# Capítulo I

## GRÁFICAS PARA CORRIDAS CORTAS DE PRODUCCION

En este capítulo serán cubiertas 3 gráficas de control. Estas gráficas especiales de control ayudarán al practicante de SPC (control estadístico de proceso), a manejar las situaciones donde el o ella las podrán encontrar:

- Características Múltiples.
- Promedios y desviaciones estándar diferentes de una característica.
- Corridas cortas de producción.
- Cantidades limitadas de datos.

Las gráficas de control encontradas en esta investigación estan diseñadas para ser útiles en los procesos de corridas cortas de producción con cantidades límitadas de datos. Los datos de las diferentes corridas de producción serán codificados matemáticamente, al convertir el punto trazado, en una razón sin unidades, esto permite el uso de límites de control comunes, que pueden ser usados para múltiples números de partes o características.

Cuando el practicante o el analista piensa, que no tiene suficientes datos para calcular límites de control, significa que el analista debe investigar las gráficas de corridas cortas antes de seguir el estudio. Todas las gráficas de corridas cortas, comparten aspectos comunes. Más que repetir estos casos comunes en cada capítulo de gráficas de corridas cortas van ha ser cubiertos una sola vez en este capítulo.

Las gráficas de control para corridas cortas de producción están basados en las gráficas de control tradicionales, las 3 gráficas de control de variables o tradicionales son:

1.- XI y RM.

2.- $\bar{X}$ y R.

3.- $\bar{X}$ y s.

Los 3 tipos de gráfica son utilizados para monitorear la estabilidad de una tendencia central del proceso (promedio), y la variación sobre ese promedio. Todas las gráficas de corridas cortas de producción en esta sección son derivadas de una de estas 3 gráficas tradicionales.

**Ejemplos de las gráficas de corridas cortas**

Las gráficas de corridas cortas estan diseñadas para estudiar características con diferentes especificaciones, unidades de medición y desviaciones estándar, todas en la misma gráfica de control.

***Ejemplo 1:*** La dureza, el perfil y el acabado superficial de una pieza o parte, pueden todas ser rastreadas en la misma gráfica de corridas cortas. Las gráficas de corridas cortas también se pueden utilizar para monitorear la salida o resultado del proceso; sin importar él número de parte, o el tipo de la característica que sé están produciendo.

***Ejemplo 2***: Una máquina herramienta de 5 ejes, va a cortar una multitud de diferentes formas, de una pieza. Una sola gráfica de corrida corta puede ser utilizada para monitorear la habilidad de la máquina herramienta para desbastar, terminar, perforar, taladrar y rebordear en los ejes X, Y y/o Z. Incluso una sola gráfica de corrida corta se puede utilizar para seguir una pieza cuando viaja a través de su proceso de fabricación.

*Ejemplo 3:* Una característica clave de la pieza, en cada paso de la operación de manufactura puede ser monitoreada en la misma gráfica de corrida corta, esto es, una gráfica de corrida corta puede ser usada, para rastrear una parte, empezando con el marcado de un punto después un pequeño hoyo, terminado, tratamiento térmico, enderezado, anodizado, pintado, curado y finalmente el marcado de la parte o pieza.

Las gráficas de corridas cortas son necesarias, cuando las características que se van a monitorear en la misma gráfica, tienen diferentes unidades de medición y/o tienen diferente desviación estándar. La gráfica de corrida corta pudiera ser usada para rastrear disminuciones graduales en milésimas de pulgada, y la dureza Rockwell, sobre la misma gráfica(diferentes unidades), o de rastrear los hoyos perforados y escariados sobre la misma gráfica (diferentes desviación estándar).

En comparación con el uso de las gráficas tradicionales de control, el usar las gráficas de control de corridas cortas, va a disminuir la cantidad de gráficas que se deben de manejar, permitiendo por lo tanto un aumento en la cantidad de características que se pueden rastrear.

**1.1 Puntos de Trazo.**

***Puntos de trazo en corridas cortas.***

Los puntos en la gráfica de corrida corta estan basados en los puntos de trazo de las gráficas tradicionales $\bar{X}$- R y s. Para poder monitorear características diferentes en la misma gráfica, los puntos de trazo deben ser codificados. Esta codificación es lo que permite trazar sobre la misma gráfica datos con diferentes unidades de medición y diferentes características del producto.

***Trazado de puntos para la gráfica de rango en corrida corta.***

Antes de codificar es importante mencionar como se calculan los límites de control en la gráfica de rango tradicional.

Vamos a asumir que para cualquier punto trazado de rango individual que cae entre los límites de control encontrados con la ecuación 1.1 nos indica que estan en control.

$$LSC_R = D_4\overline{R} \qquad\qquad LIC_R = D_3\overline{R}$$

***Ecuación 1.1.*** *Fórmula de límites de control superior e inferior para la gráfica R tradicional.*

Un punto trazado sobre una gráfica R esta en control cuando cae entre los límites de control mostrados en la ecuación 1.2.

$$LSC_R > R > LIC_R$$

$$o$$

$$D_4\overline{R} > R > D_3\overline{R}$$

*Donde R es el valor actual del rango del subgrupo.*

***Ecuación 1.2.*** *Desigualdad tradicional de la gráfica R.*

Para hacer que los puntos de trazo en la gráfica R sean razones sin unidad, los $\overline{R}$'s, deben ser eliminados de las desigualdades definidas en la ecuación 1.2. Para eliminar a $\overline{R}$ de los cálculos sin cambiar la desigualdad, simplemente dividimos todos los 3 términos en la ecuación 1.2 por $\overline{R}$ (ver la ecuación 1.3).

$$\frac{D_4\overline{R}}{\overline{R}} > \frac{R}{\overline{R}} > \frac{D_3\overline{R}}{\overline{R}}$$

***Ecuación 1.3.*** *División de la desigualdad tradicional del gráfico R por $\overline{R}$.*

Cancelando los $\bar{R}$'s tenemos como resultado la Ecuación. 1.4 en la cual el nuevo punto a trazar se define como $\frac{R}{\bar{R}}$.

$$D_4 > \frac{R}{\bar{R}} > D_3$$

***Ecuación 1.4.*** *Puntos de trazo codificado y límites de control para una gráfica R, de corrida corta.*

El $\bar{R}$ para un proceso dado es el rango promedio esperado, por lo que nosotros lo vamos a renombrar y lo llamaremos $\bar{R}$ meta. Por lo tanto el punto a trazar del rango de corrida corta, esta definido en la ecuación 1.5.

$$\textit{Punto a trazar del rango de corridas cortas} = R / \bar{R}\,\textit{meta}$$

***Ecuación 1.5.*** *Fórmula del punto de la gráfica de Rango de corrida corta.*

El punto a trazar del rango de corrida corta es la razón entre el rango actual del subgrupo y uno esperado o rango meta. Este punto trazado es una razón sin unidades. Ni la gráfica, ni su eje x, estan restringidos por limitaciones impuestas al trazado de datos que tengan diferentes unidades de medición.

*Nota:* Nosotros reconocemos que, aunque las matemáticas apoyan el trazado de diferentes unidades de medición sobre la misma gráfica, el fundamento para hacer esto debería encontrarse en la legitimidad. Es argumentable, que uno nunca pueda tener la necesidad de mezclar unidades de medición sobre la misma gráfica. Sin embargo, uno puede necesitar mezclar diferentes desviaciones estándar sobre la misma gráfica, tal como la combinación en la misma gráfica, de características similares de partes hechas de materiales diferentes.

### 1.2. Estimación de $\overline{R}$ meta

***¿Qué es la $\overline{R}$ meta?***

El $\overline{R}$ meta es el corazón de los datos transformados de corridas cortas. Representa un rango estimado o esperado.

Existen 5 métodos para estimar el $\overline{R}$ meta, cada uno se describe enseguida y se enumeran en una lista del más deseable al menos deseable.

***1. Utilizar el $\overline{R}$ de las gráficas de rango existentes que estén en control.***

Cuando usamos una gráfica de control de rango tradicional, la práctica estándar es calcular la línea central y los límites de control, después de alrededor de 20 puntos de trazo. Si la gráfica de rango esta en control, los límites y la línea central es extendida hacia el futuro y usados como líneas de referencia. Nuevos datos son trazados utilizando las líneas de referencia establecidas. Los límites son vueltos a calcular solamente cuando ha habido un cambio sostenido en el proceso. Por lo tanto, la línea central sobre una gráfica de rango existente que esté en control, puede ser usada como el $\overline{R}$ meta.

***2. Convertir los datos de muestreo existentes de inspección en $\overline{R}$ meta.***

Si el personal de aseguramiento de la calidad ha registrado mediciones de las características que representan las salidas de producción normal, la desviación estándar de esos datos pueden ser convertidos en una $\overline{R}$ meta usando la siguiente ecuación.

$$\overline{R}\ meta = (d_2 / c_4)\ s$$

*Donde:*
*$c_4$ se determina con base al número de mediciones históricas.*

*$d_2$ se determina con base al tamaño anticipado del subgrupo de la gráfica de control de rango de corrida corta.*
*s es la desviación estándar muestral del conjunto de datos históricos.*

***Ecuación 1.6.*** *Fórmula para calcular la $\bar{R}$ meta de un grupo de datos históricos.*

***3. Usar $\bar{R}$ de similares características, partes o parámetros de procesos.***

Si ningún gráfico de control o registro de calidad existen para una nueva característica que se debe de controlar, pero los datos de una característica similar existen, use los Métodos 1 o 2, sobre los datos similares para estimar un $\bar{R}$ meta inicial, para la nueva característica.

***4. Preguntar a alguien que conozca la capacidad de proceso.***

Por ejemplo, pregúntele al operador que tolerancia sostiene el torno. Suponga que la respuesta es "sostiene ±0.001", dada esta declaración uno podrá suponer que el operador describía la variabilidad natural (variación $6\sigma$), de la variabilidad de la máquina. Suponiendo esto, la desviación estándar puede ser estimada dividiendo la tolerancia total entre 6, en este ejemplo la desviación estándar estimada seria 0.002" /6=0.00033", entonces se utiliza el método 2 para convertir la estimación de s en una $\bar{R}$ meta.

***5. Usar la tolerancia de ingeniería para establecer la $\bar{R}$ meta inicial.***

Si no hay ningún conocimiento de la desviación estándar esperada de la característica, tenemos que basar un $\bar{R}$ meta inicial, sobre la tolerancia de ingeniería usando una de las siguientes fórmulas.

**a.** Para especificaciones bilaterales ecuación 1.7

$$\bar{R}\,meta = d_2/6(LSE - LIE)$$

***Ecuación 1.7.*** *Fórmula para calcular $\bar{R}$ meta para especificaciones bilaterales.*

**b**. Para especificaciones unilaterales seria la ecuación 1.8

$$\bar{R}\,meta = d_2/3\ \left|\, límite\ de\ la\ especificación - \bar{\bar{X}}\,meta \,\right|$$

*Donde $\bar{\bar{X}}$meta es la meta central del proceso.*

***Ecuación 1.8.*** *Fórmula para calcular $\bar{R}$ meta en especificaciones unilaterales.*

*Nota:* El método 5 debería ser usado con precaución y con un completo conocimiento de que un $\bar{R}$ meta basado en la tolerancia de ingeniería, no se debe utilizar como estándar de un control estadístico, sin embargo se puede utilizar como un punto de inicio temporal. Una vez que los datos actuales quedan disponibles, el $\bar{R}$ meta se debe de poner al día para reflejar la nueva información.

***Gráfica de control de rango de corridas cortas***

Debido a que los puntos de trazo sobre una gráfica control de rango de corridas cortas son razones sin unidades, el LSC es simplemente $D_4$, el LIC es $D_3$ y la línea central es 1, (Ver la figura 1.1). Por lo tanto, una gráfica de rango de corrida corta con una muestra de tamaño 5 pudiera tener un LSC=2.114 y un LIC= 0.

*Gráfica de Rango de corrida corta*

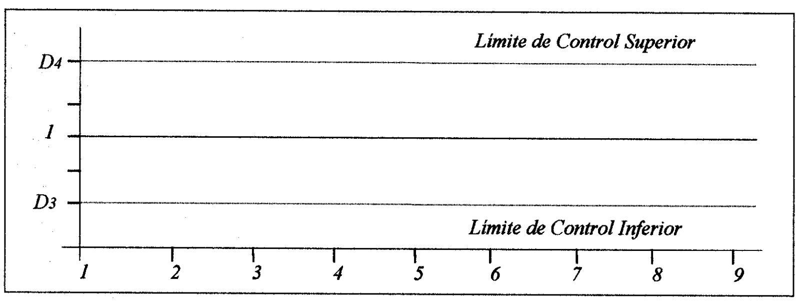


***Figura 1.1.*** *$D_4$ y $D_3$ son los límites de control superior e inferior respectivamente, en todas las gráficas de rango para corridas cortas.*

***Ejemplo:***

Supongamos que 3 partes son producidas en la misma máquina, las 3 partes tienen diferentes valores meta (nominales) de ingeniería y diferentes desviaciones estandar esperadas. La tabla 1.1 muestra los valores meta basados en gráficos de control previos.

| | *A* | *B* | *C* |
|---|---|---|---|
| $\bar{\bar{X}}$*meta* | 17 | 26 | 5 |
| $\bar{R}$*meta* | 2.8 | 6.6 | 1.6 |

***Tabla 1.1.*** *$\bar{\bar{X}}$ y $\bar{R}$ meta para las 3 piezas.*

La tabla 1.2 representa las mediciones de las 3 piezas en subgrupos de tamaño 5.

| *Subgrupo Número* | | *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* | *9* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Pieza* | | *A* | *A* | *A* | *A* | *B* | *B* | *C* | *C* | *C* |
| *Muestra* | | | | | | | | | | |
| *1* | | *15.2* | *15.7* | *17* | *17.8* | *27* | *23* | *6.8* | *4.6* | *4.6* |
| *2* | | *15.5* | *18.1* | *17* | *19.3* | *24* | *25* | *6.9* | *4.3* | *4.8* |
| *3* | | *18.1* | *17.3* | *19* | *20* | *24* | *29* | *4.6* | *4.4* | *5.3* |
| *4* | | *17.6* | *15.5* | *18* | *15.8* | *23* | *28* | *5.1* | *4.1* | *5.4* |
| *5* | | *17.6* | *16.1* | *18* | *15.9* | *25* | *26* | *5.5* | *5* | *5.3* |
| *Promedio* | | *16.8* | *16.5* | *18* | *17.8* | *24* | *26* | *5.8* | *4.5* | *5.1* |
| *Rango* | | *2.9* | *2.6* | *1.9* | *4.2* | *4.4* | *5.7* | *2.3* | *0.9* | *0.8* |

***Tabla 1.2.*** *Datos usados para hacer una gráfica de rango para corrida corta.*

En la tabla 1.3 los puntos de trazo del rango de corrida corta, pueden ser generados al tomar el rango de cada subgrupo y dividirlo por la $\bar{R}$ meta para cada pieza respectiva.

| Subgrupo Número | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pieza | A | A | A | A | B | B | C | C | C |
| $\bar{R}$ meta | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 |
| R | 2.9 | 2.6 | 1.9 | 4.2 | 4.4 | 5.7 | 2.3 | 0.9 | 0.8 |
| $R/\ \bar{R}$ meta | 1 | 0.9 | 0.7 | 1.5 | 0.7 | 0.9 | 1.4 | 0.6 | 0.5 |

***Tabla 1.3.*** *Puntos calculados para una gráfica de rango para corridas cortas*

El trazo de los puntos de rango codificado resulta en una gráfica que se ve en la figura 1.2. Al codificar los valores de rango, las piezas con diferentes desviaciones estándar, pueden ahora ser trazadas en la misma gráfica de control. Trazando razones sin unidades puede parecer un poco raro al principio, pero los practicantes pronto se van a dar cuenta de la ventaja de evaluar los datos del proceso en esta forma.

*Gráfica de Rango de corrida corta*

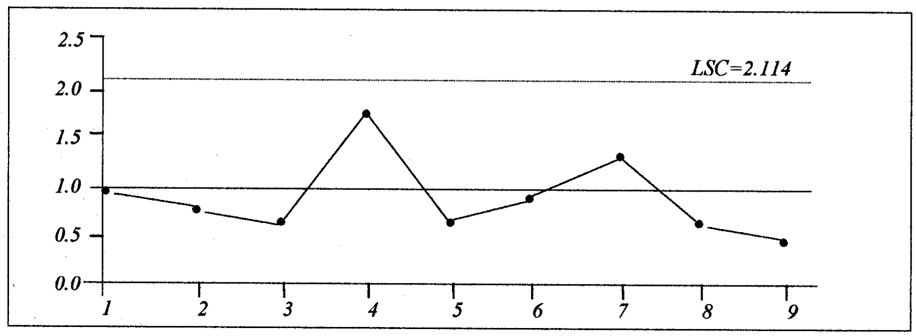


***Figura 1.2.*** *Gráfica típica del rango para corridas cortas. LSC=D4 basado en un tamaño de muestra de 5.*

### 1.3. Estimación de $\bar{s}$ meta.

***Puntos de trazado para la gráfica s de corrida corta***

Las fórmulas de los límites de control de la gráfica s tradicional están definidas por la ecuación 1.9.

$$LSCs = B_4 \bar{s} \qquad LICs = B_3 \bar{s}$$

***Ecuación 1.9.*** *Fórmulas del límite de control superior e inferior para la gráfica tradicional s.*

Para cualquier punto individual que se encuentre dentro del límite de control se dice que este punto esta en control. Ver la ecuación 1.10. para una definición de los puntos de trazo en control para la gráfica s. En donde s es la desviación estándar de la muestra para un subgrupo dado.

$$LSCs > s > LICs$$
$$o$$
$$B_4 \bar{s} > s > B_3 \bar{s}$$

***Ecuación 1.10.*** *Desigualdad de la gráfica s tradicional. donde s es la desviación estándar de la muestra en el subgrupo.*

Para eliminar $\bar{s}$ de los cálculos sin cambiar la desigualdad, dividir simplemente los 3 términos entre $\bar{s}$ (ver la ecuación 1.11).

$$\frac{B_4 \bar{s}}{\bar{s}} > \frac{s}{\bar{s}} > \frac{B_3 \bar{s}}{\bar{s}}$$

***Ecuación 1.11.*** *Dividiendo la desigualdad de la gráfica s tradicional entre $\bar{s}$.*

Cancelando $\bar{s}$ de los resultados de la desigualdad resulta en la ecuación.1.12.

$$B_4 > \frac{s}{\bar{s}} > B_3$$

***Ecuación 1.12.*** *El punto del trazo codificado y los límites de control para la gráfica s de Corrida corta.*

El nuevo punto de trazo, esta definido como s / $\bar{s}$. Si la s para un proceso se desconoce, entonces se puede sustituir con una $\bar{s}$ meta o esperada. Por lo tanto, el punto trazado de la gráfica s de corrida corta esta expresado en la ecuación 1.13.

$$\textit{Punto de trazo s para corrida corta} = s \,/\, \bar{s}\,\textit{meta}$$

***Ecuación 1.13****. Fórmula del punto de trazo de la gráfica s de corrida corta.*

El punto de trazo s de corrida corta es la proporción entre una desviación estándar actual de la muestra y un valor $\bar{s}$ meta o esperado. Este punto es una razón sin unidad, otra vez esta es una ventaja, debido a que la razón sin unidades puede ser graficada con otras razones sin unidades en la misma gráfica. Ni la gráfica, ni su eje x, están restringidos por las limitaciones impuestas al trazar los datos debido a sus unidades de medición.

*Nota:* Nosotros reconocemos que, aunque las matemáticas apoyan el trazar diferentes unidades de medición en la misma gráfica, la razón para hacer esto debería estar fundada en legitimidad, puede ser argumentable que uno nunca necesite mezclar unidades de medición en la misma gráfica. Sin embargo, uno puede necesitar de mezclar desviaciones estándar disimilares en la misma gráfica, tales como la combinación en la misma gráfica de atributos similares de partes hechas de materiales diferentes.

***¿Qué es la $\bar{s}$ meta?***

La $\bar{s}$ meta, representa una desviación estándar estimada o prevista y es usada para calcular los puntos de trazo en la gráfica s de corrida corta.

***Cómo estimar la $\bar{s}$ meta.***

Existen 5 métodos para estimar la $\bar{s}$ meta, cada uno se describe del más deseable al menos deseable.

***1. Utilizar $\bar{s}$ de gráficas de s existente que estén en control.***

Cuando se utiliza una gráfica de control s tradicional, la practica estándar es la de calcular la línea central y los límites de control después de alrededor de 20 puntos de trazo. Sí el gráfico esta en control, los límites y la línea central es extendido en lo futuro y se utilizan como líneas de referencia. Los nuevos datos son trazados contra las líneas de referencia que están establecidas. Los límites son recalculados solamente cuando ha habido un cambio en el proceso. Por lo tanto la línea central sobre una gráfica de control s existente, puede ser usada como la $\bar{s}$ meta.

***2. Convertir los registros de datos existentes de calidad en una $\bar{s}$ meta.***

Si existen datos de características de calidad provenientes de la inspección y estos representan salidas normales de la producción, las desviaciones estándar de los datos podrán ser convertidos en un promedio $\bar{s}$ meta.

Un valor de la muestra en la desviación estándar es convertido hacia un valor de $\bar{s}$ meta usando una fórmula en la ecuación 1.14.

$$\bar{s}\ meta = s / c_4$$

*Donde:*
*$s$ es la desviación estándar muestral de datos históricos.*
*$c_4$ esta basada en el tamaño anticipado de la muestra de la gráfica de control s de corrida corta.*

***Ecuación 1.14.*** *Convertir una desviación estándar muestral hacia un valor de $\bar{s}$ meta.*

***3. Usar $\bar{s}$ de características, partes o parámetros de procesos similares.***

Si ningún gráfico de control o registros de calidad existen para una nueva característica a ser controlada, pero existen datos de características similares, utilizar el método 1 o 2 en los datos similares para estimar una $\bar{s}$ meta inicial para la nueva característica.

***4. Preguntar a alguien que conozca de la capacidad del proceso.***

Por ejemplo pregúntele al operador que tolerancia sostiene el torno. Suponga que la respuesta es: "sostiene+0.020", dada esta declaración uno podrá suponer que el operador describía la variabilidad estándar (variación 6σ), de la variabilidad de la máquina. Suponiendo esto la desviación estándar puede ser estimada dividiendo la tolerancia total por 6, en este ejemplo la desviación estándar estimada seria 0.040"/6=0.0067" asumiendo que n=12, la ecuación 1.14 podría ser aplicado. El resultado es 0.0067"/.9776"=0.0069", por lo tanto 0.0069" se puede usar como la $\bar{s}$ meta.

***5. Usar la tolerancia de la ingeniería para establecer la $\bar{s}$ meta inicial.***

Si no hay ningún conocimientos de la desviación estándar esperada de la característica, tenemos que basar un $\bar{s}$ meta inicial, sobre la tolerancia de ingeniería usando una de las siguientes fórmulas:

**a.** Para especificaciones bilaterales ecuación 1.15.

$$\bar{s}\ meta = C_4 / 6\ (LSE\ -\ LIE)$$

***Ecuación 1.15.*** *Fórmula para calcular la $\bar{s}$ meta para especificaciones bilaterales.*

**b.** Para especificaciones unilaterales sería la ecuación 1.16.

$$\bar{s}\ meta = C_4\ /\ 3\ /\ limite\ especificado\ -\ promedio\ meta\ \bar{\bar{X}}\ /$$

***Ecuación 1.16.*** *Fórmula para calcular la $\bar{s}$ meta para especificaciones unilaterales.*

*Nota*: El método 5 debería ser usado con precaución y con un completo conocimiento de que una $\bar{s}$ meta, basada en una tolerancia de ingeniería no debería ser utilizada como un estándar de control estadístico, sin embargo se puede utilizar, como un punto de inicio temporal. Una vez que los datos actuales quedan disponibles, la $\bar{s}$ meta se debe poner al dia para reflejar la nueva información.

***Gráfica de control s de corridas cortas***

La fórmula que sé utilizará para calcular puntos de corridas cortas s, será la ecuación 1.17.

$$s \,/\, \bar{s}\,\textit{meta}$$

***Ecuación 1.17.*** *Fórmula para la gráfica s de corrida corta.*

Para la gráfica s de corridas cortas el LSC es simplemente B4, el LIC es B3 y la línea central es 1 como lo muestra la figura 1.3, por lo tanto un gráfico s de corrida corta con una muestra de tamaño 10, tendría LSC=1.716 y LIC= 0.284 con una línea central de 1.

*Gráfica s de corrida corta*

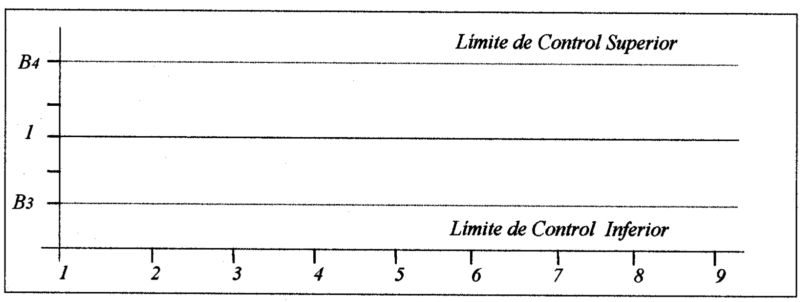


***Figura 1.3.*** *$B_4$ y $B_3$ son los límites de control superior e inferior en la gráfica s de corrida corta.*

***Ejemplo***

Suponga que hay 3 piezas que son fabricadas en la misma máquina, las 3 piezas tienen diferentes valores nominales de ingeniería y diferentes desviaciones estándar esperadas. La tabla 1.4 nos muestra los valores metas basadas en previos o anteriores gráficos de control.

| | A | B | C |
|---|---|---|---|
| $\bar{\bar{X}}meta$ | 38 | 14 | 66 |
| $\bar{s}meta$ | 1.9 | 3.2 | 10.7 |

***Tabla 1.4.*** *$\bar{\bar{X}}$ y $\bar{s}$ meta para las 3 piezas.*

La siguiente tabla representa las mediciones de las 3 piezas en subgrupo de 10.

| *Subgrupo número* | | *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* | *9* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *pieza* | | *A* | *A* | *A* | *A* | *B* | *B* | *C* | *C* | *C* |
| *muestra* | *1* | *39.2* | *38.7* | *37* | *36.8* | *15.4* | *15* | *64* | *58* | *49.2* |
| | *2* | *41.1* | *38.3* | *39* | *38.5* | *12.6* | *13* | *59* | *67* | *69.3* |
| | *3* | *38.3* | *40* | *35* | *36.9* | *17.5* | *15* | *72* | *70* | *53.1* |
| | *4* | *39.6* | *39.1* | *38* | *36.6* | *14.4* | *14* | *58* | *68* | *57.1* |
| | *5* | *38.2* | *37.7* | *36* | *38.2* | *14.5* | *15* | *41* | *67* | *63.2* |
| | *6* | *34.8* | *40* | *36* | *38.8* | *7.1* | *14* | *62* | *64* | *73.7* |
| | *7* | *39.2* | *41.3* | *38* | *37.6* | *15.2* | *18* | *70* | *91* | *59.2* |
| | *8* | *38.2* | *38.7* | *39* | *39.4* | *9.7* | *16* | *65* | *75* | *69.5* |
| | *9* | *36.8* | *35.5* | *37* | *36.9* | *41.1* | *14* | *66* | *66* | *55.2* |
| | *10* | *43.4* | *39.5* | *41* | *41* | *20.6* | *11* | *79* | *63* | *71.2* |
| *Promedio* | | *38.9* | *38.9* | *37* | *38.1* | *13.9* | *15* | *64* | *69* | *62.1* |
| *s* | | *2.3* | *1.6* | *1.1* | *1.4* | *3.8* | *1.8* | *10* | *8.9* | *8.5* |

***Tabla 1.5.*** *Datos usados para completar una gráfica de s para corrida corta.*

Los puntos de trazo para las gráficas s de corridas cortas se pueden generar por la desviación estándar de cada subgrupo y dividirlo por su respectiva $\bar{s}$ meta de cada pieza (como vemos en la tabla 1.6).

| *Subgrupo número* | *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* | *9* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Pieza* | *A* | *A* | *A* | *A* | *B* | *B* | *C* | *C* | *C* |
| *$\bar{s}$ Meta* | *1.9* | *1.9* | *1.9* | *1.9* | *3.2* | *3.2* | *11* | *11* | *10.7* |
| *s* | *2.3* | *1.6* | *1.1* | *1.4* | *3.8* | *1.8* | *10* | *8.9* | *8.5* |
| *s / $\bar{s}$ Meta* | *1.2* | *0.8* | *0.6* | *0.7* | *1.2* | *1.6* | *0.9* | *0.8* | *0.8* |

***Tabla 1.6.*** *Puntos calculados para una gráfica de s para corridas cortas.*

El trazo de los puntos codificados de s aparece en la figura 1.4. Al codificar los puntos del trazo s, las partes con diferentes desviaciones estándar pueden ser trazadas en la misma gráfica de control.

*Gráfica s de corrida corta*

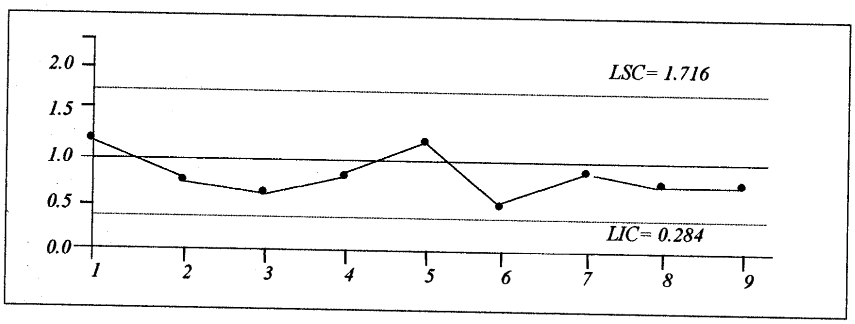


***Figura 1.4.*** *Gráfica s de corrida corta típica, los límites de control superior e inferior basados en un tamaño de la muestra de 10.*

### 1.4. Estimación de $\bar{\bar{X}}$ meta.

***Puntos de trazo para la gráfica $\bar{X}$ de corridas cortas***

Comenzaremos con las fórmulas de límites de control para $\bar{X}$ tradicional, en la ecuación. 1.18.

$$LSC\bar{x} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \qquad LIC\bar{x} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

***Ecuación 1.18.*** *Límites de control superior e inferior para las gráficas tradicionales.*

Un solo punto de trazo promedio esta en control cuando este cae entre los límites de control de la gráfica $\bar{X}$, como lo muestra la ecuación 1.19.

$$LSC\bar{x} > \bar{X} > -LIC\bar{x}$$

$$o$$

$$\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} > \bar{X} > \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

***Ecuación. 1.19.*** *Desigualdad de la gráfica $\bar{X}$ tradicional.*

Con la gráfica $\bar{X}$ de corridas cortas, ambos $\bar{\bar{X}}$ y $\bar{R}$ necesitan ser eliminados de la desigualdad para que solamente permanezca $A_2$. Haciendo esto dará lugar a una gráfica $\bar{X}$ de corrida corta, cuyos límites de control, son: $-A_2$ y $+A_2$, para hacer esto sin cambiar la desigualdad, se debe primero restar $\bar{\bar{X}}$, de todos los 3 términos (ver ecuación 1.20).

$$(\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}) - \bar{\bar{X}} > \bar{X} - \bar{\bar{X}} > (\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}) - \bar{\bar{X}}$$

***Ecuación 1.20.*** *Substracción de $\bar{\bar{X}}$ de una gráfica de desigualdad tradicional de $\bar{X}$.*

El resultado de la Ecuación 1.20, se encuentra en la siguiente ecuación 1.21.

$$+A_2\overline{R} > \overline{X} - \overline{\overline{X}} > -A_2\overline{R}$$

***Ecuación 1.21.*** *Resultado de la substracción de $\overline{\overline{X}}$ de una gráfica de desigualdad, tradicional de $\overline{X}$.*

Después $\overline{R}$ debe ser eliminada de la desigualdad, esto se hace dividiendo la desigualdad por $\overline{R}$. ver la ecuación 1.22.

$$\frac{+A_2\overline{R}}{\overline{R}} > \frac{\overline{X} - \overline{\overline{X}}}{\overline{R}} > \frac{-A_2\overline{R}}{\overline{R}}$$

***Ecuación 1.22.*** *División de la tradicional gráfica $\overline{X}$, de desigualdad por $\overline{R}$.*
(Cancelando las $\overline{R}$'s produce el resultado encontrado en la ecuación 1.23)

$$+A_2 > \frac{\overline{X} - \overline{\overline{X}}}{\overline{R}} > -A_2$$

***Ecuación 1.23.*** *El punto de trazo codificado y los límites de control para una gráfica de control $\overline{X}$ de corrida corta.*

El punto de trazo $\overline{X}$ de corrida corta se muestra en la ecuación 1.24.

$$\overline{X}decorridacorta = \frac{\overline{X} - \overline{\overline{X}}meta}{\overline{R}meta}$$

***Ecuacion1.24.*** *Fórmula para el punto $\overline{X}$ de corrida corta (para ser usada en conjunto con una gráfica R de corrida corta).*

El punto de trazo $\overline{X}$ de corrida corta es la proporción entre un codificado $\overline{X}$ (desviación de $\overline{\overline{X}}$ meta), y un rango meta ( $\overline{R}$ meta).

*Nota*: Los puntos de la gráfica X (dato individual) de corrida corta usando RM y los puntos $\bar{X}$ de corrida corta usando s son calculados de una manera parecida como los puntos $\bar{X}$ de corrida corta, ver ecuación 1.25. y 1.26.

$$XI \text{ de corrida corta} = \frac{XI - \overline{XI}\,meta}{\overline{RM}meta}$$

***Ecuación 1.25.*** *Fórmula para el punto del trazo de la gráfica IX de corrida corta para ser usada en conjunto con una gráfica RM de corrida corta.*

$$\bar{X} \text{ de corrida corta} = \frac{\bar{X} - \bar{\bar{X}}meta}{\bar{s}\ meta}$$

***Ecuación 1.26.*** *Fórmula para el punto del trazo $\bar{X}$ de corrida corta para ser usada en conjunto con una gráfica s de corrida corta.*

***¿Que es la $\bar{\bar{X}}$ meta?***

La $\bar{\bar{X}}$ meta, es el promedio meta o esperado de un parámetro de proceso o característica.

***Cómo estimar la $\bar{\bar{X}}$ meta.***

Hay 4 maneras de estimar la $\bar{\bar{X}}$ meta, cada una esta numerada desde la más deseable a la menos deseable:

***1. Usar $\bar{X}$ de las graficas de $\bar{X}$ existente que estén en control.***

Cuando use la gráfica $\bar{X}$ tradicional, la práctica estándar es la de calcular la $\bar{X}$ y los límites de control, después de casi 20 puntos si las gráficas de control están en control, los límites y la línea central son usados como línea de referencia. Estos son extendidos en el futuro y los datos actuales se trazan en contra de las líneas centrales establecidas y los límites de control. Los límites son recalculados solamente cuando ha habido cambios en el proceso, por lo tanto la línea central sobre una gráfica de control $\bar{X}$ existente puede ser usado como la $\bar{\bar{X}}$ Meta.

***2. Convertir los datos existentes del muestreo para aseguramiento de la calidad en la $\bar{\bar{X}}$ meta.***

Si existen datos de inspección sobre la característica de calidad y los datos representan los resultados de la producción, el promedio de esos datos pueden ser usados como $\bar{\bar{X}}$ meta.

***3. Usar $\bar{\bar{X}}$ de características, partes o parámetros del proceso similares.***

Si no existen gráficas de control o registros de calidad para la nueva característica que se va a controlar, pero existen gráficas o registros de calidad con una característica similar, use los métodos 1 o 2 sobre los datos similares para estimar una $\bar{\bar{X}}$ meta inicial para la nueva característica.

***4. Usar el nominal de la especificación de ingeniería como $\bar{\bar{X}}$ meta***

Si no se tiene conocimiento alguno del centrado esperado de la característica que se quiere monitorear, hay que basar la $\bar{\bar{X}}$ meta inicial sobre la nominal de ingeniería (el punto medio entre LSE y LIE). Para las tolerancias unilaterales, escoja un valor de meta suficientemente (preferiblemente mayor de 3 desviaciones estándar) lejos de la especificación para asegurar una falla mínima.

***Gráfica de control $\bar{X}$ de corrida corta***

Los puntos de trazo en una gráfica de control $\bar{X}$ de corrida corta son razones sin unidades. La fórmula para calcular los puntos de trazo puede ser encontrada en la ecuación 1.24. Hay que recordar que para cualquier gráfico de control $\bar{X}$ de corridas cortas, el LSC = + $A_2$, el LIC= - $A_2$ y la línea central siempre será igual a 1. (Como lo muestra la figura 1.5).

*Gráfica $\bar{X}$ de corrida corta*

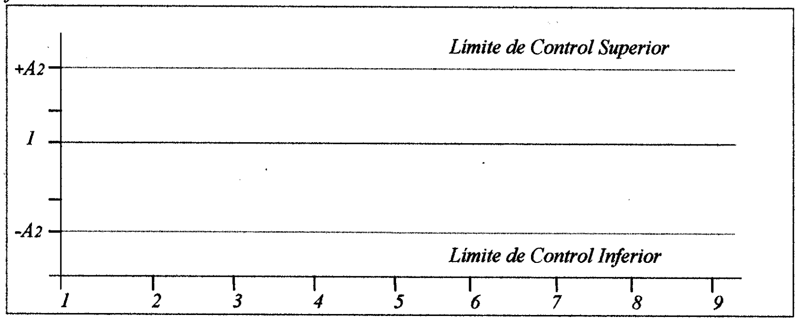


***Figura 1.5.*** *+ $A_2$ y $-A_2$ son los límites de control superior e inferior en todas las gráficas de $\bar{X}$ para corridas cortas usadas en conjunción van las gráficas R de corrida corta.*

***Ejemplo***

Supongamos que existen 3 piezas que son fabricadas en la misma máquina y tienen diferentes valores nominales y diferente desviación estándar esperada. La tabla 1.7 muestra los valores de meta basados en valores de gráficas de control previas.

| | *A* | *B* | *C* |
|---|---|---|---|
| *$\bar{\bar{X}}$meta* | *17.0* | *26.0* | *5.0* |
| *$\bar{R}$meta* | *2.8* | *6.6* | *1.6* |

***Tabla 1.7.*** *$\bar{\bar{X}}$ y $\bar{R}$ meta para las 3 piezas.*

Los 9 Subgrupos en la tabla 1.8. representan las mediciones de las 3 piezas en subgrupos de tamaño 5.

| *Subgrupo número* | | *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* | *9* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *pieza* | | *A* | *A* | *A* | *A* | *B* | *B* | *C* | *C* | *C* |
| *Muestra* | *1* | *15* | *16* | *17* | *18* | *27* | *23* | *6.8* | *4.6* | *5* |
| | *2* | *16* | *18* | *17* | *19* | *24* | *25* | *6.9* | *4.6* | *5* |
| | *3* | *18* | *17* | *19* | *20* | *24* | *29* | *4.6* | *4.4* | *5* |
| | *4* | *18* | *16* | *18* | *16* | *23* | *29* | *5.1* | *4.1* | *5* |
| | *5* | *18* | *16* | *18* | *16* | *25* | *26* | *5.5* | *5* | *5* |
| *Promedio* | | *17* | *17* | *18* | *18* | *24* | *26* | *5.8* | *4.5* | *5* |
| *Rango* | | *2.9* | *2.6* | *1.9* | *4.2* | *4.4* | *5.7* | *2.3* | *0.9* | *1* |

***Tabla 1.8.*** *Valores de Rango y promedio que se van a usar para calcular los puntos de trazo de la gráfica $\bar{X}$ de corrida corta.*

Los puntos de trazo de la gráfica $\bar{X}$ de corridas cortas, pueden ser generados al tomar el promedio y el rango de cada subgrupo de la tabla 1.8 y usarlos en la fórmula para el punto de trazo $\bar{X}$ de corrida corta, (ver ecuación 1.24). El resultado lo podemos encontrar en la tabla 1.9. Los puntos $\bar{X}$ de corrida corta pueden entonces ser graficados en un formato de control estadístico como en la figura 1.6.

| *Subgrupo número* | *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* | *9* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *pieza* | *A* | *A* | *A* | *A* | *B* | *B* | *C* | *C* | *C* |
| $\bar{X}$ | *16.8* | *16.5* | *18* | *17.8* | *24.4* | *26* | *5.8* | *4.5* | *5.1* |
| $\bar{\bar{X}}$ *meta* | *17* | *17* | *17* | *17* | *26* | *26* | *5* | *5* | *5* |
| $\bar{X}-\bar{\bar{X}}$ *meta* | *-0.2* | *-0.5* | *0.5* | *0.8* | *-1.6* | *0.2* | *0.8* | *-1* | *0.1* |
| $\bar{R}$ *meta* | *2.8* | *2.8* | *2.8* | *2.8* | *6.6* | *6.6* | *1.6* | *1.6* | *1.6* |
| $\dfrac{\bar{X}-\bar{\bar{X}}\,meta}{\bar{R}\,meta}$ | *-0.1* | *-0.1* | *0.2* | *0.29* | *-0.2* | *0* | *0.5* | *-0* | *0.1* |

***Tabla 1.9.*** *Puntos de trazo calculados de una gráfica $\bar{X}$ de corrida corta.*

*Gráfica $\bar{X}$ de corrida corta*

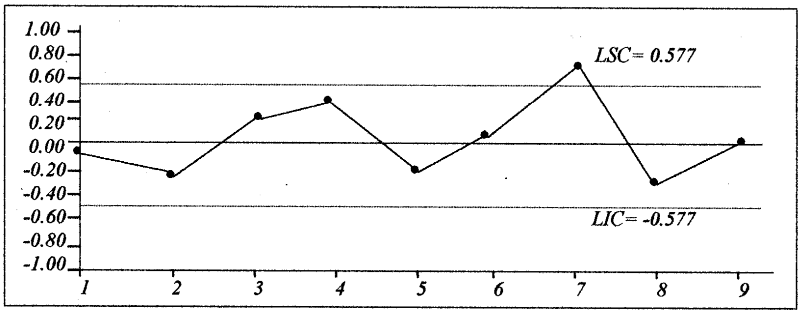


***Figura 1.6.*** *Gráfica de $\bar{X}$ para corridas cortas usando los puntos de la tabla 1.9.*

**1.5. Interpretación de las gráficas de control de corridas cortas.**

***Beneficios de usar razones sin unidades como puntos de trazo.***

**1.** - Los límites de control y las líneas centrales nunca necesitan ser calculados o recalculadas, son constantes y basadas solamente en el tamaño de muestra.

**2.** - Los límites de control son conocidos antes de que el primer punto sea trazado.

**3.** - Debido, a que la escala no esta relacionada con las unidades de medición actual el interpretador se puede enfocar solamente en la colocación de los puntos en relación con los límites de control y la línea central.

***Interpretación de las gráficas de corridas cortas***

Las gráficas de corridas cortas son interpretadas de forma similar a sus contrapartes gráficas tradicionales. El único aspecto que las gráficas de corridas cortas interpretan diferente es el de saber de donde vienen los valores de metas. Si las metas están basadas sobre gráficas de control previas, hay poca diferencia en la interpretación entre una corrida corta y una gráfica tradicional.

Cuando los valores de meta, son estimados por datos históricos, partes similares o de tolerancias de ingeniería, las gráficas son inicialmente analizadas para determinar si los valores meta estimados son exactos. Si las gráficas al ser analizadas estan fuera de control pueden interpretarse como situaciones fuera de control o que el valor de meta no es exacto. En cualquiera de los casos debe haber una investigación para la señal de la causa en la gráfica de control, ya sea que el proceso ha sido cambiado significativamente o que simplemente los valores de meta fueron inicialmente inexactos y requieren actualización. Si las graficas inicialmente parecen estar en control, se asume que los valores de los puntos son exactos y no se requiere que sean actualizados.

***Condiciones de fuera de control***

Una vez que los valores de meta son determinados que son exactos, las condiciones fuera de control para los procesos deben ser investigadas. Las condiciones fuera de control son detectadas usando los siguientes criterios estándar.

- El punto esta mas allá de los límites de control.
- Corridas sobre o debajo de la línea central.
- Cualquier patrón obvio (tendencias, cambios o ciclos).

***Detección de las mejoras del proceso en la gráfica de rango y s de corrida corta***

Una corrida debajo de la línea central, en un rango o gráfico s, es una indicación de mejora del proceso (variación reducida). Cuando esto ocurre, solamente las $\bar{R}$´s meta y/o las s´s meta necesitan ser actualizadas. Los recalculos de los límites de control no son necesarios debido a que son constantes. Las metas son actualizadas promediando los rangos o desviaciones estándares actuales del subgrupo que son representativos de la mejora de proceso. Los valores de meta deben ser actualizados solamente si la razón para la mejora detectada en la gráfica, puede ser identificada y hay suficientes datos para confirmar una mejora sostenida.

### *Detectando mejoras de proceso en gráficas $\bar{X}$ de corridas cortas*

Típicamente, la $\bar{\bar{X}}$ meta es valor nominal de ingeniería o cierto valor deseado del centro. Las mejoras por lo tanto, se detectan cuando los puntos del trazo exhiben menos variabilidad respecto a sus valores de meta (la línea cero).

### *Cuando actualizar los valores de meta*

Los valores de meta deben ser actualizados cuando:

1. - Las estimaciones iniciales de meta son inexactas.

2. - Sucede una mejora de proceso y la causa es identificada.

*Nota*: Los valores de meta no se deben actualizar para reflejar una deterioración en el proceso, a menos que sea una condición intencional y permanente.