11,73	9,58	8,70	15,12	...
	10,35	9,91	13,15	11,76	...
	12,50	6,72	12,13	10,37	...
Media	8,89	8,38	10,15	12,63	...
Rango	11,51	3,19	6,52	4,75	...



Gráfico

$\bar{X}$-R

Diseño de los gráficos $\bar{X} - R$ (1)

Tomar una muestra de referencia para estimar los parámetros del proceso

1. **Tomar k muestras de tamaño n de forma consecutiva y a intervalos de tiempo iguales.**
   k: como mínimo 20.
   n: entre 2 y 6.
   Calcular la media y el rango de cada muestra:
2. **Calcular la media de las k medias y de los k rangos:**

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}} \qquad \bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_i}{K} \qquad \bar{R} = \frac{\sum R_i}{K}$$

$$\hat{R} = \bar{R}$$

! Si ya tenemos una estimación de los parámetros del proceso, calculamos directamente los límites de control

Diseño de los gráficos $\bar{X} - R$ (2)

Muestra	Pesos				$\bar{x}$	R
1	20,06	20,00	20,07	19,81	19,99	0,26
2	19,93	20,00	19,87	19,99	19,95	0,13
3	19,98	19,96	19,80	20,11	19,96	0,31
4	20,02	20,2	19,96	19,87	20,01	0,33
5	19,89	20,03	20,06	20,06	20,01	0,17
6	19,96	19,98	19,94	20,01	19,97	0,07
7	20,25	20,03	20,15	20,03	20,12	0,22
8	19,85	20,00	20,16	19,87	19,97	0,31
9	19,92	20,02	19,87	19,98	19,95	0,15
10	20,11	19,96	19,95	19,87	19,97	0,24
11	19,98	20,28	20,05	20,01	20,08	0,30
12	19,86	19,91	20,04	19,94	19,94	0,18
13	19,92	20,24	19,78	19,92	19,97	0,46
14	20,00	20,12	20,01	19,95	20,02	0,17
15	20,02	20,08	19,94	20,02	20,01	0,14
16	20,11	20,13	19,98	19,85	20,02	0,28
17	20,12	20,11	19,95	20,01	20,05	0,17
18	19,88	20,15	20,13	19,99	20,04	0,27
19	20,00	20,10	19,86	20,01	19,99	0,24
20	20,03	19,99	20,18	20,08	20,07	0,19
Media de las medias ($\bar{\bar{x}}$)					20,00	
Media de los rangos ($\bar{R}$)						0,23

Tomar como mínimo 20 muestras para poder usar los límites de control como referencia

Densidad de sacos de pienso para perros

Diseño de los gráficos $\bar{\bar{X}} - R$ (3)

3. **Calcular los límites de control del gráfico.**

Gráfico $\bar{\bar{X}}$

Límite superior	$\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$
Límite central	$\bar{\bar{X}}$
Límite inferior	$\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$

Gráfico R

Límite superior	$D_4\bar{R}$
Límite central	$\bar{R}$
Límite inferior	$D_3\bar{R}$

Tamaño	A_2	D_3	D_4
2	1,88	0	3,27
3	1,02	0	2,57
4	0,73	0	2,28
5	0,58	0	2,11
6	0,48	0	2,00
7	0,42	0,08	1,92
8	0,37	0,14	1,86
9	0,34	0,18	1,82
10	0,31	0,22	1,78

Las constantes son una conversión entre R y S.

$$A_2\bar{R} = \frac{3S}{\sqrt{n}}$$

Diseño de los gráficos $\bar{\bar{X}} - R$ (4)

En nuestro ejemplo...

$\bar{\bar{X}} = 20,00$
$\bar{R} = 0,23$

Gráfico $\bar{\bar{X}}$

Límite superior $\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$

20,00 + 0,73·0,23 = 20,17

Límite central $\bar{\bar{X}}$

20,00

Límite inferior $\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$

20,00 - 0,73·0,23 = 19,83

Gráfico R

Límite superior $D_4\bar{R}$

2,28·0,23 = 0,52

Límite central $\bar{R}$

0,23

Límite inferior $D_3\bar{R}$

0·0,23 = 0

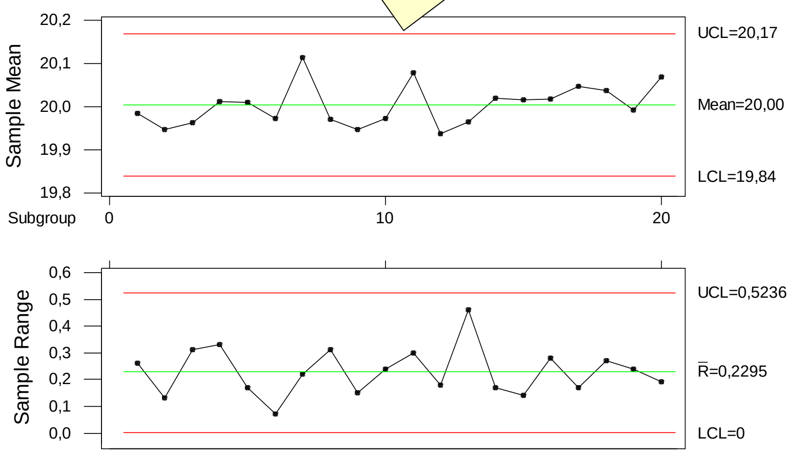
Diseño de los gráficos $\overline{X} - R$ (5)

4. Comprobar que el conjunto de referencia es bueno: Representar las medias y los rangos en los gráficos y comprobar que no ha habido comportamientos anómalos. Si los ha habido, adaptar si es posible el conjunto de referencia y estar atentos a los cambios en el proceso o centrarse en arreglar el proceso antes de comenzar con SPC

5. Tomar los límites de control como límites de referencia

Diseño de los gráficos $\overline{X} - R$ (6)

No hay ningún síntoma de causa asignable



Diseño de los gráficos $\overline{X} - R$ (7)

Plan de control

1. Extraer una muestra de tamaño n.
2. Medir la variable de interés.
3. Calcular la media y el rango de los datos.
4. Representar la media y el rango en los gráficos de control de referencia.
5. Comprobar si existen síntomas de alguna causa asignable que ha entrado en el proceso.
6. Recoger información para identificar las causas asignables
7. Emprender acciones.

Gráfico de observaciones individuales y rangos móviles I-MR

Similares a los $\overline{X}$- R, pero cuando tenemos una única observación en cada instante

Se usa cuando controlamos:

- Variables del proceso (temperatura de un horno)
- En procesos continuos, cuando no tiene sentido hablar de “individuo”

Gráfico
I-MR

Gráfico I-MR: Ejemplo (1)

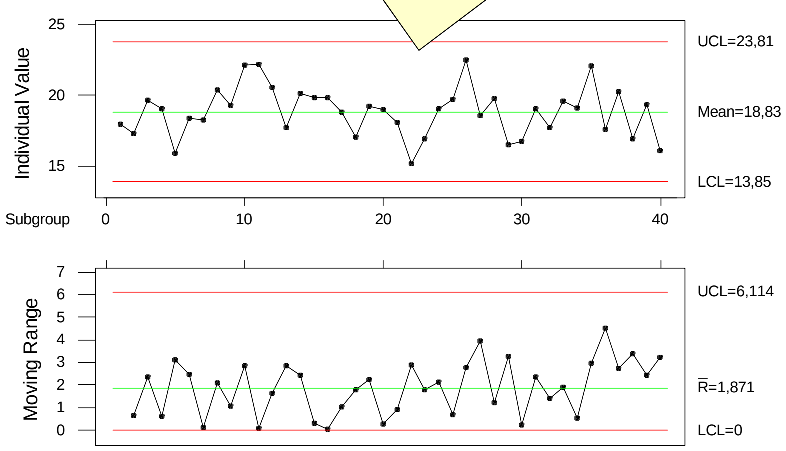
Proceso de destilación de un ácido. Se mide, cada 15 minutos el color del ácido de uno de los fluidos resultantes en unidades AFF.

Muestra	I	MR	Muestra	I	MR
1	17,9279		21	18,0645	0,90847
2	17,2991	0,6289	22	15,1781	2,88647
3	19,6317	2,3326	23	16,9451	1,76700
4	19,0214	0,6103	24	19,0542	2,10915
5	15,9038	3,1176	25	19,7220	0.66778
6	18,3706	2,4669	[illegible]	[illegible]	[illegible]
7	18,2771	0,0935	[illegible]	[illegible]	[illegible]
8	20,3680	2,0909	[illegible]	[illegible]	[illegible]
9	19,3039	1,0642	[illegible]	[illegible]	[illegible]
10	22,1444	2,8406	30	16,7056	0,21350
11	22,1919	0,0474	31	19,0646	2,35900
12	13,2246	1,6432	32	17,6858	1,37884
13	17,6965	2,8522	33	19,5974	1,91160
14	20,1352	2,4387	34	19,0934	0,50403
15	19,8400	0,2952	35	22,0674	2,97407
16	19,8167	0,0233	36	17,5550	4,51240
17	18,8061	1,0105	37	20,2717	2,71661
18	17,0182	1,7879	38	16,8940	3,37764
19	19,2407	2,2225	39	19,3207	2,42673
20	18,9730	0,2677	40	16,0823	3,23845
Media de las medias = 18,828					
Media de los rangos = 1, 8714					

Rangos móviles de longitud 2

Gráfico I-MR: Ejemplo (2)

No hay ningún síntoma de causa asignable



¿Qué hacer si los datos no siguen una normal?

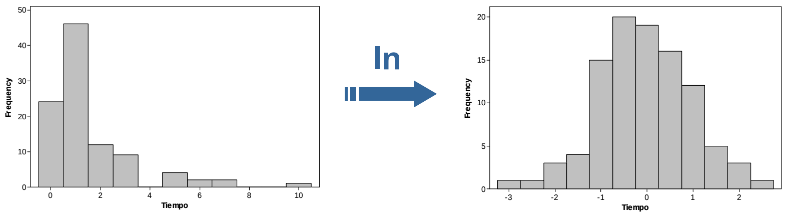
Para poder hacer un gráfico I-MR los datos deben seguir una normal

→ **Podemos comprobar si siguen una normal dibujando un histograma o representándolos en papel probabilístico normal.**

¿Qué hacemos si los datos no siguen una normal?

→ **Eso pasa a veces con datos que son tiempos.**

Se puede probar de trabajar con el logaritmo de esos datos. muchas veces el logaritmo transforma los datos no normales en datos que siguen una normal.



Contenido

Introducción y objetivos del SPC

Fase 1: Selección y diseño del gráfico

Fase 2: Utilización del gráfico

Gráficos más comunes

Gráficos de control para atributos

Modelo de referencia: ley binomial y Poisson

Gráfico P: cuando utilizarlo

- Tenemos un proceso discreto: hay individuos
- Clasificamos los individuos en dos grupos
- Indicador: proporción p de individuos en uno de estos grupos (defectuosos, enfermos, ...)
- El tamaño de muestra puede no ser constante
- Modelo matemático de referencia: Ley Binomial

Gráfico
P

Atención: hay que tener criterios claros para clasificar un producto como defectuoso o no defectuoso

Diseño del gráfico P (1)

Tomar una muestra de referencia para estimar los parámetros del proceso

1. **Tomar k muestras de tamaño n de forma consecutiva y a intervalos de tiempo iguales.**
   k: como mínimo 20.
   n de forma que np> 5 (5 defectuosas por muestra)
2. **Calcular la fracción de individuos defectuosos para cada muestra : p_i**
3. **Estimación de p**

$$p = \frac{\text{total defectuosos}}{\text{total muestreado}}$$

! Si ya tenemos una estimación de los parámetros vamos directamente a encontrar los límites de control

Diseño del gráfico P (2)

Muestra	Botellas defectuosas	Tamaño de la muestra	Proporción defectuosas
1	6	100	6
2	7	150	4,7
3	5	120	4,2
4	10	100	10
5	8	140	5,7
6	7	90	7,8
7	4	100	4
8	2	100	2
9	1	100	1
10	9	150	6
11	12	145	8,3
12	5	130	3,8
13	6	100	6
14	11	160	6,9
15	3	120	2,5
16	14	140	10
17	4	100	4
18	7	90	7,8
19	6	100	6
20	9	100	9
	Total=136	Total=2335	

Tomar como mínimo 20 muestras para poder usar los límites de control como referencia

Tomar n de forma que np > 5 (al menos 5 piezas defectuosas en cada muestra)

$$p = \frac{\text{total defectuosos}}{\text{total muestreado}} = $$

$$= \frac{136}{2335} = 5,82\%$$

Diseño del gráfico P (3)

4. Calcular los límites de control del gráfico.

Límite superior $\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$

Límite central $\bar{p}$

Límite inferior $\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$

Si se expresa p en porcentaje, en lugar de (1-p) hay que utilizar (100-p)

Si el tamaño de muestra va cambiando, los límites de control también

Diseño del gráfico P (4)

En nuestro ejemplo...

Muestra 1 ; n=100

Límite superior $5,82 + 3\sqrt{\frac{5,82(100-5,82)}{100}} = 12,84$

Límite central $5,82$

Límite inferior $5,82 - 3\sqrt{\frac{5,82(100-5,82)}{100}} \approx 0$

Muestra 2 ; n=150

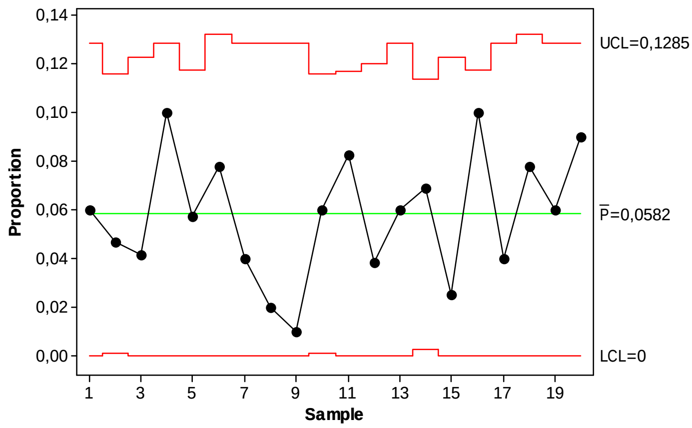
Límite superior $5,82 + 3\sqrt{\frac{5,82(100-5,82)}{150}} = 11,55$

Límite central $5,82$

Límite inferior $5,82 - 3\sqrt{\frac{5,82(100-5,82)}{150}} = 0,09$

Diseño del gráfico P (5)

5. Llevar los valores de los p_i obtenidos de las k muestras al gráfico, y comprobar que no haya evidencia de causa asignable. Si la hay, ver que ha pasado.



Tests performed with unequal sample sizes

Diseño del gráfico P (6)

Plan de control

1. Extraer una muestra de tamaño n_i
2. Contar el número de elementos defectuosos y hallar p_i (fracción defectuosa)
3. Llevar p_i al gráfico
4. Ajustar los límites si n_i no es fijo, manteniendo el valor de p.
5. Comprobar si existe evidencia de alguna causa asignable que ha entrado en el proceso.
6. Emprender acciones.

Gráfico NP: cuándo utilizarlo

Gráfico **NP**

- **Condiciones del proceso: igual que el gráfico p**
- **Indicador: cantidad de individuos defectuosos (no la proporción)**
- **El tamaño de muestra es ahora constante**

Ejercicio:
Hacer un gráfico NP con los datos del caso de la entidad bancaria

¿Por qué tanto en los gráficos P como en los NP pedimos que el número de piezas defectuosas en cada muestra sea como mínimo 5? ¿Qué pasaría si tuviéramos sólo una o... ninguna pieza defectuosa en cada muestra?

Diseño del gráfico NP (1)

1. **Tomar k muestras de tamaño n de forma consecutiva y a intervalos de tiempo iguales.**
   k: como mínimo 20.
   n de forma que np>5 (5 defectuosas por muestra)
2. **Contar el número de defectuosos en cada muestra**

$$d_i = np_i$$

3. **Calcular el número medio de defectuosos por muestra promediando el total de muestras**

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^{k} \frac{d_i}{k}$$

! Si ya tenemos una estimación de los parámetros vamos directamente a encontrar los límites de control

Diseño del gráfico NP (2)

4. Calcular los límites de control del gráfico.

Límite superior $n\overline{p} + 3\sqrt{n\overline{p}(1-\overline{p})}$

Límite central $\overline{p}$

Límite inferior $n\overline{p} - 3\sqrt{n\overline{p}(1-\overline{p})}$

5. Llevar los valores del número de defectuosos por grupo al gráfico, y comprobar que durante la obtención de las muestras el proceso ha estado bajo control
6. Mantener los límites de control calculados y establecer un plan de control para el futuro (igual que para el gráfico P).

Gráfico C: cuándo utilizarlo

- Indicador: número de veces que ocurre un fenómeno por unidad de medida:
  - Nº de defectos en un producto y no nº de productos defectuosos,
  - Nº de defectos de estampación por m^2,
  - Nº accidentes laborales por 10.000 horas.hombre,
  - Nº de llamadas telefónicas por hora,
  - Nº de puntos de óxido en una chapa pintada
- Modelo matemático de referencia: Ley Poisson (aproximada por Ley Normal con unidad suficientemente grande)
- El tamaño de la unidad es constante

Gráfico
C

Diseño del gráfico C (1)

1. **Seleccionar que será una unidad de medición (m^2 de tela, una hora, etc). Interesa tener, en media, al menos 10 ocurrencias por unidad de medición**
2. **Tomar k unidades de forma consecutiva y a intervalos de tiempo iguales.**
   k: como mínimo 20.
   Contar el número de ocurrencias en cada unidad.

! Si ya tenemos una estimación de c (por información histórica) vamos directamente a encontrar los límites de control

Diseño del gráfico C (2)

Número de visitantes diarios a una página web durante un mes

Día		Visitas	Día		Visitas	Día		Visitas
1	Mi	41	11	S	45	21	Ma	38
2	J	41	12	D	51	22	Mi	42
3	V	46	13	L	38	23	J	57
4	S	39	14	Ma	41	24	V	49
5	D	43	15	Mi	39	25	S	36
6	L	54	16	J	37	26	D	47
7	Ma	35	17	V	37	27	L	46
8	Mi	34	18	S	44	28	Ma	40
9	J	39	19	D	43	29	Mi	39
10	V	37	20	L	34	30	J	33

$\bar{c}$ = 41,50 promedio de visitas por día

Diseño del gráfico C (3)

3. **Calcular el valor medio de ocurrencias:**

$$\bar{c} = \sum_{i=1}^{k} \frac{c_i}{k}$$

En nuestro ejemplo: $\bar{c} = 41,50$

4. **Calcular los límites de control del gráfico.**

		En nuestro ejemplo:
Límite superior	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$41,50 + 3\sqrt{41,50} = 60,83$
Límite central	$\bar{c}$	$41,50$
Límite inferior	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	$41,50 - 3\sqrt{41,50} = 22,17$

Diseño del gráfico C (4)

5. **Llevar los valores del número de ocurrencias al gráfico y mirar si el proceso ha estado en estado de control**
6. **Mantener los límites de control calculados y establecer un plan de control para el futuro.**

No hay ningún síntoma de causa asignable

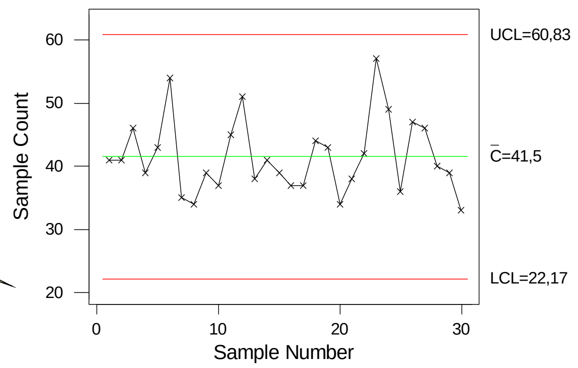


Gráfico U: cuándo utilizarlo

- **Se usa para lo mismo que el gráfico C, pero cuando no se puede tomar una unidad del mismo tamaño cada vez para controlar el número de defectos. Por ejemplo:**
  - **No tomamos cada vez un m^2 de tela, sino piezas distintas cada vez.**
  - **Miramos número de defectos por lote, y no todos los lotes tienen la misma cantidad de individuos.**
- **Controlamos número de defectos por unidad, pero puede ser un número no entero.**

Gráfico U

Diseño del gráfico U

Lo hacemos todo igual al gráfico C, con estos límites de control:

Límite superior	$\bar{u} + 3\sqrt{\frac{u_i}{n_i}}$
Límite central	$\bar{u}$
Límite inferior	$\bar{u} - 3\sqrt{\frac{u_i}{n_i}}$

!

- Llevamos al gráfico u_i (número medio de defectos por unidad, NO número de defecto encontrados en la muestra)
- Los límites de control no son fijos, dependen de n_i

¿Qué gráfico usar? Diagrama de flujo