

Capítulo III

GRAFICA \bar{X} Y R DE CORRIDA CORTA

Criterios del árbol de decisión

¿ Si el número de características en la misma gráfica es?	1
¿ Si el tamaño de subgrupo es?	>1
	<10
¿ Tiene diferentes promedios en la misma gráfica?	Sí
¿ Tiene diferente desviación estándar sobre la misma gráfica?	Sí
Entonces use la gráfica	\bar{X} y R de corrida corta

Tabla 3.1. Árbol de selección de la gráfica de control

3.1. Aspectos básicos de las gráficas \bar{X} y R.

Gráfica \bar{X} de corrida corta.

La gráfica \bar{X} de corrida corta es usada para monitorear y detectar cambios en los promedios entre múltiples características de cualquier tipo. Las características pueden tener diferentes valores nominales, diferentes unidades de medición y diferentes desviaciones estándares. Sin embargo todas las características en la gráfica deben estar relacionadas lo suficiente como para garantizar el analizarlas todas juntas. Los puntos de trazo son codificados al restarle a cada promedio del subgrupo su respectiva \bar{X} meta (generalmente el valor nominal de ingeniería) y luego dividimos entre el promedio \bar{R} meta. Cada característica sobre la gráfica tiene su propio valor \bar{X} meta único y \bar{R} meta. Para cada característica, la cantidad de mediciones tomadas en un subgrupo puede estar en un rango de entre 2-9, generalmente se usa tamaño de subgrupo de 3-5.

Gráfica de Rango de corrida corta

Esta gráfica se utiliza para monitorear y detectar cambios en las desviaciones estándar entre características múltiples. Los puntos de trazo se codifican al dividir el rango del subgrupo por su respectiva \bar{R} meta.

Suposiciones del subgrupo

- ❖ Mediciones independientes.
- ❖ Tamaño de la muestra constante.

La siguiente tabla muestra como se calculan los puntos para la gráfica \bar{X} y Rango.

<i>Gráfica</i>	<i>Punto</i>	<i>Fórmula</i>
\bar{X} de corrida corta	\bar{X}	$\bar{X} - \bar{X}_{meta} / \bar{R}_{meta}$
Rango de corrida corta	R	R / \bar{R}_{meta}

Tabla 3.2. Fórmulas para calcular los puntos de trazo para la gráfica de \bar{X} y Rango de corridas cortas.

La siguiente tabla muestra como calcular las líneas centrales en la gráfica \bar{X} y Rango.

<i>Gráfica</i>	<i>Línea central</i>	<i>Fórmula de la línea central</i>
\bar{X} corrida corta	0	0
Rango de corrida corta	1	1

Tabla 3.3. Líneas centrales en \bar{X} y gráfica de Rango de corrida corta.

La siguiente tabla muestra como calcular los límites de control.

Gráfico	Límite de control superior	Límite de control inferior.
\bar{X} de corrida corta	$+A_2$	$-A_2$
Rango de corrida corta	D_4	D_3

Tabla 3.4. Límites de control en las gráficas \bar{X} y Rango de corridas cortas.

Ejemplo

Una dobladora es utilizada para formar ángulos en hojas de metal. Esto se hace comprimiendo una pieza de la hoja de metal entre un cojinete de goma y una herramienta de molde. Cuando el metal es doblado sobre la herramienta de molde este regresa unos pocos grados cuando la presión es liberada. Para compensar este efecto, se aumenta el ángulo de la herramienta de molde. Los ángulos deseados de la hoja de metal son de 30°, 45° y 90°. El promedio del regreso del ángulo y la desviación estándar son diferentes para cada ángulo. El supervisor de la producción desea utilizar una gráfica de control para monitorear el comportamiento del regreso del ángulo, en los tres tipos de ángulo. La tabla 3.5. muestra los valores meta y especificaciones del regreso del ángulo.

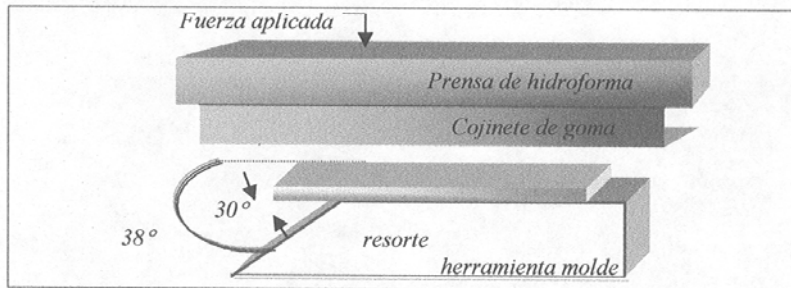


Figura 3.1. Ejemplo de una hoja de metal, de resorte después de una operación de doblado.

La siguiente tabla 3.5. Muestra los valores meta y especificaciones del regreso del ángulo.

	<i>Angulo</i>		
	30°	45°	90°
\bar{X} Meta del resorte	8.2°	4.0°	1.3°
\bar{R} Meta del resorte	0.35°	0.23°	0.19°
Especificaciones de ingeniería	$8.2 \pm 0.5^\circ$	$4.0 \pm 0.5^\circ$	$1.3 \pm 0.5^\circ$

Tabla 3.5. Valores de meta del regreso del ángulo y sus especificaciones para los tres tipos de ángulos.

Nota: Los valores de \bar{X} meta están basados sobre los valores nominales de ingeniería y los valores de \bar{R} meta están basados sobre los registros históricos de calidad.

Estrategia de muestreo

La máquina dobladora, inicialmente se prepara para doblar a un ángulo de 45° . Se toman 5 mediciones consecutivas del regreso del ángulo cada hora hasta completar el trabajo. Luego la máquina se prepara para ejecutar ángulos de 30° , y así sucesivamente. El muestreo continua de la misma manera. Todas las medidas son trazadas en la misma gráfica \bar{X} y R de corrida corta.

Hoja de recolección de datos.

ángulo subgrupo número	45°	45°	30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°	90°	90°	30°	30°	30°	30°	45°	45°	90°
1	3.95	3.96	3.91	8.38	8.48	8.33	8.23	8.7	8.31	1.19	1.25	8.27	8.6	8.33	8.38	3.79	3.83	3.96
2	3.99	4.08	4.12	8.36	8.52	8.44	8.4	8.76	8.3	1.17	1.21	7.87	8.66	8.74	8.36	4.01	4.08	4.08
3	4.14	3.73	4.02	8.49	8.37	8.53	8.26	8.14	8.33	1.12	1.21	8.35	8.65	8.62	8.56	3.81	3.8	4.04
4	4.02	4.15	3.76	8.35	8.48	8.34	8.3	7.87	8.53	1.17	1.22	8.5	8.28	8.64	8.29	4.11	3.99	3.95
5	4.08	4.07	3.98	8.46	8.16	8.31	8.19	8.27	8.32	1.19	1.21	8.74	8.51	7.98	8.5	4	3.89	4.04
\bar{X}	4.04	4	3.96	8.41	8.4	8.39	8.28	8.35	8.36	1.17	1.22	8.35	8.6	8.5	8.42	3.94	3.92	4.01
\bar{X}_{meta}	4	4	4	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	1.3	1.3	8.2	8.2	8.2	0.22	4	4	4
$X - \bar{X}_{meta}$	0.04	0	-0.04	0.21	0.2	0.19	0.08	0.15	0.16	-0.13	-0.08	0.15	0.18	0.4	0.35	-0.06	-0.08	0.01
R_{meta}	0.23	0.23	0.23	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.19	0.19	0.35	0.35	0.35	0.35	0.23	0.23	0.23
$\bar{X} - \bar{X}_{meta}$																		
R_{meta}	0.16	-0.01	-0.18	0.59	0.58	0.54	0.22	0.42	0.45	-0.69	-0.42	0.42	0.53	1.14	0.86	0.62	-0.36	0.06
R	0.19	0.42	0.36	0.14	0.36	0.22	0.21	0.89	0.23	0.07	0.04	0.87	0.63	0.15	0.76	0.32	0.28	0.13
R / \bar{R}_{meta}	0.83	1.83	1.57	0.4	1.03	0.63	0.6	2.54	0.66	0.37	0.21	2.49	1.8	0.43	2.17	1.39	1.22	0.57

Tabla 3.6. Datos del resorte incluyéndolos cálculos de los puntos de corrida corta

Interpretación de la gráfica \bar{X} y Rango de corrida corta

Gráfica \bar{X} de corrida corta: Todos los 11 puntos de trazo de 30° caen arriba de la línea central y 5 caen arriba del LSC (ver figura 3.2). Esto indica que los regresos de ángulo de dobleces de 30° es mayor del valor meta establecido de 8.2°. Los puntos de trazo de 45° parecen variar aleatoriamente cerca de su valor de meta.

Los puntos de trazo de 90° caen por debajo de la línea central, con uno de ellos cayendo debajo del LIC. Esto indica que el regreso de ángulo en 90° es menor que el valor \bar{X} meta de 1.3°. Todos los patrones del punto de trazo parecen ser únicos a cada ángulo de doblez. Ninguna tendencia es aparente a través de todos los ángulos de doblez colectivamente.

Gráfica de Rango de corrida corta: Tres puntos de trazo de 30° caen arriba del LSC y son una indicación de que la variabilidad para los dobleces de 30°, es mayor de lo esperado. Los puntos de trazo de 45° parecen que se están comportando aleatoriamente. Los puntos de trazo de 90° caen todos por debajo de la línea central. Cada patrón parece ser único a cada ángulo doblado. Parece no haber ningún patrón visible o tendencias que aparezcan constantemente a través de todos los ángulos doblados, colectivamente.

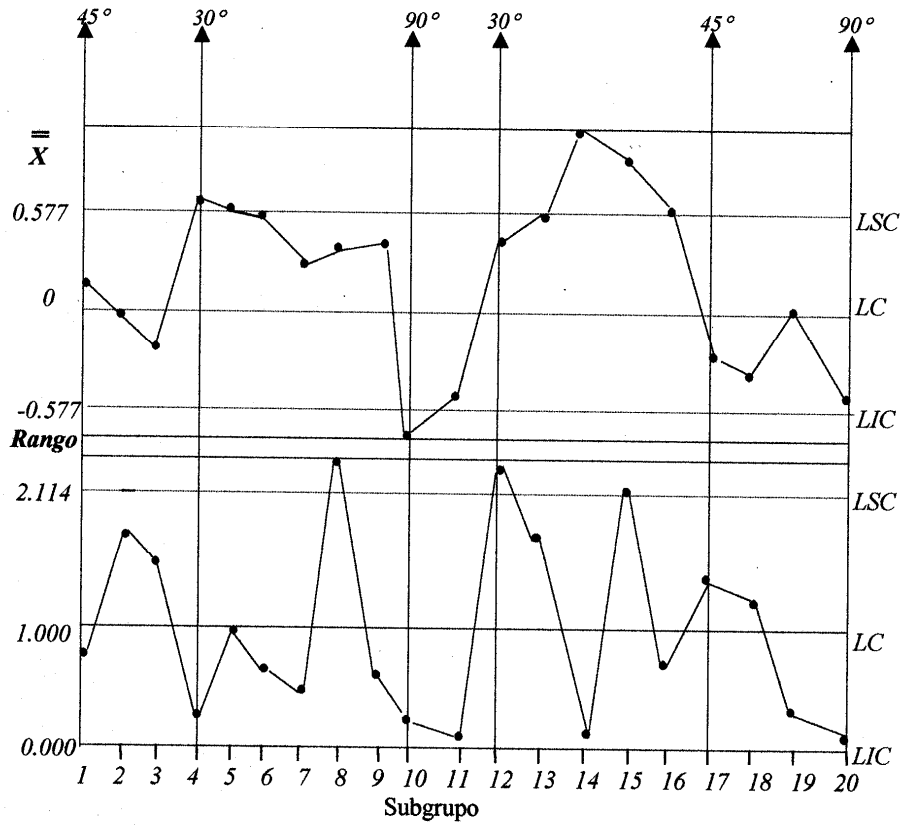


Figura 3.2. Gráfica de control de \bar{X} y Rango de corrida corta del resorte interno.

Recomendaciones

Ángulo doblado a 30°: Los puntos de trazo del rango, que saltan irregularmente arriba de la LSC, indican generalmente una variación inestable a corto plazo. Esto podría ser causado por un cambio de proceso que suele ocurrir dentro de un subgrupo. Para establecer claramente la causa, una estrategia de muestreo al 100% puede ser necesaria temporalmente.

El promedio de regreso del ángulo interno, es constantemente mayor que la meta establecida \bar{X} de 8.2°. Investigue porque los niveles de regreso del ángulo interno son mucho más altos que las metas de ingeniería y mejore la capacidad del proceso para mantener un menor regreso del ángulo interno.

Ángulo doblado a 45°: Ambos, promedio y rango parecen comportarse con variabilidad consistente. La gráfica de control revela que no hay cuestiones específicas del control del proceso que necesite ser tomados en cuenta con respecto al ángulo de la curva.

Ángulo doblado a 90°: Existen solamente 3 puntos de trazos, en la gráfica de corrida corta, que representan los ángulos de la curva de 90°, que son producidos (en los subgrupos 10, 11 y 20). Sin embargo 2 de los 3 puntos trazados en la gráfica de corrida corta de \bar{X} están muy cercanos de la LIC y uno cae debajo; esto nos indica la presencia de variación debida a causas especiales. El usuario que maneja las gráficas de control deberá tratar de encontrar una razón obvia de los valores bajos de la curva. Si los datos históricos del ángulo de la curva de 90°, revelan puntos que eran constantemente estables sobre la línea central en la gráfica de control, entonces una investigación del proceso reciente o de los cambios en la materia prima podría ser considerados.

3.2. Estimación.

Estimación del promedio del proceso

Los estimados del promedio del proceso deberán ser calculados por separado para cada característica o parte en las gráficas de \bar{X} y Rango de corrida corta.

En este caso las estimaciones del promedio del proceso deberían ser calculadas por separado para cada diferente regreso de ángulo.

$$\bar{X}_{30^\circ} = \sum \bar{X}_{30^\circ} / K_{30^\circ} = 92.44 / 11 = 8.40$$

Cálculo 3.1. *Estimación del promedio total de las mediciones del regreso del ángulo interno 30°.*

Estimación de σ

La estimación de σ también debe ser calculada por separado para cada característica representada sobre una gráfica de \bar{X} y Rango de corrida corta.

En este caso, las estimaciones de la desviación estándar del proceso deberían de ser calculadas, para cada diferente ángulo del resorte.

$$\bar{R}_{30^\circ} = \sum R_{30^\circ} / K_{30^\circ} = 4.73 / 11 = 0.43$$

Cálculo 3.2. *Cálculo de promedio del rango móvil, para el ángulo de 30° del resorte.*

$$\hat{\sigma}_{30^\circ} = \bar{R}_{30^\circ} / d_2 = .43 / 2.326 = .18$$

Cálculo 3.3. *Estimación de la desviación estándar del proceso para el ángulo de 30° del resorte.*

Nota: Para asegurar estimaciones confiables, K necesita ser al menos 20. En este ejemplo K es solamente de 11. Por lo tanto las estimaciones aquí y en la tabla 3.7. deberán ser usadas solamente como referencias.

3.3. Índices de Capacidad de Procesos

Cálculo de los índices de capacidad y desempeño del proceso

$$Cp_{30^\circ} = \frac{LSE_{30^\circ} - LIE_{30^\circ}}{6\hat{\sigma}_{30^\circ}} = \frac{8.7 - 7.7}{6(0.18)} = \frac{1.0}{1.08} = 0.93$$

Cálculo 3.4. Cálculo de la capacidad de proceso (C_p) para un ángulo de 30° .

$$Cpu_{30^\circ} = \frac{LSE_{30^\circ} - \bar{X}_{30^\circ}}{3\hat{\sigma}_{30^\circ}} = \frac{8.7 - 8.4}{3(0.18)} = \frac{0.3}{0.54} = 0.56$$

Cálculo 3.5. Cálculo del C_{pu} para un ángulo de 30° .

$$Cpl_{30^\circ} = \frac{\bar{X}_{30^\circ} - LIE_{30^\circ}}{3\hat{\sigma}_{30^\circ}} = \frac{8.4 - 7.7}{3(0.18)} = \frac{0.7}{0.54} = 1.30$$

Cálculo 3.6. Cálculo del C_{pl} para un ángulo de 30° .

Ventajas:

- ❖ Gráficamente ilustra la variación de múltiples características de productos o procesos sobre la misma gráfica.
- ❖ Las características de diferentes partes con diferentes valores nominales, diferente desviación estándar y diferentes unidades de medición pueden ser analizadas sobre la misma gráfica.
- ❖ Subraya las características que tienen necesidad de mayor atención.
- ❖ Separa la variación debido a los cambios en el promedio, de la variación debida a los cambios en la desviación estándar.



Desventajas:

- ❖ El uso de números negativos y de razones sin unidades pueden ser confusas al principio.
- ❖ \bar{X} , \bar{R} y la estimación de σ deben de ser calculadas por separado para cada característica sobre la gráfica.
- ❖ El análisis apropiado de la gráfica requiere del conocimiento de cómo son derivados los valores de meta.

Comentario adicional acerca del caso

Los cálculos de la capacidad y desempeño del proceso, para los regresos de ángulo de 45° y 90°, se muestra en la tabla 3.7.

45°	90°
$\bar{X}_{45^\circ} = 3.98$	$\bar{X}_{90^\circ} = 1.20$
$\bar{R}_{45^\circ} = 0.28$	$\bar{R}_{90^\circ} = 0.05$
$\hat{\sigma}_{45^\circ} = 0.12$	$\hat{\sigma}_{90^\circ} = 0.02$
$Cp_{45^\circ} = 1.37$	$Cp_{90^\circ} = 7.27$
$Cpu_{45^\circ} = 1.42$	$Cpu_{90^\circ} = 8.72$
$Cpl_{45^\circ} = 1.31$	$Cpl_{90^\circ} = 5.82$

Tabla 3.7. Cálculo de la capacidad y desempeño del proceso.