Estadística

Tema 7. Control estadístico de la calidad

María Dolores Frías Domínguez
Jesús Fernández Fernández
Carmen María Sordo

Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación

TEMA 7: Control Estadístico de la Calidad

Introducción al control de la calidad.

Métodos de mejora de la calidad.

Gráficos de control de Shewhart:

- Gráficos c
- Gráficos np
- Gráficos X y R

Interpretación de los gráficos.

Calidad

Llamaremos **calidad** a la adecuación de un producto o servicio para ser usado.

Distinguiremos entre:

- **Calidad de diseño**: nivel de calidad <u>elegido</u> en la fase de diseño del producto o servicio.
- **Calidad de conformidad**: grado de adecuación a las especificaciones y tolerancias del diseño que se consigue en la fase de fabricación del producto.

A los rasgos o propiedades que definen la calidad de un producto o servicio (longitud, resistencia, color, fiabilidad, …) las denominaremos **características de la calidad**.

Control estadístico de la calidad

El cliente nunca puede recibir un producto o servicio con características de calidad perfectas debido a la **variabilidad:**

Dos unidades producidas nunca son exactamente iguales

- **Control Estadístico de la Calidad** aplicación de técnicas estadísticas a procesos industriales, administrativos y/o servicios con objeto de comprobar si todas sus partes cumplen unas ciertas exigencias de calidad y ayudar a reducir su variabilidad.

- La **mejora de la calidad de conformidad** consiste en la reducción sistemática de la variabilidad en productos y servicios.

Mejora de la calidad

Al **mejorar** la **calidad de conformidad**:

- Se reduce el número de unidades defectuosas que deben desecharse.
- Se reduce el número de unidades defectuosas que deben reprocesarse.
- Se elimininan tests e inspecciones.
- Se producen menos retrasos.
- Se aprovecha mejor el tiempo de máquinas y operarios.
- Se ulitizan mejor los materiales.

Estos efectos contribuyen a **aumentar** la **productividad.**

Ejemplo

Una fábrica produce diariamente 80 viguetas, de las cuales hay 60 conforme a las especificaciones, pero hay 20 defectuosas. El 45% de las viguetas defectuosas debe ser desechada y el 55% restante debe ser reparada. Supongamos que el coste de fabricación por unidad es de 150€ y el coste de reparación es 50€ por unidad. ¿Cuánto cuesta cada vigueta producida? ¿Cuántas viguetas se producen diariamente?

Se introduce un programa de calidad que reduce el número de viguetas defectuosas a 4 ¿cuál es el coste unitario ahora? ¿y el número medio de viguetas?

Mejora de la calidad

Al **mejorar** la **calidad de conformidad**:

- Se reduce el número de unidades defectuosas que deben desecharse.
- Se reduce el número de unidades defectuosas que deben reprocesarse.
- Se elimininan tests e inspecciones.
- Se producen menos retrasos.
- Se aprovecha mejor el tiempo de máquinas y operarios.
- Se ulitizan mejor los materiales.

Estos efectos contribuyen a **aumentar** la **productividad.**

Ejemplo

$$60 + 0{,}55 \times 20 = 71 \text{ viguetas/dia}$$

$$\frac{80 \times 150 + 20 \times 0{,}55 \times 50}{60 + 20 \times 0{,}55} = 171{,}76 \quad euros$$

$$76 + 0{,}55 \times 4 = 78{,}2 \text{ viguetas/dia}$$

$$\frac{80 \times 150 + 4 \times 0{,}55 \times 50}{76 + 4 \times 0{,}55} = 154{,}86 \quad euros$$

Costes de la calidad

- **Costes de prevención:** inversión en el diseño y la fabricación para evitar producir unidades defectuosas
- **Costes de tasación:** inversión en la medida, evaluación o auditoría de productos o servicios, sus componentes y materias primas para asegurar su conformidad.
- **Costes de fallos internos:** son los provocados por unidades defectuosas descubiertas antes de llegar al cliente (desechado, pruebas, reprocesado, pérdida de producción, …)
- **Costes de fallos externos:** son los provocados por unidades defectuosas descubiertas después de llegar al cliente (garantía, devoluciones, quejas, responsabilidad, pérdida de prestigio y ventas, ...)

Variabilidad

La mayor dificultad para proporcionar productos o servicios de calidad perfecta es la **variabilidad** inherente a cualquier proceso de fabricación o de prestación de servicios.

Si la diferencia entre dos unidades es pequeña no tiene importancia, pero si es relativamente grande, alguna unidad puede ser inaceptable, o lo que es lo mismo defectuosa.

El estudio y evaluación de esa variabilidad es el objetivo de la aplicación de técnicas estadísticas al control de la calidad.

Variabilidad

Diremos que un proceso está **bajo control** o **en estado de control** cuando la característica de calidad observada en el proceso varía de forma estable alrededor de un valor medio fijo.

El principal objetivo del control de calidad será **reducir** sistemáticamente la **variabilidad** en productos y servicios. Para ello es necesario, primero identificar las causas que provocan variabilidad y posteriormente eliminarlas del proceso de fabricación.

Causas de la variabilidad

Las causas de variabilidad se pueden clasificar como:

- Las causas de la variabilidad cuando un proceso está bajo control se denominan **causas comunes**. Son la suma de muchas variaciones pequeñas en todo el proceso (materia prima, condiciones ambientales, maquinaria, operarios, …) y son susceptibles de una caracterización estadística.

- Las causas que hacen que un proceso abandone su estado de control se denominan **causas especiales o asignables**. Suelen ser pocas pero sus efectos son muy importantes. Hay que detectarlas (valiéndose del control estadístico de procesos), investigarlas y eliminarlas del sistema. (ej. ajuste incorrecto de una máquina, errores humanos...).

El objetivo del **Control Estadístico de la Calidad** es detectar rápidamente la ocurrencia debida a causas asignables e investigar las causas que la han producido para eliminarlas.

Métodos de mejora de la calidad

Las siete herramientas de Ishikawa*, son un conjunto de técnicas de control estadístico utilizadas durante el proceso de fabricación del producto o de prestación del servicio para mejorar la calidad y la productividad:

- Plantillas para recogida de datos (*check sheets*): plantillas que recogen datos de una característica de calidad
- Histogramas: representación gráfica de las variables
- Diagramas causa-efecto (*fishbone diagram*): busca el factor principal de los problemas
- Diagramas de Pareto: representación gráfica de variables cualitativas
- Diagramas de dispersión: estudia la relación entre 2 variables
- Gráficos de flujo: esquema que describe el proceso en sus múltiples partes con el fin de identificar el problema:
- **Gráficos de control:** representación de una característica de la calidad con límites de control

* *Ingeniero japonés experto en el control de la calidad.*

- Plantillas para recogida de datos (*check sheets*): plantillas que recogen datos de una característica de calidad

PLANTILLA DE INSPECCIÓN Nº:

Producto:
Uso:
Especificación:
Nº Lote:

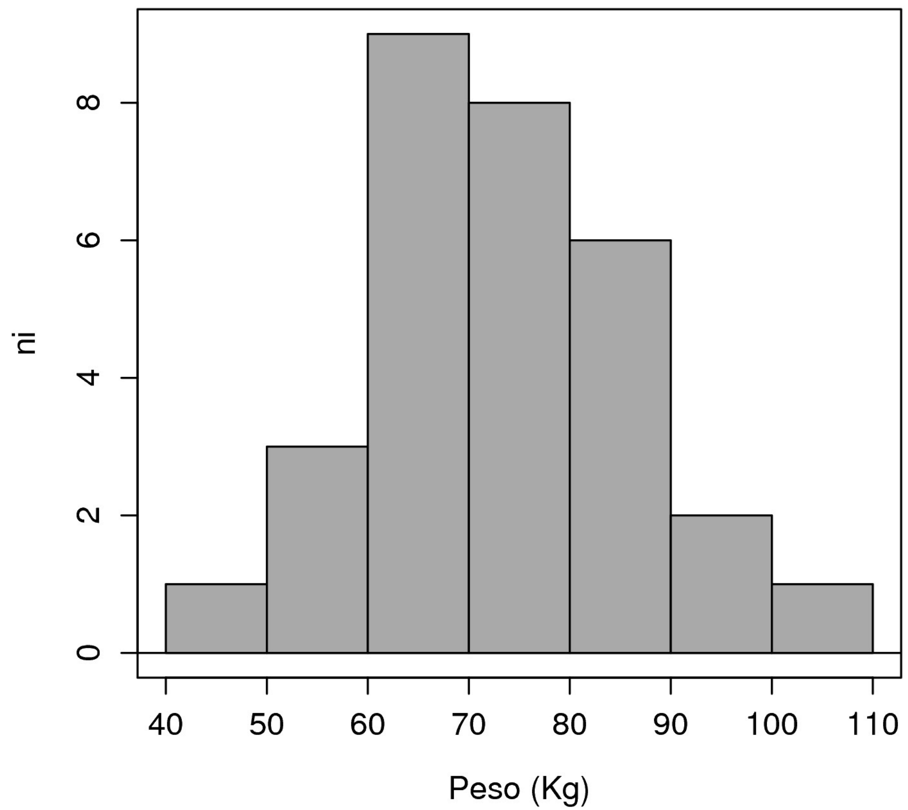
Sección:
Fecha:
Inspector:

	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3
30											
25				••							
20				•••••	•••••	••					
15			•••	•••••	•••••	•••••	•••				
10			•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••			
5	•	•••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••	
Frec.	1	3	13	22	20	12	13	10	5	3	0

A medida que se van registrando las mediciones nos va mostrando como se reparten.

Métodos de mejora de la calidad

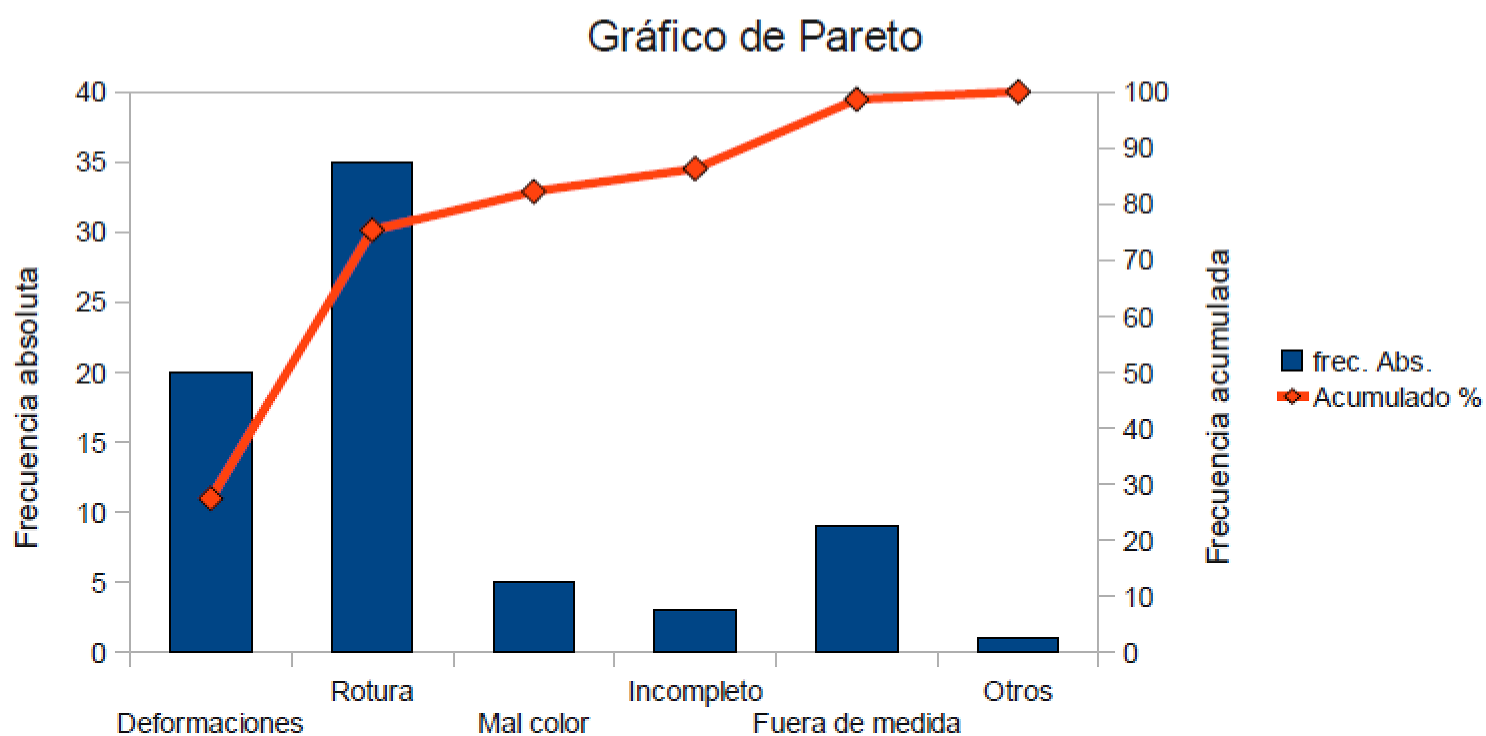
- Histogramas: representación gráfica de las variables



Nos permite ver rápidamente como se distribuyen las mediciones contenidas en una tabla.

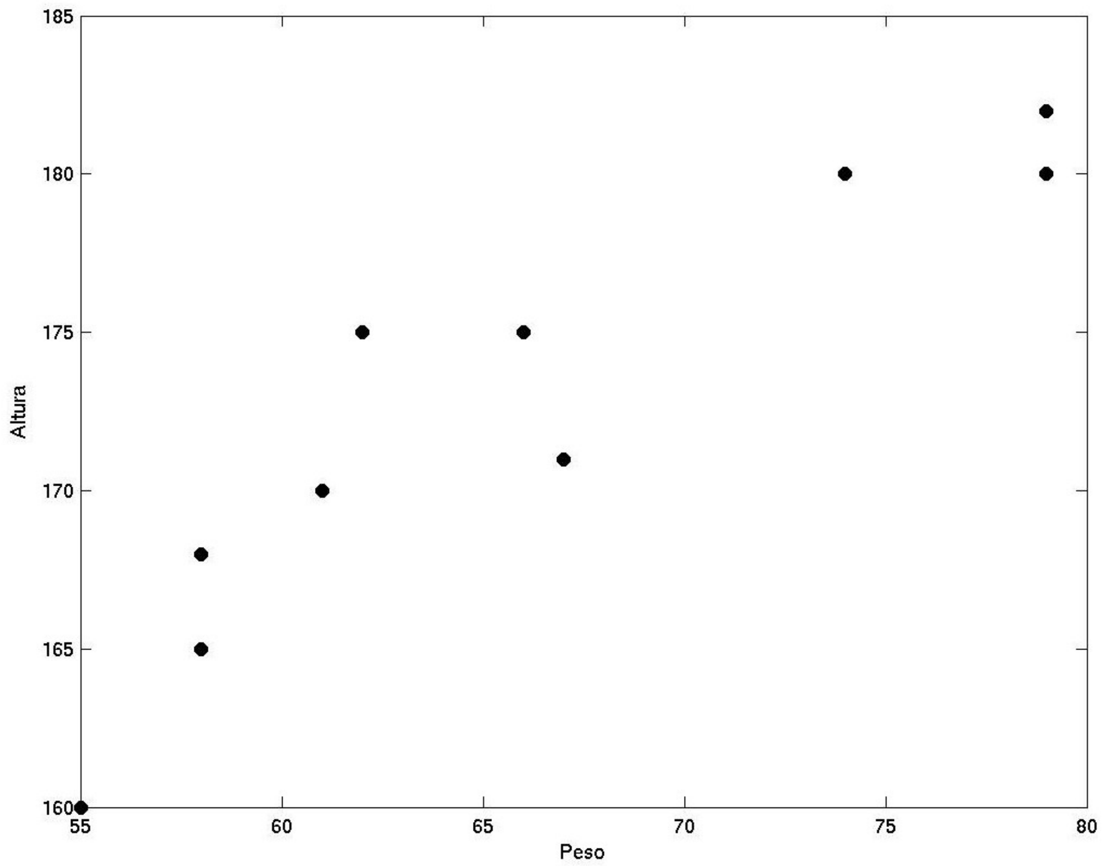
Métodos de mejora de la calidad

- Diagramas de Pareto: representación gráfica de variables cualitativas



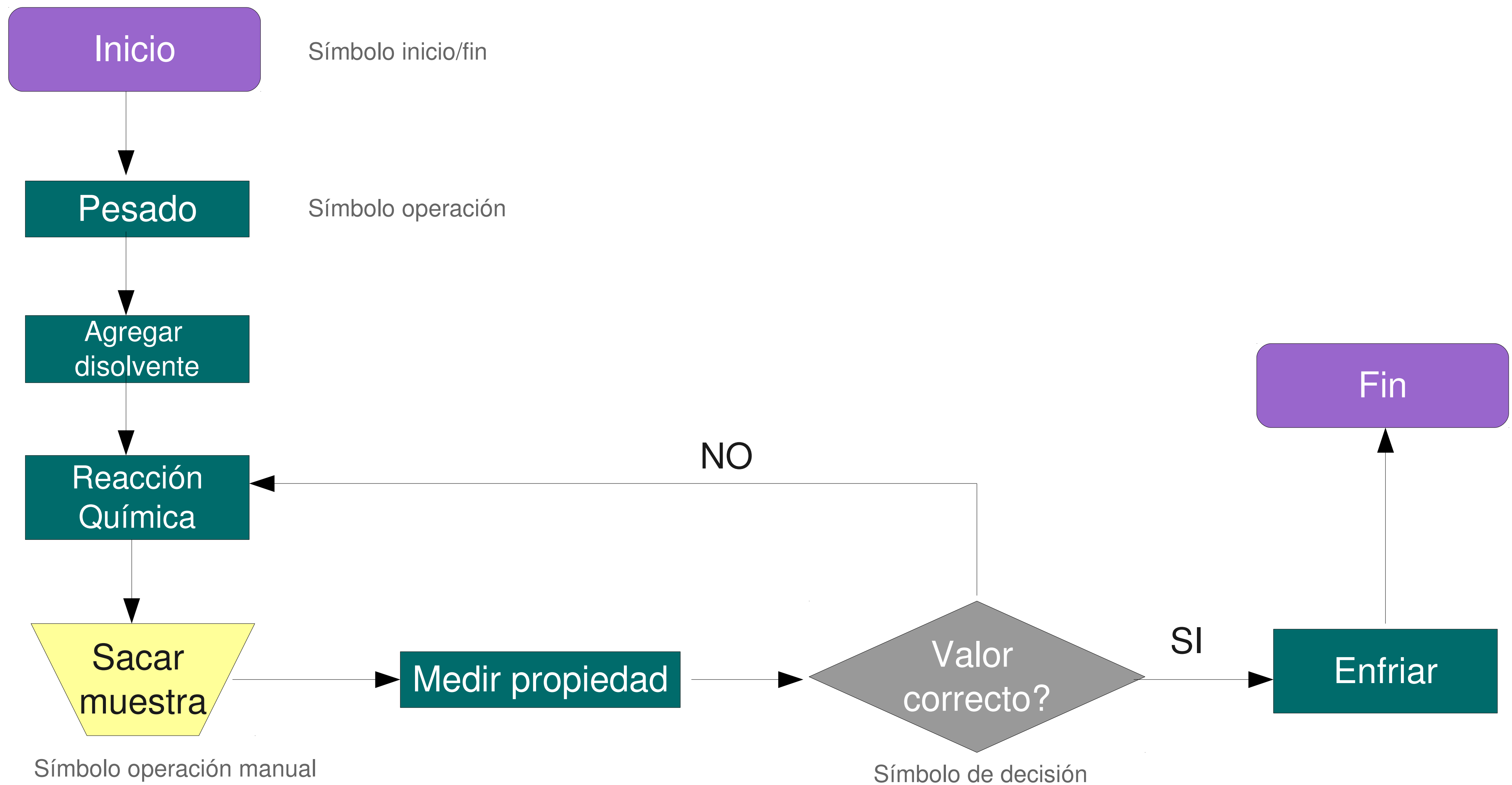
En este ejemplo, eliminando del proceso las causas que provocan los dos primeros tipos de defectos desaparecerían la mayoría de los defectos.

- Diagramas de dispersión: estudia la relación entre 2 variables



Métodos de mejora de la calidad

- Gráficos de flujo: esquema que describe el proceso en sus múltiples partes con el fin de identificar el problema



María Dolores Frías, Jesús Fernández y Carmen María Sordo

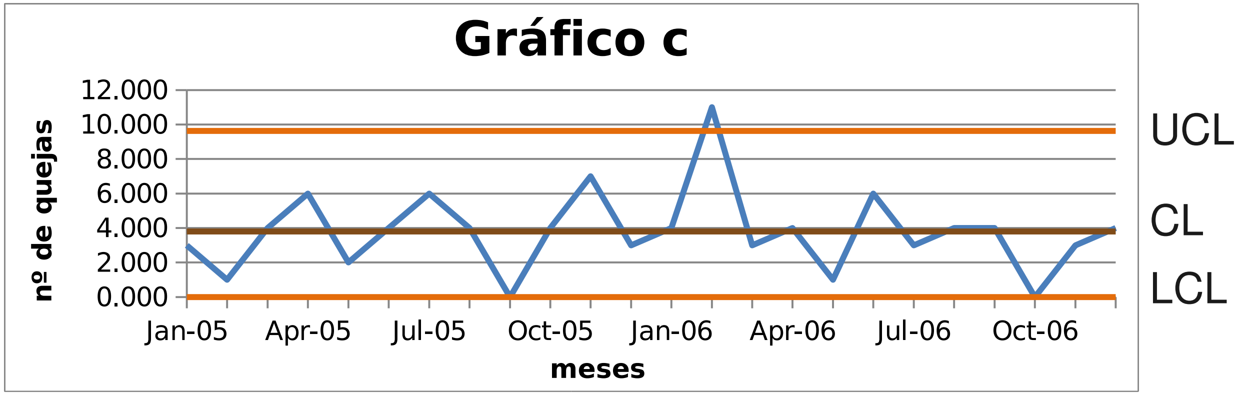
Gráficos de Control

Los **gráficos de control** son una herramienta de control estadístico que se utiliza para monitorizar las causas comunes de variabilidad y detectar la ocurrencia de causas especiales a lo largo del tiempo.

Permiten visualizar si el proceso está bajo control.

Los más conocidos son los Gráficos de control de Shewhart*, que representan una característica de calidad frente al tiempo (o una variable relacionada con el tiempo) y muestran los límites de control.

* *Ingeniero americano de la Bell Telephone Laboratories, experto en el control de la calidad.*



Límites de control

Se denomina línea central (**CL**), al valor medio de la característica de calidad estudiada.

El límite superior de control (**UCL**) y el límite inferior de control (**LCL**), son dos límites (por encima y por debajo de la línea central) con los que se decide si el proceso está **fuera de control.**

Si se puede suponer que la característica de calidad se distribuye de forma normal, el intervalo (μ-3σ, μ+3σ) es un intervalo de probabilidad al 99.7% de confianza para un valor de esa característica. Consideraremos el proceso fuera de control si la característica toma un valor fuera de ese intervalo. Es decir, tomaremos:

$$UCL = \mu + 3\sigma$$

$$CL = \mu$$

$$LCL = \mu - 3\sigma$$

Idealmente, μ y σ se estiman mediante registros históricos de la característica de calidad o vienen dados de la fase de diseño. Si no queda otro remedio, podemos estimarlos mediante el registro que se está analizando.

Al monitorizar un proceso con un gráfico de control puede ocurrir:

- Alarma verdadera: ocurre una causa especial y se detecta.
- Ocurre una causa especial pero no se detecta.
- Falsa alarma: no ocurre ninguna causa especial pero el gráfico de control produce una alarma.
- No ocurre ninguna causa especial y el gráfico de control no produce ninguna alarma

La determinación de LCL y UCL debe hacerse de forma que se detecte la presencia de causas especiales con la mayor probabilidad posible y lo más rápidamente posible, minimizando al mismo tiempo la tasa de falsas alarmas.

Gráficos de Control de Shewart

Los Gráficos de Control de Shewart varían según el tipo de dato que representan:

- **Gráfico c**: número total de defectos durante sucesivos intervalos de tiempo o espacio de longitud fija.
- Gráfico u: número de defectos por unidad de medida
- **Gráfico np**: cantidad de unidades defectuosas en la muestra
- Gráfico p: proporción de unidades defectuosas en la muestra
- **Gráficos X, R** y S: características de calidad de tipo continuo, media y variabilidad (rango y desviación típica) del proceso.

Gráfico c

Estamos interesados en el número total de defectos durante sucesivos intervalos de tiempo o espacio de longitud fija.

Si se cumplen las condiciones para que X~Po(c), su función de probabilidad será:

$$p_X(x) = e^{-c}\frac{c^x}{x!} \qquad x = 0, 1, 2 \ldots$$

donde la media y la varianza de X serán iguales a c.

Cuando la media c de X es suficientemente grande como para que la distribución de Poisson pueda aproximarse por la distribución normal, los límites de control quedarán definidos como:

$$\boxed{\begin{array}{l} LCL = c - 3\sqrt{c} \\ UCL = c + 3\sqrt{c} \end{array}}$$

La línea central será, obviamente, CL = c

Gráfico c

Ejemplo

Un pequeño restaurante de carretera ha recogido todos los meses durante dos años el número de quejas que ha rebidido en relación a los servicios que presta:

2009	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
quejas	3	1	4	6	2	4	6	4	0	4	7	3
2010	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
quejas	4	11	3	4	1	6	3	4	4	0	3	4

Realiza un gráfico de control e indica si el proceso se encuentra bajo control o no.

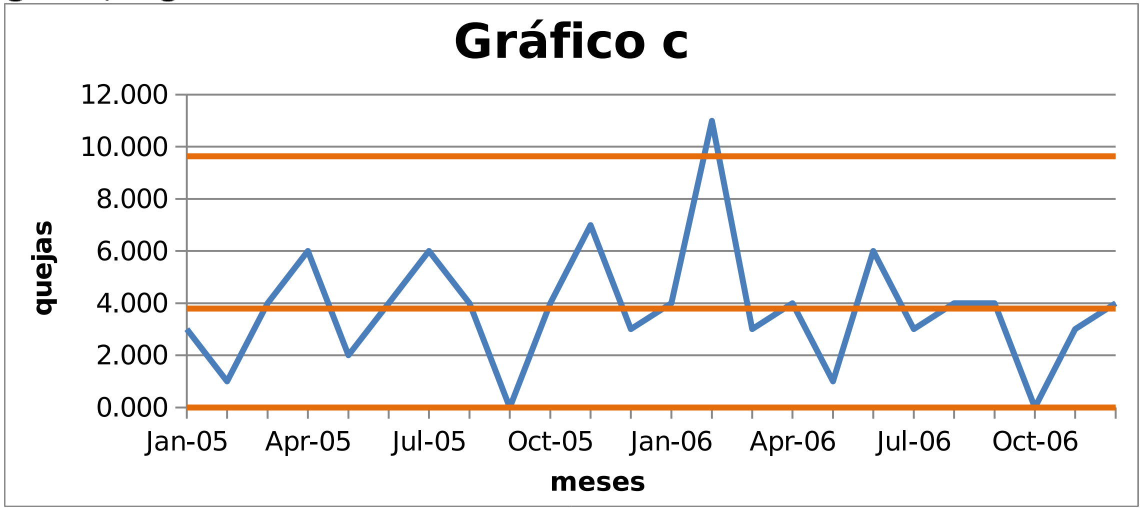
Gráfico c

Ejemplo

$$LCL = c - 3\sqrt{c} = -2.05 \rightarrow 0$$

$$UCL = c + 3\sqrt{c} = 9.63$$

$$c = \frac{91}{24} = 3.79$$

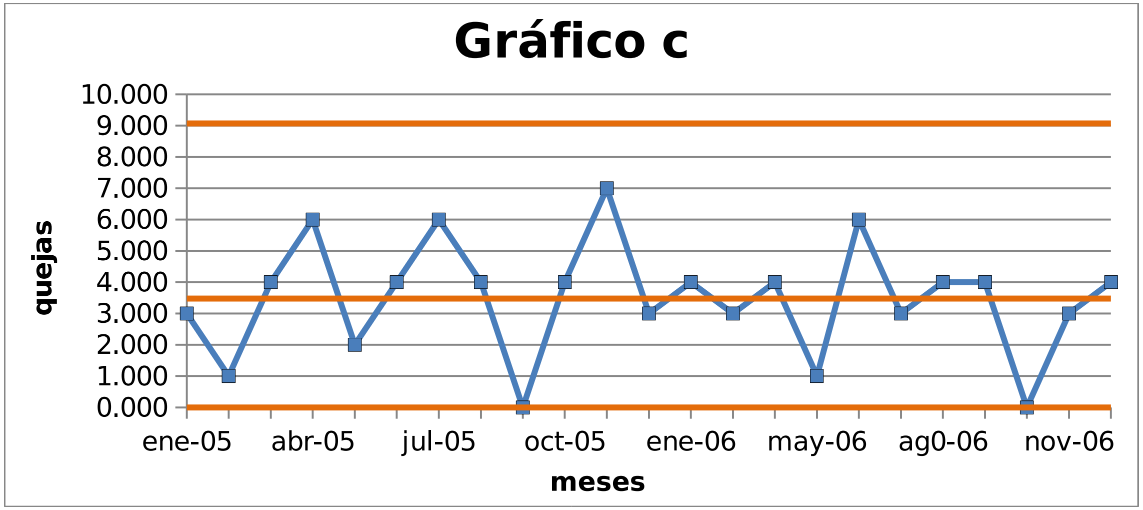


Dado que no hemos usado la verdadera c del proceso, la re-estimamos eliminando el punto que está fuera de control, por si se están enmascarando otros y para obtener una c más ajustada a la media cuando el proceso está bajo control.

$$c = \frac{80}{23} = 3.48$$

$$LCL = -2.12 \rightarrow 0$$

$$UCL = 9.07$$



Ejercicio

Una compañía que fabrica teclados realiza diariamente análisis de calidad a 25 teclados con el fin de determinar el número total de teclas defectuosas. La producción será satisfactoria si el número de teclas defectuosas no varía de 4. En la siguiente tabla se muestran el número de teclas defectuosas en 30 jornadas:

3	8	2	2	3	4	4	9	7	0
2	5	5	8	5	6	7	4	4	2
3	3	5	6	3	5	3	5	0	4

Obtener el gráfico de control del proceso y determinar si el proceso está bajo control.

Gráfico np

Estamos interesados en el número X de unidades defectuosas en una muestra de tamaño n. En este caso, X debe ser una distribución binomial y su función de probabilidad será:

$$p_X(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}. \quad x = 0, 1 \ldots n$$

La media de X es np y la varianza np(1-p).

Si el valor de n es suficientemente grande como para que la distribución binomial pueda aproximarse por la distribución normal, los límites de control se definirían como:

$$\boxed{\begin{aligned} LCL &= np - 3\sqrt{np(1-p)} \\ UCL &= np + 3\sqrt{np(1-p)} \end{aligned}}$$

CL sería np.

p podría ser el histórico si se dispone de él o el estimado a partir de la muestra.

Gráfico np

Ejemplo

Una empresa fabrica pequeñas piezas de PVC mediante un proceso mecanizado. Al analizar las piezas se puede determinar si estas tienen las dimensiones adecuadas o no, en cuyo caso se considera defectuosa. La empresa quiere elaborar un gráfico de control para controlar el número de piezas defectuosas producidas por la máquina. Para ello se seleccionaron 30 muestras de tamaño 50, obteniendose los siguientes datos:

muestra	Nº defectuosas	muestra	Nº defectuosas	muestra	Nº defectuosas
1	12	**11**	5	**21**	20
2	15	**12**	6	**22**	18
3	8	**13**	17	**23**	24
4	10	**14**	12	**24**	15
5	4	**15**	22	**25**	9
6	7	**16**	8	**26**	12
7	16	**17**	10	**27**	7
8	9	**18**	5	**28**	13
9	14	**19**	13	**29**	9
10	10	**20**	11	**30**	6

Construya el gráfico de control para la empresa y analice la información obtenida.

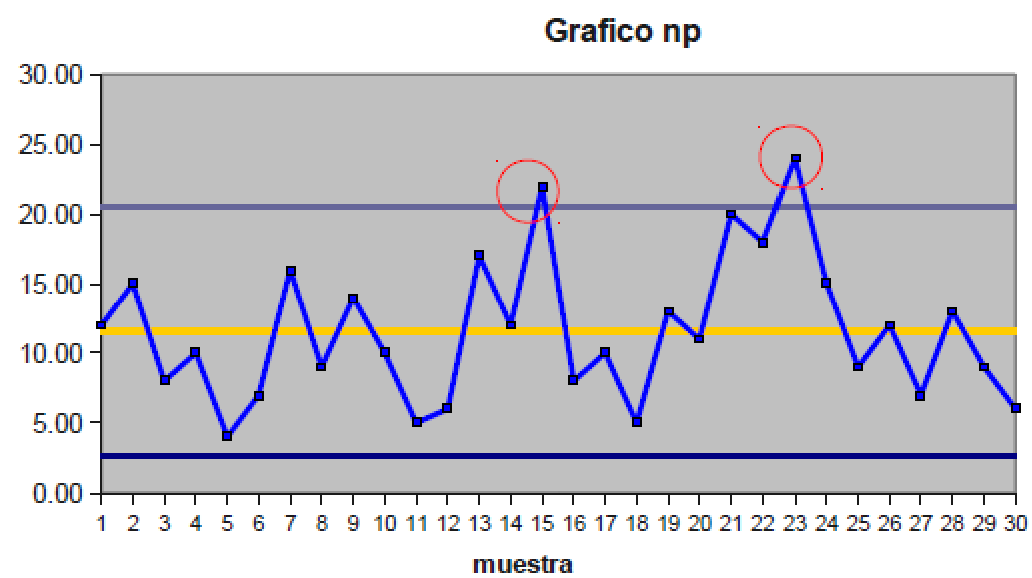
Gráfico np

Ejemplo

muestra	disconf	pi	LIC	valor medio	LSC
1	12	0.24	2.62	11.57	20.51
2	15	0.30	2.62	11.57	20.51
3	8	0.16	2.62	11.57	20.51
4	10	0.20	2.62	11.57	20.51
5	4	0.08	2.62	11.57	20.51
6	7	0.14	2.62	11.57	20.51
7	16	0.32	2.62	11.57	20.51
8	9	0.18	2.62	11.57	20.51
9	14	0.28	2.62	11.57	20.51
10	10	0.20	2.62	11.57	20.51
11	5	0.10	2.62	11.57	20.51
12	6	0.12	2.62	11.57	20.51
13	17	0.34	2.62	11.57	20.51
14	12	0.24	2.62	11.57	20.51
15	22	0.44	2.62	11.57	20.51
16	8	0.16	2.62	11.57	20.51
17	10	0.20	2.62	11.57	20.51
18	5	0.10	2.62	11.57	20.51
19	13	0.26	2.62	11.57	20.51
20	11	0.22	2.62	11.57	20.51
21	20	0.40	2.62	11.57	20.51
22	18	0.36	2.62	11.57	20.51
23	24	0.48	2.62	11.57	20.51
24	15	0.30	2.62	11.57	20.51
25	9	0.18	2.62	11.57	20.51
26	12	0.24	2.62	11.57	20.51
27	7	0.14	2.62	11.57	20.51
28	13	0.26	2.62	11.57	20.51
29	9	0.18	2.62	11.57	20.51
30	6	0.12	2.62	11.57	20.51

k= 30

n= 50



p=0.23

np=11.57

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{k} p_i}{k} = \frac{\sum_{i=1}^{k} d_i/n}{k}$$

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

$$LCL = np - 3\sqrt{np(1-p)}$$

$$UCL = np + 3\sqrt{np(1-p)}$$

Gráficos de tipo continuo

Los gráficos para características de tipo continuo presentan una diferencia importante con respecto a los gráficos c y np vistos. En los casos vistos, al conocer la media de un proceso queda completamente determinada la varianza (distribución binomial y Poisson), por lo que sólo es necesario monitorizar la media (la variabilidad queda monitorizada).

Al trabajar con medidas continuas, en las que se suele usar la distribución de probabilidad normal, la media y la varianza no están relacionadas, por lo que habrá que monitorizar por una lado la media del proceso, gráfico X y por otro la variabilidad, gráfico R (para el rango) o gráfico S (para la desviación típica).

Gráfico X

Es una representación de las medias observadas para la característica de calidad medida en sucesivos intervalos de muestreo t =1,2,....

$$\bar{x}_t = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_{ti}$$

n: número de observaciones en cada intervalo de muestreo t

Los límites de control se suelen calcular a partir del rango medio de los datos observados en cada intervalo t,

$$R_t = max(x_{t1}, \cdots x_{tn}) - min(x_{t1}, \cdots x_{tn}) \Rightarrow \bar{R} = \frac{1}{t}\sum_{i=1}^{t} R_i$$

A partir de este rango medio es posible obtener un estimador de la desviación típica de las observaciones individuales x_{ti} y así un estimador de la desviación típica de las medias $\bar{x}_t$ obtenidas en cada intervalo de muestreo t:

$$\hat{\sigma}_x = \frac{\bar{R}}{d_2} \Rightarrow \hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{\hat{\sigma}_x}{\sqrt{n}} = \frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}$$

donde d_2 es una constante en función de n

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078

Gráfico X

CL puede ser igual a la media μ histórica de la característica medida en caso de ser conocida, o a la media de las medias observadas:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^{t} \bar{x}_i$$

Los límites de control quedan definidos como:

$$LCL = \overline{\overline{x}} - 3\hat{\sigma}_{\overline{x}}$$
$$UCL = \overline{\overline{x}} + 3\hat{\sigma}_{\overline{x}}$$

Gráfico X

Ejemplo

En una fábrica que produce tuberías se han medido los diámetros (en mm) de 16 tuberías. En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos a lo largo de 8 intervalos de muestreo sucesivos, en cada uno de los cuales se han seleccionaldo al azar 2 tuberías para medir sus diámetros x_{t1} y x_{t2}. Dibujar el gráfico X, ¿puede decirse que la media del proceso está bajo control?

Intervalo de muestreo (t)	x_{t1}	x_{t2}
1	80	82
2	83	81
3	81	80
4	79	80
5	81	79
6	80	80
7	81	81
8	79	81

Gráfico X

Ejemplo

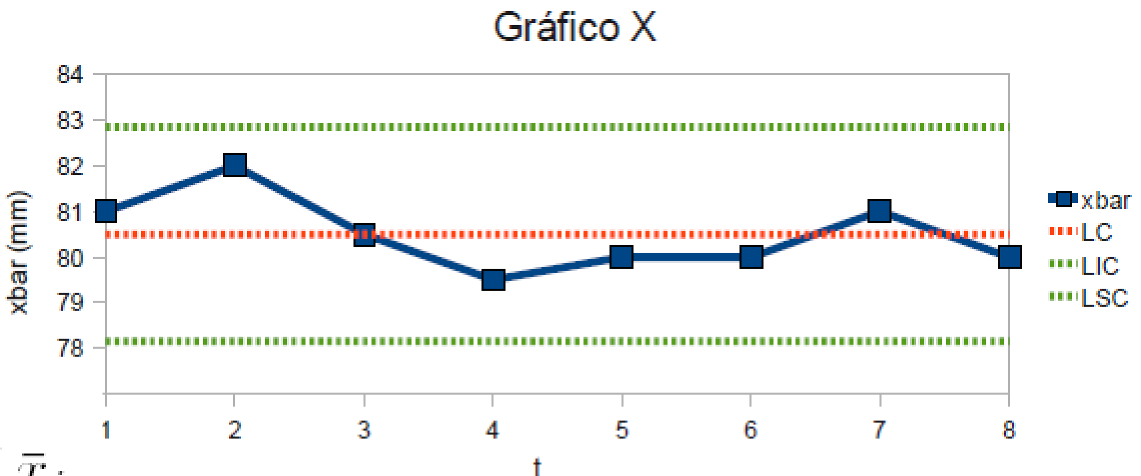
xt1	xt2	xbar	Rt	LC	LIC	LSC
				Grafico X		
80	82	81	2	80.5	78.15	82.85
83	81	82	2	80.5	78.15	82.85
81	80	80.5	1	80.5	78.15	82.85
79	80	79.5	1	80.5	78.15	82.85
81	79	80	2	80.5	78.15	82.85
80	80	80	0	80.5	78.15	82.85
81	81	81	0	80.5	78.15	82.85
79	81	80	2	80.5	78.15	82.85

$$LCL = \bar{\bar{x}} - 3\hat{\sigma}_{\bar{x}}$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + 3\hat{\sigma}_{\bar{x}}$$

Grafico X

LC	80.50
Rbar	1.25
d2	1.13
sigma_est_xbar	0.78
LIC	78.15
LSC	82.85



$$\bar{x}_t = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_{ti} \qquad \bar{\bar{x}} = \frac{1}{t}\sum_{i=1}^{t} \bar{x}_i$$

$$R_t = max(x_{t1}, \cdots x_{tn}) - min(x_{t1}, \cdots x_{tn}) \Rightarrow \bar{R} = \frac{1}{t}\sum_{i=1}^{t} R_i$$

$$\hat{\sigma}_x = \frac{\bar{R}}{d_2} \Rightarrow \hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{\hat{\sigma}_x}{\sqrt{n}} = \frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}$$

Gráfico R

Es una representación de los rangos R_t, calculados para el gráfico X. En este la desviación típica de los rangos R_t obtenidos en cada intervalo de muestreo t puede calcularse como:

$$\hat{\sigma}_R = \frac{\bar{R}}{d_R}$$

donde d_R es una constante en función de n

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_R	1.323	1.906	2.340	2.691	2.988	3.247	3.472	3.676	3.861

Por tanto, los límites de control del gráfico R se calculan:

$$LCL = \overline{R} - 3\hat{\sigma}_R$$
$$UCL = \overline{R} + 3\hat{\sigma}_R$$

CL será igual al rango medio.

Gráfico R

Ejemplo

En una fábrica que produce tuberías se han medido los diámetros (en mm) de 16 tuberías. En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos a lo largo de 8 intervalos de muestreo sucesivos, en cada uno de los cuales se han seleccionaldo al azar 2 tuberías para medir sus diámetros x_{t1} y x_{t2}. Dibujar el gráfico R, ¿puede decirse que la variabilidad del proceso está bajo control?

Intervalo de muestreo (t)	x_{t1}	x_{t2}
1	80	82
2	83	81
3	81	80
4	79	80
5	81	79
6	80	80
7	81	81
8	79	81

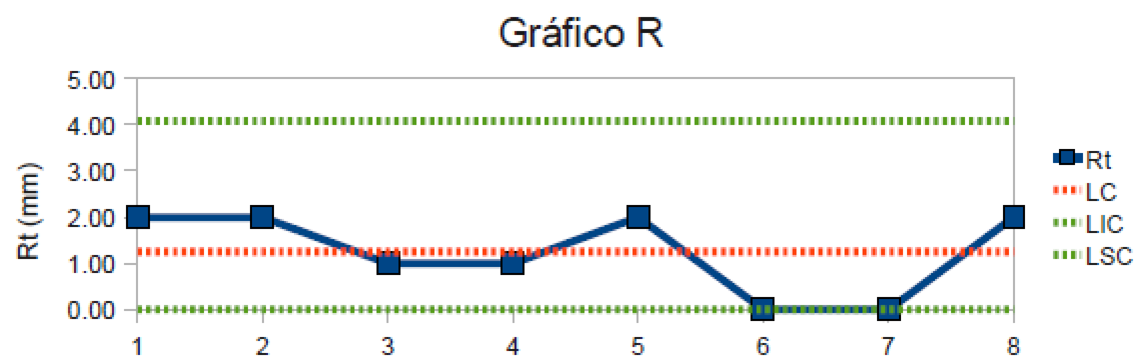
María Dolores Frías, Jesús Fernández y Carmen María Sordo

Gráfico R

Ejemplo

xt1	xt2	xbar	Rt	Grafico R		
				LC	LIC	LSC
80	82	81	2	1.25	0.00	4.08
83	81	82	2	1.25	0.00	4.08
81	80	80.5	1	1.25	0.00	4.08
79	80	79.5	1	1.25	0.00	4.08
81	79	80	2	1.25	0.00	4.08
80	80	80	0	1.25	0.00	4.08
81	81	81	0	1.25	0.00	4.08
79	81	80	2	1.25	0.00	4.08

Gráfico R		
LC	1.25	
dr	1.32	
sigma_est_R	0.94	
LIC	-1.58	0
LSC	4.08	



$$R_t = max(x_{t1}, \cdots x_{tn}) - min(x_{t1}, \cdots x_{tn}) \Rightarrow \bar{R} = \frac{1}{t}\sum_{i=1}^{t} R_i$$

$$\hat{\sigma}_R = \frac{\bar{R}}{d_R}$$

$$LCL = \overline{R} - 3\hat{\sigma}_R$$

$$UCL = \overline{R} + 3\hat{\sigma}_R$$

Interpretación de los gráficos

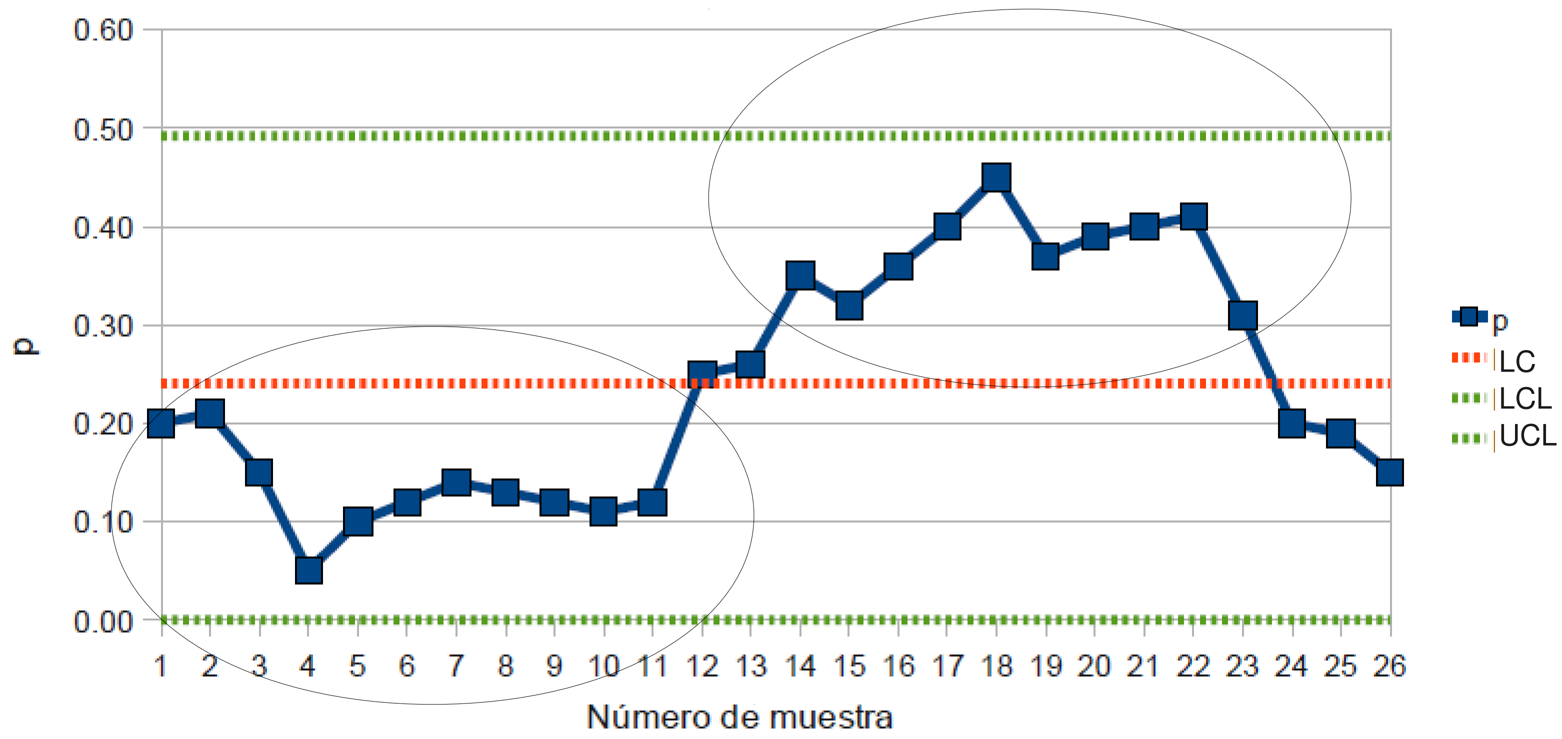
Cada vez que aparece un punto fuera de los límites de control se declara la ocurrencia una alarma, cuyo origen hay que investigar para eliminar el problema del proceso. Mientras todos los puntos se encuentren entre LCL y UCL la monitorización continúa.

Puede ocurrir que todos los puntos estén entre LCL y UCL pero el proceso no esté bajo control y pueda declararse una alarma:

- **Racha**: 7 puntos o más consecutivos a un mismo lado de la línea central. También si hay 10 de 11, ó 12 de 14.
- **Tendencia**: 7 puntos o más en orden creciente o decreciente
- **Periodicidad**: se repite el mismo patrón de puntos en periodos de longitud fija (aparecen ciclos).
- **Inestabilidad**: fluctuaciones cerca de LCL y UCL
- **Superestabilidad**: 16 puntos o más entre $-\sigma$ y $+\sigma$
- Otros: 2 de 3 puntos consecutivos fuera de la banda $\pm 2\sigma$.
  4 de 5 puntos consecutivos fuera de la banda $\pm\sigma$.

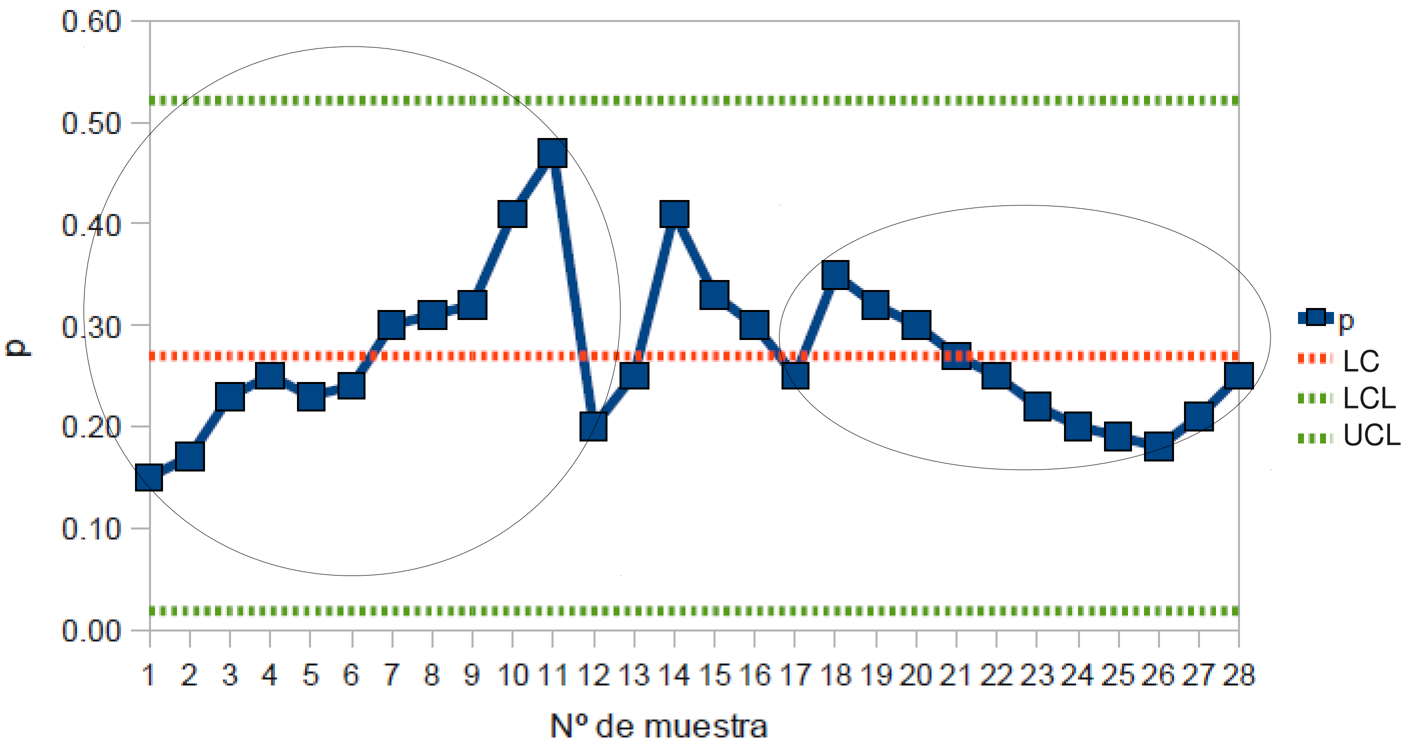
Interpretación de los gráficos

- **Racha**: 7 puntos o más consecutivos a un mismo lado de la línea central



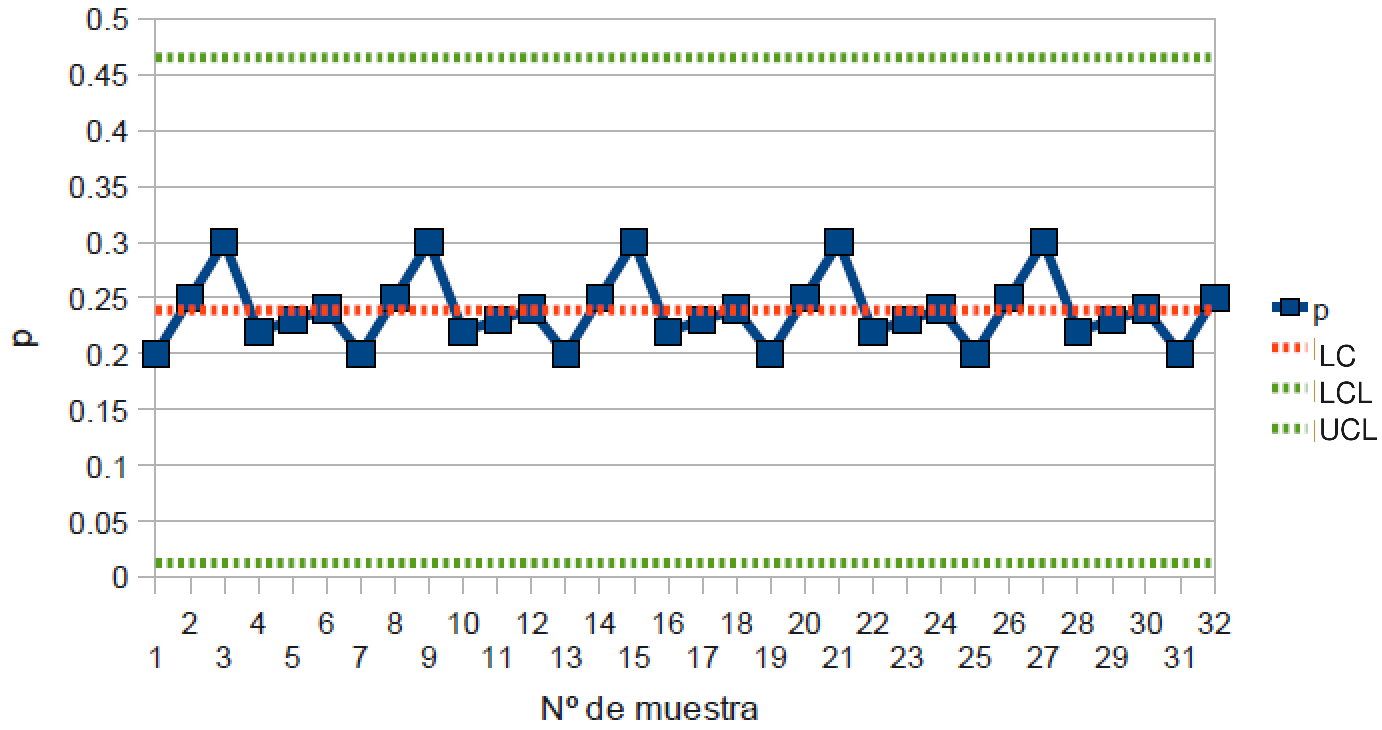
Interpretación de los gráficos

- **Tendencia**: 7 puntos o más en orden creciente o decreciente



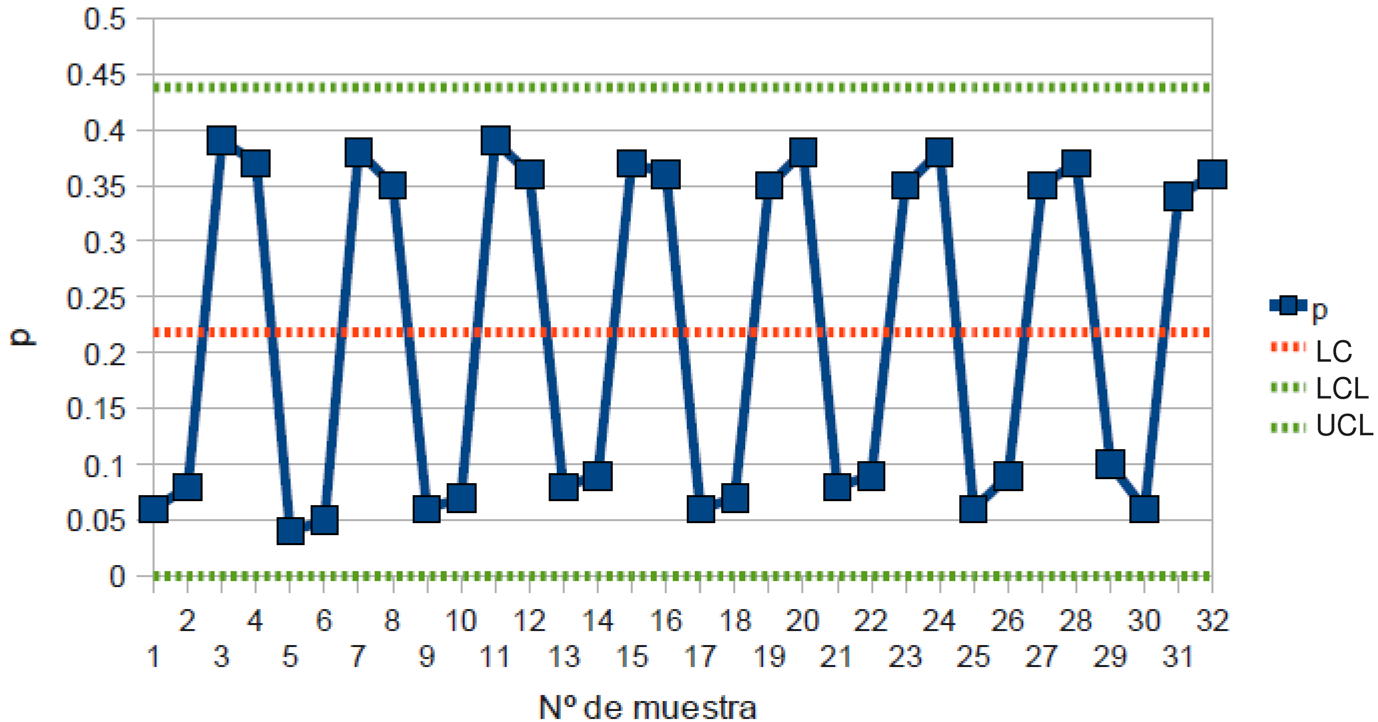
Interpretación de los gráficos

- **Periodicidad**: se repite el mismo patrón de puntos en periodos de longitud fija (aparecen ciclos).



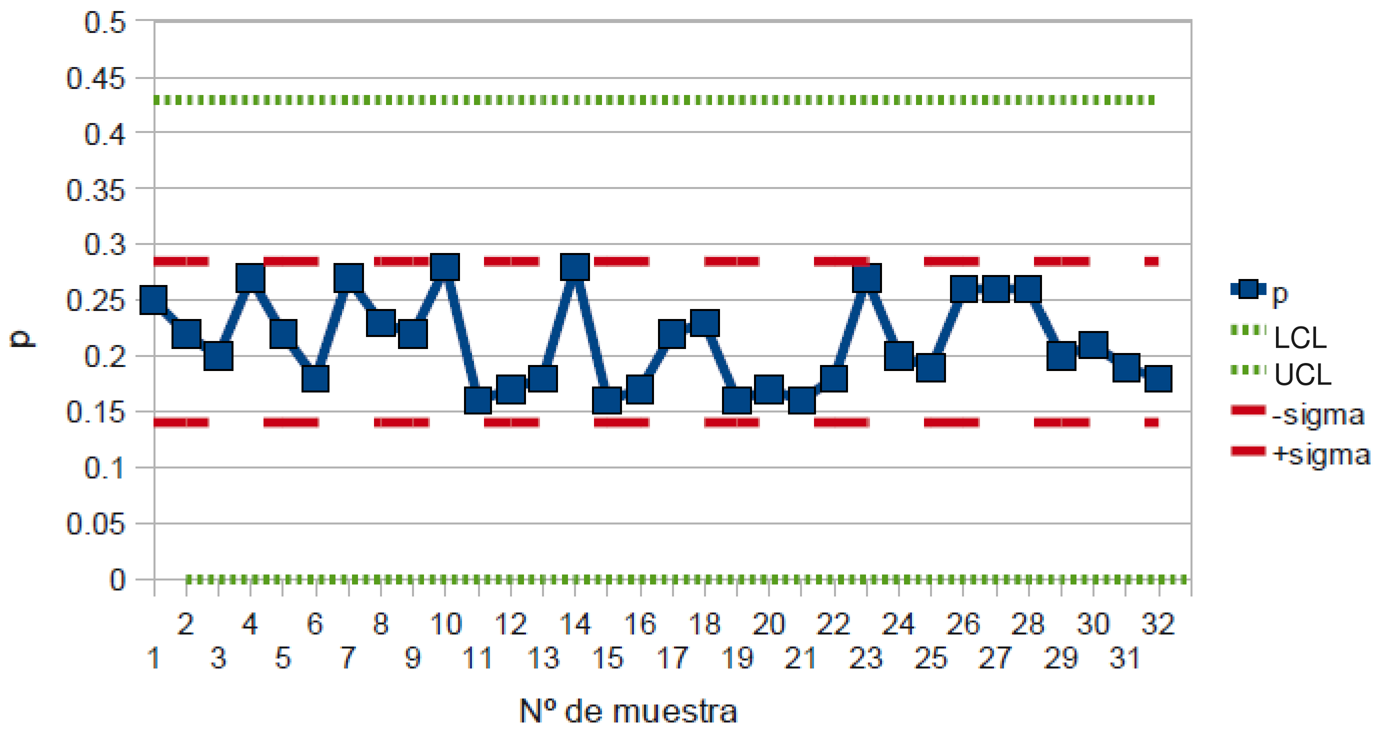
Interpretación de los gráficos

- **Inestabilidad**: fluctuaciones cerca de LCL y UCL



Interpretación de los gráficos

- **Superestabilidad**: 16 puntos o más entre –σ y +σ



María Dolores Frías, Jesús Fernández y Carmen María Sordo

Interpretación de los gráficos

Si adoptamos como protocolo que cada vez que ocurre una de esas situaciones se declara una alarma:

- Aumentará la sensibilidad del proceso de monitorización: mayor probabilidad/rapidez para detectar alarmas.
- Aumentará el número medio de falsas alarmas: usamos varios criterios para detectar alarmas cada uno con su tasa de falsas alarmas.

El primer caso es beneficioso pero el segundo es perjudicial.

Debe adoptarse una solución de compromiso que permita **optimizar** la **detección** de **alarmas verdaderas**, **minimizando** la tasa de **falsas alarmas**.