Este documento forma parte de un conjunto de informes técnicos que explican la investigación llevada a cabo por los especialistas en estadística de Minitab para desarrollar los métodos y las verificaciones de datos que se utilizan en el Asistente de Minitab Statistical Software.

Análisis de capacidad

Revisión general

El análisis de capacidad se utiliza para evaluar si un proceso es capaz de producir resultados que cumplan con los requisitos del cliente. El Asistente de Minitab incluye dos análisis de capacidad para examinar los datos continuos del proceso.

- Análisis de capacidad: este análisis evalúa la capacidad con base en una sola variable del proceso.
- Comparación de la capacidad Antes/Después: este análisis evalúa si un esfuerzo de mejora logró incrementar la capacidad del proceso para satisfacer los requisitos del cliente, mediante el análisis de una variable del proceso antes y después de la mejora.

Para estimar adecuadamente la capacidad del proceso actual y predecir de manera fiable la capacidad del proceso en el futuro, los datos empleados para estos análisis deben provenir de un proceso estable (Bothe, 1991; Kotz y Johnson, 2002). Además, debido a que estos análisis estiman los estadísticos de capacidad con base en la distribución normal, los datos del proceso deben seguir una distribución normal o aproximadamente normal. Por último, debe haber suficientes datos para que los estadísticos de capacidad tengan una precisión adecuada y para que la estabilidad del proceso pueda evaluarse adecuadamente.

Con base en estos requisitos, el Asistente realiza automáticamente las siguientes verificaciones en los datos y muestra los resultados en la Tarjeta de informe:

- Estabilidad
- Normalidad
- Cantidad de datos

En este trabajo, investigamos cómo se relacionan en la práctica estos requisitos con el análisis de capacidad y describimos cómo establecimos las directrices para verificar estas condiciones.

Verificaciones de los datos

Estabilidad

Para estimar con exactitud la capacidad del proceso, los datos deben provenir de un proceso estable. Debe verificar la estabilidad del proceso antes de comprobar si los datos son normales y antes de evaluar la capacidad del proceso. Si el proceso no es estable, debe identificar y eliminar las causas de la inestabilidad.

Pueden realizarse ocho pruebas en las gráficas de control de variables (gráfica Xbarra-R/S o I-MR) para evaluar la estabilidad de un proceso con datos continuos. Si estas pruebas se usan de manera simultánea, aumenta la sensibilidad de la gráfica de control. Sin embargo, es importante determinar el propósito y el valor agregado de cada prueba, porque la tasa de falsas alarmas aumenta a medida que se agregan más pruebas a la gráfica de control.

Objetivo

Queríamos determinar cuáles de las ocho pruebas de estabilidad debían incluirse en el Asistente con las gráficas de control de variables. Nuestro primer objetivo era identificar las pruebas que aumentan significativamente la sensibilidad a las condiciones fuera de control sin aumentar significativamente la tasa de falsas alarmas. Nuestro segundo objetivo era asegurar la simplicidad y el sentido práctico de la gráfica. Nuestra investigación se centró en las pruebas para la gráfica Xbarra y la gráfica I. Para las gráficas R, S y MR, solo utilizamos la prueba 1, que señala cuando un punto se encuentra fuera de los límites del control.

Método

Realizamos simulaciones y revisamos la bibliografía para evaluar de qué manera el uso de una combinación de pruebas de estabilidad afecta la sensibilidad y la tasa de falsas alarmas de las gráficas de control. Además, evaluamos la prevalencia de causas especiales asociadas con la prueba. Para obtener detalles sobre los métodos utilizados para cada prueba, consulte la sección Resultados, a continuación, y el Apéndice B.

Resultados

Determinamos que las pruebas 1, 2 y 7 eran las más útiles para evaluar la estabilidad de la gráfica Xbarra y la gráfica I:

PRUEBA 1: IDENTIFICA LOS PUNTOS QUE ESTÁN FUERA DE LOS LÍMITES DEL CONTROL

La prueba 1 identifica los puntos > 3 desviaciones estándar desde la línea central. La prueba 1 se reconoce universalmente como una prueba necesaria para detectar situaciones fuera de control. Tiene una tasa de falsas alarmas de tan solo 0.27%.

PRUEBA 2: IDENTIFICA LOS CAMBIOS EN LAS MEDIAS

La prueba 2 señala cuando 9 puntos consecutivos quedan del mismo lado de la línea central. Realizamos una simulación usando 4 medias diferentes, establecidas en múltiplos de la desviación estándar, y determinamos el número de subgrupos necesario para detectar una señal. Establecimos los límites de control con base en la distribución normal. Determinamos que cuando se agrega la prueba 2, aumenta significativamente la sensibilidad de la gráfica para detectar cambios pequeños en la media. Cuando se usan simultáneamente las pruebas 1 y 2, se necesitan significativamente menos subgrupos para detectar un cambio pequeño en la media que cuando se usa solamente la prueba 1. Por lo tanto, la adición de la prueba 2 ayuda a detectar situaciones comunes fuera de control y aumenta la sensibilidad lo suficiente como para justificar un ligero aumento en la tasa de falsas alarmas.

PRUEBA 7: IDENTIFICA LOS LÍMITES DE CONTROL QUE SON DEMASIADO AMPLIOS

La prueba 7 señala cuando de 12 a 15 puntos consecutivos están dentro de 1 desviación estándar de la línea central. La prueba 7 solo se utiliza para la gráfica XBarra cuando los límites del control se calculan a partir de los datos. Cuando esta prueba falla, la causa suele ser una fuente de variación (estratificación) sistémica dentro de un subgrupo, lo que con frecuencia se debe a la no formación de subgrupos racionales. Debido a que formar subgrupos racionales resulta crítico para garantizar que la gráfica de control pueda detectar con exactitud las situaciones fuera de control, el Asistente utiliza una prueba 7 modificada cuando estima los límites de control a partir de los datos. La prueba 7 señala una falla cuando el número de puntos consecutivos está entre 12 y 15, dependiendo del número de subgrupos:

k = (Número de subgrupos) x 0.33	Puntos necesarios
$k < 12$	12
$k \geq 12$ y $k \leq 15$	Entero $\geq k$
$k > 15$	15

Pruebas no incluidas en el Asistente

PRUEBA 3: K PUNTOS CONSECUTIVOS, EN ORDEN CRECIENTE O DECRECIENTE

La prueba 3 está diseñada para detectar cambios graduales en la media del proceso (Davis y Woodall, 1988). Sin embargo, cuando la prueba 3 se utiliza además de la prueba 1 y la prueba 2, no aumenta significativamente la sensibilidad de la gráfica para detectar cambios graduales en la media del proceso. Puesto que ya decidimos utilizar las pruebas 1 y 2, con base en los resultados de la simulación, incluir la prueba 3 no agregaría ningún valor significativo a la gráfica.

PRUEBA 4: K PUNTOS CONSECUTIVOS, ALTERNADOS HACIA ARRIBA Y HACIA ABAJO

Aunque este patrón puede ocurrir en la práctica, recomendamos buscar tendencias o patrones poco comunes en lugar de realizar una prueba para detectar un patrón específico.

PRUEBA 5: K DE K+1 PUNTOS > 2 DESVIACIONES ESTÁNDAR DESDE LA LÍNEA CENTRAL

Para asegurar la simplicidad de la gráfica, excluimos esta prueba porque no identificó inequívocamente situaciones de causa especial que son comunes en la práctica.

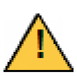
PRUEBA 6: K DE K+1 PUNTOS > 1 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DESDE LA LÍNEA CENTRAL

Para asegurar la simplicidad de la gráfica, excluimos esta prueba porque no identificó inequívocamente situaciones de causa especial que son comunes en la práctica.

PRUEBA 8: K PUNTOS CONSECUTIVOS > 1 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DESDE LA LÍNEA CENTRAL (CUALQUIER LADO)

Para asegurar la simplicidad de la gráfica, excluimos esta prueba porque no identificó inequívocamente situaciones de causa especial que son comunes en la práctica.

Al verificar la estabilidad en la Tarjeta de informe, el Asistente muestra los siguientes indicadores de estado:

Estado	Condición
	Ninguna prueba falla en la gráfica de la media (gráfica I o gráfica Xbarra) ni en la gráfica de variación (gráfica MR, R o S). Las pruebas utilizadas para cada gráfica son: Gráfica I: prueba 1 y prueba 2. Gráfica Xbarra: prueba 1, prueba 2 y prueba 7. La prueba 7 solo se realiza cuando los límites de control se calculan a partir de los datos. Gráficas MR, R y S: prueba 1.
	Si no se cumple la condición anterior.

Los mensajes específicos que acompañan a cada condición de estado se circunscriben al contexto del análisis de capacidad; por lo tanto, estos mensajes difieren de los que aparecen cuando las gráficas de control de variables se muestran por separado en el Asistente.

Normalidad

En el análisis de capacidad normal, una distribución normal se ajusta a los datos del proceso y los estadísticos de capacidad se calculan a partir de la distribución normal ajustada. Si la distribución de los datos del proceso no está cerca de la normal, estos cálculos pueden ser inexactos. La gráfica de probabilidad y la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling (AD) pueden usarse para evaluar si los datos son normales. La prueba de AD suele tener mayor potencia que otras pruebas para evaluar la normalidad. La prueba también puede detectar con mayor eficacia desviaciones de la normalidad en los extremos inferior y superior (colas) de una distribución (D'Agostino y Stephens, 1986). Estas propiedades hacen que la prueba de AD sea adecuada para probar la bondad de ajuste de los datos cuando se calcula la probabilidad de que las mediciones estén fuera de los límites de especificación.

Objetivo

Algunos profesionales opinan que la prueba de AD es demasiado conservadora y rechaza con demasiada frecuencia el supuesto de normalidad cuando el tamaño de la muestra es muy grande. Sin embargo, no pudimos encontrar ninguna referencia bibliográfica en la que se abordara ese tema. Por lo tanto, investigamos el efecto de las muestras grandes en el desempeño de la prueba de AD para evaluar la normalidad.

Queríamos averiguar qué tanto coincidían los resultados reales de la prueba de AD con el nivel de significancia (alfa o tasa de error Tipo I) especificado para la prueba; es decir, si la prueba de AD rechazaba incorrectamente la hipótesis nula de normalidad con mayor frecuencia de los esperado cuando el tamaño de la muestra era grande. También queríamos evaluar la potencia de la prueba para identificar las distribuciones no normales; es decir, si la prueba de AD rechazaba correctamente la hipótesis nula de normalidad con la frecuencia esperada cuando el tamaño de la muestra era grande.

Método

Realizamos dos conjuntos de simulaciones para estimar el error Tipo I y la potencia de la prueba de AD.

ERROR TIPO I: LA PROBABILIDAD DE RECHAZAR LA NORMALIDAD CUANDO LOS DATOS PROVIENEN DE UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL

Para estimar la tasa de error Tipo I, primero generamos 5000 muestras del mismo tamaño provenientes de una distribución normal. Realizamos la prueba de normalidad de AD en todas las muestras y calculamos el valor p. Luego determinamos el valor de k, el número de muestras con un valor p que era menor o igual que el nivel de significancia. La tasa de error Tipo I puede calcularse entonces como k/5000. Si la prueba de AD funciona correctamente, el error Tipo I estimado debe estar muy cerca del nivel de significancia especificado.

POTENCIA: LA PROBABILIDAD DE RECHAZAR LA NORMALIDAD CUANDO LOS DATOS NO PROVIENEN DE UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL

Para estimar la potencia, primero generamos 5000 muestras del mismo tamaño provenientes de una distribución no normal. Realizamos la prueba de normalidad de AD en todas las muestras y calculamos el valor p. Luego determinamos el valor de k, el número de muestras con un valor p que era menor o igual que el nivel de significancia. La potencia puede calcularse entonces como k/5000. Si la prueba de AD funciona adecuadamente, la potencia estimada debe estar cerca de 100%.

Repetimos este procedimiento para muestras de diferentes tamaños y para diferentes poblaciones normales y no normales. Para obtener más detalles sobre los métodos y resultados, consulte el Apéndice B.

Resultados

ERROR TIPO I

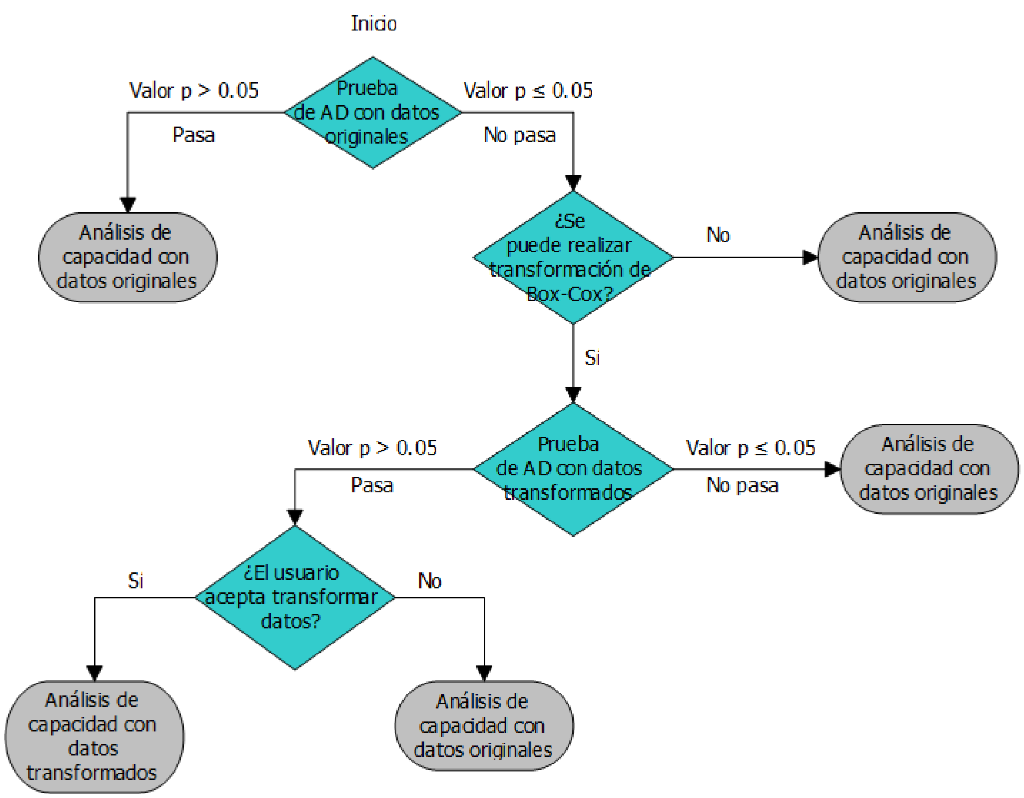
Nuestras simulaciones revelaron que cuando el tamaño de la muestra es grande, la prueba de AD no rechaza la hipótesis nula con más frecuencia de lo esperado. La probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando las muestras provienen de una distribución normal (la tasa de error Tipo I) es aproximadamente igual al nivel de significancia objetivo, como 0.05 ó 0.1, incluso para tamaños de muestra tan grandes como 10,000.

POTENCIA

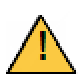
Nuestras simulaciones también indicaron que para la mayoría de las distribuciones no normales, la prueba de AD tiene una potencia cercana a 1 (100%) para rechazar correctamente la hipótesis nula de normalidad. La potencia de la prueba fue baja solo cuando se utilizaron datos de una distribución no normal que estaba muy cerca de una distribución normal. Sin embargo, para estas distribuciones cercanas a la normalidad, es probable que una distribución normal ofrezca una aproximación adecuada para las estimaciones de capacidad.

Con base en estos resultados, el Asistente utiliza una gráfica de probabilidad y la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling (AD) para evaluar si los datos son normales. Si los datos no son normales, el Asistente intenta transformar los datos usando la transformación de Box-Cox. Si la transformación se realiza correctamente, la normalidad de los datos transformados se evalúa usando la prueba de AD.

Este proceso se muestra en el siguiente diagrama de flujo.



Con base en estos resultados, la Tarjeta de informe del Asistente muestra los siguientes indicadores de estado cuando se evalúa la normalidad en el análisis de capacidad:

Estado	Condición
	Los datos originales pasaron la prueba de normalidad de AD ($p \geq 0.05$). o Los datos originales no pasaron la prueba de normalidad de AD ($p < 0.05$), pero el usuario optó por transformar los datos con Box-Cox y los datos transformados pasan la prueba de normalidad de AD ($p \geq 0.05$).
	Los datos originales no pasaron la prueba de normalidad de AD ($p < 0.05$). La transformación de Box-Cox corrige el problema, pero el usuario optó por no transformar los datos. o Los datos originales no pasaron la prueba de normalidad de AD ($p < 0.05$). La transformación de Box-Cox no puede realizarse correctamente en los datos para corregir el problema.

Cantidad de datos

Para obtener estimaciones precisas de la capacidad, debe tener datos suficientes. Si la cantidad de datos es insuficiente, las estimaciones de la capacidad pueden estar lejos de los valores “verdaderos” debido a la variabilidad de la muestra. Para mejorar la precisión de la estimación, puede aumentar el número de observaciones. Sin embargo, para recolectar más observaciones, se necesita más tiempo y recursos. Por lo tanto, es importante saber de qué manera el número de observaciones afecta la precisión de las estimaciones y cuántos datos es razonable recolectar de acuerdo con los recursos disponibles.

Objetivo

Investigamos la cantidad de observaciones que se necesita para obtener estimaciones precisas para el análisis de capacidad normal. Nuestro objetivo era evaluar el efecto del número de observaciones sobre la precisión de las estimaciones de capacidad y ofrecer directrices sobre la cantidad necesaria de datos que los usuarios pudieran considerar.

Método

Revisamos la bibliografía para saber cuántos datos por lo general se consideran adecuados para estimar la capacidad del proceso. Además, realizamos simulaciones para explorar el efecto del número de observaciones sobre una estimación clave de la capacidad del proceso: el nivel Z del proceso Z. Generamos 10,000 conjuntos de datos normales, calculamos el nivel Z para cada muestra y utilizamos los resultados para estimar el número de observaciones necesario para garantizar que la diferencia entre el nivel Z estimado y el nivel Z real estuviera dentro de cierto rango de precisión, con 90% y 95% de confianza. Para obtener más detalles, consulte el Apéndice C.

Resultados

El manual Control estadístico de procesos (SPC, pos sus siglas en inglés) recomienda usar suficientes subgrupos para asegurar que las principales fuentes de variación del proceso se reflejen en los datos (AIAG, 1995). En general, recomiendan recolectar al menos 25 subgrupos y al menos 100 observaciones en total. Otras fuentes citan un “mínimo absoluto” de 30 observaciones (Bothe, 1997), con un mínimo preferido de 100 observaciones.

Nuestra simulación reveló que el número de observaciones que se necesita para las estimaciones de la capacidad depende de la capacidad real del proceso y del grado de precisión que se desea que tenga la estimación. Para valores objetivo del nivel Z comúnmente utilizados ($Z > 3$), 100 observaciones proporcionan una confianza de 90% de que el nivel Z estimado del proceso estará dentro de un margen de 15% del nivel Z real (0.85 * Z real, 1.15 * Z real). Para obtener más detalles, consulte el Apéndice C.

Al verificar la cantidad de datos para el análisis de capacidad, el Asistente muestra los siguientes indicadores de estado:

Estado	Condición
	El número de observaciones es ≥ 100.
	El número de observaciones es < 100.

Referencias

AIAG (1995). Statistical Process Control (SPC) reference manual. Automotive Industry Action Group.

Bothe, D.R. (1997). Measuring process capability: Techniques and calculations for quality and manufacturing engineers. New York: McGraw-Hill.

D'Agostino, R.B. y Stephens, M.A. (1986). Goodness-of-fit techniques. New York: Marcel Dekker.

Kotz, S. y Johnson, N.L. (2002). Process capability indices – a review, 1992 – 2000. *Journal of Quality Technology, 34 (January), 2-53*.

Apéndice A: Estabilidad

Simulación A1: Qué efecto tiene en la sensibilidad la adición de la prueba 2 a la prueba 1

La prueba 1 detecta puntos fuera de control señalando cuando un punto está a más de 3 desviaciones estándar de la línea central. La prueba 2 detecta cambios en la media señalando cuando 9 puntos consecutivos se ubican en el mismo lado de la línea central.

Para evaluar si el hecho de usar la prueba 2 junto con la prueba 1 mejora la sensibilidad de las gráficas de las medias (gráfica I y gráfica Xbarra), establecimos los límites de control para una distribución normal (0, DE). Desplazamos la media de la distribución en un múltiplo de la desviación estándar y luego registramos el número de subgrupos necesarios para detectar una señal para cada una de las 10,000 iteraciones. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Número promedio de subgrupos hasta una falla de la prueba 1 (prueba 1), una falla de la prueba 2 (prueba 2) o una falla de la prueba 1 o la prueba 2 (prueba 1 ó 2). El cambio en la media es igual a un múltiplo de la desviación estándar (DE) y la simulación se realizó para los tamaños de subgrupo n = 1, 3 y 5.

	n=1			n=3			n=5		
Cambio	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1 ó 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1 ó 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1 ó 2
0.5 DE	154	84	57	60	31	22	33	19	14
1 DE	44	24	17	10	11	7	4	10	4
1.5 DE	15	13	9	3	9	3	1.6	9	1.6
2 DE	6	10	5	1.5	9	1.5	1.1	9	1.1

Como se observa en los resultados de la gráfica I (n=1), cuando se usan ambas pruebas (columna Prueba 1 ó 2), se necesita un promedio de 57 subgrupos para detectar un cambio de 0.5 desviaciones estándar en la media, en comparación con el promedio de 154 subgrupos necesarios para detectar un cambio de 0.5 desviaciones estándar cuando se usa la prueba 1 solamente. Del mismo modo, cuando se usan ambas pruebas, aumenta la sensibilidad para la gráfica Xbarra (n=3, n=5). Por ejemplo, para un tamaño de subgrupo de 3, se necesita un promedio de 22 subgrupos para detectar un cambio de 0.5 desviaciones estándar cuando se usan las pruebas 1 y 2, mientras que se necesitan 60 subgrupos para detectar un cambio de 0.5 desviaciones estándar cuando se usa la prueba 1 solamente. Por lo tanto, el uso de ambas pruebas aumenta significativamente la sensibilidad para detectar pequeños cambios en la media. A medida que aumenta el tamaño del cambio, la adición de la prueba 2 no aumenta significativamente la sensibilidad.

Simulación B2: ¿Qué tan efectiva es la prueba 7 para detectar la estratificación (múltiples fuentes de variabilidad en los subgrupos)?

La prueba 7 por lo general señala una falla cuando entre 12 y 15 puntos consecutivos se encuentran dentro de una desviación estándar de la línea central. El Asistente utiliza una regla modificada que ajusta el número de puntos necesarios con base en el número de subgrupos que hay en los datos. Establecimos k = (número de subgrupos * 0.33) y definimos los puntos consecutivos necesarios para una falla de la prueba 7 como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Puntos consecutivos necesarios para una falla de la prueba 7

k = (Número de subgrupos) x 0.33	Puntos necesarios
k < 12	12
k ≥ 12 y k ≤ 15	Entero ≥ k
k > 15	15

Usando escenarios comunes para establecer los límites de control, realizamos una simulación para determinar la probabilidad de que la prueba 7 señalara una falla utilizando los criterios indicados arriba. Específicamente, queríamos evaluar la regla para detectar estratificación durante la fase en la que los límites de control se estiman a partir de los datos.

Elegimos de forma aleatoria m subgrupos con un tamaño de n de una distribución normal con una desviación estándar (DE). La mitad de los puntos de cada subgrupo tenía una media igual a 0 y la otra mitad tenía una media igual al cambio de DE (0 DE, 1 DE o 2 DE). Realizamos 10,000 iteraciones y registramos el porcentaje de gráficas que mostraron al menos una falla de la prueba 7, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 Porcentaje de gráficas que tienen al menos una señal de la prueba 7

Número de subgrupos Tamaño del subgrupo Prueba		m = 50 n = 2 15 consecutivos	m = 75 n = 2 15 consecutivos	m = 25 n = 4 12 consecutivos	m = 38 n = 4 13 consecutivos	m = 25 n = 6 12 consecutivos
Cambio	**0 DE**	5%	8%	7%	8%	7%
	1 DE	23%	33%	17%	20%	15%

Número de subgrupos Tamaño del subgrupo Prueba		m = 50 n = 2 15 consecutivos	m = 75 n = 2 15 consecutivos	m = 25 n = 4 12 consecutivos	m = 38 n = 4 13 consecutivos	m = 25 n = 6 12 consecutivos
	2 DE	83%	94%	56%	66%	50%

Como se observa en la primera fila Cambio de la tabla (cambio = 0 DE), cuando no hay estratificación, un porcentaje relativamente pequeño de gráficas tienen al menos una falla de la prueba 7. Sin embargo, cuando hay estratificación (cambio = 1 DE o cambio = 2 DE), un porcentaje mucho más elevado de gráficas—hasta un 94%—tiene al menos una falla de la prueba 7. De esta manera, la prueba 7 puede identificar la estratificación en la fase en la que se estiman los límites del control.

Apéndice B: Normalidad

Simulación B.1: Estimación de la tasa de error Tipo I para la prueba de AD

Para investigar la tasa de error Tipo I de la prueba de AD para muestras grandes, generamos diferentes dispersiones de la distribución normal con una media de 30 y desviaciones estándar de 0.1, 5, 10, 30, 50 y 70. Para cada media y desviación estándar, generamos 5000 muestras con tamaño de muestra n = 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 y 10000, respectivamente, y calculamos el valor p del estadístico AD. Entonces estimamos las probabilidades de rechazar la distribución normal dado un conjunto de datos normal por la proporción de los valores $p \leq 0.05$ y ≤ 0.1 del total de 5000 muestras. Los resultados se muestran en las tablas de la 4 a la 9, abajo.

Tabla 4 Tasa de error Tipo I para Media = 30, Desviación estándar = 0.1, para cada tamaño de la muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	0.0514	0.0480	0.0526	0.0458	0.0492	0.0518	0.0582	0.0486
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	0.1008	0.1008	0.0984	0.0958	0.1004	0.1028	0.1046	0.0960

Tabla 5 Tasa de error Tipo I para Media = 30, Desviación estándar = 5, para cada tamaño de la muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	0.0524	0.0520	0.0446	0.0532	0.0481	0.0518	0.0594	0.0514
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	0.0990	0.1002	0.0990	0.1050	0.0965	0.1012	0.1074	0.1030

Tabla 6 Tasa de error Tipo I para Media = 30, Desviación estándar = 10, para cada tamaño de la muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	0.0486	0.0488	0.0498	0.0500	0.0458	0.0470	0.0446	0.0524
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	0.1008	0.0964	0.0988	0.1076	0.0930	0.0942	0.0924	0.1062

Tabla 7 Tasa de error Tipo I para Media = 30, Desviación estándar = 30, para cada tamaño de la muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	0.0514	0.0432	0.0506	0.0486	0.0558	0.0482	0.0508	0.0482
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	0.1028	0.0888	0.0978	0.0994	0.1012	0.0994	0.0992	0.0932

Tabla 8 Tasa de error Tipo I para Media = 30, Desviación estándar = 50, para cada tamaño de la muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	0.0470	0.0530	0.0520	0.0460	0.0540	0.0444	0.0458	0.0472
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	0.0950	0.0996	0.1072	0.0940	0.0996	0.0980	0.0890	0.0940

Tabla 9 Tasa de error Tipo I para Media = 30, Desviación estándar = 70, para cada tamaño de la muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	0.0520	0.0524	0.0522	0.0528	0.0502	0.0442	0.0500	0.0422
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	0.1038	0.1040	0.1020	0.0994	0.0990	0.0926	0.0994	0.0964

En todas las tablas, las proporciones de la fila 2 están cerca de 0.05 y las proporciones de la fila 3 están cerca de 0.1, lo que indica que la tasa de error Tipo I es la esperada con base en el nivel de significancia especificado (0.5 ó 0.1, respectivamente). Por lo tanto, incluso para muestras grandes y para diferentes dispersiones de la distribución normal, la prueba de AD no es conservadora y rechaza la hipótesis nula con tanta frecuencia como se esperaría con base en el nivel de significancia especificado.

Simulación B.2: Estimación de la potencia de la prueba de AD

Para investigar la potencia de la prueba de AD para detectar no normalidad para muestras grandes, generamos datos a partir de muchas distribuciones no normales, incluyendo las distribuciones no normales que se usan comúnmente para modelar la capacidad del proceso. Para cada distribución, generamos 5000 muestras con cada tamaño de muestra (n = 500, 1000, 3000, 5000, 7500 y 10000, respectivamente), y calculamos los valores p de los estadísticos AD. Luego, estimamos la probabilidad de rechazar la prueba de AD para conjuntos de datos no normales calculando las proporciones de los valores p ≤ 0.05 y los valores p ≤ 0.1 del total de 5000 muestras.

Los resultados se muestran en las tablas de la 10 a la 26, abajo.

Tabla 10 Potencia de la distribución t con gl = 3 para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 11 Potencia de la distribución t con gl = 5 para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	0.9812	0.9998	1.00	1.00	1.00	1.00	0.9812	0.9998
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	0.9890	0.9998	1.00	1.00	1.00	1.00	0.9890	0.9998

Tabla 12 Potencia de la distribución de Laplace (0,1) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 13 Potencia de la distribución Uniforme (0,1) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 14 Potencia de la distribución Beta (3,3) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	0.7962	0.9944	1.00	1.00	1.00	1.00	0.7962	0.9944
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	0.8958	0.9944	1.00	1.00	1.00	1.00	0.8958	0.9944

Tabla 15 Potencia de la distribución Beta (8,1) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 16 Potencia de la distribución Beta (8,1) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 17 Potencia de la distribución Exponencial (2) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 18 Potencia de la distribución de Chi-cuadrado (3) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 19 Potencia de la distribución de Chi-cuadrado (5) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 20 Potencia de la distribución de Chi-cuadrado (10) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 21 Potencia de la distribución Gamma (2, 6) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 22 Potencia de la distribución Gamma (5, 6) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 23 Potencia de la distribución Gamma (10, 6) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	0.9970	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.9970	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	0.9988	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.9988	1.00

Tabla 24 Potencia de la distribución de Weibull (1, 4) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 25 Potencia de la distribución de Weibull (4, 4) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.1)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	0.1816	0.3406	0.8502	0.9840	0.9992	1.00	0.1816	0.3406
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	0.2818	0.4754	0.9198	0.9928	1.00	1.00	0.2818	0.4754

Tabla 26 Potencia de la distribución de Weibull (20, 4) para cada tamaño de muestra (n) y valor p (0.05, 0.01)

Tamaño de la muestra (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Proporción de conjuntos de datos con valor p ≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Como se observa en las tablas anteriores, en casi todas las distribuciones no normales que investigamos, la potencia calculada de la prueba de AD casi siempre fue de 100% (1.00) o casi 100%, lo que indica que la prueba de AD rechaza correctamente la hipótesis nula y detecta no normalidad para la mayoría de las muestras grandes de datos no normales. Por lo tanto, la prueba tiene una potencia extremadamente alta.

La potencia calculada de la prueba de AD estuvo significativamente por debajo de 100% solo en dos casos: para la distribución beta (3,3) cuando n= 500 (tabla 14) y para la distribución de Weibull (4,4) cuando n= 500, 1000 y 3000 (tabla 25). Sin embargo, estas dos distribuciones no están lejos de una distribución normal, como se muestra en las figuras 1 y 2, abajo.

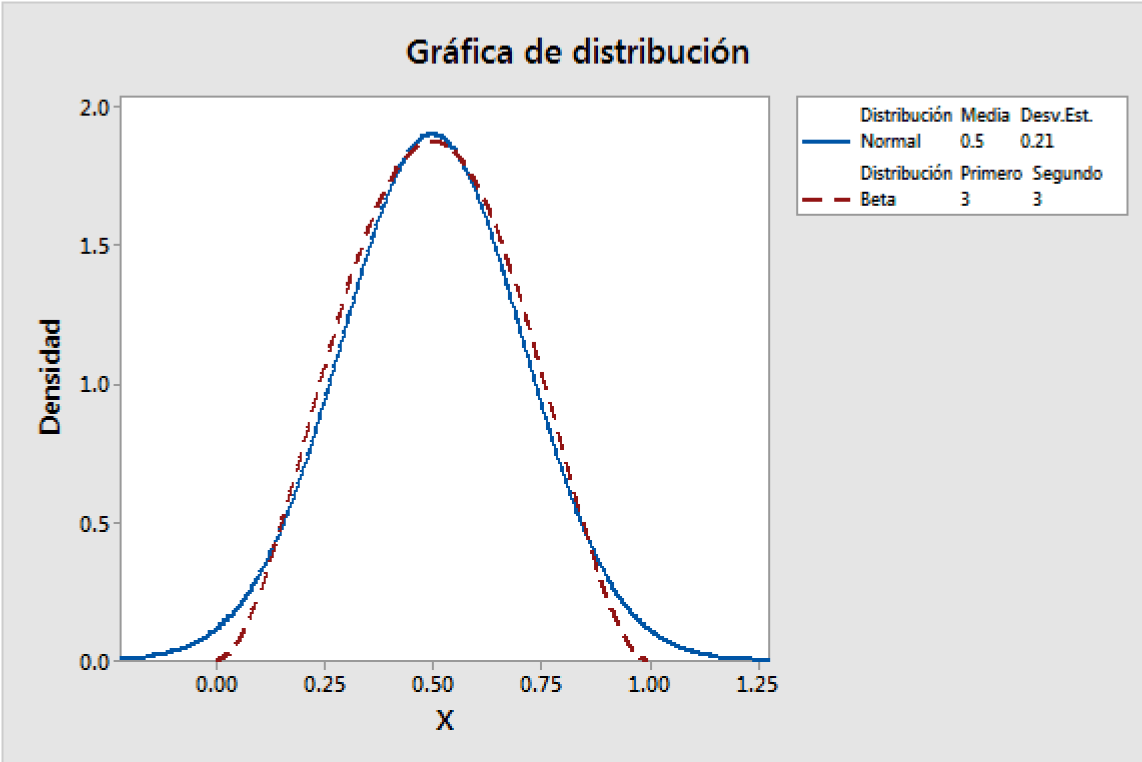


Figura 1 Comparación de la distribución beta (3,3) con una distribución normal.

Como se muestra en la figura 1, arriba, la distribución beta (3,3) está cerca de una distribución normal. Esto explica por qué existe una reducida proporción de conjuntos de datos para los que la prueba de AD rechaza la hipótesis nula de normalidad cuando el tamaño de la muestra es menor que 1000.

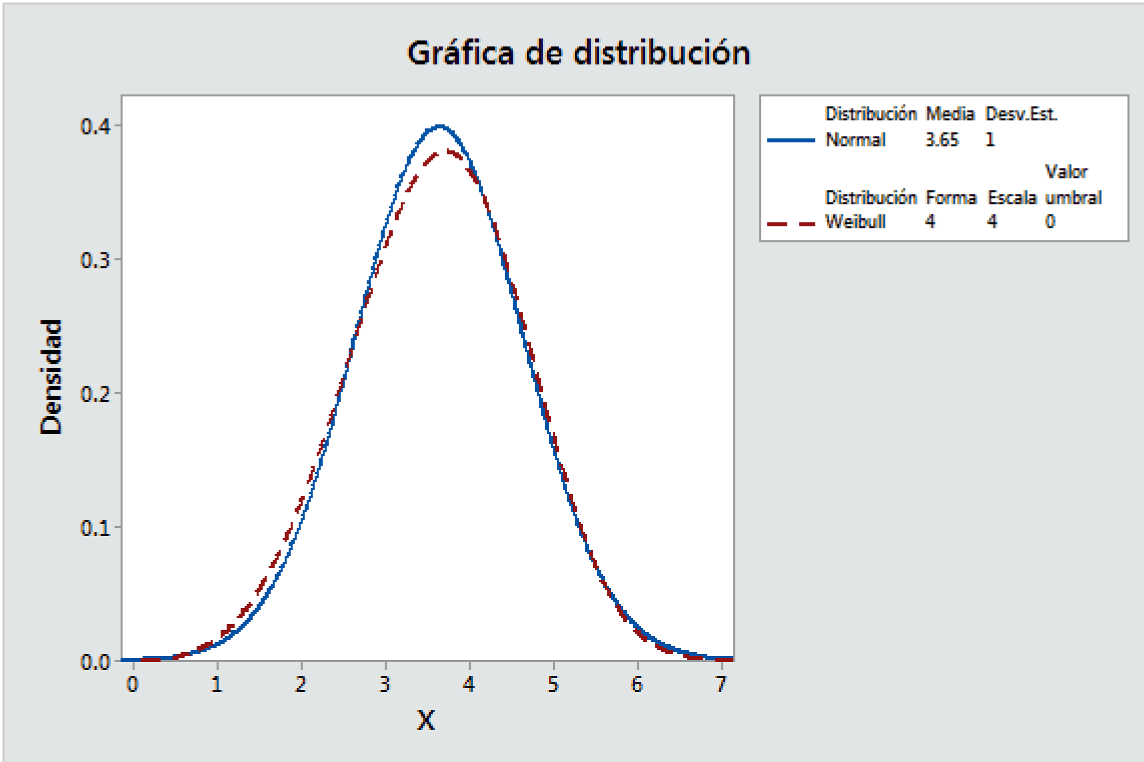


Figura 2 Comparación de la distribución de Weibull (4,4) con una distribución normal.

Del mismo modo, la distribución de Weibull (4,4) está muy cerca de una distribución normal, como se muestra en la figura 2. De hecho, es difícil distinguir esta distribución de una distribución normal. En esta situación, una distribución normal puede ser una aproximación adecuada a la distribución real, y las estimaciones de la capacidad basadas en una distribución normal deberían proporcionar una representación razonable de la capacidad del proceso.

Apéndice C: Cantidad de datos

Simulación C.1: Determinación de los tamaños de muestra necesarios para diferentes niveles de precisión

Configuración y procedimiento

Sin pérdida de generalidad, generamos muestras usando las siguientes medias y desviaciones estándar, presuponiendo un límite de especificación inferior (LEI) = -1 y un límite de especificación superior (LES) = 1:

Tabla 27 Media, desviación estándar y valores Z objetivo para las muestras

Media	Desviación estándar	Z objetivo
0	0.163	6.02
0.1	0.163	5.52
0.2	0.160	5.00
0.2	0.177	4.52
0	0.240	4.01
0.1	0.256	3.51
0.2	0.265	3.02
0.1	0.352	2.50
0	0.437	2.01
0	0.545	1.50
0.1	0.700	1.01

Calculamos los valores Z objetivo (el Z verdadero) usando la siguiente fórmula, donde μ es la media y σ es la desviación estándar:

$$p_1 = Prob(X < LEI) = \Phi((LEI - \mu)/\sigma)$$

$$p_2 = Prob(X > LES) = 1 - \Phi((LES - \mu)/\sigma) = \Phi((\mu - LES)/\sigma)$$

$$Z\ objetivo = \Phi^{-1}(1 - p_1 - p_2) = -\Phi^{-1}(p_1 + p_2)$$

Para realizar la simulación, seguimos estos pasos:

1. Generar 10,000 conjuntos de datos normales con un tamaño de muestra diferente para cada Z objetivo (se muestra en la tabla 27, arriba).
2. Calcular los valores del nivel Z usando los conjuntos de datos generados. Para cada tamaño de muestra y Z objetivo, había 10,000 valores de Z.
3. Ordenar los 10,000 valores de Z de menor a mayor. El IC de 95% para el nivel Z se formó usando los valores estimados de Z (250, 9750); el IC de 90%, usando los valores estimados de Z (500, 9500); y el IC de 80%, usando los valores estimados de Z (1000, 9000).
4. Identificar el número de observaciones que dan como resultado una diferencia entre el valor estimado de Z y el valor real de Z dentro de cierto rango (precisión) en los niveles de confianza seleccionados.

Para realizar el paso 4 de la simulación, primero necesitábamos determinar el rango, o el nivel de precisión, que era adecuado usar para seleccionar el tamaño de la muestra. No existe un solo nivel de precisión que pueda aplicarse con éxito en todas las situaciones, porque la precisión que se necesita depende del valor real de Z que se está estimando. Por ejemplo, la siguiente tabla muestra la relación entre los niveles fijos de precisión y el defecto por millón de oportunidades (DPMO) para dos valores de Z diferentes:

Tabla 28 Relación entre el Z real, el DPMO y el nivel de precisión

	Z real = 4.5, DPMO=3.4		Z real = 2.5, DPMO = 6209.7	
Precisión	DPMO inferior	DPMO superior	DPMO inferior	DPMO superior
Z real +/- 0.1	2.0	4.4	4661.2	8197.5
Z real +/- 0.2	1	8.5	3467.0	10724.1
Z real +/- 0.3	0.79	13.3	2555.0	13903.0

Como se muestra en la tabla, si el valor de Z es 4.5, pueden considerarse los tres niveles de precisión (+/-0.1, +/0.2 y +/0.3) porque en la mayoría de las aplicaciones la diferencia resultante en los valores del DPMO inferior y el DPMO superior, tales como 0.79 vs. 13.3, podría no marcar mucha diferencia práctica. Sin embargo, si el valor real de Z es 2.5, los niveles de precisión +/-

0.2 y +/-0.3 podrían no ser aceptables. Por ejemplo, en el nivel de precisión +/-0.3, el DPMO superior es 13,903, que es sustancialmente diferente del valor del DPMO inferior de 6209. Por lo tanto, parece que la precisión debe elegirse en función del valor real de Z.

Para nuestra simulación, usamos los siguientes tres niveles de precisión para identificar el número de observaciones que se requieren.

Tabla 29 Niveles de precisión para Z para la simulación

Margen	Cálculo	Rango de Z
15%	Z real +/- 0.15 * Z real	(0.85 Z real, 1.15 Z real)
10%	Z real +/- 0.1 * Z real	(0.9 Z real, 1.1 Z real)
5%	Z real +/- 0.1 * Z real	(0.95 Z real, 1.05 Z real)

RESUMEN DE RESULTADOS

Los principales resultados de la simulación se muestran en la tabla 30, abajo. La tabla muestra el número de observaciones necesarias para diferentes valores objetivo de Z en cada uno de los tres niveles de precisión, con 90% de confianza.

Tabla 30 Número de observaciones necesarias para cada margen de precisión en el nivel de confianza de 90%

		Número de observaciones		
Z objetivo	**DPMO objetivo**	**Margen de 15%**	**Margen de 10%**	**Margen de 5%**
6.02	**0.00085**	85	175	675
5.52	**0.01695**	85	175	650
5.00	**0.28665**	87	175	625
4.52	**3.09198**	90	175	600
4.01	**30.36**	83	175	650
3.51	**224.1**	90	185	650
3.02	**1263.9**	94	200	700
2.50	**6209.7**	103	215	750
2.01	**22215.6**	115	225	900
1.50	**66807.2**	135	300	1000

		Número de observaciones		
Z objetivo	**DPMO objetivo**	**Margen de 15%**	**Margen de 10%**	**Margen de 5%**
1.01	156247.6	185	400	1600

Tenga en cuenta que a medida que el margen de precisión se hace más estrecho, el número de observaciones necesarias aumenta. Además, si aumentamos el nivel de confianza de 90% a 95%, se necesitan sustancialmente más observaciones, lo que puede verse claramente en los resultados detallados de la simulación que se muestran en las tablas de la 31 a la 52 en la sección siguiente.

Con base en los resultados de la simulación, concluimos que:

1. El número de observaciones necesarias para producir estimaciones razonablemente precisas de la capacidad varía con la capacidad real del proceso.
2. Para valores objetivo del nivel Z comúnmente utilizados (Z >3), al usar un mínimo de 100 observaciones, usted puede tener aproximadamente un 90% de confianza de que nivel Z estimado del proceso estará a no más de un 15% del valor real de Z (0.85 * Z real, 1.15 * Z real). Si aumenta el número de observaciones a 175 o más, la precisión del nivel Z estimado baja a un margen de 10% (0.9 * Z real, 1.1 * Z real).

RESULTADOS DETALLADOS DE LA SIMULACIÓN

Las siguientes tablas muestran los resultados específicos de la simulación que se resumieron en la tabla 30, arriba. Para cada valor objetivo de Z, y para cada nivel de confianza y cada nivel de precisión, identificamos el número mínimo de observaciones necesarias para que el intervalo de confianza correspondiente esté dentro del intervalo de referencia.

Por ejemplo, en el primer conjunto de resultados que se muestra a continuación, cuando Z objetivo = 6.02, el intervalo de referencia para el margen de precisión de 15% se calcula como (5.117, 6.923), como se muestra en la fila 1 de la tabla 31. Tenga en cuenta que en la tabla 32, en el nivel de confianza de 90%, los intervalos de la columna 3 no se ubican dentro de este intervalo de referencia hasta que el número de observaciones aumenta a 85. Por lo tanto, 85 es el número mínimo estimado de observaciones necesarias para lograr una confianza de 90% con un margen de precisión de 15% cuando el Z objetivo es 6.02. Los resultados correspondientes a los niveles de confianza y los márgenes de precisión para los otros valores de Z objetivo que se muestran en las tablas de la 33 a la 51 pueden interpretarse del mismo modo.

Z OBJETIVO= 6.02 DPMO OBJETIVO= 0.00085

Tabla 31 Intervalos de referencia utilizados para seleccionar el número mínimo de observaciones para cada nivel de precisión

Precisión	Límite inferior	Límite superior
Margen de 15%	Z – 0.15Z = 5.117	Z + 0.15Z = 6.923
Margen de 10%	Z – 0.1Z = 5.42	Z + 0.1Z = 6.62
Margen de 5%	Z – 0.05Z = 5.72	Z + 0.05Z = 6.32

Tabla 32 Intervalos de confianza simulados del nivel Z para diferentes números de observaciones

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
5	(3.36, 20.97)	(3.64, 13.91)	(4.04, 11.22)
10	(3.97, 11.82)	(4.23, 9.65)	(4.54, 8.63)
15	(4.26, 10.14)	(4.49, 8.65)	(4.79, 7.95)
20	(4.47, 9.40)	(4.67, 8.16)	(4.93, 7.63)
25	(4.60, 8.82)	(4.79, 7.87)	(5.01, 7.43)
30	(4.70, 8.49)	(4.88, 7.65)	(5.10, 7.25)
35	(4.78, 8.23)	(4.95, 7.52)	(5.16, 7.12)
40	(4.86, 8.08)	(5.02, 7.43)	(5.22, 7.09)
45	(4.90, 7.89)	(5.05, 7.30)	(5.26, 7.00)
50	(4.94, 7.78)	(5.09, 7.25)	(5.28, 6.93)
60	(5.05, 7.55)	(5.18, 7.08)	(5.34, 6.81)
70	(5.11, 7.43)	(5.24, 6.97)	(5.39, 6.75)
80	(5.15, 7.32)	(5.28, 6.94)	(5.43, 6.71)
85		(5.30, 6.92)	
90	(5.20, 7.23)	(5.32, 6.87)	(5.46, 6.67)
100	(5.24, 7.15)	(5.35, 6.83)	(5.48, 6.64)
105	(5.26, 7.13)	(5.37, 6.81)	(5.51, 6.63)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
110	(5.27, 7.10)	(5.38, 6.78)	(5.51, 6.60)
120	(5.31, 7.07)	(5.41, 6.73)	(5.54, 6.55)
130	(5.34, 7.00)	(5.44, 6.71)	(5.56, 6.55)
140	(5.35, 6.97)	(5.45, 6.70)	(5.57, 6.54)
150	(5.37, 6.89)	(5.47, 6.67)	(5.58, 6.51)
175	(5.42, 6.87)	(5.50, 6.62)	(5.62, 6.48)
200	(5.46, 6.77)	(5.54, 6.55)	(5.64, 6.43)
250	(5.51, 6.71)	(5.58, 6.51)	(5.67, 6.40)
300	(5.56, 6.62)	(5.63, 6.46)	(5.71, 6.36)
350	(5.59, 6.59)	(5.65, 6.43)	(5.73, 6.34)
400	(5.62, 6.54)	(5.68, 6.40)	(5.75, 6.32)
450	(5.62, 6.51)	(5.69, 6.38)	(5.76, 6.30)
500	(5.65, 4.50)	(5.71, 6.36)	(5.78, 6.28)
550	(5.68, 6.46)	(5.73, 6.35)	(5/79, 6.27)
650	(5.71, 6.43)	(5.75, 6.32)	(5.81, 6.24)
700	(5.71, 6.41)	(5.76, 6.31)	(5.81, 6.24)
900	(5.75, 6.37)	(5.79, 6.27)	(5.84, 6.21)
1000	(5.76, 6.34)	(5.80, 6.26)	(5.85, 6.20)
1050	(5.77, 6.35)	(5.81, 6.25)	(5.85, 6.20)
1100	(5.77, 6.33)	(5.81, 6.25)	(5.86, 6.20)
1150	(5.78, 6.32)	(5.82, 6.25)	(5.86, 6.20)
1200	(5.78, 6.33)	(5.82, 6.24)	(5.86, 6.18)
1250	(5.79, 6.32)	(5.82, 6.23)	(5.87, 6.18)
1300	(5.80, 6.31)	(5.83, 6.23)	(5.87, 6.18)
1350	(5.80, 6.30)	(5.83, 6.22)	(5.87, 6.18)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
1400	(5.80, 6.30)	(5.83, 6.22)	(5.88, 6.18)
1450	(5.80, 6.28)	(5.84, 6.22)	(5.88, 6.17)
1500	(5.81, 6.28)	(5.84, 6.21)	(5.88, 6.17)
1550	(5.81, 6.28)	(5.84, 6.21)	(5.88, 6.17)
1600	(5.81, 6.28)	(5.85, 6.21)	(5.88, 6.17)
1650	(5.81, 6.28)	(5.85, 6.21)	(5.89, 6.17)
1700	(5.81, 6.27)	(5.85, 6.20)	(5.89, 6.17)

Z OBJETIVO= 5.52 DPMO OBJETIVO= 0.01695

Tabla 33 Intervalos de referencia utilizados para seleccionar el número mínimo de observaciones para cada nivel de precisión

Precisión	Límite inferior	Límite superior
Margen de 15%	Z – 0.15Z = 4.6920	Z + 0.15Z = 6.3480
Margen de 10%	Z – 0.1Z = 4.97	Z + 0.1Z = 6.07
Margen de 5%	Z – 0.05Z = 5.24	Z + 0.05Z = 5.80

Tabla 34 Intervalos de confianza simulados del nivel Z para diferentes números de observaciones

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
5	(3.18, 18.68)	(3.49, 12.87)	(3.86, 10.62)
10	(3.68, 11.28)	(3.92, 9.12)	(4.22, 8.14)
15	(3.99, 9.38)	(4.20, 8.03)	(4.46, 7.40)
20	(4.15, 8.74)	(4.34, 7.64)	(4.59, 7.08)
25	(4.27, 8.18)	(4.45, 7.32)	(4.67, 6.86)
30	(4.36, 7.80)	(4.52, 7.13)	(4.75, 6.72)
35	(4.43, 7.61)	(4.59, 6.94)	(4.79, 6.60)
40	(4.47, 7.45)	(4.64, 6.84)	(4.82, 6.53)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
45	(4.56, 7.23)	(4.69, 6.73)	(4.86, 6.44)
50	(4.55, 7.14)	(4.71, 6.65)	(4.88, 6.38)
60	(4.65, 7.00)	(4.78, 6.56)	(4.93, 6.32)
70	(4.71, 6.84)	(4.82, 6.46)	(4.97, 6.23)
80	(4.75, 6.73)	(4.87, 6.38)	(5.00, 6.18)
83		(4.88, 6.36)	
84		(4.87, 6.37)	
85		(4.89, 6.32)	
90	(4.80, 6.65)	(4.91, 6.33)	(5.03, 6.14)
100	(4.84, 6.60)	(4.94, 6.29)	(5.06, 6.12)
115	(4.86, 6.50)	(4.96, 6.23)	(5.08, 6.07)
125	(4.88, 6.45)	(4.99, 6.19)	(5.10, 6.04)
150	(4.94, 6.38)	(5.03, 6.13)	(5.14, 5.99)
175	(4.98, 6.17)	(5.06, 6.06)	(5.16, 5.95)
200	(5.02, 6.21)	(5.09, 6.03)	(5.18, 5.92)
250	(5.06, 6.15)	(5.14, 5.98)	(5.22, 5.87)
300	(5.10, 6.09)	(5.16, 5.94)	(5.24, 5.84)
350	(5.13, 6.04)	(5.19, 5.90)	(5.26, 5.81)
375	(5.13, 6.02)	(5.19, 5.88)	(5.27, 5.80)
400	(5.15, 6.00)	(5.21, 5.87)	(5.28, 5.79)
450	(5.18, 5.98)	(5.22, 5.85)	(5.29, 5.78)
500	(5.19, 5.96)	(5.24, 5.84)	(5.30, 5.77)
650	(5.23, 5.83)	(5.27, 5.80)	(5.33, 5.73)
700	(5.24, 5.89)	(5.28, 5.78)	(5.34, 5.72)
800	(5.25, 5.86)	(5.29, 5.76)	(5.35, 5.71)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
900	(5.27, 5.83)	(5.31, 5.75)	(5.36, 5.70)
1000	(5.28, 5.82)	(5.32, 5.74)	(5.37, 5.69)
1100	(5.29, 5.80)	(5.33, 5.73)	(5.37, 5.68)
1200	(5.30, 5.79)	(5.33, 5.72)	(5.38, 5.68)
1300	(5.31, 5.78)	(5.34, 5.71)	(5.38, 5.67)
1400	(5.31, 5.77)	(5.35, 5.70)	(5.39, 5.66)
1500	(5.32, 5.76)	(5.35, 5.70)	(5.39, 5.66)
1600	(5.33, 5.76)	(5.36, 5.69)	(5.40, 5.65)
1700	(5.34, 5.75)	(5.37, 5.69)	(5.40, 5.65)

Z OBJETIVO= 5.00 DPMO OBJETIVO= 0.28665

Tabla 35 Intervalos de referencia utilizados para seleccionar el número mínimo de observaciones para cada nivel de precisión

Precisión	Límite inferior	Límite superior
Margen de 15%	Z – 0.15Z = 4.25	Z + 0.15Z = 5.75
Margen de 10%	Z – 0.1Z = 4.5	Z + 0.1Z = 5.5
Margen de 5%	Z – 0.05Z = 4.75	Z + 0.05Z = 5.25

Tabla 36 Intervalos de confianza simulados del nivel Z para diferentes números de observaciones

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
10	(3.38, 10.10)	(3.57, 8.23)	(3.85, 7.36)
20	(3.74, 7.80)	(3.93, 6.89)	(4.16, 6.39)
30	(3.94, 7.16)	(4.10, 6.47)	(4.28, 6.11)
40	(4.07, 6.69)	(4.20, 6.18)	(4.35, 5.90)
50	(4.15, 6.48)	(4.27, 6.06)	(4.41, 5.80)
60	(4.20, 6.27)	(4.32, 5.92)	(4.45, 5.70)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
70	(4.26, 6.23)	(4.37, 5.86)	(4.50, 5.64)
80	(4.29, 6.10)	(4.40, 5.78)	(4.53, 5.59)
87		(4.43, 5.75)	
90	(4.31, 6.05)	(4.43, 5.74)	(4.55, 5.56)
100	(4.35, 5.96)	(4.44, 5.68)	(4.57, 5.53)
115	(4.40, 5.91)	(4.49, 5.64)	(4.60, 5.50)
125	(4.40, 5.84)	(4.50, 5.60)	(4.61, 5.46)
150	(4.47, 5.76)	(4.55, 5.55)	(4.65, 5.43)
170	(4.50, 5.70)	(4.57, 5.51)	(4.66, 5.39)
175	(4.50, 5.70)	(4.58, 5.49)	(4.67, 5.39)
200	(4.54, 5.65)	(4.60, 5.48)	(4.69, 5.37)
250	(4.58, 5.57)	(4.64, 5.41)	(4.73, 5.32)
300	(4.61, 5.52)	(4.67, 5.38)	(4.74, 5.29)
350	(4.64, 5.47)	(4.70, 5.34)	(4.76, 5.26)
400	(4.66, 5.45)	(4.71, 5.32)	(4.77, 5.25)
450	(4.68, 5.42)	(4.73, 5.30)	(4.79, 5.23)
500	(4.69, 5.39)	(4.74, 5.29)	(4.80, 5.23)
600	(4.73, 5.35)	(4.77, 5.26)	(4.82, 5.20)
625	(4.73, 5.36)	(4.77, 5.25)	(4.82, 5.20)
700	(4.74, 5.32)	(4.78, 5.23)	(4.83, 5.18)
800	(4.76, 5.31)	(4.80, 5.23)	(4.85, 5.17)
900	(4.77, 5.28)	(4.81, 5.21)	(4.85, 5.16)
1000	(4.78, 5.27)	(4.82, 5.20)	(4.86, 5.16)
1100	(4.79, 5.26)	(4.82, 5.19)	(4.86, 5.15)
1200	(4.80, 5.25)	(4.83, 5.18)	(4.87, 5.14)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
1300	(4.81, 5.24)	(4.83, 5.17)	(4.87, 5.13)
1400	(4.82, 5.22)	(4.84, 5.16)	(4.88, 5.13)
1500	(4.83, 5.22)	(4.85, 5.17)	(4.88, 5.13)
1600	(4.82, 5.22)	(4.85, 5.16)	(4.88, 5.13)
1700	(4.83, 5.21)	(4.86, 5.16)	(4.89, 5.12)

Z OBJETIVO= 4.52 DPMO OBJETIVO= 3.09198

Tabla 37 Intervalos de referencia utilizados para seleccionar el número mínimo de observaciones para cada nivel de precisión.

Precisión	Límite inferior	Límite superior
Margen de 15%	Z – 0.15Z = 3.842	Z + 0.15Z = 5.198
Margen de 10%	Z – 0.1Z = 4.07	Z + 0.1Z = 4.97
Margen de 5%	Z – 0.05Z = 4.29	Z + 0.05Z = 4.75

Tabla 38 Intervalos de confianza simulados del nivel Z para diferentes números de observaciones

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
10	(3.03, 9.22)	(3.22, 7.50)	(3.49, 6.72)
20	(3.36, 7.07)	(3.51, 6.20)	(3.72, 5.78)
30	(3.54, 6.45)	(3.69, 5.83)	(3.86, 5.52)
40	(3.64, 6.08)	(3.78, 5.59)	(3.94, 5.34)
50	(3.75, 5.87)	(3.85, 5.46)	(3.99, 5.23)
60	(3.80, 5.76)	(3.91, 5.37)	(4.04, 5.17)
70	(3.84, 5.61)	(3.94, 5.28)	(4.07, 5.10)
80	(3.88, 5.53)	(3.98, 5.24)	(4.09, 5.07)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
90	(3.91, 5.47)	(4.00, 5.20)	(4.12, 5.04)
92		(4.00, 5.19)	
100	(3.93, 5.40)	(4.02, 5.15)	(4.13, 5.01)
115	(3.96, 5.34)	(4.05, 5.10)	(4.16, 4.96)
150	(4.04, 5.23)	(4.11, 5.03)	(4.20, 4.91)
175	(4.07, 5.16)	(4.14, 4.97)	(4.22, 4.87)
200	(4.10, 5.12)	(4.16, 4.95)	(4.24, 4.85)
250	(4.14, 5.03)	(4.20, 4.90)	(4.27, 4.82)
300	(4.17, 4.99)	(4.22, 4.86)	(4.29, 4.79)
350	(4.20, 4.96)	(4.25, 4.83)	(4.30, 4.76)
400	(4.21, 4.93)	(4.26, 4.81)	(4.32, 4.75)
450	(4.23, 4.90)	(4.27, 4.79)	(4.32, 4.73)
500	(4.24, 4.88)	(4.29, 4.78)	(4.34, 4.72)
600	(4.27, 4.84)	(4.31, 4.76)	(4.35, 4.71)
700	(4.29, 4.82)	(4.32, 4.74)	(4.36, 4.69)
800	(4.29, 4.80)	(4.33, 4.72)	(4.37, 4.68)
900	(4.31, 4.78)	(4.34, 4.71)	(4.38, 4.67)
1000	(4.32, 4.76)	(4.35, 4.70)	(4.39, 4.66)
1100	(4.33, 4.75)	(4.36, 4.68)	(4.39, 4.65)
1200	(4.34, 4.74)	(4.37, 4.68)	(4.40, 4.65)
1300	(4.34, 4.74)	(4.37, 4.68)	(4.40, 4.64)
1400	(4.35, 4.74)	(4.38, 4.67)	(4.41, 4.64)
1500	(4.36, 4.72)	(4.38, 4.67)	(4.41, 4.63)
1600	(4.36, 4.72)	(4.39, 4.66)	(4.42, 4.63)
1700	(4.36, 4.71)	(4.39, 4.66)	(4.42, 4.63)

Z OBJETIVO= 4.01 DPMO OBJETIVO= 30.36

Tabla 39 Intervalos de referencia utilizados para seleccionar el número mínimo de observaciones para cada nivel de precisión.

Precisión	Límite inferior	Límite superior
Margen de 15%	Z – 0.15Z = 3.4085	Z + 0.15Z = 4.6115
Margen de 10%	Z – 0.1Z = 3.61	Z + 0.1Z = 4.41
Margen de 5%	Z – 0.05Z = 3.81	Z + 0.05Z = 4.21

Tabla 40 Intervalos de confianza simulados del nivel Z para diferentes números de observaciones

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
5	(2.12, 12.84)	(2.32, 9.13)	(2.61, 7.35)
10	(2.57, 7.96)	(2.75, 6.50)	(2.97, 5.79)
15	(2.79, 6.75)	(2.95, 5.82)	(3.13, 5.32)
20	(2.92, 6.21)	(3.06, 5.46)	(3.23, 5.08)
25	(2.99, 5.85)	(3.12, 5.24)	(3.29, 4.91)
30	(3.09, 5.63)	(3.20, 5.08)	(3.35, 4.83)
35	(3.13, 5.50)	(3.26, 5.04)	(3.40, 4.76)
40	(3.17, 5.38)	(3.29, 4.95)	(3.44, 4.71)
45	(3.22, 5.25)	(3.33, 4.86)	(3.47, 4.65)
50	(3.27, 5.15)	(3.36, 4.82)	(3.49, 4.62)
60	(3.32, 5.09)	(3.42, 4.76)	(3.53, 4.56)
70	(3.35, 4.98)	(3.44, 4.68)	(3.56, 4.52)
80	(3.41, 4.88)	(3.50, 4.63)	(3.60, 4.48)
83		(3.50, 4.61)	
85		(3.50, 4.60)	
90	(3.44, 4.82)	(3.52, 4.58)	(3.62, 4.44)
100	(3.47, 4.76)	(3.55, 4.55)	(3.64, 4.43)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
110	(3.48, 4.76)	(3.56, 4.51)	(3.65, 4.40)
115	(3.48, 4.73)	(3.56, 4.52)	(3.66, 4.39)
150	(3.55, 4.63)	(3.62, 4.44)	(3.70, 4.33)
175	(3.58, 4.57)	(3.65, 4.41)	(3.72, 4.32)
200	(3.61, 4.53)	(3.67, 4.38)	(3.74, 4.29)
250	(3.65, 4.47)	(3.70, 4.33)	(3.77, 4.26)
300	(3.68, 4.43)	(3.73, 4.31)	(3.79, 4.24)
350	(3.70, 4.40)	(3.74, 4.28)	(3.80, 4.22)
400	(3.72, 4.36)	(3.76, 4.27)	(3.81, 4.20)
450	(3.74, 4.35)	(3.78, 4.25)	(3.82, 4.19)
500	(3.75, 4.33)	(3.79, 4.24)	(3.84, 4.18)
650	(3.78, 4.28)	(3.81, 4.21)	(3.86, 4.16)
675	(3.79, 4.27)	(3.82, 4.20)	(3.86, 4.16)
700	(3.78, 4.28)	(3.82, 4.20)	(3.86, 4.16)
900	(3.81, 4.25)	(3.84, 4.18)	(3.88, 4.14)
1000	(3.82, 4.23)	(3.85, 4.16)	(3.88, 4.13)
1100	(3.83, 4.22)	(3.86, 4.16)	(3.89, 4.12)
1200	(3.84, 4.21)	(3.87, 4.15)	(3.89, 4.12)
1300	(3.84, 4.20)	(3.87, 4.15)	(3.90. 4.12)
1400	(3.85, 4.19)	(3.88, 4.14)	(3.90, 4.11)
1500	(3.86, 4.18)	(3.88, 4.14)	(3.91, 4.11)
1600	(3.86, 4.18)	(3.88, 4.13)	(3.91, 4.10)
1700	(3.86, 4.18)	(3.89, 4.13)	(3.91, 4.10)

Z OBJETIVO= 3.51 DPMO OBJETIVO= 224.1

Tabla 41 Intervalos de referencia utilizados para seleccionar el número mínimo de observaciones para cada nivel de precisión

Precisión	Límite inferior	Límite superior
Margen de 15%	Z – 0.15Z =2.9835	Z + 0.15 Z = 4.0365
Margen de 10%	Z – 0.1Z = 3.16	Z + 0.1Z = 3.86
Margen de 5%	Z – 0.05Z = 3.33	Z + 0.05Z = 3.69

Tabla 42 Intervalos de confianza simulados del nivel Z para diferentes números de observaciones

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
10	(2.27, 7.08)	(2.43, 5.80)	(2.63, 5.17)
20	(2.57, 5.56)	(2.68, 4.88)	(2.85, 5.52)
30	(2.71, 5.05)	(2.83, 4.54)	(2.96, 4.28)
40	(2.80, 4.73)	(2.90, 4.37)	(3.02, 4.16)
50	(2.86, 4.57)	(2.97, 4.25)	(3.08, 4.07)
60	(2.92, 4.44)	(3.00, 4.18)	(3.10, 4.03)
70	(2.95, 4.37)	(3.03, 4.13)	(3.12, 3.98)
80	(2.97, 4.33)	(3.06, 4.08)	(3.15, 3.94)
90	(3.01, 4.26)	(3.08, 4.04)	(3.17, 3.90)
100	(3.03, 4.22)	(3.11, 4.02)	(3.19, 3.89)
110	(3.05, 4.16)	(3.11, 3.98)	(3.20, 3.86)
150	(3.12, 4.06)	(3.17, 3.91)	(3.24, 3.81)
175	(3.14, 4.02)	(3.19, 3.87)	(3.27, 3.79)
185	(3.14, 4.00)	(3.20, 3.86)	(3.26, 3.78)
200	(3.17, 3.97)	(3.22, 3.84)	(3.28, 3.77)
250	(3.20, 3.92)	(3.24, 3.80)	(3.30, 3.74)
300	(3.22, 3.88)	(3.26, 3.78)	(3.31, 3.72)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
350	(3.24, 3.86)	(3.29, 3.76)	(3.33, 3.71)
400	(3.25, 3.83)	(3.30, 3.75)	(3.34, 3.69)
450	(3.27, 3.81)	(3.31, 3.72)	(3.35, 3.67)
500	(3.28, 3.79)	(3.31, 3.71)	(3.36, 3.67)
600	(3.30, 3.77)	(3.33, 3.70)	(3.37, 3.65)
650	(3.31, 3.76)	(3.34, 3.69)	(3.37, 3.65)
700	(3.31, 3.74)	(3.34, 3.68)	(3.38, 3.64)
800	(3.33, 3.74)	(3.35, 3.67)	(3.38, 3.63)
900	(3.33, 3.71)	(3.36, 3.66)	(3.39, 3.62)
1000	(3.34, 3.71)	(3.37, 3.65)	(3.40, 3.61)
1100	(3.35, 3.69)	(3.38, 3.64)	(3.40, 3.61)
1200	(3.36, 3.69)	(3.38, 3.64)	(3.41, 3.61)
1300	(3.36, 3.69)	(3.39, 3.63)	(3.41, 3.60)
1400	(3.37, 3.67)	(3.39, 3.63)	(3.42, 3.60)
1500	(3.38, 3.67)	(3.40, 3.62)	(3.42, 3.60)
1600	(3.38, 3.66)	(3.40, 3.62)	(3.42, 3.59)
1700	(3.38, 3.66)	(3.40, 3.61)	(3.42, 3.59)

Z OBJETIVO= 3.02 DPMO OBJETIVO= 1263.9

Tabla 43 Intervalos de referencia utilizados para seleccionar el número mínimo de observaciones para cada nivel de precisión

Precisión	Límite inferior	Límite superior
Margen de 15%	Z – 0.15Z = 2.567	Z + 0.15Z = 3.473
Margen de 10%	Z – 0.1Z = 2.72	Z + 0.1Z = 3.32
Margen de 5%	Z – 0.05Z = 2.87	Z + 0.05Z = 3.17

Tabla 44 Intervalos de confianza simulados del nivel Z para diferentes números de observaciones

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
10	(1.92, 6.26)	(2.07, 5.02)	(2.26, 4.49)
20	(2.22, 4.83)	(2.33, 4.23)	(2.46, 3.91)
30	(2.32, 4.34)	(2.42, 3.92)	(2.54, 3.70)
40	(2.40. 4.11)	(2.48, 3.77)	(2.60, 3.58)
50	(2.45, 3.96)	(2.55, 3.68)	(2.64, 3.52)
60	(2.50, 3.87)	(2.58, 3.62)	(2.68, 3.48)
70	(2.54, 3.79)	(2.61, 3.55)	(2.70, 3.43)
80	(2.56, 3.73)	(2.63, 3.52)	(2.71, 3.40)
90	(2.59, 3.68)	(2.65, 3.49)	(2.73, 3.38)
94		(2.66, 3.47)	
100	(2.61, 3.65)	(2.67, 3.46)	(2.74, 3.36)
110	(2.62, 3.61)	(2.69, 3.44)	(2.76, 3.34)
120	(2.64, 3.58)	(2.70, 3.42)	(2.76, 3.32)
150	(2.68, 3.52)	(2.73, 3.37)	(2.79, 3.29)
200	(2.72, 3.44)	(2.76, 3.32)	(2.81, 3.25)
250	(2.75, 3.38)	(2.79, 3.28)	(2.84, 3.23)
300	(2.77, 3.36)	(2.81, 3.26)	(2.86, 3.20)
350	(2.78, 3.32)	(2.82, 3.24)	(2.87, 3.19)
400	(2.80, 3.30)	(2.83, 3.22)	(2.87, 3.18)
425	(2.81, 3.29)	(2.84, 3.22)	(2.88, 3.17)
450	(2.81, 3.28)	(2.85, 3.21)	(2.88, 3.17)
500	(2.82, 3.28)	(2.85, 3.20)	(2.88, 3.16)
600	(2.84, 3.25)	(2.87, 3.19)	(2.90, 3.15)
650	(2.84, 3.24)	(2.87, 3.18)	(2.90, 3.14)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
700	(2.85, 3.23)	(2.88, 3.17)	(2.91, 3.14)
800	(2.86, 3.22)	(2.88, 3.16)	(2.91, 3.13)
900	(2.87, 3.21)	(2.89, 3.16)	(2.92, 3.12)
1000	(2.88, 3.20)	(2.90. 3.15)	(2.93, 3.12)
1100	(2.88, 3.18)	(2.91, 3.14)	(2.93, 3.11)
1200	(2.89, 3.18)	(2.91, 3.14)	(2.93, 3.11)
1300	(2.89, 3.17)	(2.91, 3.13)	(2.94, 3.10)
1400	(2.90, 3.16)	(2.92, 3.12)	(2.94, 3.10)
1500	(2.90, 3.16)	(2.92, 3.12)	(2.94, 3.10)
1600	(2.91, 3.15)	(2.92, 3.12)	(2.94, 3.10)
1700	(2.91, 3.15)	(2.93, 3.12)	(2.95, 3.09)

Z OBJETIVO= 2.50 DPMO OBJETIVO= 6209.7

Tabla 45 Intervalos de referencia utilizados para seleccionar el número mínimo de observaciones para cada nivel de precisión

Precisión	Límite inferior	Límite superior
Margen de 15%	Z – 0.15Z = 2.125	Z + 0.15Z = 2.875
Margen de 10%	Z – 0.1Z = 2.25	Z + 0.1Z = 2.75
Margen de 5%	Z – 0.05Z = 2.38	Z + 0.05Z = 2.63

Tabla 46 Intervalos de confianza simulados del nivel Z para diferentes números de observaciones

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
10	(1.51, 5.09)	(1.63, 4.13)	(1.78, 3.69)
20	(1.76, 4.05)	(1.86, 3.51)	(1.98, 3.25)
30	(1.87, 3.57)	(1.97, 3.27)	(2.07, 3.07)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
40	(1.94, 3.40)	(2.01, 3.14)	(2.11, 2.98)
50	(1.99, 3.32)	(2.07, 3.07)	(2.16, 2.93)
60	(2.04, 3.22)	(2.10, 3.00)	(2.18, 2.88)
70	(2.08, 3.14)	(2.13, 2.96)	(2.21, 2.85)
80	(2.10, 3.10)	(2.16, 2.93)	(2.23, 2.82)
90	(2.11, 3.07)	(2.16, 2.91)	(2.24, 2.82)
100	(2.13, 3.02)	(2.18, 2.88)	(2.25, 2.79)
102		(2.19, 2.88)	
103		(2.19, 2.87)	
105		(2.19, 2.86)	
120	(2.16, 2.98)	(2.21, 2.83)	(2.27, 2.76)
125	(2.17, 2.97)	(2.21, 2.84)	(2.27, 2.76)
130	(2.18, 2.96)	(2.22, 2.83)	(2.28, 2.75)
135	(2.18, 2.94)	(2.23, 2.81)	(2.29, 2.74)
150	(2.19, 2.94)	(2.24, 2.81)	(2.29, 2.73)
200	(2.23, 2.87)	(2.27, 2.77)	(2.32, 2.71)
215	(2.24, 2.85)	(2.28, 2.75)	(2.33, 2.69)
225	(2.25, 2.83)	(2.29, 2.74)	(2.33, 2.69)
250	(2.26, 2.82)	(2.29, 2.73)	(2.33, 2.68)
300	(2.28, 2.79)	(2.31, 2.72)	(2.35, 2.67)
350	(2.30, 2.77)	(2.33, 2.69)	(2.37, 2.65)
400	(2.31, 2.75)	(2.34, 2.68)	(2.37, 2.64)
450	(2.32, 2.73)	(2.35, 2.67)	(2.38, 2.63)
500	(2.33, 2.72)	(2.35, 2.66)	(2.38, 2.63)
600	(2.34, 2.71)	(2.37, 2.65)	(2.40, 2.61)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
700	(2.36, 2.69)	(2.38, 2.64)	(2.40, 2.61)
750	(2.36, 2.68)	(2.38, 2.63)	(2.41, 2.60)
800	(2.36, 2.67)	(2.39, 2.63)	(2.41, 2.60)
900	(2.37, 2.66)	(3.39, 2.62)	(2.42, 2.59)
1000	(2.38, 2.65)	(2.40, 2.61)	(2.42, 2.59)
1100	(2.38, 2.65)	(2.40, 2.61)	(2.42, 2.58)
1200	(2.39, 2.64)	(2.41, 2.60)	(2.43, 2.58)
1300	(2.39, 2.64)	(2.41, 2.60)	(2.43, 2.58)
1400	(2.39, 2.63)	(2.41, 2.60)	(2.43, 2.57)
1500	(2.40, 2.63)	(2.41, 2.59)	(2.43, 2.57)
1600	(2.40, 2.62)	(2.42, 2.59)	(2.44, 2.57)
1700	(2.40, 2.62)	(2.42, 2.59)	(2.44, 2.57)

Z OBJETIVO= 2.01 DPMO OBJETIVO= 22215.6

Tabla 47 Intervalos de referencia utilizados para seleccionar el número mínimo de observaciones para cada nivel de precisión

Precisión	Límite inferior	Límite superior
Margen de 15%	Z – 0.15Z = 1.7085	Z + 0.15Z = 2.3115
Margen de 10%	Z – 0.1Z = 1.81	Z + 0.1Z = 2.21
Margen de 5%	**Z – 0.05Z = 1.91**	**Z + 0.05Z = 2.11**

Tabla 48 Intervalos de confianza simulados del nivel Z para diferentes números de observaciones

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
5	(0.87, 6.72)	(0.99, 4.65)	(1.16, 3.78)
10	(1.15, 4.20)	(1.25, 3.39)	(1.38, 2.96)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
15	(1.29, 3.53)	(1.38, 3.02)	(1.50, 2.73)
20	(1.36, 3.23)	(1.45, 2.80)	(1.55, 2.59)
25	(1.43, 3.05)	(1.50, 2.72)	(1.59, 2.53)
30	(1.46, 2.95)	(1.54, 2.65)	(1.63, 2.49)
35	(1.49, 2.85)	(1.57, 2.59)	(1.65, 2.45)
40	(1.53, 2.80)	(1.59, 2.54)	(1.68, 2.42)
45	(1.55, 2.72)	(1.61, 2.50)	(1.69, 2.38)
50	(1.58, 2.68)	(1.64, 2.48)	(1.71, 2.36)
60	(1.61, 2.61)	(1.66, 2.44)	(1.72, 2.33)
70	(1.63, 2.55)	(1.69, 2.40)	(1.75, 2.30)
80	(1.66, 2.52)	(1.71, 2.37)	(1.77, 2.29)
90	(1.68, 2.49)	(1.72, 2.35)	(1.78, 2.27)
100	(1.69, 2.46)	(1.74, 2.33)	(1.79, 2.26)
115		(1.75, 2.31)	
120		(1.76, 2.30)	
150	(1.75, 2.37)	(1.79, 2.27)	(1.83, 2.21)
200	(1.78, 2.32)	(1.81, 2.23)	(1.85, 2.18)
225	(1.79, 2.30)	(1.82, 2.22)	(1.87, 2.17)
250	(1.80, 2.29)	(1.83, 2.21)	(1.87, 2.16)
300	(1.82, 2.26)	(1.85, 2.18)	(1.88, 2.14)
350	(1.83, 2.24)	(1.86, 2.18)	(1.89, 2.14)
400	(1.84, 2.23)	(1.87, 2.17)	(1.90, 2.13)
450	(1.86, 2.21)	(1.88, 2.15)	(1.91, 2.12)
500	(1.86, 2.20)	(1.88,2.15)	(1.91, 2.12)
700	(1.88, 2.17)	(1.90, 2.13)	(1.93, 2.10)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
800	(1.89, 2.16)	(1.91, 2.12)	(1.93, 2.09)
850	(1.90, 2.15)	(1.91, 2.12)	(1.93, 2.09)
900	(1.90, 2.15)	(1.92, 2.11)	(1.94, 2.09)
1000	(1.90, 2.15)	(1.92, 2.11)	(1.94, 2.09)
1100	(1.91, 2.13)	(1.93, 2.10)	(1.95, 2.08)
1200	(1.92, 2.13)	(1.93, 2.10)	(1.95, 2.08)
1300	(1.92, 2.13)	(1.93, 2.09)	(1.95, 2.08)
1400	(1.92, 2.12)	(1.94, 2.09)	(1.95, 2.07)
1500	(1.93, 2.12)	(1.94, 2.09)	(1.95, 2.07)
1600	(1.93, 2.11)	(1.94, 2.09)	(1.96, 2.07)
1700	(1.93, 2.11)	(1.94, 2.09)	(1.96, 2.07)

Z OBJETIVO= 1.50 DPMO OBJETIVO= 66807.2

Tabla 49 Intervalos de referencia utilizados para seleccionar el número mínimo de observaciones para cada nivel de precisión

Precisión	Límite inferior	Límite superior
Margen de 15%	Z – 0.15Z = 1.2750	Z + 0.15Z = 1.7250
Margen de 10%	Z – 0.1Z = 1.35	Z + 0.1Z = 1.65
Margen de 5%	Z – 0.05Z = 1.43	Z + 0.05Z = 1.58

Tabla 50 Intervalos de confianza simulados del nivel Z para diferentes números de observaciones

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
10	(0.76, 3.27)	(0.85, 2.55)	(0.96, 2.27)
20	(0.94, 2.53)	(1.03, 2.18)	(1.11, 2.00)
30	(1.04, 2.26)	(1.10, 2.02)	(1.18, 1.89)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
40	(1.09, 2.13)	(1.15, 1.94)	(1.22, 1.83)
50	(1.13, 2.06)	(1.19, 1.89)	(1.25, 1.79)
60	(1.16, 2.00)	(1.21, 1.84)	(1.27, 1.79)
70	(1.19, 1.96)	(1.23, 1.82)	(1.29, 1.75)
80	(1.20, 1.92)	(1.25, 1.80)	(1.30, 1.72)
90	(1.23, 1.91)	(1.26, 1.79)	(1.31, 1.72)
100	(1.24, 1.88)	(1.27, 1.76)	(1.32, 1.70)
130		(1.30, 1.73)	
132		(1.30, 1.73)	
135		(1.30, 1.72)	
140		(1.31, 1.72)	
145		(1.31, 1.72)	
150	(1.28, 1.80)	(1.31, 1.72)	(1.35, 1.67)
175	(1.29, 1.78)	(1.32, 1.70)	(1.36, 1.66)
185	(1.30, 1.77)	(1.33, 1.70)	(1.37, 1.65)
200	(1.30, 1.76)	(1.33, 1.68)	(1.37, 1.64)
250	(1.33, 1.72)	(1.36, 1.66)	(1.39, 1.63)
275	(1.33, 1.72)	(1.36, 1.66)	(1.39, 1.62)
300	(1.35, 1.70)	(1.37, 1.65)	(1.40, 1.61)
350	(1.36, 1.70)	(1.38, 1.64)	(1.40, 1.61)
400	(1.36, 1.67)	(1.38, 1.63)	(1.41, 1.60)
450	(1.37, 1.67)	(1.39, 1.62)	(1.41, 1.59)
500	(1.38, 1.66)	(1.40, 1.62)	(1.42, 1.59)
600	(1.39, 1.65)	(1.40, 1.61)	(1.42, 1.58)
700	(1.40, 1.64)	(1.41, 1.60)	(1.43, 1.58)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
800	(1.40, 1.63)	(1.42, 1.59)	(1.44, 1.57)
900	(1.41, 1.62)	(1.42, 1.59)	(1.44, 1.57)
1000	(1.41, 1.61)	(1.43, 1.58)	(1.44, 1.56)
1100	(1.41, 1.61)	(1.43, 1.58)	(1.44, 1.56)
1200	(1.42, 1.60)	(1.43, 1.57)	(1.45, 1.56)
1300	(1.42, 1.60)	(1.43, 1.57)	(1.45, 1.56)
1400	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.57)	(1.45, 1.55)
1500	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.57)	(1.45, 1.55)
1600	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.57)	(1.46, 1.55)
1700	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.56)	(1.46, 1.55)

Z OBJETIVO= 1.01 DPMO OBJETIVO= 156247.6

Tabla 51 Intervalos de referencia utilizados para seleccionar el número mínimo de observaciones para cada nivel de precisión

Precisión	Límite inferior	Límite superior
Margen de 15%	Z – 0.15Z = 0.8585	Z + 0.15Z = 1.1615
Margen de 10%	Z – 0.1Z =0.91	Z + 0.1Z = 1.11
Margen de 5%	Z – 0.05Z = 0.96	Z + 0.05Z = 1.06

Tabla 52 Intervalos de confianza simulados del nivel Z para diferentes números de observaciones

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
10	(0.38, 2.33)	(0.46, 1.86)	(0.55, 1.62)
20	(0.55, 1.83)	(0.62, 1.55)	(0.68, 1.41)
30	(0.62, 1.63)	(0.67, 1.44)	(0.74, 1.32)
40	(0.67, 1.54)	(0.72, 1.37)	(0.77, 1.28)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
50	(0.70, 1.45)	(0.75, 1.32)	(0.80, 1.24)
60	(0.73, 1.42)	(0.77, 1.29)	(0.82, 1.22)
70	(0.75, 1.38)	(0.78, 1.27)	(0.83, 1.21)
80	(0.76, 1.35)	(0.80, 1.25)	(0.84, 1.19)
90	(0.78, 1.32)	(0.81, 1.23)	(0.85, 1.18)
100	(0.78, 1.31)	(0.81, 1.22)	(0.85, 1.17)
150	(0.82, 1.25)	(0.84, 1.18)	(0.88, 1.14)
185		(0.86, 1.16)	
187		(0.87, 1.16)	
190		(0.87, 1.16)	
200	(0.85, 1.21)	(0.87, 1.15)	(0.90, 1.12)
250	(0.86, 1.19)	(0.88, 1.14)	(0.91, 1.11)
300	(0.87, 1.18)	(0.89, 1.13)	(0.92, 1.10)
350	(0.88, 1.16)	(0.90, 1.12)	(0.92, 1.09)
400	(0.89, 1.14)	(0.91, 1.11)	(0.93, 1.08)
450	(0.89, 1.14)	(0.91, 1.11)	(0.93, 1.08)
500	(0.90, 1.13)	(0.92, 1.10)	(0.94, 1.08)
600	(0.91, 1.12)	(0.93, 1.09)	(0.94, 1.07)
700	(0.92, 1.11)	(0.93, 1.08)	(0.95, 1.07)
800	(0.93, 1.11)	(0.94, 1.08)	(0.95, 1.06)
900	(0.93, 1.10)	(0.94, 1.07)	(0.95, 1.06)
1000	(0.93, 1.09)	(0.94, 1.07)	(0.96, 1.06)
1100	(0.94, 1.09)	(0.95, 1.07)	(0.96, 1.05)
1200	(0.94, 1.09)	(0.95, 1.06)	(0.96, 1.05)
1300	(0.94, 1.08)	(0.95, 1.06)	(0.96, 1.05)

Número de observaciones	IC 95%	IC 90%	IC 80%
1400	(0.94, 1.08)	(0.95, 1.06)	(0.97, 1.05)
1500	(0.95, 1.08)	(0.95, 1.06)	(0.97, 1.05)
1600	(0.95, 1.08)	(0.96, 1.06)	(0.97, 1.05)
1700	(0.95, 1.07)	(0.96, 1.06)	(0.97, 1.04)