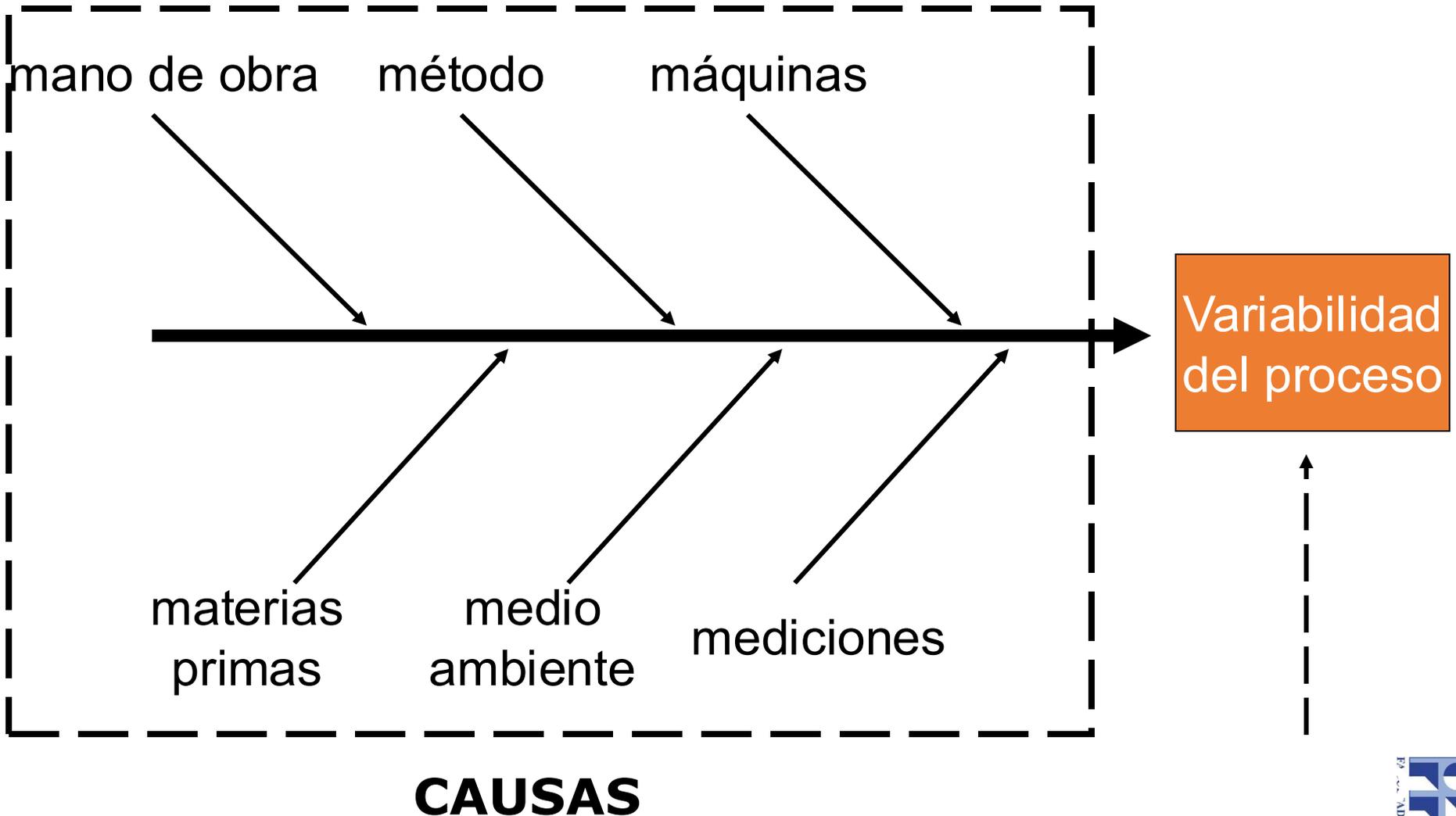


Capacidad de Procesos

Proceso

Un proceso es un conjunto de equipos, materiales, personas y métodos de trabajo que genera un *producto o servicio*.

¿Cuáles son las posibles causas de defectos y cuál es la consecuencia?



Estudio de un Proceso

- Característica a medir
- Muestreo
- Análisis
- Acciones

Hipótesis de trabajo

- Antes de aplicar cualquier técnica estadística para evaluar la capacidad de un proceso, es necesario establecer algunas hipótesis bajo las cuales se va a desarrollar el análisis.

Hipótesis 1

- En primer lugar, vamos a suponer que la característica de calidad (variable aleatoria) es continua y de distribución normal.

Hipótesis 2

- *En segundo lugar, consideraremos que el proceso está bajo control estadístico, es decir que la variabilidad se debe solamente a un sistema constante de causas aleatorias (No intervienen causas asignables).*

Proceso y Variabilidad

- *Al realizar una sucesión de mediciones de la característica de calidad sobre muestras del producto , encontramos que los valores fluctúan alrededor de un valor central. Esto es lo que llamamos la fluctuación natural y esperable del proceso.*

Límites de Variabilidad

- Metodología para encontrar los límites de control.
- Un proceso bajo control puede producir piezas fuera de especificaciones que le son impuestas.
- Proceso bajo control estadístico solo muestra comportamiento sin causas asignables

Límites

- Es necesario distinguir entre
 - “Límites del proceso” y
 - “Límites de especificación”
- Los límites del proceso (naturales) se aplican a muestras provenientes del proceso, y sirven para detectar cambios significativos en su comportamiento.
- Los Límites de Especificación de un producto son fijados voluntariamente por el cliente, por el fabricante o por alguna norma.

- Los límites de especificación se aplican para cada pieza individualmente, y representan las dimensiones que debe cumplir para satisfacer los requerimientos de calidad.
- Generalmente los límites de especificación vienen dadas por condiciones externas al proceso, tales como exigencias del consumidor, normas nacionales, etc.

Capacidad de Proceso

- Habilidad que tiene el proceso para cumplir *consistentemente* con los *requerimientos* exigidos por los clientes internos o externos

Cumplir con las especificaciones.

Utilidad de los Estudios de Capacidad

- Determinar si nuestros procesos son capaces de elaborar productos con las especificaciones requeridas por el mercado y, en caso de no satisfacer las especificaciones, conocer el porcentaje de unidades no conformes que se obtendrán.
- Determinar valores “razonables” para las especificaciones de un producto nuevo de acuerdo con las capacidades de nuestros procesos.
- Elegir entre diversos proveedores.

Indices de capacidad del proceso

- Los índices de capacidad del proceso intentan mostrar a través de un número si un proceso puede cumplir consistentemente con los requerimientos impuestos sobre un proceso por clientes internos o externos.
- Estos índices no tienen unidades, lo cual permite comparar dos procesos completamente diferentes.

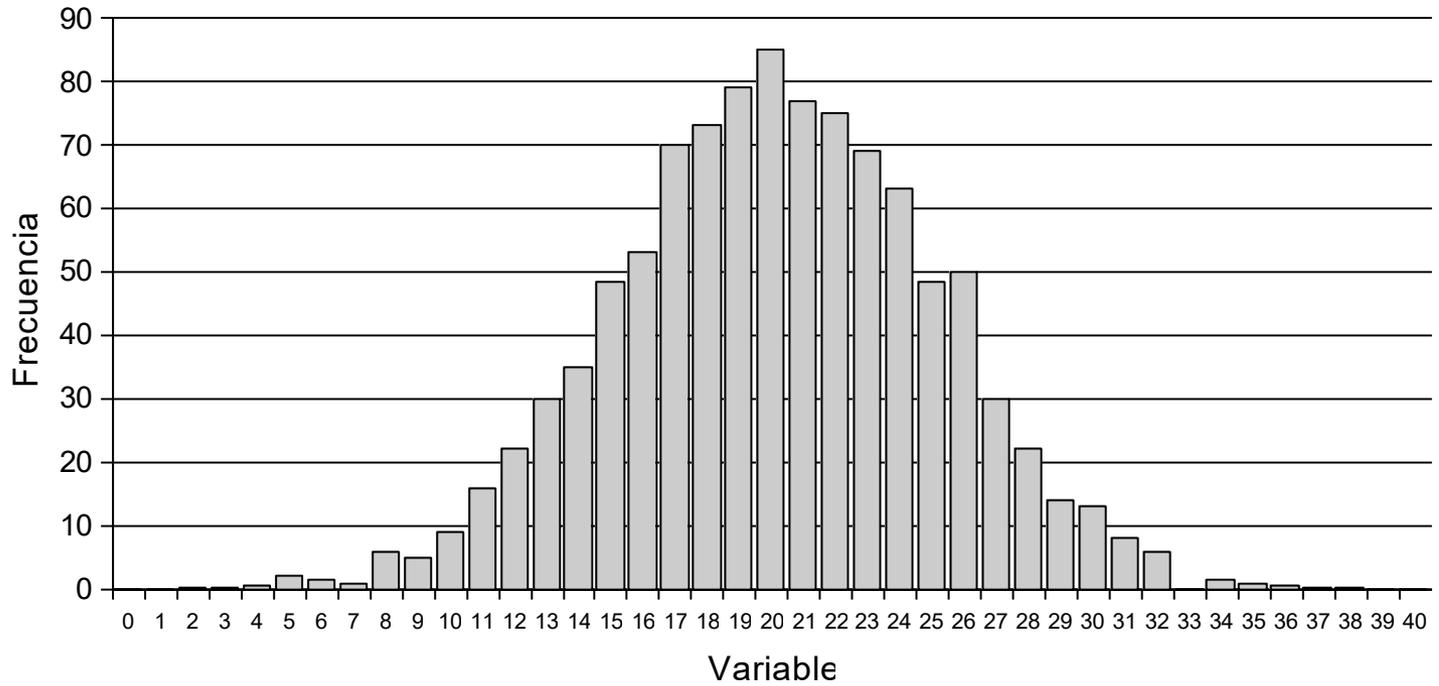
Indices de capacidad del proceso

- La limitante principal de estos índices es que no tienen significado si los datos analizados provienen de un proceso fuera de control y la razón es que la capacidad del proceso es una predicción y solo se puede predecir algo que es estable.

Capacidad de Proceso vs Histograma

- Para analizar la capacidad del proceso se puede utilizar un histograma de frecuencias. Si se dispusiera de todos los datos del universo para la característica de calidad medida y se hiciera un histograma este permitiría tener una idea exacta de la fluctuación natural del proceso.

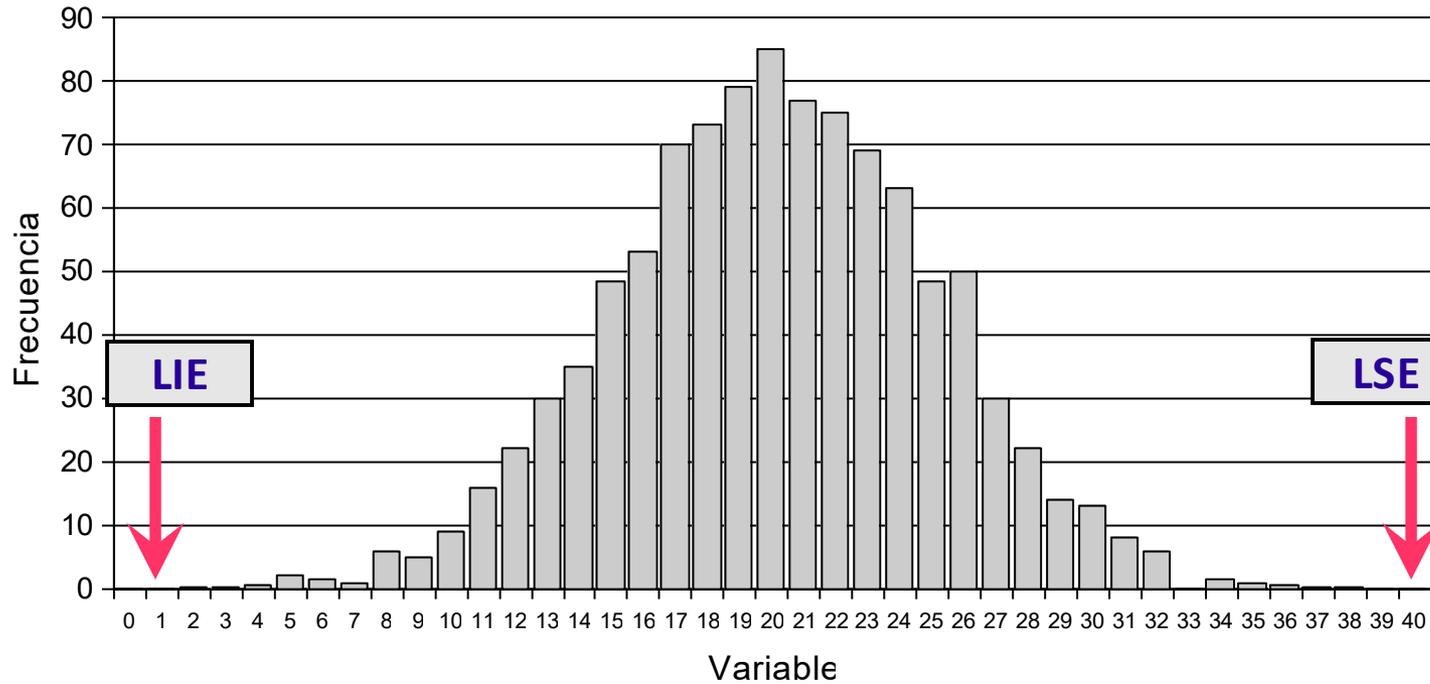
Histograma



Capacidad de Proceso vs Histograma

- *Este es el histograma de una muestra y por lo tanto es sólo una estimación del verdadero histograma del universo.*
- Si representamos en las abscisas los Límites de Especificación del producto, podemos ver gráficamente si el proceso tiene aptitud (Capacidad) para fabricar dicho producto.

Histograma



Indices de capacidad del proceso C_p y C_{pk}

Generalmente se usan dos índices para evaluar la capacidad del proceso para producir dentro de las especificaciones:

- C_p : índice de capacidad potencial del proceso. No toma en cuenta la media observada del proceso.
- C_{pk} : índice de capacidad o habilidad real del proceso. Si toma en cuenta la media observada en el proceso.

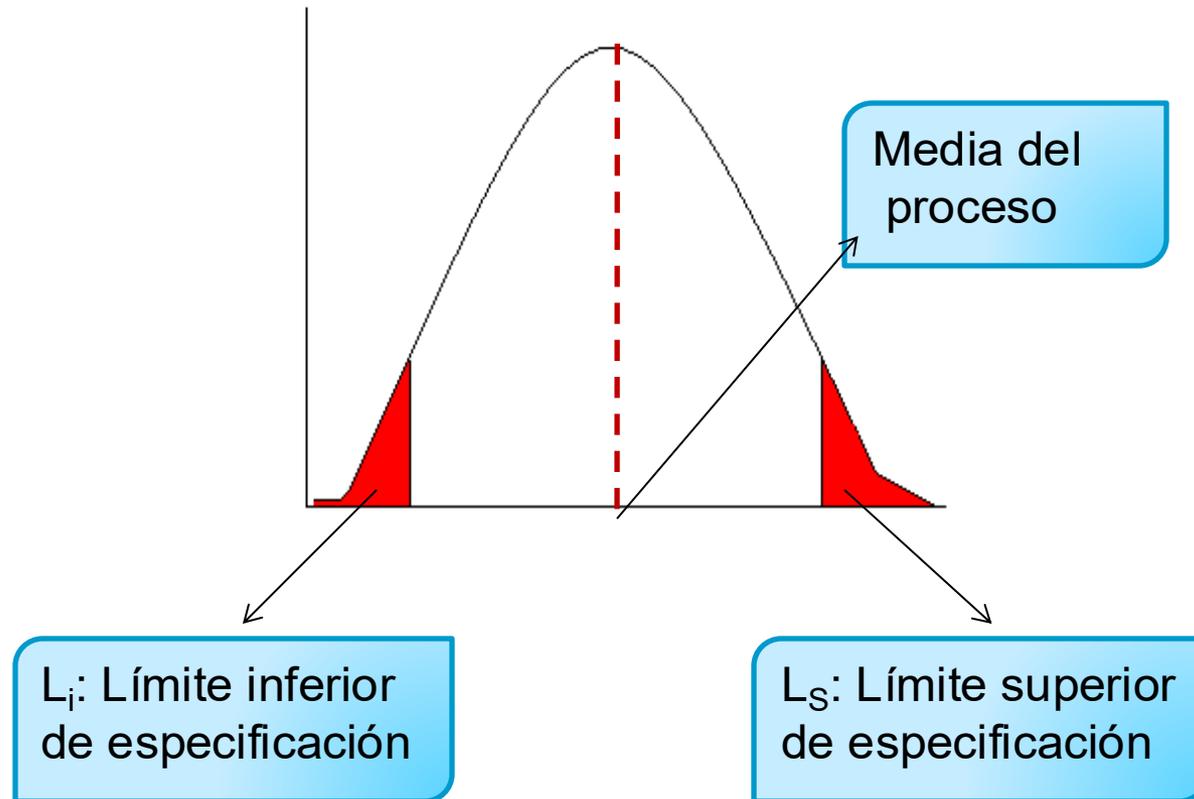
Indices de capacidad del proceso P_p y P_{pk}

La principal diferencia entre P_p y C_p , por un lado, y P_{pk} y C_{pk} , por otro, radica en:

- si utilizamos un conjunto completo de datos para el cálculo (P_p y P_{pk}), donde calculamos el rendimiento real del sistema, o
- si utilizamos una muestra (preproducción, lote, subgrupos lógicos) para calcular la capacidad del proceso.

En la ecuación para P_p y P_{pk} , utilizamos la desviación estándar basada en los datos estudiados (población completa). En la ecuación para calcular C_p y C_{pk} , utilizamos la desviación muestral o la desviación media dentro de los subgrupos racionales.

Definiciones de capacidad del proceso



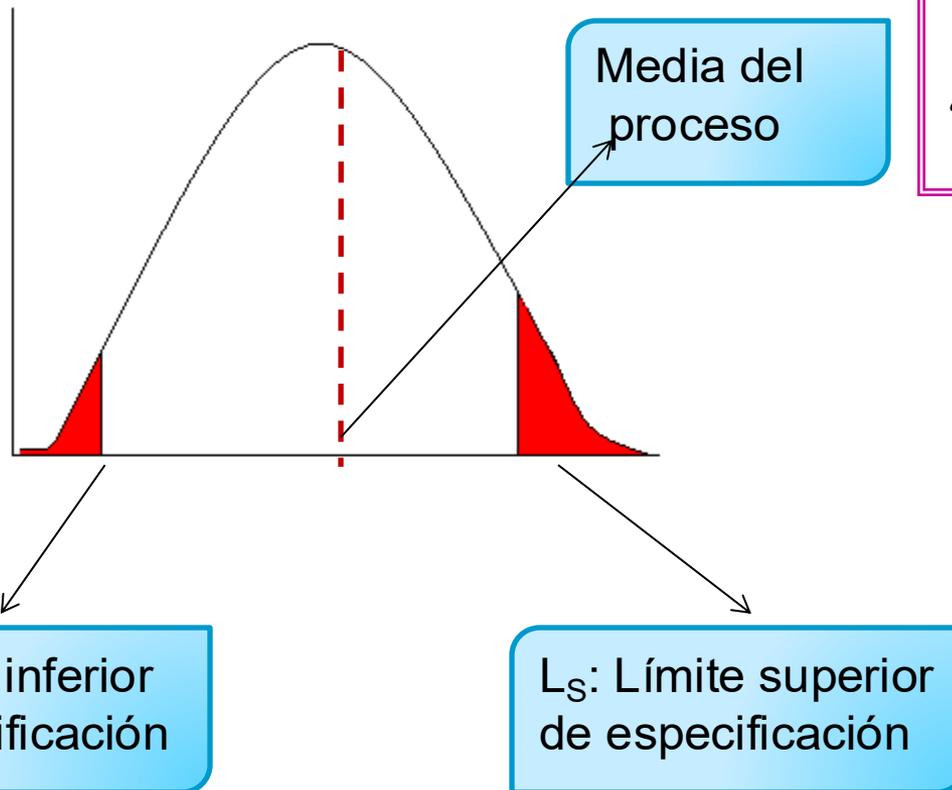
$$\mu = \frac{LIE + LSE}{2}$$

Proceso centrado

Definiciones de capacidad del proceso

- Centrar un proceso no es garantía de que la producción va a cumplir con las especificaciones, pues si los límites de especificación resultan más estrechos que los límites de variación $\pm 3\sigma$, entonces un cierto porcentaje de la producción va a resultar defectuosa.

Definiciones de capacidad del proceso



$$\mu \neq \frac{LIE + LSE}{2}$$

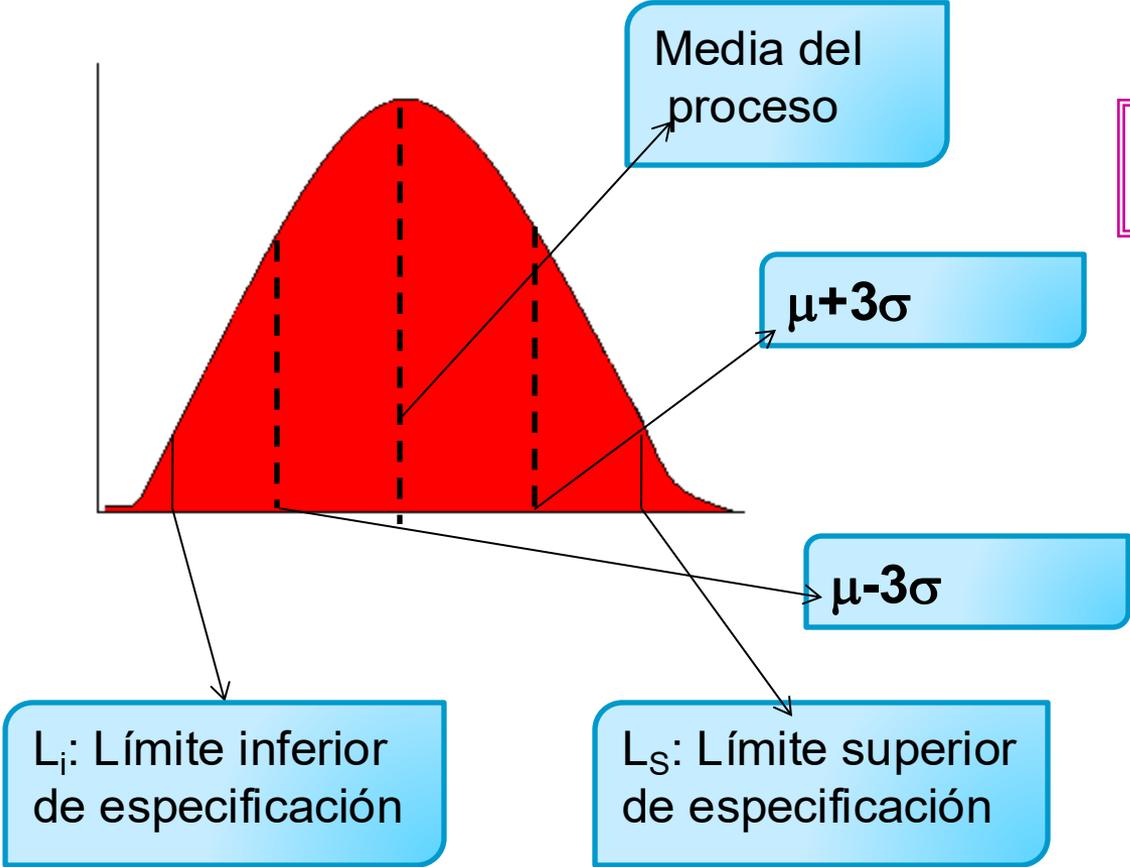
Proceso Descentrado con media corrida hacia la derecha

Definiciones de capacidad del proceso

- Cuando la media de un proceso no coincide con la media de la especificación, se dice que está descentrado o que la media está corrida, y en ese caso el porcentaje de piezas por encima del límite superior (defectuosas por exceso) es diferente que las que resultan por debajo del límite inferior (defectuosas por defecto)

$$6\sigma \leq LSE - LIE$$

Proceso Capaz



Estimación de los parámetros

- La diferencia $T = LSE - LIE$ se puede considerar que es la dispersión permitida del proceso (tolerancia).
- Si no se conoce la μ , la \bar{x} doble barra es la media estimada del proceso, la cual se obtiene como la línea central de un gráfica de medias.

Estimación de los parámetros

- Cuanto mayor sea la tolerancia de un producto, más fácil le resultará al proceso cumplir con las exigencias de calidad
- Cuanto más pequeña sea la tolerancia, es más difícil cumplir puesto que el margen de variabilidad es más estrecho, y por tanto más exigente.

Estimación de los parámetros

- La σ es la desviación estándar del proceso, la cual si no se conoce, se estima de la gráfica de control de la variabilidad del proceso.

$$S = \frac{\overline{R}}{d_2}$$

Análisis de las especificaciones

- Proceso bajo control, se compara el resultado con las especificaciones.
- Las especificaciones son bilaterales, es decir que establecen dos límites.
- Lo más importante es que los valores que se establecen **se aplican para cada pieza individualmente**, y no al promedio de una muestra o subgrupo.

Cálculo del C_p

- Caso 1: Proceso centrado

$$C_p = \frac{L_s - L_i}{6\hat{\sigma}}$$



No puede ser
negativo
 $L_s > L_i$

*Coeficiente de capacidad básica
o potencial del proceso*

Cálculo del C_p

- Cuando el proceso es centrado el porcentaje de piezas conformes es máximo.
- Cuando el proceso es capaz, este porcentaje máximo de piezas conformes es aproximadamente el 100%.
- El análisis de la capacidad del proceso es el acto de determinar si un proceso puede cumplir con las especificaciones.

Se debe usar P_p para procesos nuevos o C_p para procesos bajo control estadístico

Interpretación del C_p

- Antes de hacer algo sobre ese punto, hay que cerciorarse de que el proceso esté bajo control estadístico, si es así, entonces:
 - I. $C_p < 1$: no es posible garantizar que la totalidad de las piezas producidas satisfacen la especificación (proceso no puede ser capaz).
 - II. $C_p > 1$: el proceso es capaz.

Interpretación del C_p

- El coeficiente C_p tiene también otra interpretación muy importante, pues su inverso representa el porcentaje de la banda de tolerancia que abarca los límites naturales de variación del proceso, cuando éste está centrado. Por ejemplo si

$$C_p = 1,40$$

Interpretación del C_p

- Se interpreta como una medida que el proceso es capaz en caso de que esté centrado.
- Calculando su inverso expresado en porcentaje

$$\frac{1}{1,40} * 100\% = 71,43\%$$

¿Es aceptable el proceso?

Un proceso capaz no significa necesariamente que sea aceptable.

Este punto refleja el grado de centrado de un proceso.

Podemos medirlo mediante el Ppk o el Cpk.

Cálculo del C_{pk}

- Caso 2: Proceso no centrado

Cuando el proceso no está centrado, el porcentaje de piezas conformes no es máximo, pero esto no implica que el proceso no sea capaz, pues puede suceder que las especificaciones le resulten tan amplias que a pesar del corrimiento de la media, la casi totalidad de las piezas caigan dentro de la especificación.

Cálculo del C_{pk}

$$C_{pk} = \text{mínimo} \left\{ \frac{L_s - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\hat{\mu} - L_i}{3\hat{\sigma}} \right\}$$

**Coeficiente de
capacidad real**

Interpretación del C_{pk}

1. $C_{pk} > 1.33$: el proceso es capaz y es comúnmente usado como una meta para muchas compañías.
2. $1 < C_{pk} < 1.33$: el proceso es marginalmente capaz.
3. $C_{pk} < 1$: el proceso no es capaz.

Interpretación del C_{pk}

$$C_p = C_{pk} > 1$$



Proceso capaz y centrado

$$C_p > C_{pk} > 1$$



**Proceso capaz
No centrado**

$$C_p > 1, \quad C_{pk} < 1$$



**Proceso potencialmente capaz.
Si se centra puede ser capaz**

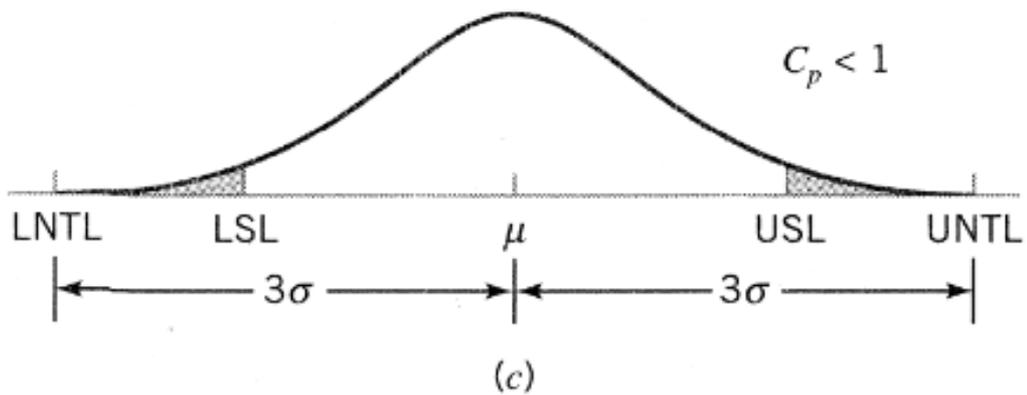
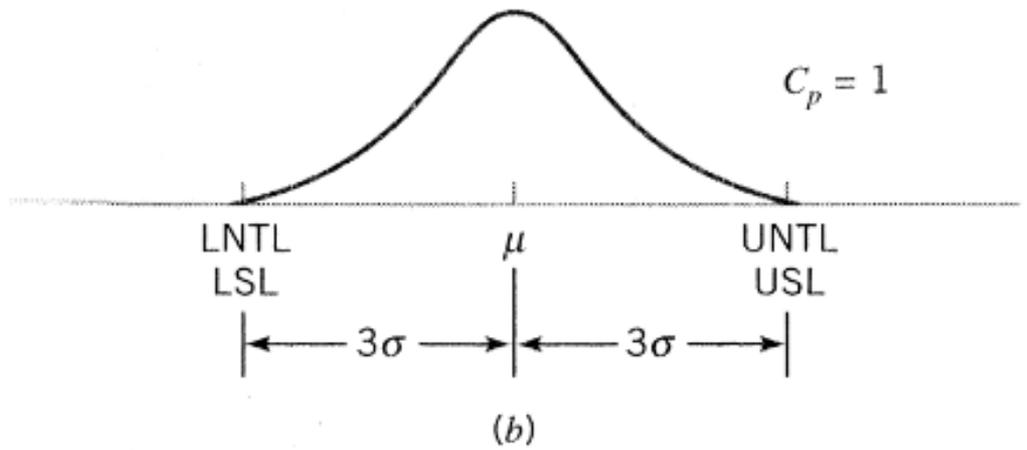
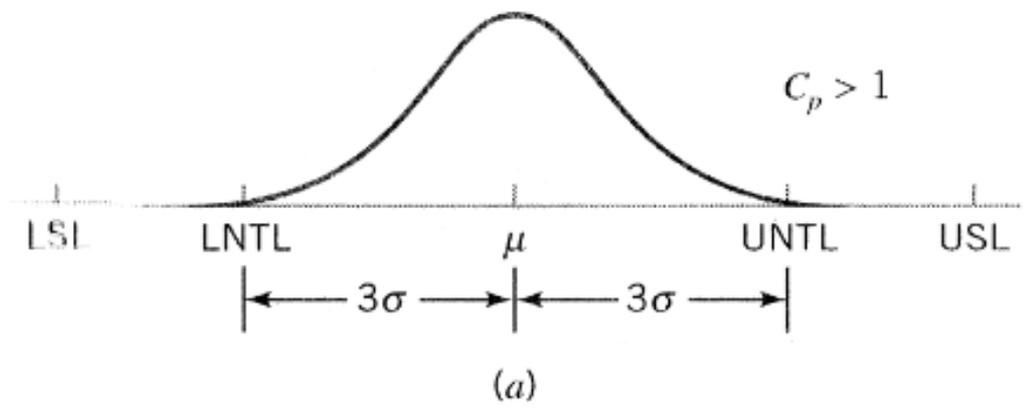
Interpretación del C_{pk}

$$C_{pk} < C_p < 1$$



Proceso incapaz

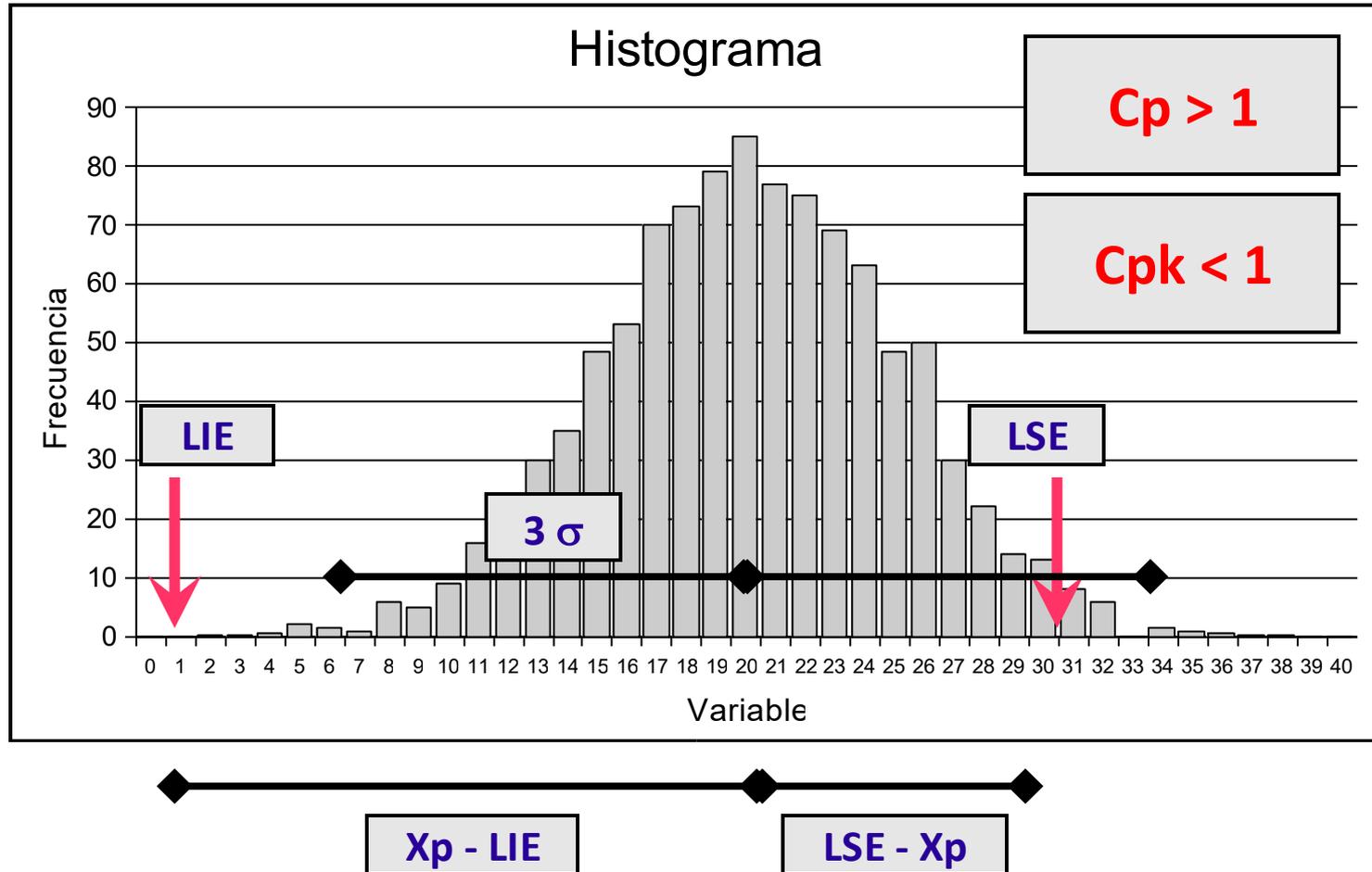
Si C_{pk} fuese negativo la media está tan corrida que se sale de los límites de especificación.



Indices de capacidad

- Se desea que el índice de capacidad sea tan grande como sea posible:
 - Si $C_p < 1$, el proceso no es capaz de producir de acuerdo con las especificaciones.
 - Si $1 \leq C_p < 1.33$ el proceso es capaz, pero cualquier pequeño cambio en las condiciones puede hacer que pierda esta cualidad.
 - Si $C_p \geq 1.33$ el proceso es capaz y robusto.

Comparación gráfica



Cp y Cpk

- El valor de Cp no cambia cuando cambia el centro del proceso
- $Cp = Cpk$ cuando el proceso se centra
- Cpk siempre es igual o menor que Cp
- El valor de $Cpk = 1$ es un estándar norma consagrado por la práctica. Indica satisfacción con las especificaciones
- El valor Cpk menor que 1 es indicativo de que mediante el proceso se obtiene un producto que no satisface las especificaciones

Cp y Cpk

- El valor de Cp menor que 1 es indicación de que el proceso no es capaz
- Si Cpk es 0 es indicación de que el promedio es igual a uno de los límites de la especificación
- Un valor Cpk negativo indica que el promedio queda fuera de las especificaciones

Aceptable y Capaz

Se dice que un proceso es aceptable y capaz cuando cumple con los requisitos del cliente.

En concreto, tener cero defectos suele ser poco realista y no suele formar parte de los requisitos del cliente.

Un proceso podría ser competente pero inaceptable porque está mal centrado y termina fuera de los límites de las especificaciones.

Índice Cpm o índice TAGUCHI

- El Cpm mide mejor que el Cpk el centrado del proceso y la variabilidad.

Cuando el índice Cpm es mayor a uno, entonces eso quiere decir que el proceso cumple con las especificaciones, y en particular que la media del proceso está dentro de la tercera parte media de la banda de las especificaciones.

- Si el Cpm es mayor que 1.33 entonces la media del proceso estará dentro de la quinta parte media del rango de especificaciones.

Si la estimación del Cpm se hace con base en una muestra aleatoria del proceso, el Cpm encontrado podrá ser menor o mayor que el verdadero valor.

Indice CPM o indice TAGUCHI

$$C_{pm} = \frac{LES - LEI}{6\tau}$$

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

- N generalmente es el punto medio de especificaciones $0.5 (LES + LEI)$
- Sí el proceso está centrado $C_{pm} = C_p$
- Sí $C_{pm} < 1 \Rightarrow$ proceso no cumple especificaciones
- Sí $C_{pm} > 1 \Rightarrow$ proceso cumple especificaciones y la media del proceso está dentro de la tercera parte media de especificaciones
- Sí $C_{pm} > 1.33 \Rightarrow$ proceso cumple especificaciones y la media del proceso está dentro de la quinta parte media de especificaciones