

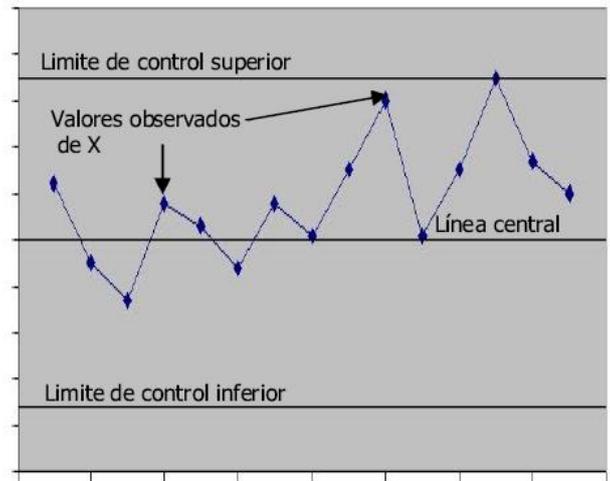
# PROCESOS DE CONTROL

Un **proceso de control** es aquel cuyo comportamiento con respecto a variaciones es estable en el tiempo. Las gráficas de control se utilizan en la industria como **técnica de diagnósticos** para supervisar procesos de producción e identificar inestabilidad y circunstancias anormales.

Las gráficas de control constituyen un mecanismo para detectar situaciones donde las causas asignables pueden estar afectando de manera adversa la calidad de un producto.

Cuando una gráfica indica una situación fuera de control, se puede iniciar una investigación para identificar causas y tomar medidas correctivas.

Además de los puntos trazados la gráfica tiene una línea central y dos límites de control. Si todos los puntos de la gráfica se encuentran entre los dos límites de control se considera que el proceso está controlado. Una señal fuera de control aparece cuando un punto trazado cae fuera de los límites, lo cual se atribuye a alguna causa asignable y entonces comienza la búsqueda de tales causas.



## Gráficos X-R

Las cartas de control X y R se usan ampliamente para monitorear **la media y la variabilidad**. El control del promedio del proceso, o nivel de calidad medio, suele hacerse con la gráfica de control para medias, o gráfica X. La variabilidad de proceso puede monitorizarse con una gráfica de control para el rango, llamada gráfica R. Generalmente, se llevan gráficas X y R separadas para cada característica de la calidad de interés.

Las gráficas X y R se encuentran entre las técnicas estadísticas de monitoreo y control de procesos en línea más importantes y útiles.

Los pasos para crear las gráficas se irán detallando paso a paso con un ejemplo de contenido de plomo en agua.

### Toma de muestras

Periódicamente se toma una pequeña muestra (por ejemplo, de cinco unidades) del proceso, y se calculará el promedio (**X**) y el rango (**R**) de cada una. Debe recolectarse un total de al menos 50 medias individuales (esto es, diez muestras de cinco cada una) antes de calcular los límites de control.

#### *Ejemplo:*

*Se ha obtenido una gráfica del contenido de plomo en partes por billón de 5 muestras de agua registradas diariamente por un periodo de 5 días, que se muestra a continuación:*

Día	Muestras de agua				
	1	2	3	4	5
1	13	8	2	5	8
2	0	6	1	9	15
3	4	2	4	3	4
4	3	15	8	3	5
5	5	10	5	4	0
6	9	5	13	7	7
7	0	4	4	3	9
8	9	3	0	6	0
9	14	0	0	5	3
10	3	9	5	0	2
11	5	8	0	7	8
12	3	2	2	7	4
13	5	11	14	8	3
14	13	5	5	12	7
15	7	0	1	0	6
16	12	7	10	4	13
17	9	4	4	8	9
18	6	1	1	3	13
19	7	0	5	7	2
20	10	0	10	12	7
21	3	7	5	10	12
22	3	0	10	5	4
23	3	3	0	6	9
24	0	2	3	6	7
25	2	3	5	4	10
26	3	1	4	2	4
27	2	4	5	13	4
28	0	16	7	2	11
29	3	5	9	8	6
30	9	7	10	13	0

### **Cálculo del rango R de las muestras**

A continuación, deberán calcularse los rangos promedios de las muestras. El rango es la diferencia del valor mayor de la muestra menos el valor menor de la muestra, esto es, de manera muy abstracta,  $R = M - m$ , donde  $M$  es el mayor y  $m$  es el menor.

Aplicando este conocimiento a nuestro ejemplo, se calculan los valores de los rangos muestrales de la siguiente forma:

Día	Muestras de agua					Ri
	1	2	3	4	5	
1	13	8	2	5	8	11
2	0	6	1	9	15	15
3	4	2	4	3	4	2
4	3	15	8	3	5	12
5	5	10	5	4	0	10
6	9	5	13	7	7	8
7	0	4	4	3	9	9
8	9	3	0	6	0	9
9	14	0	0	5	3	14
10	3	9	5	0	2	9
11	5	8	0	7	8	8
12	3	2	2	7	4	5
13	5	11	14	8	3	11
14	13	5	5	12	7	8
15	7	0	1	0	6	7
16	12	7	10	4	13	9
17	9	4	4	8	9	5
18	6	1	1	3	13	12
19	7	0	5	7	2	7
20	10	0	10	12	7	12
21	3	7	5	10	12	9
22	3	0	10	5	4	10
23	3	3	0	6	9	9
24	0	2	3	6	7	7
25	2	3	5	4	10	8
26	3	1	4	2	4	3
27	2	4	5	13	4	11
28	0	16	7	2	11	16
29	3	5	9	8	6	6
30	9	7	10	13	0	13

El valor de  $R' = 9.167$ , que es valor del Límite Central para la Gráfica R, y es la línea central de muestras observaciones individuales (la media de todos los rangos de todas las muestras).

### Cálculo de Límites Superior e Inferior de los Rangos Muestrales

Como ya se ha explicado, los límites superior e inferior nos ayudan a deducir si nuestro gráfico se encuentra dentro o fuera de control. Por esto es necesario ubicar su lugar en el histograma (que se hará posteriormente) con ayuda de las siguientes fórmulas abreviadas:

$$\text{Límite de control Superior} = D_4 R'$$

$$\text{Límite de Control Inferior} = D_3 R'$$

Donde  $D_3$  y  $D_4$  son constantes aplicadas en nuestro ejemplo, y que se encuentran en la siguiente tabla:

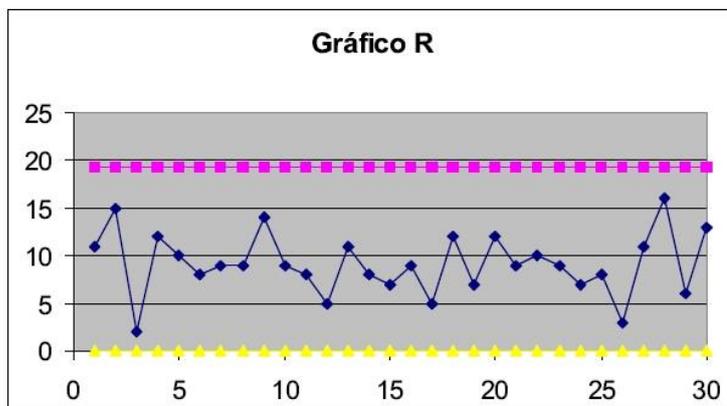
Número de observaciones en una muestra	Factor para la estimación de R:			
	$A_2$	$D_3$	$D_4$	$d_2=R/s$
2	1.880	0	3.268	1.128
3	1.023	0	2.574	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.114	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.97
10	0.308	0.223	1.777	3.078
11	0.285	0.256	1.744	3.173
12	0.266	0.284	1.717	3.258
13	0.249	0.308	1.692	3.336
14	0.235	0.329	1.671	3.407
15	0.223	0.348	1.652	3.472

La selección de las constantes D dependerán del número de observaciones en nuestra muestra; como nuestro ejemplo consta de 5 observaciones,  $D_3=0$  y  $D_4=2.114$ .

Así, se sustituye el valor seleccionado en la fórmula y se obtiene que

$$\text{Límite de Control Superior} = D_4 R' = (2.114) (9.167) = 19.38$$

$$\text{Límite de Control Inferior} = D_3 R' = (0) (9.167) = 0$$



### Cálculo del promedio de promedios

Como su nombre lo indica, el promedio de promedios se calcula sacando el promedio de los resultados obtenidos de X.

El valor de será posteriormente utilizado en las fórmulas de cálculo de los límites superior e inferior de la gráfica, así que es importante conservar en la mente dicho valor.

Ya calculados todos los promedios X en la tabla, se calcula el valor promedio, seleccionando la columna obtenida de valores X. Hasta ahora, se tiene la siguiente tabla:

Día	Muestras de agua					Xi
	1	2	3	4	5	
1	13	8	2	5	8	7.2
2	0	6	1	9	15	6.2
3	4	2	4	3	4	3.4
4	3	15	8	3	5	6.8
5	5	10	5	4	0	4.8
6	9	5	13	7	7	8.2
7	0	4	4	3	9	4
8	9	3	0	6	0	3.6
9	14	0	0	5	3	4.4
10	3	9	5	0	2	3.8
11	5	8	0	7	8	5.6
12	3	2	2	7	4	3.6
13	5	11	14	8	3	8.2
14	13	5	5	12	7	8.4
15	7	0	1	0	6	2.8
16	12	7	10	4	13	9.2
17	9	4	4	8	9	6.8
18	6	1	1	3	13	4.8
19	7	0	5	7	2	4.2
20	10	0	10	12	7	7.8
21	3	7	5	10	12	7.4
22	3	0	10	5	4	4.4
23	3	3	0	6	9	4.2
24	0	2	3	6	7	3.6
25	2	3	5	4	10	4.8
26	3	1	4	2	4	2.8
27	2	4	5	13	4	5.6
28	0	16	7	2	11	7.2
29	3	5	9	8	6	6.2
30	9	7	10	13	0	7.8

El valor obtenido es de 5.59, que es el valor del Límite Central para la Gráfica X.

## Cálculo de Límites Superior e Inferior de X

Los límites se calculan con las siguientes fórmulas abreviadas:

$$\text{Límite de control superior} = X_{media} + A2 R'$$

$$\text{Límite de control inferior} = X_{media} - A2 R'$$

Donde X = Gran promedio = promedio de los promedios muestrales

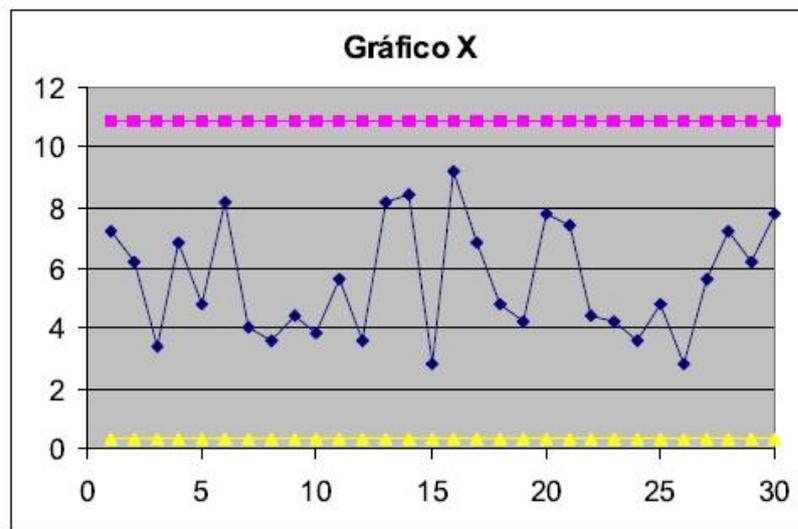
R = Promedio de los rangos muestrales

A2 = Constante

El valor de la constante puede consultarse en la tabla previamente dada, que es igual a 0.577 para nuestro ejemplo de 5 observaciones. Como los valores de  $X_{media}$  y  $R'$  han sido calculados a lo largo de este ejemplo, sólo se sustituyen en las fórmulas de la siguiente forma:

$$\text{Límite de Control Superior} = X_{media} + A2 R' = (5.59) + (0.577)(9.17) = 10.88$$

$$\text{Límite de Control Inferior} = X_{media} - A2 R' = (5.59) - (0.577)(9.17) = 0.30$$



## Interpretación de las Gráficas

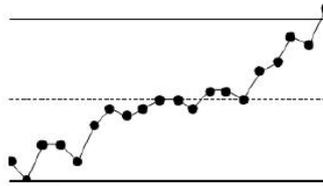
Se colocan las gráficas para X y R una encima de la otra de manera que el promedio y el rango para cualquier subgrupo se encuentren en la misma línea vertical. Observe si alguna de ellas o ambas indican una falta de control para ese subgrupo.

Las X fuera de los límites de control son señal de un cambio general que afecta a todas las piezas posteriores al primer subgrupo fuera de los límites. El registro que se guarda durante la recolección de datos, la operación del proceso y la experiencia del trabajador deben estudiarse para descubrir la variable que pudo haber causado que saliera de los límites de control. Las causas comunes son un cambio en el material, el personal, la preparación de la máquina, el desgaste de las herramientas, la temperatura o la vibración.

Las R fuera de los límites de control indican que la uniformidad de proceso ha cambiado. Las causas comunes son un cambio en el personal, un aumento en la variabilidad del material o desgaste excesivo en la maquinaria del proceso.

Una sola R fuera de control puede ser causada por un cambio en el proceso ocurrido mientras se tomaba la muestra del subgrupo.

### Tendencias:



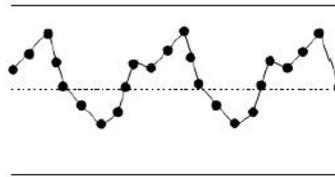
Las causas más comunes para la aparición de tendencias en un gráfico de medias son:

- Desgaste de herramientas
- Envejecimiento
- Efectos estacionales
- Cansancio de los operarios
- Mantenimiento inadecuado de las instalaciones
- Introducción gradual de un nuevo material

Las causas más comunes para la aparición de tendencias en un gráfico de recorridos son:

- Desgaste gradual de herramientas
- Embotamiento de útiles
- Cambios graduales en la habilidad del operario
- Efecto del control de procesos aguas arriba

### Ciclos:



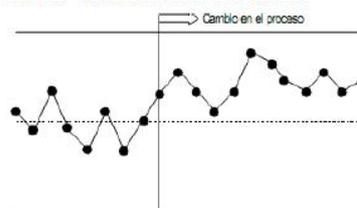
Las causas más comunes para la aparición de ciclos en un gráfico de medias son:

- Fluctuaciones de la potencia
- Diferencias en los instrumentos y útiles de comprobación
- Efectos estacionales

Las causas más comunes para la aparición de ciclos en un gráfico de recorridos son:

- Mantenimiento programado
- Rotación de útiles
- Desgaste de útiles o matrices
- Diferencias entre los turnos de trabajo

### Cambios Permanentes en la Tendencia Central.-



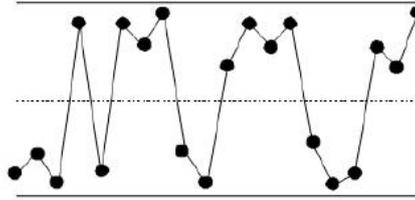
Si el cambio es repentino las causas más comunes para su aparición en un gráfico de medias son:

- Cambio de material
- Nuevo operario o verificador
- Puesta a punto de la instalación
- Cambio de turno
- Cambio de útiles
- Cambio de método

Si el cambio es repentino las causas más comunes para su aparición en un gráfico de recorridos son:

- Nuevos operarios o equipo
- Cambio en el material
- Mantenimiento inadecuado
- Aumento o disminución en la homogeneidad del material

### Mezcla de Poblaciones.-



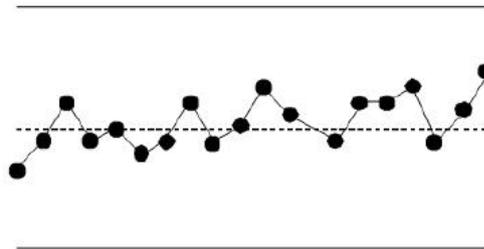
Las causas más típicas de aparición de mezclas en un gráfico de medias son:

- Operarios diferentes
- Instrumentos de verificación y ensayo diferentes
- Mezcla del producto de dos o más instalaciones

Las causas más típicas de aparición de mezclas en un gráfico de recorridos son:

- Lotes procedentes de distintos materiales, instalaciones u operarios
- Diferentes instrumentos de inspección y ensayo
- Holguras excesivas en los útiles

### Agrupamiento.-



Las causas más típicas de aparición de esta pauta en un gráfico de medias son:

- Cálculo incorrecto de los límites de control
- No se han calculado nuevos límites en cada período después de haber sucedido una mejora del proceso
- Errores en las anotaciones
- Resolución de los instrumentos de medición excesivamente grande

Las causas más típicas de aparición de esta pauta en un gráfico de recorridos son:

- Excesiva resolución de los instrumentos de medición
- Ajustes automáticos del proceso