

Capítulo IV

GRAFICA \bar{X} Y s DE CORRIDAS CORTAS

Criterios del Árbol de decisión

¿ Si el número de características en la misma gráfica es?	1
¿ Si el tamaño de subgrupo es?	≥ 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 s de corrida corta

Tabla 4.1. Árbol de decisión de la gráfica de control

4.1. Aspectos básicos de las gráficas \bar{X} y s .

Gráfica \bar{X} de corridas cortas

La gráfica \bar{X} de corrida corta es usada para monitorear y detectar cambios en los promedios entre características múltiples de cualquier tipo. Las características pueden tener diferentes valores nominales, unidades de mediciones y diferentes desviación estándar, sin embargo todas las características sobre la gráfica deben estar suficientemente relacionadas entre sí, como para garantizar el analizarlas todas juntas. Los puntos de trazo son codificados restando de cada promedio del subgrupo su respectiva $\bar{\bar{X}}$ meta (generalmente el valor nominal de ingeniería) y luego dividir entre la \bar{s} meta. Cada característica sobre la gráfica tiene su propia $\bar{\bar{X}}$ meta y \bar{s} meta. Para cada característica, la cantidad de mediciones tomadas en un subgrupo es típicamente de 10 o más.

Gráfica s de corrida corta

La gráfica s se utiliza para monitorear y detectar cambios en la desviación estándar entre los múltiples tipos de características medidas. Los puntos de trazo son codificados, al dividir cada desviación estándar (s) de las muestras de cada subgrupo por su respectivo \bar{s} meta.

Suposiciones del subgrupo

- ❖ Mediciones independientes.
- ❖ Tamaño de muestras constantes.

La siguiente tabla muestra como calcular los puntos de trazo en la gráfica \bar{X} y s de corrida corta.

<i>Gráfica</i>	<i>Punto</i>	<i>Fórmula</i>
\bar{X} de corrida corta	\bar{X}	$(\bar{X} - \bar{X} \text{ meta}) / \bar{s} \text{ meta}$
s de corrida corta	s	$s / \bar{s} \text{ meta}$

Tabla 4.2. Fórmulas para calcular los puntos de trazo para la gráfica de \bar{X} y s de corridas cortas.

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

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

Tabla 4.3. Líneas centrales para la gráfica de \bar{X} y s de corridas cortas.

La siguiente tabla muestra como calcular Límites de control en la gráfica \bar{X} y s .

<i>Gráfica</i>	<i>Control limite de superior.</i>	<i>Control limite de inferior.</i>
\bar{X} de corrida corta	$+A_3$	$-A_3$
s de corrida corta	B_4	B_3

Tabla 4.4. Límites de control en las corridas cortas de las gráficas \bar{X} y s .

Ejemplo

Se hace una prueba para medir el torque en tuercas. Inicialmente las tuercas estan deformadas levemente de modo que las cuerdas de rosca ajusten y sellen al cerrarse con el tornillo. El torque de entrada es el promedio de torque que prevalece mientras se instala la tuerca en el tornillo a 7 revoluciones en el sentido las manecillas del reloj.

El torque de salida es la fuerza máxima que se aplica para dar vuelta a la tuerca en sentido contrario a las manecillas del reloj una vuelta completa. El incremento delta de torque es la diferencia entre el torque de entrada y el torque de salida. Cada sistema de ajuste tiene sus propios requisitos mínimos de esfuerzo delta de torque y se espera que las desviaciones estándar varían de un sistema a otro.

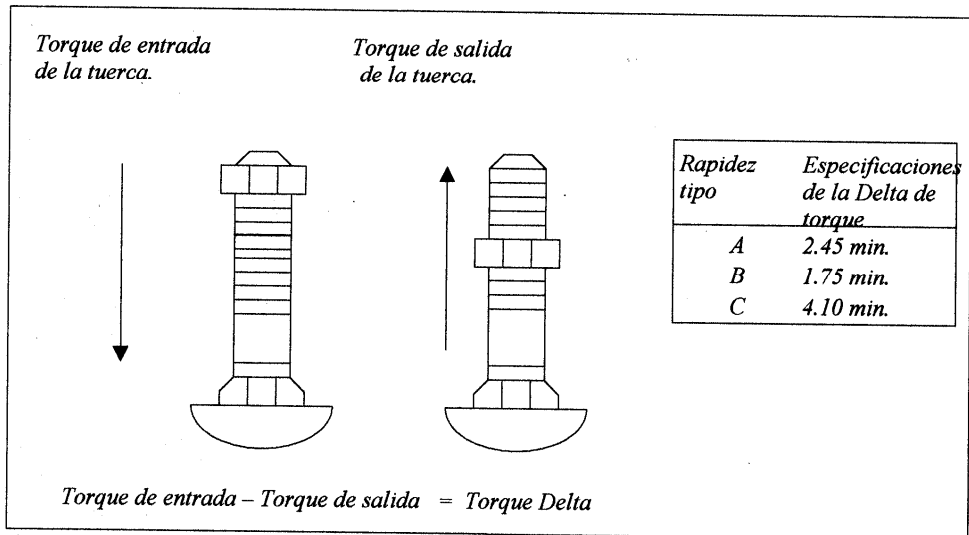


Figura 4.1. El torque delta es una característica clave de los sistemas de apretado de tuercas.

Estrategia del muestreo

Las pruebas de torque, se realizan para cada lote de colocación de tuercas. Se prueban 10 muestras de cada lote. Para monitorear la consistencia del torque delta, sin importar el sistema de apretado de la tuerca y del tornillo, se selecciona la gráfica \bar{X} y s de corridas corta. Estos son los gráficos apropiados porque el tamaño de los subgrupos es grande y las desviaciones estándar son diferentes de un sistema a otro.

Valores meta

Antes de que una gráfica de corridas cortas pueda ser utilizada, primero deben definirse los valores meta.

Sistema de torque A

El sistema A se ha mantenido previamente usando las gráficas tradicionales \bar{X} y s. Dentro del conjunto más reciente de gráficas bajo control, la línea central de la gráfica \bar{X} era de 2.920 y la línea central de la gráfica s es 0.089. Por lo tanto, estas líneas centrales son utilizadas como valores Meta para el sistema A.

$$\begin{aligned}\bar{X}_A \text{ Meta} &= 2.920 \\ s_A \text{ Meta} &= 0.089\end{aligned}$$

Cálculo 4.1. Valores meta para el sistema de torque A

Sistema de torque B

La consistencia del sistema de torque B nunca ha sido evaluada con una gráfica de control, sin embargo personal de aseguramiento de la calidad ha tomado 28 mediciones de la torsión Delta en un período anterior. La ecuación 1.14 fue utilizada para convertir la desviación estándar de la muestra de aquellas 28 mediciones, hacia las metas encontradas en la figura 4.3.

$$\begin{aligned}\bar{X}_B \text{ Meta} &= 2.330 \\ s_B \text{ Meta} &= 0.121\end{aligned}$$

Cálculo 4.2. Valores meta para el sistema de torque B

Sistema de torque C

Como el sistema A, el sistema de torque C ha sido evaluado previamente utilizando gráficas tradicionales \bar{X} y s. Dentro del conjunto más reciente de gráficas bajo control en la gráfica \bar{X} la línea central fue de 5.125 y la línea central de la gráfica s es de 0.337. Por lo tanto estas líneas centrales son usadas como valores meta para el sistema C (ver figura 4.4).

$$\begin{aligned} \bar{X}_c \text{ Meta} &= 2.330 \\ \bar{s}_c \text{ Meta} &= 0.121 \end{aligned}$$

Cálculo 4.3. *Valores meta para el sistema de torque C.*

Hoja de recolección de datos.

En la tabla 4.5 se muestran los datos recopilados de la torsión delta, con 20 subgrupos



Hoja de recolección de datos.

Sistema de torque	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A	A	C	C	C	C	B	B	B	B	B	B
Subgrupo número	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20										
1	2.78	2.795	2.747	2.63	2.365	2.649	5.39	5.389	5.083	2.823	2.866	2.801	4.832	6.12	2.253	2.248	2.507	2.36	2.062	2.36										
2	2.669	2.787	2.823	2.911	2.385	2.595	4.968	5.387	4.869	2.754	2.962	2.79	5.392	4.904	2.292	2.401	2.611	2.418	2.841	2.418										
3	2.944	2.841	2.903	2.91	2.683	2.492	5.205	5.265	4.802	2.775	2.685	2.919	5.225	5.477	2.34	2.059	2.572	2.102	2.27	2.102										
4	2.96	2.567	2.849	2.651	2.333	2.603	5.742	2.755	5.193	2.887	2.823	2.814	4.964	4.646	2.243	2.142	2.426	2.247	2.542	2.247										
5	2.637	2.868	2.852	2.969	2.232	2.489	5.46	5.121	5.063	2.883	2.847	2.832	4.828	5.73	2.395	2.352	2.211	2.305	2.425	2.305										
6	2.598	2.938	2.821	2.779	2.667	2.261	5.376	4.534	4.257	2.989	2.787	2.6	5.896	4.391	2.376	2.447	2.333	2.227	2.621	2.227										
7	2.906	2.897	2.807	2.832	2.445	2.657	5.337	5.068	5.703	2.959	2.943	2.977	5.22	5.4	2.351	2.572	2.303	2.388	2.491	2.388										
8	2.729	2.864	2.863	2.84	2.415	2.356	4.526	4.939	4.475	2.811	2.871	2.817	5.691	5.051	2.681	2.338	2.614	2.533	2.709	2.533										
9	2.738	2.896	2.871	2.809	2.389	2.131	4.653	5.164	4.489	2.885	2.767	2.718	5.51	5.745	2.497	2.248	2.35	2.235	2.458	2.235										
10	2.912	2.887	2.862	2.757	2.344	2.466	5.458	5.011	4.915	2.801	2.807	2.918	4.911	4.424	2.548	2.479	2.526	2.686	2.253	2.686										
\bar{X}	2.787	2.834	2.84	2.809	2.426	2.49	5.212	5.163	4.885	2.857	2.836	2.819	5.247	5.189	2.398	2.329	2.465	2.35	2.467	2.35										
\bar{X}_{meta}	2.92	2.92	2.92	2.92	2.33	2.33	5.125	5.125	5.125	2.92	2.92	2.92	5.125	5.125	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33										
$\bar{X} - \bar{X}_{meta}$	-0.133	-0.086	-0.08	-0.111	0.096	0.16	0.087	0.038	-0.24	-0.063	-0.084	-0.1	0.122	0.064	0.068	0	0.135	0.02	0.137	0.02										
s	0.089	0.089	0.089	0.089	0.121	0.121	0.337	0.337	0.337	0.089	0.089	0.089	0.089	0.337	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121										
$\bar{X} - \bar{X}_{meta}$	-1.491	-0.966	-0.9	-1.249	0.792	1.321	0.257	0.114	-0.71	-0.711	-0.946	-1.14	0.362	0.189	0.559	-0.01	1.118	0.166	1.134	0.166										
s	0.134	0.105	0.043	0.11	0.143	0.171	0.383	0.323	0.417	0.077	0.082	0.108	0.373	0.598	0.139	0.157	0.138	0.168	0.231	0.168										
s / s_{meta}	1.509	1.18	0.482	1.233	1.183	1.413	1.136	0.96	0.87	0.922	1.21	1.106	1.773	1.152	1.299	1.138	1.391	1.391	1.906	1.391										

Tabla 4.5. Datos de torsión de Delta y puntos calculados.

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

Gráfica s de corridas cortas: Si al evaluar la variación específica del producto, todos los 8 puntos de trazo del sistema B caen sobre la línea central parece que la torsión Delta del sistema de torque A, entonces se está comportándose aleatoriamente, con unos de ellos cayendo arriba de LSC. La torsión delta del sistema C favorecen el lado alto, con un punto del trazo mas allá del LIC. En general el proceso revela una corrida de 9 puntos de trazo arriba de la línea central que sucedan a través de los 3 productos (subgrupos de 13 hasta 20).

Gráfica \bar{X} de corridas cortas: Todos los 7 puntos de trazo del sistema A están debajo de la línea central, con 3 de ellos cayendo por debajo de LIC, 7 de los 8 puntos de trazo del sistema B están situados arriba de la línea central con 3 arriba de LSC. El sistema C, parece estarse comportando aleatoriamente. Buscando patrones a través de los sistemas de torque, existe una disminución gradual en el promedio desde el punto del trazo 6 hasta el 12. También observamos como el promedio ha cambiado hacia arriba entre los puntos 13 y 20.

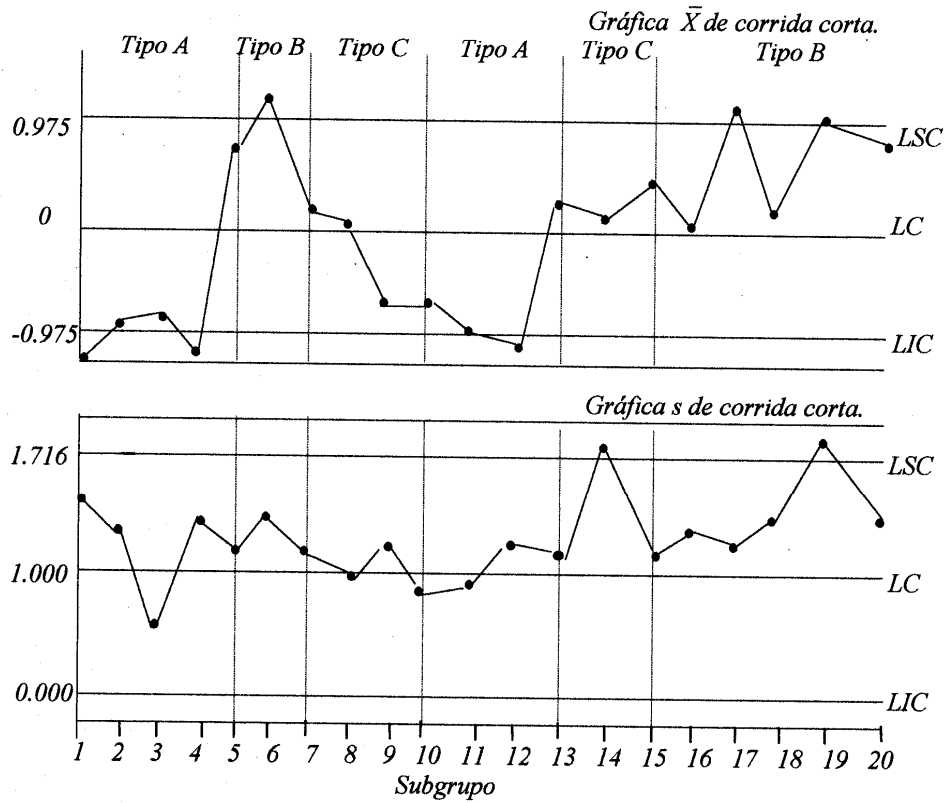


Figura 4.2. Gráficas de control \bar{X} y s de torsión Delta para los sistemas A, B y C.

Recomendaciones

Los patrones de los puntos de trazo sobre y debajo de la línea central y más allá de los límites de control están presentes, pero la acción a tomar depende enteramente en como los valores metas fueron estimados.

Sistema de torque A

Gráfica \bar{s} de corrida corta: La \bar{s} meta viene de las últimas gráficas de control, por lo tanto el hecho que los puntos se estén comportando aleatoriamente indica que la desviación estándar no ha cambiado desde que se registraron los últimos datos.

Gráfica \bar{X} de corrida corta: La \bar{X} meta viene de las gráficas anteriores, por lo tanto la corrida debajo de la línea central indica que el esfuerzo de torsión de Delta ha disminuido desde que los últimos datos fueron registrados. Esto es una causa asignable y debe ser investigada. Si el cambio se encuentra deseable, deliberado y permanente, la \bar{X} meta se debe volver calcular basado en la meta actual general del sistema A. Si el cambio se encuentra en condiciones indeseadas no se vuelve a calcular la \bar{X} meta y en vez de eso se elimina la causa que provocó el cambio hacia abajo.

Sistema de torque B

Gráfica \bar{s} de corrida corta: La \bar{s} meta viene de los expedientes anteriores de aseguramiento de calidad. El funcionamiento sobre la línea central por lo tanto, indica que la desviación estándar ha aumentado significativamente desde que los últimos datos fueron registrados.

Esta puede ser una causa asignable y debe ser investigada. Si el cambio es una condición indeseada no se vuelve a calcular la \bar{s} meta y en vez de eso eliminar la causa de la variabilidad creciente.

Gráfica \bar{X} de corrida corta: La \bar{X} meta viene de los expedientes de aseguramiento de calidad, por lo tanto el funcionamiento sobre la línea central indica que el esfuerzo de la torsión Delta ha aumentado desde que los últimos datos fueron registrados. Esto puede ser

una causa asignable y debe ser investigada. Si este aumento significativo del torque Delta es deseable, entonces la \bar{X} meta se debe volver a calcular basado en el promedio general del sistema B. Si el cambio es indeseado no se vuelve a calcular la \bar{X} meta. En lugar de eso se elimina la causa asignable para el incremento en el promedio del torque Delta.

Sistema de torque C

Gráfica \bar{s} de corrida corta: Porque la \bar{s} meta esta basada en la línea central de una gráfica bajo control \bar{s} anterior, la corrida arriba de la línea central indica que la desviación estándar del proceso ha aumentado significativamente desde la última vez que el producto del sistema C fue fabricado. Esto se debe tratar como causa asignable porque la \bar{s} meta se basa sobre datos actuales. Si el aumento de la desviación estándar del sistema C se espera que sea un cambio permanente, entonces la \bar{s} meta debe volverse a calcular basado en el promedio general de la desviación estándar actual (ver calculo 4.1).

$$\bar{s} \text{ meta actualizada} = \frac{\sum Sc}{Kc} = \frac{.383 + .323 + .417 + .373 + .598}{5} = \frac{2.094}{5} = .419$$

Cálculo 4.4. Recálculo de la \bar{s} meta para el sistema C basado en datos actuales de la gráfica de control. Esto se hace solamente si el cambio en la variabilidad que se espera sea permanente.

Por otra parte, si la causa asignable es cambiada o removida para reducir la variación, la \bar{s} meta anterior debe ser utilizada para representar el nivel actual esperado de variabilidad.

Gráfica \bar{X} de corrida corta: La \bar{X} meta se ha obtenido de una gráfica bajo control reciente y los puntos de trazo se comportan aleatoriamente. Esto indica que la \bar{X} meta

inicial fue un buen estimador del Torque Delta actual. No es necesario volver a calcular la \bar{X} meta para el sistema C.

4.2. Estimación

Estimación del promedio del proceso

Las estimaciones del promedio del proceso deben ser calculadas por separado para cada característica dentro de las gráficas \bar{X} y s de corridas cortas. En este caso las estimaciones promedio del proceso deben ser calculadas por separado para cada sistema. A continuación se muestran los cálculos para estimar el promedio del sistema de torque B.

$$\begin{aligned}\bar{\bar{X}}_B &= \frac{\sum \bar{X}_B}{K_B} = \frac{2.426 + 2.490 + 2.398 + 2.465 + 2.350 + 2.467 + 2.425 + 2.329}{8} \\ &= \frac{19.350}{8} \\ &= 2.419\end{aligned}$$

Cálculo 4.5. Nos muestra la estimación del promedio total de sistema de torque B.

Estimación de σ

Las estimaciones de σ también son calculadas por separado para cada característica representada dentro de las gráficas \bar{X} y s de corridas cortas. En este caso la estimación de la desviación estándar de los procesos debe ser calculada para cada sistema de torque diferente. Cálculo 4.6 nos muestra la estimación de la desviación estándar del proceso para el sistema de torque B.

$$\begin{aligned}\bar{s}_B &= \frac{\sum s_B}{K_B} = \frac{.143 + .171 + .139 + .157 + .138 + .168 + .231 + .157}{8} \\ &= \frac{1.304}{8} \\ &= 0.163\end{aligned}$$

Cálculo 4.6. Cálculo basado en datos actuales de una gráfica de control \bar{s} de corridas cortas.

$$\hat{\sigma}_B = \frac{\bar{s}_B}{C_4} = \frac{0.163}{0.9727} = 0.168$$

Cálculo 4.7. Estimación de la desviación estándar del proceso para el sistema de torque B.

Nota: Para estimar con confiabilidad la K necesita ser por lo menos 20. En este ejemplo, K es solamente 8, por lo tanto las estimaciones aquí y en la tabla 4.6. son usadas solamente con propósito de ilustración.

4.3. Índices de Capacidad de Procesos

Cálculo de los índices de capacidad y desempeño del proceso

Cálculo del CPL para el sistema B es mostrado en el cálculo 4.5. Debido a que la especificación es inferior unilateral no se calculan los valores CPU o Cp para el sistema de torque B.

$$Cpl_B = \frac{\bar{X}_B - LIEB}{3\hat{\sigma}_B} = \frac{2.194 - 1.75}{3(0.168)} = \frac{0.669}{0.504} = 1.33$$

Cálculo 4.8. Cpl_B para el proceso de atornillar en el sistema B.

Ventajas:

- ❖ Gráficamente ilustra la variación de los múltiples productos con diferentes nominales, diferente desviación estándar y diferentes unidades de medición, todos en la misma gráfica.
- ❖ Separa las fuentes de la variabilidad del proceso de las fuentes de variabilidad del producto.
- ❖ Debido al tamaño grande de las muestras, la gráfica \bar{X} de corrida corta es sensible a los cambios pequeños en el proceso.
- ❖ Resume grandes cantidades de datos.

Desventajas:

- ❖ Requieren de software para manejar efectivamente cantidades grandes de datos.
- ❖ El uso de números negativos y datos codificados puede ser confuso al principio.
- ❖ $\bar{\bar{X}}$, \bar{s} y la estimación de la desviación estándar del proceso deben ser calculadas por separadas para cada característica representada en la gráfica.

Comentario adicional acerca del caso

- ❖ Los cálculos de índices de capacidad y desempeño del proceso para los sistemas A y C se encuentran en la tabla 4.6.
- ❖ El resumen de estadísticas y los valores del CPL para el sistema A y C están basados en datos reales de un expediente histórico (tabla 4.5).

<i>Sistema de torque A</i>	<i>sistema de torque C</i>
$\bar{X}_A = 2.826$	$\bar{X}_C = 5.139$
$\bar{S}_A = 0.094$	$\bar{S}_C = 0.419$
$\hat{\sigma}_A = 0.097$	$\hat{\sigma}_C = 0.431$
$C_{plA} = 1.29$	$C_{plC} = 0.80$

Tabla 4.6. *Resumen de estadísticas adicionales e índices de desempeño del proceso para los sistemas A y C.*