

El Control de los Estándares de Calidad.

- 5.1. El proceso de control de la calidad.
- 5.2. Gráficos del control de la calidad.
- 5.3. Medidas de la capacidad del proceso.
- 5.4. Seis Sigma.
- 5.5. Muestreo de aceptación.
- 5.6. Bibliografía.
- 5.7. Direcciones de Internet.
- 5.8. Preguntas propuestas.

5.1. El proceso de control de la calidad.

El proceso de control de la calidad mantiene el proceso en su estado planificado y consiste en la identificación de las variaciones esporádicas y en la toma de acciones correctivas para la eliminación de sus causas asignables, restableciendo el estado de control al nivel previo crónico. La responsabilidad de control se debería asignar al personal de línea de la empresa u operarios, pero para ello los operarios deben cumplir los requisitos del autocontrol, es decir: deben conocer los objetivos, el comportamiento real y un medio para realizar la corrección. El proceso de control de calidad abarca las siguientes etapas: elegir los puntos de control y características, diseñar el sistema de medición, establecer los estándares de actuación, medir la actuación real, comparar e interpretar las diferencias y actuar según estas diferencias.

a. La elección de los puntos de control y la característica a controlar. Mediante un diagrama de flujo se identifica aquellos puntos críticos donde se necesita llevar a cabo un control y las características del producto o proceso que se va a controlar. El proceso de control puede tener lugar en tres puntos:

- Antes de las operaciones: mediante un control en la fase de diseño (e.g., diseño dispositivo a prueba de error o "poka-yoke", sistema de aviso precoz) o mediante el muestreo de aceptación que asegure el cumplimiento de los requisitos por parte del proveedor.
- Durante las operaciones: mediante el control del proceso a través del bucle de retroalimentación.
- Control después de las operaciones: solicitando al cliente que califique el producto o servicio entregado, mediante auditorias o a través de muestreos de aceptación que evitan que lleguen productos defectuosos a manos del cliente.

b. El diseño del sistema de medición. Se crea un sistema de medida que consiste en: (1) definir la una unidad de medida que permita la evaluación numérica de cada característica, esta unidad puede ser una variable o un atributo: las variables utilizan una escala continua (e.g., longitud, altura, peso, tiempo de espera) y los atributos utilizan una escala discreta (e.g., número de artículos defectuosos o número de defectos por unidad); y definir el sensor (un instrumento para llevar a cabo la evaluación).

c. El establecimiento de los estándares de actuación. Para cada objeto de control se establece un objetivo de calidad (valor nominal y sus tolerancias) que han de ser legitimados, medibles y alcanzables. La decisión de si el proceso y el producto son conforme se ha de basar en el cumplimiento de dichas especificaciones.

d. La medición de la actuación real. En esta etapa se deben decidir la frecuencia las mediciones, el tamaño de la muestra y quién debe realizar la inspección (trabajadores, inspectores o incluso los clientes).

e. La comparación e interpretación de las diferencias. Los datos obtenidos mediante mediciones y observaciones se someten a un procesado que suministra la información necesaria para la toma de decisiones. En muchos casos es necesario saber interpretar estas desviaciones y descubrir la causa del cambio esporádico. La herramienta que se utiliza para ello son los gráficos de control.

f. La acción correctiva. El paso final para cerrar el bucle de retroalimentación consiste en accionar un cambio que restablezca el estado de control estadístico. La acción correctiva se hará sobre las fuentes de deficiencias esporádicas, para las fuentes de deficiencias crónicas utilizaremos el proceso de mejora.

La herramienta fundamental para llevar a cabo el proceso de control son los gráficos de control conjuntamente con la hoja de análisis característica del producto/proceso-objeto de control. En la hoja de análisis cada características del producto es ligada a una o varias características del proceso, definiéndose una relación precisa y predecible entre la cantidad de cambio en el ajuste de la característica del proceso y la cantidad de efecto sobre la característica del producto. En las columnas de la hoja se recogen las características a controlar, la unidad de medida, el tipo de sensor, los objetivos para estas características, la frecuencia de las mediciones, criterios para la toma de decisiones, acciones a ejecutar y el responsable del control.

5.2. Gráficos de control de la calidad.

Los gráficos de control se basan en que todos los procesos están sujetos a cierto grado de variabilidad natural. No importa lo perfectamente que pueda estar diseñado un proceso, siempre existirá cierta variabilidad natural en las características de la calidad de un bien/servicio a otro. Por ejemplo, el tiempo que se tarda en fabricar un producto no siempre será el mismo, variara alrededor de una cifra promedio, digamos 5 minutos. Esta variabilidad natural se debe a causas comunes o del sistema. Cuando el proceso sólo presenta variaciones naturales se dice que se encuentra en el estado de control estadístico.

Pero los procesos generalmente no se encuentran en un estado de control estadístico, ya que debido a causas esporádicas (e.g., empleados con poca preparación, equipos desajustados, nuevos procedimientos, etc.) se origina una variabilidad asignable. El objetivo de los gráficos de control es identificar esas variaciones asignables y sus causas esporádicas y ayudar en la toma de acciones correctoras para su eliminación, y así llevar al proceso otra vez a un estado de control estadístico donde las variaciones restantes se deben a causas comunes.

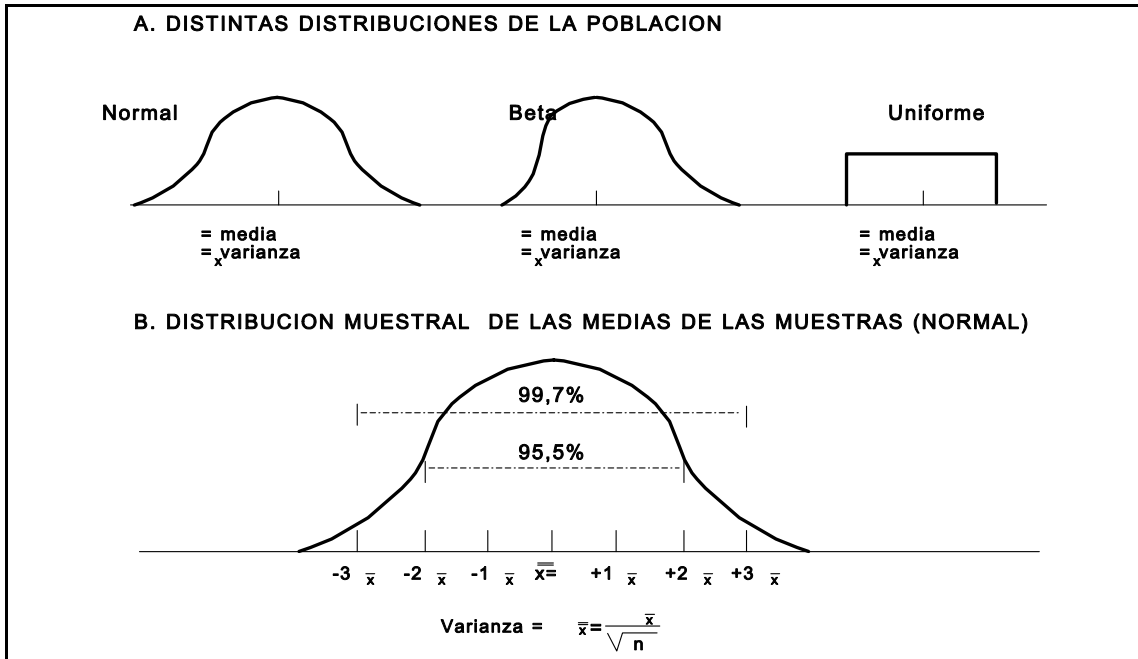
El procedimiento general que se sigue en la elaboración de un gráfico de control es el siguiente:

- Se dibuja una gráfica, representándose en el eje de las "y" la característica de la calidad que se quiere controlar, y en eje de las "x" el tiempo o las distintas muestras tomadas del proceso.
- Tomar de forma periódica varias muestras aleatorias de tamaño "n".
- Calcular la media de las muestras ($\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \dots, \bar{X}_m$) y representar en el gráfico.
- Calcular la media de las medias de las muestras $\bar{\bar{X}}$ y representar como línea central de la gráfica de control (LC).
- Calcular los límites mínimos (LCI) y máximos (LCS) aceptables de variación natural, que suelen ser de $\pm 3\sigma_{\bar{x}}$.

El fundamento teórico de los límites se encuentra en el teorema central de límite. Este teorema afirma que independientemente de la distribución de la población, la distribución de las medias obtenidas de varias muestras de la población sigue una distribución normal, donde:

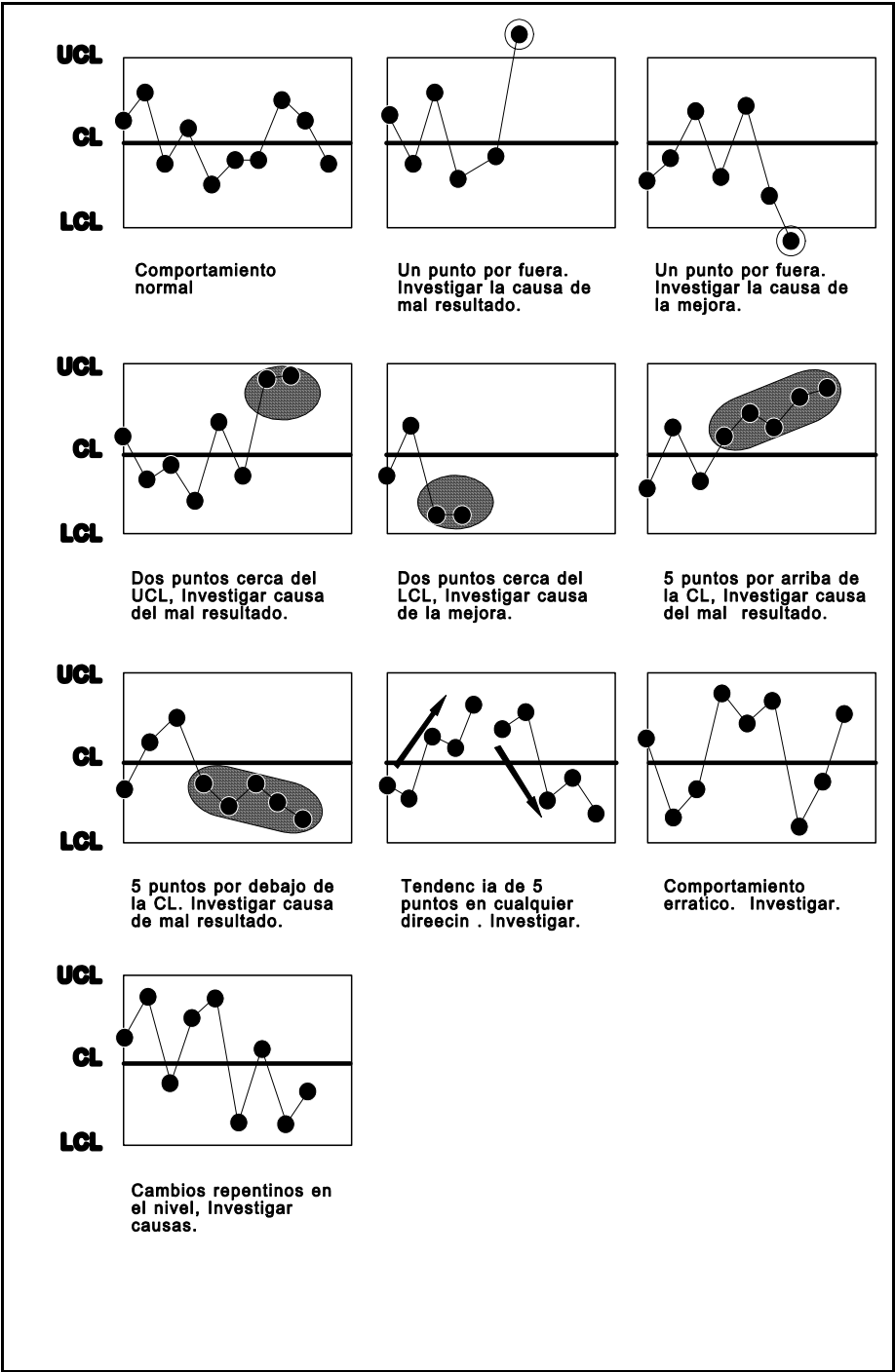
- la media de la distribución de las medias ($\bar{\bar{X}}$) coincide con la media de la población total (μ);
- y la desviación típica de la distribución muestral ($\sigma_{\bar{x}}$) será igual a la desviación típica de la población (σ_x) dividida por la raíz cuadrada del tamaño de la muestra.

La **figura 1** muestra tres distribuciones posibles de la población cada una con su propia media (μ) y desviación típica (σ_x). Si extraemos una serie de muestras aleatoriamente, cada una de tamaño n , de cualquiera de dichas distribuciones, la distribución resultante de sus medias (\bar{x}) seguirá una distribución normal.



Dado que las medias de las distintas muestras siguen una distribución normal se puede afirmar que si el proceso sólo presenta variaciones naturales o aleatorias: el 99,7% de las medias de las muestras caerán dentro del intervalo $\pm 3\sigma_{\bar{x}}$. En otras palabras, si un punto cae fuera de los límites del gráfico de control de $\pm 3\sigma_{\bar{x}}$ tendremos un 99,7% de confianza de que el proceso se encuentra fuera de control estadístico.

Cuando la media de las muestras (\bar{x}) caen por fuera de los límites de control o se aprecian ciertas tendencias (ver la **figura 2** en la que se recogen otras señales estadísticas que nos pueden indicar que el proceso se encuentra fuera de control), el proceso se deberá detener para realizar la búsqueda de las posibles causas esporádicas que ocasionan esas variaciones no naturales, y proceder a su eliminación para que el proceso retorne a su estado original de control estadístico.



Existen dos categorías de gráficos de control según la unidad de medida: gráficos de control por variables, para valores que utilizan una escala continua (e.g., tiempo, altura, ancho, largo), dentro de esta categoría nos encontramos con dos tipos de gráficos los gráficos X y los gráficos R; y gráficos de control por atributos, para variables que utilizan una escala discreta (e.g., % artículo buenos o defectuosos), a su vez pueden ser: gráficos p y gráfico c.

a.1. Gráficos de control por variables. Nos encontramos con dos tipos de gráficos de control por variable: uno para la media de la muestra o gráfico X y otro para la variabilidad (rango o desviación típica) o gráfico R. Estos gráficos de control pueden controlar, por ejemplo, el tiempo de producción). En ese caso, el gráfico X nos indica si se han producido cambios significativos en el tiempo medio de producción, y el gráfico R no indica un aumento o disminución continua en la variabilidad del tiempo de producción. Los dos gráficos se analizan conjuntamente para controlar este tipo de variable continua, y en el caso de que el proceso se encuentre fuera de control en algunos de ellos se detiene el proceso para eliminar las variaciones asignables.

$$UCL_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$
$$LCL_x = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

- **Gráfico X.** Un gráfico X es simplemente una representación de las medias de las muestras tomadas de un proceso. Para establecer los límites de control inferiores y superiores para el gráfico X utilizamos las siguientes fórmulas:

Donde,

$\bar{\bar{X}}$ = la media de las medias de las muestras

R = La media de los rangos de las muestras, siendo el rango la diferencia entre el valor más alto y más bajo.

A_2 = constante que establece unos límites de control en términos del rango a $\pm 3\sigma_x$.

UCL_x = límite de control superior para la media.

LCL_x = límite de control inferior para la media.

- **Gráfico R.** Además de interesarnos por la media del proceso, también debemos preocuparnos por la variabilidad del proceso. Incluso cuando la media del proceso esta bajo control, la variabilidad puede que no lo este. Los límites de control para la gráfica del rango se calculan como sigue:

$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$
$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

Donde,

UCL_R = límite de control superior para el rango.

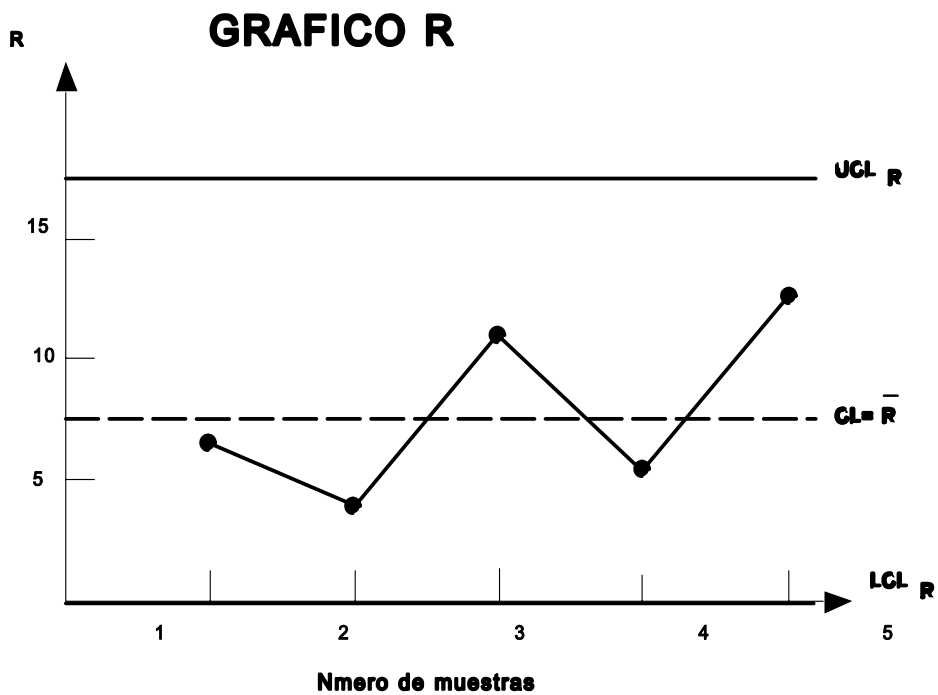
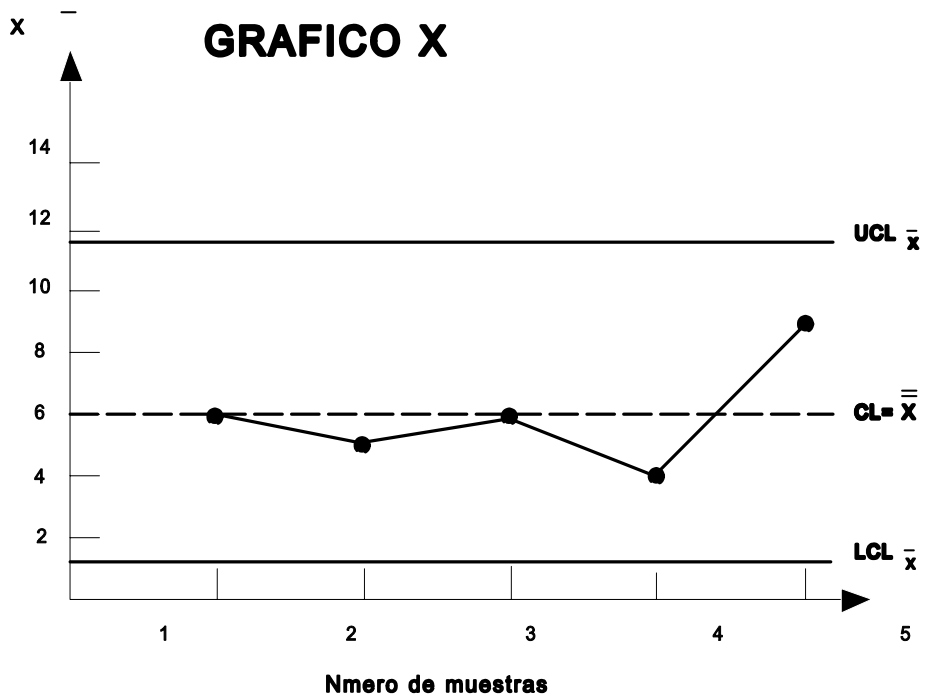
LCL_R = límite de control inferior para el rango.

D_3 y D_4 = proporcionan los límites de tres desviaciones típicas en términos del rango, los valores de estas constantes se dan en el anexo 1.

Ejemplo: Una industria que fabrica motores quiere medir el tiempo que tarda sus empleados en realizar una determinada operación de ensamblaje. En la tabla siguiente aparece el número de minutos que tardan 5 empleados cogiendo una muestra de 4 observaciones a cada uno. Con estos datos podemos construir un gráfico de control de 3 desviaciones típicas de X y R para determinar si el proceso se encuentra en estado de control.

Empleados	Observaciones				\bar{X}	R
1	5	3	6	10		
2	7	5	3	5		
3	1	8	3	12		
4	7	6	2	1		
5	3	15	6	12		
					$\bar{X} =$	$\bar{R} =$

Después de trazar el gráfico de control y ponerlo visiblemente (ver gráficos), el tiempo de ensamblaje se redujo a 3 minutos. ¿Podrías explicar porqué sucedió este hecho?. ¿Qué otras medidas de la calidad recomendarías para este proceso?. Por ejemplo, el tanto por ciento de motores defectuosos o el número de defectos por motor (en el caso de que un motor pudiera tener más de un fallo). Para este tipo de control de la calidad necesitamos dos nuevos tipos de gráficos de control.



a.2. Gráficos de control por atributos. Los gráficos para X y R no se deben aplicar cuando se trabaja con atributos, unidades de medida que son clasificadas como defectuosas o no defectuosas. Existen dos tipos de gráficos de control por atributos: gráfico p y gráfico c.

- **Gráfico p.** Se utiliza cuando se mide el porcentaje de unidades defectuosas en una muestra (e.g., porcentaje de motores defectuosos). El procedimiento se asemeja al seguido para el gráfico X: se toman varias muestras aleatorias de n unidades a intervalos de tiempo específicos; luego se calcula el porcentaje observado de defectos (p) en la muestra; y estos valores de p se representan en la gráfica. Las variables que se clasifican en defectuosa y no defectuosas siguen una distribución binomial, por lo que las fórmulas para calcular sus límites superior e inferior son:

$$UCL_x = \bar{p} + Z \sigma_p$$

$$LCL_x = \bar{p} - Z \sigma_p$$

Donde,

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

p = porcentaje medio defectuoso en las muestras

Z = número de desviaciones típicas (Z=3).

n = tamaño de cada muestra.

Ejemplo. El departamento de producción cuenta con 20 empleados y se toma una muestra de 100 artículos por cada empleado con el fin de estudiar el proceso de fabricación, tal como muestra la **tabla**. Elaborando un gráfico p que representa el porcentaje de defectuosas y estableciendo los límites de control al 99,7%, comprueba que el proceso se encuentra bajo control.

Muestra	Defectos	% Def.	Muestra	Defectos	% Def.
---------	----------	--------	---------	----------	--------

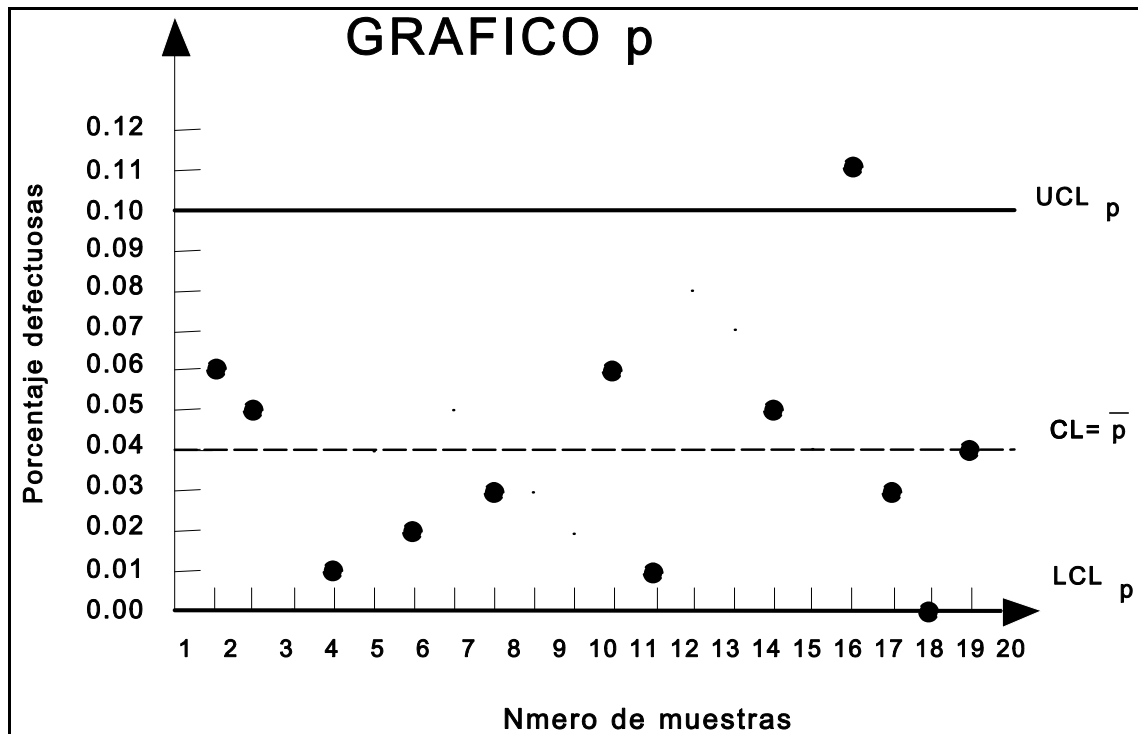
Muestra	Defectos	% Def.	Muestra	Defectos	% Def.
1	6	0,06	11	6	0,06
2	5	0,05	12	1	0,01
3	0	0,00	13	8	0,08
4	1	0,01	14	7	0,07
5	4	0,04	15	5	0,05
6	2	0,02	16	4	0,04
7	5	0,05	17	11	0,11
8	3	0,03	18	3	0,03
9	3	0,03	19	0	0,00
10	2	0,02	20	4	0,00

$$\bar{p} = \frac{N^{\circ} \text{ total errores}}{N^{\circ} \text{ total registros}} = \frac{80}{100(20)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,02$$

$$UCL_p = 0,04 + 3(0,02) = 0,10$$

$$LCL_p = 0,04 - 3(0,02) = -0,02 \text{ (se iguala a 0).}$$



Se puede apreciar en el gráfico p de la figura anterior, que sólo un empleado (número 17) está fuera de control. La empresa debe examinar más de cerca el trabajo de ese empleado para determinar las causas. También podría ser interesante investigar el método de trabajo seguido por los empleados 3 y 19, para comprobar si han desarrollado un procedimiento superior.

- **Gráfico c.** Se utiliza para controlar el número de defectos por unidad de output (e.g., números de defectos en un producto). En el gráfico anterior contábamos el número de unidades defectuosas, pero una defectuosa puede tener más de un defecto. Los gráficos c son de gran ayuda cuando se necesita controlar procesos donde un gran número de errores potenciales pueden darse, pero el número real de ocurrencia es relativamente bajo. La distribución de probabilidad de Poisson, que tiene una varianza igual a su media, es la que se utiliza en los gráficos c para calcular los límites superior e inferior:

$$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

- **Ejemplo.** La empresa XYZ ha contabilizado los defectos que tienen cada proyecto de construcción que ha finalizado. El número de deficiencias detectadas en los últimos 9 proyectos son los siguientes: 3,0,8,9,6,7,4,9,8. Para calcular los límites de control con el 99,7% de confianza tomamos:

$$UCL_c = \frac{54}{9} + 3\sqrt{\frac{54}{9}} = 11,3576$$

UCL_c = 6 deficiencias por hora

5.3. Medidas de la capacidad del proceso.

Los gráficos de control son de escaso valor si el proceso no es **capaz** de producir bienes y servicios que se encuentren dentro de las especificaciones de diseño o tolerancias. El proceso debe estar diseñado de tal forma que bajo condiciones normales de control el servicio o producto obtenido se encuentre dentro de los límites de tolerancias. Por ejemplo, si la operación se ha de realizar en un tiempo máximo de 5 minutos, el proceso debería ser capaz de cumplir esta especificación bajo condiciones operativas normales.

Se dice que un proceso es capaz cuando los Límites de Control Superior e Inferior permanecen dentro de los límites de tolerancia establecidos por el departamento de diseño. En la **figura 3** podemos ver en el **gráfico A** un proceso no capaz, puesto que sus límites de tolerancia se encuentran por dentro de los Límites de Control y no puede cumplir con las especificaciones de diseño para todos los artículos. En el **gráfico B** se muestra una reducción de la variabilidad natural del proceso mediante un programa de mejora, gracias al cual se puede decir que el proceso es capaz, pero aún no es capaz de producir cero defectos. Finalmente el **gráfico C**, donde la variabilidad ha sido reducida de tal forma que ningún artículo cae por fuera de las especificaciones de diseño, logrado un proceso libre de defectos.

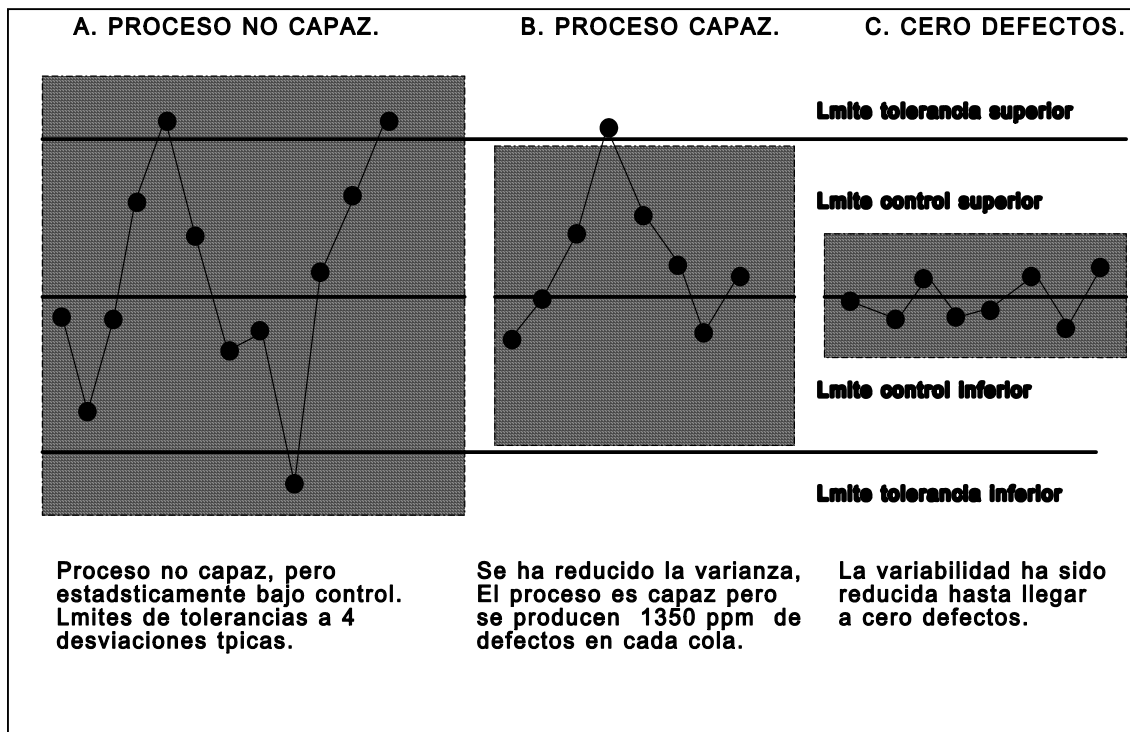


Figura 3: Representación gráfica de distintos niveles de capacidad.

Antes de proseguir, es necesario realizar un breve repaso a la estadística para entender mejor el concepto de Capacidad. En la primera parte del tema se elaboró los gráficos de control para conocer si un proceso estaba bajo control o fuera de control, es decir, para saber si su comportamiento es estable y predecible. Para ello, se calculó unos Límites de Control Superior e Inferior a $\pm 3 F$ y se comprobó que las fluctuaciones estuvieran dentro de los límites de control y, por tanto, el proceso estuviera sometido sólo a variaciones aleatorias.

El siguiente paso, una vez que el proceso esta bajo control, es comprobar si el proceso es capaz o no capaz. Para ello se establecen el Límite de Tolerancia Superior (LTS) y el Límite de Tolerancia Inferior (LTI) y el Valor Nominal de la organización o sus objetivos, de tal forma que aquellos valores que están dentro de dichos límites son conformes y los que están por fuera son defectuosos. El proceso será tanto más capaz cuanto más centrado respecto al valor nominal y cuanto más estrecha y alta sea la distribución.

La probabilidad de los valores que queden fuera de los límites es la probabilidad de defecto. Si los LTS y LTI coinciden con los LCS y LCI, el área bajo la curva entre los LTS y LTS supone un 99,73% del área total y representa la probabilidad de que un producto/servicio sea conforme con las especificaciones. El área fuera de los LTS Y LTI supone sólo el 0,27% del área total y representa la probabilidad de que un producto/servicio esté fuera de las especificaciones. Si transformamos el 0,27% de defectos a defectos por millón de oportunidades (DPMO) se obtiene 2.700 DPMO.

La capacidad del proceso vendría determinada por las siguientes expresiones:

Cuando la distribución esta centrada (la media coincide con el valor nominal):

$$C_p = \frac{LTS - LTI}{LCS - LCI} = \frac{LTS - LTI}{6\sigma}$$

Se dice que un proceso es capaz cuando $C_p \geq 1$, aunque el C_p en determinados sectores suele estar en torno a 2, como por ejemplo automoción.

Este índice nos indica el margen que tiene el proceso respecto a los límites de tolerancia cuando el proceso esta centrado. Si tenemos en cuenta que la media del proceso puede variar con respecto a valor nominal u objetivo, obtendremos un C_{pk} como el valor mínimo entre:

$$C_{pk} = \left(\frac{LTS - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LTI}{3\sigma} \right)$$

Si los límites de tolerancias establecidos por el departamento de diseño se encuentran a 6F al igual que los límites de control superior e inferior se tendría una capacidad igual a 1, que daría lugar a 2.700 defectos por millón. Un Cp 1 puede parecer bueno desde algún punto de vista pero desde otro quizás resulte insuficiente. Por ejemplo, si uno es de los afectados, ¿consuela saber que sólo hay 0,27 errores entre cada 100?. Además aunque en términos relativos parezca poco, en términos absolutos las cosas cambian. En un país como EE.UU., calidad 3 sigmas, implicaría que Correos pierde 20.000 cartas cada hora, o que cada semana se realizan 5.000 intervenciones quirúrgicas erróneas, o que en cada mes hay siete horas de cortes de electricidad. El objetivo debe ser reducir la variabilidad a base de generar conocimientos que eviten sorpresas en las operaciones obteniendo un Cp más alto. Una capacidad de 1,33 que equivale a unos límites de tolerancia a 4 desviaciones típicas, lo que da lugar a 60 defectos por cada millón de artículos. Mientras que para una capacidad de 1,63, que equivale a unos límites de tolerancia a 5 sigma, estaríamos produciendo 1 defecto por millón (ver tabla).

C _p	% libre de defectos	Defectos		Tamaño de la muestra esperadopara encontrar un defecto
		Porcentaje	PPM	
0,66	95,45	5	45.500	22
1	99,73	0,26	2.699	370
1,33	99,994	0,006	60	15.780
1,63	99,9999	0,0001	1	1.741.523
2,0	99,9999998	0,0000002	0,002	504.988.339

Tabla: Niveles de Capacidad.

5.4. Seis Sigma.

“Seis Sigma” técnicamente consiste en hablar de una proporción de errores de 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), pero en la práctica el término se usa para denotar mucho más que un simple recuento de errores. Ello implica impregnarse de una cultura de calidad, en la cual estrategias, procesos, técnicas estadísticas y factor humano conforman un todo relacionado que permite mejorar y hacer rentable una empresa. No obstante, el presente apartado se centra en su aportación a la teoría de los gráficos de control.

Si los LTS y LTI estuvieran a 6 σ de la media (seis sigma), el área bajo la curva entre los LTS y LTI supone un 99,9999998% del área total y representa la probabilidad de que un producto/ servicio sea conforme con las especificaciones. El área fuera de los LTS Y LTI supone sólo el 0,0000002% del área total y representa la probabilidad de que un producto/servicio esté fuera de las especificaciones (ver figura 4). Si transformamos el 0,0000002% de defectos a defectos por millón de oportunidades (DPMO) se obtiene 0,002 DPMO.

Pero ¿cómo es esto posible si se había dicho que seis sigma proporciona una probabilidad alrededor de 3,4 defectos por millón? ¿Dónde está pues el error, cómo se pasa de 0,002 DPMO a 3,4 DPMO?.

No hay tal error, la metodología Seis Sigma asume que la media de un proceso a largo plazo no es siempre constante, fluctúa a lo largo del proceso debido a diversas causas, por ejemplo: material empleado, cambios de turnos, mantenimiento incorrecto, etc. Dicha desviación se asume que está entorno a $\pm 1,5F$ de la media. Con lo cual nuestros límites de tolerancia a largo plazo estarían situados en realidad a $\pm 4,5F$ de la media y no a $\pm 6F$ (ver figura 1).

A continuación se muestran en la siguiente tabla, para los distintos valores del Nivel Sigma, los defectos por unidad (DPU) y los defectos por millón de oportunidades (DPMO). Los valores se han calculado utilizando la función "DISTR.NORM.ESTAND (z)" de programa Excel que calcula el área de la distribución normal estándar acumulativa.

Nivel Sigma	F(NS+1,5)	F(1,5-NS)	Prob. Bueno	Prob. Defecto	Defectos por millón
0	0,933193	0,933193	0	1	1.000.000,000000000
0,25	0,959941	0,89435	0,065590726	0,934409274	934.409,274480878
0,5	0,97725	0,841345	0,135905198	0,864094802	864.094,802277191
0,75	0,987776	0,773373	0,214402846	0,785597154	785.597,153682931
1	0,99379	0,691462	0,302327853	0,697672147	697.672,147223037
1,25	0,99702	0,598706	0,398313908	0,601686092	601.686,092367441
1,5	0,99865	0,5	0,498650033	0,501349967	501.349,967004956
1,75	0,999423	0,401294	0,598129187	0,401870813	401.870,812714361
2	0,999767	0,308538	0,691229794	0,308770206	308.770,206009378
2,25	0,999912	0,226627	0,773284276	0,226715724	226.715,724320229
2,5	0,999968	0,158655	0,841313054	0,158686946	158.686,945793605
2,75	0,999989	0,10565	0,894339465	0,105660535	105.660,534771335
3	0,999997	0,066807	0,93318937	0,06681063	66.810,629596513
3,25	0,999999	0,040059	0,959939868	0,040060132	40.060,131895055
3,5	1	0,02275	0,977249651	0,022750349	22.750,349141187
3,75	1	0,012224	0,98777549	0,01222451	12.224,509614081

Nivel Sigma	F(NS+1,5)	F(1,5-NS)	Prob. Bueno	Prob. Defecto	Defectos por millón
4	1	0,00621	0,993790301	0,006209699	6.209,698895144
4,25	1	0,00298	0,997020177	0,002979823	2.979,823063788
4,5	1	0,00135	0,998650032	0,001349968	1.349,968213357
4,75	1	0,000577	0,999422913	0,000577087	577,086699646
5	1	0,000233	0,999767327	0,000232673	232,673414027
5,25	1	8,84E-05	0,999911555	8,84446E-05	88,444597871
5,5	1	3,17E-05	0,999968314	3,1686E-05	31,686035897
5,75	1	1,07E-05	0,999989304	1,06957E-05	10,695685864
6	1	3,4E-06	0,999996599	3,4008E-06	3,400803094
6,25	1	1,02E-06	0,999998982	1,01833E-06	1,018328500
6,5	1	2,87E-07	0,999999713	2,87105E-07	0,287105000
6,75	1	7,62E-08	0,999999924	7,62014E-08	0,076201358
7	1	1,9E-08	0,999999981	1,90364E-08	0,019036399

Tabla 1: Niveles sigmas y defectos por unidad y defectos por millón para una distribución con dos colas.

El objetivo de Seis Sigma es la casi eliminación de defectos de un proceso. El objetivo numérico de 3,4 defecto por millón de oportunidades (DPMO) se corresponde con un nivel de seis sigma, para niveles de defectos superiores se tendría niveles de sigma más bajos (ver tabla siguiente).

Nivel Sigma	Defectos por millón	Coste de la mala calidad	Competitividad
6 sigma	3,4 defectos por millón	<10% de las ventas	World-class
5 sigma	232 defectos por millón	10 a 15% de las ventas	
4 sigma	6.209 defectos por millón	15 al 20% de las ventas	Media del sector
3 sigma	66.810 defectos por millón	20 al 30% de las ventas	
2 sigma	308.770 defectos por millón	30 al 40% de las ventas	No competitiva
1 sigma	697.672 defectos por millón		

Tabla: Impacto de los niveles sigma.

Ejemplo: Elaboración de facturas para un determinado cliente.

En primer lugar, se determina cuántas facturas se generan en un determinado periodo de tiempo (por ejemplo, un año). Supongamos que generamos 3.000 facturas anuales.

A continuación contabilizamos cuántas facturas se han generado correctamente (por ejemplo, 2.600 facturas).

Se calcula la probabilidad de obtener las facturas correctas: $\text{Facturas Correctas} / \text{Facturas Totales} = 2600/3000 = 0,86$.

Y se calcula la probabilidad de obtener facturas incorrectas o DPO: $1 - 0,86 = 0,14$.

Ahora sólo nos resta calcular el nivel sigma en la tabla, que aproximadamente es 2,5 para una probabilidad de 0,14 de defectos.

Como conclusión diremos que es una empresa no competitiva con unos costes de la calidad que suponen entre un 30% a un 40% de las ventas. Y, por tanto, esta muy alejada de objetivo de alcanzar 6F.

5.5. Muestreo de aceptación.

Consiste en tomar una o más muestras al azar de un lote de artículos, inspeccionar cada uno de los artículos de la(s) muestra(s) y decidir basándose en la inspección si se acepta o rechaza el lote. Este tipo de control se puede utilizar con el fin de asegurar que el proveedor cumple con las especificaciones de calidad, o también para asegurar que se están cumpliendo con las especificaciones antes de llegar el producto a manos de los clientes. El muestreo de aceptación puede ser de cuatro clases: (a) muestreo de aceptación por atributo, a su vez puede ser muestreo simple o muestreo múltiple; y (b) muestreo de aceptación por variable, que también puede ser simple o múltiple. En el muestreo de aceptación por atributos se inspecciona variables que se clasifican en una escala discreta. En el muestreo de aceptación por variables se inspeccionan valores que se siguen una escala continua.

En cuanto al muestro simple por atributo, consiste en tomar una muestra de tamaño "n" de un lote, y contar el número de unidades defectuosas (x), y en función del número de aceptación (c) que es el número máximo de defectos que se admiten, se toma la decisión de aceptar o rechazar el lote, es decir:

Si $x \leq c$, se acepta el lote

Si $x > c$, se rechaza el lote.

Por ejemplo, supongamos que tenemos un lote de 10.000 artículos y se decide tomar una muestra de 100 artículos ($n=100$). Se inspeccionan esos 100 artículos y se encuentra 3 defectuosas ($x=3$). Si el número de aceptación es dos ($c=2$), se rechazará el lote, dado que x es mayor que c. En caso contrario se aceptará.

El muestreo múltiple, consiste en tomar dos o más muestras. Y el procedimiento es el siguiente: después de realizar la primera muestra se debe decidir:

a. Si se acepta el lote

- b. Si se rechaza el lote
- c. O se toma una segunda muestra.

Si se ha de tomar otra muestra se vuelve a presentar de nuevo las tres alternativas, y así sucesivamente hasta que se acepta o rechaza el lote. La ventaja del muestreo múltiple es que normalmente da lugar a un tamaño total de las diversas muestras menor que en el muestreo simple, algunas veces hasta la mitad.

5.6. Bibliografía

Besterfield, D. H. (1995): Control de Calidad, 4º edición. Editorial: Prentice Hall Hispano Americana.

Harry, M. J. (1998): Six Sigma: A Breathrough Strategy for Profitability. *Quality Progress*, may, pp. 60-64.

Arranz Barradas, C. (2001): ¿Qué es en realidad Seis Sigma?. *Calidad*, febrero, pp. 12-17.

5.7. Direcciones de interés en la WWW

<http://www.asq.org/pub/sixsigma>: Página de la Sociedad Americana para la Calidad donde se puede consultar la revista Six Sigma Forum Magazine.

<http://www.ge.com/sixsigma>. Página de la empresa General Electric en la que describe su estrategia seis sigma.

<http://honeywell.com/sixsigma>. Página de la empresa Honeywell que ha desarrollado una nueva generación de seis sigma denominada Six Sigma Plus.

5.8. Ejercicios de autoevaluación

- Explica el significado de estas cuatro situaciones y qué acciones recomendaría en cada uno de los casos:
 - Un proceso fuera de control y no capaz.
 - Un proceso fuera de control y capaz.
 - Un proceso bajo control y no capaz.
 - Un proceso bajo control y capaz.
- Una fábrica de piezas de plástico está llevando a cabo un programa de mejora de su calidad. Parte de este programa tiene como objetivo disminuir el número de productos defectuosos. Para ello se ha tomado una muestra de 100 productos durante una semana, dando los siguientes resultados:

Día	Nº productos defectuosos	Tamaño muestra
1	24	100
2	22	100
3	8	100
4	15	100
5	10	100
6	26	100
7	17	100

Realiza un control de calidad mediante un gráfico p y comenta los resultados.

- Una empresa de reparación naval quiere mejorar la calidad de sus servicios. Para ello ha analizado los datos de las reparaciones realizadas, registrando una media (μ) de 5,0 días, con una desviación estándar (σ) de 1,5 días. Posteriormente, recogió varias muestras aleatorias de 4 reparaciones mensuales para controlar la actuación. Para dicho control se pide que el estudio tenga una probabilidad de 0,3% que se cometa el error de tomar una acción correctiva cuando el proceso realmente no lo necesita por encontrarse bajo control. Calcular los límites del gráfico de control X.
- Para determinar la calidad del trabajo realizado por un fabricante de chips se extrajo una muestra de 100 chips mensuales durante los últimos 20 meses. Los resultados se recogen en la tabla siguiente:

Nº DE MUESTRAS	TAMAÑO DE LA MUESTRA	NUMERO DE CHIPS DEFECTUOSOS
1	100	4
2	100	3
3	100	5
4	100	0
5	100	2
6	100	8
7	100	1
8	100	3
9	100	4
10	100	2
11	100	4
12	100	2
13	100	1
14	100	3
15	100	4
16	100	4
17	100	4
18	100	3
19	100	2
20	100	1

Conociendo que el objetivo de la empresa es no superar el 5% de error, se pide: desarrollar un gráfico de control para unos intervalos del 95% de confianza, y realizar los comentarios pertinentes sobre el proceso (si esta bajo control y si es capaz). Razona las respuestas.

- Para un proceso cuyas medias sigue una distribución normal y centrada, se pide calcular el % de defectos, PPM defectuosas y tamaño necesario para encontrar un defecto en las medias para los siguientes valores de la capacidad del proceso: 0,66; 1; 1,33; 1,66.
- Para un proceso con una media de las medias de 20 minutos; un límite de tolerancia superior de 26 minutos, inferior de 14 minutos y objetivo de 20 minutos, se pide calcular la capacidad del proceso, el % defectos, PPM defectuosas y tamaño necesario para encontrar un defecto en las medias para los siguiente valores de la desviación típica de las medias: 1,5, 2 y 3.

- Para asegurar la calidad del proceso de montaje, Mr. Sykes ha decidido desarrollar un procedimiento. Dicho procedimiento supone hacer un muestreo de las salidas, calcular los límites de control, comparar la precisión con el resto de empresas del sector, y ocasionalmente actualizar la información. Primero, Mr. Sykes seleccionó aleatoriamente 30 empleados de su fábrica y eligió 100 productos aleatoriamente de cada uno de los empleados para analizar y detectar los productos defectuosos. Se contaba el número de productos defectuosos y luego se calculaba el porcentaje de productos defectuosos en cada muestra. La tabla siguiente muestra el resultado.

MUESTRA	PRODUCTOS DEFECTUOSOS	MUESTRA	PRODUCTOS DEFECTUOSOS
1	2	16	2
2	4	17	3
3	10	18	7
4	4	19	3
5	1	20	2
6	1	21	3
7	13	22	7
8	9	23	4
9	11	24	3
10	0	25	2
11	3	26	2
12	4	27	0
13	2	28	1
14	2	29	3
15	8	30	4

Asumiendo que Mr. Sykes desea un nivel de confianza del 95% y que los límites de control superior e inferior del sector (de la competencia) son 0,1400 y 0,0400 respectivamente. ¿Qué aconsejarías a Mr. Sykes?.

- El Departamento de Administración elabora 3.000 facturas anuales, de las cuales 480 facturas son incorrectas. ¿Qué nivel seis sigma tiene el proceso de facturación?
 - a) El nivel sigma es aproximadamente de 2.
 - b) El nivel sigma es aproximadamente de 3.
 - c) El nivel sigma es de aproximadamente de 2,5.

A continuación se recoge la tabla con el valor del área que se encuentra por debajo de la curva desde - infinito al valor Z tipificado.

Z	F(Z)	F(-Z)	RAZONA LA RESPUESTA
0	0,5	0,5	
0,5	0,691462	0,308538	
1	0,841345	0,158655	
1,5	0,933193	0,066807	
2	0,97725	0,02275	
2,5	0,99379	0,00621	
3	0,99865	0,00135	
3,5	0,999767	0,000233	
4	0,999968	3,17E-05	
4,5	0,999997	3,4E-06	