

EAN

Escuela de
Administración de
Negocios



MEDIR

Medición y Capacidad



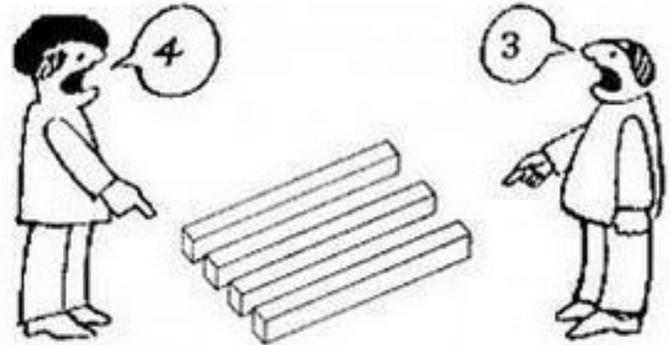
Medición

Es el conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar el valor de una magnitud.



Variación Total Observada

Un punto de partida clave es entender que cualquier proceso de medición genera un error. Por lo tanto, lo que se observa no es exactamente la realidad, más bien es la realidad más un error de medición.



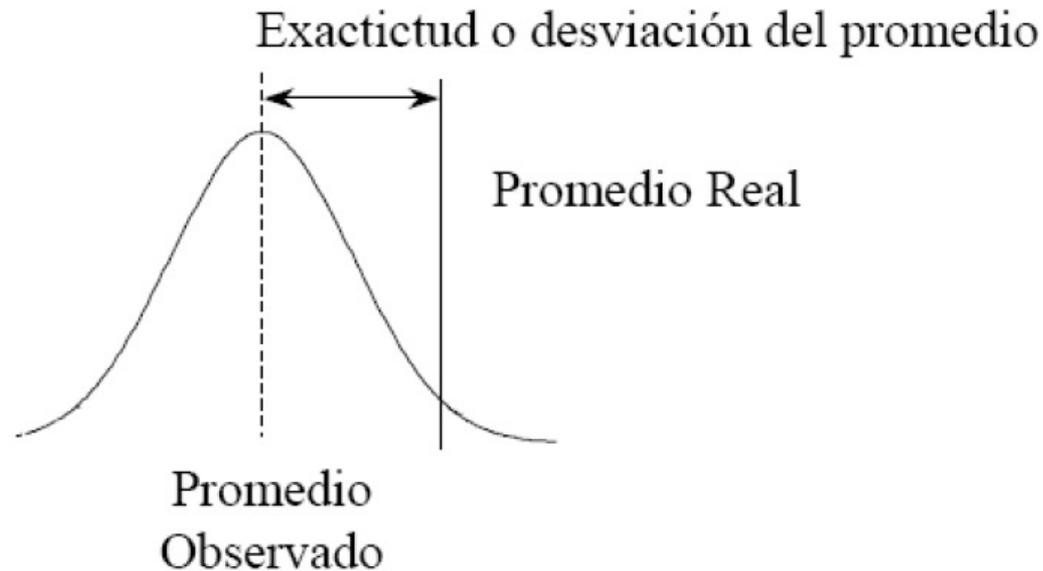
Fuentes Principales de Variación en el Proceso de Medición

1. El Equipo de Medición
2. Los Operadores
3. La variabilidad dentro de la muestra



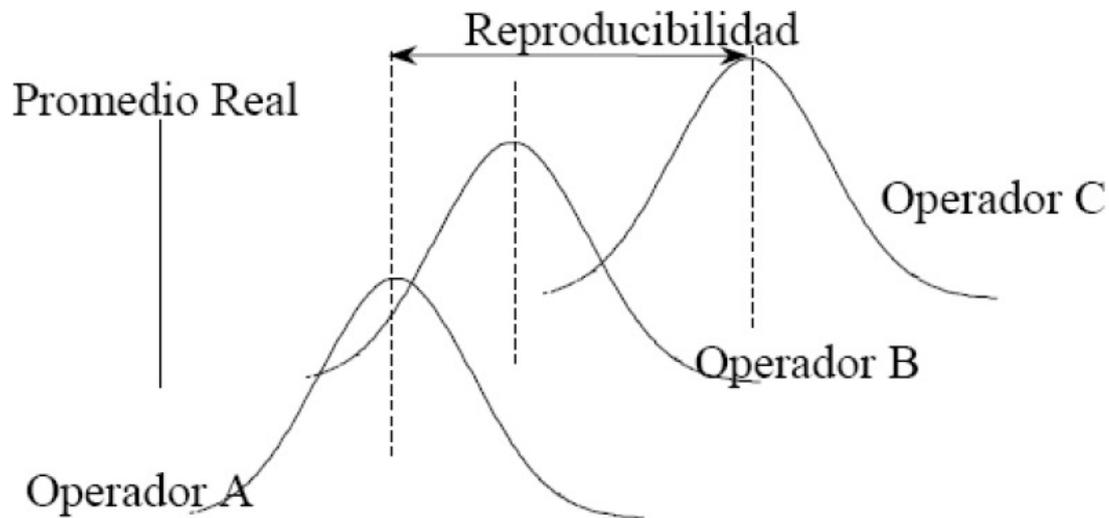
Sistema de Medición

La ***Exactitud*** es la diferencia entre el promedio real y el promedio observado.



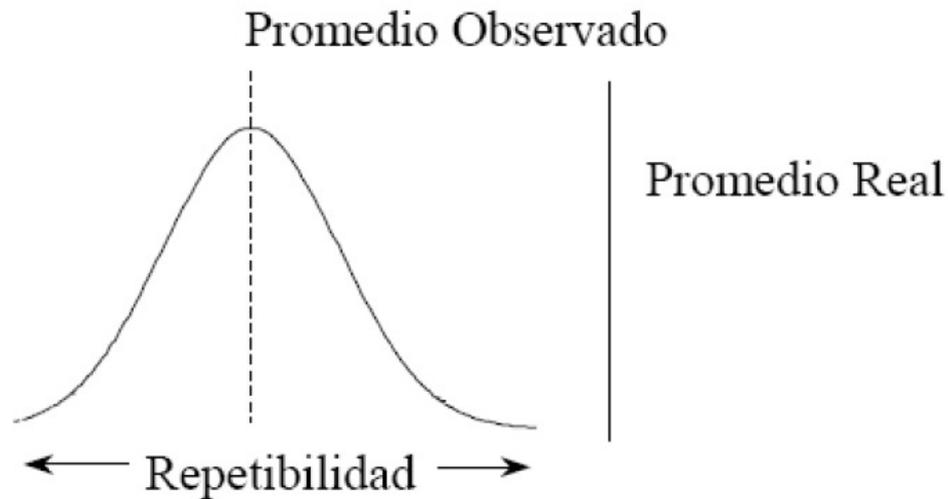
Sistema de Medición

La **Reproducibilidad** es la variación en el promedio de las mediciones hechas por diferentes personas utilizando el mismo equipo en la misma parte.



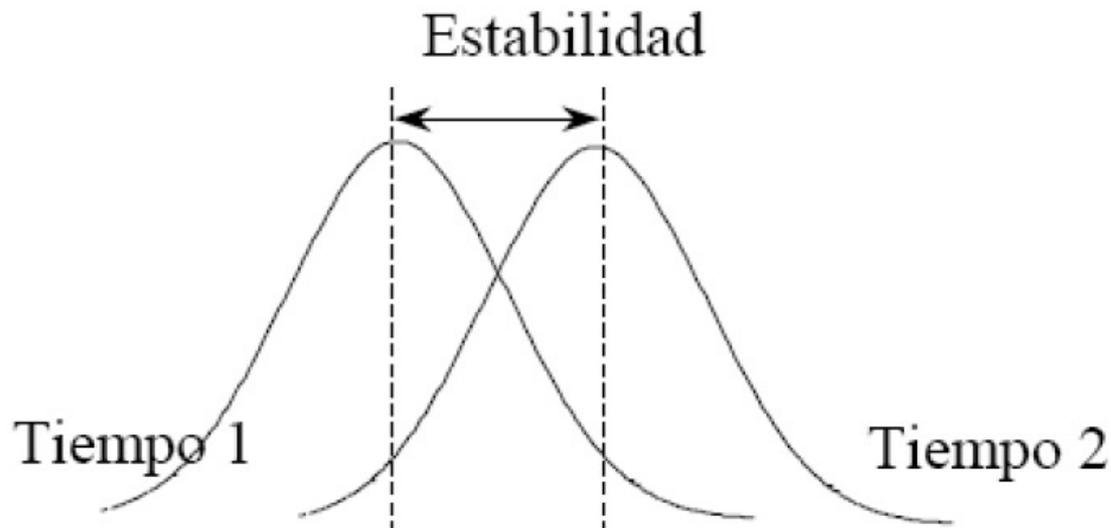
Sistema de Medición

La ***Repetibilidad*** es la variación aleatoria en las mediciones cuando un operador utiliza el mismo equipo para medir la misma parte varias veces.



Sistema de Medición

La ***Estabilidad*** es la diferencia en el promedio de al menos dos grupos de mediciones obtenidas con el equipo a través del tiempo.



Calidad de las Mediciones

El sistema de medición debería ser

Problemas típicos

Preciso y exacto

El sistema genera mediciones individuales, así como el promedio de éstas que es muy parecido al valor verdadero.

Inexacto e impreciso

Tanto las mediciones individuales como su promedio se alejan del valor verdadero.

Repetible

Mediciones repetidas realizadas por una persona sobre el mismo mensurando resultan muy parecidas.

No repetible

Mediciones repetidas de un operador sobre el mismo espécimen muestran un exceso de variabilidad.

Reproducible

Dos o más personas que miden el mismo objeto obtienen en promedio resultados muy similares.

No reproducible

Dos o más personas que miden las mismas piezas obtienen en promedio resultados sensiblemente diferentes.

Estable en el tiempo

El sistema de medición no cambia a través del tiempo.

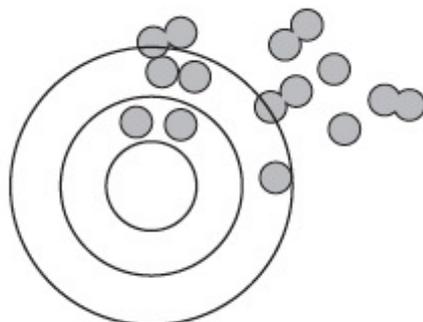
Inestable en el tiempo

El sistema de medición cambia a través del tiempo.

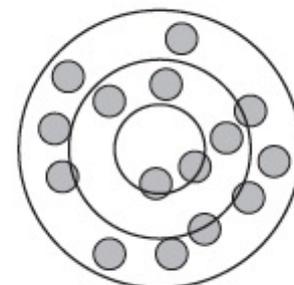
Precisión y Exactitud

Precisión se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión.

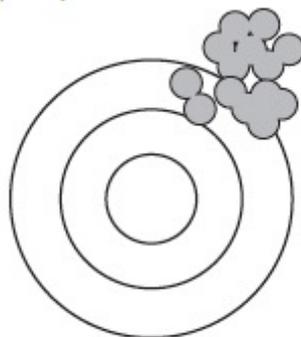
Exactitud se refiere a cuán cerca del valor real se encuentra el valor medido. En términos estadísticos, la exactitud está relacionada con el sesgo de una estimación.



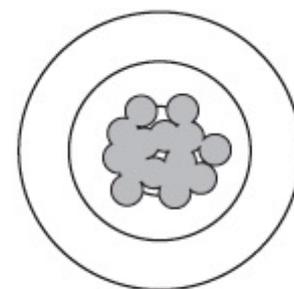
a) Impreciso e inexacto



b) Impreciso y exacto



c) Preciso e inexacto



d) Preciso y exacto

R&R

REPETIBILIDAD

(de resultados de medición)

Cercanía de acuerdo entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo MENSURANDO llevadas a cabo bajo las mismas condiciones.

EXACTITUD

REPRODUCIBILIDAD

(de las mediciones)

Cercanía de acuerdo entre los resultados de mediciones del mismo mensurando llevadas a cabo bajo condiciones diferentes.

PRECISION

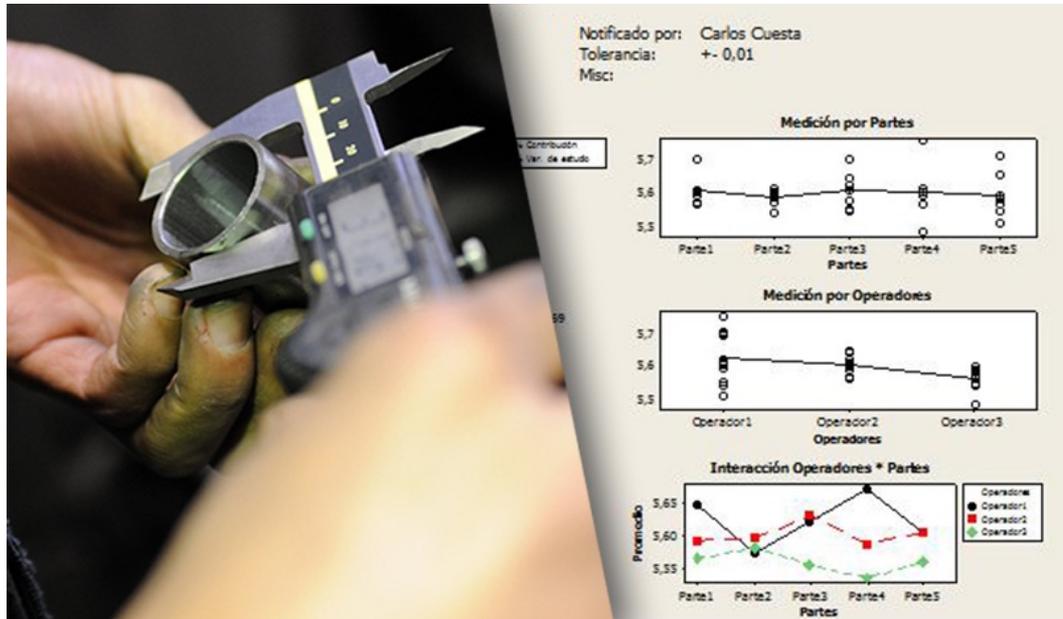
Calibración

La calibración es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar).



Estudios *R&R*

En los estudios R&R se evalúa de modo experimental qué parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición; además, permite cuantificar si este error es mucho o poco en comparación con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide.



Pasos para realizar un estudio R&R largo

El método de ANOVA no supone de antemano la inexistencia de interacción operador \times parte, como lo hace el método basado en medias y rangos. De tal forma que cuando hay interacción significativa el método de medias y rangos subestima la magnitud del error de medición ($\sigma_{R\&R}$). En cambio, el método de ANOVA reparte la variación total (σ^2 total) de los datos

Pasos para realizar un estudio R&R largo

1. Seleccionar dos o más operadores para hacer las mediciones
2. Seleccionar 10 o más partes que serán medidas varias veces por cada operador
3. Decidir el número de veces que cada operador medirá la misma pieza
4. Etiquetar cada parte y aleatorizar la entrega de las partes a los operadores
5. El operador A realiza en orden aleatorio su primera medición a todo el lote de piezas
6. Volver a aleatorizar y obtener la primera medición del siguiente operador
7. Continuar hasta que todos hayan hecho la primera medición
8. Repetir los tres últimos pasos hasta completar el número de ensayos elegidos.

Por último hacer el análisis estadístico de los datos, emitir un juicio acerca de la calidad del proceso de medición y decidir acciones futuras sobre el mismo.

R&R en Minitab

Para introducir los datos, primero las piezas se numeran y luego se generan tres columnas, en una se especifica el número de parte, en la segunda el nombre o código del operador que hace la medición y en la tercera se registra la medición que obtuvo el correspondiente operador.

R&R en Minitab

- *Gage R&R (Crossed)*, que se usa cuando cada operador mide dos o más veces la misma pieza y se puede analizar por los dos métodos de análisis: ANOVA y el de medias y rangos.
- *Gage R&R (Nested)* se aplica cuando cada parte es medida sólo por un operador, como en el caso de pruebas destructivas.
- *Gage Run Chart* es una gráfica en donde se muestran las mediciones por operador y por parte, y ayuda mucho a tener una primera evaluación de la precisión del sistema de medición.
- *Gage Linearity*, que sirve para analizar la linealidad y la exactitud de un sistema de medición, considerando si el sistema de medición tiene la misma exactitud para todos los tamaños de los objetos que se están midiendo. Este análisis se hace con piezas patrón cuya medida es conocida y las mediciones se introducen en una columna que el software llama Master measurements.

Ejercicio

En una compañía que fabrica el polímetro PVC (cloruro de polivinilo) se realiza un estudio R&R para evaluar el proceso de medición del tamaño de partícula, que es una propiedad crítica de la resina. Las especificaciones inferior y superior son $EI = 25$ y $ES = 40$, respectivamente, por lo que el rango de especificación o tolerancia para la partícula es igual a 15. Justo antes del embarque se obtienen de los vagones de ferrocarril 10 muestras de resina de PVC. Cada muestra de resina se mide dos veces por cada operador y los datos obtenidos se muestran en la tabla siguiente:

Número de vagón	Operador A		Operador B		Operador C	
	1	2	1	2	1	2
1	36.2	36.3	35.8	35.0	36.1	34.8
2	35.3	35.0	35.6	35.1	35.7	34.7
3	30.8	30.6	30.4	28.9	30.2	29.2
4	29.8	29.6	30.2	29.9	28.3	30.1
5	32.0	31.7	31.1	31.7	30.1	31.7
6	30.7	29.7	30.9	30.4	29.8	29.5
7	33.4	32.4	32.9	32.1	33.4	31.2
8	37.1	36.5	36.7	36.2	36.0	35.5
9	30.1	30.5	30.0	29.7	29.1	30.2
10	34.6	34.2	34.1	33.7	33.6	34.2

- a) Estime la repetibilidad y reproducibilidad del instrumento de medición.
- b) Estime la desviación estándar del error de medición.
- c) Con base en lo anterior, si la medición que se obtiene para una parte es de 46, estime con 95 y 99% de confianza la verdadera magnitud de tal parte.
- d) Si las especificaciones son 50 ± 10 , ¿qué puede decir acerca de la capacidad del instrumento?
- e) Si cuenta con un software estadístico realice un ANOVA e interprételo con detalle.

Pasamos los datos a tres columnas para poder copiar a Minitab

Parte	Operador	Medición
1	A	36.2
1	A	36.3
2	A	35.3
2	A	35.0
3	A	30.8
3	A	30.6
4	A	29.8
4	A	29.6
5	A	32.0
5	A	31.7
6	A	30.7
6	A	29.7
7	A	33.4
7	A	32.4
8	A	37.1
8	A	36.5
9	A	30.1
9	A	30.5
10	A	34.6
10	A	34.2

% Tolerancia %Study Var	% Contribución	El sistema es...
10% o menos	1% o menos	Aceptable
10% - 30%	1% - 9%	Marginal*
Mayor a 30%	9% o más	Inaceptable

El primer gráfico determina el resultado del estudio. El porcentaje de variación del sistema es de 23,59%. Para interpretar este resultado se hace uso de la tabla mostrada arriba. Bajo este ejemplo, se debe revisar el sistema de medición, en caso de obtenerse un resultado inaceptable, todo el sistema debería de ser reemplazado.

Linealidad

Es la diferencia entre los valores de sesgo a través de todo el rango de operación de un instrumento de medición.

Es muy útil ya que se comparan las mediciones contra un patrón.

Linealidad

Normalmente se utiliza el valor “P” para identificar si la prueba es satisfactoria o no. En primer lugar establecemos la hipótesis nula, en este caso, la hipótesis nula es que en cualquier rango, el sistema de medición es sensible. En segundo lugar, se establece la confiabilidad, 95% en este caso. Por lo tanto, si “P” es menor a 5% (100% - 95%), la hipótesis nula es rechazada. En este caso, el aparato de medición no es representativo en para las mediciones de 2, 8 y 10 unidades de medida.

Linealidad

El valor R-Sq indica que tan bien representa la línea los datos. Entre mayor sea número, la línea tendrá mayor representatividad. Qué valor tendrá este número dependerá del tipo de industria donde se esté realizando el estudio.

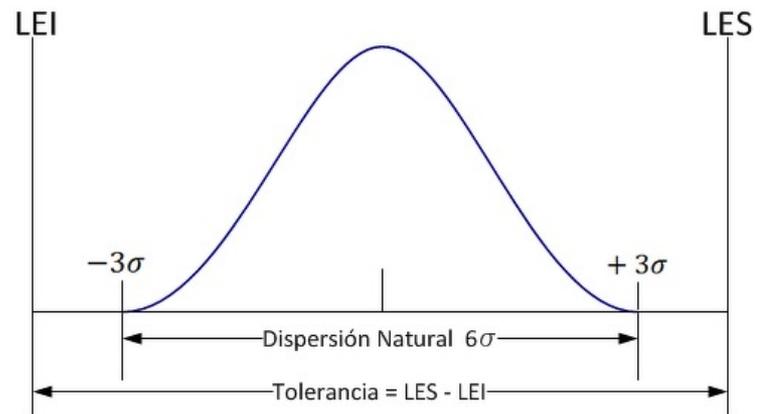


Análisis de Capacidad

Repaso de DN-0110 Métodos Cuantitativos II

Capacidad de un proceso

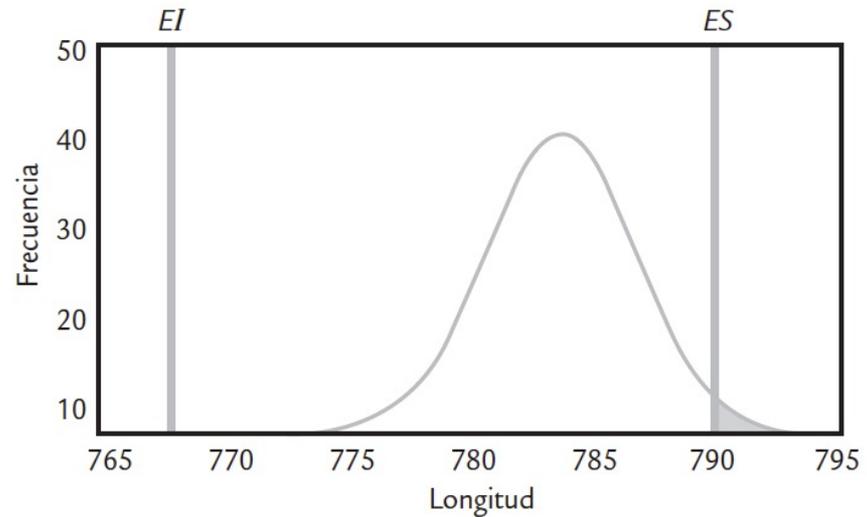
Conocer la amplitud de la variación natural del proceso en relación con sus especificaciones y su ubicación respecto al valor nominal, para una característica de calidad dada, y así saber en qué medida cumple los requerimientos.



Índice Cp

Indicador de la capacidad potencial del proceso que resulta de dividir el ancho de las especificaciones (variación tolerada) entre la amplitud de la variación natural del proceso.

$$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$



Valor del índice C_p	Clase o categoría del proceso	Decisión (si el proceso está centrado)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

TABLA 5.2 Los índices C_p , C_{pi} y C_{ps} en términos de la cantidad de piezas malas; bajo normalidad y proceso centrado en el caso de doble especificación

Valor del índice (corto plazo)	Proceso con doble especificación (índice C_p)		Con referencia a una sola especificación (C_{pi} , C_{ps} , C_{pk})	
	% fuera de las dos especificaciones	Partes por millón fuera (PPM)	% fuera de una especificación	Partes por millón fuera (PPM)
0.2	54.8506%	548 506.130	27.4253%	274 253.065
0.3	36.8120%	368 120.183	18.4060%	184 060.092
0.4	23.0139%	230 139.463	11.5070%	115 069.732
0.5	13.3614%	133 614.458	6.6807%	66 807.229
0.6	7.1861%	71 860.531	3.5930%	35 930.266
0.7	3.5729%	35 728.715	1.7864%	17 864.357
0.8	1.6395%	16 395.058	0.8198%	8 197.529
0.9	0.6934%	6 934.046	0.3467%	3 467.023
1.0	0.2700%	2 699.934	0.1350%	1 349.967
1.1	0.0967%	966.965	0.0483%	483.483
1.2	0.0318%	318.291	0.0159%	159.146
1.3	0.0096%	96.231	0.0048%	48.116
1.4	0.0027%	26.708	0.0013%	13.354
1.5	0.0007%	6.802	0.0003%	3.401
1.6	0.0002%	1.589	0.0001%	0.794
1.7	0.0000%	0.340	0.0000%	0.170
1.8	0.0000%	0.067	0.0000%	0.033
1.9	0.0000%	0.012	0.0000%	0.006
2.0	0.0000%	0.002	0.0000%	0.001

Índices C_{pi}, C_{ps} y C_{pk}

Índice C_{pi} Indicador de la capacidad de un proceso para cumplir con la especificación inferior de una característica de calidad.

Índice C_{ps} Indicador de la capacidad de un proceso para cumplir con la especificación superior de una característica de calidad.

Índice C_{pk} Indicador de la capacidad real de un proceso

$$C_{pi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma} \quad \text{y} \quad C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma}$$

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right]$$

Índice K

Índice K es un indicador de qué tan centrada está la distribución de un proceso con respecto a las especificaciones de una característica de calidad dada.

$$K = \frac{\mu - N}{\frac{1}{2}(ES - EI)} \times 100$$

Si el signo del valor de K es positivo significa que la media del proceso es mayor al valor nominal y será negativo cuando $\mu < N$.

- Valores de K menores a 20% en términos absolutos se consideran aceptables, pero a medida que el valor absoluto de K sea más grande que 20%, indica un proceso muy descentrado, lo cual contribuye de manera significativa a que la capacidad del proceso para cumplir especificaciones sea baja.
- El valor nominal, N, es la calidad objetivo y óptima; cualquier desviación con respecto a este valor lleva un detrimento en la calidad. Por ello, cuando un proceso esté descentrado de manera significativa se deben hacer esfuerzos serios para centrarlo, lo que por lo regular es más fácil que disminuir la variabilidad.

Índice Cpm (Taguchi)

Índice Cpm o Índice de Taguchi similar al Cpk que, en forma simultánea, toma en cuenta el centrado y la variabilidad del proceso.

$$C_{pm} = \frac{ES - EI}{6\tau}$$

$$\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$$

Capacidad de corto plazo

Se calcula a partir de muchos datos tomados durante un periodo corto para que no haya influencias externas en el proceso, o con muchos datos de un periodo largo, pero calculando σ con el rango promedio.

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Índices Pp, y Ppk

Índice Pp Indicador del desempeño potencial del proceso, que se calcula en forma similar al índice Cp pero usando la desviación estándar de largo plazo.

Índice Ppk Indicador del desempeño real del proceso, que se calcula en forma similar al índice Cpk pero usando la desviación estándar de largo plazo.

$$P_p = \frac{ES - EI}{6\sigma_L}$$

$$P_{pk} = \text{mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma_L}, \frac{ES - \mu}{3\sigma_L} \right]$$

Estimación por Intervalo de los Índices de Capacidad

$$\hat{C}_p = \frac{ES - EI}{6S}$$

$$\hat{C}_{pi} = \frac{\bar{X} - EI}{3S}$$

$$\hat{C}_{ps} = \frac{ES - \bar{X}}{3S}$$

$$\hat{C}_{pk} = \text{mínimo} (\hat{C}_{pi}, \hat{C}_{ps})$$

$$\hat{C}_{pm} = \frac{ES - EI}{6 \sqrt{S^2 + (\bar{X} - N)^2}}$$

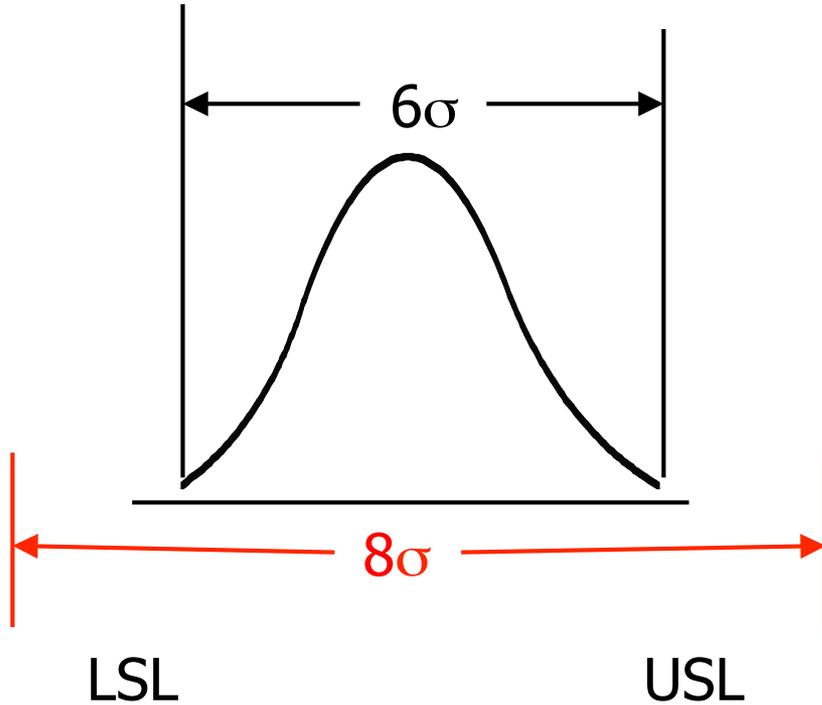
Estimación por Intervalo de los Índices de Capacidad

$$\hat{C}_p \pm Z_{\alpha/2} \frac{\hat{C}_p}{\sqrt{2(n-1)}}$$

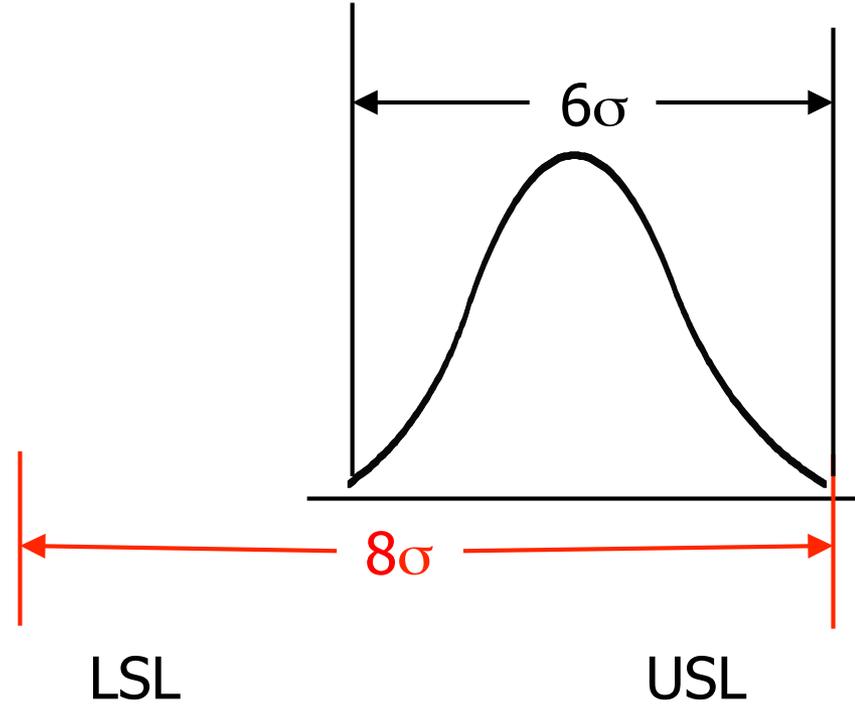
$$\hat{C}_{pk} \pm Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{C}_{pk}^2}{2(n-1)} + \frac{1}{9n}}$$

$$\hat{C}_{pm} \pm Z_{\alpha/2} \frac{\hat{C}_{pm}}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\frac{1}{2} + \frac{(\bar{X} - N)^2}{S^2}}{\left[1 + \frac{(\bar{X} - N)^2}{S^2}\right]^2}}$$

Caso I

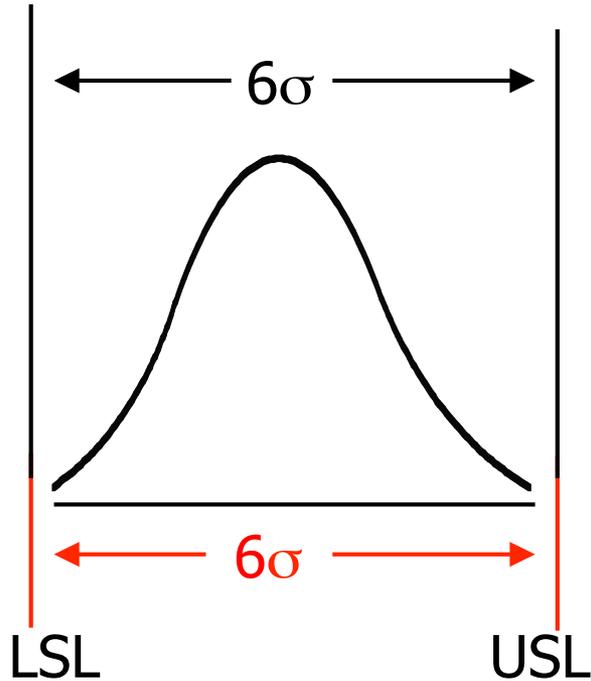


$$C_p = 1.33$$
$$C_{pk} = 1.33$$

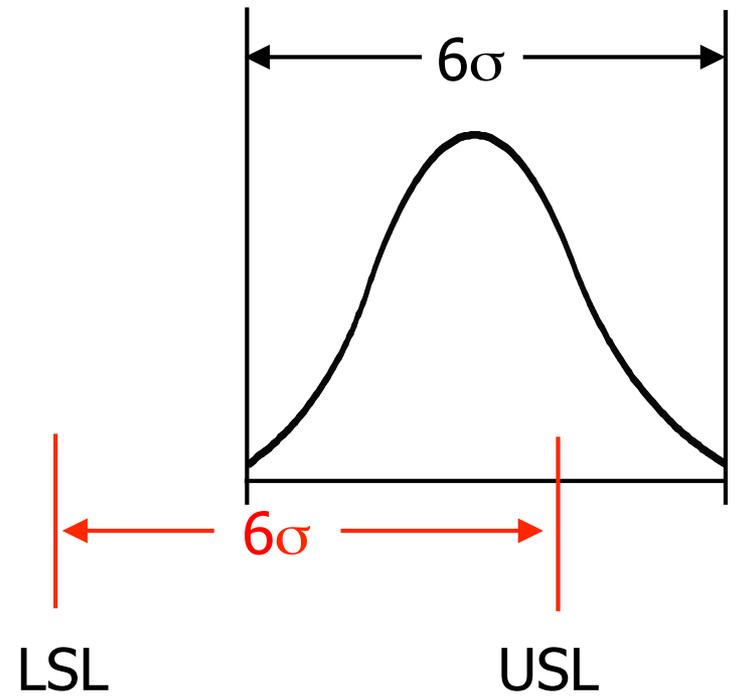


$$C_p = 1.33$$
$$C_{pk} = 1.00$$

Caso II

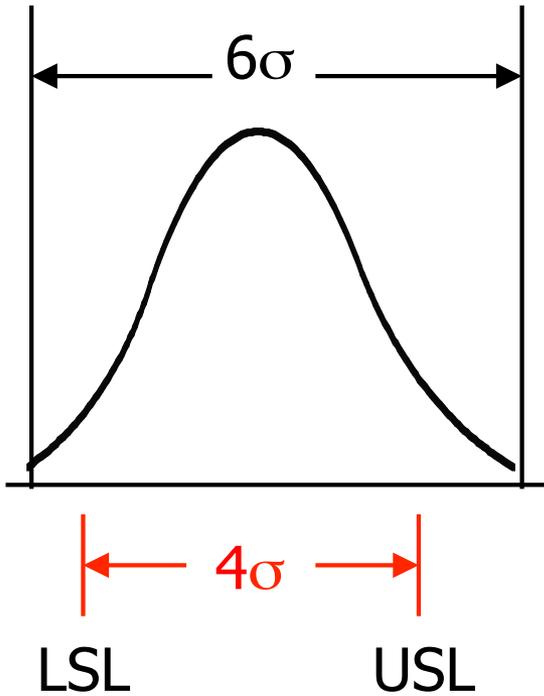


$$C_p = 1.00$$
$$C_{pk} = 1.00$$

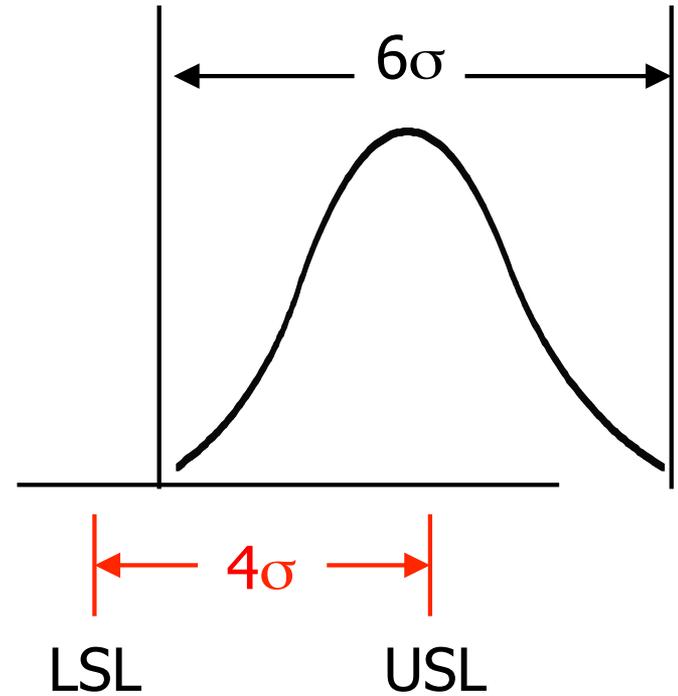


$$C_p = 1.00$$
$$C_{pk} = 0.67$$

Caso III



$$C_p = 0.67$$
$$C_{pk} = 0.67$$



$$C_p = 0.67$$
$$C_{pk} = 0.33$$

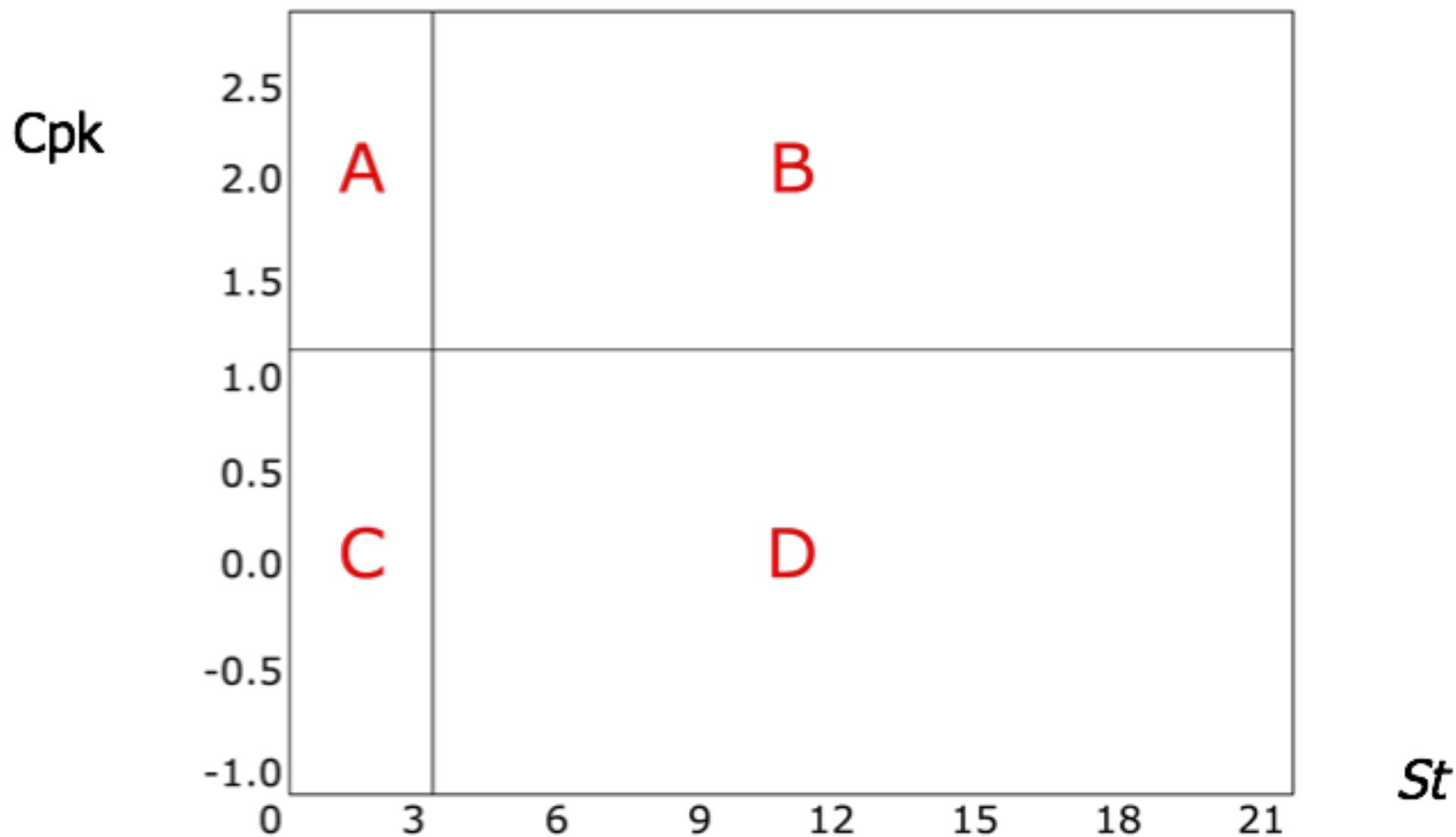
Índice de Inestabilidad

$$St = \frac{\text{Número de causas asignables}}{\text{Número total de puntos graficados}} \times 100$$

Por causas asignables entenderemos los puntos fuera de los límites, las tendencias, ciclos, etc.

Índices mayores al 10% son indicativo de alta inestabilidad

Estados de un Proceso



LEAN CONSTRUCTION

6 σ Analysis



Métricas Seis Sigma

Índice Z

Es la métrica de capacidad de procesos de mayor uso en Seis Sigma.

Se obtiene calculando la distancia entre la media y las especificaciones, y esta distancia se divide entre la desviación estándar.

$$Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma} \quad \text{y} \quad Z_i = \frac{\mu - EI}{\sigma}$$

La capacidad de un proceso medida en términos del índice Z es igual al valor más pequeño de entre Z_s y Z_i , es decir:

$$Z = \text{mínimo} [Z_s, Z_i]$$

Índices Z_c y Z_L

Índice Z_c Valor del índice Z en el cual se emplea la desviación estándar de corto plazo.

Índice Z_L Valor del índice Z que utiliza la desviación estándar de largo plazo.

La diferencia entre la capacidad de corto y largo plazo se conoce como desplazamiento o movimiento del proceso y se mide a través del índice Z_m de la siguiente manera:

$$Z_m = Z_c - Z_L$$

El índice Z_m representa la habilidad para controlar la tecnología.

Cuando es posible calcular Z_m y si éste es menor que 1.5, se asumirá que el proceso tiene un mejor control que el promedio de los procesos con un control pobre, y si es mayor que 1.5, entonces el control es muy malo.

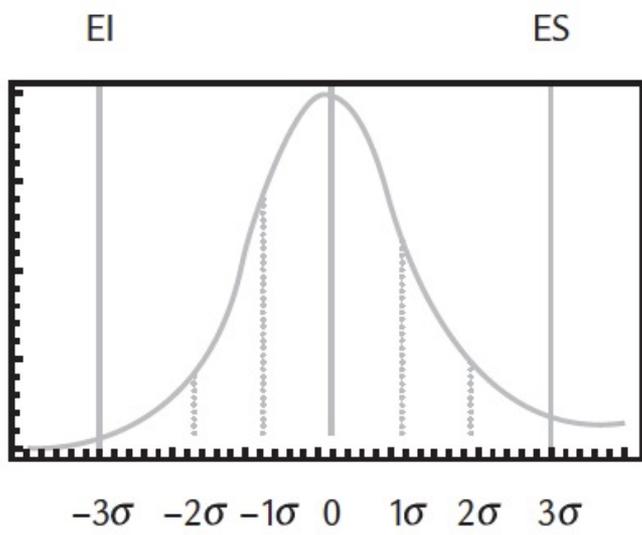
$$3C_{pk} = Z_c \text{ y } 3P_{pk} = Z_L$$

Calidad Tres Sigma

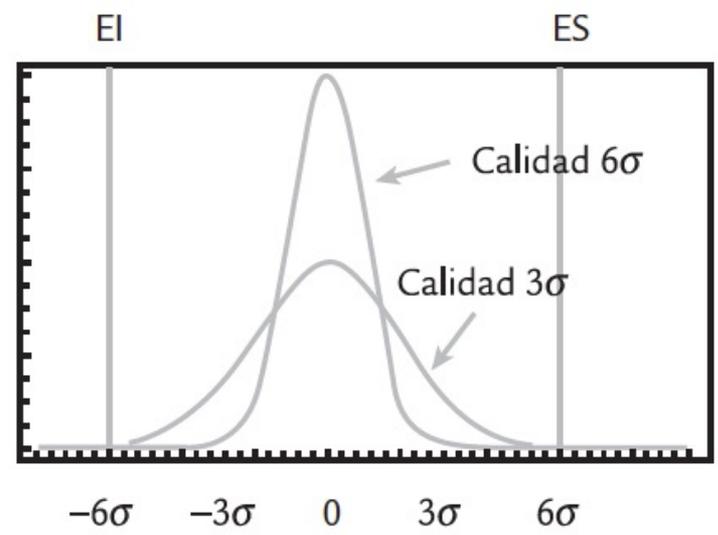
Tener un proceso Tres Sigma significa que el índice Z correspondiente es igual a tres.

$$\text{Límite real inferior} = \mu - 3\sigma = 50.01 - 3(0.20) = 49.41$$

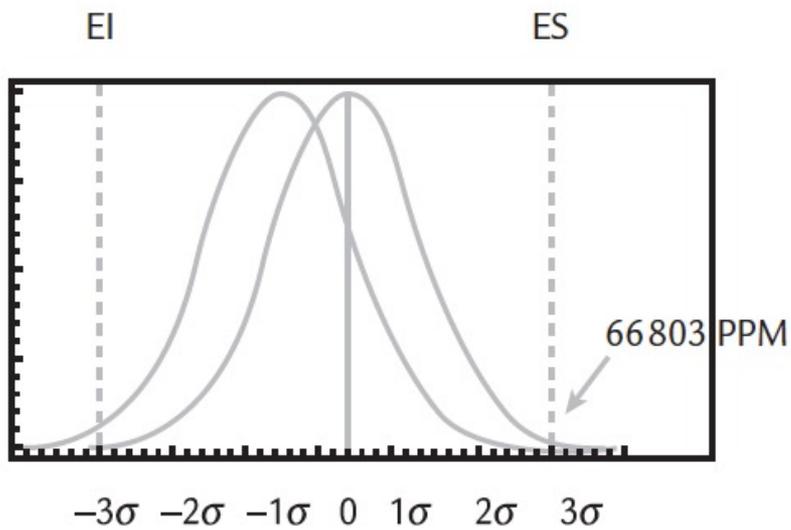
$$\text{Límite real superior} = \mu + 3\sigma = 50.01 + 3(0.20) = 50.61$$



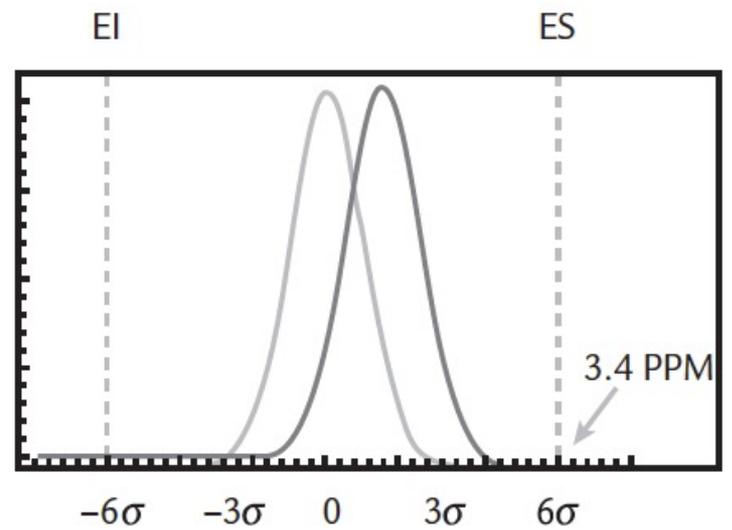
a) Calidad Tres Sigma; $Z_c = 3$ y $C_{pk} = 1$



c) Calidad 3 y 6σ ($C_p = 2.0$, $C_{pk} = 2.0$, $Z_s = Z_i = 6$)



b) Calidad 3σ; con un movimiento de 1.5σ
($Z_{mov} = 1.5$) ($C_p = 1.0$, $C_{pk} = 0.5$)



d) Calidad 6σ; con un movimiento de 1.5σ
($Z_{mov} = 1.5$) ($C_p = 2.0$, $C_{pk} = 1.5$)

Proceso Seis Sigma

Proceso cuya capacidad para cumplir especificaciones a corto plazo es igual a $Z_c = 6$ o cuando es a largo plazo $Z_L = 4.5$, lo cual, a corto plazo significa $Cpk = 2$ y a largo plazo $Ppk = 1.5$.

$$\text{Nivel de calidad en sigmas } (Z_c) = (Z_c) = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 \times \ln(\text{PPM})}$$

Calidad de corto plazo (suponiendo un proceso centrado)				Calidad de largo plazo con un movimiento de 1.5σ		
Índice C_p	Calidad en sigmas Z_c	% de la curva dentro de especificaciones	Partes por millón fuera de especificaciones	Índice Z_L	% de la curva dentro de especificaciones	PPM fuera de especificaciones
0.33	1	68.27	317 300	-0.5	30.23	697 700
0.67	2	95.45	45 500	0.5	69.13	308 700
1.00	3	99.73	2 700	1.5	93.32	66 807
1.33	4	99.9937	63	2.5	99.379	6 210
1.67	5	99.999943	0.57	3.5	99.9767	233
2.00	6	99.9999998	0.002	4.5	99.99966	3.4

$$\text{Nivel de calidad en sigmas: } Z_c = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 \times \ln(\text{PPM}_L)} \quad \text{PPM}_L = \exp \left[\frac{29.37 - (Z_c - 0.8406)^2}{2.221} \right]$$

Los niveles de calidad medidos en sigmas no sólo son números enteros, sino que pueden ser números reales con decimales. Además, pasar de un nivel de calidad sigma al siguiente superior no es una tarea sencilla. A partir de la tabla anterior es posible obtener la tabla siguiente, en donde se muestra la reducción de defectos de un nivel de sigma al siguiente

Pasar de	A	Factor de reducción de defectos	Reducción porcentual
2 sigmas (308 537 PPM)	3 sigmas (66 807 PPM)	5	78%
3 sigmas (66 807 PPM)	4 sigmas (6 210 PPM)	11	91%
4 sigmas (6 210 PPM)	5 sigmas (233 PPM)	27	96%
5 sigmas (233 PPM)	6 sigmas (3.4 PPM)	68	99%

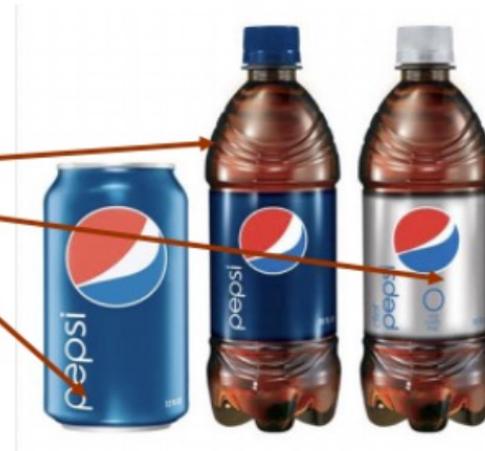
Métricas 6σ para atributos

El índice Z se emplea como métrica en Seis Sigma cuando la característica de calidad es de tipo continuo; sin embargo, muchas características de calidad son de atributos. En este caso se utilizará como métrica a los Defectos por millón de oportunidades de error (DPMO)

1. Atributos físicos

Marca
Envase
Etiqueta

“Presentación”
Define la apariencia



2. Atributos industriales

Materias primas
Los químicos

“Componentes”
Determina beneficios

EL ADN

3. Atributos Psicológicos

Calidad
Precio
Servicio

“Cualidades”
Determina el “Plus”

“Son estratégicos y se deben definir seriamente antes del lanzamiento”

Terminos Importantes

1. Unidad: Un producto procesado o una transacción realizada
2. Defecto: Todo evento que no permite cumplir con las especificaciones
3. Oportunidad de Defecto: Cualquier evento medible que da oportunidad de no cumplir con la especificación
4. Defectuoso: Una unidad con uno o más defectos

Terminos Importantes

5. DPMO: Defectos por millón de oportunidades
6. Ppm: partes por millón
7. DPU: defectos por unidad
8. Yield: aprovechamiento
9. YRTP(Rolled Throughput Yield): ruta de aprovechamiento

Capacidad del Proceso

- La capacidad se mide para determinar donde es necesario hacer mejoras.
- El determinar la capacidad por DPMO da una mayor conciencia de la magnitud del problema que si se vieran los porcentajes.
- Se enfoca en los defectos, no en los defectuosos
- Produce una métrica comparativa normalmente válida

PERCENT	DPMO
93,0000%	66800
98,0000%	22700
99,0000%	6210
99,8700%	1360
99,9997%	3,4

DPMO

$$DPMO = 1,000,000.00 \times \left(\frac{D}{N \times O} \right)$$

N = Número de unidades procesadas

D= Número de defectos encontrados (incluye aquellos que se descubrirán después)

O= Oportunidades de encontrar un defecto por unidad

Pates por Millón

Es una medida utilizada normalmente para medir la calidad del sistema de producción. Es utilizada desde el punto de vista del cliente, una parte o servicio se cuenta cómo defectuoso si al menos tiene u ocurre un defecto. Se calcula de la siguiente forma:

$$ppm = \frac{\text{Defectuosos}}{\text{Total de Partes}} \times 1,000,000.00$$

Cuando se calcula el DPMO la complejidad es tomada en cuenta. En el caso de ppm la complejidad no se toma en consideración.

Defectos por Unidad

Para algunas compañías es más interesante determinar cuántos defectos por unidad ocurren. A un valor menor de DPU, mejor capacidad:

$$DPU = \frac{\textit{Defectos}}{\textit{Unidad}}$$

Defectos = Número de Defectos

Unidad = Número total de partes

Yield

El “yield” describe la proporción de partes son defectos de la producción, o de los servicios sin errores en un periodo determinado de tiempo.

$$\textit{Yield} = \frac{\textit{Partes Buenas}}{\textit{Total de Partes}}$$

Rolled Throughput Yield

El “Rolled Throughput Yield” es la probabilidad de que una parte o un servicio pase por cada etapa del proceso satisfactoriamente. Se calcula de la siguiente forma:

$$Y_{RTP} = Y_1 \times Y_2 \times Y_3 \times \dots \times Y_n$$

Normalized Yield

Es el promedio geométrico del “rolled throughput yield”. Puede entenderse cómo el “yield” promedio por oportunidad. Si los “yields” de los diferentes procesos varían considerablemente entre sí, no es aconsejable utilizarlo.

$$Y_{Norm} = \sqrt[n]{Y_{RTP}}$$

YIELD	DPMO	SIGMA
6.68%	933192.7712	0
15.87%	841344.7402	0.5
30.85%	691462.4674	1
50.00%	500000.0002	1.5
69.15%	308537.5326	2
84.13%	158655.2598	2.5
93.32%	66807.22879	3
97.72%	22750.06204	3.5
99.38%	6209.679859	4
99.87%	1349.967223	4.5
99.98%	232.6733737	5
100.00%	31.68603461	5.5
100.00%	3.400803062	6