SigmaXL® Version 9.0 Workbook

SigmaXL: Herramienta de Selección de la Carta de Control: SPC

Traducción al Español de Ivan Falconi

Contenido

Parte A – Cartas de Individuales 3
Plantilla de Cartas de Individuales 3
Carta de Individuales 4
Cartas de Individuales: Opciones de Límite Avanzadas – Grupos Históricos 12
Cartas de Individuales & Rangos Móviles 14
Cartas de Individuales para Datos No Normales (Transformación Box-Cox) 15
Parte B – Cartas X-Barra & Rangos/DesvEst 19
Cartas X-Bar & R 19
Cartas X-Barra & R – Excluye Subgrupos 25
Cartas X-Barra & S 27
Parte C – Cartas de Atributos (P, NP, C, U) 30
Cartas P 30
Cartas P: Opciones de Límites Avanzadas – Grupos Históricos 31
Cartas NP 33
Plantilla de Carta-C 34
Cartas-C 34
Cartas-U 36
Parte D – Cartas P' & U' (Laney) 37
Cartas P' 37
Cartas U' 39
Parte E – Herramienta de Selección de Carta de Control 41
Tipos de Datos y Definiciones 41
La Herramienta de Selección de Carta de Control – Carta de Individuales 42
Herramienta de Selección de Carta de Control – Carta X-barra & R 44
Herramienta de Selección de Carta de Control – Carta-P 45
Parte F – Cartas I-MR-R/S 46
Cartas I-MR-R 46
Parte G – Plantillas de Cartas de Control: Eventos Raros 49
Cartas T Eventos Raros - Introducción 49

Carta T de Eventos Raros - Ejemplo 50
Carta G de Events Raros - Introducción 56
Cartas G de Eventos Raros – Ejemplo 56
Carta G de Prob de Eventos Raros - Introducción 62
Carta G de Prob de Eventos Raros - Ejemplo 63
Parte H – Plantillas de Cartas de Control: Ponderada en el Tiempo 68
Carta de Promedio Móvil Ponderado Exponencialmente (EWMA) - Introducción 68
Carta de Promedio Móvil Ponderado Exponencialmente (EWMA) - Ejemplo 70
Carta de Suma Acumulada Tabular (CUSUM) - Introducción 75
Carta de Suma Acumulada Tabular (CUSUM) - Ejemplo 76
Parte I – Plantillas de Cartas de Control: Tendencia 82
Carta de Tendencia - Introducción 82
Carta de Tendencia - Ejemplo 83
Parte J – Plantillas de Cartas de Control: Calculadoras de la Longitud Promedio de Corrida (ARL) 87
Longitud Promedio de Corrida (ARL) - Introducción 87
ARL de Shewhart 88
ARL del Atributo P 98
Attributo C ARL 107
ARL del EWMA 112
ARL del CUSUM 124

Parte A – Cartas de Individuales

Consejo: Véase **Parte E – Herramienta de Selección de la Carta de Control**. La Herramienta de Selección de Cartas de Control facilita la selección correcta de la carta de control de los procesos estadísticos dependiendo del tipo de datos y del subgrupo/tipo y tamaño de la muestra.

Plantilla de Cartas de Individuales

Hacer click en **SigmaXL > Templates and Calculators** > **Control Chart Templates > Basic > Individuals.**

Esta plantilla se localiza también en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Templates > Basic > Individuals.**

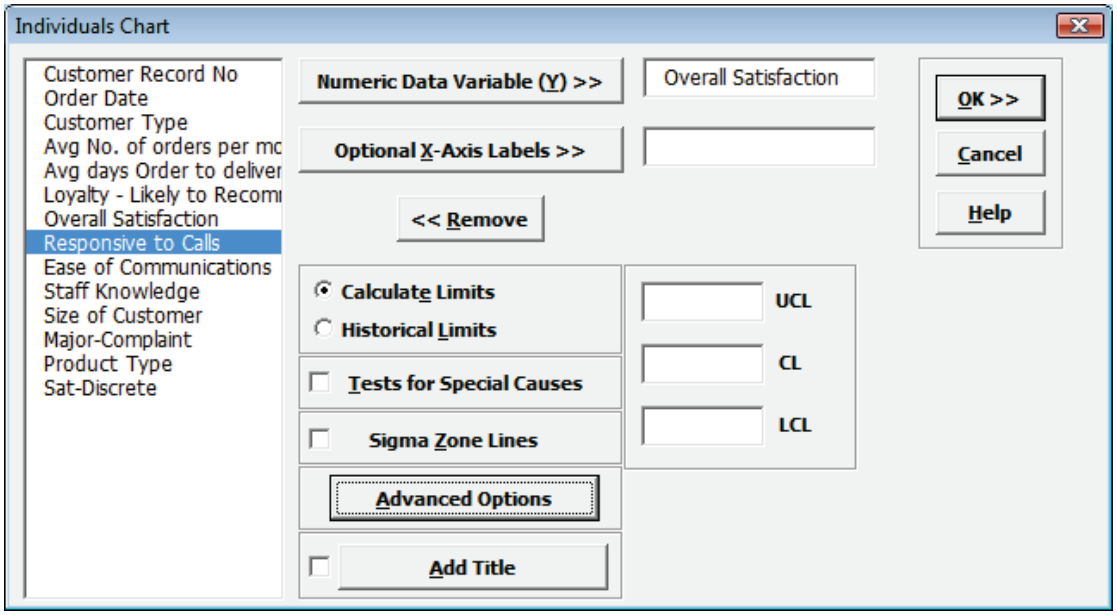
Véase **Measure Phase Part B – Templates and Calculators** para el ejemplo de la plantilla de Carta de Individuales:

Basic Control Chart Templates – Individuals Chart

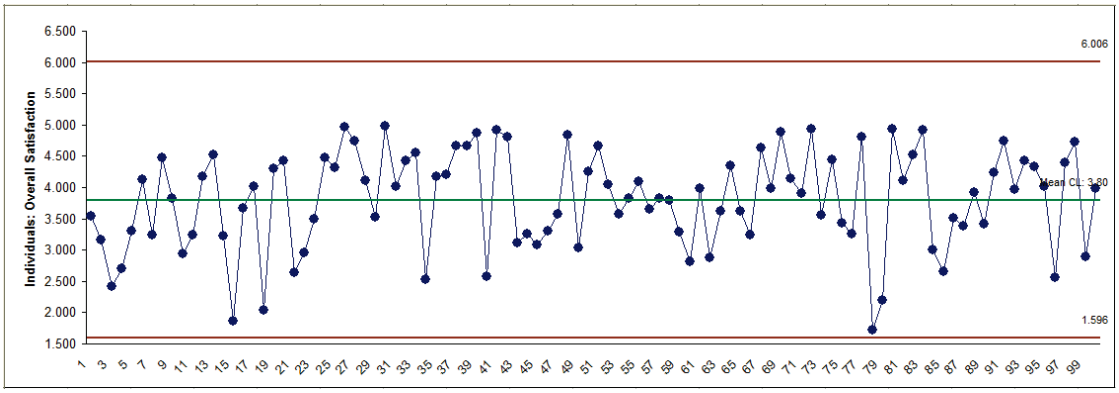
Carta de Individuales

1. Abrir **Customer Data.xlsx**, hacer click en la **Hoja 1**. Hacer click en **SigmaXL>Control Charts>Individuals**. Cerciorarse en seleccionar la tabla completa de los datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

2. Seleccionar *Overall Satisfaction*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>.** Cerciorarse en seleccionar **Calculate Limits**.

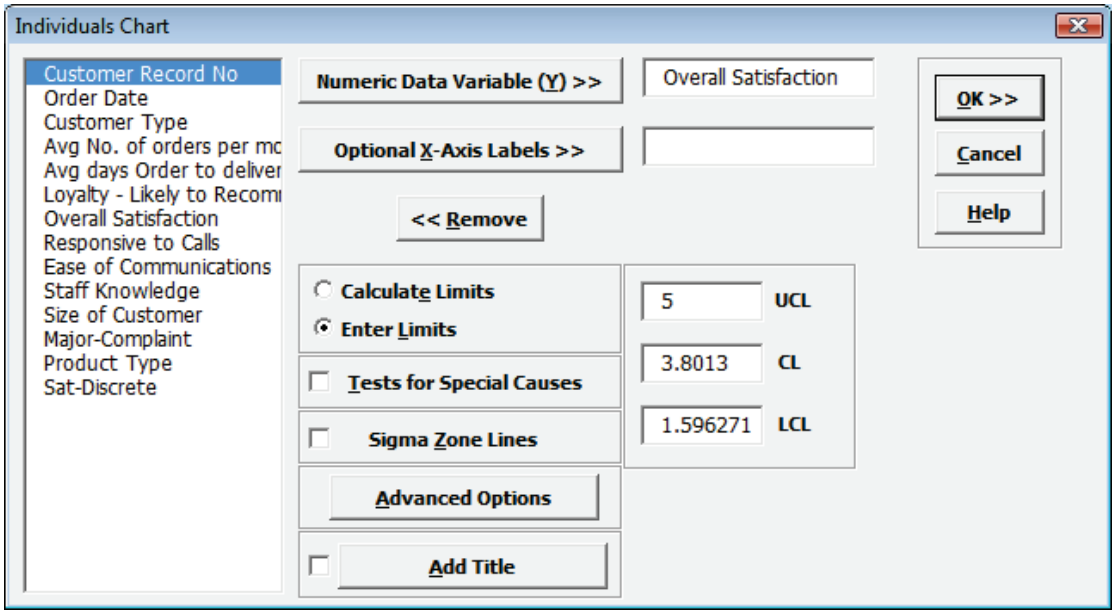


3. Hacer click en **OK**. Lo que resulta en la carta de control de Individuales:

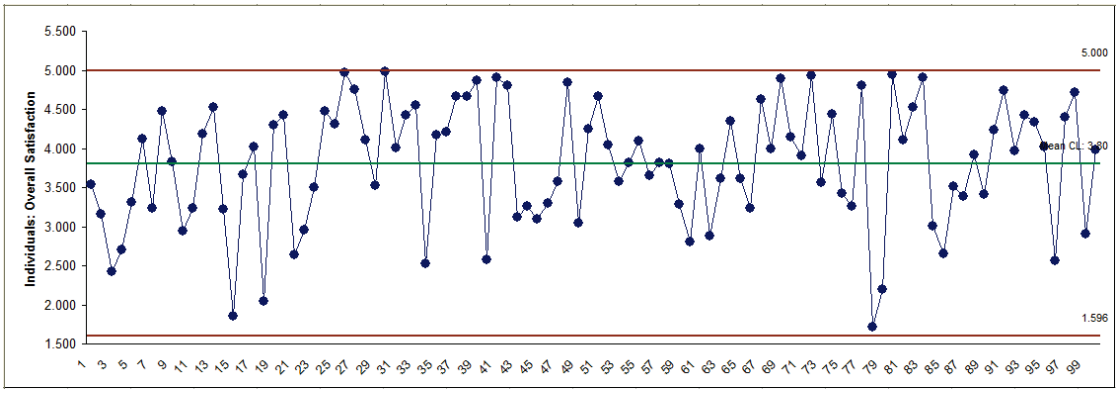


4. Se han visto estos datos anteriormente en una carta de corrida. A la Carta de Control se le ha calculado los límites de control. Obsérvese que el Límite de Control Superior excede el límite superior de la encuesta referida en 5. Aquí sería apropiado cambiar el LCS a 5.0. Hacer click en el menú en **Recall SigmaXL Dialog** o presione **F3** para retornar al último diálogo.

5. Seleccionar *Overall Satisfaction*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**, cambiar el **UCL** to 5.



6. Hacer click en **OK**. Carta de individuales resultantes con el LCS modificado:



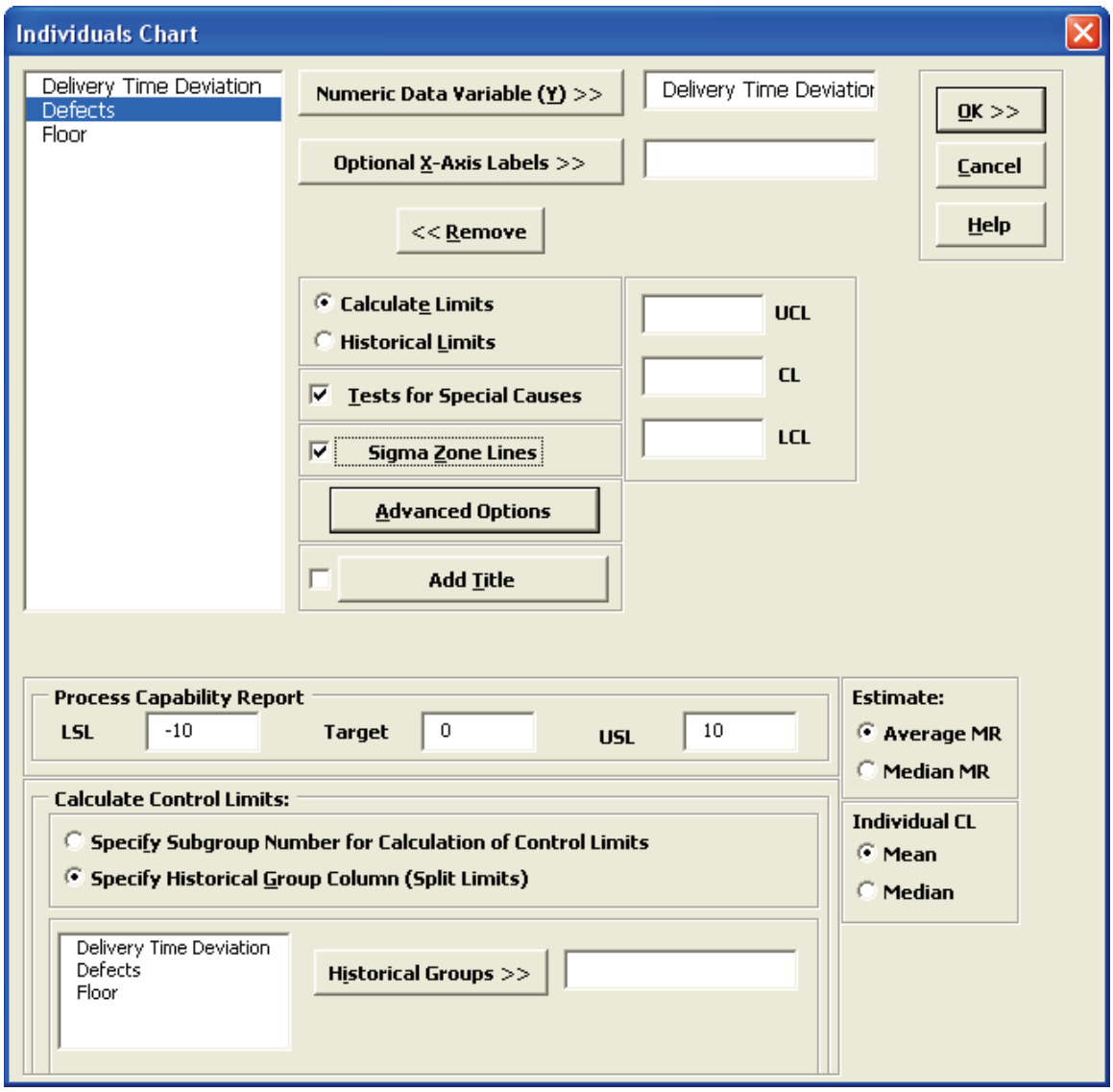
Consejo: No se debe cambiar los límites de control calculados a menos que se tenga una razón legítima, como una condición límite. No sustituya los límites de control por los límites de especificación: la carta de control perderá su capacidad estadística para detectar causas asignables. Se volverá a hacer una carta de control para individuales para la satisfacción general en lo posterior con el uso de la herramienta de individuales no normales.

7. Abrir **Delivery Times.xlsx.** Hacer click en la pestaña de la **Hoja 1**. Este conjunto de datos contiene desviaciones en minutos del tiempo de entrega del servicio de habitaciones. El Requisito Crítico del Cliente es el tiempo objetivo +/- 10 minutos.

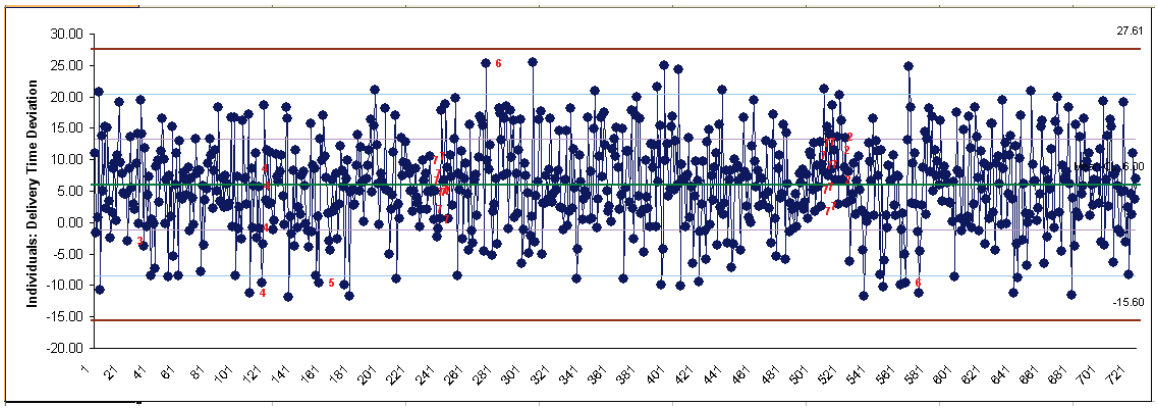
8. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > Individuals**. Cerciorarse en seleccionar la tabla completa de los datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

9. Seleccionar *Delivery Time Deviation*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**, marcar **Tests for Special Causes**, marcar **Sigma Zone Lines**. Cerciorarse en seleccionar **Calculate Limits**.

10. Seleccionar **Advanced Options**, especificar **LSL** = -10, **Target** = 0, **USL** = 10 como se ve:



11. Hacer click en **OK**. La carta resultante se muestra:



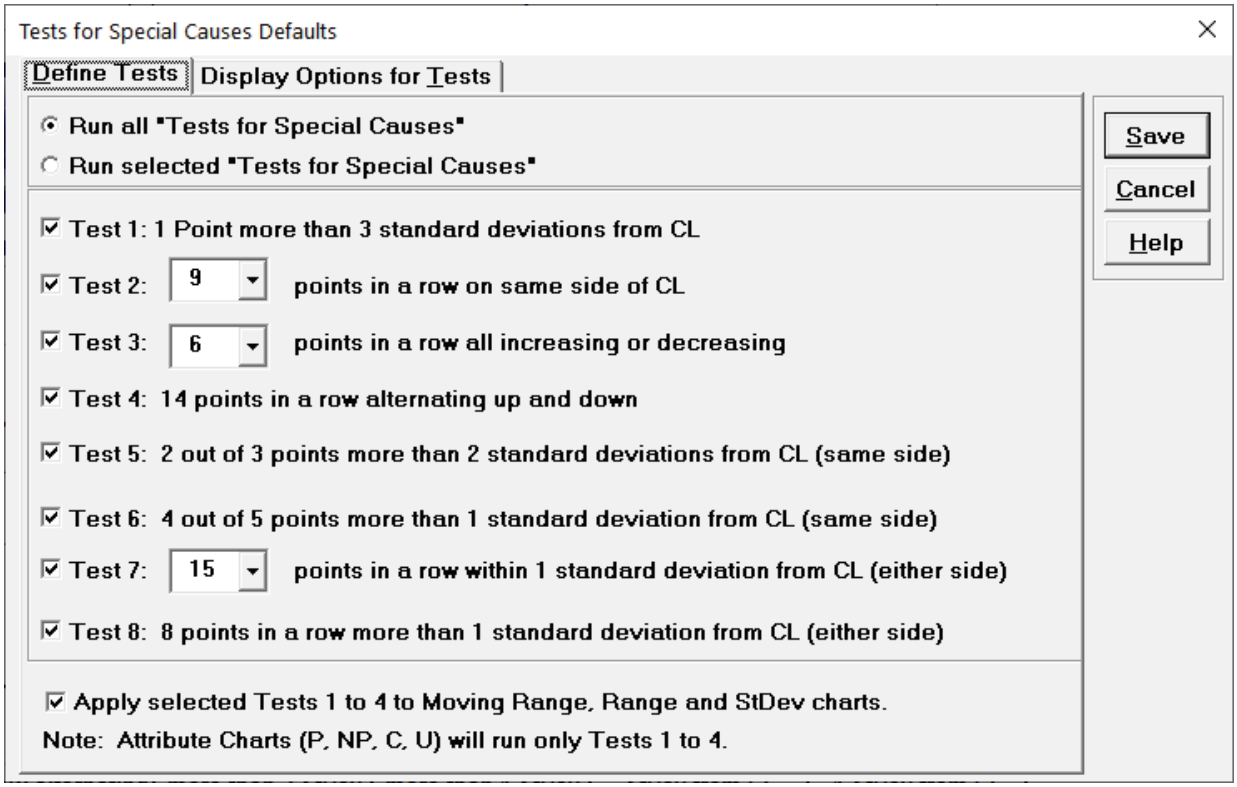
Se indican algunas pruebas de causas especiales en la carta. Si falla una prueba en más de una ocasión, el número corresponde a la primera prueba que ha fallado.

12. No existen puntos que excedan los límites sigma +/- 3 en esta carta, no obstante, se puede apreciar cierta indicación de inestabilidad con las pruebas de causas especiales. Las **Pruebas de Causas Especiales** informan abajo que la carta proporciona información detallada acerca de cada observación identificada como causa especial. Obsérvese que la carta de control también muestra las líneas +/- 1 sigma y +/- 2 sigma como una ayuda en la visualización de estas pruebas.

Tests for Special Causes - Individuals: Delivery Time Deviation
Number of Data Points Failing Tests = 30

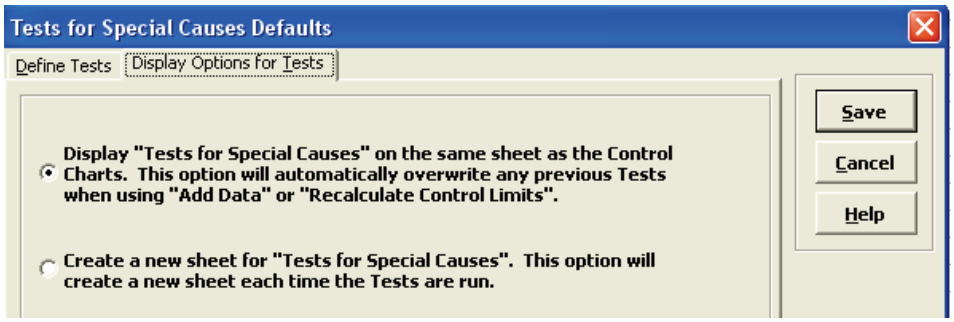
Observation No.	Test 1: 1 point more than 3 Stdev from CL	Test 2: 9 points in a row on same side of CL	Test 3: 6 points in a row all increasing or all decreasing	Test 4: 14 points in a row alternating up and down	Test 5: 2 out of 3 points more than 2 Stdev from CL (same side)	Test 6: 4 out of 5 points more than 1 Stdev from CL (same side)	Test 7: 15 points in a row within 1 Stdev from CL (either side)	Test 8: 8 points in a row more than 1 Stdev from CL (either side)
24			x					
109				x				
110				x				
111				x				
112				x				
157					x			
229							x	
230							x	
231							x	
232							x	
233							x	
234							x	
235							x	
236							x	
237							x	
238							x	
273						x		
499							x	
500							x	
501							x	
502							x	
503							x	
504							x	
505							x	
506							x	
507							x	
515		x						
516		x						
517		x						
565						x		

13. Estas pruebas de causas especiales pueden por defecto configurarse para aplicar cualquiera o todas las pruebas del 1-8. La prueba 2 se puede configurar para fijar 7, 8, o 9 puntos seguidos en el mismo lado del LC. La prueba 3 se puede configurar para fijar 6 o7 puntos seguidos, todos en forma ascendente o descendente. La prueba 7 se puede configurar para fijar 14 o 15 puntos seguidos a 1 desviación estándar del LC. Hacer click en la pestaña de la **Hoja 1**. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > "Tests for Special Causes" Defaults** para correr las pruebas seleccionadas de causas especiales:



Tener en cuenta que estas configuraciones predeterminadas se aplicarán a las cartas de Individuales y X-barra. Las configuraciones de las pruebas 1 a la 4 se aplicarán para las Cartas de Atributos y (si se ha marcado) en las Cartas de Rango Móvil, Rango, DesvEst y Atributos.

14. Hacer click en la Pestaña **Display Options for Tests**.



15. Si se prefiere crear una hoja de trabajo aparte para cada informe del **Test de Causas Especiales**, seleccione la opción **Create a new sheet**. Por defecto se visualiza **Tests for Special Causes** en la misma hoja la Carta de Control. Obsérvese que este informe se sobre escribirá cuando se agreguen los datos o se recalcule los límites de control.

16. Hacer click en **Save**.

17. **Hacer click en** la pestaña **Indiv Proc Cap** para visualizar el Informe de Capacidad del Proceso, el cual incluye los índices de capacidad potencial del proceso (de corto plazo) Cp y Cpk:

Process Capability Report: Delivery Time Deviation	
Count	725
Mean	6.004
StDev (Overall, Long Term)	7.162
StDev (Within, Short Term)	7.202
USL	10
Target	0
LSL	-10

Capability Indices using Overall StDev	
Pp	0.47
Ppu	0.19
Ppl	0.74
Ppk	0.19
Cpm	0.36

Potential Capability Indices using Within StDev	
Cp	0.46
Cpu	0.18
Cpl	0.74
Cpk	0.18

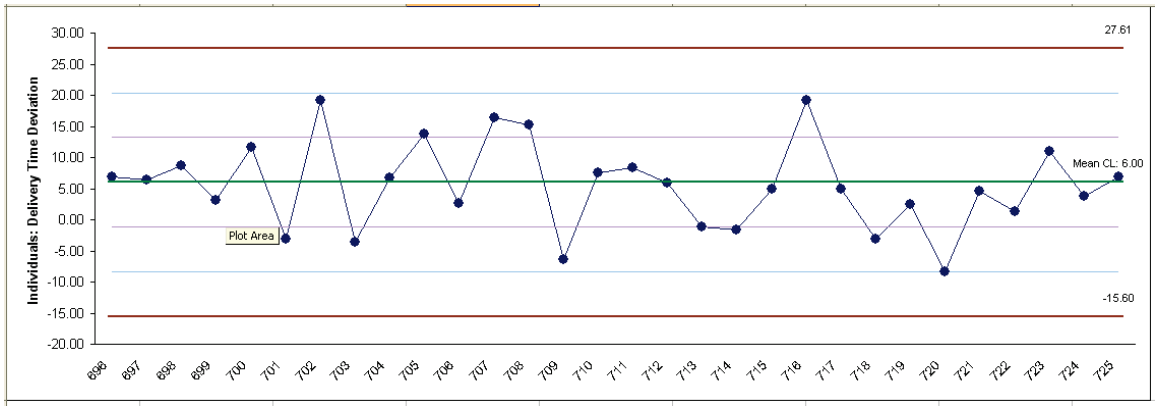
Expected Overall Performance	
ppm > USL	288409
ppm < LSL	12720.5
ppm Total	301129.8
% > USL	28.84%
% < LSL	1.27%
% Total	30.11%

Actual (Empirical) Performance	
% > USL	26.90%
% < LSL	1.38%
% Total	28.28%

Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.708616
P-Value	0.064143

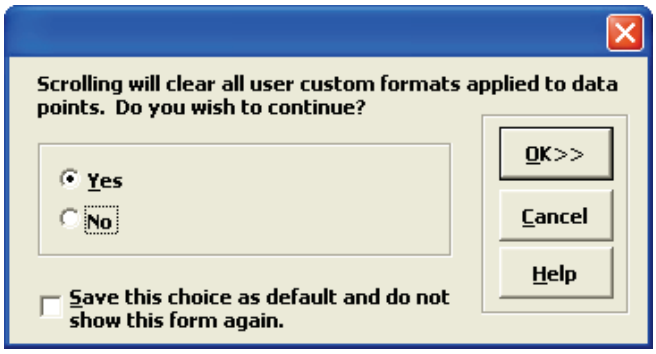
18. Aunque este proceso demostró una ligera inestabilidad en las cartas de control, el mayor problema fue llegar tarde 6 minutos en promedio y tener una desviación estándar de 7,2 minutos. Una mejora que se implementó fue la reprogramación de los ascensores de servicio para que el Servicio de Habitaciones y el Mantenimiento no intente usarlos durante las horas pico.

19. Hacer click en la hoja **Indiv**. Con 725 puntos de datos, se podría escudriñar los datos más recientes. Para hacerlo, hacer click en **SigmaXL Chart Tools > Show Last 30 Points**. (Si no aparece este item en el menú, hacer click en cualquier celda adyacente a la carta.) El resultado de la carta es el siguiente:



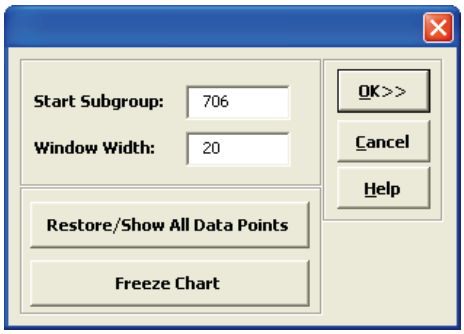
20. Para restaurar la carta, hacer click en **SigmaXL Chart Tools > Show All Data Points**.

21. Para poder desplazarse, hacer click en **SigmaXL Chart Tools > Enable Scrolling**. Se genera un mensaje de advertencia:



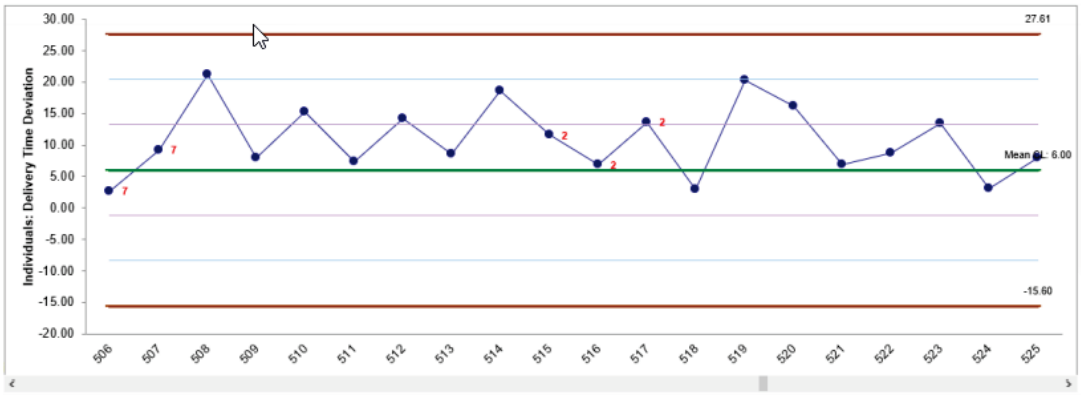
El desplazamiento borrará los formatos personalizados, pero no afecta las Pruebas de Causas Especiales.

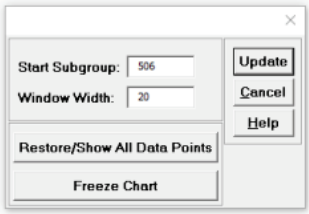
22. Hacer click en **OK**. Aparece un diálogo que permite especificar al **Start Subgroup** y al **Window Width**:



23. Se puede hacer click en **Restore/Show All Data Points** o en **Freeze Chart** sobre cualquier punto. Al congelar la carta se eliminará el desplazamiento y se descargará el diálogo. El diálogo de desplazamiento también se descargará si se cambian las hojas de trabajo. Para reestablecer el diálogo, hacer click en **SigmaXL Chart Tools > Enable Scrolling**.

24. Hacer click en **OK**. La carta de control aparece con la barra de desplazamiento debajo de ella. También puede cambiar el **Start Subgroup** y **Window Width** y el **Update**.





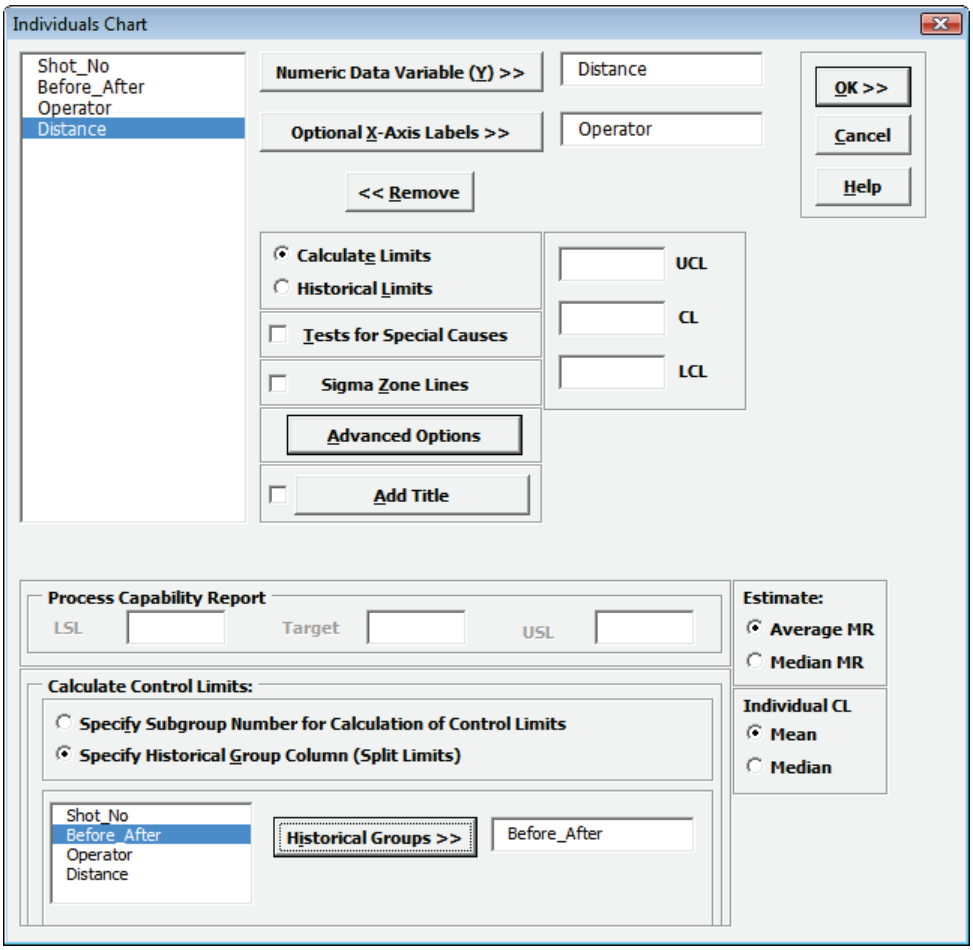
Cartas de Individuales: Opciones de Límite Avanzadas – Grupos Históricos

1. Abrir **Catapult Data - Before After Improvement.xlsx**. Hacer click en la pestaña de la **Hoja 1**. Este conjunto de datos contiene las distancias de disparo de la catapulta. Before_After denota antes de la mejora y después de la mejora. La distancia de disparo es de 100 pulgadas, con el objetivo de alcanzar el objetivo y minimizar la variación sobre el mismo. Nos gustaría utilizar una carta de control de individuales con el histórico de los grupos para dividir los límites demostrando el antes y el después de la mejora.

2. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > Individuals**. Cerciorarse en seleccionar la tabla completa de los datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

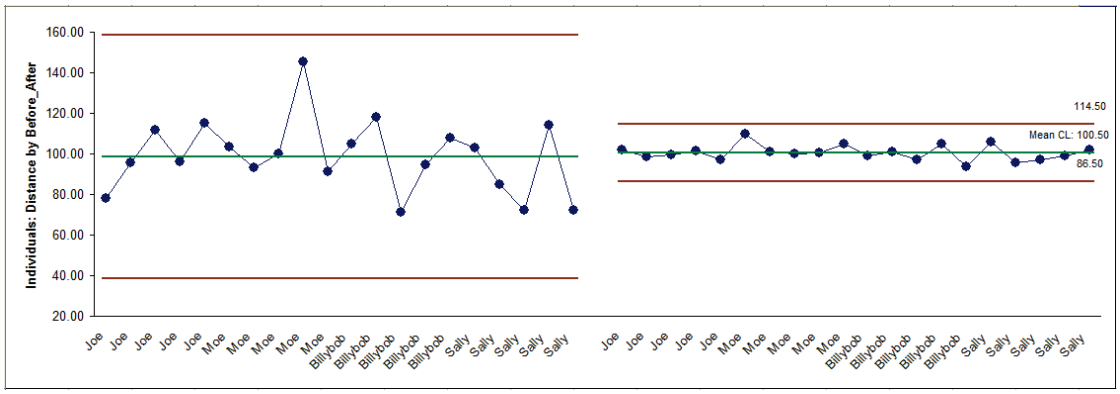
3. Seleccionar *Distance*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**; seleccionar *Operator*, hacer click en **Optional X-Axis Labels >>**.

4. Hacer click en **Advanced Options**. Seleccionar **Specify Historical Groups**. Seleccionar *Before_After*, hacer click en **Historical Groups >>**.



Nota: No se permite el Análisis de Capacidad del Proceso cuando se utiliza el histórico de los grupos.

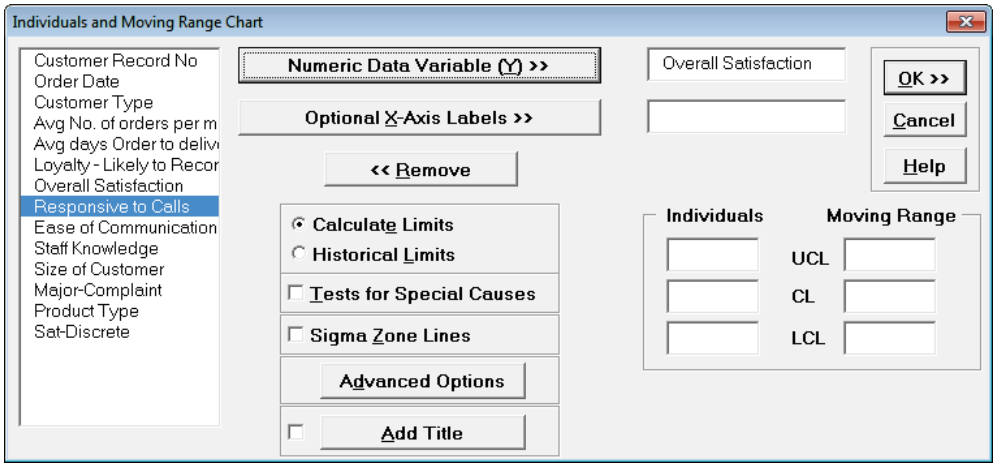
5. Hacer click en **OK**. Se muestra el resultado de la Carta de Control de Individuales con los límites de división basado en el histórico de los grupos, lo que demuestra una clara mejora del proceso:



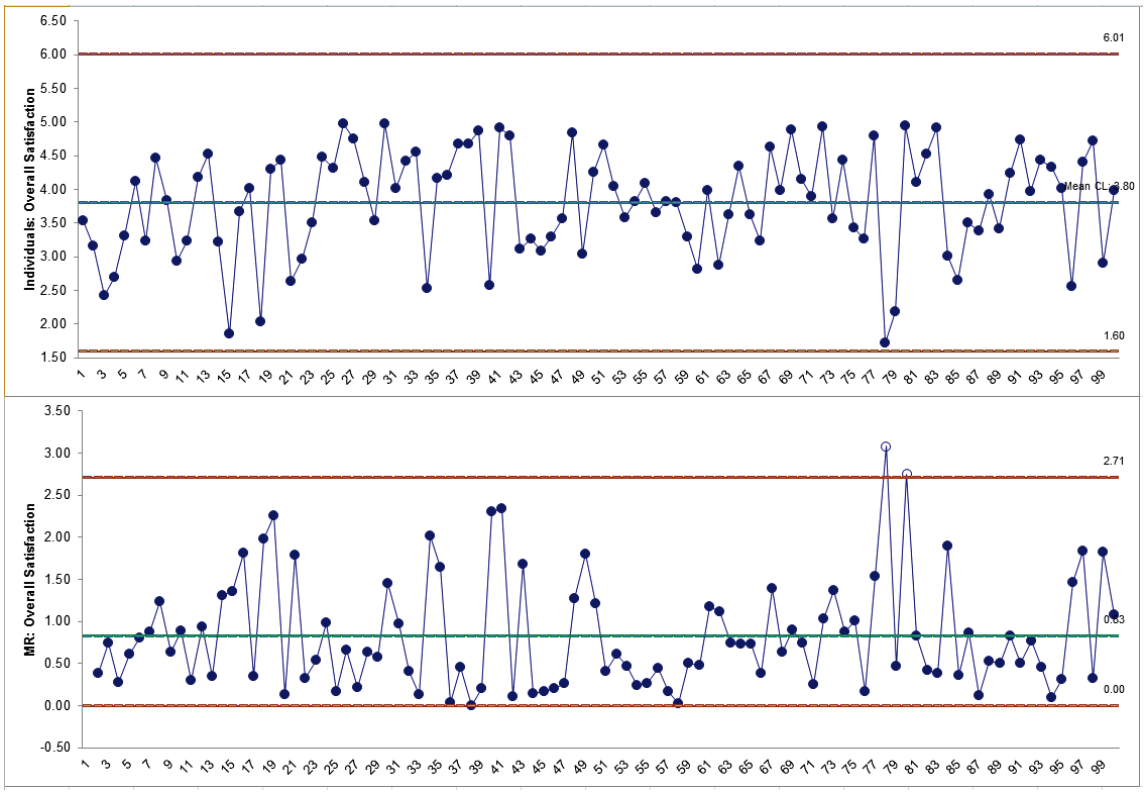
Cartas de Individuales & Rangos Móviles

1. Abrir **Customer Data.xlsx**, hacer click en **Sheet 1**. Hacer click en **SigmaXL>Control Charts>Individuals & Moving Range**. Cerciorarse en seleccionar la tabla completa de los datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

2. Seleccionar *Overall Satisfaction*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>.** Cerciorarse en seleccionar **Calculate Limits**.



3. Hacer click en **OK**. El resultado de la carta de control de Individuales & Rangos Móviles:



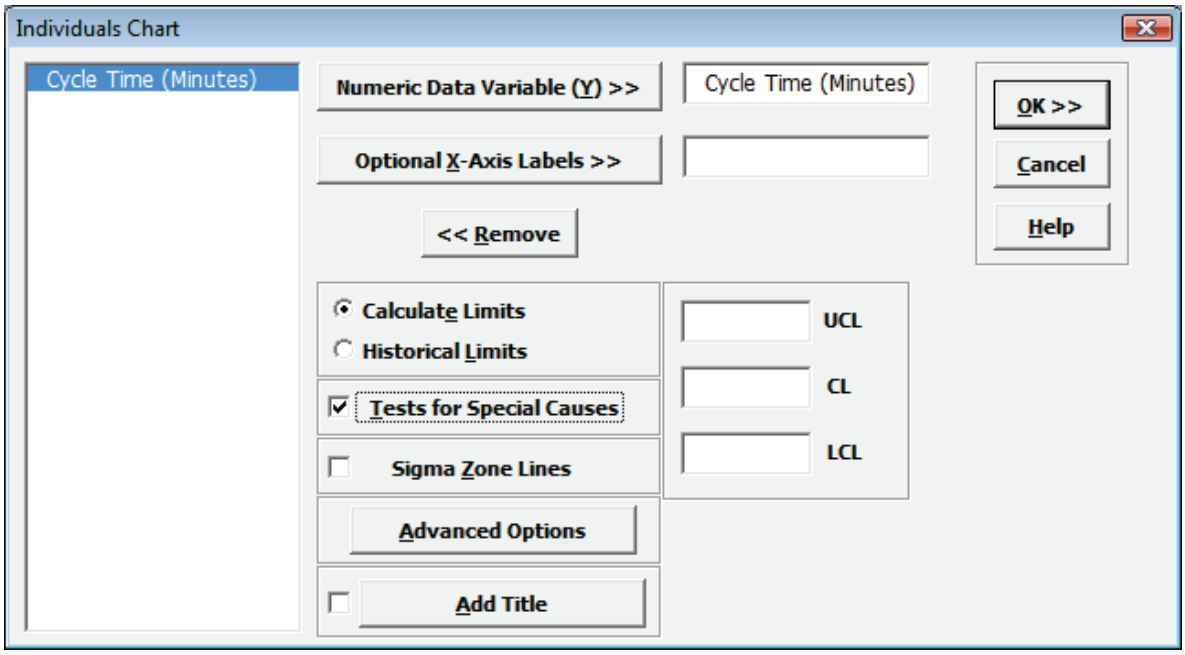
Cartas de Individuales para Datos No Normales (Transformación Box-Cox)

Un supuesto importante para las cartas de Individuales es que los datos se distribuyan normalmente (a diferencia de la carta X-barra, que es robusta a la no normalidad debido al teorema del límite central). Si los datos no son normales, se puede utilizar la herramienta de transformación Box-Cox para convertir los datos no normales en normales aplicando una transformación de potencia. La transformación de Johnson y otras distribuciones también pueden utilizarse con Automatic Best Fit (Véase **Measure Phase Tools, Part J – Process Capability, Capability Combination Report Individuals Nonnormal**).

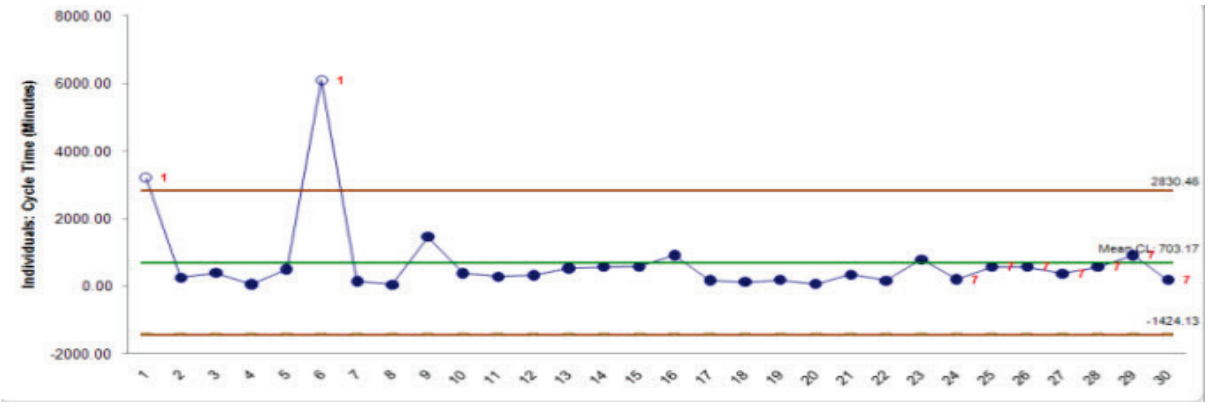
1. Abrir el archivo **Nonnormal Cycle Time2.xlsx**. Contiene datos continuos no normales de los tiempos de ciclos de los procesos. Realizamos un estudio de la capacidad de proceso con estos datos anteriormente en la Parte H, Fase de Medición.

2. Inicialmente, se ignoró la no normalidad de los datos y se construyó la Carta de Individuales. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > Individuals**. Cerciorarse en seleccionar la tabla completa de los datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

3. Seleccionar *Cycle Time (Minutes)*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**. Seleccionar **Calculate Limits**. Marcar **Tests for Special Causes**. Hacer click en **OK**.



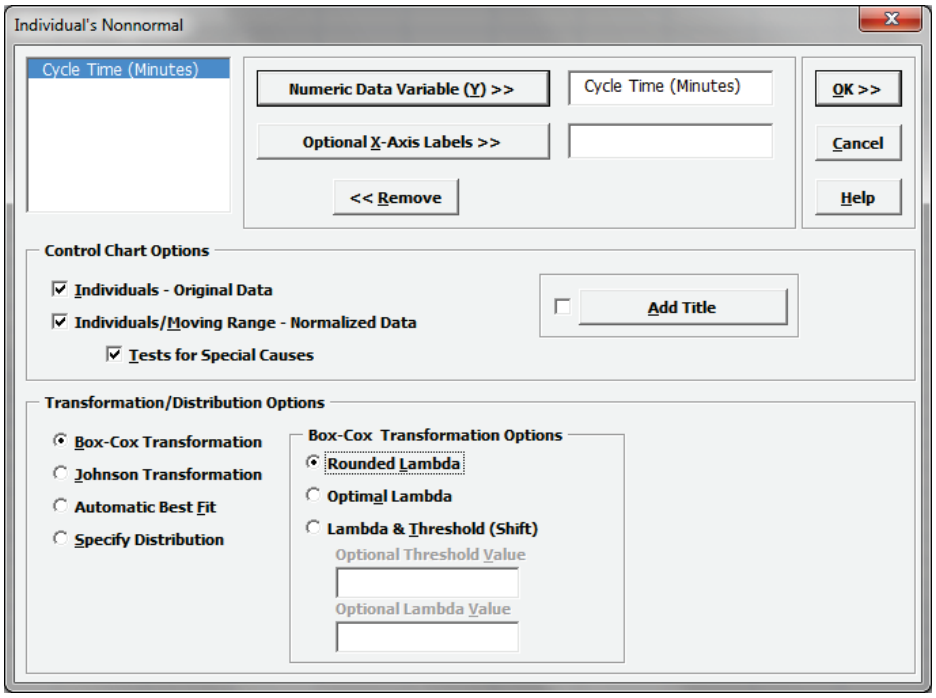
4. Se muestra el resultado de la Carta de Individuales:



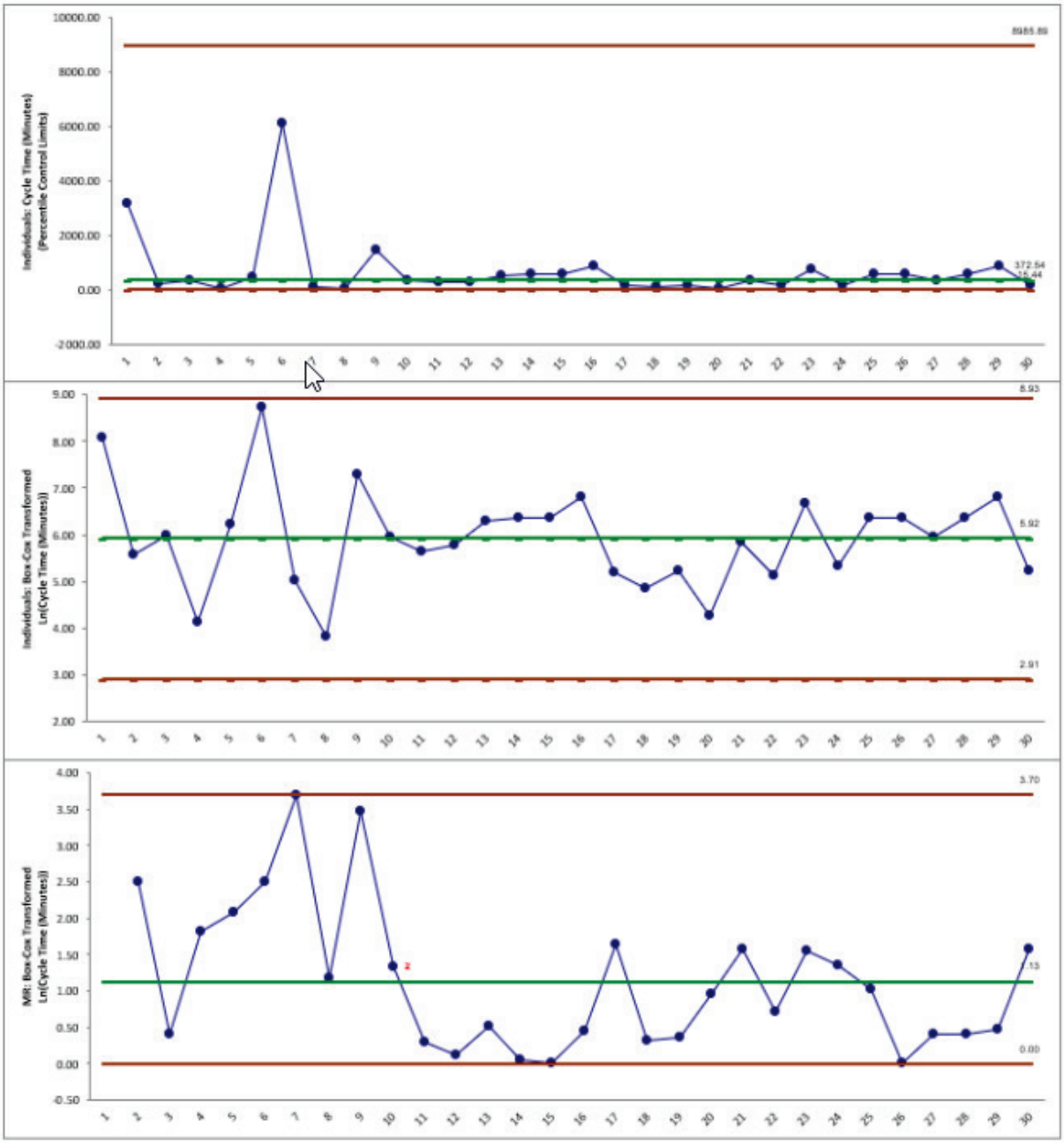
Esta carta muestra claramente que el proceso está "fuera de control". ¿Pero lo está realmente? La falta de normalidad puede causar serios errores en el cálculo de los límites de control de la Carta de Individuales, disparando falsas alarmas (errores de Tipo I) o fallos (errores de Tipo II).

5. Se construirán ahora Cartas de Control para Individuales para datos no normales. Seleccionar la pestaña de la **Hoja 1** (o presione **F4**). Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > Nonnormal > Individuals Nonnormal.** Cerciorarse que se seleccione la tabla entera de datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

6. Seleccionar *Cycle Time (Minutes)*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>.** Se usará por defecto Seleccionar **Transformation/Distribution Options: Box-Cox Transformation** con **Rounded Lambda**. Marcar **Tests for Special Causes** como se muestra a continuación:



7. Hacer click en **OK**. Los resultados de las cartas de control se muestran abajo:



Tests for Special Causes - Individuals: Cycle Time (Minutes)
Number of Data Points Failing Tests = 0

Obsérvese que no hay señales de fuera de control en las cartas de control, por lo que las señales observadas antes, cuando se asumió la normalidad, fueron falsas alarmas.

La Carta de **Individuals – Original Data** muestra los datos sin transformación con los límites de control calculados como:

UCL = percentil 99.865

CL = percentil 50^{avo}

LCL = percentil 0.135

El beneficio de mostrar esta carta es que se pueden observar los datos originales sin transformar. Dado que los límites de control se basan en percentiles, esto representa la variación global a largo plazo en lugar de la típica variación a corto plazo. Es probable que los límites sean asimétricos.

Los **Individuals/Moving Range – Normalized Data** muestran los valores-z transformados con los límites de control que se han calculado usando las fórmulas estándar de Shewhart para las cartas de individuales y de rango móvil. La ventaja de utilizar esta carta es que se puede aplicar el test de causas especiales y los límites de control se basan en la variación a corto plazo. La desventaja es que se observan los datos transformados en la carta en lugar de los datos originales.

Parte B – Cartas X-Barra & Rangos/DesvEst

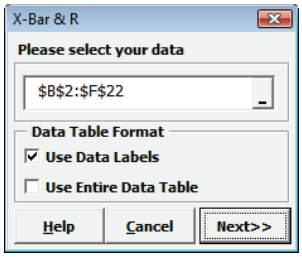
Consejo: Véase Parte E – Herramienta de Selección de Carta de Control . La Herramienta de Selección de Carta de Control facilita la selección de la carta de control del control estadístico de procesos que depende del tipo de datos, tipo de subgrupos/muestras y tamaño.

Cartas X-Bar & R

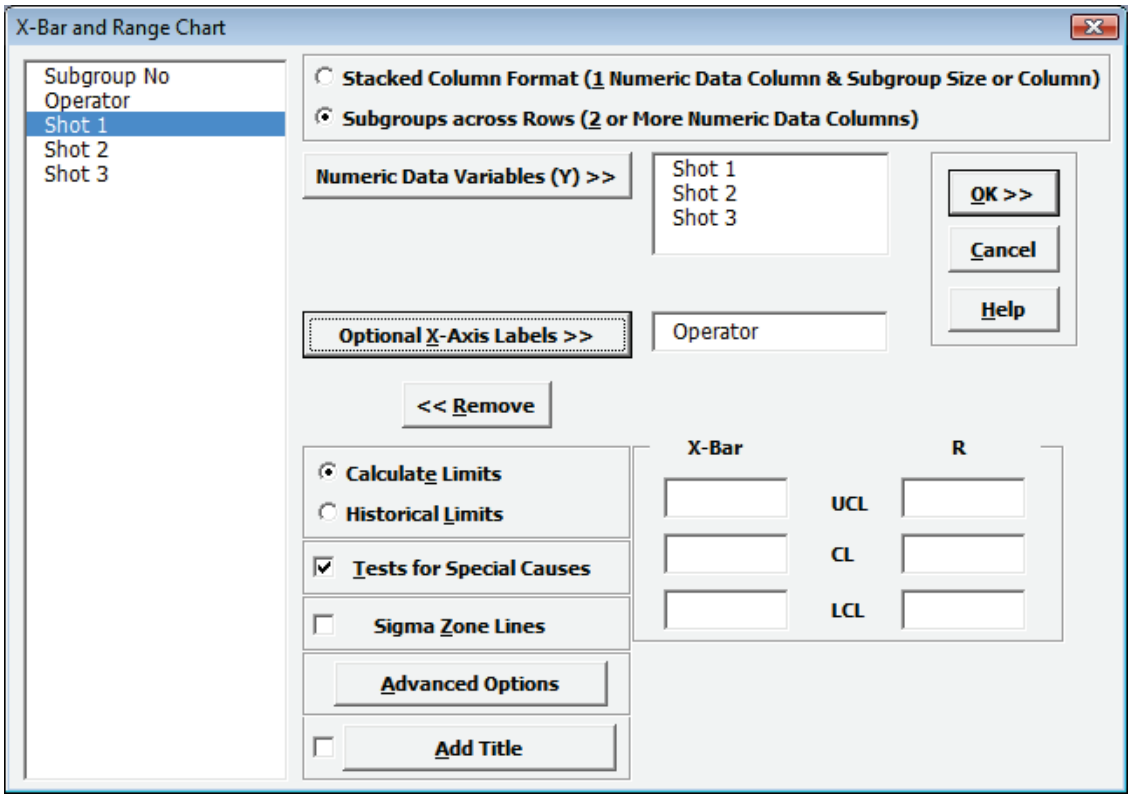
1. Abrir el archivo **Catapult Data – Xbar Control Charts.xlsx**. Cada operario dispara la bola tres veces. La distancia objetivo es 100 pulgadas. El Límite de Especificación Superior (LES) es 108 pulgadas. El Límite de Especificación Inferior (LSL) es 92 pulgadas.

2. Seleccionar **B2:F22** (si no se ha seleccionado aún); aquí, sólo se usarán los primeros 20 subgrupos para determinar los límites de control.

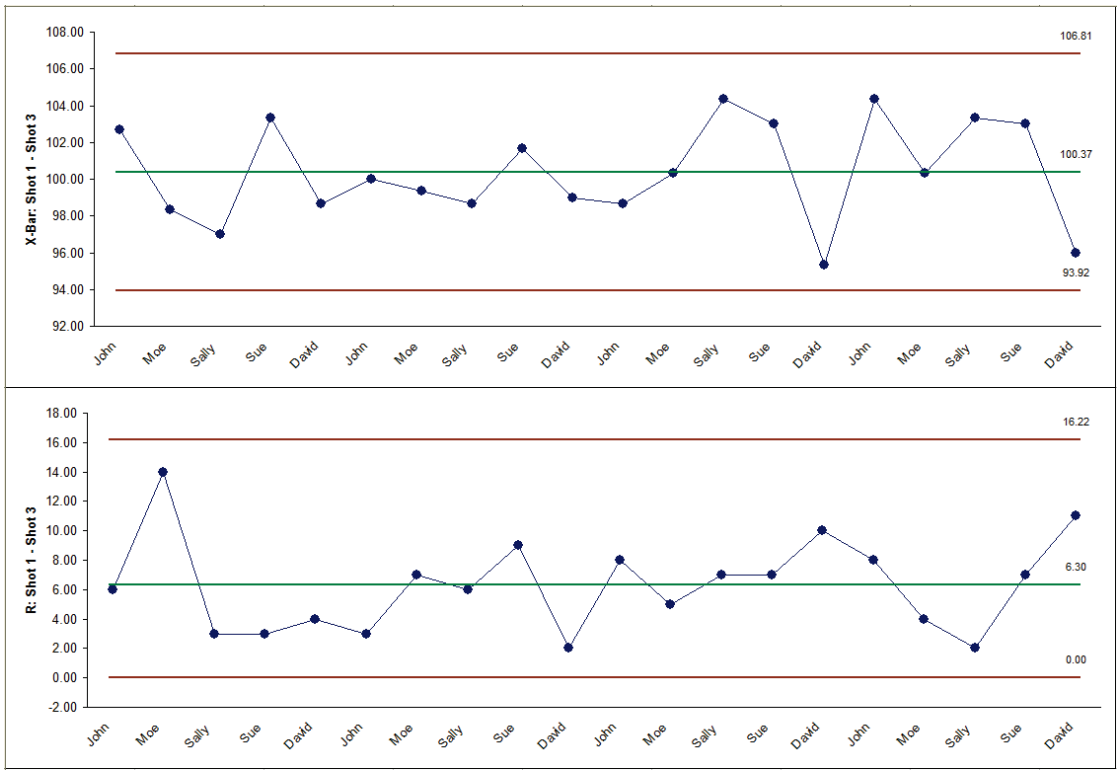
3. Seleccionar **SigmaXL > Control Charts > X-Bar & R**. ¡No marque **Use Entire Data Table**!



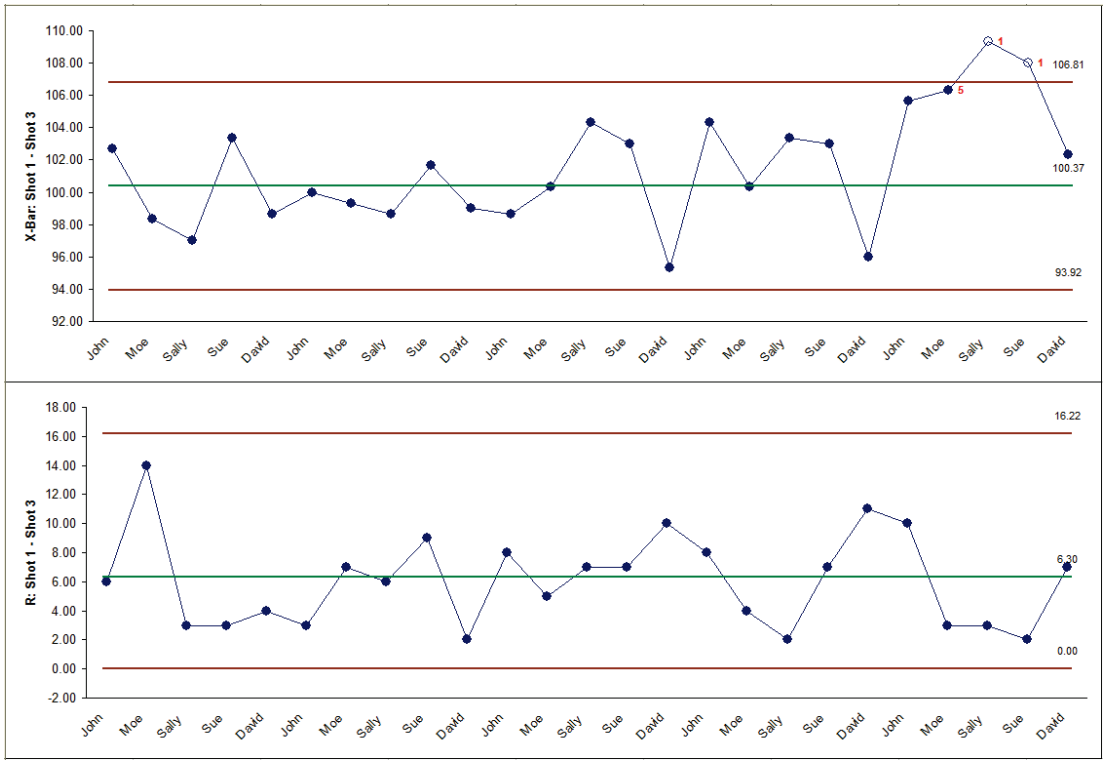
4. Hacer click en **Next**. Seleccionar **Subgroups across Rows**, seleccionar *Shot 1*, *Shot 2*, *Shot 3*, Hacer click en **Numeric Data Variables (Y) >>**; seleccionar *Operator*, hacer click en **Optional X-Axis Labels >>**. Marcar **Tests for Special Causes** como se muestra, a continuación:



5. Hacer click en **OK**. El resultado de las cartas X-barra & R:



6. Actualmente es un proceso de catapulta estable. Los subgrupos 21 a 25 se añadieron después. Para añadir los datos adicionales a esta carta, hacer click en **SigmaXL Chart Tools > Add Data to this Control Chart** Add Data to this Control Chart como se muestra a continuación:



7. Tener en cuenta que el botón Add Data NO recalcula los límites de control. Una vez establecidos los límites de control, sólo se deben recalcular cuando se introduzca un cambio o una mejora deliberada del proceso. (Los Límites de Control se pueden recalcular utilizando **SigmaXL Chart Tools > Recalculate Control Limits**, pero aparecerá un mensaje de advertencia: **¿Está Ud. seguro en querer recalcular los límites de control?**)

8. El informe de **Pruebas de Causas Especiales** proporciona más detalles sobre la reciente inestabilidad:

Tests for Special Causes - X-Bar -								
Number of Data Points Failing Tests = 3								
Observation No.	Test 1: 1 point more than 3 Stdev from CL	Test 2: 9 points in a row on same side of CL	Test 3: 6 points in a row all increasing or all decreasing	Test 4: 14 points in a row alternating up and down	Test 5: 2 out of 3 points more than 2 Stdev from CL (same side)	Test 6: 4 out of 5 points more than 1 Stdev from CL (same side)	Test 7: 15 points in a row within 1 Stdev from CL (either side)	Test 8: 8 points in a row more than 1 Stdev from CL (either side)
22					x	x		
23	x				x	x		
24	x				x	x		

La carta X-barra y las **Pruebas de Causas Especiales** muestran claramente que este proceso está ahora fuera de control con una media inestable. El proceso debe detenerse y debe seguirse el Plan de Acción de Fuera de Control para determinar y corregir la causa raíz. En este caso, la causa asignable era un cambio de una banda elástica que requería un reajuste

del ángulo de retroceso. El uso de pruebas para causas especiales proporcionó una advertencia temprana sobre esto en la observación número 22.

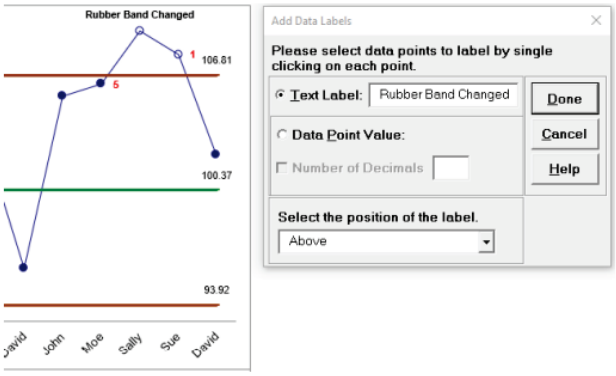
Obsérvese que la carta de Rangos está en control, aunque la carta X-barra esté fuera de control.

Tests for Special Causes - Range: Shot 1 - Shot 3
Number of Data Points Failing Tests = 0

Observation No.	Test 1: 1 point more than 3 StDev from CL	Test 2: 9 points in a row on same side of CL	Test 3: 6 points in a row all increasing or all decreasing	Test 4: 14 points in a row alternating up and down

9. Las pruebas para causas especiales pueden tener valores predeterminados para aplicar cualquiera o todas las pruebas del 1-8. Se puede establecer en 7, 8 o 9 puntos seguidos en el mismo lado del LC. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > "Tests for Special Causes"> Defaults** para correr las pruebas seleccionadas para causas especiales. Tener en cuenta que estos valores predeterminados se aplicarán a las cartas de individuales y X-barra. Los ajustes de la prueba 1 a 4 se aplicarán a las Cartas de Atributos y (si están marcadas) a las Cartas de Rangos Móviles, Rangos, DesvEst y de Atributos.

10. Para añadir un comentario a un punto de datos, seleccionar **SigmaXL Chart Tools > Add Data Label.** Seleccionar **Text Label.** Ingrese un comentario como se muestra a continuación. Hacer click en el punto de datos para añadir el comentario. Hacer click en **Done**.

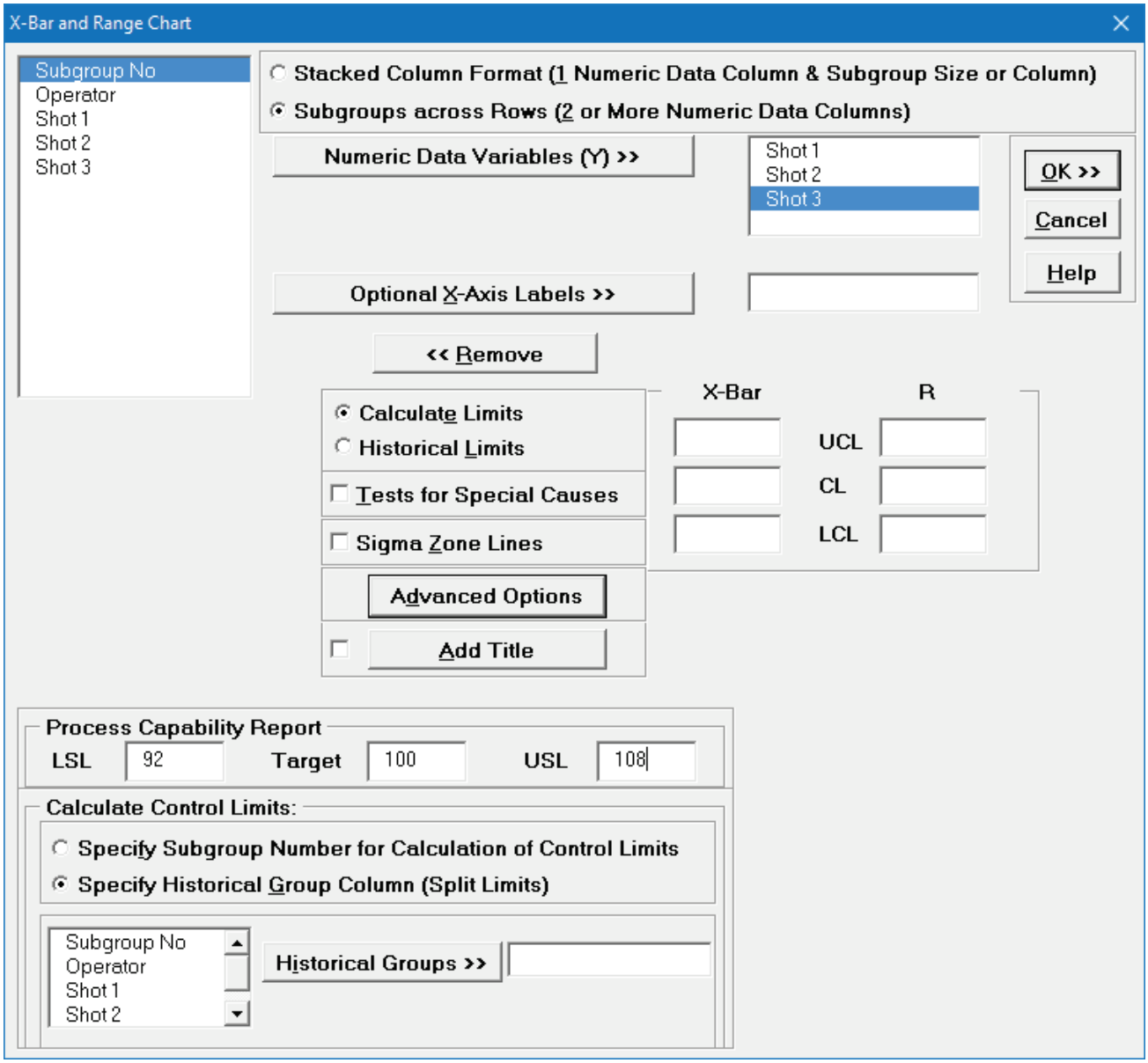


11. Ahora se revisarán los índices de capacidad del proceso para este proceso. Hacer click en la **Hoja 1** (o presionar **F4** para activar la última hoja de trabajo). Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > X-Bar & R**. Marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**. (Alternativamente seleccionar **B2:F27**, presionar **F3**.)

12. Seleccionar *Shots 1-3*, hacer click en **Numeric Data Variables (Y) >>**.

13. Hacer click en **Advanced Options**. Introducir **LSL** = 92, **Target** = 100, **USL** = 108.

14. Se muestra el resultado del cuadro del diálogo de la configuración:



15. Hacer click en **OK**. Hacer click en la hoja **X-Bar & R – Proc Cap** para el informe de la Capacidad del Proceso:

Process Capability Report: X-Bar: Shot 1 - Shot 3	
Count	75
Mean	101.56
StDev (Overall, Long Term)	4.616
StDev (Within, Short Term)	3.568
USL	108
Target	100
LSL	92

Capability Indices using Overall StDev	
Pp	0.58
Ppu	0.47
Ppl	0.69
Ppk	0.47
Cpm	0.55

Potential Capability Indices using Within StDev	
Cp	0.75
Cpu	0.60
Cpl	0.89
Cpk	0.60

Expected Overall Performance	
ppm > USL	81468
ppm < LSL	19168.4
ppm Total	100636.0
% > USL	8.15%
% < LSL	1.92%
% Total	10.06%

Actual (Empirical) Performance	
% > USL	5.33%
% < LSL	4.00%
% Total	9.33%

Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0.486247
P-Value	0.2192

Obsérvese la diferencia entre Pp y Cp; Ppk y Cpk. Esto se debe a la inestabilidad del proceso. Si el proceso fuera estable, los índices de rendimiento reales Pp y Ppk estarían más cerca de los valores Cp y Cpk.

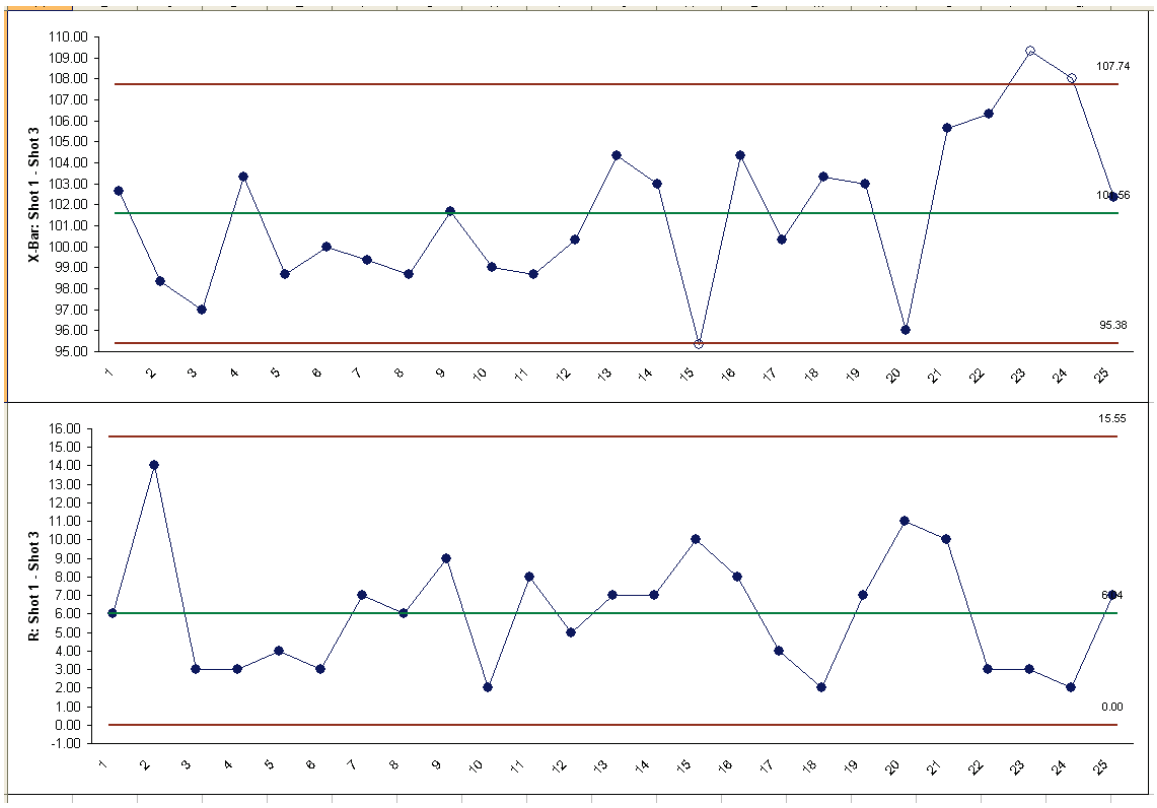
Cartas X-Barra & R – Excluye Subgrupos

Después de crear una carta de control, puede especificar los subgrupos (o las filas) para excluirlos utilizando la herramienta **Exclude Data.**

16. Hacer click en la **Hoja 1** (o presione **F4** para activar la última hoja de trabajo). Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > X-Bar & R**. Marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

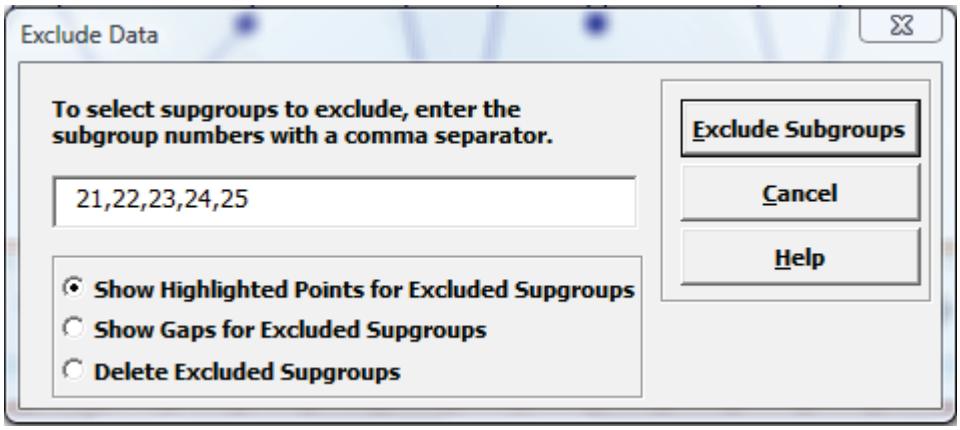
17. Seleccionar *Shots 1-3*, hacer click en **Numeric Data Variables (Y) >>**. Cerciorarse en seleccionar **Calculate Limits**. Hacer click en **OK**.

18. Se visualizan los resultados de las cartas X-Barra & R:

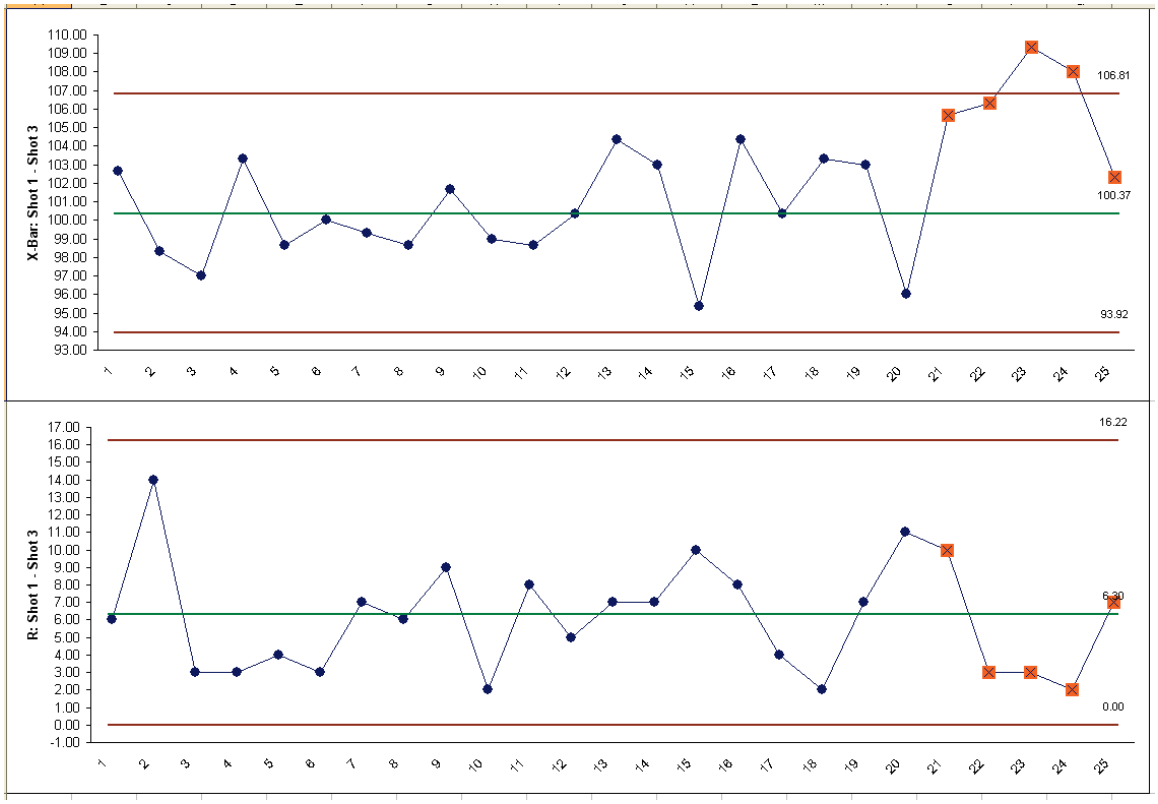


Los límites de control aquí se calcularon incluyendo a los subgrupos 21 al 25, los cuales tienen una causa asignable conocida.

19. Para calcular los límites de control que excluyan los subgrupos 21 al 25, hacer click en **SigmaXL Chart Tools > Exclude Subgroups**. Seleccionar **Show Highlighted Points for Excluded Subgroups**. Ingrese 21,22,23,24,25 como se muestra a continuación:



20. Hacer click en **Exclude Subgroups.** Se recalculan los límites de la carta de control y se resaltan los puntos excluidos:



Consejo: También puede elegir mostrar las brechas de los subgrupos excluidos o eliminar los subgrupos excluidos de las cartas.

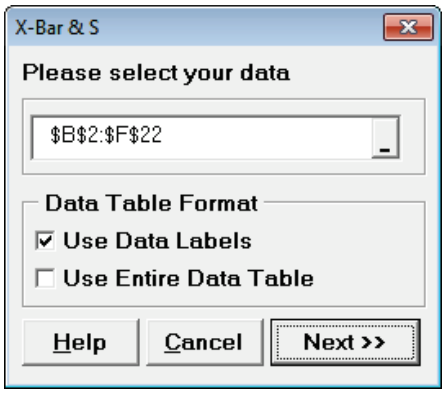
Cartas X-Barra & S

1. Abrir el archivo **Catapult Data – Xbar Control Charts.xlsx**. Cada operario dispara la bola tres veces. La distancia objetivo es 100 pulgadas. El Límite de Especificación Superior (LES) es 108 pulgadas. El Límite de Especificación Inferior (LSL) es 92 pulgadas.

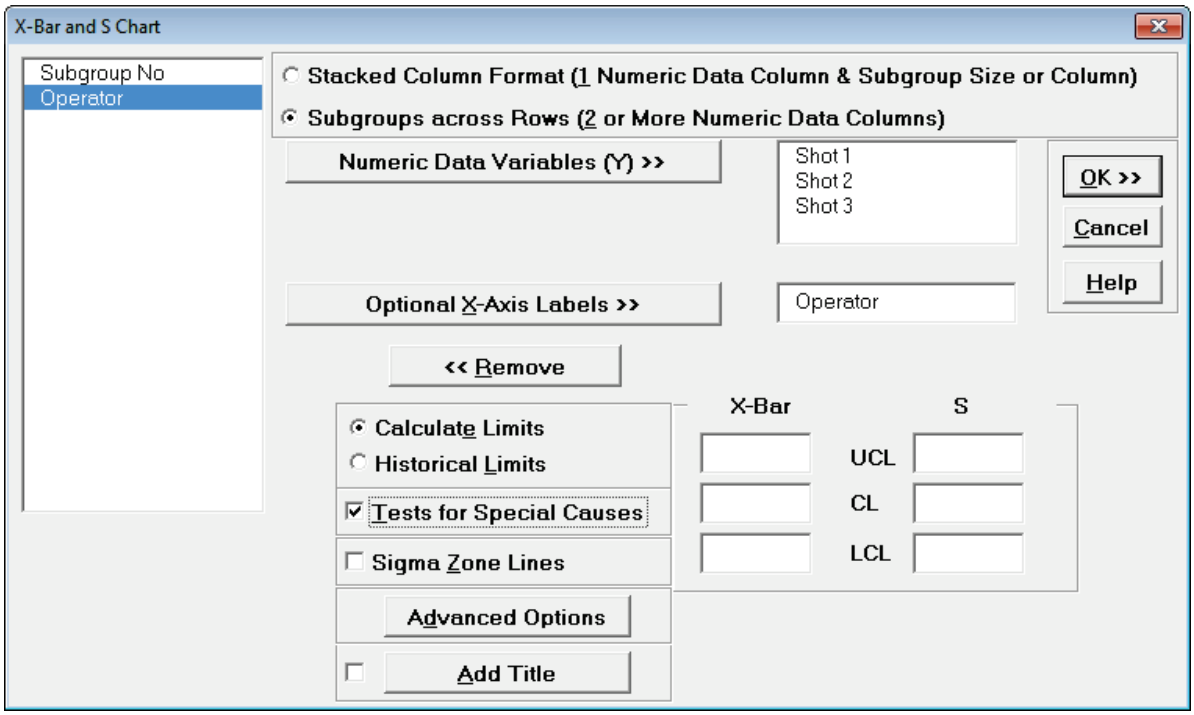
2. Seleccionar **B2:F22**; aquí, solo se usarán los primeros 20 subgrupos para determinar y controlar los límites de control.

3. Seleccionar **SigmaXL > Control Charts > X-Bar & S**.

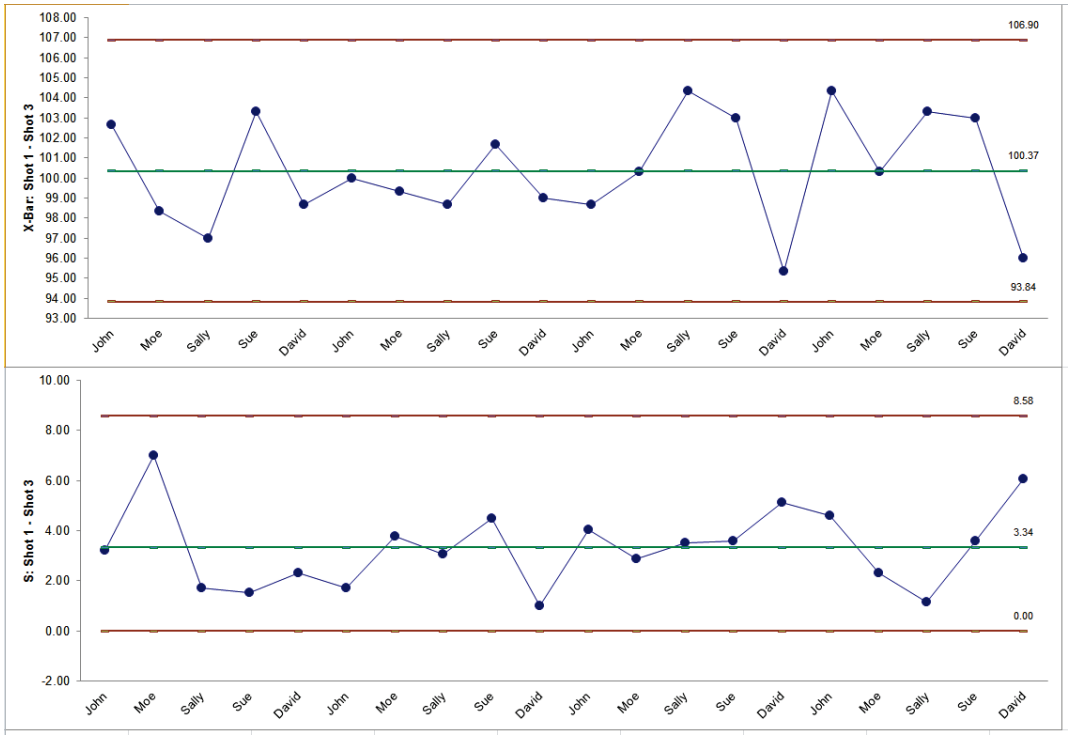
4. ¡No marcar **Use Entire Data Table**!

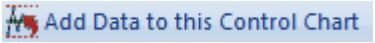


5. Hacer click en **Next**. Seleccionar **Subgroups across Rows**, seleccionar *Shot 1*, *Shot 2*, *Shot 3*, Hacer click en **Numeric Data Variables (Y) >>**; seleccionar *Operator*, hacer click en **Optional X-Axis Labels >>**. Marcar **Tests for Special Causes** como se muestra a continuación:

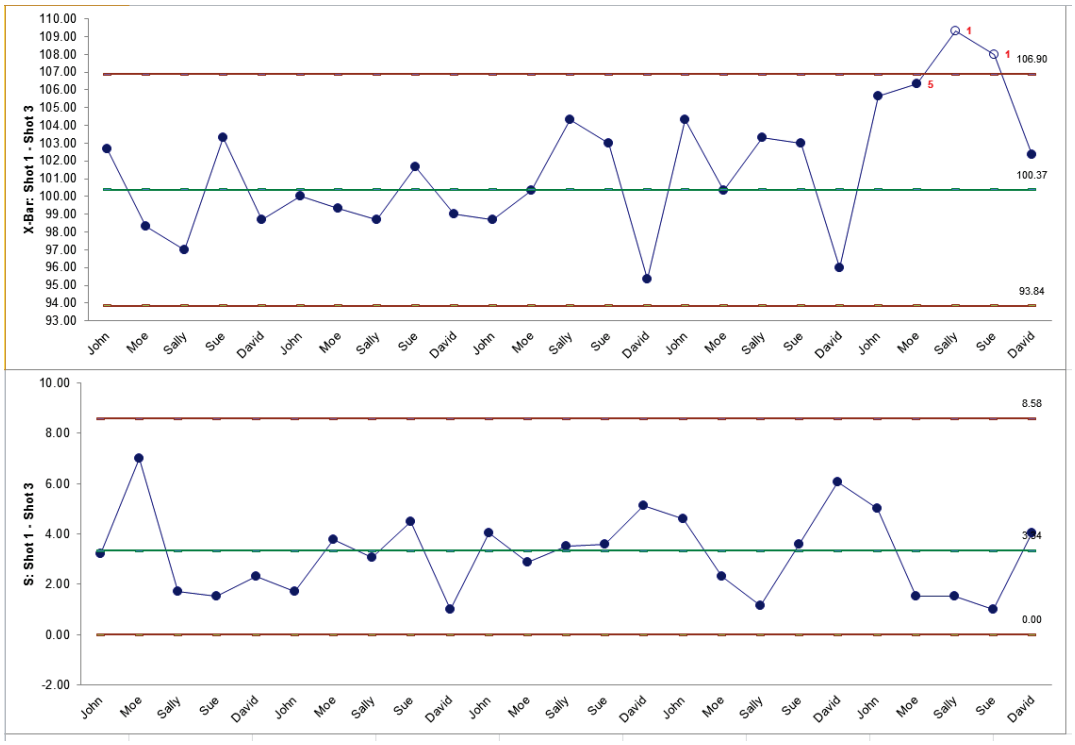


6. Hacer click en **OK**. El resultado de las cartas X-Barra & S:



7. Actualmente es un proceso de catapulta estable. Los subgrupos 21 a 25 se añadieron después. Para añadir los datos adicionales a esta carta, hacer click en **SigmaXL Chart Tools > Add Data to this Control Chart** 

como se ve:



Parte C – Cartas de Atributos (P, NP, C, U)

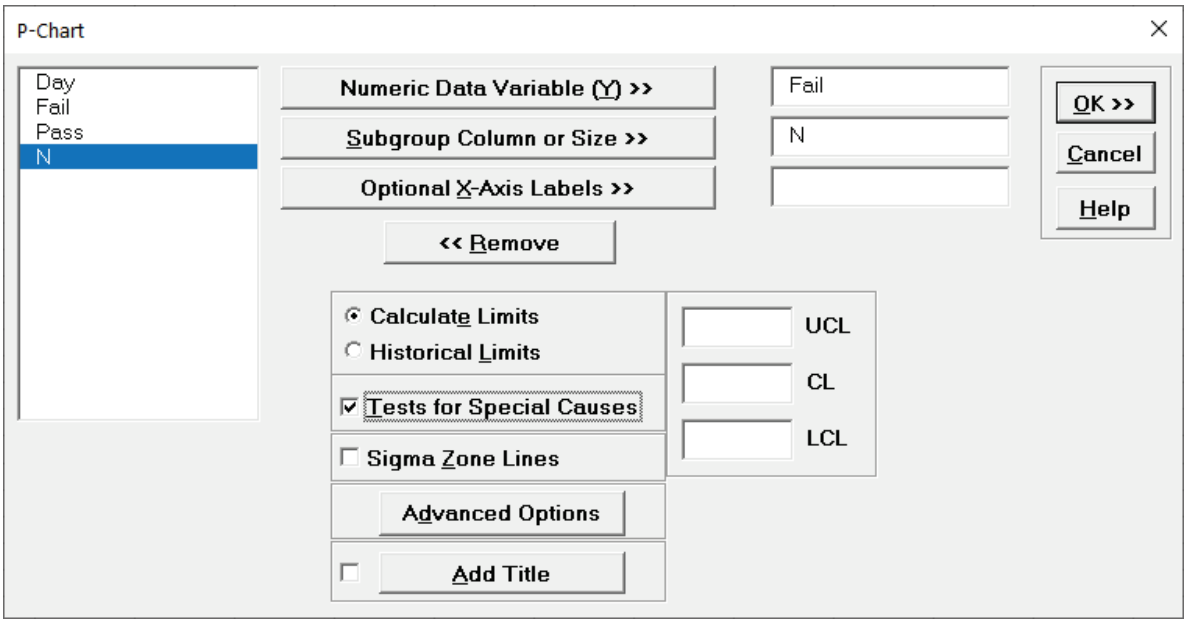
Tip: Véase [Parte E – Herramientas de Selección de Cartas de Control](#). La Herramienta de Selección de Carta de Control facilita la selección de la carta de control del control estadístico de proceso que depende en el tipo de datos, tipo de subgrupos/muestras y tamaño.

Cartas P

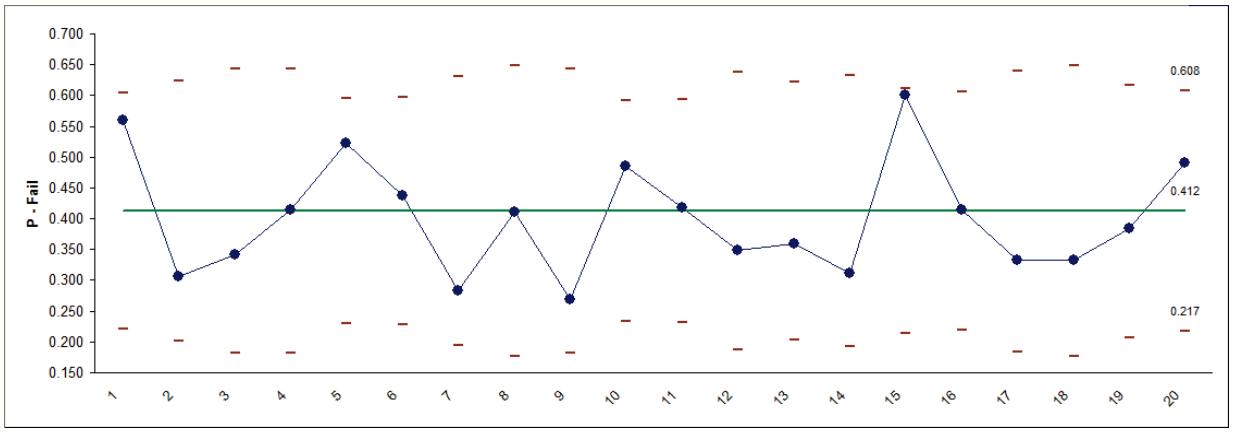
1. Abrir **New York Daily Cycle Time – Discrete.xlsx**. Estos son datos de la Compañía Sigma Savings and Loans, de Nueva York. Cada día se registró el tiempo de ciclo (en días) de los préstamos completados y arrendamientos. *N* indica el número de préstamos contados. Se registró una *falla* si el tiempo del ciclo excedía el requisito crítico del cliente de 8 días. Obsérvese que no se recomienda que los datos continuos se conviertan en datos discretos de esta manera, sino que se utilizan estos datos para ilustrar el uso de las cartas P para los datos Discretos o de Atributos. Las cartas P (para Defectos) pueden tener tamaños de subgrupos fijos o variables.

2. Seleccionar **SigmaXL > Control Charts > Attribute Charts > P**. Cerciorarse que se haya seleccionado **B3:E23**, hacer click en **Next**.

3. Seleccionar *Fail*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**; seleccionar *N*, hacer click en **Subgroup Column or Size >>**. Si se tuviera un tamaño de subgrupo fijo, se podría introducir el valor numérico del tamaño del subgrupo en lugar de la columna N. Marcar **Tests for Special Causes**.



4. Hacer click en **OK**. Se muestra el resultado de la Carta P:



Los límites móviles se deben a los diferentes tamaños de los subgrupos. Mientras que este gráfico P muestra estabilidad, ¡una preocupación mucho mayor es la tasa de fallos promedio del 41% en la entrega de los préstamos/arrendamientos en 8 días o menos!

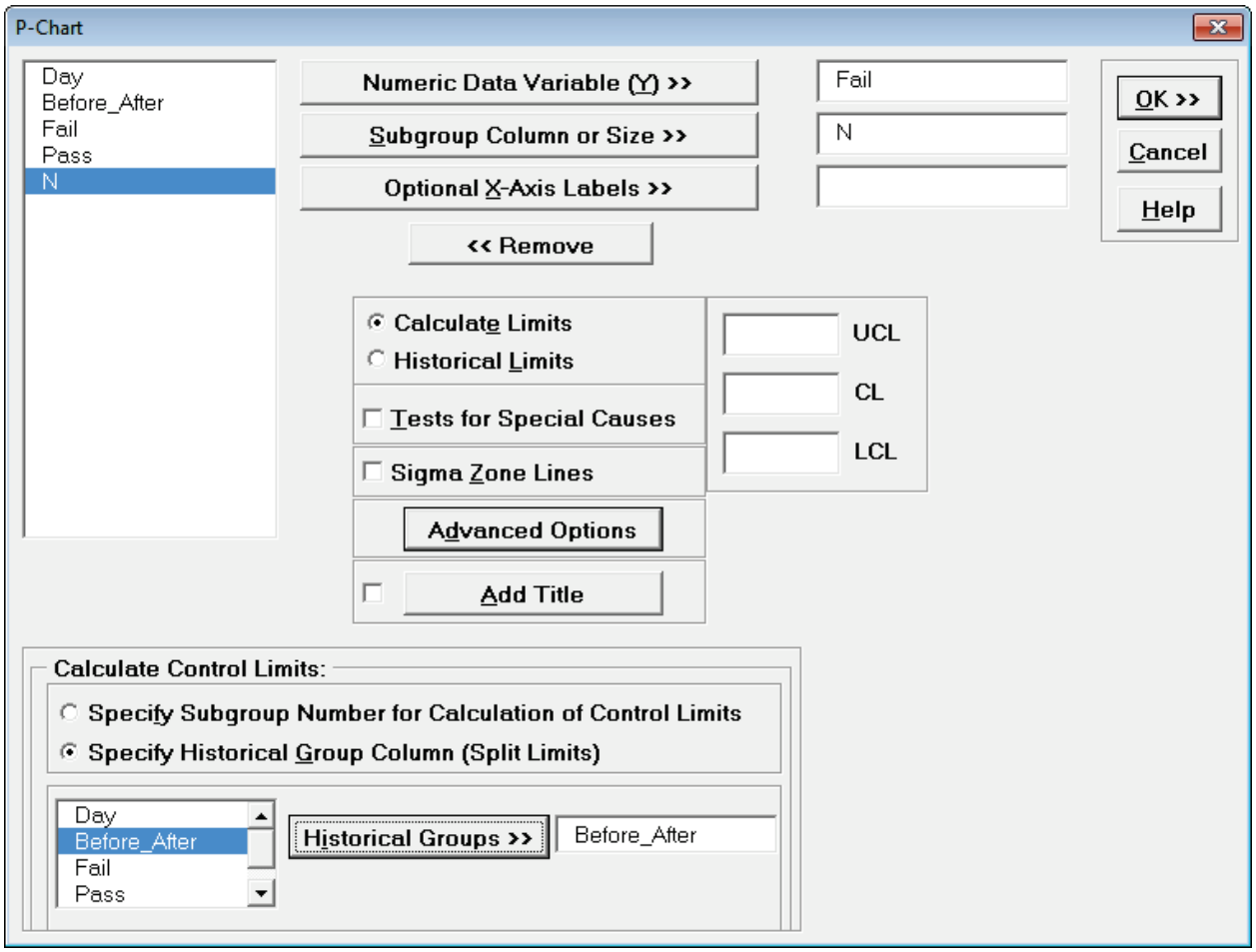
Cartas P: Opciones de Límites Avanzadas – Grupos Históricos

1. Abrir **New York Daily Cycle Time Discrete – Before After Improvement.xlsx**. *Before_After* denota antes de la mejora y después de la mejora. Sería provechoso utilizar una Carta-P con grupos históricos para separar los límites y demonstrar la mejora del antes vs después.

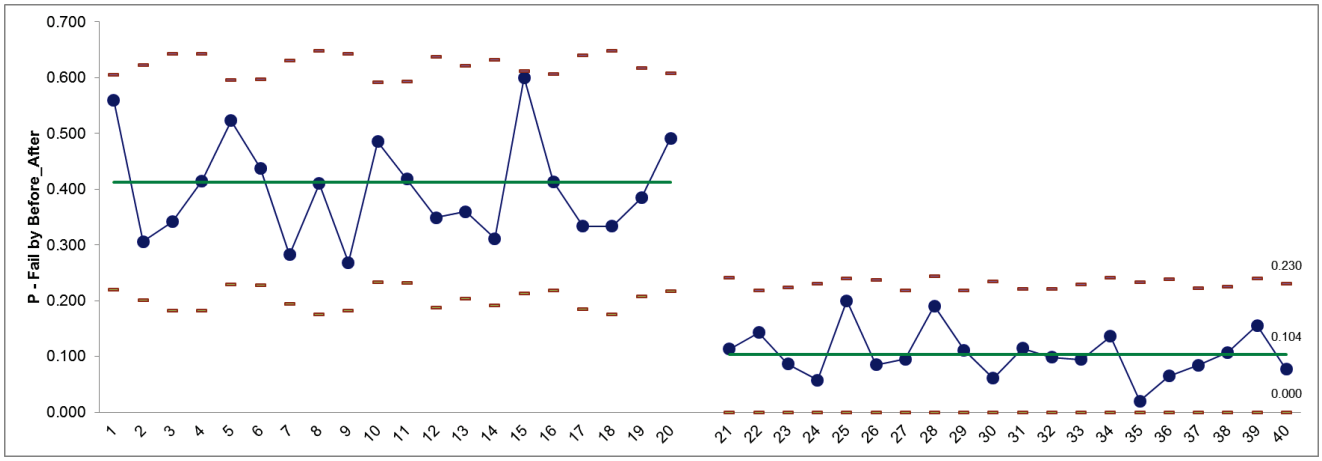
2. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > Attribute Charts > P**. Cerciorarse en seleccionar la tabla entera de datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

3. Seleccionar *Fail*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**; seleccionar *N*, hacer click en **Subgroup Column** o **Size >>**.

4. Hacer click en **Advanced Options**. Seleccionar **Specify Historical Group Column**. Seleccionar *Before_After*, hacer click en **Historical Groups >>**.



5. Hacer click en **OK**. Se muestra el resultado de la Carta P con límites de división que se basan en grupos históricos, lo que demuestra una clara mejora del proceso:

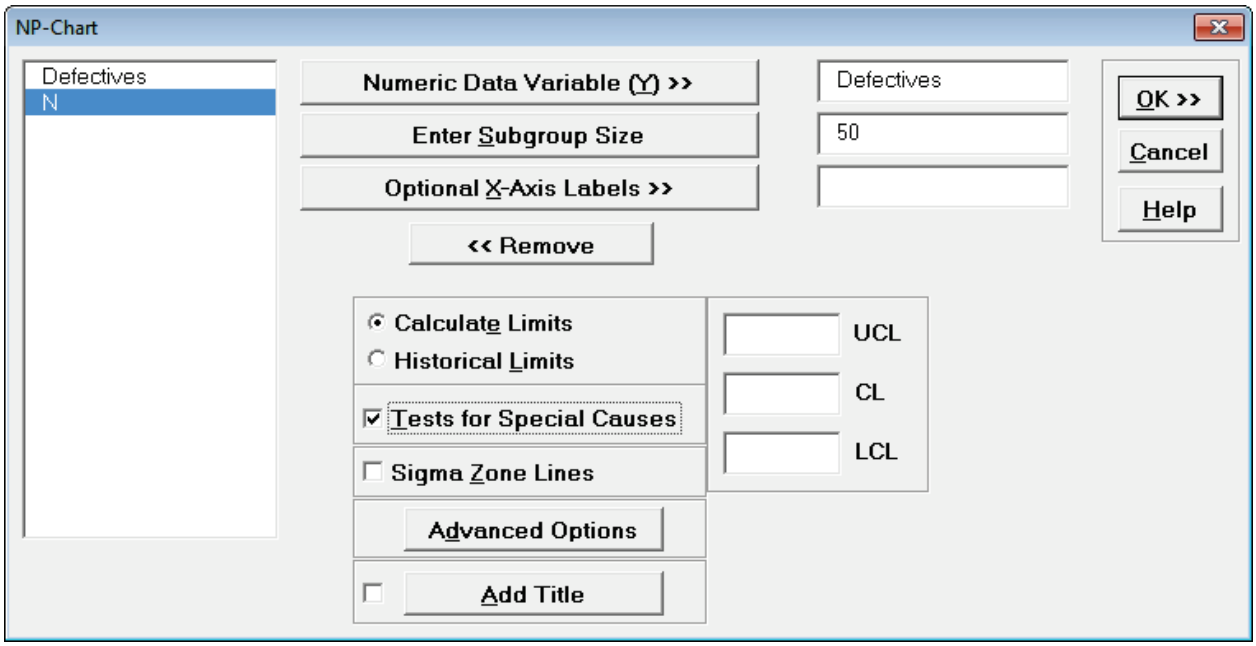


Cartas NP

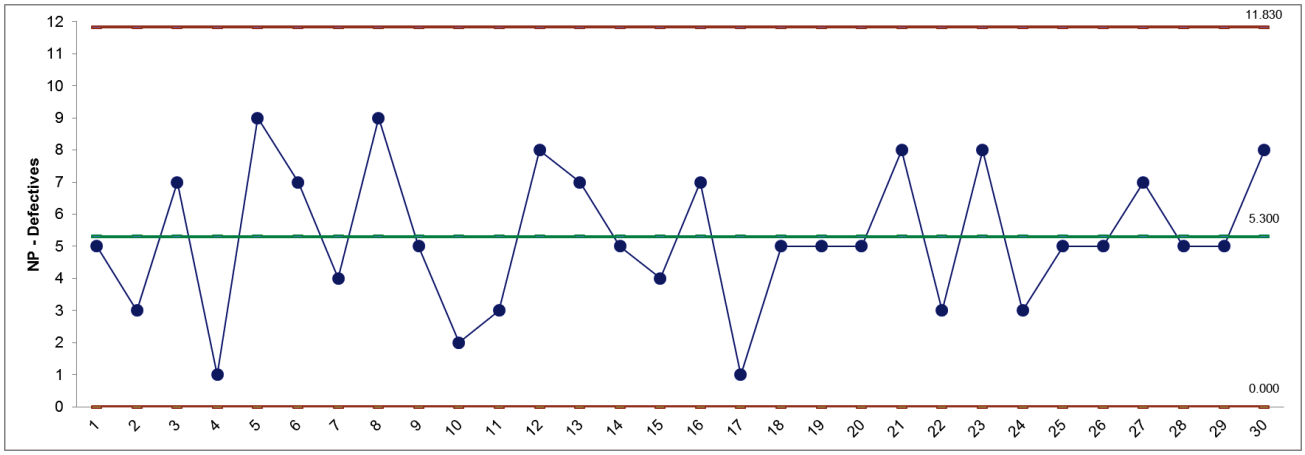
1. Abrir **Attribute Data NP Chart Defectives.xlsx**. El tamaño del subgrupo es constante en 50. Las Cartas NP (para Defectos) requiere un tamaño fijo de subgrupo.

2. Seleccionar **SigmaXL > Control Charts > Attribute Charts > NP**. Cerciorarse en seleccionar la tabla entera de datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

3. Seleccionar *Defectives*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**; ingresar 50 en **Enter Subgroup Size**. Marcar **Tests for Special Causes**.



4. Hacer click en **OK**. Se muestra el resultado de la Carta NP:



Este es un proceso estable sin ninguna prueba señalada de causas especiales.

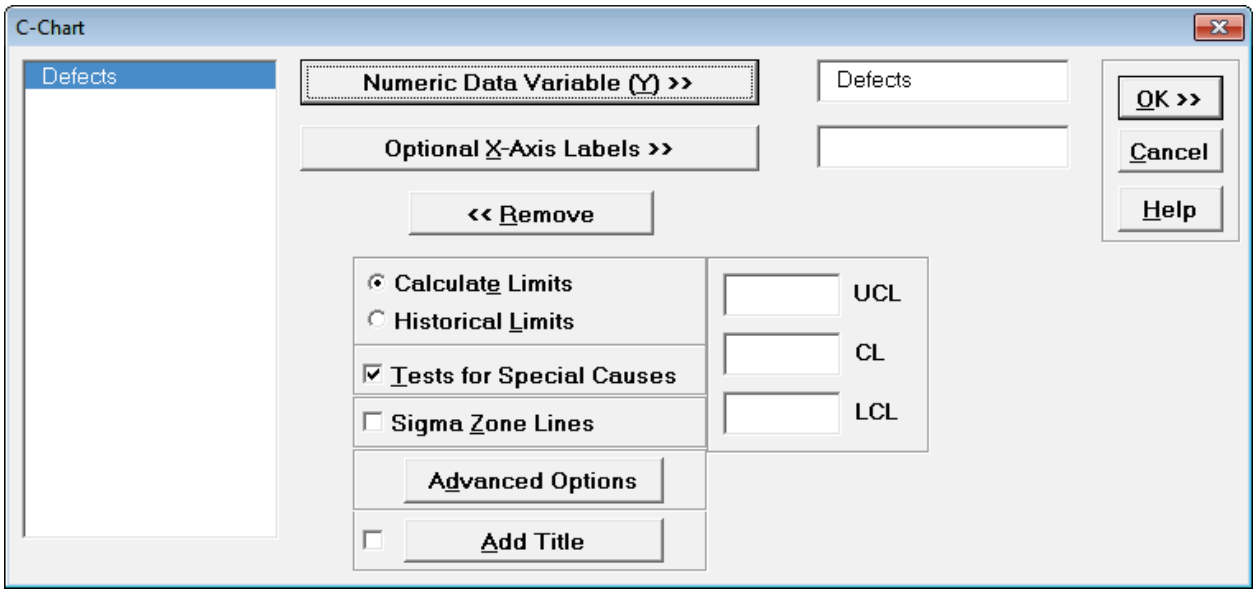
Plantilla de Carta-C

Hacer click en **SigmaXL > Templates and Calculators** > **Control Chart Templates > Basic > C (Count).**

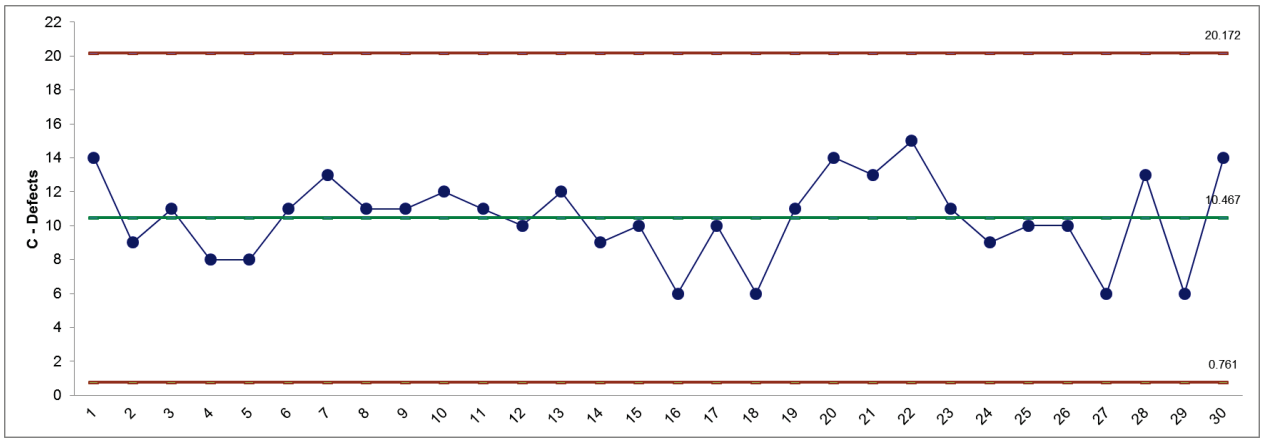
Esta plantilla se localiza también en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Templates > Basic > C (Count).**

Cartas-C

1. Abrir **Attribute Data C Chart Defects.xlsx**. Las Cartas C (para Defectos) asumen un tamaño fijo de subgrupo.
2. Seleccionar **SigmaXL > Control Charts > Attribute Charts > C**. Cerciorarse en seleccionar la tabla entera de datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.
3. Seleccionar *Defects*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**. Marcar **Tests for Special Causes**.



4. Hacer click en **OK**. Se muestra el resultado de la Carta-C:



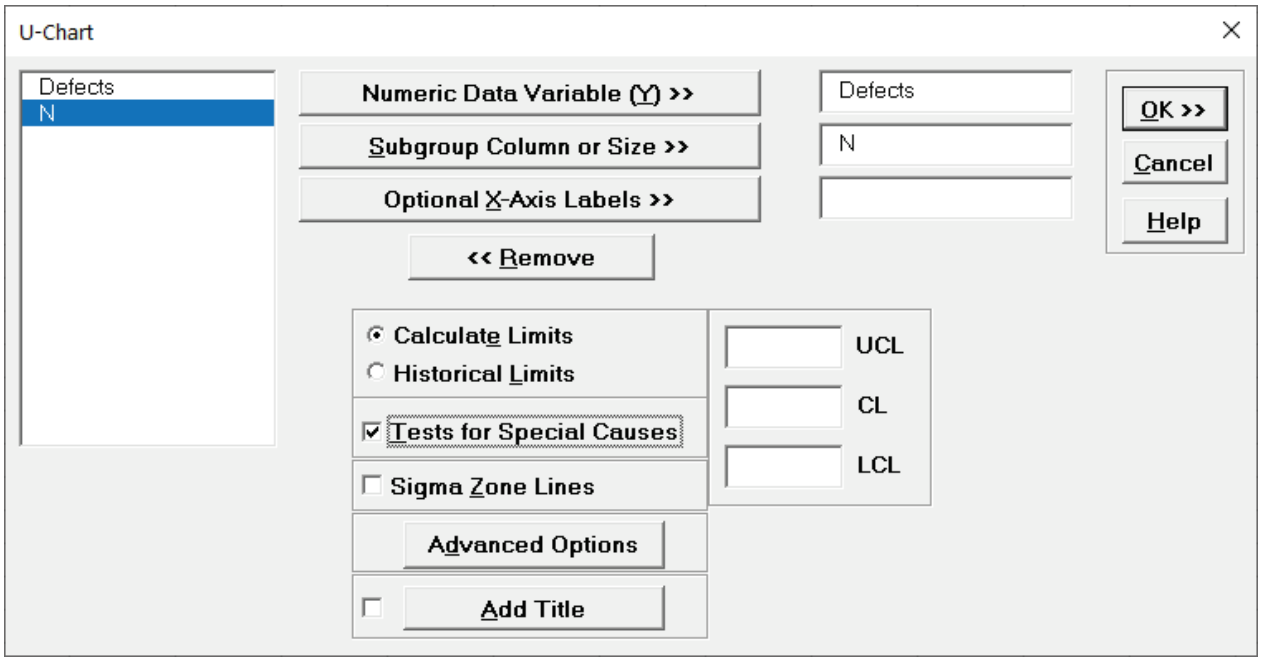
Este es un proceso estable sin ninguna prueba señalada de causas especiales.

U-Charts

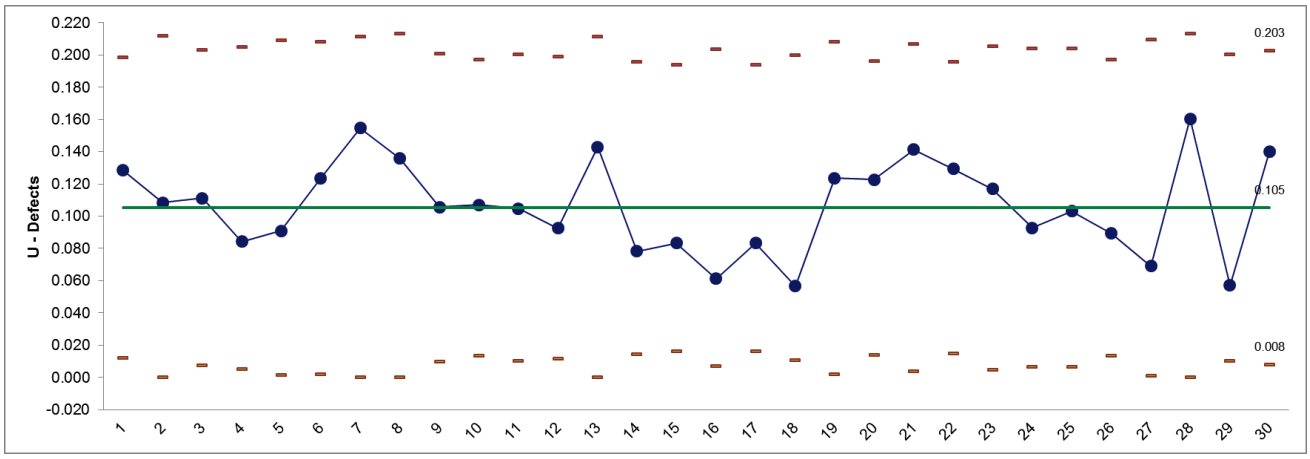
1. Abrir **Attribute Data U Chart Defects.xlsx**. Las Cartas U (para Defectos) asumen un tamaño fijo de subgrupo.

2. Seleccionar **SigmaXL > Control Charts > Attribute Charts > U**. Cerciorarse en seleccionar la tabla entera de datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

3. Seleccionar *Defects*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**. Seleccionar *N*, hacer click en **Subgroup Column or Size >>**. Marcar **Tests for Special Causes**.



4. Hacer click en **OK**. Se muestra el resultado de la Carta-U:



Este es un proceso estable sin ninguna prueba señalada de causas especiales.

Parte D – Cartas P' & U' (Laney)

Las Cartas de Control P' y U' (Laney) son cartas de control de atributos que deben utilizarse cuando el tamaño del subgrupo/muestra es grande y no se cumplen los supuestos. Típicamente, se verá que los límites de control no "parecen correctos", siendo muy ajustados con muchos puntos de datos que parecen estar fuera de control. Este problema también se conoce como sobredispersión. Esto ocurre cuando la suposición de una distribución Binomial para los defectos o la distribución de Poisson para los defectos no es válida. Las cartas de individuales se recomiendan a menudo en estos casos, pero las cartas P' y U' de Laney son una alternativa preferida.

Consejo: Véase **Parte E – Herramientas de Selección de Cartas de Control**. La Herramienta de Selección de Carta de Control facilita la selección de la carta de control del control estadístico de proceso que depende en el tipo de datos, tipo de subgrupos/muestras y tamaño.

Referencias:

[1] Crossley, Mark L.(2007), *The Desk Reference of Statistical Quality Methods*, Second Edition, Milwaukee, WI, ASQ Quality Press, pp. 352 – 355.

[2] Laney, David B., "P-Charts and U-Charts Work (But Only Sometimes)," Quality Digest, http://www.qualitydigest.com/sept07/departments/what_works.shtml.

[3] Laney, David B. (2002), "Improved Control Charts for Attribute Data," Quality Engineering 14:531–7.

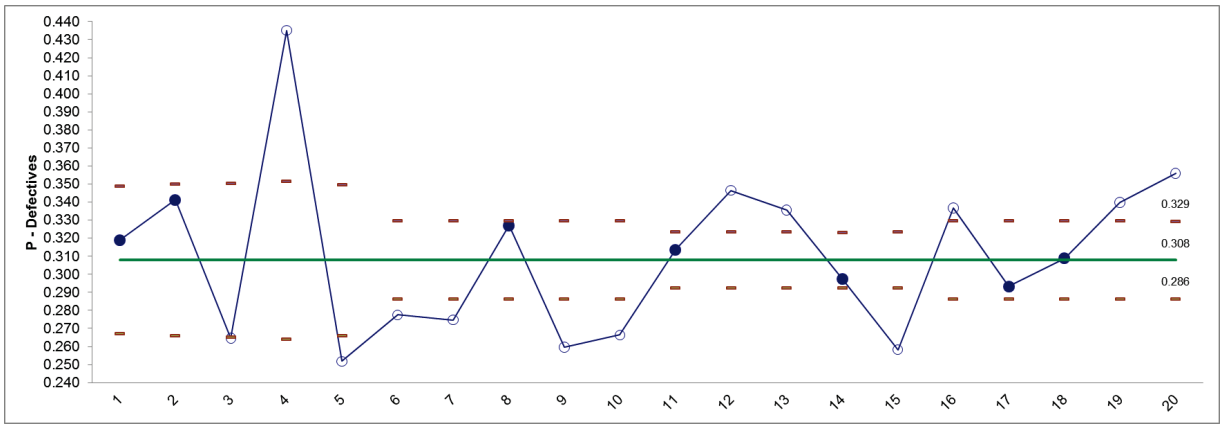
[4] M. A. Mohammed and D. Laney (2006), "Overdispersion in health care performance data: Laney's approach," Qual. Saf. Health Care 15; 383-384.

Cartas P'

1. Abrir **Laney – Quality Digest – Defectives.xlsx**. Se usan estos datos con la autorización de David Laney y se lo empleó en el ejemplo de la referencia [2].

2. Se empezará con la creación de una carta P regular para estos datos. Seleccionar **SigmaXL > Control Charts > Attribute Charts > P**. Cerciorarse en seleccionar la tabla entera de datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

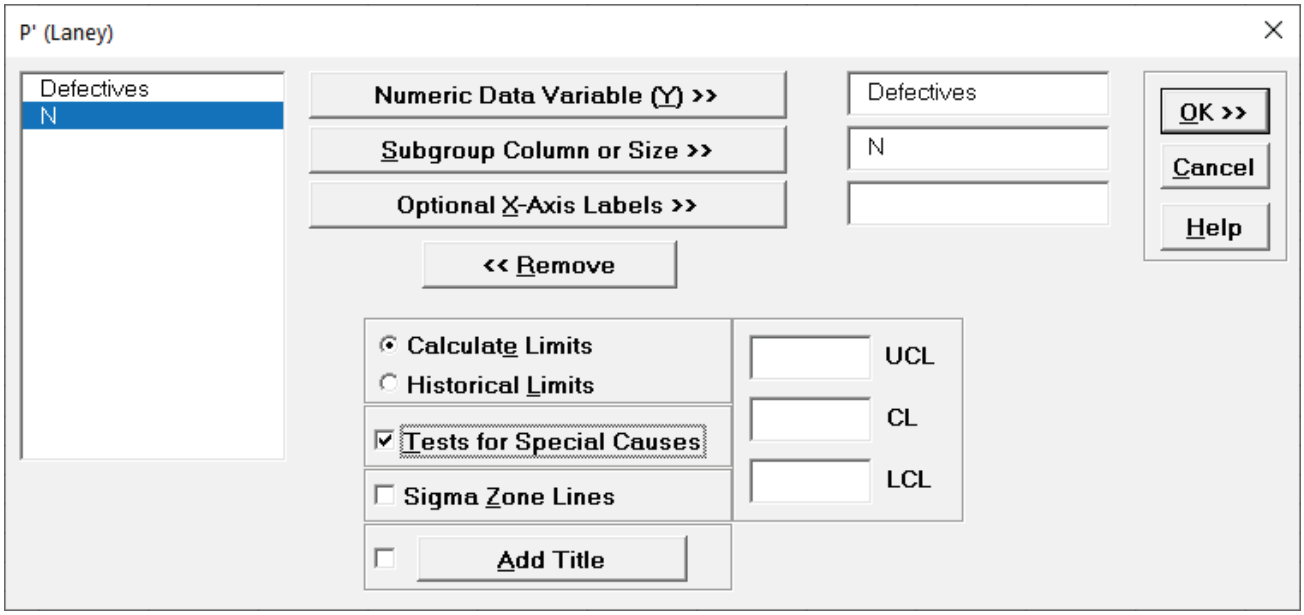
3. Seleccionar *Defectives* como la **Numeric Data Variable (Y)**, *N* como el **Subgroup Column or (Size)**. Hacer click en **OK**. Se muestra el resultado de la Carta P:



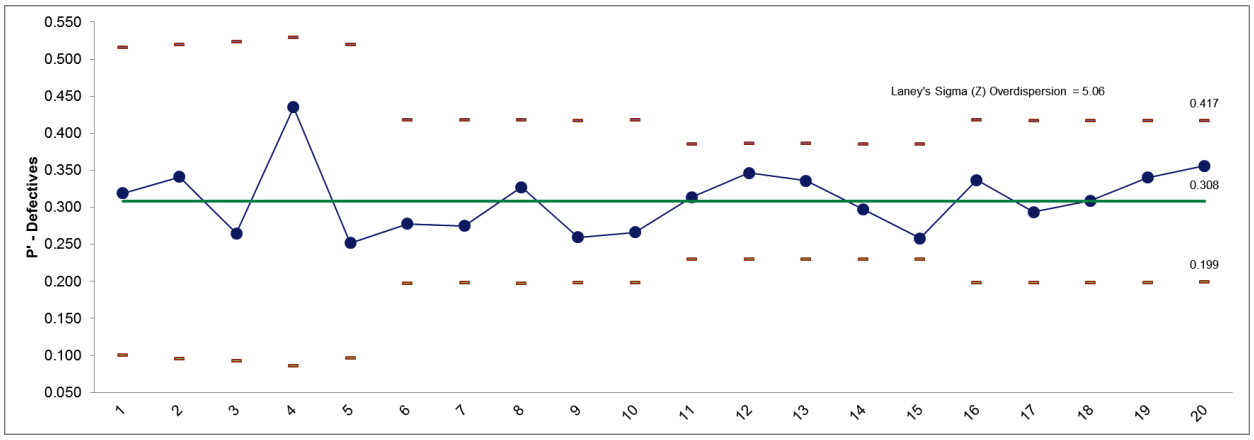
A primera vista, esta carta sugiere que el proceso está fuera de control. El problema aquí es en realidad debido al supuesto de que el Binomio no es válido (también conocido como sobredispersión). Este problema se torna evidente cuando los tamaños de las muestras son grandes.

4. Seleccionar la Hoja **Defectives** (o presione **F4**). Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > Attribute Charts > P'** (Laney). Hacer click en **Next**.

5. Seleccionar *Defectives*, Hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**; Seleccionar *N*, Hacer click en **Subgroup Column or Size >>**. (Si se tuviera un tamaño de subgrupo fijo, se podría ingresar el valor numérico del tamaño del subgrupo en lugar de la columna N). Marcar **Tests for Special Causes**.



6. Hacer click en **OK**. Se muestra el resultado de la carta P':



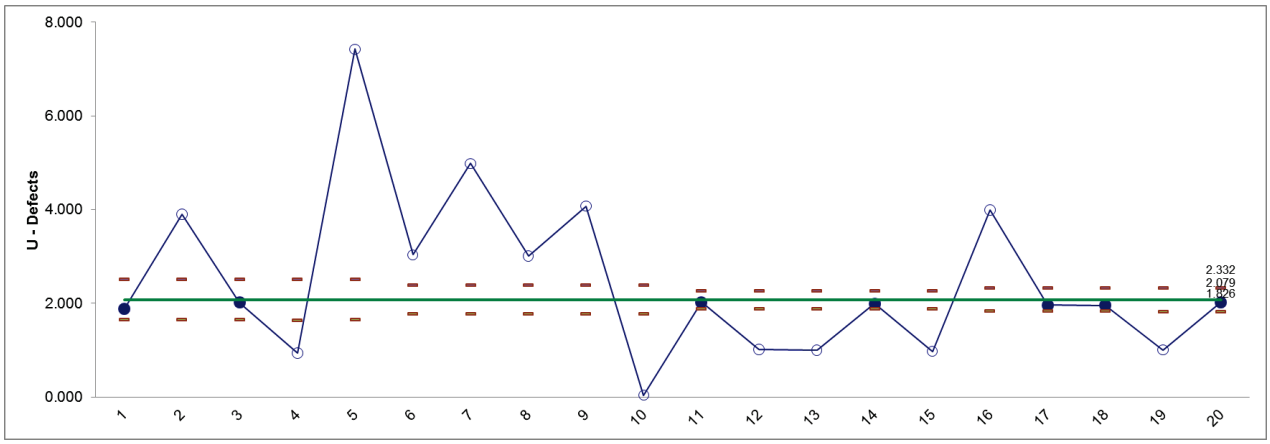
7. Se puede apreciar ahora que el proceso está en realidad "en-control." La medida de Sigma(Z) es una medida de s*obredispersión*. Véase la referencia [1] para detalles adicionales.

Cartas U'

1. Abrir **Attribute Data – U' Defects - Crossley.xlsx**. Se utilizan estos datos con el permiso de Mark Crossley y se utilizaron en el ejemplo que se mencionó en la referencia [1]. Obsérvese que hay múltiples defectos por unidad.

2. Se empezará con la creación de una Carta-U para estos datos. Seleccionar **SigmaXL > Control Charts > Attribute Charts > U**. Cerciorarse en seleccionar la tabla entera de datos. De lo contrario, marcar **Use Entire Data Table**. Hacer click en **Next**.

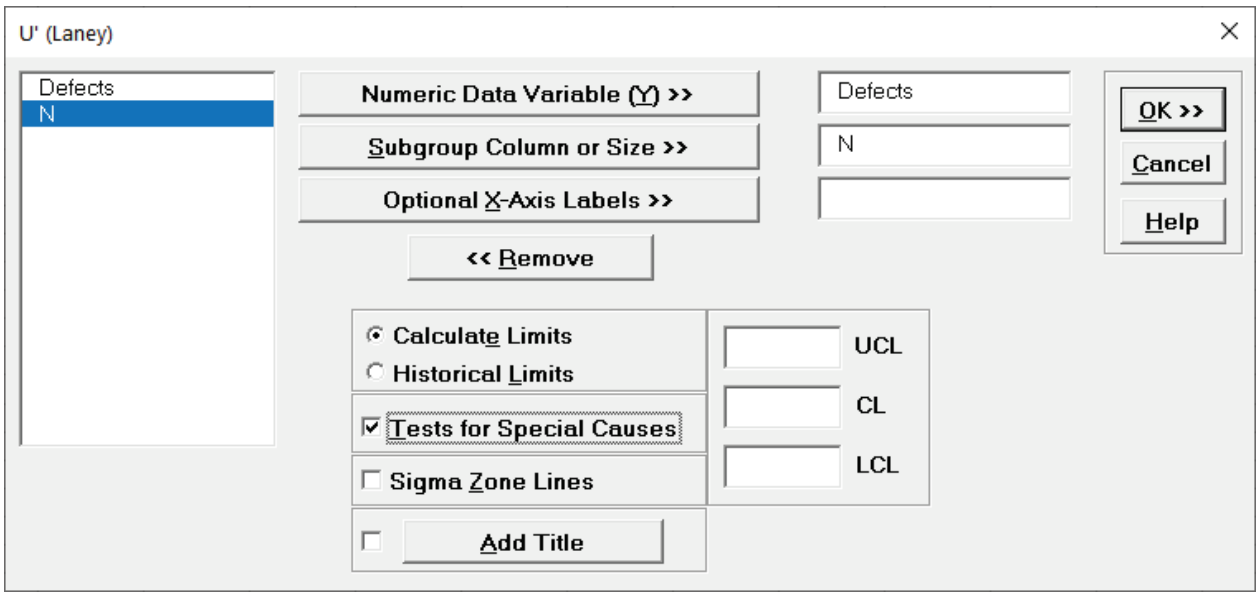
3. Seleccionar *Defects* as the **Numeric Data Variable (Y)**, *N* as the **Subgroup Column (Size)**. Hacer click en **OK**. Se muestra el resultado de la Carta-U:



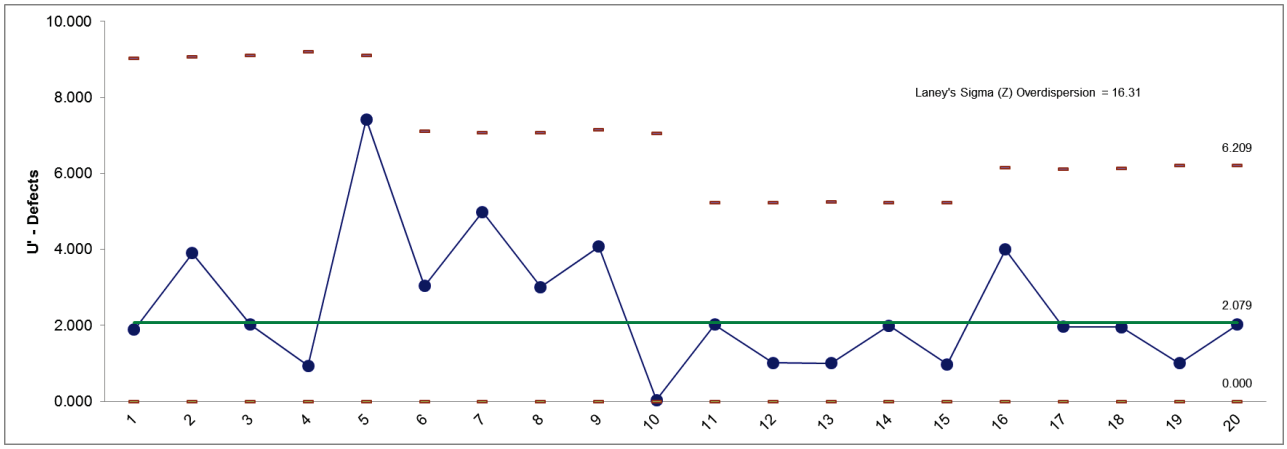
Esta carta sugiere que el proceso está fuera de control, pero el problema aquí se debe al supuesto de la Poisson que no es válido (conocido también como *sobredispersión*). Este problema de notará evidente cuando los tamaños de la muestra sean grandes.

4. Seleccionar la Hoja **U' Chart Defects - Crossley** (o presione **F4**). **Hacer click en SigmaXL > Control Charts > Attribute Charts > U' (Laney)**. Hacer click en **Next**.

5. Seleccionar *Defects*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**; seleccionar *N*, hacer click en **Subgroup Column or Size >>**. (Si se hubiera tenido un tamaño fijo del subgrupo, el valor del tamaño del subgrupo podría ingresar en lugar de la columna N). Marcar **Tests for Special Causes**.



6. Hacer click en **OK**. Se muestra el resultado de la Carta-U':



7. Se puede apreciar ahora que el proceso está en realidad "en-control." La medida de Sigma(Z) es una medida de s*obredispersión*. Véase la referencia [1] para detalles adicionales.

Parte E – Herramienta de Selección de Carta de Control

La Herramienta de Selección de Carta de Control facilita la selección de la carta de control del control estadístico de procesos que depende del tipo de datos y del tipo y tamaño del subgrupo/muestra.

Tipos de Datos y Definiciones

Variable/Continua: Corresponde a este tipo los datos que se miden en una escala continua donde un punto medio (u otra subdivisión) tiene significado. Por ejemplo, cuando se mide el tiempo de ciclo 2.5 días tiene significado. Otros ejemplos incluyen la distancia, el peso, el grosor, la longitud y el coste. Se puede considerar la Satisfacción del Cliente en una escala del 1 a 5 en el sentido de que una puntuación de satisfacción de 3,5 tiene significado. Los datos continuos siempre están en formato numérico.

Atributos/Discreto: Los datos son categóricos por naturaleza. Si se tienen los tipos de defectos 1, 2 y 3, el tipo de defecto 1.5 no tiene sentido. Otros ejemplos de datos discretos serían las quejas de los clientes y las razones para la devolución del producto. Los datos discretos pueden ser de texto o en formato numérico entero.

Defectuoso: Una unidad entera que no se ajusta a los requisitos del cliente. Una unidad puede ser defectuosa debido a uno o más defectos. Por ejemplo, un formulario de solicitud sólo es bueno si todos los campos de entrada críticos son correctos. Cualquier error en un campo crítico es un defecto, lo que resulta en un formulario defectuoso. Un solo formulario puede tener más de un defecto.

Defecto: Cualquier no conformidad específica con los requisitos del cliente. Puede haber más de un defecto por unidad o área de oportunidad, como los errores de entrada descritos anteriormente.

Subgrupo/Muestra: Los datos de un subgrupo se recogen generalmente en un corto período de tiempo para asegurar condiciones homogéneas dentro del subgrupo (variación de causa común), con el fin de detectar diferencias entre los subgrupos (variación de causa especial).

Tamaño del subgrupo/muestra: El número de observaciones dentro de su muestra, no el número de muestras. Los tamaños de los subgrupos de 3 a 5 son comunes para las medidas continuas en la fabricación de piezas, mientras que las mediciones individuales son comunes

en los procesos químicos (temperatura, pH) y en las áreas transaccionales (financieras). El tamaño de los subgrupos para los datos discretos debe ser de un mínimo de 50.

El tamaño de los subgrupos/muestras es constante: El número de observaciones dentro de la muestra permanece fijo a lo largo del tiempo.

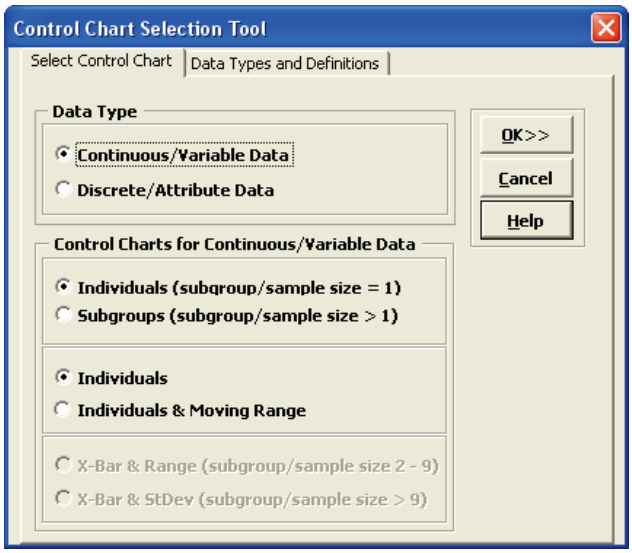
Tamaño Subgrupo/Muestra varía: El número de observaciones dentro de su muestra varía con el tiempo.

El tamaño del subgrupo/muestra es muy grande y las suposiciones no se cumplen: Esto se aplica a los datos discretos cuando los tamaños de los subgrupos son aproximadamente 5.000 o más y los límites de control no "parecen correctos", al estar muy ajustados con muchos puntos de datos que parecen estar fuera de control. Este problema también se conoce como "sobredispersión". Esto ocurre cuando el supuesto de una distribución Binomial para los defectos o la distribución de Poisson para los defectos no es válida. (Nota: Si el problema de la sobredispersión es aparente con sus datos continuos, utilice **SigmaXL > Control Charts > Advanced Charts > I-MR-R** or **I-MR-S**).

La Herramienta de Selección de Carta de Control – Carta de Individuales

1. Abrir **Customer Data.xlsx**, hacer click en on **Sheet 1**. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Selection Tool**.

2. Nos gustaría crear una carta de control de los datos de Overall Satisfaction. Dado que esto se puede considerar como datos continuos, el tipo de datos es **Datos Variables/Continuos**. El tamaño del subgrupo/muestra es 1 (es decir, no hay subgrupos), entonces Seleccionar **Individuales (subgrupo/tamaño de la muestra = 1)**. En este punto, se puede seleccionar **Individuales** o **Individuales y Rangos Móviles**. Se conserva la Selección más simple de **Individuales** como se muestra a continuación. (Obsérvese que los tipos de datos y definiciones anteriores se pueden ver al hacer click en la pestaña **Tipos de Datos y Definiciones**):



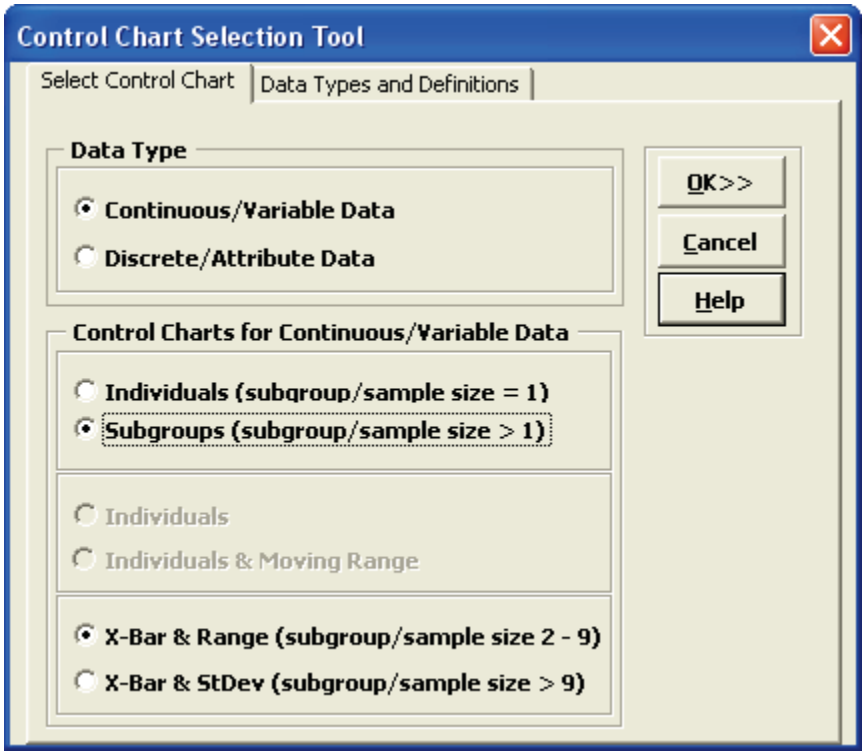
3. Hacer click en **OK**. Esto inicia el diálogo de la Carta de Individuales (Véase Parte A - Cartas de Individuales para la continuación).

Herramienta de Selección de Carta de Control – Carta X-barra & R

1. Abrir el archivo **Catapult Data – Xbar Control Charts.xlsx**. Cada operario dispara la bola tres veces. La distancia objetivo es 100 pulgadas. Seleccionar **B2:F22**; aquí, sólo se usarán los primeros 20 subgrupos para determinar los límites de control.

2. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Selection Tool**.

3. Como la medición de la distancia del disparo de la catapulta es continua, se conserva la Selección **Continuous/Variable Data** por **defecto**. Los datos de los disparos de la catapulta están en subgrupos, entonces seleccione **Subgroups (subgroup/sample size > 1)**. El tamaño del subgrupo/muestra es pequeño (3), de esta forma se utilizará **X-Bar & Range Chart** como se muestra a continuación



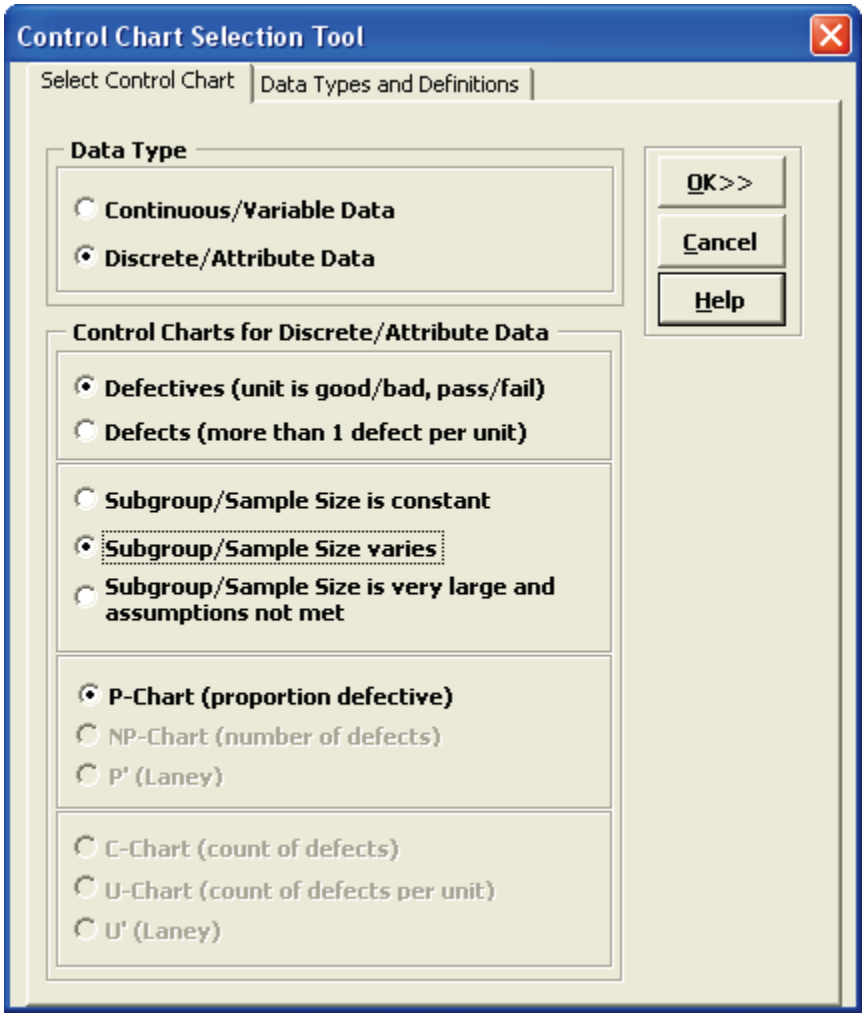
4. Hacer click en **OK**. Esto inicia el diálogo **X-Bar & Range** (Véase Parte B – Cartas X-barra & Rangos).

Herramienta de Selección de Carta de Control – Carta-P

1. Abrir **New York Daily Cycle Time – Discrete.xlsx**. Estos son datos de la Compañía Sigma Savings and Loans, de Nueva York. Cada día se registró el tiempo de ciclo (en días) de los préstamos completados y arrendamientos. *N* indica el número de préstamos contados. Se registró una *falla* si el tiempo del ciclo excedía el requisito crítico del cliente de 8 días.

2. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Selection Tool**.

3. Como los datos son discretos, seleccionar **Discrete/Attribute Data**. Se busca los datos de los Defectos porque cada préstamo es un fallo o no fallo, entonces seleccionar **Defectives (unit is good/bad, pass/fail)**. El tamaño del subgrupo/muestra varía de día a día por lo que se selecciona **Subgroup/Sample Size varies** como se muestra a continuación. La carta recomendada es la **P-Chart (proportion defective)**:



4. Hacer click en **OK**. Esto inicia el diálogo de la Carta-P (Véase Parte C – Cartas-P).

Parte F – Cartas I-MR-R/S

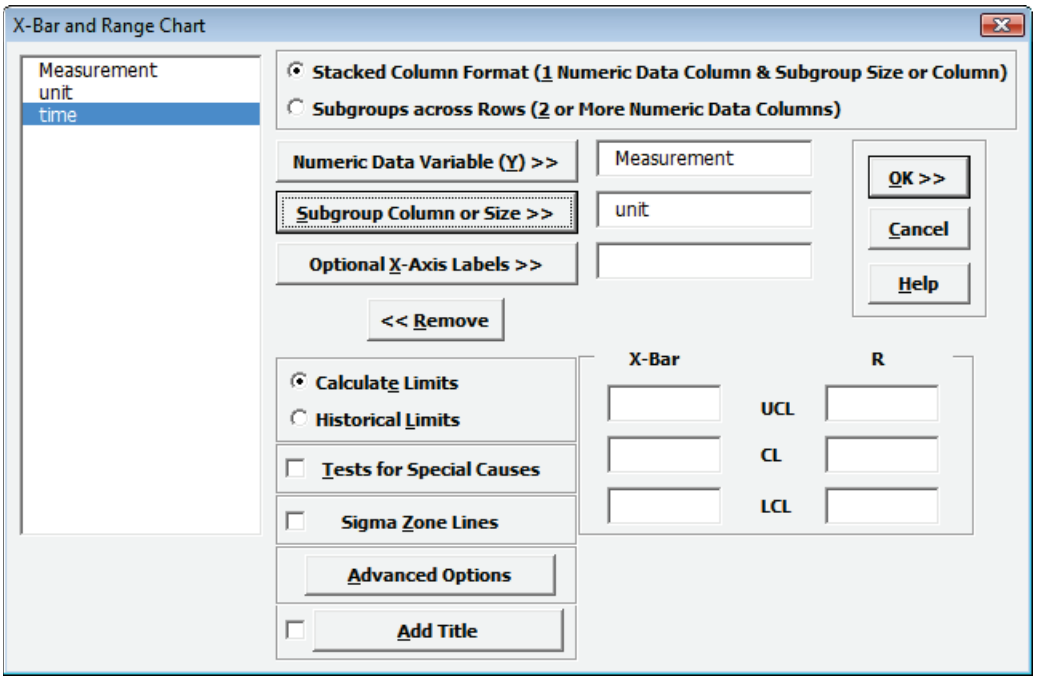
Cartas I-MR-R

Si la variabilidad dentro del subgrupo es mucho menor que entre los subgrupos, la clásica carta X-barra y R (o S) no funcionará, lo que genera numerosas (falsas) alarmas. La carta correcta que se debe utilizar, en este caso, es la carta I-MR-R (o S). Los promedios de los subgrupos se tratan como valores individuales (I-MR) y los rangos dentro de los subgrupos se grafican en la carta de Rangos.

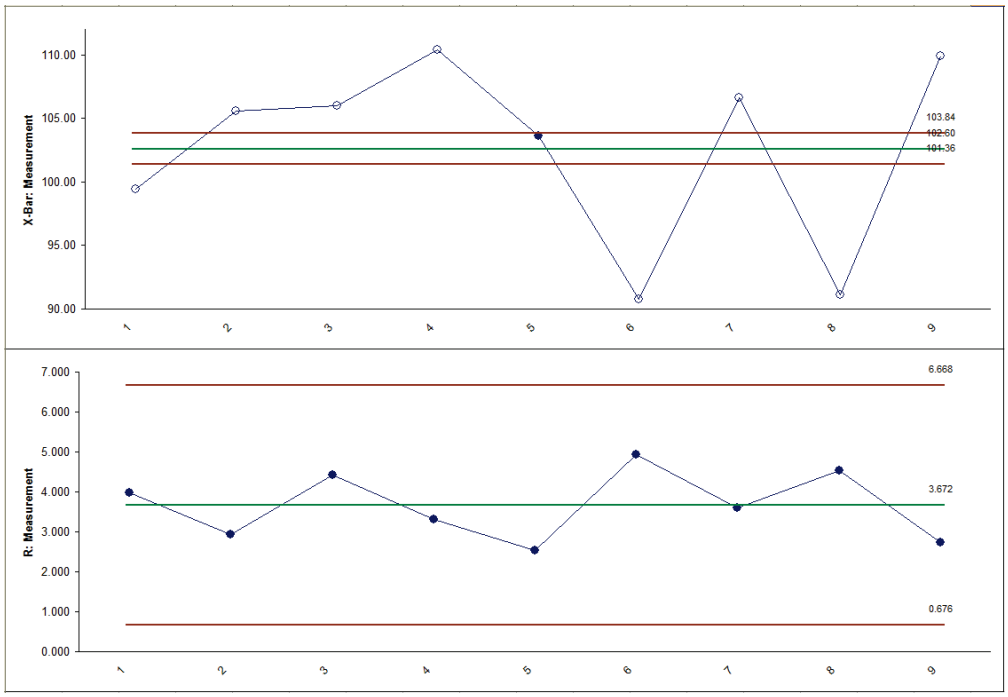
1. Abrir **Multi-Vari Data.xlsx**. Seleccionar la Hoja **Between.** Se pudo apreciar estos datos anteriormente con las cartas Multi-Vari. Primero, se utilizará incorrectamente la carta X-Barra & R, y entonces se aplicará la carta I-MR-R correcta.

2. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > X-bar & R**. Marcar **Use Entire Data Table**.

3. Hacer click en **Next**. Seleccionar **Stacked Column Format**. Seleccionar *Measurement*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**; seleccionar *unit*, hacer click en **Subgroup Column or Size >>**.



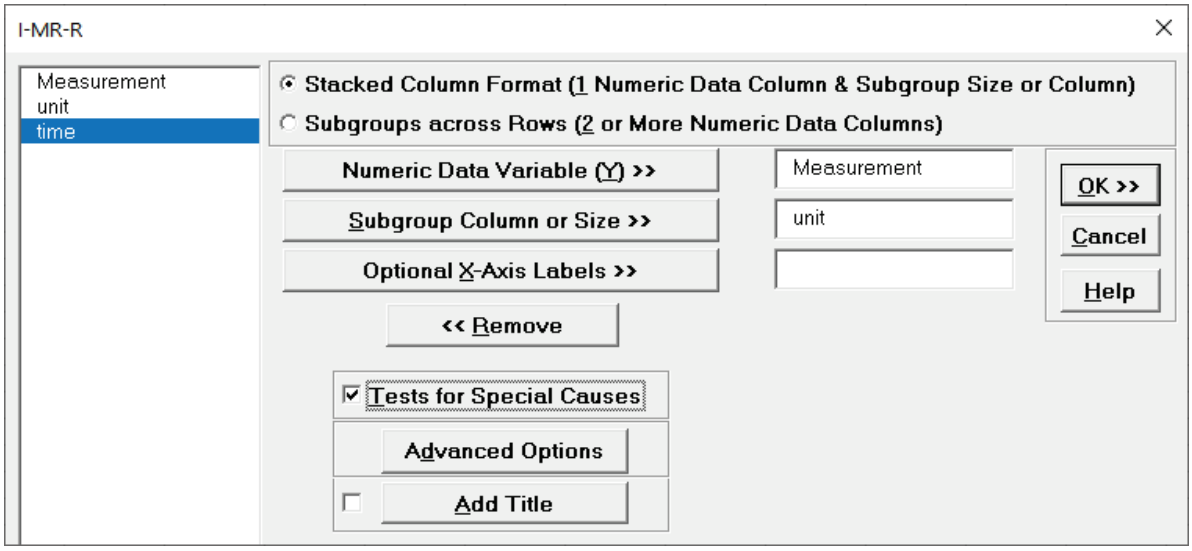
4. Hacer click en **OK**. El resultado de la carta X-Barra & R:



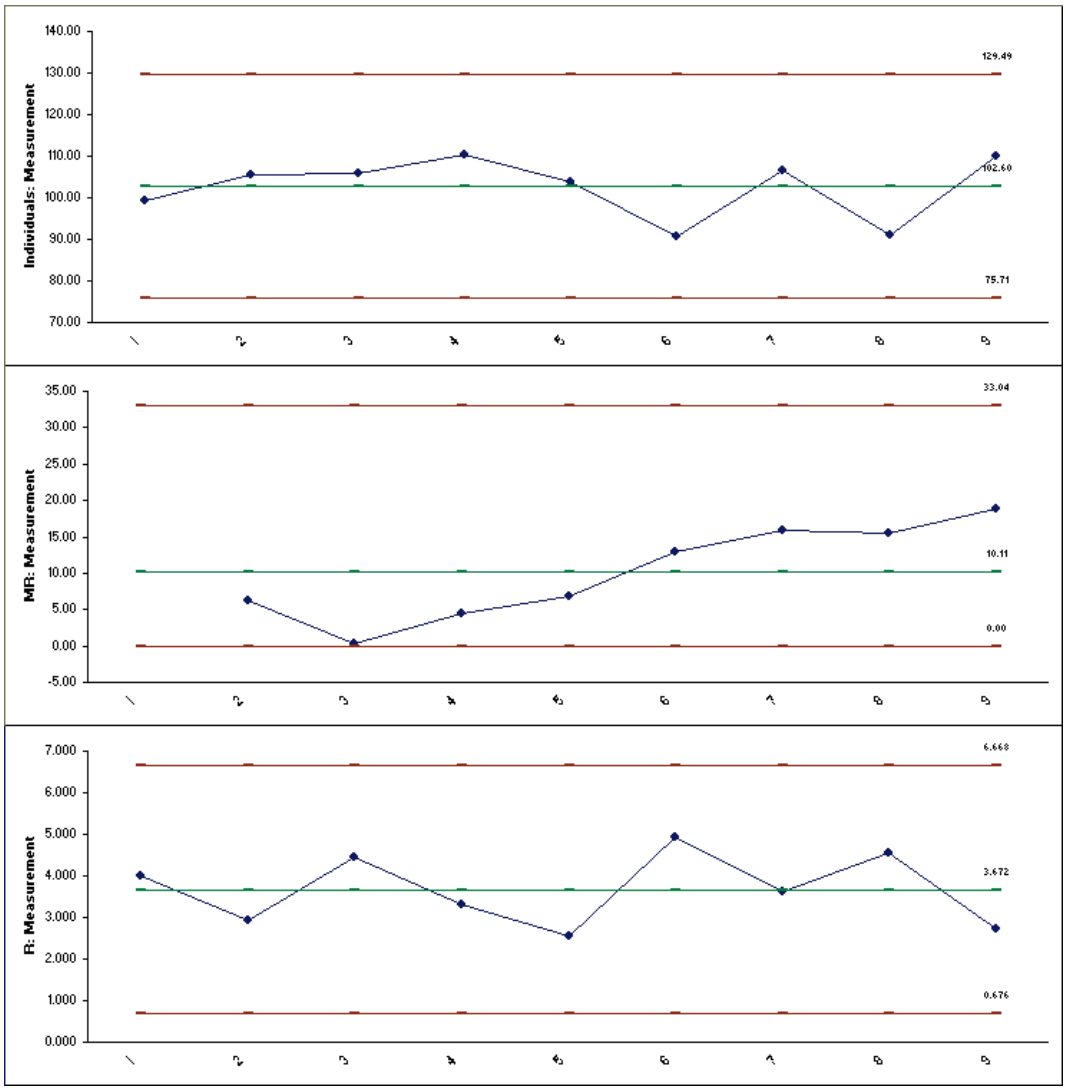
¡Casi todos los puntos de datos en la carta X-barra están fuera de control! Esto se debe a la pequeña variabilidad dentro del subgrupo (los límites de control se calculan a partir de la variabilidad dentro del subgrupo).

5. Hacer click en la Hoja **Between**. Seleccionar **SigmaXL > Control Charts > I-MR-R**.

6. Hacer click en **Next**. Seleccionar **Stacked Column Format**. Seleccionar *Measurement*, hacer click en **Numeric Data Variable (Y) >>**; Seleccionar *unit*, hacer click en **Subgroup Column or Size >>**. Marcar **Tests for Special Causes**.



7. Hacer click en **OK**. Resulting I-MR-R chart:



Esta carta es mucho más limpia, mostrando una carta de Individuales y Rangos estables. La carta de RM puede estar tendiendo hacia arriba, pero querríamos recoger más datos antes de llegar a esta conclusión. Típicamente, se quisiera tener por lo menos 20 (30 preferiblemente) subgrupos antes de calcular los límites de control finales.

Parte G – Plantillas de Cartas de Control: Eventos Raros

Cartas T Eventos Raros - Introducción

La Carta T de Eventos Raros (o carta de tiempo entre eventos) es una alternativa a la carta de atributos estándar cuando el evento adverso de interés es relativamente raro y se puede obtener una medición del tiempo entre cada evento. Si la tasa de ocurrencia sigue una distribución de Poisson (la suposición habitual para un gráfico C o U), entonces los tiempos entre ocurrencias tendrán una distribución exponencial. La distribución exponencial puede transformarse en una distribución simétrica de Weibull elevando la medida del tiempo a la potencia (1/3,6). Se calcula una carta Shewhart de Individuales sobre los datos transformados y luego se aplica una transformación inversa a los límites de control para volver al tiempo original entre unidades. Este es un modelo aproximado al exponencial y dará lugar a límites de control asimétricos. Obsérvese que es deseable una señal de "fuera de control" por encima del LCS, lo que indica un aumento significativo del tiempo entre los eventos adversos raros. Véase Provost and Murray, 2011 and Nelson, 1994. El libro de Provost y Murray es popular en el Cuidado de la Salud, por lo que SigmaXL utiliza los cálculos del límite de control como se indica en el libro:

$\mathrm{t} =$ tiempo entre incidentes

$\mathrm{z} =$ tiempo transformado $\left[\mathrm{z} = \mathrm{t}^{(1/3.6)}\right]$

Construir una carta de control de Shewhart de Individuales de valores z:

$\overline{MR}_z =$ promedio de rangos móviles de z

Remover valores atípicos de rangos móviles (esto es, exceden el LCS de rangos móviles) para una robustez mejorada:

$\overline{MR}'_z =$ promedio de rangos móviles de z con cualquier MRs $> (3.27 * \overline{MR}_z)$ removido

$CL_z = \bar{Z}$ (promedio de tiempo transformado)

$$UCL_z = \bar{Z} + 3 * \left(\frac{\overline{MR}'_z}{1.128}\right)$$

$$LCL_z = \bar{Z} - 3 * \left(\frac{\overline{MR}'_z}{1.128}\right)$$

Transformar la línea central y los límites de vuelta a la escala de tiempo elevándolos a la potencia de 3,6:

$$CL_t = {CL_z}^{3.6}, UCL_t = {UCL_z}^{3.6}, LCL_t = {LCL_z}^{3.6}$$

Consejo: Alternativamente, se puede crear una Carta T de Eventos Raros usando una Carta de Control Exponencial o Weibull de los días intermedios. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > Nonnormal > Individuals Nonnormal**. Seleccionar **Specify Distribution**, **Exponential (1 Parameter)** o **Weibull (2 Parameter).** Para seleccionar qué distribución es la del mejor ajuste, utilice ajuste de la distribución: **SigmaXL > Control Charts > Nonnormal > Distribution Fitting**. Seleccionar **All Transformations & Distributions** y comparar.

Carta T de Eventos Raros - Ejemplo

1. Hacer click en **SigmaXL > Templates & Calculators > Control Chart Templates > Rare Events > Rare Events T**. Esta plantilla se encuentra localizada también en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Templates > Rare Events > Rare Events T.**

2. Abrir **Days Between Surgical Site Infections.xlsx** (La pestaña de la **Hoja 1**). Los días intermedios al área de infección quirúrgica son una métrica importante en el Cuidado de la Salud. Como son eventos raros, los días (o el tiempo entre) eventos se monitorean en lugar de los eventos diarios. El evento con fecha/tiempo 1/1/2019 al 6/13/2019 son “Antes de la Mejora” y los días intermedios se usarán para calcular los límites de control. La Fecha/tiempo 6/14/2019 al 2/26/2020 son “Después de la Mejora” y los días intermedios se agregarán a la carta de control. El objetivo es disminuir la ocurrencia de Infecciones del Área Quirúrgica que aumentará los días intermedios, siendo deseable una señal de "fuera de control" sobre el LCS y la confirmación del esfuerzo de mejora.

	A	B
1	Date/Time SSI	Before/After Improvement
2	1/1/2019	Before
3	1/4/2019	Before
4	1/17/2019	Before
5	2/2/2019	Before
6	2/14/2019	Before
7	2/20/2019	Before
8	2/24/2019	Before
9	3/2/2019	Before
10	3/11/2019	Before
11	3/17/2019	Before
12	3/18/2019	Before
13	4/6/2019	Before
14	4/6/2019	Before
15	4/29/2019	Before
16	5/3/2019	Before
17	5/4/2019	Before
18	5/18/2019	Before
19	5/26/2019	Before
20	5/30/2019	Before
21	6/11/2019	Before
22	6/13/2019	Before
23	6/14/2019	After
24	7/26/2019	After
25	8/3/2019	After
26	8/6/2019	After
27	8/25/2019	After
28	9/8/2019	After
29	11/13/2019	After
30	2/15/2020	After
31	2/16/2020	After
32	2/26/2020	After

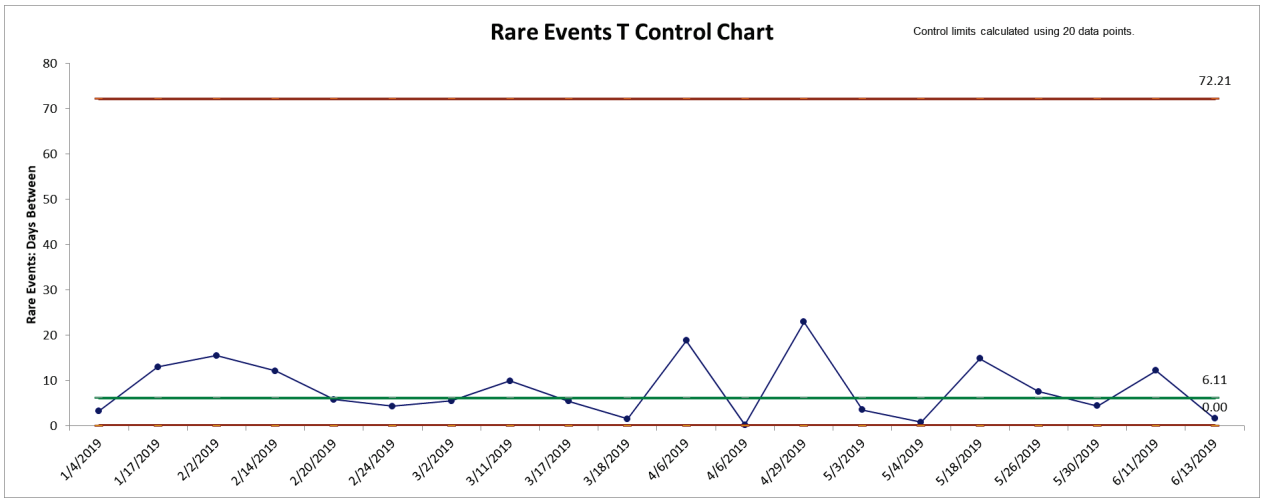
3. Copiar las fechas/tiempos “Antes de la Mejora” en las celdas **A1:A22** y Pegue los Valores a la plantilla en **A1**. Los **Days Between** se calculan automáticamente con el uso de la fórmula en Excel =A3-A2, =A4-A3, etc. No se emplea la celda **B2**.

	A	B
1	Date/Time SSI	Days Between
2	1/1/2019	
3	1/4/2019	3.3
4	1/17/2019	13
5	2/2/2019	15.5
6	2/14/2019	12.1
7	2/20/2019	5.8
8	2/24/2019	4.3
9	3/2/2019	5.5
10	3/11/2019	9.9
11	3/17/2019	5.4
12	3/18/2019	1.5
13	4/6/2019	18.8
14	4/6/2019	0.2
15	4/29/2019	22.9
16	5/3/2019	3.5
17	5/4/2019	0.8
18	5/18/2019	14.8
19	5/26/2019	7.5
20	5/30/2019	4.4
21	6/11/2019	12.2
22	6/13/2019	1.6
23		(Ctrl)

Rare Events T Control Chart

Add Data

4. Hacer click en el botón **Rare Events T Control Chart** para crear la Carta de Control T de Eventos Raros:

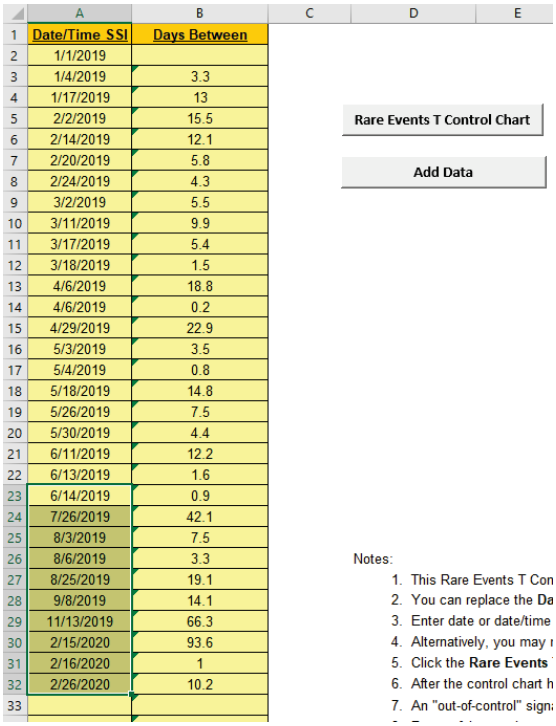


5. Esto confirma que el proceso está “en-control”. Como se mencionó arriba, los límites de control son asimétricos.

6. Aunque el proceso está "en control", como una medida crítica de la salud, se hicieron esfuerzos para mejorar el proceso y estos datos se añadirán ahora a la tabla. Volver a **Days Between Surgical Site Infections.xlsx** (La pestaña de la **Hoja 1**). Seleccionar y copiar “After Improvement” date/times en las celdas **A23: A32** como se muestra a continuación:

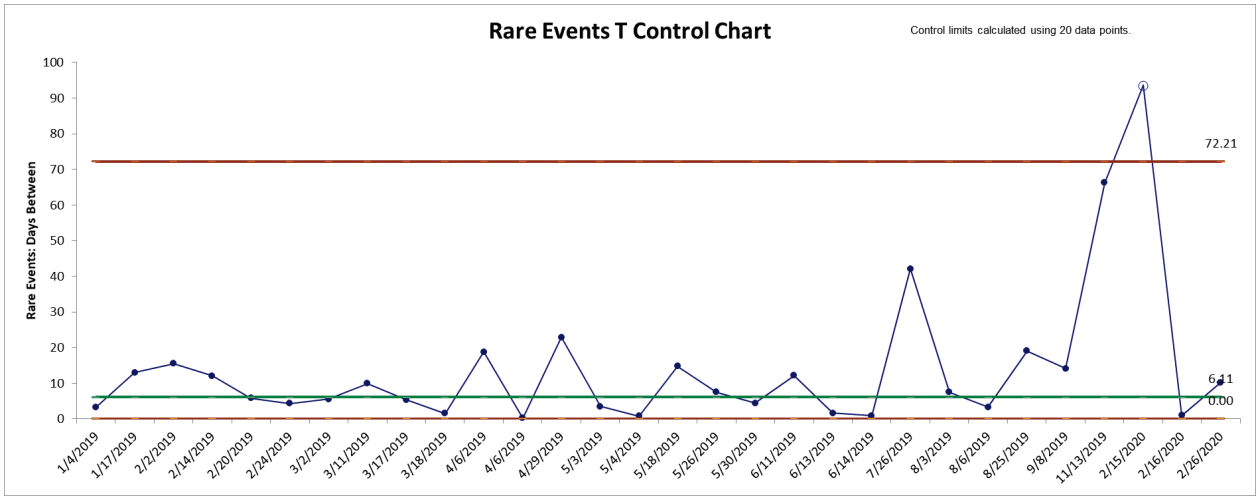
	A	B
1	Date/Time SSI	Before/After Improvement
2	1/1/2019	Before
3	1/4/2019	Before
4	1/17/2019	Before
5	2/2/2019	Before
6	2/14/2019	Before
7	2/20/2019	Before
8	2/24/2019	Before
9	3/2/2019	Before
10	3/11/2019	Before
11	3/17/2019	Before
12	3/18/2019	Before
13	4/6/2019	Before
14	4/6/2019	Before
15	4/29/2019	Before
16	5/3/2019	Before
17	5/4/2019	Before
18	5/18/2019	Before
19	5/26/2019	Before
20	5/30/2019	Before
21	6/11/2019	Before
22	6/13/2019	Before
23	6/14/2019	After
24	7/26/2019	After
25	8/3/2019	After
26	8/6/2019	After
27	8/25/2019	After
28	9/8/2019	After
29	11/13/2019	After
30	2/15/2020	After
31	2/16/2020	After
32	2/26/2020	After

7. Cambie a la plantilla de la Carta de Control T de Eventos Raros y Pegue los valores a la celda **A23** como se muestra a continuación:



	A	B
1	Date/Time SSI	Days Between
2	1/1/2019	
3	1/4/2019	3.3
4	1/17/2019	13
5	2/2/2019	15.5
6	2/14/2019	12.1
7	2/20/2019	5.8
8	2/24/2019	4.3
9	3/2/2019	5.5
10	3/11/2019	9.9
11	3/17/2019	5.4
12	3/18/2019	1.5
13	4/6/2019	18.8
14	4/6/2019	0.2
15	4/29/2019	22.9
16	5/3/2019	3.5
17	5/4/2019	0.8
18	5/18/2019	14.8
19	5/26/2019	7.5
20	5/30/2019	4.4
21	6/11/2019	12.2
22	6/13/2019	1.6
23	6/14/2019	0.9
24	7/26/2019	42.1
25	8/3/2019	7.5
26	8/6/2019	3.3
27	8/25/2019	19.1
28	9/8/2019	14.1
29	11/13/2019	66.3
30	2/15/2020	93.6
31	2/16/2020	1
32	2/26/2020	10.2
33		

8. Hacer click en el botón **Add Data** para añadir los nuevos datos de "Días entre los datos" a la Carta de Control T de Eventos Raros:



9. Esto confirma que el proceso está ahora "fuera de control", por lo que los esfuerzos de mejora para disminuir la ocurrencia de infecciones en el sitio quirúrgico y aumentar los días intermedios han sido exitosos. Obsérvese que los límites de control deben volver a calcularse sólo con los datos de "Después de la mejora" cuando se disponga de 20 puntos de datos.

Notas y Referencias sobre la Plantilla:

1. Esta plantilla de Carta de Control T de Eventos Raros debe ser usada con los días o el tiempo intermedio de los eventos raros (típicamente adversos).
2. Usted puede reemplazar los encabezados de las columnas **Date/Time** y **Days Between** con cualquier encabezado que desee.
3. Introduzca la fecha o la fecha/hora en la columna **Date/Time**. Los días intermedios se calculan automáticamente y se introducen en la columna **Days Between**. La celda **B2** no se utiliza en este caso.
4. Alternativamente, puede introducir manualmente los datos en **Days Between**. Nota, esto sobrescribirá la fórmula de la celda.
5. Hacer click en el botón de **Rare Events T Control Chart** para crear una carta de control. Esto sobrescribirá cualquier carta de control existente.
6. Después de que se haya creado la carta de control y se hayan introducido nuevas **Date/Time** o **Days Between** adicionales entre los datos, hacer clic en el botón **Add Data** para añadir los datos a la carta existente.
7. Es deseable una señal de "fuera de control" por encima del LCS, que indique un aumento significativo del tiempo entre los eventos adversos raros.
8. Tener cuidado de no tener ceros en los datos.
9. Este gráfico utiliza las fórmulas de límite de control dadas en Provost y Murray, 2011.
10. Los datos se transforman con $Y^{(1/3,6)}$, que transforma una distribución exponencial en una Weibull simétrica. Véase Nelson, 1994.
11. Se crea una carta de individuales de Shewhart sobre los datos transformados y los límites de control finales se calculan como $LCS^{3.6}$, $LC^{3.6}$, $LCI^{3.6}$.
12. Alternativamente, se puede crear una Carta T de Eventos Raros haciendo uso de una Carta de Control Weibull o Exponencial. Hacer click en **SigmaXL > Control Charts > Nonnormal > Individuals Nonnormal**. Seleccionar **Specify Distribution**, **Exponential (1 Parameter)** or **Weibull (2 Parameter).**
13. Referencias:
    Nelson, L.S. (1994), “A Control Chart for Parts-Per-Million Nonconforming Items”, *Journal of Quality Technology*, 26:3, pp. 239-240.
    Provost L, Murray S. (2011), *The Healthcare Data Guide: Learning from Data for Improvement*. San Francisco: Jossey-Bass, pp. 230-231.

Carta G de Events Raros - Introducción

La carta G (o carta geométrica) es una alternativa a la carta de atributos estándar cuando el evento adverso de interés es poco frecuente y se cuentan las oportunidades discretas entre los eventos (por ejemplo, el número de unidades o días intermedios).

El cálculo de los límites de control es una aproximación la cual se basa en la distribución geométrica. Es deseable una señal "fuera de control" por encima del LCS, que indique un aumento significativo de las unidades/oportunidades o días intermedios de eventos adversos. Véase Provost y Murray, 2011. El libro de Provost y Murray es popular en el cuidado de la salud, por lo que SigmaXL utiliza los cálculos de límites de control como se indica en el libro:

$\mathrm{g} =$ número de oportunidades de r units entre incidentes

$\bar{g} =$ promedio de las g's

$CL = 0.693 * \bar{g}$ (CL es la mediana teórica para la distribución)

$UCL = \bar{g} + 3 * \sqrt{\bar{g}(1+\bar{g})}$

$LCL = 0$

Para límites más precisos basados en la probabilidad, véase la Carta de Control G de Eventos Raros.

Cartas G de Eventos Raros – Ejemplo

1. Hacer click en **SigmaXL > Templates & Calculators > Control Chart Templates > Rare Events > Rare Events G**. Esta plantilla también es localizada en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Templates > Rare Events > Rare Events G.**

2. Abrir **Doses Dispensed Between Adverse Drug Events.xlsx** (La pestaña de la **Hoja 1**). Los Eventos Adversos por Drogas (ADE) son raros, así que las dosis dispensadas entre los ADE son usadas como una medida de cuidado de la salud. Los datos son discretos y distribuidos geométricamente, por lo que la carta G es apropiada para su uso aquí. Las fechas de los eventos del 7/2/2019 al 9/24/2019 son "Antes de la mejora" y las dosis intermedias ADE se usarán para calcular los límites de control. Las fechas del 28/9/2019 al 17/1/2020 son "Después de la mejora" y la dosis intermedia ADE se añadirán a la carta de control. El objetivo es disminuir la ocurrencia de ADE que aumentará las dosis intermedias, siendo deseable una señal de "fuera de control" por encima del LCS y la confirmación del esfuerzo de mejora.

	A	B	C
1	Date ADE	Doses Between Events	Before/After Improvement
2	7/2/2019	758	Before
3	7/14/2019	11911	Before
4	7/21/2019	7593	Before
5	7/22/2019	398	Before
6	7/24/2019	2516	Before
7	7/26/2019	1147	Before
8	7/29/2019	3322	Before
9	8/13/2019	15414	Before
10	8/14/2019	626	Before
11	8/15/2019	752	Before
12	8/23/2019	7819	Before
13	8/25/2019	2445	Before
14	8/30/2019	4937	Before
15	9/4/2019	4663	Before
16	9/4/2019	175	Before
17	9/6/2019	2187	Before
18	9/7/2019	592	Before
19	9/11/2019	3721	Before
20	9/20/2019	9317	Before
21	9/24/2019	4269	Before
22	9/28/2019	3058	After
23	10/22/2019	24638	After
24	10/27/2019	4579	After
25	10/28/2019	1497	After
26	11/1/2019	3761	After
27	11/19/2019	17947	After
28	12/1/2019	11790	After
29	12/3/2019	1725	After
30	1/4/2020	32255	After
31	1/17/2020	12793	After

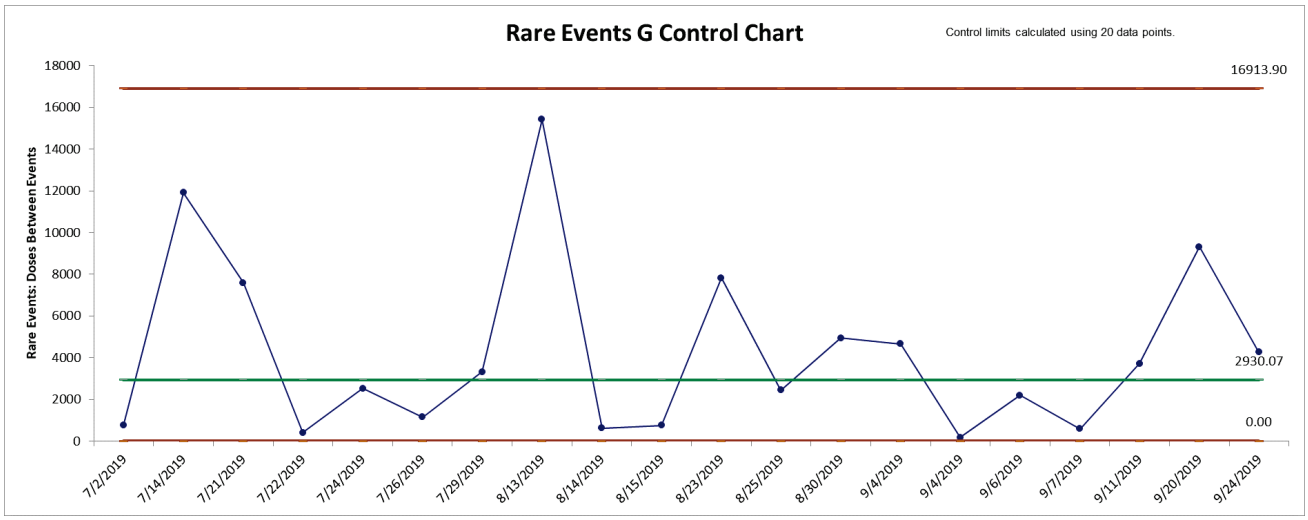
3. Copiar los datos de "Antes de la mejora" en las celdas **A1:B21** y Pegar valores en la plantilla en **A1**. Esto sobrescribirá las fórmulas de la columna B. Ajuste el ancho de las columnas de la plantilla según sea necesario.

	A	B
1	Date ADE	Doses Between Events
2	7/2/2019	758
3	7/14/2019	11911
4	7/21/2019	7593
5	7/22/2019	398
6	7/24/2019	2516
7	7/26/2019	1147
8	7/29/2019	3322
9	8/13/2019	15414
10	8/14/2019	626
11	8/15/2019	752
12	8/23/2019	7819
13	8/25/2019	2445
14	8/30/2019	4937
15	9/4/2019	4663
16	9/4/2019	175
17	9/6/2019	2187
18	9/7/2019	592
19	9/11/2019	3721
20	9/20/2019	9317
21	9/24/2019	4269
22		

Rare Events G Control Chart

Add Data

4. Hacer click en el botón de **Rare Events G Control Chart** para crear la Carta de Control de Eventos Raros:

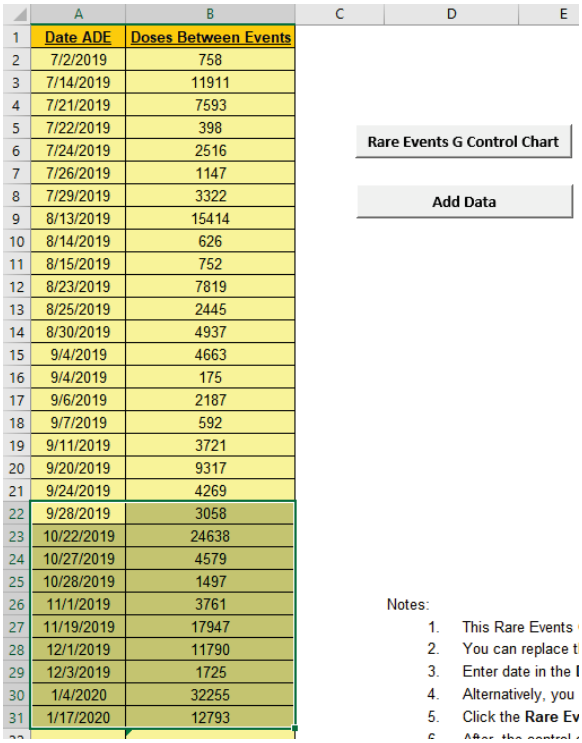


5. Esto confirma que el proceso está “en-control”.

6. Así bien el proceso está “en-control”, como una métrica crítica en el Cuidado de la Salud, los esfuerzos realizados para mejorar el proceso y estos datos se agregarán ahora a la carta. Regresar a **Doses Dispensed Between Adverse Drug Events.xlsx** (**La pestaña de la Hoja 1**). Seleccionar y copiar la fecha/tiempos “Después de la Mejora” en las celdas **A22: B31** como se muestra a continuación:

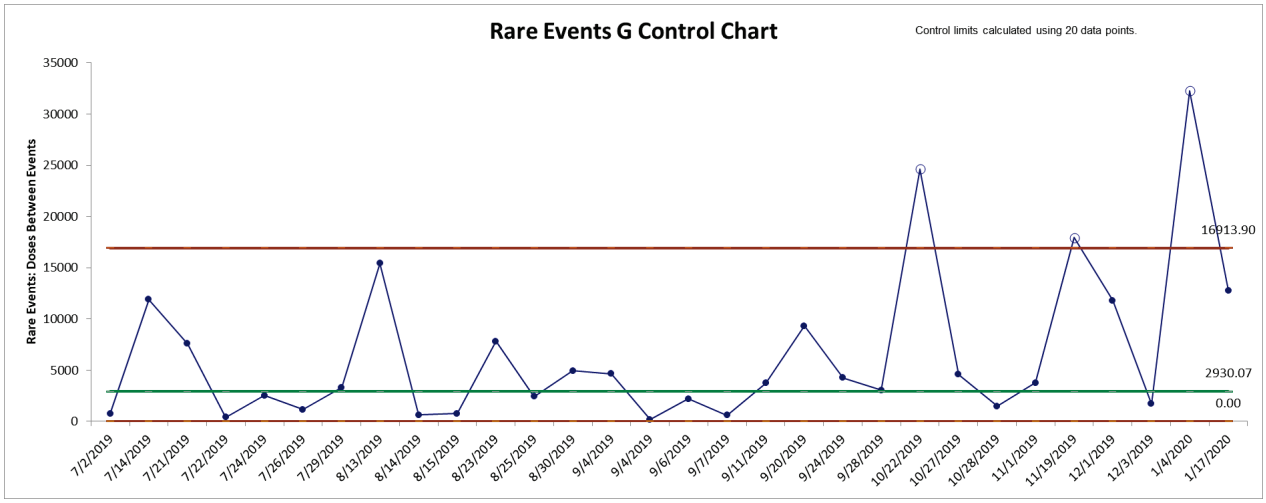
	A	B	C
1	Date ADE	Doses Between Events	Before/After Improvement
2	7/2/2019	758	Before
3	7/14/2019	11911	Before
4	7/21/2019	7593	Before
5	7/22/2019	398	Before
6	7/24/2019	2516	Before
7	7/26/2019	1147	Before
8	7/29/2019	3322	Before
9	8/13/2019	15414	Before
10	8/14/2019	626	Before
11	8/15/2019	752	Before
12	8/23/2019	7819	Before
13	8/25/2019	2445	Before
14	8/30/2019	4937	Before
15	9/4/2019	4663	Before
16	9/4/2019	175	Before
17	9/6/2019	2187	Before
18	9/7/2019	592	Before
19	9/11/2019	3721	Before
20	9/20/2019	9317	Before
21	9/24/2019	4269	Before
22	9/28/2019	3058	After
23	10/22/2019	24638	After
24	10/27/2019	4579	After
25	10/28/2019	1497	After
26	11/1/2019	3761	After
27	11/19/2019	17947	After
28	12/1/2019	11790	After
29	12/3/2019	1725	After
30	1/4/2020	32255	After
31	1/17/2020	12793	After

7. Cambie a la plantilla de Cartas de Control G de Eventos Raros y Pegue los valores a la celda A22 como se muestra a continuación. Esto sobrescribirá las fórmulas de la columna B. Ajuste el ancho de la columna de la plantilla según sea necesario.



	A	B
1	Date ADE	Doses Between Events
2	7/2/2019	758
3	7/14/2019	11911
4	7/21/2019	7593
5	7/22/2019	398
6	7/24/2019	2516
7	7/26/2019	1147
8	7/29/2019	3322
9	8/13/2019	15414
10	8/14/2019	626
11	8/15/2019	752
12	8/23/2019	7819
13	8/25/2019	2445
14	8/30/2019	4937
15	9/4/2019	4663
16	9/4/2019	175
17	9/6/2019	2187
18	9/7/2019	592
19	9/11/2019	3721
20	9/20/2019	9317
21	9/24/2019	4269
22	9/28/2019	3058
23	10/22/2019	24638
24	10/27/2019	4579
25	10/28/2019	1497
26	11/1/2019	3761
27	11/19/2019	17947
28	12/1/2019	11790
29	12/3/2019	1725
30	1/4/2020	32255
31	1/17/2020	12793

8. Hacer click en el botón **Add Data** para añadir los nuevos datos de **Doses Between Events** a la Rare Events G Control Chart:



9. Esto confirma que el proceso está ahora "fuera de control", por lo que los esfuerzos de mejora para disminuir la aparición del ADE y aumentar las dosis intermedias han tenido éxito.

Notas sobre la plantilla y Referencias:

1. Se debe usar esta plantilla de la Carta de Control G de Eventos Raros con días o unidades/oportunidades entre eventos raros (típicamente adversos).

2. Puede reemplazar los encabezados de las columnas **Date/Time** y **Days Between** con los encabezados que desee.

3. Introduzca la fecha en la columna **Date**. Los días intermedios se calculan automáticamente y se introducen en la columna **Days Between**. No se utiliza la celda **B2** en este caso.

4. Como una alternativa, puede introducir manualmente los datos en **Days/Units Between**. Nota: esto sobrescribirá la fórmula de la celda.

5. Introducir el LCS Alfa, típicamente 0.00135, correspondiente a la probabilidad de una cola del LCI en una clásica carta de control de Shewhart con límites de 3 sigma. Esto también se aplicará a la LCI si es mayor que 0.

6. El cálculo de los límites de control se basa en la distribución geométrica. La probabilidad del evento y el alfa se utilizan para calcular los límites no simétricos. Se anota el cálculo de la probabilidad del evento en la carta de control.

7. Es deseable una señal de "fuera de control" por encima del LCS, que indique un aumento significativo de días o unidades/oportunidades entre los eventos raros adversos.

8. El cálculo de los límites de control se basa en la distribución geométrica. La línea central es la mediana teórica de la distribución geométrica = 0.693 * mean.

9. Referencia: Provost L, Murray S., *The Health Care Data Guide: Learning from Data for Improvement*. San Francisco: Jossey-Bass, 2011, pp. 228-229.

Carta G de Prob de Eventos Raros - Introducción

La carta G de Prob de Eventos Raros (se basa en probabilidades, o carta geométrica) es una alternativa a la carta de atributos estándar cuando el evento adverso de interés es raro y se cuentan las oportunidades discretas entre eventos (por ejemplo, el número de unidades o días intermedios). Se recomienda el uso de límites de control basados en la probabilidad para controlar adecuadamente la tasa de error de tipo I (falsa alarma).

El cálculo de los límites de control se basa en la distribución geométrica. La probabilidad de evento y el alfa se utilizan para calcular los límites no simétricos. Es deseable una señal de "fuera de control" por encima del LCS, que indique un aumento significativo de unidades/oportunidades o días entre eventos adversos raros. Véase Benneyan, 2001.

$\mathrm{g} =$ número de oportunidades o unidades entre incidentes

$\bar{g} =$ promedio de g's

La probabilidad del evento se especifica o se estima como:

$$\hat{p} = \left(\frac{1}{\bar{\mathrm{g}} + 1}\right)\left(\frac{N-1}{N}\right)$$

Este es un estimador insesgado de varianza mínima.

Los límites de control que se basan en probabilidades se calculan como:

$$UCL = \frac{\ln(\alpha_{\mathrm{UCL}})}{\ln(1-p)} - 1$$

$$CL = \frac{\ln(0.5)}{\ln(1-p)} - 1$$

$$LCL = \max\left(0, \frac{\ln(1-\alpha_{\mathrm{UCL}})}{\ln(1-p)} - 1\right)$$

donde α_{UCL} es especificado por el usuario.

SigmaXL ajusta la CL y LCI de Benneyan al restar 1 como se hace con el LCS y no redondea los valores límites. Las oportunidades entre eventos se cuentan como 0, 1, 2, 3, … ($a = 0$ en Benneyan Tabla 3).

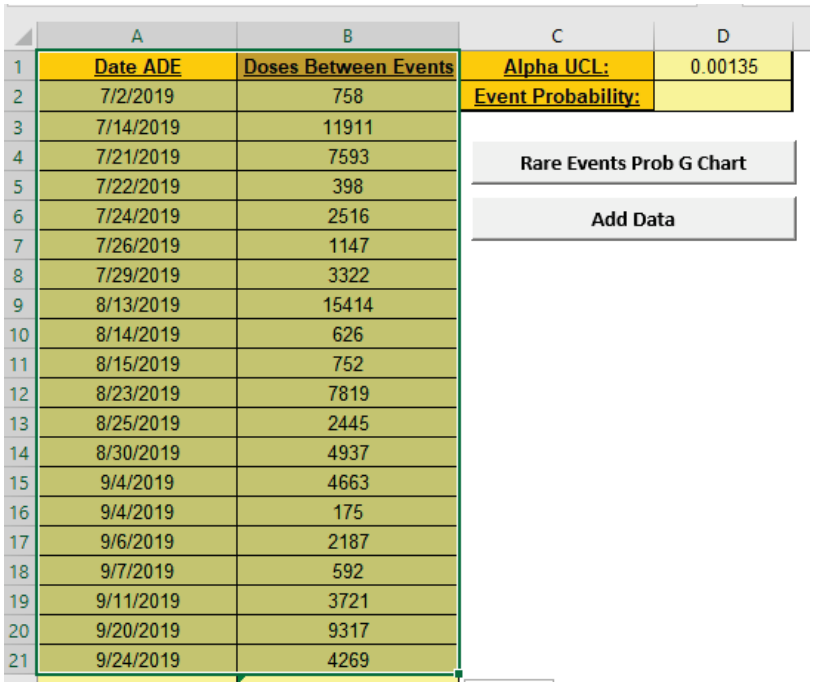
Carta G de Prob de Eventos Raros - Ejemplo

1. Hacer click en **SigmaXL > Templates & Calculators > Control Chart Templates > Rare Events > Rare Events Prob G**. Esta plantilla está localizada también en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Templates > Rare Events > Rare Events Prob G.**

2. Abrir **Doses Dispensed Between Adverse Drug Events.xlsx** (Pestaña de la **Hoja 1**). Los Eventos Adversos por Drogas (ADE) son raros, así que las dosis dispensadas entre los ADE se usan como una medida en el cuidado de la salud. Los datos son discretos y se distribuyen geométricamente, por lo que la carta G es apropiada para su uso aquí. Las fechas de los eventos del 7/2/2019 al 9/24/2019 son "Antes de la mejora" y las dosis intermedias EDA se usarán para calcular los límites de control. Las fechas del 28/9/2019 al 17/1/2020 son "Después de la mejora" y las dosis intermedias ADE se añadirán a la carta de control. El objetivo es disminuir la ocurrencia de ADE, lo que aumentará la dosis intermedia, siendo deseable una señal de "fuera de control" por encima del LCS y la confirmación del esfuerzo de mejora.

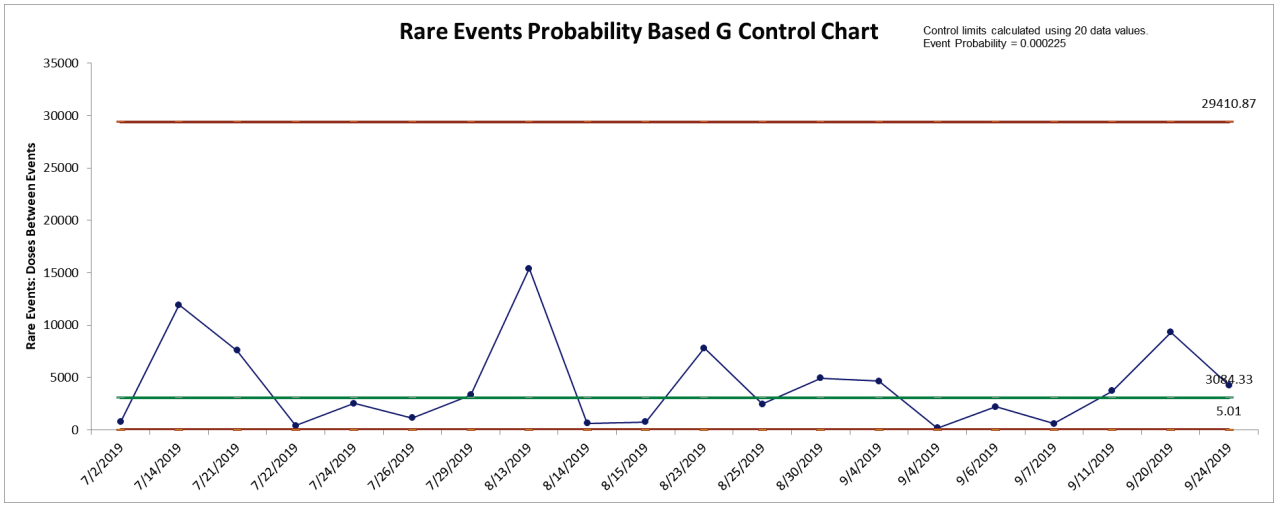
	A	B	C
1	Date ADE	Doses Between Events	Before/After Improvement
2	7/2/2019	758	Before
3	7/14/2019	11911	Before
4	7/21/2019	7593	Before
5	7/22/2019	398	Before
6	7/24/2019	2516	Before
7	7/26/2019	1147	Before
8	7/29/2019	3322	Before
9	8/13/2019	15414	Before
10	8/14/2019	626	Before
11	8/15/2019	752	Before
12	8/23/2019	7819	Before
13	8/25/2019	2445	Before
14	8/30/2019	4937	Before
15	9/4/2019	4663	Before
16	9/4/2019	175	Before
17	9/6/2019	2187	Before
18	9/7/2019	592	Before
19	9/11/2019	3721	Before
20	9/20/2019	9317	Before
21	9/24/2019	4269	Before
22	9/28/2019	3058	After
23	10/22/2019	24638	After
24	10/27/2019	4579	After
25	10/28/2019	1497	After
26	11/1/2019	3761	After
27	11/19/2019	17947	After
28	12/1/2019	11790	After
29	12/3/2019	1725	After
30	1/4/2020	32255	After
31	1/17/2020	12793	After

3. Copiar los datos “Before Improvement” en las celdas **A1:B21** y Pegue los Valores a la plantilla en **A1**. Esto sobre escribirá las fórmulas de la columna B. Ajustar el ancho de la columna de la plantilla según sea necesario.



	A	B	C	D
1	Date ADE	Doses Between Events	Alpha UCL:	0.00135
2	7/2/2019	758	Event Probability:	
3	7/14/2019	11911		
4	7/21/2019	7593	Rare Events Prob G Chart	
5	7/22/2019	398		
6	7/24/2019	2516	Add Data	
7	7/26/2019	1147		
8	7/29/2019	3322		
9	8/13/2019	15414		
10	8/14/2019	626		
11	8/15/2019	752		
12	8/23/2019	7819		
13	8/25/2019	2445		
14	8/30/2019	4937		
15	9/4/2019	4663		
16	9/4/2019	175		
17	9/6/2019	2187		
18	9/7/2019	592		
19	9/11/2019	3721		
20	9/20/2019	9317		
21	9/24/2019	4269		

4. Se usará por defecto el **LCS Alpha** = 0.00135 (esto corresponde a la probabilidad de una cola para el CLS en una clásica carta de control Shewhart con límites sigma de 3 sigma). Hacer click en el botón **Rare Events Prob G Chart** para crear la Carta de Control G que se basa en la Probabilidad de Eventos Raros:



5. Esto confirma que el proceso está “en control”. Obsérvese que la probabilidad que se basa en el LCS es mucho mayor que la calculada arriba para la carta G regular.

6. **Consejo**: Si se considera que el LCS es "demasiado grande" para su uso práctico, ajustar el **LCS Alfa** a un valor mayor, por ejemplo, 0.01 en lugar de 0.00135 y recrear la carta de control. Tener en cuenta, sin embargo, que esto aumentará la tasa de Tipo I (falsa alarma).

7. Aunque el proceso está "bajo control", como medida crítica de la atención de la salud, se han hecho esfuerzos para mejorar el proceso y estos datos se añadirán ahora a la carta. Volver a **Doses Dispensed Between Adverse Drug Events.xlsx** (Pestaña de la **Hoja 1**). Seleccionar y copiar la fecha/tiempo "After Improvement" en las celdas **A22: B31** como se muestra a continuación:

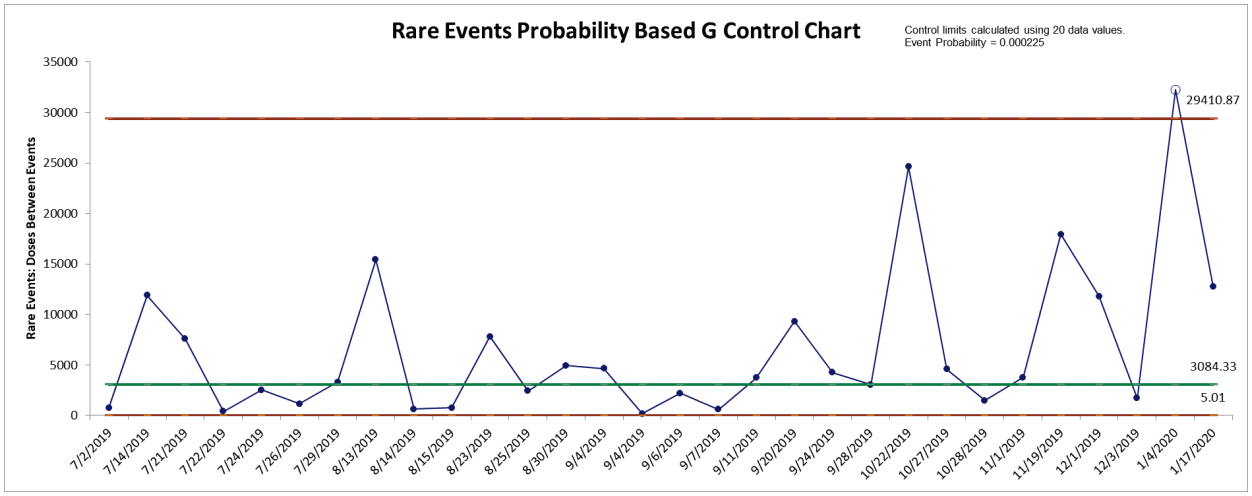
	A	B	C
1	Date ADE	Doses Between Events	Before/After Improvement
2	7/2/2019	758	Before
3	7/14/2019	11911	Before
4	7/21/2019	7593	Before
5	7/22/2019	398	Before
6	7/24/2019	2516	Before
7	7/26/2019	1147	Before
8	7/29/2019	3322	Before
9	8/13/2019	15414	Before
10	8/14/2019	626	Before
11	8/15/2019	752	Before
12	8/23/2019	7819	Before
13	8/25/2019	2445	Before
14	8/30/2019	4937	Before
15	9/4/2019	4663	Before
16	9/4/2019	175	Before
17	9/6/2019	2187	Before
18	9/7/2019	592	Before
19	9/11/2019	3721	Before
20	9/20/2019	9317	Before
21	9/24/2019	4269	Before
22	9/28/2019	3058	After
23	10/22/2019	24638	After
24	10/27/2019	4579	After
25	10/28/2019	1497	After
26	11/1/2019	3761	After
27	11/19/2019	17947	After
28	12/1/2019	11790	After
29	12/3/2019	1725	After
30	1/4/2020	32255	After
31	1/17/2020	12793	After

8. Pasar a la plantilla de la Carta G de Prob de Eventos Raros y Pegue los Valores a la celda **A22** como se muestra a continuación. Esto sobre escribirá las fórmulas de la columna B. Ajustar el ancho de la columna de la plantilla según sea necesario.

	A	B	C	D
1	Date ADE	Doses Between Events	Alpha UCL:	0.00135
2	7/2/2019	758	Event Probability:	
3	7/14/2019	11911		
4	7/21/2019	7593	Rare Events Prob G Chart	
5	7/22/2019	398		
6	7/24/2019	2516	Add Data	
7	7/26/2019	1147		
8	7/29/2019	3322		
9	8/13/2019	15414		
10	8/14/2019	626		
11	8/15/2019	752		
12	8/23/2019	7819		
13	8/25/2019	2445		
14	8/30/2019	4937		
15	9/4/2019	4663		
16	9/4/2019	175		
17	9/6/2019	2187		
18	9/7/2019	592		
19	9/11/2019	3721		
20	9/20/2019	9317		
21	9/24/2019	4269		
22	9/28/2019	3058		
23	10/22/2019	24638		
24	10/27/2019	4579		
25	10/28/2019	1497		
26	11/1/2019	3761		
27	11/19/2019	17947		
28	12/1/2019	11790		
29	12/3/2019	1725		
30	1/4/2020	32255		
31	1/17/2020	12793		

Notes:
1. This Rare I
2. You can re
3. Enter date
4. Alternative
5. Enter **Alpl**

9. Hacer click en el botón **Add Data** para agregar los nuevos datos de **Doses Between Events** a la Carta de Control G que se basa en las Probabilidades de Eventos Raros:



10. Esto confirma que el proceso está ahora “fuera de control”, así que los esfuerzos de mejora para disminuir la ocurrencia del ADE y aumentar la dosis intermedia han sido exitosos. Nótese que los límites de control deben ser recalculados sólo con los datos de "After Improvement" cuando se dispone de 20 puntos de datos.

Notas sobre la plantilla y Referencia:

1. Se debe usar esta plantilla de la Carta de Control G de Eventos Raros con días o unidades/oportunidades entre eventos raros (típicamente adversos).
2. Puede reemplazar los encabezados de las columnas **Date/Time** y **Days Between** con los encabezados que desee.
3. Introduzca la fecha en la columna **Date**. Los días intermedios se calculan automáticamente y se introducen en la columna **Days Between**. No se utiliza la celda **B2** en este caso.
4. Como una alternativa, puede introducir manualmente los datos en **Days/Units Between**. Nota: Esto sobrescribirá la fórmula de la celda.
5. Introduce el **LCS Alfa**, típicamente 0.00135, que corresponde a la probabilidad de una cola para el LCS en una clásica carta de control Shewhart con límites de sigma 3. Esto también se aplicará al LCI si es mayor que 0.
6. El cálculo de los límites de control se basa en la distribución geométrica. Event probability and alpha are used to compute the non-symmetrical limits. La probabilidad calculada del evento se anota en la carta de control.
7. Introduzca de forma opcional el histórico de la **Probabilidad del Evento.**
8. Hacer click en el botón de la **Rare Events Prob G Chart** para crear una carta de control. Esto sobrescribirá cualquier carta de control existente.
9. Después de que se haya creado la carta de control y se hayan introducido los datos con nuevas **Fechas o Días/Unidades Intermedias**, hacer click en el botón **Add Data** para agregar los datos a la carta existente. Se calcularán los límites de control con el uso de la probabilidad de evento de la carta original o la probabilidad especificada del evento.
10. Sólo debe utilizarse **Add Data** si hay por lo menos 20 observaciones en la carta original o se ha especificado el histórico de la Probabilidad del Evento.
11. Es deseable una señal de "fuera de control" por encima del LCS, que indique un aumento significativo de días o unidades/oportunidades entre los eventos raros adversos.
12. Referencia: Benneyan, J.C. (2001), "Performance of Number-Between g-Type Statistical Control Charts for Monitoring Adverse Events", *Health Care Management Science*, 4, pp. 319–336, Table 3.

Parte H – Plantillas de Cartas de Control: Ponderada en el Tiempo

Carta de Promedio Móvil Ponderado Exponencialmente (EWMA) - Introducción

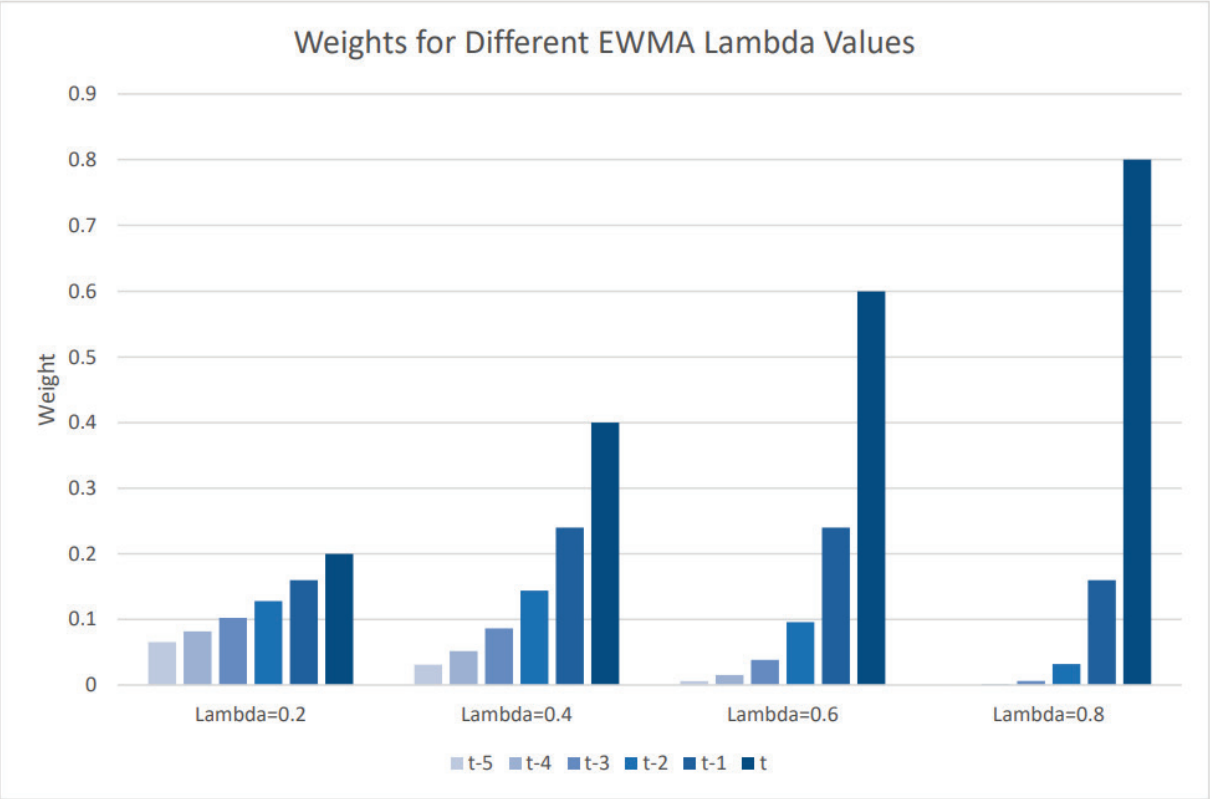
Las cartas de control EWMA utilizan promedios ponderados, en los que los pesos disminuyen exponencialmente a medida que las observaciones provienen de más lejos en el pasado con los pesos más pequeños asociados a las observaciones más antiguas.

La fórmula utilizada para la estadística de la EWMA es la siguiente:

$$\text{EWMA}_t = \lambda X_t + (1-\lambda)\text{EWMA}_{t-1}$$

con el valor inicial EWMA_0 que se estima como la media de los datos y el parámetro de suavizamiento λ el cual se especifica según las características de la longitud promedio de la corrida deseada (véase Calculador de Longitud Promedio de la Corrida (ARL)).

Los pesos para los diferentes valores λ se muestran en forma gráfica:



Los límites de control para una carta EWMA se calculan como:

$$\mathrm{LCS} = \mu_0 + K\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}[1-(1-\lambda)^{2t}]}$$

$$\mathrm{LC} = \mu_0$$

$$\mathrm{LCI} = \mu_0 - K\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}[1-(1-\lambda)^{2t}]}$$

donde se especifica μ_0 como la media histórica o se estima como:

$$\hat{\mu}_0 = \bar{x}$$

y se especifica σ como la desviación estándar histórica o se la estima como:

$$\hat{\sigma} = \overline{MR}/d_2\,.$$

Obsérvese, el multiplicador *K* se conoce como la *L e*n Montgomery (2013).

Carta de Promedio Móvil Ponderado Exponencialmente (EWMA) - Ejemplo

1. Hacer click en SigmaXL **> Templates & Calculators > Control Chart Templates > Time Weighted > EWMA**. Esta plantilla está localizada también en SigmaXL **> Control Charts > Control Chart Templates > Time Weighted > EWMA.**

2. Abrir **Montgomery Table 9.1.xlsx** (Pestaña de la **Hoja 1**). Estos datos simulados provienen de Montgomery, D.C. (2013), *Introduction to Statistical Quality Control*, Seventh Ed., Wiley, pp. 415. Table 9.1. Las muestras del 1 al 20 provienen de una distribución normal aleatoria con una media poblacional μ = 10 y la desviación estándar poblacional σ = 1. Las muestras del 21 al 30 tienen una media = 11 y desviación estándar = 1, así que el proceso se ha desplazado 1 sigma y está "fuera de control". Aunque se trata de un pequeño desplazamiento de la media del proceso, es algo que se desea poder detectar y corregir lo antes posible.

	A	B	C	D
1	Sample	X	Process Mean	Process StDev
2	1	9.45	10	1
3	2	7.99	10	1
4	3	9.29	10	1
5	4	11.66	10	1
6	5	12.16	10	1
7	6	10.18	10	1
8	7	8.04	10	1
9	8	11.46	10	1
10	9	9.2	10	1
11	10	10.34	10	1
12	11	9.03	10	1
13	12	11.47	10	1
14	13	10.51	10	1
15	14	9.4	10	1
16	15	10.08	10	1
17	16	9.37	10	1
18	17	10.62	10	1
19	18	10.31	10	1
20	19	8.52	10	1
21	20	10.84	10	1
22	21	10.9	11	1
23	22	9.33	11	1
24	23	12.29	11	1
25	24	11.5	11	1
26	25	10.6	11	1
27	26	11.08	11	1
28	27	10.38	11	1
29	28	11.62	11	1
30	29	11.31	11	1
31	30	10.52	11	1

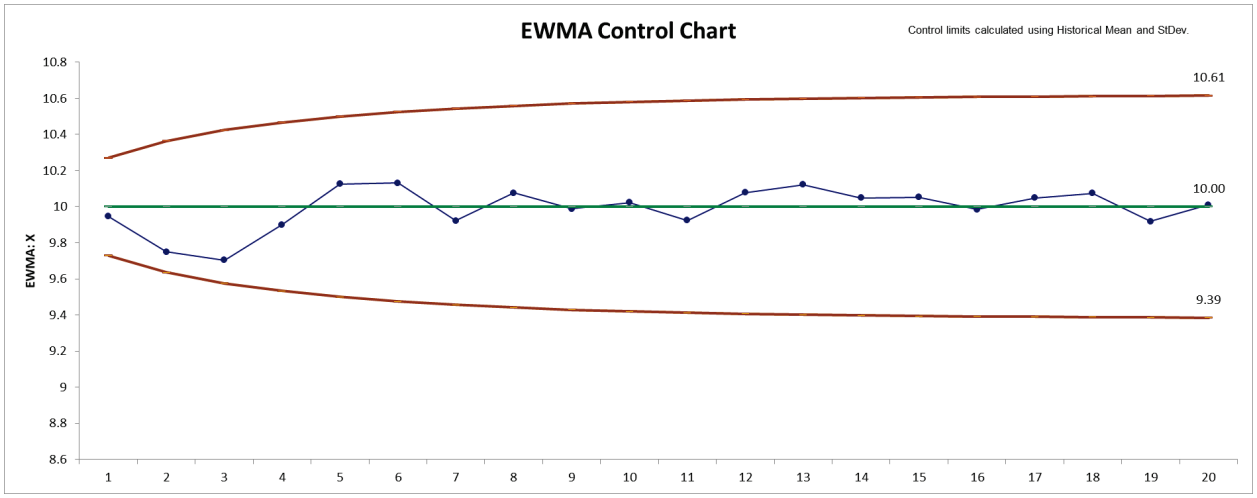
3. Copiar las celdas **A1:B21** y Pegue los Valores a la plantilla en **A1**. Use por defecto **Weight (Lambda)** = 0.1, **K** = 2.7. Especificar **Historical Mean** = 10 y **Historical StDev** = 1 como se muestra a continuación

	A	B	C	D
1	Sample	X	Weight (Lambda):	0.1
2	1	9.45	K:	2.7
3	2	7.99	Historical Mean:	10
4	3	9.29	Historical StDev:	1
5	4	11.66		
6	5	12.16		
7	6	10.18		
8	7	8.04		
9	8	11.46		
10	9	9.2		
11	10	10.34		
12	11	9.03		
13	12	11.47		
14	13	10.51		
15	14	9.4		
16	15	10.08		
17	16	9.37		
18	17	10.62		
19	18	10.31		
20	19	8.52		
21	20	10.84		
22				

EWMA Control Chart

Add Data

4. Hacer click en el botón **EWMA Control Chart** para crear la Carta de Control:



5. Esto confirma que el proceso está “en control”.

6. Volver a **Montgomery Table 9.1.xlsx** (Pestaña de la **Hoja 1**). Seleccionar y copiar las celdas **A22: B31** como se muestra a continuación. Estos son los datos con la media desplazada.

	A	B	C	D
1	Sample	X	Process Mean	Process StDev
2	1	9.45	10	1
3	2	7.99	10	1
4	3	9.29	10	1
5	4	11.66	10	1
6	5	12.16	10	1
7	6	10.18	10	1
8	7	8.04	10	1
9	8	11.46	10	1
10	9	9.2	10	1
11	10	10.34	10	1
12	11	9.03	10	1
13	12	11.47	10	1
14	13	10.51	10	1
15	14	9.4	10	1
16	15	10.08	10	1
17	16	9.37	10	1
18	17	10.62	10	1
19	18	10.31	10	1
20	19	8.52	10	1
21	20	10.84	10	1
22	21	10.9	11	1
23	22	9.33	11	1
24	23	12.29	11	1
25	24	11.5	11	1
26	25	10.6	11	1
27	26	11.08	11	1
28	27	10.38	11	1
29	28	11.62	11	1
30	29	11.31	11	1
31	30	10.52	11	1

7. Cambiar a la plantilla EWMA y Pegue los Valores a la celda **A22** como se muestra a continuación:

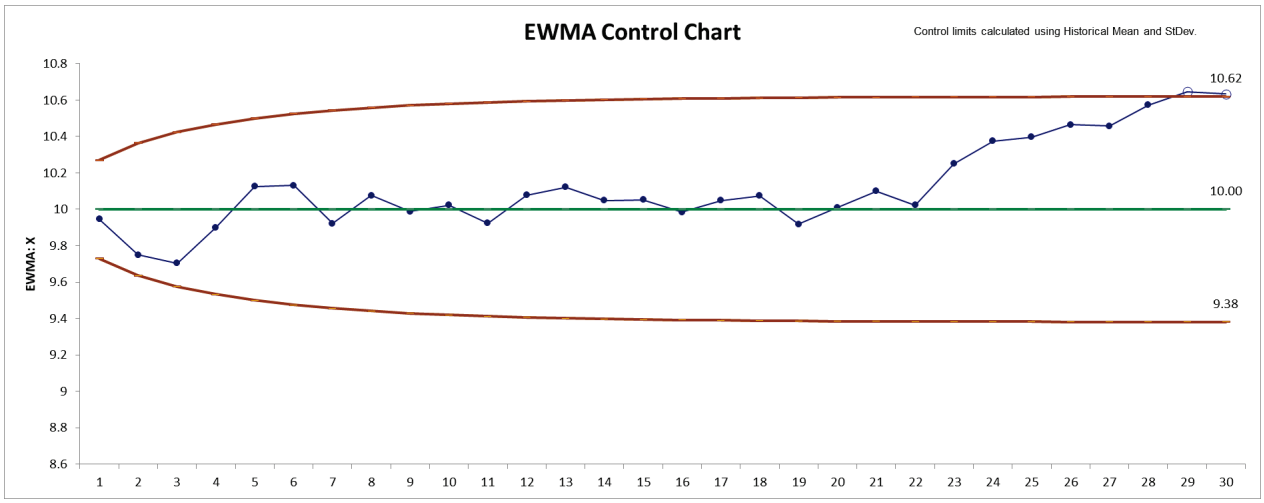
	A	B	C	D
1	Sample	X	Weight (Lambda):	0.1
2	1	9.45	K:	2.7
3	2	7.99	Historical Mean:	10
4	3	9.29	Historical StDev:	1
5	4	11.66		
6	5	12.16		
7	6	10.18		
8	7	8.04		
9	8	11.46		
10	9	9.2		
11	10	10.34		
12	11	9.03		
13	12	11.47		
14	13	10.51		
15	14	9.4		
16	15	10.08		
17	16	9.37		
18	17	10.62		
19	18	10.31		
20	19	8.52		
21	20	10.84		
22	21	10.9		
23	22	9.33		
24	23	12.29		
25	24	11.5		
26	25	10.6		
27	26	11.08		
28	27	10.38		
29	28	11.62		
30	29	11.31		
31	30	10.52		

EWMA Control Chart

Add Data

Notes:
1. This Exponer
2. You can repl
3. Enter labels i
4. Enter the EW
5. Enter the EW

8. Hacer click en el botón **Add Data** para agregar estos datos a la Carta de Control EWMA:



9. Esto confirma que el proceso está ahora "fuera de control" with señales en las muestras 29 y 30. Esto coincide con la Figura 9.7 en Montgomery.

Notas y Referencia sobre la Plantilla

1. Esta plantilla de Cartas de Control de Promedio Móvil Ponderado Exponencialmente (EWMA) se debe usar con datos continuos. Los datos deben estar en orden cronológico de secuencia de tiempo.

2. Puede reemplazar los encabezados de la **etiqueta del eje X** y la columna de **Datos** con los encabezados que desee. Introduzca sus datos en la columna **Datos**.

3. Introduzca las etiquetas en la columna de **etiquetas del eje X**. Las etiquetas pueden ser la Fecha, la Hora, el Nombre u otra información de texto. Estas etiquetas son opcionales y aparecerán en el eje X horizontal de la Carta de Control EWMA.

4. Introducir el peso EWMA **Weight (Lambda)** en la celda D1. Este es un valor entre 0 y 1 y controla la cantidad de influencia que las observaciones anteriores tienen en la estadística actual de EWMA. Un valor cercano a 1 pone casi todo el peso en la observación actual, haciéndola parecerse a una carta Shewhart. Para valores cercanos a 0, se aplica un pequeño peso a casi todas las observaciones anteriores, por lo que el rendimiento de la carta EWMA es similar al de una carta CUSUM

5. Introducir el multiplicador EWMA **K** Sigma en la celda D2. Este es un valor típicamente entre 2 y 4. También se denomina L, pero SigmaXL utiliza K para evitar la confusión con Lambda.

6. Los valores de la ponderación **Weight (Lambda)** y la **K** afectan a las características de la Longitud Promedio de Corrida (ARL). Para determinar los valores óptimos de los parámetros EWMA y calcular la ARL, hacer click en **SigmaXL > Templates and Calculators > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > EWMA ARL**.

7. La **media histórica** (D3) y la **DesvEst histórica** (D4) son opcionales. Introducir los valores si se conoce la media del proceso y la desviación estándar.

8. Hacer click en el botón **EWMA Control Chart** para crear una carta de control EWMA.

9. Después de que la carta de control ha sido creada y se han ingresado nuevos datos adicionales en la columna de **Data**, hacer click en el botón **Add Data** para agregar los datos a la carta existente. Se calcularán los límites de control con el uso de la media y desvest de la carta original o con la DesvEst Meta Objetivo e Histórica.

10. Se debe utilizar **Add Data** sólo si hay al menos 20 observaciones en la carta original, o si se han especificado la DesvEst Meta e Histórica.

11. Los parámetros de ponderación **Weight (Lambda)** y **K** son dinámicos. Si se modifican, la carta se actualizará automáticamente con los nuevos parámetros. Sin embargo, se deben seleccionar antes de crear la carta EWMA. Los valores de los datos y el formato fuera de control se actualizan sólo cuando se utilizan los botones.

12. Referencia: Montgomery, D.C. (2013), *Introduction to Statistical Quality Control*, Seventh Ed., Wiley, pp. 433-438.

Carta de Suma Acumulada Tabular (CUSUM) - Introducción

La carta CUSUM grafica las sumas acumuladas de las desviaciones de los valores de la muestra con respecto a un valor objetivo. Como combinan la información de varias muestras, las cartas de suma acumulada son más eficaces que las cartas Shewhart para detectar pequeños cambios en el proceso. Hay dos formas de representar los CUSUM: el CUSUM tabular (o algorítmico), y la forma de máscara en V del CUSUM (ver Montgomery, 2013). SigmaXL utiliza el CUSUM Tabular.

Las fórmulas que se emplean para las estadísticas del CUSUM Tabular son las siguientes:

$$C_1^+ = \max[0, x_t - (\mu_0 + k\sigma) + FIR\sigma]$$
$$C_1^- = \min[0, x_t - (\mu_0 - k\sigma) + FIR\sigma]$$

$$C_t^+ = \max[0, x_t - (\mu_0 + k\sigma) + C_{t-1}^+]$$
$$C_t^- = \min[0, x_t - (\mu_0 - k\sigma) + C_{t-1}^-]$$

de donde μ_0 se especifica como el Objetivo o se estima como:

$$\hat{\mu}_0 = \bar{x}$$

y se especifica σ como el histórico de la desviación estándar o se la estima como:

$$\hat{\sigma} = \overline{MR}/d_2$$

Y se especifican k y FIR.

k es el valor de referencia (o la holgura), lo típico es fijarlo en 0.5. Establece el tamaño del desplazamiento medio (2kσ) que se desea detectar rápidamente, por lo que 0,5 denota la detección rápida de un desplazamiento en la media = 1 σ.

El FIR es el valor opcional de respuesta inicial rápida (o headstart). Establece la estadística inicial de CUSUM para que mejore la sensibilidad a un desplazamiento de la media en el arranque.

Los límites de control del CUSUM tabular se calculan como:

$$\text{UCL} = h\sigma$$

$$\text{CL} = 0$$

$$\text{LCL} = -h\sigma$$

donde h es el intervalo de decisión, lo típico es fijarlo en 4 y hasta 5.

Si se utiliza el FIR, lo típico es fijarlo en h /2.

Carta de Suma Acumulada Tabular (CUSUM) - Ejemplo

1. Hacer click en **SigmaXL > Templates & Calculators > Control Chart Templates > Time Weighted > CUSUM**. Esta plantilla está localizada también en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Templates > Time Weighted > CUSUM.**

2. Abrir **Montgomery Table 9.1.xlsx** (Pestaña de la **Hoja 1**). Se trata de datos simulados de Montgomery, D.C. (2013), Introduction to Statistical Quality Control, Seventh Ed., Wiley, págs. 415. Cuadro 9.1. Las muestras 1 a 20 se extraen de una distribución normal aleatoria con la media de la población μ = 10 y la desviación estándar de la población σ = 1. Las muestras 21 a 30 tienen una media = 11 y una desviación estándar = 1, por lo que el proceso se ha desplazado 1 sigma y está "fuera de control". Aunque se trata de un pequeño cambio en la media del proceso, es algo que se desea poder detectar y corregir lo antes posible.

	A	B	C	D
1	Sample	X	Process Mean	Process StDev
2	1	9.45	10	1
3	2	7.99	10	1
4	3	9.29	10	1
5	4	11.66	10	1
6	5	12.16	10	1
7	6	10.18	10	1
8	7	8.04	10	1
9	8	11.46	10	1
10	9	9.2	10	1
11	10	10.34	10	1
12	11	9.03	10	1
13	12	11.47	10	1
14	13	10.51	10	1
15	14	9.4	10	1
16	15	10.08	10	1
17	16	9.37	10	1
18	17	10.62	10	1
19	18	10.31	10	1
20	19	8.52	10	1
21	20	10.84	10	1
22	21	10.9	11	1
23	22	9.33	11	1
24	23	12.29	11	1
25	24	11.5	11	1
26	25	10.6	11	1
27	26	11.08	11	1
28	27	10.38	11	1
29	28	11.62	11	1
30	29	11.31	11	1
31	30	10.52	11	1

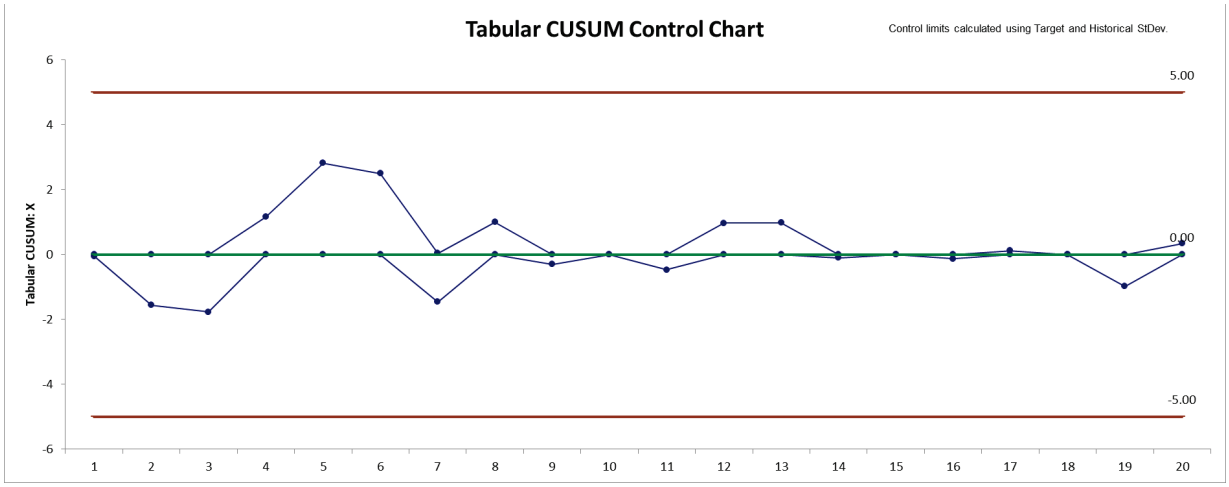
3. Copiar las celdas **A1:B21** y Pegue los Valores a la plantilla en **A1**. Use por defecto **k** = 0.5, **h** = 5, **FIR** = 0. Specify **Target** = 10 y **Historical StDev** = 1 como se muestra a continuación

	A	B	C	D
1	Sample	X	k:	0.5
2	1	9.45	h:	5
3	2	7.99	FIR:	0
4	3	9.29	Target:	10
5	4	11.66	Historical StDev:	1
6	5	12.16		
7	6	10.18		
8	7	8.04		
9	8	11.46		
10	9	9.2		
11	10	10.34		
12	11	9.03		
13	12	11.47		
14	13	10.51		
15	14	9.4		
16	15	10.08		
17	16	9.37		
18	17	10.62		
19	18	10.31		
20	19	8.52		
21	20	10.84		

Tabular CUSUM Chart

Add Data

4. Hacer click en el botón **Tabular CUSUM Chart** para crear la Carta de Control CUSUM Tabular:



5. Esto confirma que el proceso está “en control”.

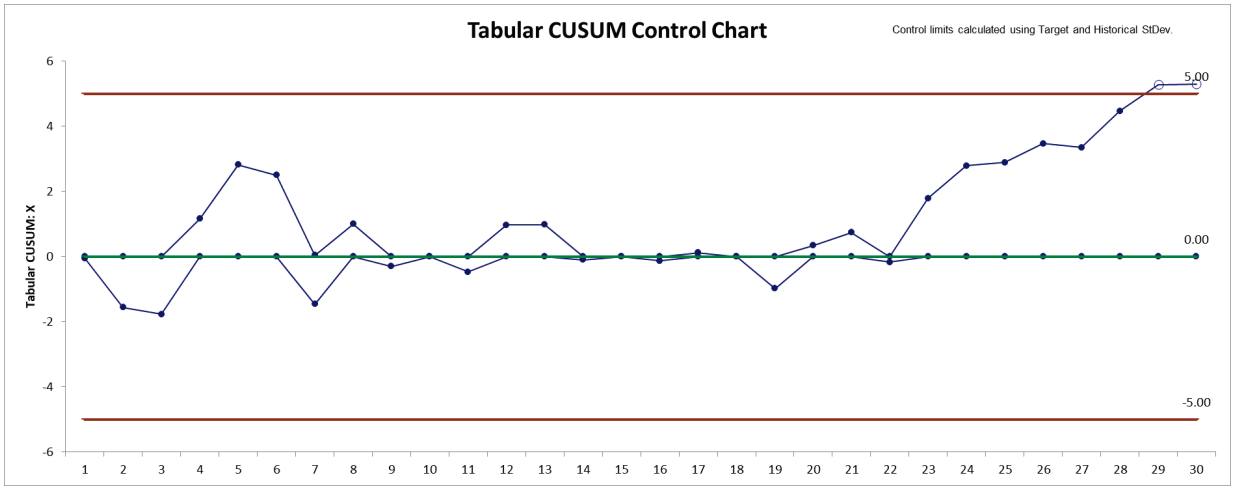
6. Regresar a **Montgomery Table 9.1.xlsx** (Pestaña de la **Hoja 1**). Seleccionar y copiar las celdas **A22: B31** como se muestra a continuación. Estos son los datos con la media desplazada.

	A	B	C	D
1	Sample	X	Process Mean	Process StDev
2	1	9.45	10	1
3	2	7.99	10	1
4	3	9.29	10	1
5	4	11.66	10	1
6	5	12.16	10	1
7	6	10.18	10	1
8	7	8.04	10	1
9	8	11.46	10	1
10	9	9.2	10	1
11	10	10.34	10	1
12	11	9.03	10	1
13	12	11.47	10	1
14	13	10.51	10	1
15	14	9.4	10	1
16	15	10.08	10	1
17	16	9.37	10	1
18	17	10.62	10	1
19	18	10.31	10	1
20	19	8.52	10	1
21	20	10.84	10	1
22	21	10.9	11	1
23	22	9.33	11	1
24	23	12.29	11	1
25	24	11.5	11	1
26	25	10.6	11	1
27	26	11.08	11	1
28	27	10.38	11	1
29	28	11.62	11	1
30	29	11.31	11	1
31	30	10.52	11	1

7. Volver a la plantilla CUSUM Tabular y Pegar los Valores a la celda **A22** como se muestra a continuación:

	A	B	C	D
1	Sample	X	k:	0.5
2	1	9.45	h:	5
3	2	7.99	FIR:	0
4	3	9.29	Target:	10
5	4	11.66	Historical StDev:	1
6	5	12.16		
7	6	10.18	Tabular CUSUM Chart	
8	7	8.04		
9	8	11.46	Add Data	
10	9	9.2		
11	10	10.34		
12	11	9.03		
13	12	11.47		
14	13	10.51		
15	14	9.4		
16	15	10.08		
17	16	9.37		
18	17	10.62		
19	18	10.31		
20	19	8.52		
21	20	10.84		
22	21	10.9		
23	22	9.33		
24	23	12.29		
25	24	11.5		
26	25	10.6	Notes:	
27	26	11.08	1. This Tabula	
28	27	10.38	2. You can re	
29	28	11.62	3. Enter label	
30	29	11.31	4. Enter the C	
31	30	10.52	5. Enter the C	

8. Hacer click en el botón **Add Data** para agregar estos datos a la Carta de Control CUSUM Tabular:



9. Esto confirma que el proceso está ahora "fuera de control" en las señales 29 y 30 de la muestra

Notas y Referencia sobre la Plantilla:

1. Se debe utilizar esta plantilla de Carta de Control de Suma Acumulada Tabular (CUSUM) con datos continuos. Los datos deben estar en orden cronológico de secuencia de tiempo.
2. Se pueden reemplazar los encabezados de la **etiqueta del eje X** y de la columna de **Datos** con los encabezados que se deseen. Introducir los datos en la columna **Datos**.
3. Introducir las etiquetas en la columna **Etiqueta del eje X**. Las etiquetas pueden ser Fecha, Hora, Nombre u otra información de texto. Estas etiquetas son opcionales y aparecerán en el eje X horizontal de la Carta de Control CUSUM.
4. Introducir el parámetro CUSUM **k** en la celda D1. Este es el valor de referencia (o de holgura), que normalmente se ajusta en 0.5. Se fija el tamaño del desplazamiento de la media (2k sigma) que se desea detectar rápidamente, por lo que 0.5 denota la detección rápida de un cambio en la media = 1 sigma.
5. Introducir el parámetro CUSUM **h** en la celda D2. Este es el intervalo de decisión, que se lo fija comúnmente en 4 o 5. Los límites de control superior e inferior = +/- h*StDev (MR-barra/d2). La línea central = 0.
6. Introducir el parámetro CUSUM **FIR** en la celda D3. Este es el valor de respuesta inicial rápida (o headstart), que por lo general se ajusta en h/2 si se usa, de lo contrario se ajusta a 0. Esto asigna la estadística inicial del CUSUM de manera que mejora la sensibilidad a un cambio de la media en el arranque.
7. Introducir opcionalmente la **Meta** del CUSUM en la celda D4. Este es su valor meta para el proceso, usualmente el punto medio de los límites de especificación o la media histórica. Si no especifica una Meta, se utilizará el promedio de los datos.
8. Introducir opcionalmente la **DesvEst Histórica** del CUSUM en la celda D5. Si no se especifica una DesvEst Histórica, se la estimará con el uso de MR-bar/d2.
9. Los parámetros **h**, **k** y **FIR** afectan a las características de la Longitud Promedio de Corrida (ARL). Por ejemplo, h=4 detectará un pequeño desplazamiento más rápido que h=5, pero tiene una longitud de corrida ARL(0) más corta (mayor tasa de falsas alarmas).
10. Para determinar los valores óptimos del parámetro CUSUM y calcular la ARL, hacer click en **SigmaXL > Templates and Calculators > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > CUSUM ARL.**
11. Hacer click en el botón **Tabular CUSUM Chart** para crear una Carta de Control CUSUM Tabular.
12. Después de que la carta de control ha sido creada y se han ingresado nuevos datos adicionales en la columna de **datos**, hacer click en el botón **Add Data** para agregar los datos a la carta existente. Se calcularán los límites de control con el uso de la media y desvest de la carta original o con la DesvEst Meta Objetivo e Histórica.
13. Se debe utilizar **Add Data** sólo si hay al menos 20 observaciones en la carta original, o si se han especificado la DesvEst Meta e Histórica.
14. Los parámetros **k**, **h** y **FIR** son dinámicos. Si se modifican, la carta se actualizará automáticamente con los nuevos parámetros. Sin embargo, se deben seleccionar antes de crear la carta CUSUM tabular. Los valores de los datos y el formato fuera de control se actualizan sólo cuando se utilizan los botones.

15. Referencia: Montgomery, D.C. (2013), *Introduction to Statistical Quality Control*, Seventh Ed., Wiley, pp. 418-427.

Parte I – Plantillas de Cartas de Control: Tendencia

Carta de Tendencia - Introducción

Se debe usar la plantilla de la Carta de Control para Tendencia con datos de tipo continuo. Los datos deben estar en orden cronológico de secuencia temporal y tener una tendencia lineal positiva o negativa consistente que sea inherente al proceso. Esto también se conoce como una carta de control de desgaste de herramientas.

La línea central (CL) es la ecuación de regresión lineal. La desviación estándar se estima usando MR-barra/1.128 de los residuos de la regresión.

Nótese que el error de estimación del modelo de regresión no está incluido en el cálculo de los límites de control. El R cuadrado debe ser al menos el 50%, preferiblemente mayor que el 80%.

Las fórmulas de los límites de control de tendencia se dan en Provost L, Murray S., *The Health Care Data Guide: Learning from Data for Improvement*. San Francisco: Jossey-Bass, 2011, p. 254.

Alternativamente, se puede construir una Tabla de Individuales regular sobre los residuos del modelo de regresión.

Carta de Tendencia - Ejemplo

1. Hacer click en SigmaXL **> Templates & Calculators > Control Chart Templates > Trend**. Esta plantilla está localizada también en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Templates > Trend.**

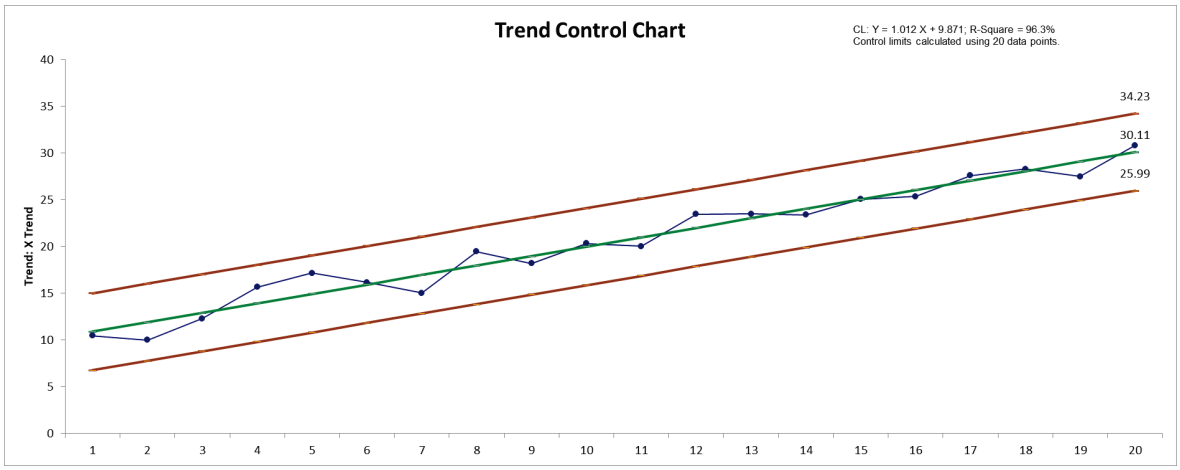
2. Abrir **Trend Chart Example.xlsx** (Pestaña de la **Hoja 1**). Se utilizarán las muestras 1 a 20 para construir la Carta de Control de Tendencia y luego se añadirán las muestras 21 a 30 a esta carta.

	A	B
1	Sample	X Trend
2	1	10.45
3	2	9.99
4	3	12.29
5	4	15.66
6	5	17.16
7	6	16.18
8	7	15.04
9	8	19.46
10	9	18.2
11	10	20.34
12	11	20.03
13	12	23.47
14	13	23.51
15	14	23.4
16	15	25.08
17	16	25.37
18	17	27.62
19	18	28.31
20	19	27.52
21	20	30.84
22	21	34.4
23	22	33.83
24	23	37.79
25	24	38
26	25	38.1
27	26	39.58
28	27	39.88
29	28	42.12
30	29	42.81
31	30	43.02

3. Copiar los datos en las celdas **A1:B21** y Pegue los Valores a la plantilla en **A1**.

	A	B	C	D
1	Sample	X Trend		
2	1	10.45		
3	2	9.99		
4	3	12.29		
5	4	15.66		
6	5	17.16		
7	6	16.18	Trend Control Chart	
8	7	15.04		
9	8	19.46	Add Data	
10	9	18.2		
11	10	20.34		
12	11	20.03		
13	12	23.47		
14	13	23.51		
15	14	23.4		
16	15	25.08		
17	16	25.37		
18	17	27.62		
19	18	28.31		
20	19	27.52		
21	20	30.84		

4. Hacer click en el botón **Trend Control Chart** para crear la Carta de Control de Tendencia:

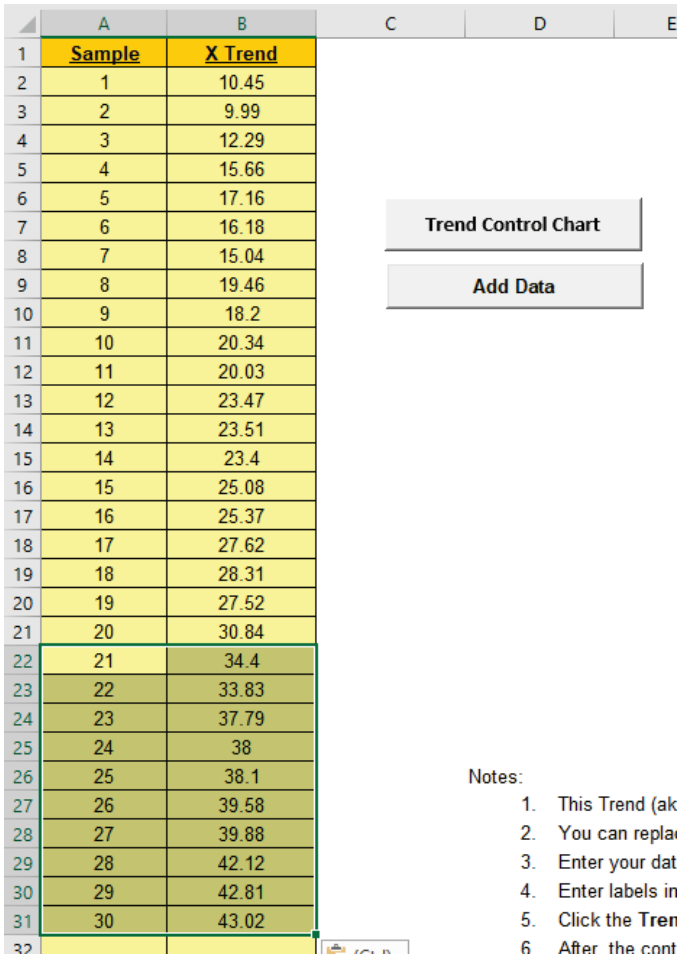


5. Esto confirma que el proceso está "en control" después de tener en cuenta la tendencia. Se informa sobre la ecuación de regresión y el R-Cuadrado, con el R-Cuadrado = 96,3% muy por encima del 80% recomendado.

6. Retornar a **Trend Chart Example** (Pestaña de la **Hoja 1**). Seleccionar y copiar los datos en **A22: B31** como se muestra a continuación:

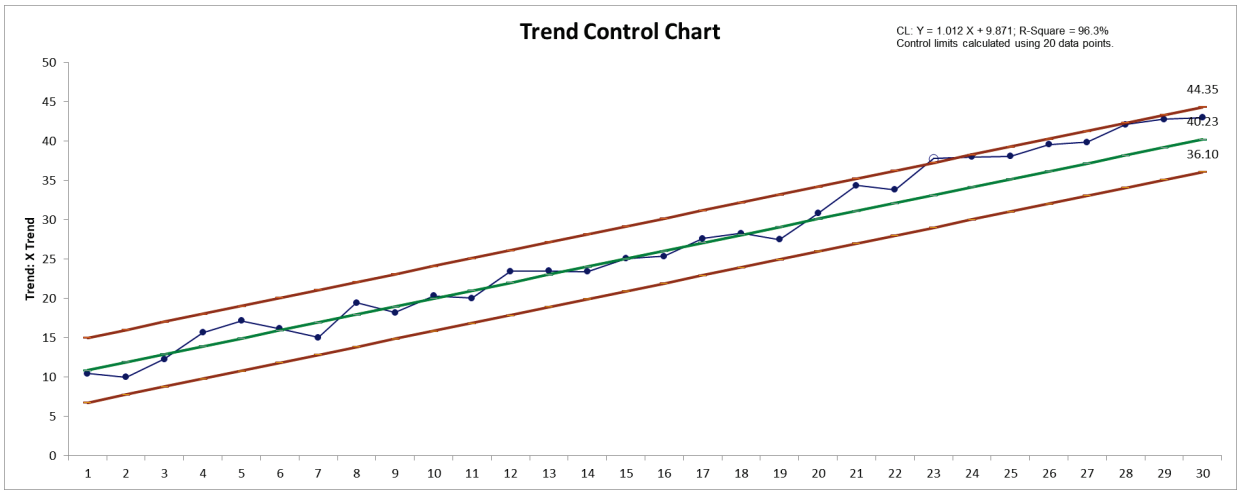
	A	B
1	Sample	X Trend
2	1	10.45
3	2	9.99
4	3	12.29
5	4	15.66
6	5	17.16
7	6	16.18
8	7	15.04
9	8	19.46
10	9	18.2
11	10	20.34
12	11	20.03
13	12	23.47
14	13	23.51
15	14	23.4
16	15	25.08
17	16	25.37
18	17	27.62
19	18	28.31
20	19	27.52
21	20	30.84
22	21	34.4
23	22	33.83
24	23	37.79
25	24	38
26	25	38.1
27	26	39.58
28	27	39.88
29	28	42.12
30	29	42.81
31	30	43.02

7. Volver a la plantilla de la Carta de Tendencia y Pegar los Valores a la celda **A23** como se muestra a continuación:



Sample	X Trend
1	10.45
2	9.99
3	12.29
4	15.66
5	17.16
6	16.18
7	15.04
8	19.46
9	18.2
10	20.34
11	20.03
12	23.47
13	23.51
14	23.4
15	25.08
16	25.37
17	27.62
18	28.31
19	27.52
20	30.84
21	34.4
22	33.83
23	37.79
24	38
25	38.1
26	39.58
27	39.88
28	42.12
29	42.81
30	43.02

8. Hacer click en el botón **Add Data** para agregar nuevos datos a la Carta de Control de Tendencia:



9. Esto confirma que el proceso está ahora "fuera de control", de tal forma que se requiere una acción correctiva para encontrar y remover la causa atribuible.

Notas y Referencia sobre la Plantilla:

1. Se debe usar esta plantilla de Carta de Control de Tendencias (también conocida como Toolwear) con datos continuos. Los datos deben estar en orden cronológico de secuencia de tiempo y tener una tendencia lineal positiva o negativa consistente que sea inherente al proceso.
2. Se puede reemplazar los encabezados de la **X-Axis Label** y la columna de **Data** con los encabezados que desee.
3. Introducir los datos en la columna de **Data**.
4. Introducir las etiquetas en la columna **Etiqueta del eje X**. Las etiquetas pueden ser Fecha, Hora, Nombre u otra información de texto. Estas etiquetas son opcionales y aparecerán en el eje X horizontal de la Carta de Control de Tendencias.
5. Hacer click en el botón **Trend Control Chart** para crear una Carta de Control de Tendencia.
6. Después de que la carta de control ha sido creada y se han ingresado nuevos datos adicionales en la columna de **Datos**, Hacer click en el botón **Add Data** para agregar los datos a la carta existente. Se calcularán los límites de control con el uso de la pendiente, intercepto y la desviación estándar de la carta original.
7. **Add Data** sólo debe utilizarse si hay al menos 20 observaciones en la carta original.
8. La línea central (LC) es la ecuación de regresión lineal. La desviación estándar se estima con el uso de MR-barra/1.128 de los residuos de la regresión.
9. Observe que el error de estimación del modelo de regresión no está incluido en el cálculo de los límites de control. El R-cuadrado debe ser al menos el 50%, preferiblemente mayor que el 80%.
10. Referencia: Trend control limit formulas are given in Provost L, Murray S., *The Health Care Data Guide: Learning from Data for Improvement*. San Francisco: Jossey-Bass, 2011, p. 254.

Parte J – Plantillas de Cartas de Control: Calculadoras de la Longitud Promedio de Corrida (ARL)

Longitud Promedio de Corrida (ARL) - Introducción

Las características de la Longitud Promedio de Corrida (ARL) son muy útiles para comparar el rendimiento de las cartas de control y determinar los ajustes óptimos de los parámetros de las cartas de control con ponderación de tiempo EWMA y CUSUM.

El valor ARL para un desplazamiento sigma en la media = 0 sigma es la longitud promedio de la corrida "en control" y se denota como ARL_0. La ARL_0 es $1/\alpha$, donde α es la probabilidad de falsa alarma de tipo I, por lo que debe ser lo más grande posible al minimizar la probabilidad de que una señal fuera de control sea una falsa alarma. En una carta de control de individuales de Shewhart, $ARL_0 = 1/\alpha = 1/ (0{,}00135*2) = 370{,}4$. En promedio, se presentará una falsa alarma una vez cada 370 observaciones. Nótese que esta es una media de una distribución geométrica, por lo que en la práctica la ARL_0 real variará ampliamente con la desviación estándar aproximadamente igual al valor medio.

Cuando se tiene un desplazamiento sostenido de la media > 0, el valor ARL es la longitud promedio de corrida "fuera de control" y se denota como ARL_1. La $ARL_1 = 1/(1-\beta)$, donde β es la probabilidad de pérdida de tipo II y $(1-\beta)$ es la potencia de detección. Esta debería ser tan pequeña como sea posible para que un desplazamiento en la media del proceso sea detectado rápidamente.

Los cálculos para la ARL son bastante complejos, y requieren una aproximación exacta de la cadena de Markov o una simulación de Monte Carlo para resolverlos. Las plantillas ARL de SigmaXL se encargan de estos cálculos y son fáciles de usar. Si se utiliza la simulación de Monte Carlo, se reportan las estadísticas adicionales de desviación estándar y percentil de la longitud de corrida. Los resultados de Monte Carlo tomarán algo de tiempo y variarán ligeramente cada vez que se corren. Con 1000 (1e3) réplicas será rápido, aproximadamente 10 segundos, pero tendrá un error ARL_0 de aproximadamente +/- 10%; 10.000 (1e4) réplicas tomarán alrededor de un minuto, con un error ARL_0 de +/- 3,2%; 100.000 (1e5) réplicas tomarán alrededor de diez minutos, con un error de ARL_0 = +/- 1%. Más de 1e5 réplicas consumirán mucho tiempo y pueden surgir limitaciones en la memoria, por lo que no se recomienda.

Cuando se utilizan cartas EWMA o CUSUM, por lo general se fijan parámetros para minimizar el ARL_1 para obtener una detección rápida para un pequeño desplazamiento en la media de 1 sigma. Las cartas Shewhart se usan normalmente cuando se intenta detectar rápidamente un gran desplazamiento en la media de >= 3 sigma. Se pueden utilizar pruebas para causas especiales con Shewhart para mejorar el rendimiento del pequeño desplazamiento, pero proporcionan un rendimiento pobre de la ARL_0, lo que resulta en frecuentes falsas alarmas.

Los subgrupos mejoran el rendimiento de los pequeños desplazamientos de una carta Shewhart sin afectar la tasa de ARL_0 y, si es posible, se deben utilizar. La ARL para los promedios de los subgrupos se ajusta usando el valor sigma de los promedios, sigma/√n. Por ejemplo, con un tamaño de subgrupo de 4, los valores de la ARL_1 en el desplazamiento en la media = 1 coincidirán con el rendimiento de la ARL de una carta de individuales con un desplazamiento en la media = 2 sigma.

Nótese que los subgrupos para CUSUM y EWMA no están disponibles en SigmaXL.

El problema de la robustez frente a la anormalidad también puede considerarse utilizando la familia Pearson para especificar cualquier valor de asimetría y curtosis y estimar las ARL. Para mayores detalles, véase el **Apéndice: la Familia de Distribuciones Pearson**.

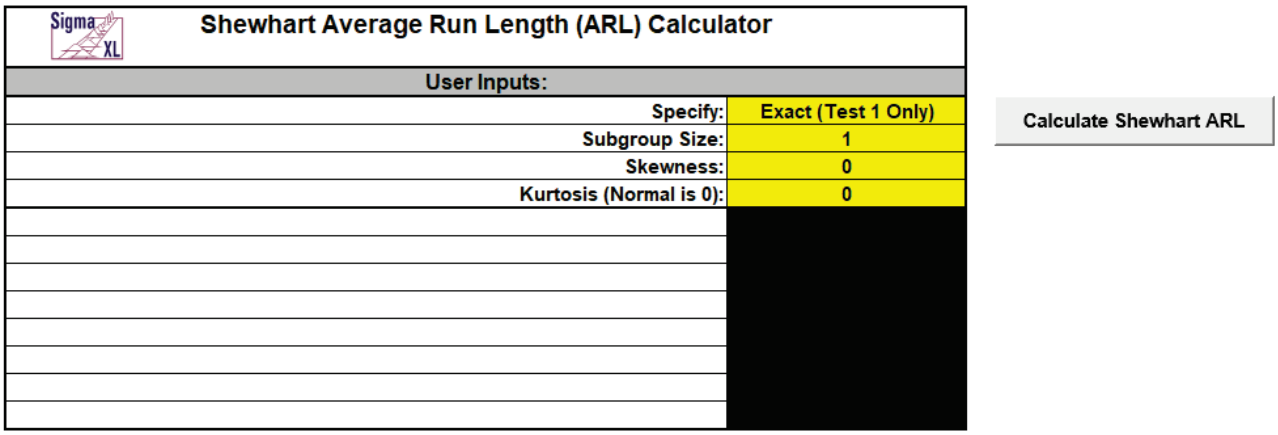
Las calculadoras de longitud promedio de corrida son para cartas de dos colas con estado cero, es decir, se supone que el desplazamiento se produce al inicio. También se supone que se conocen los parámetros (media, desviación estándar y proporción). Es probable que esto no sea así en el uso, pero sigue siendo útil para determinar los ajustes de los parámetros y la comparación de la ARL entre los distintos tipos de cartas.

Debido a la complejidad de los cálculos, SigmaXL debe cargarse y aparecer en el menú para que las plantillas de ARL funcionen. No añada ni elimine filas o columnas en estas plantillas.

ARL de Shewhart

1. Hacer click en **SigmaXL > Templates & Calculators > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > Shewhart ARL**. Esta plantilla está localizada también en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > Shewhart ARL**.

2. Los ajustes por defecto de la plantilla son **Specify** = *Exact (Sólo la Prueba 1)*, **Subgroup Size** = 1, **Skewness** = 0, **Kurtosis (la de la Normal es 0)** = 0.

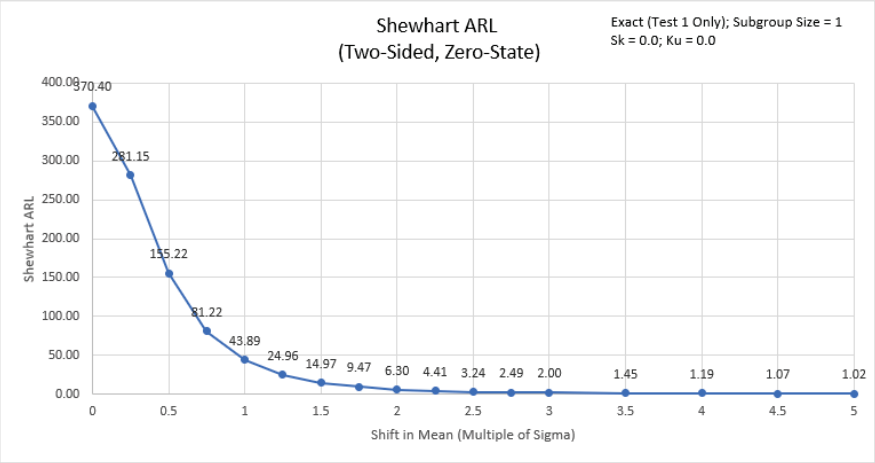


Notas: Especificar Exacto (Sólo la Prueba 1) o Monte Carlo usando la lista desplegable. Los parámetros que se especifiquen se mostrarán en amarillo, de lo contrario se ocultarán. "Exact" utiliza la función de distribución normal o acumulativa de Pearson y es rápida. La simulación de Monte Carlo permite evaluar el rendimiento ARL de las 8 Pruebas para Causas Especiales. La prueba 1 - 1 que señala más de 3 desviaciones estándar de la línea central (CL) se aplica siempre. La simulación de Monte Carlo también genera la tabla de Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y Percentiles (desplácese a la derecha para ver). Ambos métodos permiten evaluar la robustez a la no normalidad.

Todos los cálculos de la ARL para Shewhart usan una media estandarizada en el control=0 y sigma=1.

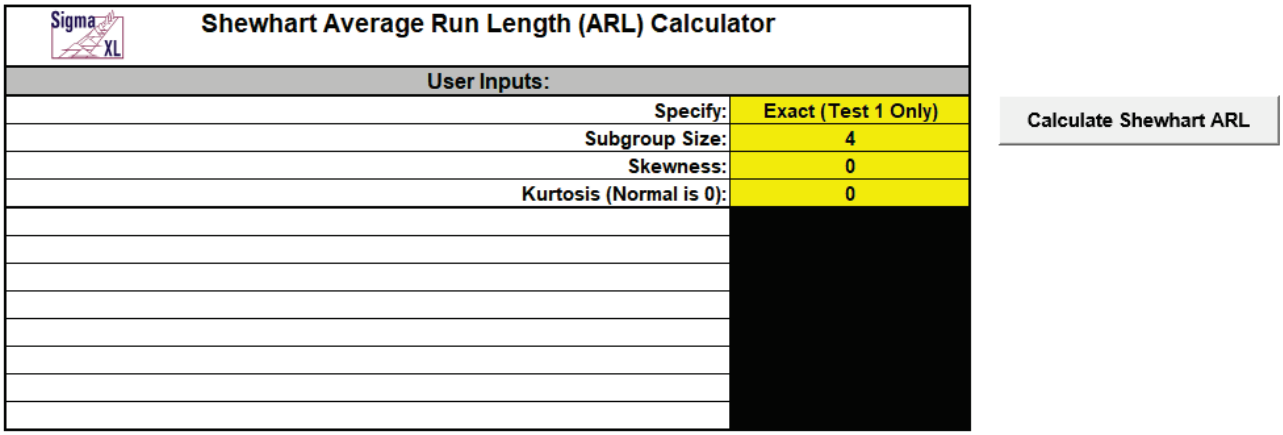
3. Hacer click en el botón **Calculate Shewhart ARL** para reproducir la tabla ARL y la carta.

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	Shewhart ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	370.40
0.25	281.15
0.5	155.22
0.75	81.22
1	43.89
1.25	24.96
1.5	14.97
1.75	9.47
2	6.30
2.25	4.41
2.5	3.24
2.75	2.49
3	2.00
3.5	1.45
4	1.19
4.5	1.07
5	1.02



Como se discutió en la introducción, el ARL_0 (ARL en control con un desplazamiento 0 en la media) para la e Shewhart es 370.4. El ARL_1 para un pequeño desplazamiento de 1 sigma en la media es 43.89, por lo que es lento de detectar. Por otro lado, un gran desplazamiento de 3 sigma en la media tiene un ARL = 2.0, por lo que se detecta rápidamente.

4. Se evaluará ahora la ARL para una carta de X-barras de Shewhart. Seleccionar **Specify** = *Exact (Sólo la Prueba 1)*. Introducir **Subgroup Size** = 4, **Skewness** = 0, **Kurtosis (la de la Normal is 0)** = 0.

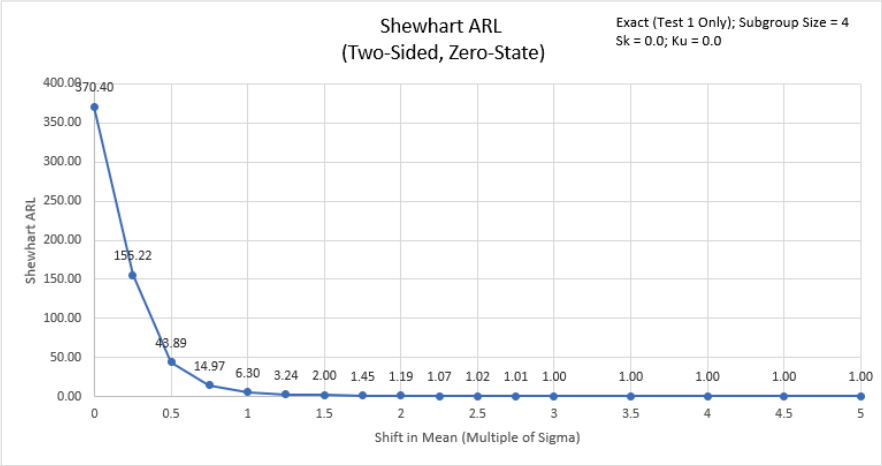


Shewhart Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	Exact (Test 1 Only)
Subgroup Size:	4
Skewness:	0
Kurtosis (Normal is 0):	0

Calculate Shewhart ARL

5. Hacer click en el botón **Calculate Shewhart ARL** para generar la tabla ARL y la carta para estos ajustes:

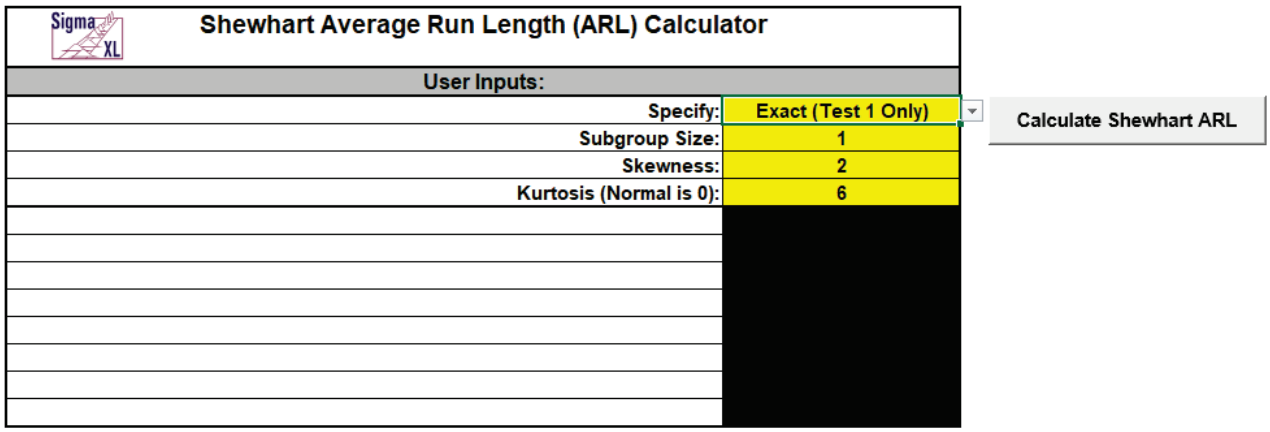
Shift in Mean (Multiple of Sigma)	Shewhart ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	370.40
0.25	155.22
0.5	43.89
0.75	14.97
1	6.30
1.25	3.24
1.5	2.00
1.75	1.45
2	1.19
2.25	1.07
2.5	1.02
2.75	1.01
3	1.00
3.5	1.00
4	1.00
4.5	1.00
5	1.00



La ARL_0 para la carta X-barra de Shewhart es la misma que la carta de individuales, 370.4. El ARL_1 para un pequeño desplazamiento de 1 sigma en la media es 6.3, por lo que es mucho más rápido de detectar que el ARL_1 de Individuales de 43.89, por lo que, si es posible, siempre se debe utilizar los subgrupos.

Nota: La ARL para los promedios de los subgrupos se ajusta usando el valor sigma de los promedios, sigma/√n. Por ejemplo, con un tamaño de subgrupo de 4, los valores de la ARL_1 en el desplazamiento de la media = 1 coincidirán con el rendimiento de la ARL de una carta de individuales con un desplazamiento en la media = 2 sigma.

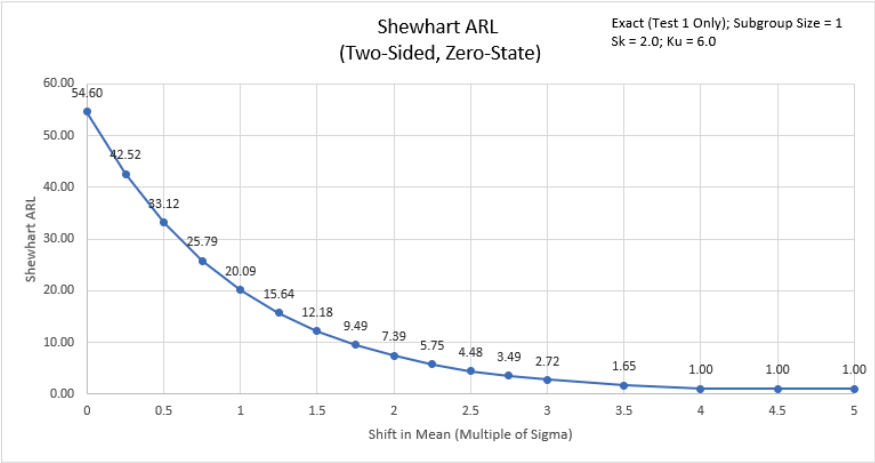
6. Se evaluará ahora la robustez a la no normalidad. Introducir **Specify** = *Exact (Sólo Prueba 1)*, **Subgroup Size** = 1, **Skewness** = 2, **Kurtosis (la de la Normal es 0)** = 6.



Nota: Se está especificando un grado severo de asimetría (Asimetría = 0.5 es leve, 1 es moderado, 2 es severo, y > 2 es muy severo). La familia Pearson se utiliza para crear una distribución que coincida con la asimetría y la curtosis especificadas. La Asimetría = 2 y la Curtosis = 6 corresponde a una distribución Exponencial o distribución Gamma con parámetros de Forma = 1 y Escala = 1 (para la Gamma, Asimetría = $2/\sqrt{Shape}$ y Curtosis = $6/Shape$).

7. Hacer click en el botón **Calculate Shewhart ARL** para generar la tabla y la carta de la ARL para estos ajustes:

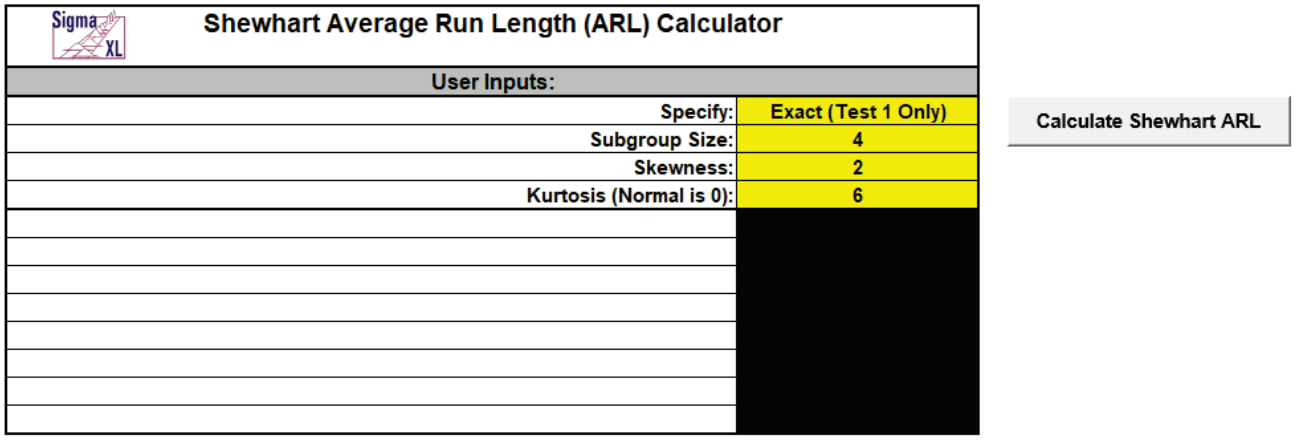
Shift in Mean (Multiple of Sigma)	Shewhart ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	54.60
0.25	42.52
0.5	33.12
0.75	25.79
1	20.09
1.25	15.64
1.5	12.18
1.75	9.49
2	7.39
2.25	5.75
2.5	4.48
2.75	3.49
3	2.72
3.5	1.65
4	1.00
4.5	1.00
5	1.00



La ARL_0 con estos ajustes es de 54.6. Este es un rendimiento muy pobre con un aumento de 6.8 x (370.4/54.6) en falsas alarmas en comparación con los datos normales. La carta de Individuales de Shewhart no es robusta frente a un sesgo severo. Se debe utilizar una Transformación de Box-Cox u otra carta de Individuales no normal (véase **SigmaXL > Control Charts > Nonnormal > Individuals Nonnormal**).

Nota: La ARL_0 = 54.6 coincide con el resultado obtenido en Montgomery [2], Tabla 9.12 de Gam (1,1).

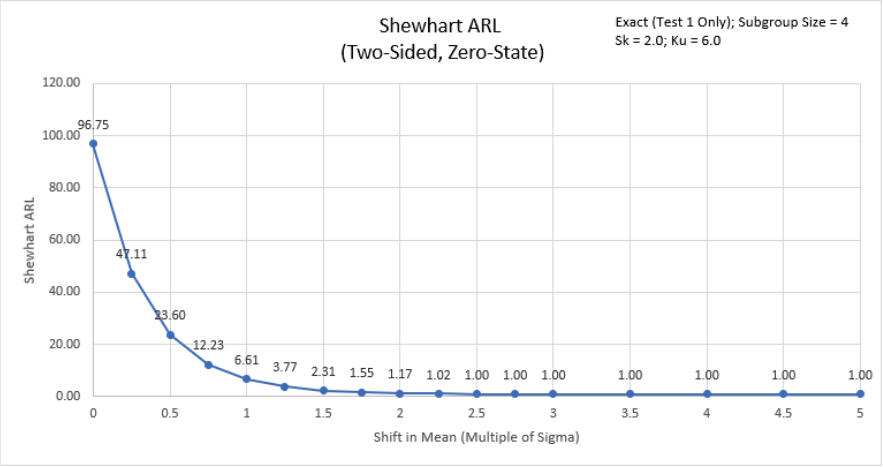
8. A continuación, se evaluará la robustez a la no normalidad para una carta de X-barra de Shewhart. Introducir **Specify** = *Exact (Test 1 Only)*, **Subgroup Size** = 4, **Skewness** = 2, **Kurtosis (Normal is 0)** = 6.



Nota: Sesgo de promedios = $Asimetría/\sqrt{n}$. Curtosis de promedios = $Curtosis/n$. Para un subgrupo de 4, la asimetría de los promedios es de 1, por lo que se reduce de severo a moderado. La curtosis de los promedios es 1.5 (correspondiente a una distribución Gamma con forma = 4).

9. Hacer click en el botón **Calculate Shewhart ARL** para generar la tabla y la carta de la ARL para estos ajustes:

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	Shewhart ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	96.75
0.25	47.11
0.5	23.60
0.75	12.23
1	6.61
1.25	3.77
1.5	2.31
1.75	1.55
2	1.17
2.25	1.02
2.5	1.00
2.75	1.00
3	1.00
3.5	1.00
4	1.00
4.5	1.00
5	1.00



La ARL_0 con estos ajustes es de 96.75. Esto es una mejora sobre los Individuales de 54.6, pero sigue siendo un aumento de 3.8 veces (370.4/96.75) en falsas alarmas en comparación con los datos normales.

Nota: La ARL_0 = 96.75 coincide con los resultados que se obtuvieron en Schilling & Nelson [3] (Tabla 1, Gamma, forma = 1, n=4), =1/.01034. En la Tabla 2, ellos señalan que se requeriría un tamaño de subgrupo de 166 para alcanzar la robustez frente a este sesgo severo.

10. A continuación, se utilizará la simulación de Monte Carlo para obtener la aproximación de la desviación estándar de la Longitud de Corrida y los percentiles para una carta Shewhart de Individuales con datos normales. Introducir **Specify** = *Monte Carlo*, **Subgroup Size** = 1, **Skewness** = 0, **Kurtosis (la de la Normal es 0)** = 0, **Number of Replications** = 1e4, and **Test 2** to **Test 8** = *N/A*.

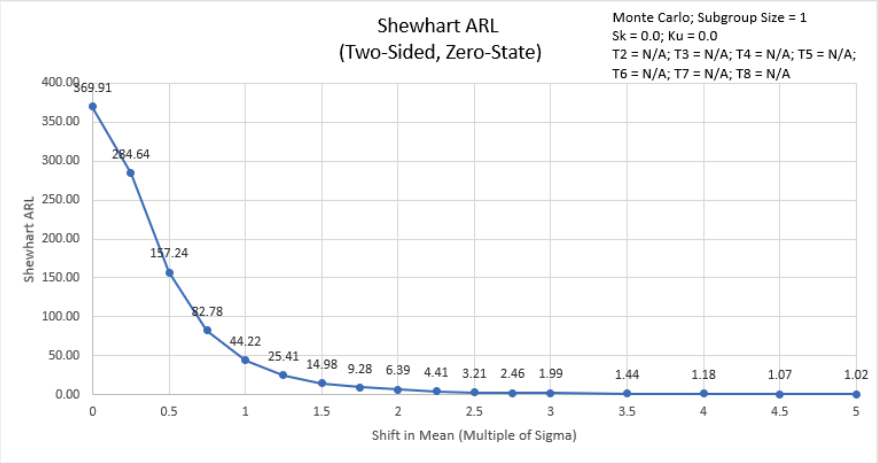
Shewhart Average Run Length (ARL) Calculator

User Inputs:	
Specify:	Monte Carlo
Subgroup Size:	1
Skewness:	0
Kurtosis (Normal is 0):	0
Number of Replications:	1.00E+04
Test 2 - points in a row on same side of CL:	N/A
Test 3 - points in a row all increasing or decreasing:	N/A
Test 4 - points in a row alternating up and down:	N/A
Test 5 - points more than 2 standard deviations from CL (same side):	N/A
Test 6 - points more than 1 standard deviation from CL (same side):	N/A
Test 7 - points in a row within 1 standard deviation from CL (either side):	N/A
Test 8 - points in a row more than 1 standard deviation from CL (either side):	N/A

Calculate Shewhart ARL

11. Hacer click en el botón **Calculate Shewhart ARL** para generar la aproximación de la tabla de la ARL, la carta de la ARL y la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles (desplazarse a la derecha para ver). Tomará alrededor de un minuto la simulación de Monte Carlo con 10000 (1e4) réplicas.

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	Shewhart ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	369.91
0.25	284.64
0.5	157.24
0.75	82.78
1	44.22
1.25	25.41
1.5	14.98
1.75	9.28
2	6.39
2.25	4.41
2.5	3.21
2.75	2.46
3	1.99
3.5	1.44
4	1.18
4.5	1.07
5	1.02



	Monte Carlo Simulation Run Length Standard Deviation and Percentiles (Two-Sided, Zero-State)									
Shift in Mean (Multiple of Sigma)	Standard Deviation	1	5th	10th	25th	50th (Median)	75th	90th	95th	99th
0	370.23	5	19	37	105	257	515	863	1106	1738
0.25	284.79	4	16	30	82	199	391	664	851	1274
0.5	157.51	2	9	17	45	111	216	357	469	737
0.75	83.00	1	4	9	24	58	113	190	247	393
1	43.44	1	3	5	13	31	61	101	132	202
1.25	24.89	1	2	3	8	18	35	58	75	114
1.5	14.36	1	1	2	5	11	20	34	44	67
1.75	8.86	1	1	1	3	7	13	20	27	41
2	5.70	1	1	1	2	5	9	14	18	26
2.25	3.97	1	1	1	2	3	6	10	12	19
2.5	2.67	1	1	1	1	2	4	7	8	13
2.75	1.89	1	1	1	1	2	3	5	6	9
3	1.40	1	1	1	1	1	2	4	5	7
3.5	0.79	1	1	1	1	1	2	2	3	4
4	0.47	1	1	1	1	1	1	2	2	3
4.5	0.29	1	1	1	1	1	1	1	2	2
5	0.16	1	1	1	1	1	1	1	1	2

Las estadísticas adicionales de la longitud de corrida muestran la gran variación de los valores de longitud de corrida. La mediana de la MRL_0 = 257 (longitud mediana de corrida en el control con un cambio de 0 en la media del proceso). Los percentiles de longitud de corrida coinciden aproximadamente con aquellos en Chakraborti [4] (Table 1, Standards Known, Shift 0.0).

Nota: Los resultados variarán ligeramente ya que se trata de una simulación de Monte Carlo.

12. A continuación, se utilizará la simulación de Monte Carlo para evaluar la carta de Individuales de Shewhart con la aplicación de las 8 Pruebas para Causas Especiales. Introducir **Specify** = *Monte Carlo*, **Subgroup Size** = 1, **Skewness** = 0, **Kurtosis (Normal is 0)** = 0, **Number of Replications** = 1e4, **Test 2** = 9, **Test 3** = 6, **Test 4** = 14, **Test 5** = 2 out of 3, **Test 6** = 4 out of 5, **Test 7** = 15 and **Test 8** = 8.

Shewhart Average Run Length (ARL) Calculator

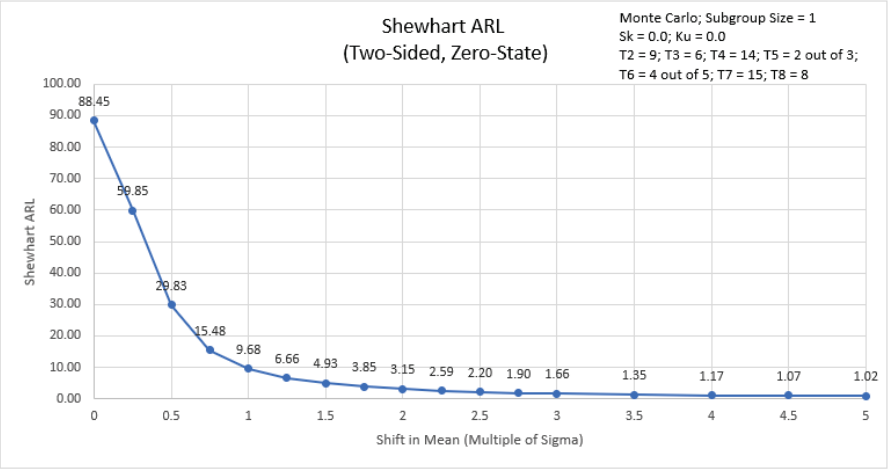
User Inputs:	
Specify:	Monte Carlo
Subgroup Size:	1
Skewness:	0
Kurtosis (Normal is 0):	0
Number of Replications:	1.00E+04
Test 2 - points in a row on same side of CL:	9
Test 3 - points in a row all increasing or decreasing:	6
Test 4 - points in a row alternating up and down:	14
Test 5 - points more than 2 standard deviations from CL (same side):	2 out of 3
Test 6 - points more than 1 standard deviation from CL (same side):	4 out of 5
Test 7 - points in a row within 1 standard deviation from CL (either side):	15
Test 8 - points in a row more than 1 standard deviation from CL (either side):	8

Calculate Shewhart ARL

Nota: Estos son los ajustes por defecto de las pruebas en **SigmaXL > Control Charts > 'Tests for Special Causes' Defaults**. Siempre se aplica la Prueba 1.

13. Hacer click en el botón **Calculate Shewhart ARL** para generar la aproximación de la tabla de la ARL, la carta de la ARL y la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles.

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	Shewhart ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	88.45
0.25	59.85
0.5	29.83
0.75	15.48
1	9.68
1.25	6.66
1.5	4.93
1.75	3.85
2	3.15
2.25	2.59
2.5	2.20
2.75	1.90
3	1.66
3.5	1.35
4	1.17
4.5	1.07
5	1.02



	Monte Carlo Simulation Run Length Standard Deviation and Percentiles (Two-Sided, Zero-State)									
Shift in Mean (Multiple of Sigma)	Standard Deviation	1	5th	10th	25th	50th (Median)	75th	90th	95th	99th
0	83.72	3	8	14	29	63	120	197	254	393
0.25	55.52	3	7	10	21	43	82	132	168	260
0.5	26.21	2	5	6	11	22	40	64	82	124
0.75	12.10	1	3	4	7	12	20	31	39	58
1	6.65	1	2	3	5	8	12	18	23	33
1.25	4.21	1	2	2	4	5	9	12	15	21
1.5	2.85	1	1	2	3	4	6	9	10	14
1.75	2.09	1	1	1	2	4	5	6	8	10
2	1.67	1	1	1	2	3	4	5	6	9
2.25	1.35	1	1	1	2	2	3	4	5	7
2.5	1.12	1	1	1	1	2	3	4	4	5
2.75	0.94	1	1	1	1	2	2	3	4	5
3	0.80	1	1	1	1	1	2	3	3	4
3.5	0.56	1	1	1	1	1	2	2	2	3
4	0.40	1	1	1	1	1	1	2	2	2
4.5	0.26	1	1	1	1	1	1	1	2	2
5	0.15	1	1	1	1	1	1	1	1	2

La ARL_0 con las 8 pruebas para causas especiales es aproximadamente 88.5. Este es un rendimiento pobre con un aumento de 4.2 veces (370.4/88.5) en falsas alarmas en comparación con la Prueba 1 solamente. La ARL_0 es aproximadamente 63. Por otro lado, la ARL_1 para un pequeño cambio de 1 sigma en la media es aprox. 9.7, por lo que es mucho más rápida de detectar que la Prueba 1 Exacta de la ARL_1 de 43.89.

Si los pequeños cambios se detectan rápidamente y no es posible la sub agrupación, entonces se recomienda una carta EWMA o CUSUM.

Notas sobre las Plantilla:

1. Especificar "**Exact**" (**Sólo Prueba 1**) o **Monte Carlo** usando la lista desplegable. Los parámetros que se especifiquen se mostrarán en amarillo, de lo contrario se ocultarán.
2. Exact utiliza la función de distribución acumulada y es rápida. La simulación de Monte Carlo permite evaluar el rendimiento de la ARL de las 8 Pruebas para Causas Especiales y también genera la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de la Corrida y de los Percentiles (desplazarse a la derecha para ver). Ambos métodos le permiten evaluar la robustez a la no normalidad.
3. Se aplica siempre la prueba 1 - 1 punto más de 3 desviaciones estándares de la línea central (LC).
4. La familia de distribuciones Pearson se utiliza para hacer coincidir la asimetría y la curtosis especificadas.
5. Introduzca el **tamaño del subgrupo**. Tamaño del subgrupo = 1 denota una carta de individuales de Shewhart. Tamaño del subgrupo > 1 es una carta X-Barra.
6. Introducir **Skewness**. Skewness = 0 es simétrico.
7. Introducir la **Curtosis** (la de la **Normal es 0**). También conocido como Exceso de Curtosis, debe ser >= Asimetría^2 - 1.48. Esto es necesario para mantener la distribución unimodal. Si la Asimetría=0 y Curtosis = 0, la distribución es normal.
8. Si corresponde, introducir el **número de réplicas**. 1000 (1e3) réplicas serán rápidas, aproximadamente 10 segundos, pero tendrán un error de ARL_0 de aprox. = +/- 10%; 10.000 (1e4) réplicas tomarán alrededor de un minuto, con un error de ARL_0 = +/- 3,2%; 100.000 (1e5) réplicas tomarán alrededor de diez minutos, con un error de ARL_0 = +/- 1%.
9. Si procede, seleccionar los valores de las pruebas 2 a 8 mediante la lista desplegable. "N/A" indica que la prueba no se aplica. Las pruebas 2, 3 y 7 proporcionan opciones que coinciden con las proporcionadas en el cuadro de diálogo "**Tests for Special Causes**" por defecto de SigmaXL.
10. Hacer click en el botón **Calculate Shewhart ARL** para generar la tabla y la carta de la ARL. Si se selecciona Monte Carlo, se generarán la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles.
11. La ARL de Shewhart es para un gráfico de dos colas con estado cero, es decir, se supone que el cambio se produce al principio. También se supone que se conocen la media y la desviación estándar. Esto no será probablemente el caso en el uso, pero sigue siendo útil para determinar los ajustes de los parámetros y la comparación de la ARL a través de los tipos de cartas.
12. Debido a la complejidad de los cálculos, SigmaXL debe cargarse y aparecer en el menú para que esta plantilla funcione. No añada ni elimine filas o columnas en esta plantilla.

REFERENCIAS:

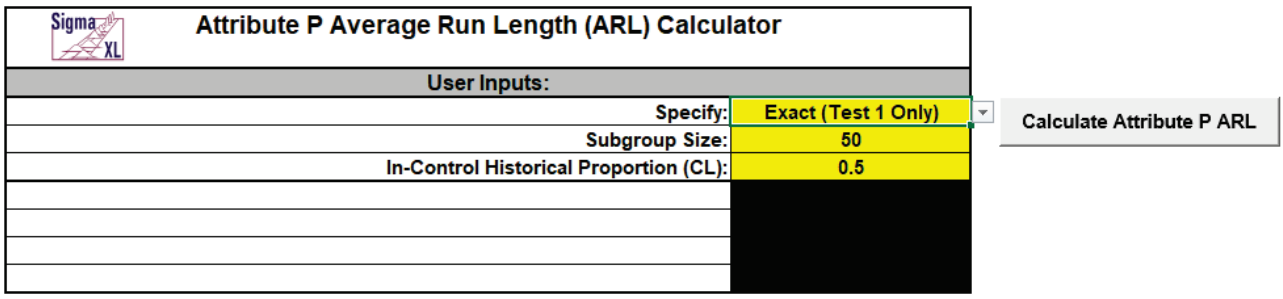
[1] Champ, C.W. and Woodall, W.H. (1987), "Exact results for Shewhart control charts with supplementary runs rules", *Technometrics* 29, 393-399.

[2] Montgomery, D.C. (2013), *Introduction to Statistical Quality Control*, Seventh Ed., Wiley.
[3] Schilling, E. G., and P. R. Nelson (1976), "The Effect of Nonnormality on the Control Limits of $\bar{X}$ Charts," *Journal of Quality Technology*, Vol. 8(4), pp. 183–188.
[4] Chakraborti, S. (2007), "Run Length Distribution and Percentiles: The Shewhart Chart with Unknown Parameters", *Quality Engineering* 19, 119–127.

ARL del Atributo P

1. Hacer click en **SigmaXL > Templates & Calculators > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > Attribute P ARL**. Esta plantilla está localizada también en SigmaXL **> Control Charts > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > Attribute P ARL**.

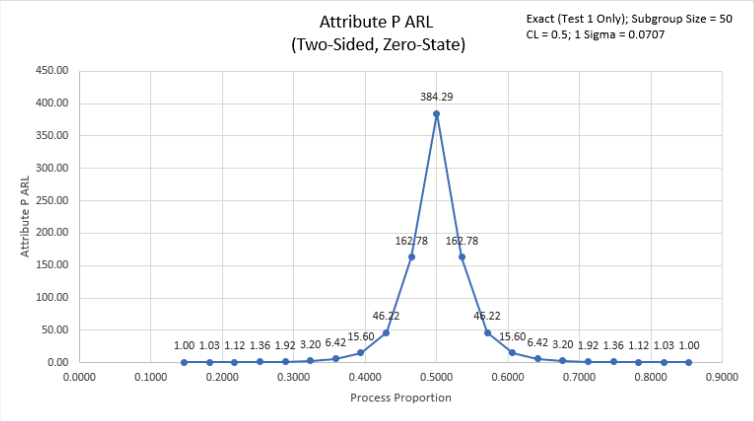
2. The default template settings are **Specify** = *Exact (Test 1 Only)*, **Subgroup Size** = 50, **In-Control Historical Proportion (CL)** = 0.5.



Nota: Especificar "Exact" (Sólo la Prueba 1) o Monte Carlo usando la lista desplegable. Los parámetros que se especifiquen se mostrarán en amarillo, de lo contrario se ocultarán. Exact utiliza la función de distribución acumulada binomial. La simulación de Monte Carlo utiliza datos aleatorios binomiales con una proporción especificada y permite evaluar el rendimiento de la ARL de las 4 Pruebas para Causas Especiales. Se aplica siempre la prueba 1 - 1 punto más de 3 desviaciones estándar de la línea central (LC). La simulación de Monte Carlo también genera la tabla de Desviación Estándar de Longitud de Corrida y los Percentiles (desplazarse a la derecha para ver).

3. Hacer click en el botón **Calculate Attribute P ARL** para generar la tabla y la carta de la ARL.

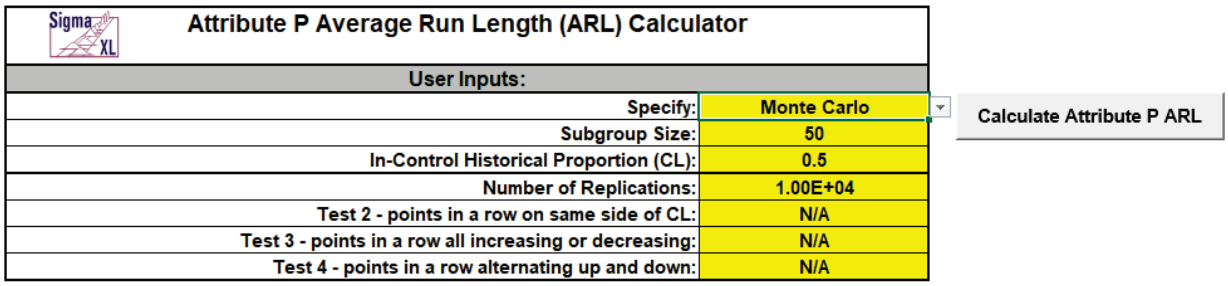
Shift in Proportion (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 0.0707	Process Proportion	Attribute P ARL (Two-Sided, Zero-State)
-5.0	0.1464	1.00
-4.5	0.1818	1.03
-4.0	0.2172	1.12
-3.5	0.2525	1.36
-3.0	0.2879	1.92
-2.5	0.3232	3.20
-2.0	0.3586	6.42
-1.5	0.3939	15.60
-1.0	0.4293	46.22
-0.5	0.4646	162.78
0.0	0.5000	384.29
0.5	0.5354	162.78
1.0	0.5707	46.22
1.5	0.6061	15.60
2.0	0.6414	6.42
2.5	0.6768	3.20
3.0	0.7121	1.92
3.5	0.7475	1.36
4.0	0.7828	1.12
4.5	0.8182	1.03
5.0	0.8536	1.00



La ARL_0 (ARL en control con un cambio de 0 sigma en la proporción) para la carta del Atributo P es 384.29. La ARL_1 para un pequeño desplazamiento de 1 sigma es 46.22, por lo que es lenta de detectar. Por otro lado, un gran desplazamiento de 3 sigmas en la proporción tiene una ARL = 1.92, por lo que se detecta rápidamente.

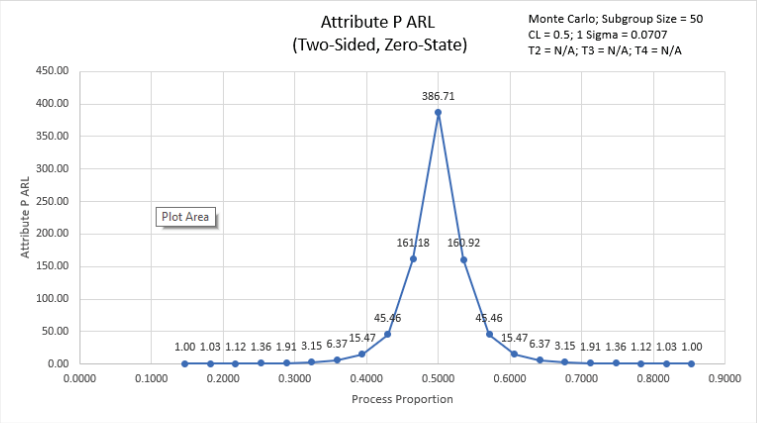
Nota: Los valores de la proporción del proceso se muestran en la tabla ARL, pero el desplazamiento en la proporción como un múltiplo de sigma también se incluye en la tabla.

4. A continuación, se utilizará la simulación de Monte Carlo para obtener la aproximación de la desviación estándar de la Longitud de Corrida y los percentiles para la carta de Atributos P. Seleccionar **Specify** = *Monte Carlo*. Introducir **Subgroup Size** = 50, **In-Control Historical Proportion (CL)** = 0.5, **Number of Replications** = 1e4, **Test 2** = *N/A*, **Test 3** = *N/A*, **Test 4** = *N/A*.



5. Hacer click en el botón **Calculate Attribute P ARL** para generar la aproximación de la tabla de la ARL, la carta de la ARL y la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles (desplazarse a la derecha para ver). Tomará alrededor de un minuto la simulación de Monte Carlo con 10000 (1e4) réplicas.

Shift in Proportion (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 0.0707	Process Proportion	Attribute P ARL (Two-Sided, Zero-State)
-5.0	0.1464	1.00
-4.5	0.1818	1.03
-4.0	0.2172	1.12
-3.5	0.2525	1.36
-3.0	0.2879	1.91
-2.5	0.3232	3.15
-2.0	0.3586	6.37
-1.5	0.3939	15.47
-1.0	0.4293	45.46
-0.5	0.4646	161.18
0.0	0.5000	386.71
0.5	0.5354	160.92
1.0	0.5707	45.46
1.5	0.6061	15.47
2.0	0.6414	6.37
2.5	0.6768	3.15
3.0	0.7121	1.91
3.5	0.7475	1.36
4.0	0.7828	1.12
4.5	0.8182	1.03
5.0	0.8536	1.00



Shift in Proportion (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 0.0707	Process Proportion	Monte Carlo Simulation Run Length Standard Deviation and Percentiles (Two-Sided, Zero-State)									
		Standard Deviation	1	5th	10th	25th	50th (Median)	75th	90th	95th	99th
-5.0	0.1464	0.07	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-4.5	0.1818	0.18	1	1	1	1	1	1	1	1	2
-4.0	0.2172	0.36	1	1	1	1	1	1	2	2	3
-3.5	0.2525	0.69	1	1	1	1	1	2	2	3	4
-3.0	0.2879	1.32	1	1	1	1	1	2	4	5	7
-2.5	0.3232	2.61	1	1	1	1	2	4	6	8	12
-2.0	0.3586	5.86	1	1	1	2	5	9	14	18	28
-1.5	0.3939	14.85	1	1	2	5	11	21	35	45	70
-1.0	0.4293	45.38	1	3	5	13	31	63	105	138	205
-0.5	0.4646	161.29	2	8	17	46	113	224	372	480	746
0.0	0.5000	384.33	4	19	41	113	267	540	899	1165	1744
0.5	0.5354	162.28	2	8	17	46	111	222	368	480	760
1.0	0.5707	45.38	1	3	5	13	31	63	105	138	205
1.5	0.6061	14.85	1	1	2	5	11	21	35	45	70
2.0	0.6414	5.86	1	1	1	2	5	9	14	18	28
2.5	0.6768	2.61	1	1	1	1	2	4	6	8	12
3.0	0.7121	1.32	1	1	1	1	1	2	4	5	7
3.5	0.7475	0.69	1	1	1	1	1	2	2	3	4
4.0	0.7828	0.36	1	1	1	1	1	1	2	2	3
4.5	0.8182	0.18	1	1	1	1	1	1	1	1	2
5.0	0.8536	0.07	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Las estadísticas adicionales de la longitud de corrida muestran la gran variación de los valores de longitud de corrida. La MRL_0 = 267 (La mediana de la longitud de la corrida con un cambio de 0 sigma en la proporción del proceso).

Nota: Los resultados variarán ligeramente ya que se trata de una simulación de Monte Carlo.

6. A continuación, se utilizará la simulación de Monte Carlo para evaluar la carta de Atributos P con la aplicación de las 4 Pruebas de Causas Especiales. Introducir **Specify** = *Monte Carlo*, **Subgroup Size** = 50, **In-Control Historical Proportion (CL)** = 0.5, **Number of Replications** = 1e4, **Test 2** = 9, **Test 3** = 6, and **Test 4** = 14.

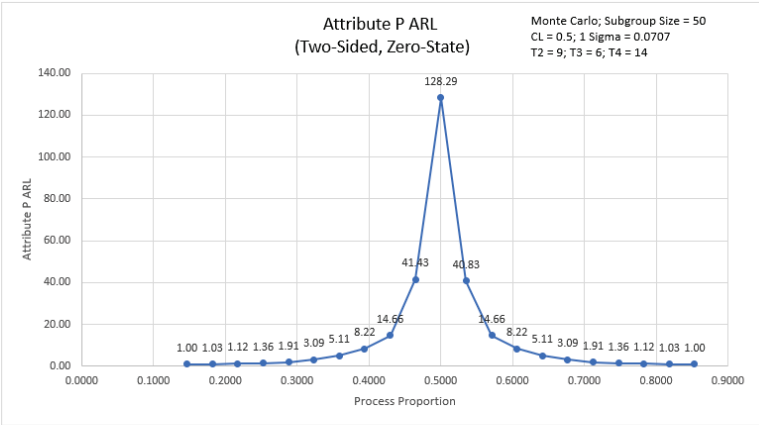
Attribute P Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	Monte Carlo
Subgroup Size:	50
In-Control Historical Proportion (CL):	0.5
Number of Replications:	1.00E+04
Test 2 - points in a row on same side of CL:	9
Test 3 - points in a row all increasing or decreasing:	6
Test 4 - points in a row alternating up and down:	14

Calculate Attribute P ARL

Nota: Estos son los ajustes de la prueba que se utilizan por defecto en **SigmaXL > Control Charts > 'Tests for Special Causes Defaults'**. Se aplica siempre la Prueba 1.

7. Hacer click en el botón **Calculate Attribute P ARL** para generar la aproximación de la tabla de la ARL, la carta de la ARL y la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles:

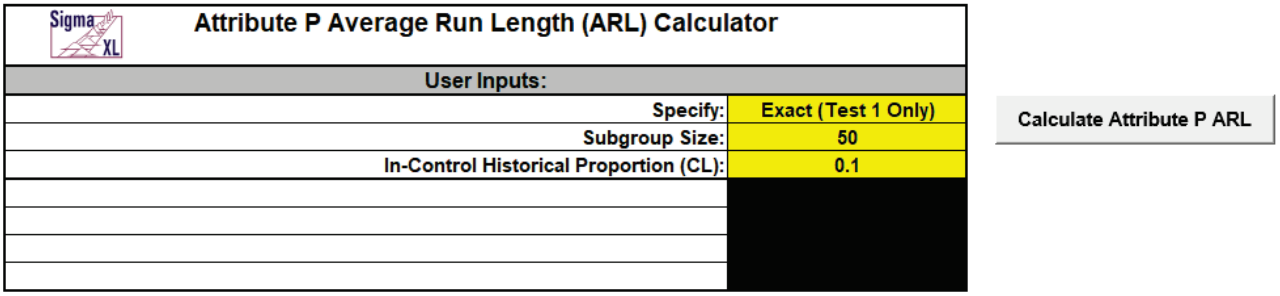
Shift in Proportion (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 0.0707	Process Proportion	Attribute P ARL (Two-Sided, Zero-State)
-5.0	0.1464	1.00
-4.5	0.1818	1.03
-4.0	0.2172	1.12
-3.5	0.2525	1.36
-3.0	0.2879	1.91
-2.5	0.3232	3.09
-2.0	0.3586	5.11
-1.5	0.3939	8.22
-1.0	0.4293	14.66
-0.5	0.4646	41.43
0.0	0.5000	128.29
0.5	0.5354	40.83
1.0	0.5707	14.66
1.5	0.6061	8.22
2.0	0.6414	5.11
2.5	0.6768	3.09
3.0	0.7121	1.91
3.5	0.7475	1.36
4.0	0.7828	1.12
4.5	0.8182	1.03
5.0	0.8536	1.00



Shift in Proportion (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 0.0707	Process Proportion	Monte Carlo Simulation Run Length Standard Deviation and Percentiles (Two-Sided, Zero-State)									
		Standard Deviation	1	5th	10th	25th	50th (Median)	75th	90th	95th	99th
-5.0	0.1464	0.06	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-4.5	0.1818	0.18	1	1	1	1	1	1	1	1	2
-4.0	0.2172	0.37	1	1	1	1	1	1	2	2	3
-3.5	0.2525	0.71	1	1	1	1	1	2	2	3	4
-3.0	0.2879	1.29	1	1	1	1	1	2	4	4	7
-2.5	0.3232	2.27	1	1	1	1	2	4	7	8	9
-2.0	0.3586	3.25	1	1	1	2	5	9	9	9	13
-1.5	0.3939	4.62	1	1	2	5	9	9	14	17	23
-1.0	0.4293	10.00	1	3	5	9	11	18	27	34	50
-0.5	0.4646	35.49	2	9	9	16	31	56	88	112	168
0.0	0.5000	122.77	4	12	19	41	91	176	287	376	568
0.5	0.5354	34.95	2	8	9	16	30	55	87	111	164
1.0	0.5707	10.00	1	3	5	9	11	18	27	34	50
1.5	0.6061	4.62	1	1	2	5	9	9	14	17	23
2.0	0.6414	3.25	1	1	1	2	5	9	9	9	13
2.5	0.6768	2.27	1	1	1	1	2	4	7	8	9
3.0	0.7121	1.29	1	1	1	1	1	2	4	4	7
3.5	0.7475	0.71	1	1	1	1	1	2	2	3	4
4.0	0.7828	0.37	1	1	1	1	1	1	2	2	3
4.5	0.8182	0.18	1	1	1	1	1	1	1	1	2
5.0	0.8536	0.06	1	1	1	1	1	1	1	1	1

La ARL_0 con las 4 pruebas para causas especiales es aproximadamente 128.3. Este es un rendimiento pobre con un aumento de 3 veces (384,3/128,3) en falsas alarmas en comparación con la Prueba 1 Exacta solamente. La MRL_0 es aprox. 91. Por otro lado, la ARL_1 para un pequeño desplazamiento de 1 sigma en la proporción es aprox. 14.7, por lo que es mucho más rápido de detectar que la Prueba 1 Exacta de la ARL_1 de 46.22.

8. A continuación, se evaluará la ARL por un valor bajo de la proporción en control. Introducir **Specify** = *Exact (Test 1 Only)*, **Subgroup Size** = 50, **In-Control Historical Proportion (CL)** = 0.1.

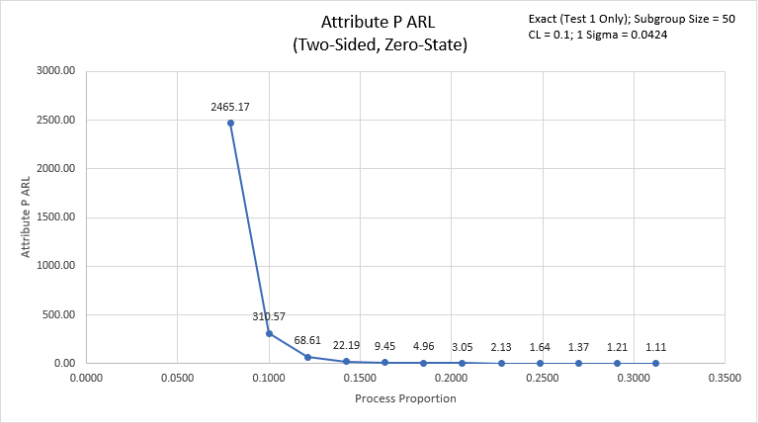


Attribute P Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	**Exact (Test 1 Only)**
Subgroup Size:	**50**
In-Control Historical Proportion (CL):	**0.1**

Calculate Attribute P ARL

9. Hacer click en el botón Calculate **Attribute P ARL** para generar la tabla y la carta de la ARL para estos ajustes:

Shift in Proportion (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 0.0424	Process Proportion	Attribute P ARL (Two-Sided, Zero-State)
-0.5	0.0788	2465.17
0.0	0.1000	310.57
0.5	0.1212	68.61
1.0	0.1424	22.19
1.5	0.1636	9.45
2.0	0.1849	4.96
2.5	0.2061	3.05
3.0	0.2273	2.13
3.5	0.2485	1.64
4.0	0.2697	1.37
4.5	0.2909	1.21
5.0	0.3121	1.11



La ARL_0 para la carta de atributos P es de 310.57. La ARL_1 para un pequeño cambio positivo de 1 sigma en la proporción es 22.19, por lo que es lento de detectar. Por otro lado, un gran desplazamiento positivo de 3 sigmas en la proporción tiene una ARL = 2.13, por lo que se detecta rápidamente. La ARL para un pequeño desplazamiento negativo de 0.5 sigma en la proporción es de 2465.7, por lo que los desplazamientos negativos no pueden detectarse con estos ajustes.

Nota: El LCI de la carta P es 0 para este valor de LC.

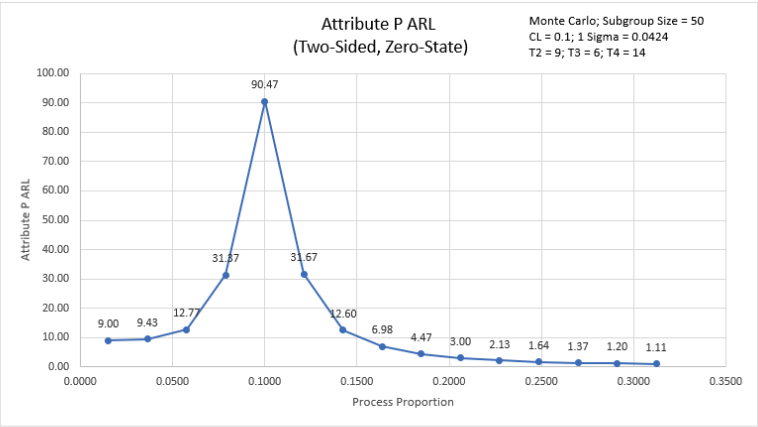
10. A continuación, se utilizará la simulación de Monte Carlo para evaluar la ARL para un valor de proporción bajo en control, pero con la aplicación de las 4 Pruebas para Causas Especiales. Introducir **Specify** = *Monte Carlo*, **Subgroup Size** = 50, **In-Control Historical Proportion (CL)** = 0.1, **Number of Replications** = 1e4, **Test 2** = 9, **Test 3** = 6, and **Test 4** = 14.

Attribute P Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	Monte Carlo
Subgroup Size:	50
In-Control Historical Proportion (CL):	0.1
Number of Replications:	1.00E+04
Test 2 - points in a row on same side of CL:	9
Test 3 - points in a row all increasing or decreasing:	6
Test 4 - points in a row alternating up and down:	14

Calculate Attribute P ARL

11. Hacer click en el botón **Calculate Attribute P ARL** para generar la tabla y la carta de la ARL para estos ajustes.

Shift in Proportion (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 0.0424	Process Proportion	Attribute P ARL (Two-Sided, Zero-State)
-2.0	0.0151	9.00
-1.5	0.0364	9.43
-1.0	0.0576	12.77
-0.5	0.0788	31.37
0.0	0.1000	90.47
0.5	0.1212	31.67
1.0	0.1424	12.60
1.5	0.1636	6.98
2.0	0.1849	4.47
2.5	0.2061	3.00
3.0	0.2273	2.13
3.5	0.2485	1.64
4.0	0.2697	1.37
4.5	0.2909	1.20
5.0	0.3121	1.11



La ARL_0 con las 4 pruebas para causas especiales es de aproximadamente 90.5. Este es un rendimiento pobre con un aumento de 3.4 x (310,6/90,5) en falsas alarmas en comparación con la Prueba 1 Exacta solamente. Por otro lado, la ARL_1 para un pequeño desplazamiento de 1 sigma en la proporción es aprox. 12.6, por lo que es mucho más rápido de detectar que la Prueba 1 exacta de la ARL_1 de 22.19. Además, ahora es posible detectar un desplazamiento negativo de uno o dos sigmas en la proporción.

12. Se evaluará ahora la ARL para un valor bajo de la proporción en control, pero con un tamaño de subgrupo mayor. Introducir **Specify** = *Exact (Test 1 Only)*, **Subgroup Size** = 100, **In-Control Historical Proportion (CL)** = 0.1.

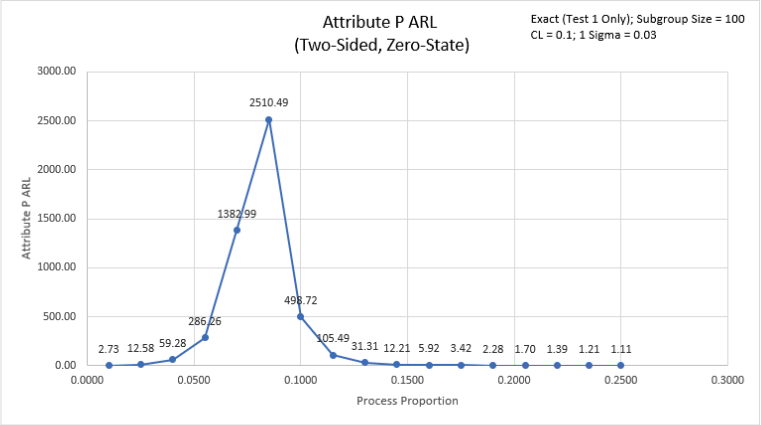
Attribute P Average Run Length (ARL) Calculator

User Inputs:	
Specify:	Exact (Test 1 Only)
Subgroup Size:	100
In-Control Historical Proportion (CL):	0.1

Calculate Attribute P ARL

13. Hacer click en el botón **Calculate Attribute P ARL** para generar la tabla y la carta ARL para estos ajustes:

Shift in Proportion (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 0.03	Process Proportion	Attribute P ARL (Two-Sided, Zero-State)
-3.0	0.0100	2.73
-2.5	0.0250	12.58
-2.0	0.0400	59.28
-1.5	0.0550	286.26
-1.0	0.0700	1382.99
-0.5	0.0850	2510.49
0.0	0.1000	498.72
0.5	0.1150	105.49
1.0	0.1300	31.31
1.5	0.1450	12.21
2.0	0.1600	5.92
2.5	0.1750	3.42
3.0	0.1900	2.28
3.5	0.2050	1.70
4.0	0.2200	1.39
4.5	0.2350	1.21
5.0	0.2500	1.11



La ARL_0 para la carta del Atributo P es 498.72. La ARL_1 para un pequeño cambio positivo de 1 sigma en la media es de 31.31, por lo que es lento de detectar. Por otro lado, un gran desplazamiento positivo de 3 sigmas en la proporción tiene un ARL = 2.28, por lo que se detecta rápidamente. Los pequeños desplazamientos negativos aún no pueden detectarse, pero un gran desplazamiento negativo de 3 sigma en proporción puede detectarse con una ARL = 2.73.

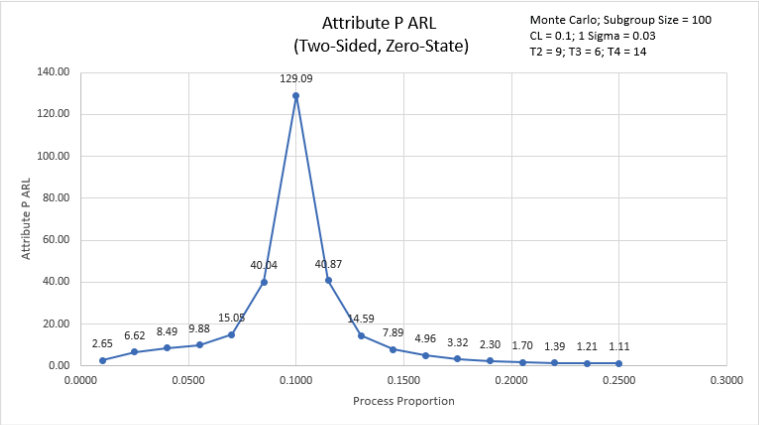
14. Se utilizará ahora la simulación de Monte Carlo para evaluar la ARL para un valor de proporción bajo en control con un tamaño de subgrupo = 100, pero con la aplicación de las 4 Pruebas para Causas Especiales. Introducir **Specify** = *Monte Carlo*, **Subgroup Size** = 100, **In-Control Historical Proportion (CL)** = 0.1. **Number of Replications** = 1e4, **Test 2** = 9, **Test 3** = 6, and **Test 4** = 14.

Attribute P Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	Monte Carlo
Subgroup Size:	100
In-Control Historical Proportion (CL):	0.1
Number of Replications:	1.00E+04
Test 2 - points in a row on same side of CL:	9
Test 3 - points in a row all increasing or decreasing:	6
Test 4 - points in a row alternating up and down:	14

Calculate Attribute P ARL

15. Hacer click en el botón **Calculate Attribute P ARL** para generar la tabla y la carta de la ARL para estos ajustes:

Shift in Proportion (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 0.03	Process Proportion	Attribute P ARL (Two-Sided, Zero-State)
-3.0	0.0100	2.65
-2.5	0.0250	6.62
-2.0	0.0400	8.49
-1.5	0.0550	9.88
-1.0	0.0700	15.05
-0.5	0.0850	40.04
0.0	0.1000	129.09
0.5	0.1150	40.87
1.0	0.1300	14.59
1.5	0.1450	7.89
2.0	0.1600	4.96
2.5	0.1750	3.32
3.0	0.1900	2.30
3.5	0.2050	1.70
4.0	0.2200	1.39
4.5	0.2350	1.21
5.0	0.2500	1.11



La ARL_0 con las 4 pruebas para causas especiales es aproximadamente 129.1. Este es un rendimiento pobre con un aumento de 3.9 x (498.7/129.1) en falsas alarmas en comparación con la Prueba 1 Exacta solamente. Por otro lado, la proporción del ARL_1 para un pequeño cambio de 1 sigma es de aprox. 14.6, por lo que es mucho más rápido de detectar que la Prueba 1 exacta de la ARL_1 de 31.31. Además, ahora es posible detectar un desplazamiento negativo en la proporción de uno, dos o tres sigmas.

Notas sobre la Plantilla:

1. Especificar **"Exacto" (Sólo Prueba 1)** o **Monte Carlo** usando la lista desplegable. Los parámetros que se especifiquen se mostrarán en amarillo, de lo contrario se ocultarán.
2. Exact utiliza la función de distribución acumulada binomial. La simulación de Monte Carlo utiliza datos aleatorios binomiales con una proporción específica y permite evaluar el rendimiento de la ARL de las 4 pruebas para causas especiales. También genera la tabla de Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles (desplazarse a la derecha para ver).
3. Se aplica siempre la Prueba 1 - 1 punto más de 3 desviaciones estándares de la línea central (LC).
4. Introducir el **Subgroup Size.**
5. Introducir la **In-Control Historical Proportion (CL)**. Este es un valor entre 0 y 1.
6. Si procede, introduzca el **número de réplicas**. 1000 (1e3) réplicas serán rápidas, aproximadamente 10 segundos, pero tendrán un error en la ARL_0 aprox. = +/- 10%; 10.000 (1e4) réplicas tomarán alrededor de un minuto, con un error en la ARL_0 = +/- 3,2%; 100.000 (1e5) réplicas tomarán alrededor de diez minutos, con un error en la ARL_0 = +/- 1%.
7. Si procede, seleccionar los valores para las Pruebas 2 a 4 utilizando la lista desplegable. "N/A" indica que la prueba no se aplica. Las Pruebas 2 y 3 proporcionan opciones que coinciden con las proporcionadas en el cuadro de diálogo por defecto de SigmaXL **'Tests for Special Causes' Defaults**.
8. Hacer click en el botón **Calculate Attribute P ARL** para generar la tabla y la carta de la ARL. Si se selecciona Monte Carlo, también se generarán la tabla de la Desviación Estándar de Longitud de Corrida y los Percentiles.
9. La ARL del atributo P es para una carta de dos colores con estado cero, es decir, se supone que el desplazamiento se produce al principio. También se supone que se conoce la proporción. Esto no será probablemente el caso en el uso, pero sigue siendo útil para determinar los ajustes de los parámetros y la comparación de la ARL a través de los tipos de cartas.
10. La carta ARL es similar a una curva característica de operación (OC), excepto que el eje Y es ARL en vez de la probabilidad Beta. Nótese que la carta P puede ser una ARL sesgada, con la máxima ARL que ocurre por encima o por debajo de la LC.
11. Debido a la complejidad de los cálculos, SigmaXL debe cargarse y aparecer en el menú para que esta plantilla funcione. No añada ni elimine filas o columnas en esta plantilla.

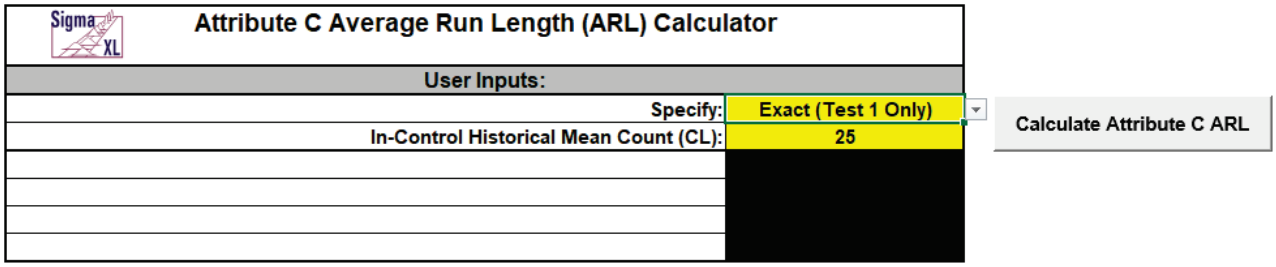
REFERENCIA:

[1] Montgomery, D.C. (2013), *Introduction to Statistical Quality Control*, Seventh Ed., Wiley.

Attribute C ARL

1. Hacer click en SigmaXL **> Templates & Calculators > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > Attribute C ARL**. Esta plantilla está localizada también en SigmaXL **> Control Charts > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > Attribute C ARL**.

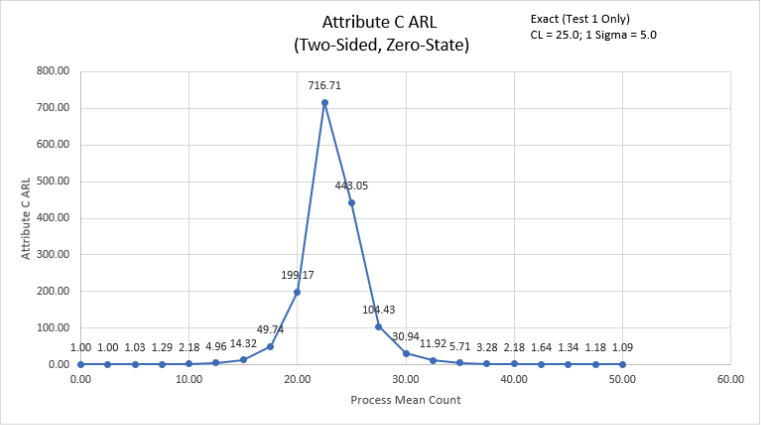
2. Loa ajustes por defecto de la plantilla son **Specify** = *Exact (Test 1 Only)*, **In-Control Historical Mean Count (CL)** = 25.



Nota: Especificar Exacto (Sólo la Prueba 1) o Monte Carlo con el uso de la lista desplegable. Los parámetros que se especifiquen se mostrarán en amarillo, de lo contrario se ocultarán. "Exact" utiliza la función de distribución acumulada de Poisson. La simulación de Monte Carlo utiliza datos aleatorios de Poisson con una proporción especificada y permite evaluar el rendimiento de la ARL de las 4 Pruebas para Causas Especiales. La prueba 1, la de 1 punto por encima o por debajo de más de 3 desviaciones estándar de la línea central (CL) se aplica siempre. La simulación de Monte Carlo también genera la tabla de Desviación Estándar de la Longitud de la Corrida y los Percentiles (desplazarse a la derecha para ver).

3. Hacer click en el botón **Calculate Attribute C ARL** para generar la tabla y la carta de la ARL.

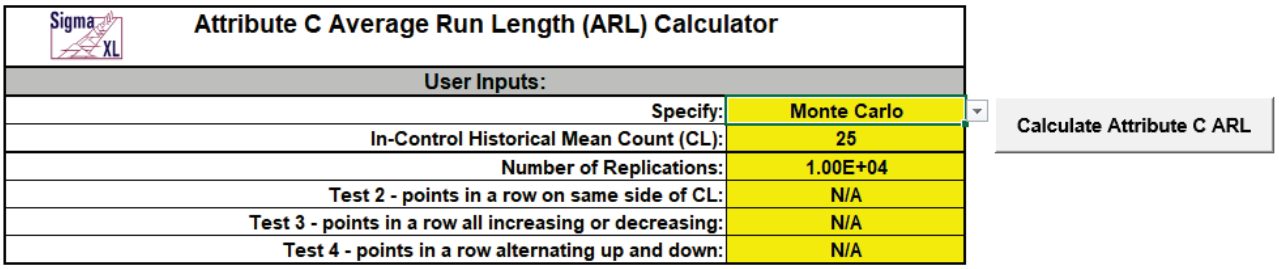
Shift in Mean (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 5.0	Process Mean Count	Attribute C ARL (Two-Sided, Zero-State)
-5.0	0.00	1.00
-4.5	2.50	1.00
-4.0	5.00	1.03
-3.5	7.50	1.29
-3.0	10.00	2.18
-2.5	12.50	4.96
-2.0	15.00	14.32
-1.5	17.50	49.74
-1.0	20.00	199.17
-0.5	22.50	716.71
0.0	25.00	443.05
0.5	27.50	104.43
1.0	30.00	30.94
1.5	32.50	11.92
2.0	35.00	5.71
2.5	37.50	3.28
3.0	40.00	2.18
3.5	42.50	1.64
4.0	45.00	1.34
4.5	47.50	1.18
5.0	50.00	1.09



La ARL_0 (la ARL en control con 0 cambio en la media) =443.05. La ARL1 para un pequeño cambio positivo de 1 sigma en el conteo de la media es 30.94, de manera que es lento en detectarse. Por otro lado, un cambio grande de 3 sigmas en el conteo de la media tiene un ARL = 2.18, así que se detecta rápidamente. No se pueden detectar los cambios pequeños negativos de media y de 1 sigma.

Nota: Los valores del recuento de la media del proceso se muestran en la carta ARL, pero el cambio en el conteo de la media como un múltiplo de sigma también se incluye en la tabla.

4. A continuación, se utilizar la simulación de Monte Carlo para obtener la desviación estándar aproximada de la Longitud de Corrida y los percentiles para la carta C de Atributos. Seleccionar **Specify** = *Monte Carlo*. Enter **In-Control Historical Mean Count (CL)** = 25, **Number of Replications** = 1e4, **Test 2** = *N/A*, **Test 3** = *N/A*, **Test 4** = *N/A*.

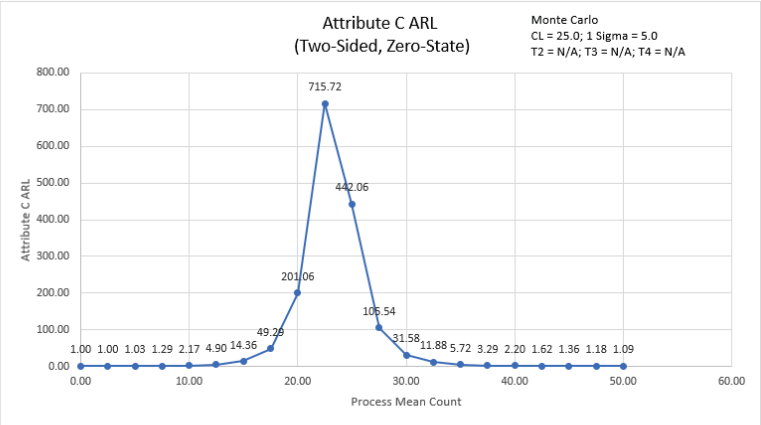


Attribute C Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	Monte Carlo
In-Control Historical Mean Count (CL):	25
Number of Replications:	1.00E+04
Test 2 - points in a row on same side of CL:	N/A
Test 3 - points in a row all increasing or decreasing:	N/A
Test 4 - points in a row alternating up and down:	N/A

Calculate Attribute C ARL

5. Hacer click en el botón **Calculate Attribute C ARL** para generar una aproximación de la tabla de la ARL, la carta de la ARL y la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles (desplazarse a la derecha para ver). Tomará alrededor de un minuto la simulación de Monte Carlo con 10000 (1e4) réplicas.

Shift in Mean (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 5.0	Process Mean Count	Attribute C ARL (Two-Sided, Zero-State)
-5.0	0.00	1.00
-4.5	2.50	1.00
-4.0	5.00	1.03
-3.5	7.50	1.29
-3.0	10.00	2.17
-2.5	12.50	4.90
-2.0	15.00	14.36
-1.5	17.50	49.29
-1.0	20.00	201.06
-0.5	22.50	715.72
0.0	25.00	442.06
0.5	27.50	105.54
1.0	30.00	31.58
1.5	32.50	11.88
2.0	35.00	5.72
2.5	37.50	3.29
3.0	40.00	2.20
3.5	42.50	1.62
4.0	45.00	1.36
4.5	47.50	1.18
5.0	50.00	1.09

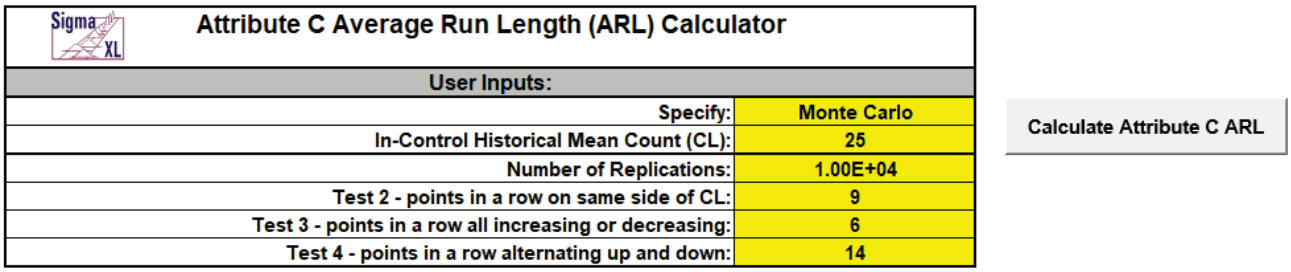


		Monte Carlo Simulation Run Length Standard Deviation and Percentiles (Two-Sided, Zero-State)									
Shift in Mean (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 5.0	Process Mean Count	Standard Deviation	1	5th	10th	25th	50th (Median)	75th	90th	95th	99th
-5.0	0.00	0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-4.5	2.50	0.01	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-4.0	5.00	0.19	1	1	1	1	1	1	1	1	2
-3.5	7.50	0.61	1	1	1	1	1	1	2	2	4
-3.0	10.00	1.63	1	1	1	1	2	3	4	5	8
-2.5	12.50	4.32	1	1	1	2	4	7	11	14	20
-2.0	15.00	13.98	1	1	2	4	10	20	32	43	66
-1.5	17.50	49.70	1	3	6	14	34	68	113	147	228
-1.0	20.00	200.60	3	12	23	59	140	279	460	588	942
-0.5	22.50	720.75	8	37	75	201	491	989	1659	2149	3415
0.0	25.00	438.88	5	24	47	128	308	609	1013	1320	2053
0.5	27.50	105.07	1	6	11	31	73	147	241	312	488
1.0	30.00	30.83	1	2	4	10	22	44	71	92	147
1.5	32.50	11.30	1	1	2	4	8	16	27	35	52
2.0	35.00	5.24	1	1	1	2	4	8	13	16	24
2.5	37.50	2.73	1	1	1	1	2	4	7	9	13
3.0	40.00	1.60	1	1	1	1	2	3	4	5	8
3.5	42.50	1.01	1	1	1	1	1	2	3	4	5
4.0	45.00	0.71	1	1	1	1	1	2	2	3	4
4.5	47.50	0.46	1	1	1	1	1	1	2	2	3
5.0	50.00	0.31	1	1	1	1	1	1	1	2	2

Las estadísticas adicionales de la longitud de corrida muestran la gran variación de los valores de longitud de corrida. The MRL_0 = 308 (la longitud de la mediana de la corrida en control con un cambio de 0 sigma en el conteo medio del proceso).

Nota: Los resultados variarán ligeramente ya que se trata de una simulación de Monte Carlo

6. A continuación, se utilizará la simulación de Monte Carlo para evaluar la carta de Atributos C con la aplicación de las 4 Pruebas de Causas Especiales. Introducir **Specify** = *Monte Carlo*, **In-Control Historical Mean Count (CL)** = 25. **Number of Replications** = 1e4, **Test 2** = 9, **Test 3** = 6, and **Test 4** = 14.



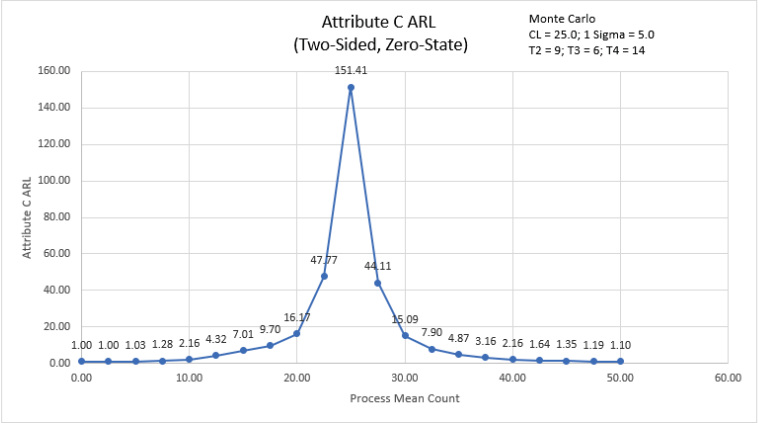
Attribute C Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	Monte Carlo
In-Control Historical Mean Count (CL):	25
Number of Replications:	1.00E+04
Test 2 - points in a row on same side of CL:	9
Test 3 - points in a row all increasing or decreasing:	6
Test 4 - points in a row alternating up and down:	14

Calculate Attribute C ARL

Nota: Estos son los ajustes por defecto de la prueba en **SigmaXL > Control Charts > 'Tests for Special Causes' Defaults**. Siempre se aplica la Prueba 1.

7. Hacer click en el botón **Calculate Attribute C ARL** para generar la aproximación de la tabla ARL, la carta de la ARL y la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles.

Shift in Mean (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 5.0	Process Mean Count	Attribute C ARL (Two-Sided, Zero-State)
-5.0	0.00	1.00
-4.5	2.50	1.00
-4.0	5.00	1.03
-3.5	7.50	1.28
-3.0	10.00	2.16
-2.5	12.50	4.32
-2.0	15.00	7.01
-1.5	17.50	9.70
-1.0	20.00	16.17
-0.5	22.50	47.77
0.0	25.00	151.41
0.5	27.50	44.11
1.0	30.00	15.09
1.5	32.50	7.90
2.0	35.00	4.87
2.5	37.50	3.16
3.0	40.00	2.16
3.5	42.50	1.64
4.0	45.00	1.35
4.5	47.50	1.19
5.0	50.00	1.10



Shift in Mean (Multiple of Sigma) 1 Sigma = 5.0	Process Mean Count	Monte Carlo Simulation Run Length Standard Deviation and Percentiles (Two-Sided, Zero-State)									
		Standard Deviation	1	5th	10th	25th	50th (Median)	75th	90th	95th	99th
-5.0	0.00	0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-4.5	2.50	0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-4.0	5.00	0.17	1	1	1	1	1	1	1	1	2
-3.5	7.50	0.61	1	1	1	1	1	1	2	2	4
-3.0	10.00	1.53	1	1	1	1	2	3	4	5	8
-2.5	12.50	2.85	1	1	1	2	4	7	9	9	9
-2.0	15.00	3.07	1	1	2	5	9	9	9	9	15
-1.5	17.50	3.91	1	3	6	9	9	9	15	17	24
-1.0	20.00	10.36	2	9	9	9	13	20	29	37	54
-0.5	22.50	41.12	7	9	10	18	35	64	101	131	194
0.0	25.00	146.52	5	13	21	48	106	206	344	448	674
0.5	27.50	39.66	1	6	9	16	32	59	95	122	186
1.0	30.00	11.18	1	2	4	9	12	20	30	37	54
1.5	32.50	5.22	1	1	2	4	8	9	15	18	25
2.0	35.00	3.42	1	1	1	2	4	8	9	10	16
2.5	37.50	2.33	1	1	1	1	2	4	7	9	9
3.0	40.00	1.56	1	1	1	1	2	3	4	5	8
3.5	42.50	1.02	1	1	1	1	1	2	3	4	5
4.0	45.00	0.68	1	1	1	1	1	2	2	3	4
4.5	47.50	0.48	1	1	1	1	1	1	2	2	3
5.0	50.00	0.32	1	1	1	1	1	1	1	2	2

La ARL_0 con las 4 pruebas para causas especiales es aproximadamente 151.4. Este es un rendimiento pobre con un aumento de 2.9 x (443.1/151.4) en falsas alarmas comparado con la Prueba 1 Exacta solamente. La MRL_0 es aprox. 106. Por otro lado, la ARL_1 para un pequeño cambio de proporción de 1 sigma es aprox. 15.1, por lo que es mucho más rápido de detectar que la Prueba exacta 1 de ARL_1 de 30.94. Ahora es posible detectar un pequeño desplazamiento negativo de 1 sigma en el conteo de la media.

Notas sobre la Plantilla

1. Especificar "Exact" (Sólo Prueba 1) o Monte Carlo usando la lista desplegable. Los parámetros que se especifiquen se mostrarán en amarillo, de lo contrario se ocultarán.
2. Exact utiliza la función de distribución acumulada de Poisson. La simulación de Monte Carlo utiliza datos aleatorios de Poisson con una proporción especificada y permite evaluar el rendimiento de la ARL de las 4 Pruebas para Causas Especiales. También genera la tabla de la Desviación Estándar de Longitud de Corrida y los Percentiles (desplazarse a la derecha para ver).
3. Siempre se aplica la Prueba 1 - 1 punto más de 3 desviaciones estándares de la línea central (LC).
4. Introducir el **Subgroup Size.**
5. Introducir el **In-Control Historical Mean Count (CL)**.
6. Si procede, introducir el **número de repeticiones**. 1000 (1e3) réplicas serán rápidas, aproximadamente 10 segundos, pero tendrán un error de ARL0 aprox. = +/- 10%; 10.000 (1e4) réplicas tomarán alrededor de un minuto, con un error de ARL0 = +/- 3,2%; 100.000 (1e5) réplicas tomarán alrededor de diez minutos, con un error de ARL0 = +/- 1%.
7. Si procede, seleccionar los valores de las Pruebas 2 a 4 utilizando la lista desplegable. "N/A" indica que la prueba no se aplica. Las Pruebas 2 y 3 proporcionan opciones que coinciden con las proporcionadas en el cuadro de diálogo "**Pruebas para causas especiales" de SigmaXL**.
8. Hacer click en el botón Calculate Attribute C ARL para generar la tabla y la carta ARL. Si se selecciona Monte Carlo, también generará la tabla de la Desviación Estándar de Longitud de Corrida y los Percentiles.
9. La ARL del Atributo C es para una carta de dos colas con estado cero, es decir, se supone que el desplazamiento se produce al inicio. También se supone que se conoce la proporción. Esto no será probablemente el caso en el uso, pero sigue siendo útil para determinar los ajustes de los parámetros y la comparación de la ARL a través de los tipos de cartas.
10. La carta ARL es similar a una curva característica de operación (OC), excepto que el eje Y es ARL en vez de la probabilidad Beta. Nótese que la carta C es una ARL sesgada, para conteos pequeños de la media (<40), con un máximo de ocurrencia de la ARL por debajo de la LC.
11. Debido a la complejidad de los cálculos, SigmaXL debe cargarse y aparecer en el menú para que esta plantilla funcione. No añada ni elimine filas o columnas en esta plantilla.

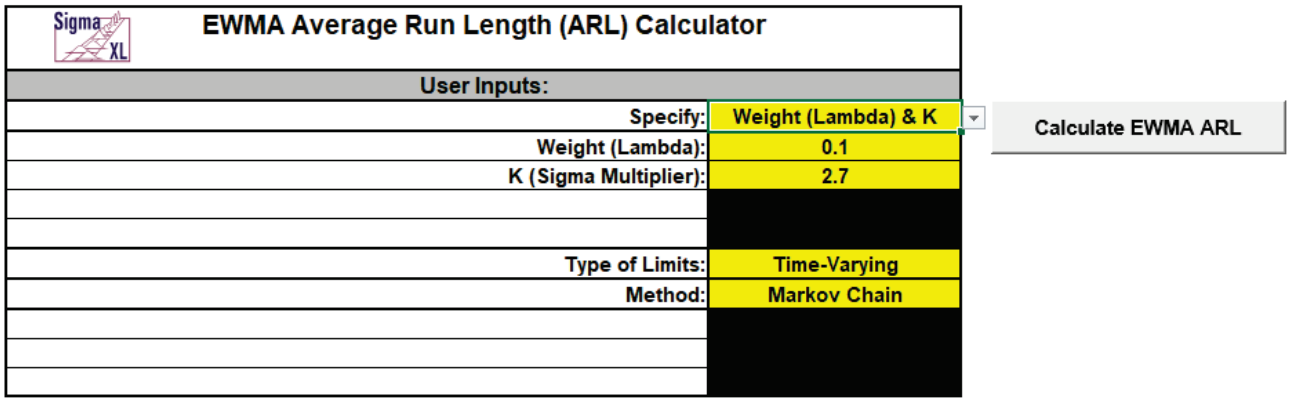
REFERENCIA:

[1] Montgomery, D.C. (2013), Introduction to Statistical Quality Control, Seventh Ed., Wiley.

ARL del EWMA

1. Hacer click en **SigmaXL > Templates & Calculators > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > EWMA ARL**. Esta plantilla está localizada también en **SigmaXL > Control Charts > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > EWMA ARL**.

2. Los ajustes por defecto de la plantilla son **Specify** = *Weight (Lambda) & K*, **Weight (Lambda)** = 0.1, **K (Sigma Multiplier)** = 2.7, **Type of Limits** = *Time-Varying*, **Method** = *Markov Chain.*



EWMA Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	Weight (Lambda) & K
Weight (Lambda):	0.1
K (Sigma Multiplier):	2.7
Type of Limits:	Time-Varying
Method:	Markov Chain

Calculate EWMA ARL

Notas: Los parámetros que se especifiquen se mostrarán en amarillo, de lo contrario se ocultarán. El parámetro Ponderación (Lambda) del EWMA es un valor entre 0 y 1 y controla la cantidad de influencia que las observaciones anteriores tienen sobre el estadístico EWMA actual. Un valor cercano a 1 asigna casi todo el peso en la observación actual, haciéndola que se parezca a una carta de Shewhart. Para los valores cercanos a 0, se aplica un peso pequeño a casi todas las observaciones anteriores, por lo que el rendimiento de la carta EWMA es similar al de una carta CUSUM. El parámetro K del EWMA (Multiplicador Sigma) es un valor normalmente entre 2 y 4. También se denomina L, pero SigmaXL utiliza K para evitar la confusión con Lambda.

La plantilla de la carta de control EWMA ha codificado el tipo de límites como variable temporal, ya que mejora la sensibilidad del EWMA para detectar cambios tempranos en la media del proceso. Se incluye Fixed aquí como una opción para la comparación de los resultados de la ARL con los estudios publicados. Además, si el proceso está en control cuando se inicia el EWMA, pero los cambios se salen de control después de que los límites de control se han estabilizado, la ARL más apropiada para tal caso sería el Tipo de Límites = Fijo.

La aproximación de la Cadena de Markov es rápida y precisa para calcular las ARL. La simulación de Monte Carlo permite evaluar la robustez ante la no normalidad y también genera la tabla de Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y Percentiles (desplácese a la derecha para ver).

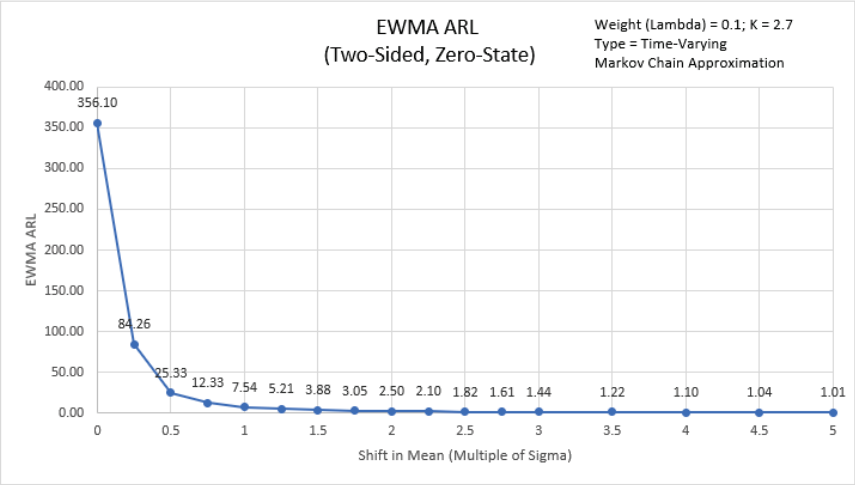
Para mayores detalles sobre la aproximación de la Cadena de Markov, véase Lucas [1] sobre lo fijo y Steiner [3] sobre lo variable en el tiempo. La simulación de Monte Carlo utiliza la Familia Pearson de distribuciones para igualar la asimetría y la curtosis especificadas.

La ARL del EWMA es para una carta de dos colas con estado cero, es decir, se asume que el desplazamiento ocurre al inicio. También se supone que se conocen la media y la desviación estándar. Esto no será probablemente el caso en el uso, pero sigue siendo útil para determinar los ajustes de los parámetros y la comparación de la ARL entre los tipos de cartas.

Todos los cálculos de la ARL para el EWMA utilizan una media estandarizada en el control = 0 y sigma = 1

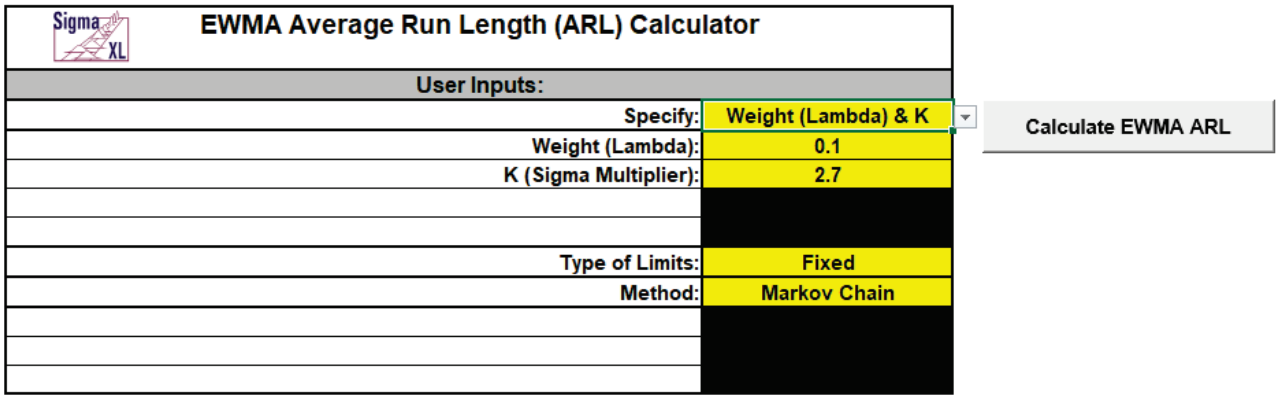
3. Hacer click en el botón **Calculate EWMA ARL** para reproducir la tabla y carta de la ARL.

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	EWMA ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	356.10
0.25	84.26
0.5	25.33
0.75	12.33
1	7.54
1.25	5.21
1.5	3.88
1.75	3.05
2	2.50
2.25	2.10
2.5	1.82
2.75	1.61
3	1.44
3.5	1.22
4	1.10
4.5	1.04
5	1.01



La ARL_0 (ARL en control con un cambio de 0 en la media) para la carta EWMA con estos ajustes es 356.1, que está cerca de la ARL_0 de Shewhart de 370.4. La ARL_1 para un pequeño cambio de 1 sigma en la media es 7.54, por lo que es mucho más rápido de detectar que la ARL1 de 43.89 para los **Individuales de Shewart** y más rápida de detectar que la ARL_1 de 9.7 Monte Carlo para los **Individuales de Shewart con 8 pruebas para causas especiales**

4. A continuación, se comparará el tiempo que varía con los límites fijos. Seleccionar **Specify** = *Weight (Lambda) & K*. Enter **Weight (Lambda)** = 0.1, **K (Sigma Multiplier)** = 2.7, **Type of Limits** = *Fixed*, **Method** = *Markov Chain.*

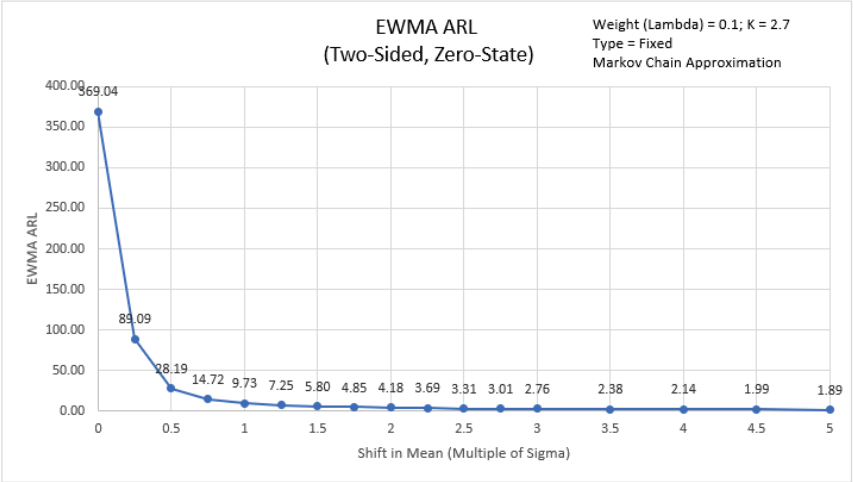


EWMA Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	Weight (Lambda) & K
Weight (Lambda):	0.1
K (Sigma Multiplier):	2.7
Type of Limits:	Fixed
Method:	Markov Chain

Calculate EWMA ARL

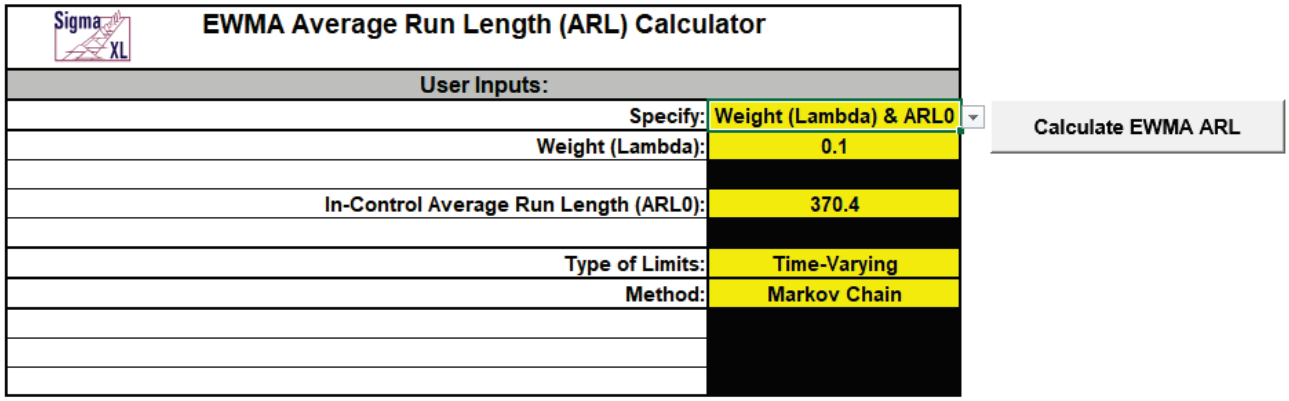
5. Hacer click en el botón **Calculate EWMA ARL** para generar la tabla y la carta de la ARL para estos ajustes:

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	EWMA ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	369.04
0.25	89.09
0.5	28.19
0.75	14.72
1	9.73
1.25	7.25
1.5	5.80
1.75	4.85
2	4.18
2.25	3.69
2.5	3.31
2.75	3.01
3	2.76
3.5	2.38
4	2.14
4.5	1.99
5	1.89



La ARL_0 para la carta EWMA con estos ajustes es 369.04, que está cerca de la ARL_0 de Shewhart de 370.4. La ARL_1 para un pequeño cambio de 1 sigma en la media con límites fijos es de 9.73, que es más lento que el ARL_1 con límites variables en el tiempo de 7.54.

6. A continuación, se especificará la Ponderación (Lambda) = 0.1, el valor de la ARL_0 de 370.4 de Shewhart y resolver el valor de K (Multiplicador Sigma). Introducir **Specify** = *Weight (Lambda) & ARL_0*, **Weight (Lambda)** = 0.1, **In-Control Average Run Length (ARL_0)** = 370.4, **Type of Limits** = *Time-Varying*, **Method** = *Markov Chain.*



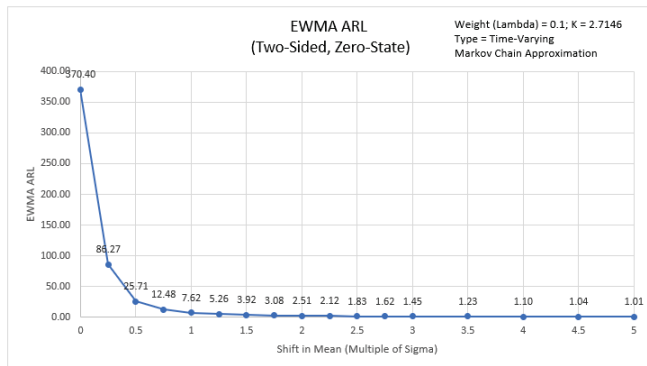
EWMA Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	Weight (Lambda) & ARL0
Weight (Lambda):	0.1
In-Control Average Run Length (ARL0):	370.4
Type of Limits:	Time-Varying
Method:	Markov Chain

Calculate EWMA ARL

7. Hacer click en el botón **Calculate EWMA ARL** para generar los Parámetros actualizados del EWMA, la tabla y la carta de la ARL para estos ajustes:

EWMA Parameters:	
Weight (Lambda)	0.1
K (Sigma Multiplier)	2.7146
Type of Limits	Time-Varying
Method	Markov Chain Approximation

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	EWMA ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	370.40
0.25	86.27
0.5	25.71
0.75	12.48
1	7.62
1.25	5.26
1.5	3.92
1.75	3.08
2	2.51
2.25	2.12
2.5	1.83
2.75	1.62
3	1.45
3.5	1.23
4	1.10
4.5	1.04
5	1.01



La ARL_0 para la carta EWMA con estos ajustes es 370.4 como se ha especificado, que está cerca de la ARL_0 de Shewhart de 370.4. El valor K resuelto (Multiplicador Sigma) para obtener este valor de la ARL_0 es 2.7146. La ARL_1 para un pequeño cambio de 1 sigma en la media 7.62.

8. A continuación, se especificará la Ponderación (Lambda) = 0.05, el valor de la ARL_0 de 370.4 de Shewhart y resolver el valor de K (Multiplicador Sigma). Introducir **Specify** = *Weight (Lambda) & ARL_0*, **Weight (Lambda)** = 0.05, **In-Control Average Run Length (ARL_0)** = 370.4, **Type of Limits** = *Time-Varying*, **Method** = *Markov Chain.*

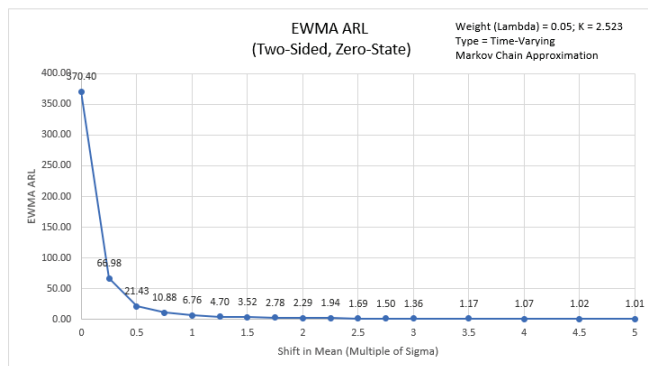
EWMA Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	**Weight (Lambda) & ARL0**
Weight (Lambda):	**0.05**
In-Control Average Run Length (ARL0):	**370.4**
Type of Limits:	**Time-Varying**
Method:	**Markov Chain**

Calculate EWMA ARL

9. Hacer click en el botón **Calculate EWMA ARL** para generar los Parámetros EWMA actualizados, la tabla y la carta ARL para estos ajustes:

EWMA Parameters:	
Weight (Lambda)	0.05
K (Sigma Multiplier)	2.523
Type of Limits	Time-Varying
Method	Markov Chain Approximation

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	EWMA ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	370.40
0.25	66.98
0.5	21.43
0.75	10.88
1	6.76
1.25	4.70
1.5	3.52
1.75	2.78
2	2.29
2.25	1.94
2.5	1.69
2.75	1.50
3	1.36
3.5	1.17
4	1.07
4.5	1.02
5	1.01



La ARL_0 para la carta EWMA con estos ajustes es 370.4 como se ha especificado. El valor K resuelto (Multiplicador Sigma) para obtener este valor de la ARL_0 es 2.523. La ARL_1 para un pequeño cambio de 1 sigma en la media 6.76.

10. A continuación, se especificará un valor de ARL_0 de 500 con una deseada optimización para detectar un cambio de 1 sigma en la media. La calculadora resolverá la óptima Ponderación (Lambda) y el valor de K (Multiplicador Sigma). Introducir **Specify** = *ARL0 & Shift*, **In-Control Average Run Length (ARL0)** = 500, **Shift in Mean to Detect (Multiple of Sigma)** = 1, **Type of Limits** = *Time-Varying*, **Method** = *Markov Chain.*

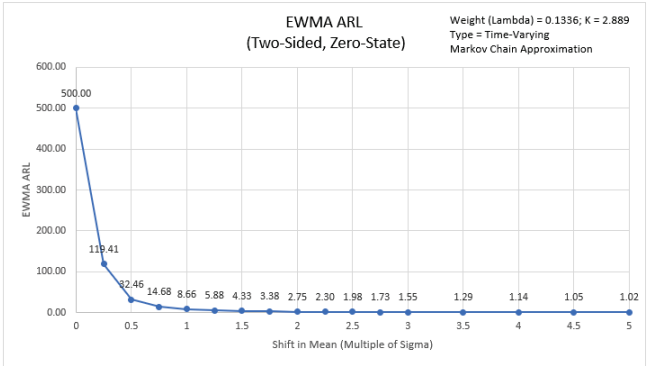
EWMA Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	**ARL0 & Shift**
In-Control Average Run Length (ARL0):	**500**
Shift in Mean to Detect (Multiple of Sigma):	**1**
Type of Limits:	**Time-Varying**
Method:	**Markov Chain**

Calculate EWMA ARL

11. Hacer click en el botón **Calculate EWMA ARL** para generar los Parámetros EWMA actualizados, la tabla y la carta ARL para estos ajustes:

EWMA Parameters:	
Weight (Lambda)	0.1336
K (Sigma Multiplier)	2.889
Type of Limits	Time-Varying
Method	Markov Chain Approximation

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	EWMA ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	500.00
0.25	119.41
0.5	32.46
0.75	14.68
1	8.66
1.25	5.88
1.5	4.33
1.75	3.38
2	2.75
2.25	2.30
2.5	1.98
2.75	1.73
3	1.55
3.5	1.29
4	1.14
4.5	1.05
5	1.02



La ARL_0 para la carta EWMA con estos ajustes es 500.0 como se ha especificado. La ARL_1 para un pequeño cambio de 1 sigma en la media 8.66. Los parámetros resueltos son la Ponderación (Lambda) =0.1336 y K (Multiplicador Sigma) =2.889.

Nota: La Ponderación (Lambda) se resuelve primero con el uso de límites fijos. Entonces se utiliza este valor para obtener K mediante el empleo de límites de tiempo variables.

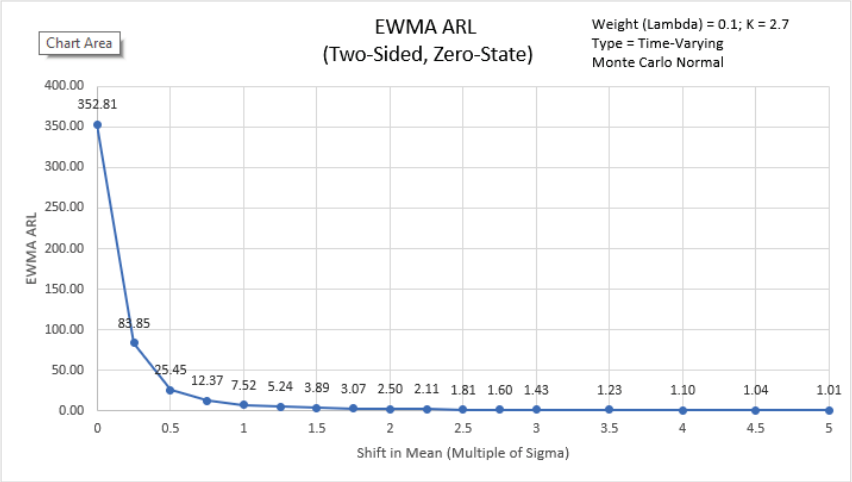
12. A continuación, se empleará la simulación de Monte Carlo para obtener la aproximación de la desviación estándar de la longitud de Corrida y los percentiles. Introducir **Specify** = *Weight (Lambda) & K*, **Weight (Lambda)** = 0.1, **K (Sigma Multiplier)** = 2.7, **Type of Limits** = *Time-Varying*, **Method** = *Monte Carlo*, **Number of Replications** = 1e4, **Skewness** = 0, **Kurtosis (la de la Normal es 0)** = 0.

EWMA Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	Weight (Lambda) & K
Weight (Lambda):	0.1
K (Sigma Multiplier):	2.7
Type of Limits:	Time-Varying
Method:	Monte Carlo
Number of Replications:	1.00E+04
Skewness:	0
Kurtosis (Normal is 0):	0

Calculate EWMA ARL

13. Hacer click en el botón **Calculate EWMA ARL** para generar la aproximación de Monte Carlo a la tabla de la ARL, la carta y la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles. Tomará alrededor de un minuto correr la simulación de Monte Carlo con 10,000 (1e4) réplicas.

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	EWMA ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	352.81
0.25	83.85
0.5	25.45
0.75	12.37
1	7.52
1.25	5.24
1.5	3.89
1.75	3.07
2	2.50
2.25	2.11
2.5	1.81
2.75	1.60
3	1.43
3.5	1.23
4	1.10
4.5	1.04
5	1.01



	Monte Carlo Simulation Run Length Standard Deviation and Percentiles (Two-Sided, Zero-State)									
Shift in Mean (Multiple of Sigma)	Standard Deviation	1	5th	10th	25th	50th (Median)	75th	90th	95th	99th
0	361.02	2	14	33	100	238	485	830	1083	1651
0.25	79.98	2	7	12	28	60	114	185	243	388
0.5	20.40	1	3	5	11	20	34	52	65	96
0.75	8.65	1	2	3	6	10	16	24	29	40
1	4.88	1	2	2	4	7	10	14	17	24
1.25	3.19	1	1	2	3	5	7	10	11	15
1.5	2.25	1	1	1	2	3	5	7	8	11
1.75	1.69	1	1	1	2	3	4	5	6	8
2	1.32	1	1	1	2	2	3	4	5	7
2.25	1.05	1	1	1	1	2	3	3	4	5
2.5	0.85	1	1	1	1	2	2	3	3	4
2.75	0.72	1	1	1	1	1	2	3	3	4
3	0.61	1	1	1	1	1	2	2	3	3
3.5	0.45	1	1	1	1	1	1	2	2	3
4	0.31	1	1	1	1	1	1	1	2	2
4.5	0.19	1	1	1	1	1	1	1	1	2
5	0.11	1	1	1	1	1	1	1	1	2

Las estadísticas adicionales de la longitud de corrida muestran la gran variación de los valores de longitud de corrida. La MRL_0 = 238 (media de la longitud de la corrida en control con un cambio de 0 en la media del proceso).

Nota: Los resultados variarán ligeramente ya que se trata de una simulación de Monte Carlo.

14. Se evaluará la robustez a la no normalidad mediante la simulación de Monte Carlo con una Ponderación (Lambda) =0.1 y una ARL_0 especificada de 370.4 en comparación con las de Shewhart. Introducir **Specify** = *Weight (Lambda) & ARL0*, **Weight (Lambda)** = 0.1, **In-Control Average Run Length (ARL0)** = 370.4, **Type of Limits** = *Time-Varying*, **Method** = *Monte Carlo*, **Number of Replications** = 1e4, **Skewness** = 2, **Kurtosis (la de la Normal es 0)** = 6.

EWMA Average Run Length (ARL) Calculator

User Inputs:	
Specify:	Weight (Lambda) & ARL0
Weight (Lambda):	0.1
In-Control Average Run Length (ARL0):	370.4
Type of Limits:	Time-Varying
Method:	Monte Carlo
Number of Replications:	1.00E+04
Skewness:	2
Kurtosis (Normal is 0):	6

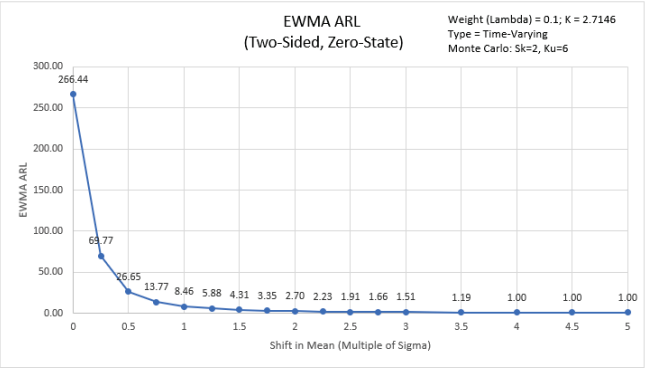
Calculate EWMA ARL

El parámetro K del EWMA (Multiplicador Sigma) se resolverá usando la aproximación de la Cadena de Markov asumiendo una distribución Normal, por lo que coincidirá con el valor calculado anteriormente (6).

15. Hacer click en el botón **Calculate EWMA ARL** para generar los parámetros actualizados del EWMA, la tabla de aproximación de Monte Carlo de la ARL, la carta de la ARL y la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles:

EWMA Parameters:	
Weight (Lambda)	0.1
K (Sigma Multiplier)	2.7146
Type of Limits	Time-Varying
Method	Monte Carlo: Sk=2, Ku=6

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	EWMA ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	266.44
0.25	69.77
0.5	26.65
0.75	13.77
1	8.46
1.25	5.88
1.5	4.31
1.75	3.35
2	2.70
2.25	2.23
2.5	1.91
2.75	1.66
3	1.51
3.5	1.19
4	1.00
4.5	1.00
5	1.00



	Monte Carlo Simulation Run Length Standard Deviation and Percentiles (Two-Sided, Zero-State)									
Shift in Mean (Multiple of Sigma)	**Standard Deviation**	**1**	**5th**	**10th**	**25th**	**50th (Median)**	**75th**	**90th**	**95th**	**99th**
0	276.09	1	5	18	68	183	372	618	804	1298
0.25	68.39	1	2	7	21	50	97	157	205	322
0.5	22.63	1	2	4	10	21	36	57	71	103
0.75	10.24	1	1	3	6	12	19	27	33	48
1	5.42	1	1	2	4	8	12	16	19	25
1.25	3.38	1	1	2	3	6	8	10	12	16
1.5	2.24	1	1	1	3	4	6	7	8	10
1.75	1.59	1	1	1	2	3	4	5	6	7
2	1.17	1	1	1	2	3	4	4	5	5
2.25	0.89	1	1	1	2	2	3	3	4	4
2.5	0.71	1	1	1	1	2	2	3	3	3
2.75	0.55	1	1	1	1	2	2	2	2	3
3	0.50	1	1	1	1	2	2	2	2	2
3.5	0.39	1	1	1	1	1	1	2	2	2
4	0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4.5	0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1

La ARL_0 es aproximadamente 266,4 que es un aumento de 1,4 x (370,4/266,4) en falsas alarmas en comparación con la Normal pero es de un rendimiento mucho mejor que el resultado de la ARL_0 = 55 para los **Individuales de Shewhart**. La MRL_0 es aprox. 183.

16. Se evaluará la robustez a la no normalidad mediante la simulación de Monte Carlo con una menor Ponderación (Lambda) = 0.05 y una ARL_0 especificada de 370.4. Introducir **Specify** = *Weight (Lambda) & ARL_0*, **Weight (Lambda)** = 0.05, **In-Control Average Run Length (ARL_0)** = 370.4, **Type of Limits** = *Time-Varying*, **Method** = *Monte Carlo*, **Number of Replications** = 1e4, **Skewness** = 2, **Kurtosis (la de la Normal es 0)** = 6.

EWMA Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	Weight (Lambda) & ARL0
Weight (Lambda):	0.05
In-Control Average Run Length (ARL0):	370.4
Type of Limits:	Time-Varying
Method:	Monte Carlo
Number of Replications:	1.00E+04
Skewness:	2
Kurtosis (Normal is 0):	6

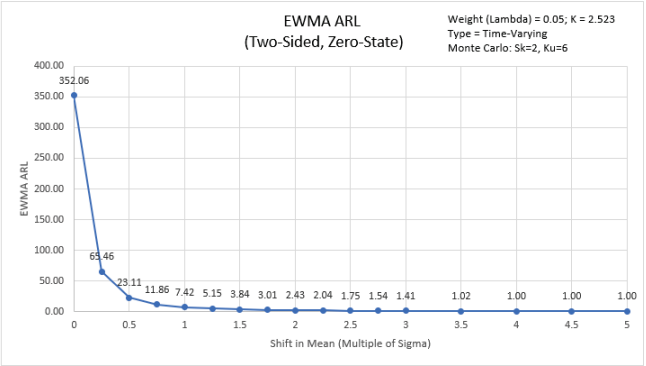
Calculate EWMA ARL

Nota: Montgomery [2] (Table 9.12) and Borror, Montgomery & Runger [4] señalan que el EWMA se torna más robusto con menores valores de Lambda.

17. Hacer click en el botón **Calculate EWMA ARL** para generar los parámetros actualizados del EWMA, la tabla de aproximación de Monte Carlo de la ARL, la carta de la ARL y la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles:

EWMA Parameters:	
Weight (Lambda)	0.05
K (Sigma Multiplier)	2.523
Type of Limits	Time-Varying
Method	Monte Carlo: Sk=2, Ku=6

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	EWMA ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	352.06
0.25	65.46
0.5	23.11
0.75	11.86
1	7.42
1.25	5.15
1.5	3.84
1.75	3.01
2	2.43
2.25	2.04
2.5	1.75
2.75	1.54
3	1.41
3.5	1.02
4	1.00
4.5	1.00
5	1.00



	Monte Carlo Simulation Run Length Standard Deviation and Percentiles (Two-Sided, Zero-State)									
Shift in Mean (Multiple of Sigma)	Standard Deviation	1	5th	10th	25th	50th (Median)	75th	90th	95th	99th
0	370.14	1	3	15	83	239	499	842	1101	1625
0.25	62.29	1	2	5	20	49	91	146	193	286
0.5	18.80	1	1	3	9	19	33	48	58	86
0.75	8.38	1	1	2	5	10	16	23	28	37
1	4.76	1	1	2	4	7	10	14	16	21
1.25	2.96	1	1	1	3	5	7	9	11	13
1.5	2.01	1	1	1	2	4	5	7	7	9
1.75	1.44	1	1	1	2	3	4	5	5	6
2	1.05	1	1	1	2	2	3	4	4	5
2.25	0.81	1	1	1	1	2	3	3	3	4
2.5	0.63	1	1	1	1	2	2	3	3	3
2.75	0.50	1	1	1	1	2	2	2	2	2
3	0.49	1	1	1	1	1	2	2	2	2
3.5	0.15	1	1	1	1	1	1	1	1	2
4	0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4.5	0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1

La ARL_0 es aproximadamente 352, lo que se aproxima a los 370.4 especificados originalmente. La MRL_0 es aproximadamente 239. Si la robustez a la no normalidad es una preocupación, entonces se recomienda una ponderación (Lambda) = 0.05.

Notas sobre la Plantilla:

1. Especificar los parámetros EWMA: **Peso (Lambda) y K, Peso (Lambda) y ARL_0 o ARL0 y Desplazamiento** con el uso de la lista desplegable. Los parámetros que se especifiquen se mostrarán resaltados en amarillo, de lo contrario se ocultarán.
2. Si procede, introducir el parámetro EWMA **Peso (Lambda)**. Este es un valor entre 0 y 1 y controla la cantidad de influencia que las observaciones anteriores tienen sobre la estadística actual del EWMA. Un valor cercano a 1 asigna casi toda la ponderación a la observación actual, por lo que se asemeja a una carta de Shewhart. Para valores cercanos a 0, se aplica un pequeño peso a casi todas las observaciones anteriores, por lo que el rendimiento de la carta EWMA es similar al de una carta CUSUM.
3. Si procede, introducir el parámetro **K** (**Multiplicador Sigma**) del EWMA. Este es un valor común entre 2 y 4. También se denota L, pero SigmaXL utiliza K para evitar la confusión con Lambda.
4. Si procede, introducir la **Longitud Promedio de Corrida En-Control deseada** (ARL_0). Esta será la meta de la ARL para el cambio de la media = 0 y debería ser un valor grande para minimizar las falsas alarmas, normalmente de 370 a 500. El valor K (Multiplicador Sigma) se resuelve para lograr esta ARL_0, dado un valor específico de Ponderación (Lambda).
5. Si procede, introducir el **Cambio de la Media deseada a Detectar (Múltiplo de Sigma**). Se resolverá el valor de la Ponderación (Lambda) que minimiza la ARL para el desplazamiento especificado.
6. Seleccionar el tipo de límites: **Variable en el tiempo** o **Fijo** con el uso de la lista desplegable.
7. La plantilla de la carta de control EWMA utiliza límites de control variables en el tiempo, ya que mejoran la sensibilidad del EWMA para detectar cambios tempranos en la media del proceso. Las tablas de la ARL publicadas suelen utilizar límites fijos, por lo que al proporcionar ambas permite la comparación entre los dos tipos.
8. Seleccionar el método: La **Cadena de Markov** o **Monte Carlo** con el uso de la lista desplegable. La aproximación de la Cadena de Markov es rápida y precisa para calcular las ARL. La simulación de Monte Carlo permite evaluar la robustez a la no normalidad y también genera la tabla de Desviación Estándar de Longitud de Corrida y los Percentiles (desplazarse a la derecha para ver).
9. Para mayores detalles sobre la aproximación de la Cadena de Markov véase Lucas [1] para el fijo y Steiner [3] para el variable en el tiempo. La simulación de Monte Carlo utiliza la Familia de distribuciones Pearson para hacer coincidir la asimetría y la curtosis especificadas.
10. Si procede, introduzca el **número de réplicas**. 1000 (1e3) réplicas serán rápidas, aproximadamente 10 segundos, pero tendrán un error en la ARL_0 aprox. = +/- 10%; 10.000 (1e4) réplicas tomarán alrededor de un minuto, con un error en la ARL_0 = +/- 3,2%; 100.000 (1e5) réplicas tomarán alrededor de diez minutos, con un error en la ARL0 = +/- 1%.

11. Si procede, introduzca **Skewness**. La asimetría debe ser >= 0. La asimetría = 0 es simétrica.
12. Si procede, introduzca **Curtosis** (**la de la Normal es 0**). También conocida como Curtosis en Exceso, debe ser >= Skewness^2 - 1.48. Esto es necesario para mantener la distribución unimodal. Si Skewness=0 y Kurtosis = 0, la distribución es normal.
13. Hacer click en el botón Calculate **EWMA ARL** para generar la tabla y la carta ARL. Si se selecciona Monte Carlo, se generará la tabla de la Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles.
14. La CUSUM ARL es para una carta de dos caras con estado cero, es decir, se supone que el desplazamiento se produce al inicio. También se supone que se conocen la media y la desviación estándar. Es probable que no sea el caso en el uso, pero sigue siendo útil para determinar los ajustes de los parámetros y la comparación de la ARL entre los distintos tipos de gráficos.
15. Debido a la complejidad de los cálculos, SigmaXL debe cargarse y aparecer en el menú para que esta plantilla funcione. No añada ni elimine filas o columnas en esta plantilla.

REFERENCIAS:

[1] Lucas J.M. and Saccucci M.S. (1990), “Exponentially weighted moving average control schemes: Properties and enhancements”, *Technometrics* 32, 1-12.

[2] Montgomery, D.C. (2013), *Introduction to Statistical Quality Control*, Seventh Ed., Wiley.

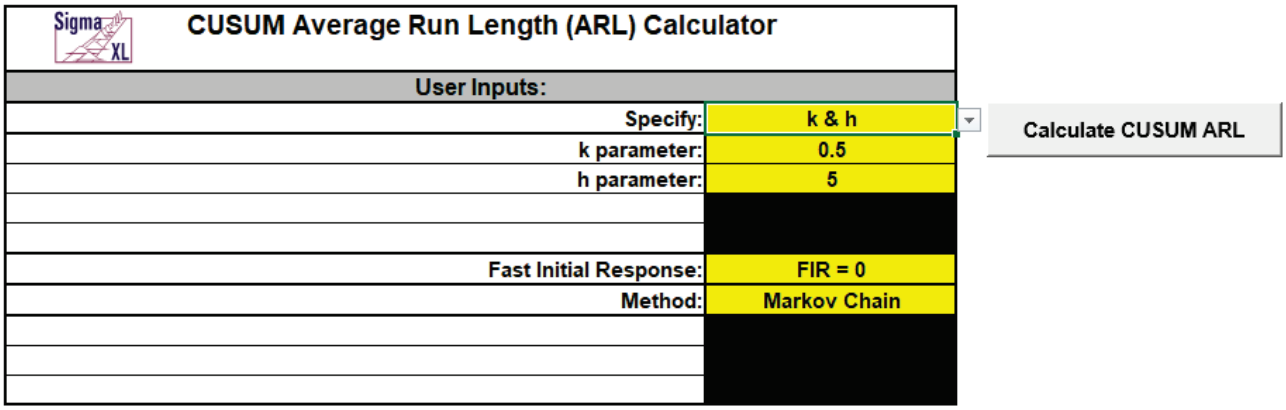
[3] Steiner, S. H. (1999), "EWMA control charts with time-varying control limits and fast initial response", *Journal of Quality Technology* 31(1), 75-86.

[4] Borror, C. M., Montgomery, D.C., and Runger G. C. (1999). “Robustness of the EWMA Control Chart to Nonnormality,” *Journal of Quality Technology*, 31(3), 309–316.

ARL del CUSUM

1. Hacer click en **SigmaXL > Templates & Calculators > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > CUSUM ARL**. Esta plantilla está localizada también en SigmaXL **> Control Charts > Control Chart Templates > Average Run Length (ARL) Calculators > CUSUM ARL**.

2. Los ajustes por defecto de la plantilla son **Specify** = *k & h*, **k parameter** = 0.5, **h parameter** = 5, **Fast Initial Response** *FIR = 0*, **Method** = *Markov Chain.*



Notes: Los parámetros que se especifiquen se mostrarán resaltados en amarillo, de lo contrario se ocultarán. El parámetro k de CUSUM es el valor de referencia (o de holgura), típicamente se ajusta a 0,5. Se fija el tamaño del desplazamiento medio (2k sigma) que se desea detectar rápidamente, por lo que 0,5 denota la detección rápida de un desplazamiento en la media = 1 sigma. Alternativamente, Woodall & Faltin [4] recomiendan valores de k mayores (por ejemplo, k = 0,9) para evitar falsas alarmas y detectar desplazamientos de importancia práctica.

El parámetro h de CUSUM es el intervalo de decisión, típicamente se lo fija en 4 o 5. El FIR fija estadística inicial de CUSUM para que mejore la sensibilidad a un desplazamiento de la media en el arranque. Obsérvese que si el proceso está en control cuando se inicia el CUSUM, pero se sale de control después, el ARL más apropiado para tal caso sería un FIR=0. Véase Montgomery [3], páginas 426-427.

La aproximación de la Cadena de Markov es rápida y precisa para calcular los ARL. La simulación de Monte Carlo permite evaluar la robustez a la no normalidad y también genera la tabla de la Desviación Estándar y Percentiles de la Longitud de Corrida (desplácese a la derecha para ver).

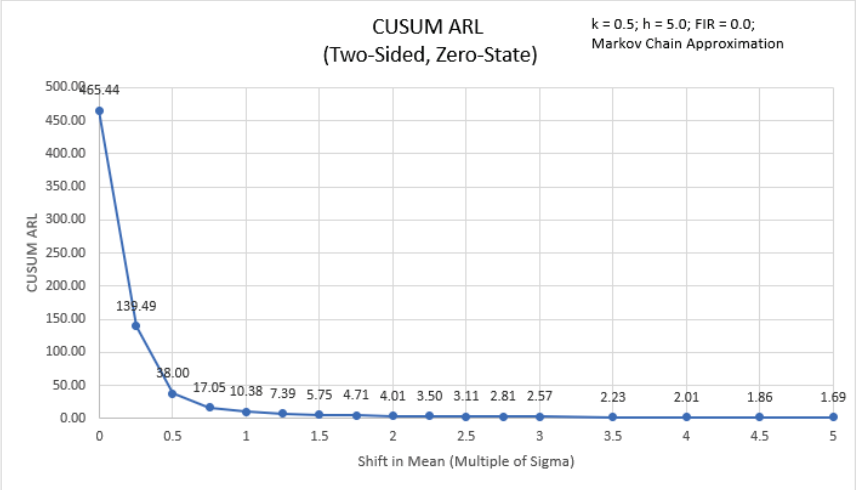
Para más detalles sobre la aproximación de la Cadena de Markov, véase Hawkins [1] y Lucas [2]. La simulación de Monte Carlo utiliza la Familia de distribuciones Pearson para hacer coincidir la asimetría y la curtosis que se especifican.

El ARL del CUSUM es para una carta de dos colas con un estado cero, es decir, se supone que el desplazamiento se produce al inicio. También se supone que se conocen la media y la desviación estándar. Esto no será probablemente el caso en el uso, pero sigue siendo útil para determinar los ajustes de los parámetros y la comparación del ARL entre los tipos de cartas.

Todos los cálculos del ARL para el CUSUM utilizan una media estandarizada en control = 0 y sigma = 1.

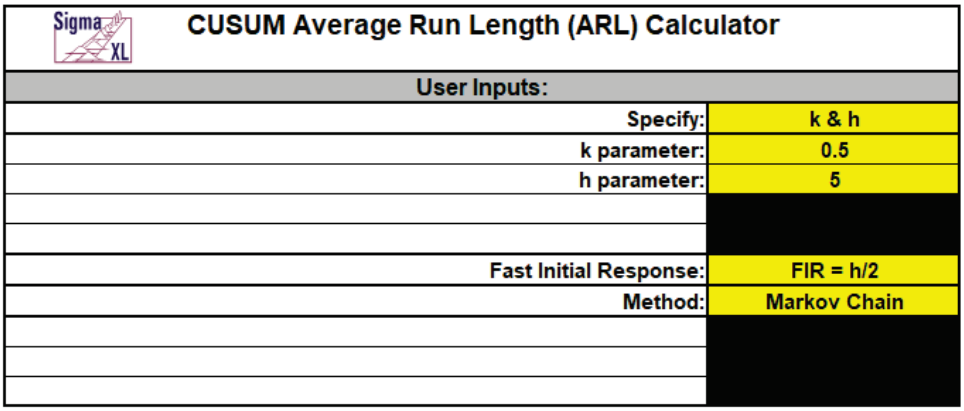
3. Hacer click en el botón **Calculate CUSUM ARL** para reproducir la tabla ARL y la carta.

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	CUSUM ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	465.44
0.25	139.49
0.5	38.00
0.75	17.05
1	10.38
1.25	7.39
1.5	5.75
1.75	4.71
2	4.01
2.25	3.50
2.5	3.11
2.75	2.81
3	2.57
3.5	2.23
4	2.01
4.5	1.86
5	1.69



El ARL_0 (ARL en control con un desplazamiento de 0 en la media) para la carta CUSUM con estos ajustes es 465,44. El ARL_1 para un pequeño desplazamiento de 1 sigma en la media es 10,38.

4. Ahora se evaluará el CUSUM con los mismos parámetros, pero usando la opción de Respuesta Inicial Rápida. Seleccionar **Specify** = *k & h*. Introducir **k parameter** = 0.5, **h parameter** = 5, **Fast Initial Response** *FIR = h/2*, **Method** = *Markov Chain.*



CUSUM Average Run Length (ARL) Calculator

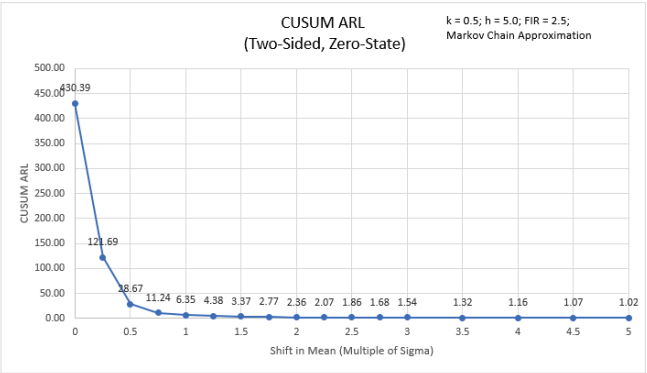
User Inputs:	
Specify:	k & h
k parameter:	0.5
h parameter:	5
Fast Initial Response:	FIR = h/2
Method:	Markov Chain

Calculate CUSUM ARL

5. Hacer click en el botón **Calculate CUSUM ARL** para generar la tabla ARL y la carta para estos ajustes.

Specified CUSUM Parameters:	
k	0.5
h	5.0
FIR	2.5
Method	Markov Chain Approximation

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	CUSUM ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	430.39
0.25	121.69
0.5	28.67
0.75	11.24
1	6.35
1.25	4.38
1.5	3.37
1.75	2.77
2	2.36
2.25	2.07
2.5	1.86
2.75	1.68
3	1.54
3.5	1.32
4	1.16
4.5	1.07
5	1.02



La ARL_0 para la carta CUSUM con estos ajustes es 430.39 que es ligeramente inferior al ajuste FIR = 0, por lo que la tasa de falsas alarmas es ligeramente superior. La ARL_1 para un pequeño cambio de 1 sigma en la media es 6.35 que es más rápido que el 10.38 para FIR = 0.

6. Se especificará ahora el parámetro CUSUM k = 0.5 con un valor de la ARL_0 de Shewhart de 370.4 y se resuelve para el parámetro h. Introducir **Specify** = *k & ARL_0*, **k parameter** = 0.5, **In-Control Average Run Length (ARL_0)** = 370.4, **Fast Initial Response** *FIR = 0*, **Method** = *Markov Chain.*

CUSUM Average Run Length (ARL) Calculator

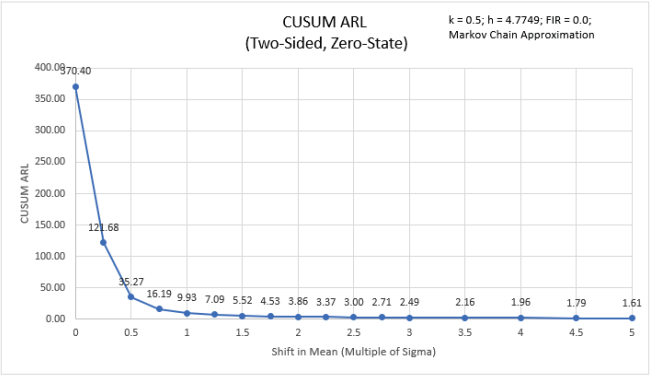
User Inputs:	
Specify:	k & ARL0
k parameter:	0.5
In-Control Average Run Length (ARL0):	370.4
Fast Initial Response:	FIR = 0
Method:	Markov Chain

Calculate CUSUM ARL

7. Hacer click en el botón **Calculate CUSUM ARL** para generar los Parámetros CUSUM, la tabla ARL y la carta para estos ajustes.

CUSUM Parameters:	
k	0.5
h	4.7749
FIR	0.0
Method	Markov Chain Approximation

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	CUSUM ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	370.40
0.25	121.68
0.5	35.27
0.75	16.19
1	9.93
1.25	7.09
1.5	5.52
1.75	4.53
2	3.86
2.25	3.37
2.5	3.00
2.75	2.71
3	2.49
3.5	2.16
4	1.96
4.5	1.79
5	1.61



El ARL_0 para la carta CUSUM con estos ajustes es 370.4 como se especifica. El parámetro h resuelto para obtener este valor ARL_0 es 4.7749. El ARL_1 para un pequeño desplazamiento de 1 sigma en la media es 9.93, por lo que es mucho más rápido de detectar que el ARL_1 de 43,89 para los **Individuales de Shewhart** y cercano al ARL_1 de Monte Carlo de 9.7 para los **Individuales Shewhart con 8 pruebas para causas especiales**

8. A continuación, se especificará un valor ARL_0 de Shewhart de 370,4, con una optimización deseada para detectar un desplazamiento de 1 sigma en la media y utilizar la Respuesta Inicial Rápida. La calculadora resolverá los valores de los parámetros k y h óptimos. Introducir **Specify** = *ARL_0 & Shift*, **In-Control Average Run Length (ARL0)** = 370.4, **Shift in Mean to Detect (Multiple of Sigma)** = 1, **Fast Initial Response** *FIR = h/2*, **Method** = *Markov Chain.*

CUSUM Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	**ARL0 & Shift**
In-Control Average Run Length (ARL0):	**370.4**
Shift in Mean to Detect (Multiple of Sigma):	**1**
Fast Initial Response:	**FIR = h/2**
Method:	**Markov Chain**

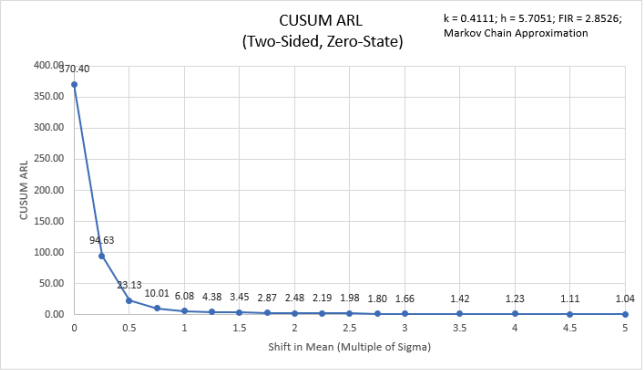
Calculate CUSUM ARL

Nota: Dado que tanto k como h están resueltos, su cálculo toma alrededor de 20-30 segundos.

9. Hacer click en el botón **Calculate CUSUM ARL** para generar los parámetros CUSUM, la tabla ARL y la carta para estos ajustes.

CUSUM Parameters:	
k	0.4111
h	5.7051
FIR	2.8526
Method	Markov Chain Approximation

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	CUSUM ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	370.40
0.25	94.63
0.5	23.13
0.75	10.01
1	6.08
1.25	4.38
1.5	3.45
1.75	2.87
2	2.48
2.25	2.19
2.5	1.98
2.75	1.80
3	1.66
3.5	1.42
4	1.23
4.5	1.11
5	1.04



La ARL_0 para la carta CUSUM con estos ajustes es 370.4 como se especifica. La ARL_1 para un pequeño cambio de 1 sigma en la media es de 6.08 por lo que es mucho más rápido de detectar que la ARL_1 de 43.89 para los **Individuales de Shewhart** y más rápidos que la ARL_1 de Monte Carlo 9.7 para los **Individuales de Shewhart con 8 pruebas para causas especiales** Es ligeramente más rápido de detectar que la ARL_1 de 6.76 para el **EWMA de Tiempo-Variable con Ponderación(Lambda) = 0.05** Los parámetros resueltos son k = 0.4111, h = 5.7051 y FIR = 2.8.526

10. Como alternativa al uso del CUSUM para detectar rápidamente pequeños cambios en la media, Woodall & Faltin [4] recomiendan valores de k más grandes para evitar falsas alarmas y detectar los cambios de importancia práctica. Introducir **Specify** = *k & h*, **k parameter** = 0.9, **h parameter** = 4.65, **Fast Initial Response** *FIR = 0*, **Method** = *Markov Chain.*

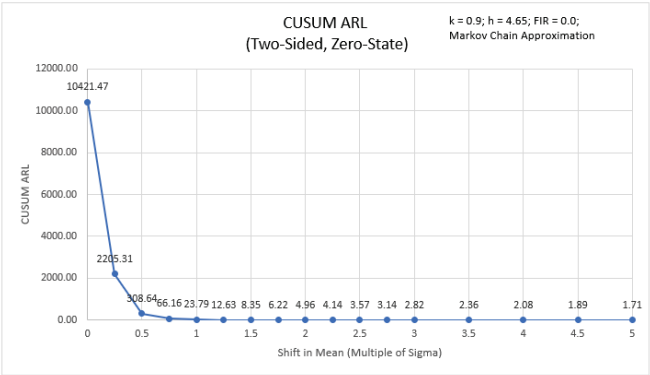
CUSUM Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	**k & h**
k parameter:	**0.9**
h parameter:	**4.65**
Fast Initial Response:	**FIR = 0**
Method:	**Markov Chain**

Calculate CUSUM ARL

11. Hacer click en el botón **Calculate CUSUM ARL** para generar los Parámetros CUSUM, la tabla ARL y la carta para estos ajustes.

Specified CUSUM Parameters:	
k	0.9
h	4.65
FIR	0.0
Method	Markov Chain Approximation

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	CUSUM ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	10421.47
0.25	2205.31
0.5	308.64
0.75	66.16
1	23.79
1.25	12.63
1.5	8.35
1.75	6.22
2	4.96
2.25	4.14
2.5	3.57
2.75	3.14
3	2.82
3.5	2.36
4	2.08
4.5	1.89
5	1.71



Esto proporciona grandes valores ARL para el desplazamiento de la media <= 1 sigma y menores valores ARL para el desplazamiento de media >= 1.5 sigma.

12. Se empleará ahora la simulación Monte Carlo para obtener las aproximaciones de la desviación estándar y los percentiles de la Longitud de Corrida con el uso del parámetro k CUSUM = 0.5 con un valor de 370.4 de la ARL_0 de Shewhart. Introducir **Specify** = *k & ARL0*, **k parameter** = 0.5, **In-Control Average Run Length (ARL_0)** = 370.4, **Fast Initial Response** *FIR = 0*, **Method** = *Monte Carlo*, **Number of Replications** = 1e4, **Skewness** = 0, **Kurtosis (la de la Normal es 0)** = 0.

CUSUM Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	**k & ARL0**
k parameter:	**0.5**
In-Control Average Run Length (ARL0):	**370.4**
Fast Initial Response:	**FIR = 0**
Method:	**Monte Carlo**
Number of Replications:	**1.00E+04**
Skewness:	**0**
Kurtosis (Normal is 0):	**0**

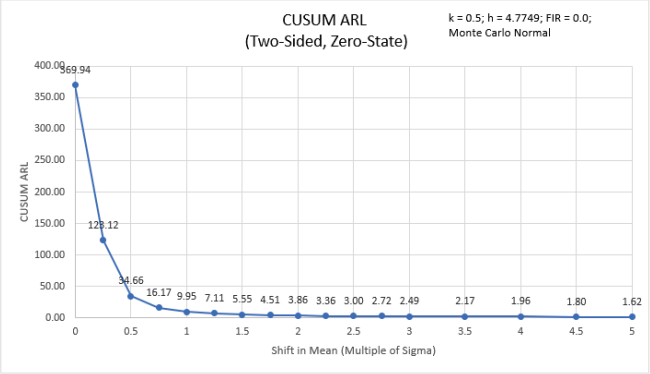
Calculate CUSUM ARL

Nota: El parámetro h CUSUM se resolverá primero usando la aproximación de la Cadena de Markov y se asume una distribución Normal, por lo que coincidirá con el valor de 4.7749 calculado anteriormente (6).

13. Hacer click en el botón **Calculate CUSUM ARL** para generar los Parámetros CUSUM, la aproximación Monte Carlo de la tabla ARL, la carta ARL y la tabla de la Desviación Estándar y Percentiles de la Longitud de Corrida. Tomará alrededor de un minuto correr la simulación Monte Carlo de 10,000 (1e4) réplicas.

CUSUM Parameters:	
k	0.5
h	4.7749
FIR	0.0
Method	Monte Carlo Normal

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	CUSUM ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	369.94
0.25	123.12
0.5	34.66
0.75	16.17
1	9.95
1.25	7.11
1.5	5.55
1.75	4.51
2	3.86
2.25	3.36
2.5	3.00
2.75	2.72
3	2.49
3.5	2.17
4	1.96
4.5	1.80
5	1.62



	Monte Carlo Simulation Run Length Standard Deviation and Percentiles (Two-Sided, Zero-State)									
Shift in Mean (Multiple of Sigma)	**Standard Deviation**	**1**	**5th**	**10th**	**25th**	**50th (Median)**	**75th**	**90th**	**95th**	**99th**
0	366.35	9	24	45	110	255	513	860	1098	1662
0.25	115.82	6	12	18	40	89	167	276	359	541
0.5	28.17	4	7	9	15	26	45	72	90	136
0.75	10.50	3	5	6	9	13	21	30	37	53
1	5.30	3	4	5	6	9	12	17	20	28
1.25	3.22	2	3	4	5	6	9	11	13	18
1.5	2.22	2	3	3	4	5	7	8	10	13
1.75	1.60	2	2	3	3	4	5	7	8	9
2	1.27	2	2	2	3	4	5	5	6	8
2.25	1.03	2	2	2	3	3	4	5	5	6
2.5	0.87	2	2	2	2	3	3	4	5	5
2.75	0.73	2	2	2	2	3	3	4	4	5
3	0.64	1	2	2	2	2	3	3	4	4
3.5	0.48	1	2	2	2	2	2	3	3	3
4	0.40	1	1	2	2	2	2	2	3	3
4.5	0.43	1	1	1	2	2	2	2	2	3
5	0.49	1	1	1	1	2	2	2	2	2

Las estadísticas adicionales de la longitud de corrida muestran la gran variación de los valores de la longitud de corrida. El MRL_0 = 255 (media de la longitud de corrida en control con 0 desplazamiento en la media del proceso).

Nota: Los resultados variarán ligeramente ya que se trata de una simulación de Monte Carlo.

14. Se evaluará ahora la robustez a la no normalidad usando la simulación de Monte Carlo y la comparación con las cartas Shewhart y EWMA. Introducir **Specify** = *k & ARL_0*, **k parameter** = 0.5, **In-Control Average Run Length (ARL_0)** = 370.4, **Fast Initial Response** *FIR = 0*, **Method** = *Monte Carlo*, **Number of Replications** = 1e4, **Skewness** = 2, **Kurtosis (la de la Normal es 0)** = 6.

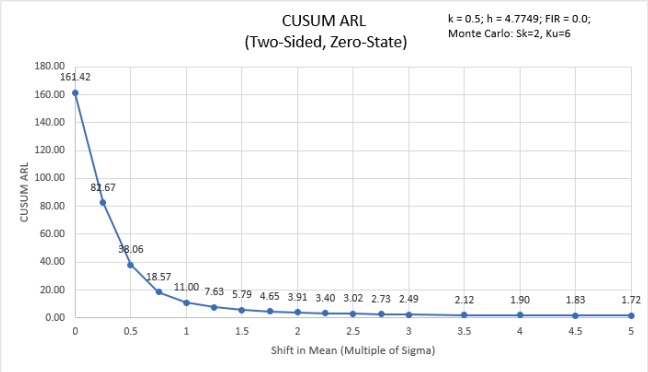
CUSUM Average Run Length (ARL) Calculator	
User Inputs:	
Specify:	k & ARL0
k parameter:	0.5
In-Control Average Run Length (ARL0):	370.4
Fast Initial Response:	FIR = 0
Method:	Monte Carlo
Number of Replications:	1.00E+04
Skewness:	2
Kurtosis (Normal is 0):	6

Calculate CUSUM ARL

15. Hacer click en el botón **Calculate CUSUM ARL** para generar los Parámetros, la aproximación Monte Carlo de la tabla ARL, la carta ARL y la tabla de Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles:

CUSUM Parameters:	
k	0.5
h	4.7749
FIR	0.0
Method	Monte Carlo: Sk=2, Ku=6

Shift in Mean (Multiple of Sigma)	CUSUM ARL (Two-Sided, Zero-State)
0	161.42
0.25	82.67
0.5	38.06
0.75	18.57
1	11.00
1.25	7.63
1.5	5.79
1.75	4.65
2	3.91
2.25	3.40
2.5	3.02
2.75	2.73
3	2.49
3.5	2.12
4	1.90
4.5	1.83
5	1.72



	Monte Carlo Simulation Run Length Standard Deviation and Percentiles (Two-Sided, Zero-State)									
Shift in Mean (Multiple of Sigma)	Standard Deviation	1	5th	10th	25th	50th (Median)	75th	90th	95th	99th
0	161.72	3	10	18	47	112	223	363	480	757
0.25	80.11	3	7	12	26	57	113	187	243	372
0.5	33.56	2	5	8	15	28	50	82	106	157
0.75	13.19	2	4	6	9	15	24	36	44	63
1	5.96	2	3	4	7	10	14	19	22	30
1.25	3.37	2	3	4	5	7	10	12	14	17
1.5	2.18	2	3	3	4	6	7	9	10	11
1.75	1.54	1	2	3	4	5	6	7	7	8
2	1.16	1	2	2	3	4	5	5	6	6
2.25	0.93	1	2	2	3	3	4	5	5	5
2.5	0.77	1	2	2	3	3	4	4	4	4
2.75	0.66	1	2	2	2	3	3	3	4	4
3	0.58	1	2	2	2	3	3	3	3	3
3.5	0.49	1	1	2	2	2	2	3	3	3
4	0.31	1	1	1	2	2	2	2	2	2
4.5	0.38	1	1	1	2	2	2	2	2	2
5	0.45	1	1	1	1	2	2	2	2	2

La ARL_0 es aproximadamente 161.4 que es un aumento de 2.3 x (370.4/161.4) en falsas alarmas en comparación con la Normal, pero es un rendimiento mucho mejor que el resultado de la ARL_0 = 54.6 para los **Individuales de Shewhart**.

Sin embargo, es menos robusto a la no normalidad que la **carta EWMA con Ponderación (Lambda) = 0.1** la cual tuvo una ARL_0 de Monte Carlo= 266.4.

La MRL_0 es aproximadamente 112.

Stoumbos y Reynolds [5] recomiendan fijar en h=6.148 (con k=0.5) como una forma de mejorar la robustez del CUSUM a la no normalidad.

Notas sobre la Plantilla:

1. Especificar los parámetros CUSUM: **k & h, k & ARL0** o **ARL0 & Shift** usando la lista desplegable. Los parámetros que se especifiquen se mostrarán en amarillo, de lo contrario se ocultarán.
2. Si procede, introducir el parámetro CUSUM **k**. Este es el valor de referencia (o de holgura), comúnmente ajustado a 0,5. Fija el tamaño del desplazamiento medio (2k sigma) que se desea detectar rápidamente, por lo que 0.5 denota la detección rápida de un desplazamiento en la media = 1 sigma. Alternativamente, Woodall & Faltin [4] recomiendan valores de k más grandes (por ejemplo, k = 0.9) para evitar falsas alarmas y detectar desplazamientos de importancia práctica.
3. Si procede, introducir el parámetro CUSUM **h**. Este es el intervalo de decisión, generalmente se lo fija en 4 o 5.
4. Si procede, introducir la **Longitud Promedio de Corrida en control deseada (ARL_0)**. Este será el objetivo del ARL para el cambio de la media = 0 y debería ser un valor grande para minimizar las falsas alarmas, normalmente 370 a 500. El parámetro h se resolverá para lograr este ARL_0, dado un valor k específico.
5. Si procede, introduzca **el desplazamiento medio deseado a detectar** (**Múltiplo de Sigma)**. Esto minimizará la ARL para el cambio dado. Si FIR=0, entonces k será shift/2. Si FIR=h/2, entonces se optimizará k, lo que requerirá alrededor de 20-30 segundos para su cálculo.
6. Seleccione **FIR=0** o **FIR=h/2** usando la lista desplegable. Este es el valor de respuesta inicial rápida (o headstart).
7. El FIR fija la estadística inicial del CUSUM para que mejore la sensibilidad a un cambio de la media en el arranque. Obsérvese que si el proceso está en control cuando se inicia el CUSUM, pero se sale de control más tarde, la ARL más apropiada para tal caso sería FIR=0. Ver Montgomery [3], páginas 426-427.
8. Seleccionar el método: **Cadena de Markov** o **Monte Carlo** con el uso de la lista desplegable. La aproximación de la Cadena de Markov es rápida y precisa para calcular las ARL. La simulación de Monte Carlo permite evaluar la robustez a la no normalidad y también genera la tabla de Desviación Estándar de la Longitud de Corrida y los Percentiles (desplazarse a la derecha para ver).
9. Para mayores detalles sobre la aproximación de la Cadena de Markov véase Hawkins [1] y Lucas [2]. La simulación de Monte Carlo utiliza la Familia de distribuciones Pearson para hacer coincidir la asimetría y la curtosis especificadas.
10. Si procede, introduzca el **número de réplicas**. 1000 (1e3) réplicas serán rápidas, aproximadamente 10 segundos, pero tendrán un error en la ARL_0 aprox. = +/- 10%;

10.000 (1e4) réplicas tomarán alrededor de un minuto, con un error en la ARL_0 = +/- 3,2%; 100.000 (1e5) réplicas tomarán alrededor de diez minutos, con un error en la ARL0 = +/- 1%.

11. Si procede, introduzca **Skewness**. La asimetría debe ser >= 0. La asimetría = 0 es simétrica.
12. Si procede, introduzca **Kurtosis** (**la de la Normal es 0**). También conocida como Curtosis en Exceso, debe ser >= Skewness^2 - 1.48. Esto es necesario para mantener la distribución unimodal. Si Skewness=0 y Kurtosis = 0, la distribución es normal.
13. Hacer click en el botón **Calculate CUSUM ARL** para generar ARL table and chart. If Monte Carlo was selected, the table of Run Length Standard Deviation and Percentiles will also be produced.
14. La CUSUM ARL es para una carta de dos caras con estado cero, es decir, se supone que el desplazamiento se produce al inicio. También se supone que se conocen la media y la desviación estándar. Es probable que no sea el caso en el uso, pero sigue siendo útil para determinar los ajustes de los parámetros y la comparación de la ARL entre los distintos tipos de gráficos.
15. Debido a la complejidad de los cálculos, SigmaXL debe cargarse y aparecer en el menú para que esta plantilla funcione. No añada ni elimine filas o columnas en esta plantilla.

REFERENCIAS:

[1] Hawkins, D. M. and Olwell, D. H. (1998), *Cumulative Sum Charts and Charting for Quality Improvement (Information Science and Statistics)*, Springer, New York.

[2] Lucas, J.M. and Crosier R.B. (1982), “Fast Initial Response for CUSUM Quality-Control Schemes: Give Your CUSUM A Headstart”, *Technometrics* 24, 199-205.

[3] Montgomery, D.C. (2013), *Introduction to Statistical Quality Control*, Seventh Ed., Wiley.

[4] Woodall, W. H., and Faltin, F.W. (2019), "Rethinking control chart design and evaluation", *Quality Engineering* 31, 596-605.

[5] Stoumbos, Z. G. and Reynolds, M.R. Jr. (2004), “The Robustness and Performance of CUSUM Control Charts Based on the Double-Exponential and Normal Distributions”, In Lenz, H. J., Wilrich, P. T. (eds) *Frontiers in Statistical Quality Control 7,* Physica, Heidelberg, 79-100.