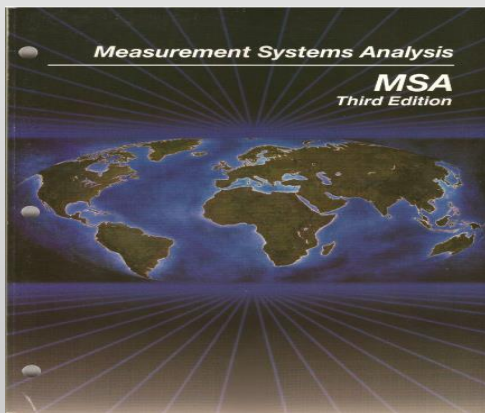


AIAG CORE TOOLS:
Measurement Systems Analysis

MSA
Fourth Edition



Ing. Nayeli Michel Ovalle Cruz.

MSA



El propósito del Manual MSA es proporcionar una guía para evaluar la calidad de un sistema de medición. Esta herramienta al igual que el APQP, PPAP, AMEF y SPC es considerada parte de las Core Tools del sector automotriz y es un requerimiento de la especificación técnica

Criterios IATF 16949 para MSAs



7.1.5.1.1- Análisis de Sistemas de Medición

- Se requiere conducir estudios estadísticos para analizar variaciones presentes en los resultados de cada tipo de sistema de equipo de inspección, medición y prueba, identificado en los planes de control,
- Se requiere que los métodos analíticos y criterios de aceptación cumplan con los manuales de referencia sobre análisis de sistemas de medición,
- Se requiere retener registros de aceptación de los clientes para métodos alternativos, junto con resultados de análisis de sistemas de medición alternativos mismos, y
- La priorización de estudios estadísticos requiere enfocarse en características críticas o especiales de los productos ó procesos.



Aplicación de MSA



Análisis de Sistemas de Medición

- Los equipos y sistemas de medición pueden no ser confiables aun y cuando se encuentren debidamente calibrados y verificados,
- Puede ser necesario entonces ejecutar, además, estudios estadísticos básicos como **Estabilidad, Repetibilidad, Sesgo, Linealidad, Repetibilidad y Reproducibilidad (ó R&R)**, y sobre todo en los equipos y sistemas de medición referenciados en los planes de control, que pueden ser de mayor importancia que otros, para fines de monitoreo y control del producto y el proceso,
- El manual MSA-4: 2010 para Análisis de Sistemas de Medición es una buena guía ó referencia para análisis, evaluación y control de equipos y sistemas de medición replicables.



Aspectos a considerar sobre el MSA



- ✓ MSA (edición 4 del 2010) es el **1er. manual** como herramienta central (ó core tool) que emitió la industria automotriz,
- ✓ El objetivo es **lograr confiabilidad en las mediciones**, sobre todo con equipo ó sistemas de medición referidos en planes de control,
- ✓ MSA opera en **conjunto** con esquemas de sistemas de calidad (**ISO, IATF, etc.**) y las otras herramientas centrales como, **APQP y PPAP**,
- ✓ Es importante enfatizar, bajo experiencia, que aun y cuando equipos y sistemas de medición estén calibrados y verificados correctamente, puede haber otro tipo de fuentes de error ó variación en las mediciones mismas (por ej., evaluadores y métodos de medición), obteniendo datos erróneos y por tanto se toman decisiones equivocadas, para una situación particular.

Análisis del Sistema de Medición (MSA)

Measurement Systems Analysis

Capítulo 1 – Generalidades del Sistema de Medición.

- A. Introducción, propósito y terminología.
- B. Proceso de Medición.
- C. Estrategia de Medición y Planeación
- D. Desarrollo de recursos para la medición.
- E. Problemas en la medición.
- F. Medición incierta
- G. Análisis problemas de medición



Análisis del Sistema de Medición (MSA)

Measurement Systems Analysis

Capítulo II – Conceptos generales para la evaluación del sistema de medición.

- A. Antecedentes
- B. Seleccionar / desarrollar procedimientos de prueba
- C. Preparación de un estudio de sistema de medición
- D. Análisis de los resultados – criterios de aceptación.



Análisis del Sistema de Medición (MSA)

Measurement Systems Analysis

Capítulo III – Prácticas recomendadas para un Sistema de Medición simple.

- A. Ejemplos de procedimientos de prueba
- B. Estudio de variables de medición (determinación de estabilidad, bias, linealidad, repetibilidad y reproducibilidad).
- C. Estudio de sistemas de medición por atributos.



Análisis del Sistema de Medición (MSA)

Measurement Systems Analysis

Capitulo IV – Otras prácticas para sistemas de medición

- A. Practicas para sistemas de medición complejos o no replicables.
- B. Estudios de estabilidad
- C. Estudios de Variabilidades
- D. Reconocimiento de los Efectos de una Excesiva Variación Dentro de las Partes
- E. Método de Promedios y Rangos – Tratamiento Adicional
- F. Curva de Desempeño de Gages
- G. Sección G Reducción de Variación a Través de Lecturas Múltiples
- H. Enfoque de la Desviación Estándar Combinada a los GRRs





CAPITULO I

Guías y
Lineamientos
Generales para
Sistemas de
Medición

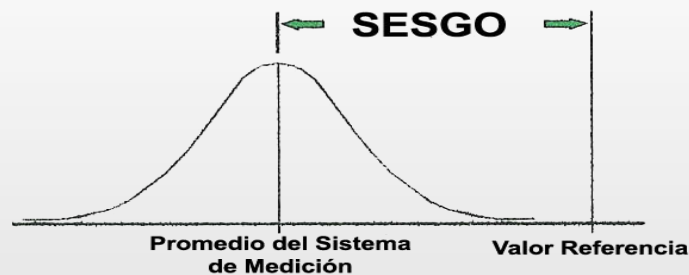


Sección A – Introducción, Propósito y Terminología

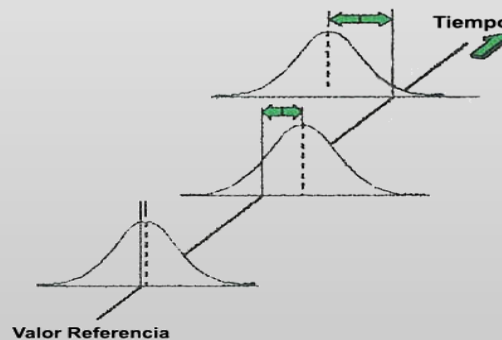


Variaciones de Localización

- Exactitud (ó Sesgo) es “lo cercano” a un valor verdadero ó a un valor de referencia aceptado,



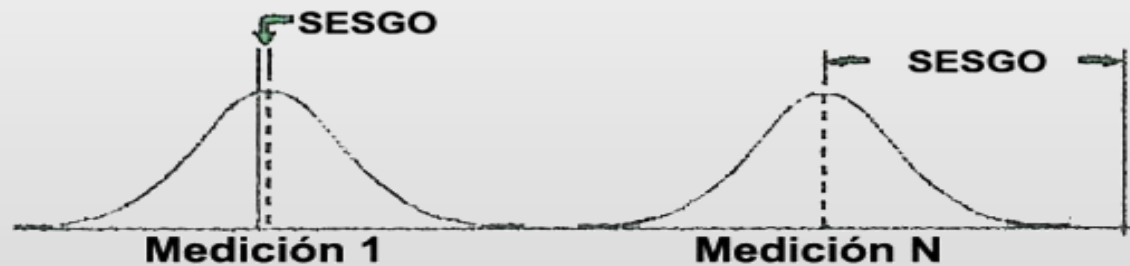
- Estabilidad es el cambio de sesgo en el tiempo (normalmente determinado con SPC),



Sección A – Introducción, Propósito y Terminología

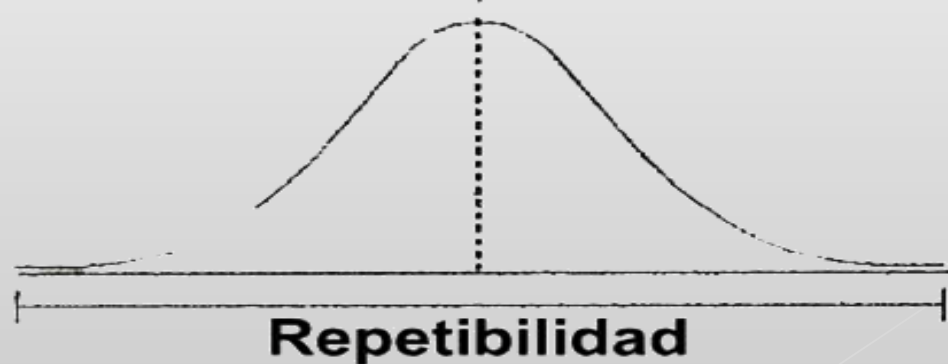
Variaciones de Localización

- **Linealidad** es el cambio de sesgo en todo el rango normal de operación,



Sección A – Introducción, Propósito y Terminología

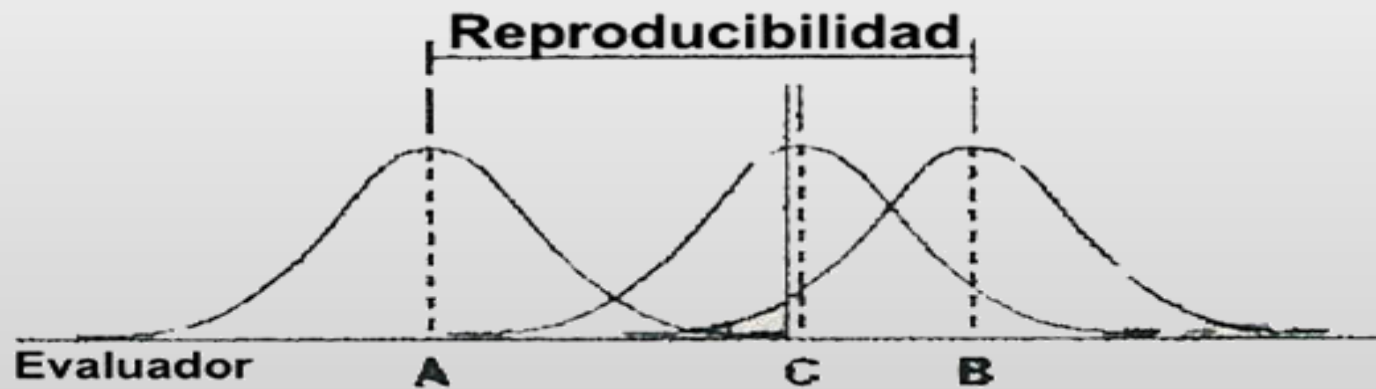
- ✓ **Precisión** es “lo cercano” de lecturas repetidas unas con otras.
- ✓ **Repetibilidad** es la variación en las mediciones obtenidas con un instrumento de medición cuando se use varias veces por un mismo evaluador y midiendo la misma característica de una parte (conocida como Variación del Equipo – VE ó EV).



Sección A – Introducción, Propósito y Terminología

Variaciones de Amplitud

- **Reproducibilidad** es la variación en el promedio de las mediciones hechas por diferentes evaluadores, usando el mismo gage y midiendo la característica de una parte (conocida como Variación de los Evaluadores – VE ó AV).





Análisis del Sistema de Medición (MSA)

Un buen sistema de medición posee las siguientes propiedades:

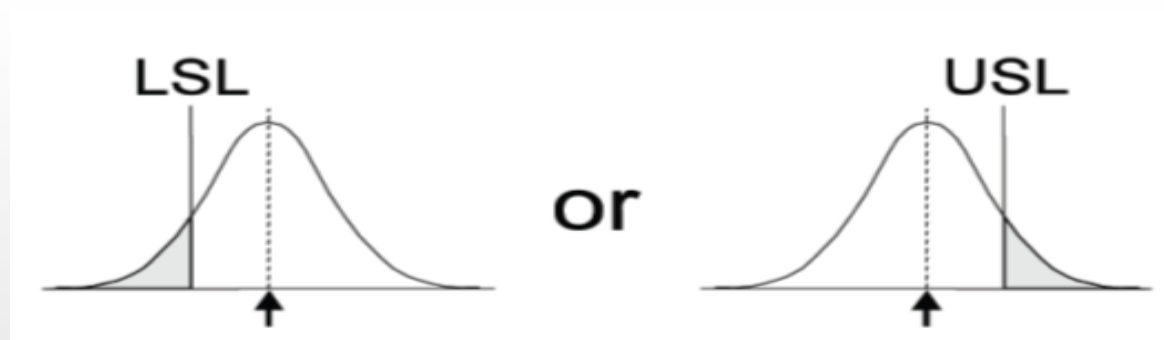
1. Debe producir un número que está "cerca" de la propiedad real que se está midiendo. - **preciso**
2. Si el sistema de medición se aplica repetidas veces a un mismo objeto, las medidas de producción debe estar cerca de otro. – **repetible.**
3. Debe producir resultados precisos y consistentes sobre el rango de interés – **lineal**
4. Debe producir los mismos resultados cuando es usado por cualquier individuo entrenado. – **reproducibile.**
5. Debe producir los mismos resultados en el futuro como lo hizo en el pasado – **estable.**



Errores de Medición

φ Error Tipo 1

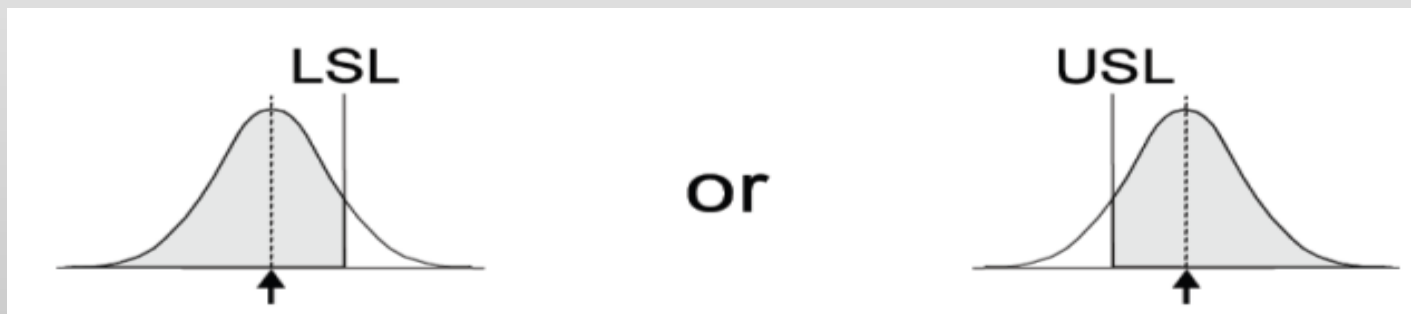
Rechazar un producto que cumple con las especificaciones.



Rechazo y retrabajo
\$, T

φ Error Tipo 2

Aceptar un producto que no cumple con las especificaciones.

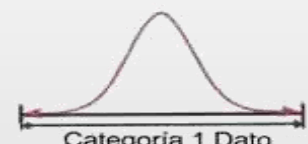
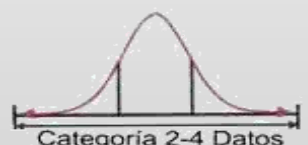



Pasa a la siguiente
operación
Embarca
\$, T, \$, prestigio, sanción



Sección E – Aspectos Clave en las Mediciones

- Otro aspecto clave es la discriminación, capacidad de lectura ó resolución del equipo de medición, contemplando siempre inicialmente la regla empírica 1-10,
- La discriminación no es aceptable para análisis si no puede detectar la variación del proceso, y no es aceptable para control si no puede detectar variaciones por causas especiales,

Numero de Categorías	Control	Análisis
 Categoría 1 Dato	<p>Puede ser usado solo para control si:</p> <ul style="list-style-type: none">• La variación del proceso es pequeña comparada con las especificaciones• La función de pérdida es plana sobre la variación del proceso esperada.• La fuente de variación principal provoca un cambio en el promedio.	<ul style="list-style-type: none">• No Aceptable para estimar índices y parámetros del proceso.• Sólo indica si el proceso está fabricando partes conformes o no conformes.
 Categoría 2-4 Datos	<ul style="list-style-type: none">• Puede ser usado con técnicas de control de semi-variables basadas en la distribución del proceso.• Puede producir gráfica de control de variables no sensibles.	<ul style="list-style-type: none">• Generalmente no aceptable para estimar parámetro e índices del proceso dado que sólo ofrece estimativos "burdos"
 Categoría 5 o más Datos	<ul style="list-style-type: none">• Puede ser usada con gráficas de control para variables.	<ul style="list-style-type: none">• Recomendable

Análisis del Sistema de Medición (MSA)



Discriminación – Algunas veces llamada “*Resolución*”, se refiere a la habilidad del sistema de medición para dividir las mediciones en “categorías de datos”. Todas las partes dentro de una categoría particular de datos se medirán igual.

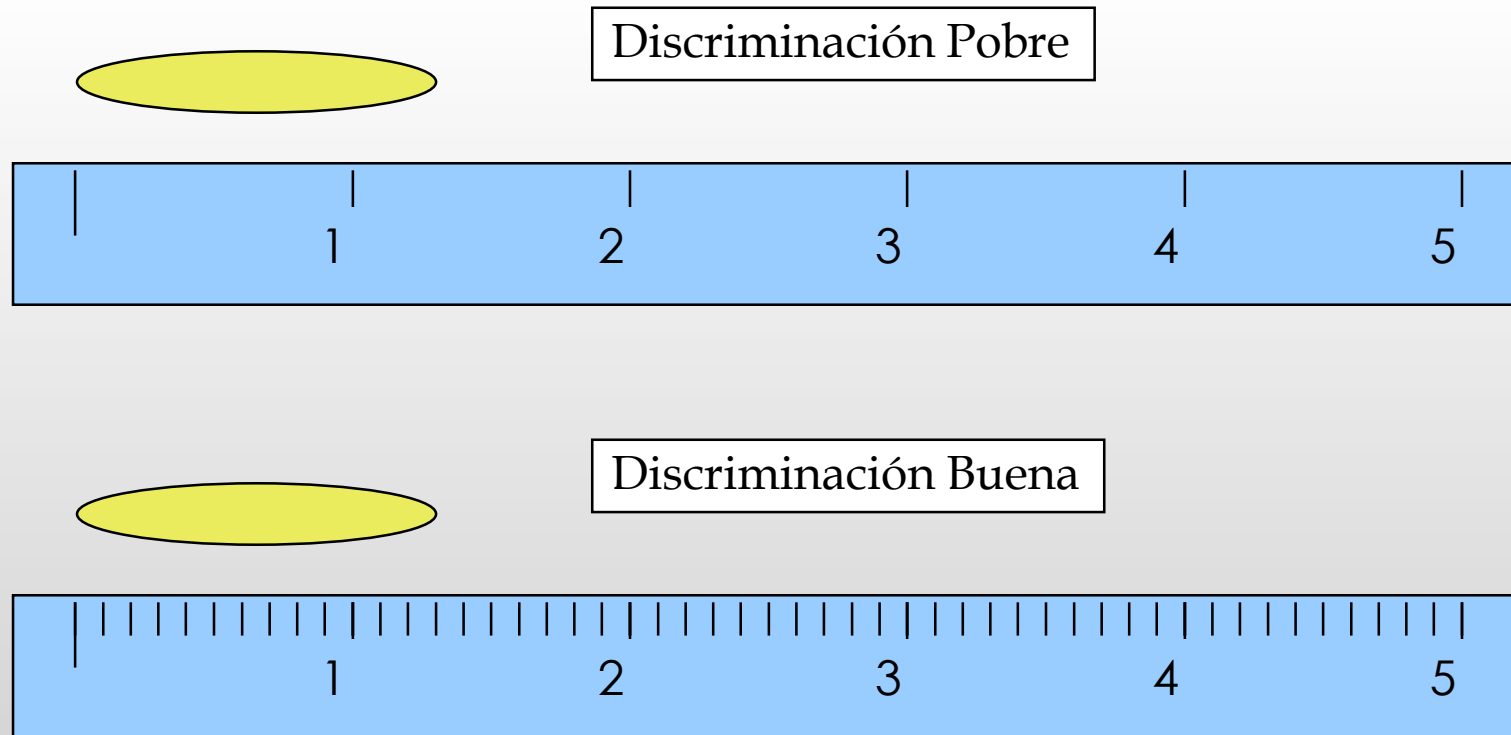
Capacidad de **detectar** en la **característica** incluso **cambios pequeños**.

Si es inaceptable, puede ser inadecuada para identificar variaciones en el proceso o cuantificar valores de características de la pieza.



Análisis del Sistema de Medición (MSA)

Discriminación





CAPITULO II

Conceptos para Evaluar Sistemas de Medición





Measurement Systems Analysis

Capitulo II – Conceptos generales para la evaluación del sistema de medición.

- A. Antecedentes
- B. Seleccionar / desarrollar procedimientos de prueba
- C. Preparación de un estudio de sistema de medición
- D. Análisis de los resultados – criterios de aceptación.

Sección A – Antecedentes



2 aspectos clave a evaluar son:

- 1) Verificar que la variable a medir es la correcta, en la localización apropiada, con los dispositivos y sujeción que apliquen, y los aspectos ambientales relevantes, y
- 2) Determinar qué propiedades estadísticas del sistema de medición en cuestión se necesitan para saber si es ó no aceptable.

Las 2 fases de evaluación son:

- Fase 1) Entendimiento del proceso de medición y cumplimiento con requerimientos, y
- Fase 2) Cumplimiento de requerimientos en el tiempo.

Sección B – Selección/Desarrollo de Procedimientos de Prueba



Algunos aspectos clave a considerar en la selección y desarrollo de un procedimiento de prueba de un proceso ó sistema de medición son:

- * ¿Qué patrones ó estándares se usarán y de qué nivel?,
- * Para la Fase 2 anterior, considerar mediciones en que el operador no sepa que una evaluación se va a ejecutar,
- * El costo de las pruebas,
- * El tiempo requerido para las pruebas,
- * Asegurar una definición operacional y aceptada de cada término usado,
- * ¿Las mediciones del proceso ó sistema en cuestión serán comparadas con las mediciones de otro?, y
- * ¿Con qué frecuencia se ejecutará la Fase 2 anterior?

Sección C – Preparación para un Estudio de un Sistema de Medición



Aspectos clave para la preparación de un estudio son:

- 1) Planear el enfoque a ser usado (ej., si será por algún juicio de ingeniería, observaciones visuales ó algún gage, etc.),
- 2) El número de evaluadores (u operadores) a usar, así como el número de partes y repeticiones,
- 3) Los evaluadores seleccionados deben ser de aquellos que normalmente operan el instrumento,
- 4) Correcta selección y disponibilidad de muestras que representen el proceso de producción mismo,
- 5) El instrumento debiera contar con una discriminación que permita medir al menos un décimo de la variación de la característica en cuestión (Regla empírica 1-10), y
- 6) Asegurar que el método de medición está midiendo la dimensión de la característica y sigue el procedimiento de medición definido.

Sección D – Análisis de Resultados



Criterios de Aceptación y Rechazo de %RRG

<i>GRR</i>	Decision	Comentarios
Abajo del 10 por ciento	Generalmente considerado como un sistema de medición aceptable.	Recomendado, especialmente útil cuando se trate de separar ó clasificar partes ó cuando se requiere cerrar el control del proceso.
Del 10 al 30 por ciento	Puede ser aceptable para algunas aplicaciones	La decisión debiera basarse en, por ejemplo, importancia de las mediciones en la aplicación, costos de dispositivos de medición, costos de retrabajos ó reparaciones. Debiera ser aprobado por el cliente.
Arriba del 30 por ciento	Se considera inaceptable	Debiera hacerse todo esfuerzo por mejorar el sistema de medición. Esta condición puede ser abordada por el uso de una estrategia de mediciones apropiada; por ejemplo, usando el resultado promedio de varias lecturas sobre la misma característica de la parte, a fin de reducir la variación final en las mediciones.



Sección D – Análisis de Resultados



Criterios de Aceptación y Rechazo de %RRG

- Otro métrico de error de amplitud es el Número de Categorías Distintas (NCD) en que el proceso de medición puede dividirse. Este valor debiera ser igual ó mayor a 5,
- El uso único de %RRG perse no es una práctica aceptable para la aceptación ó rechazo de un sistema de medición. Puede ser el conjunto de la estabilidad y los errores de localización y amplitud, así como el NCD,
- Además, la aceptación final de un sistema de medición no debiera terminar sólo en un conjunto de índices. Debiera revisarse, por ej., el desempeño de largo plazo del sistema de medición con gráficas de tendencias en el tiempo.



CAPITULO III

**Prácticas
recomendadas para
Sistemas de
Medición
Replicables**



Análisis del Sistema de Medición (MSA)

Measurement Systems Analysis

Capítulo III – Prácticas recomendadas para un Sistema de Medición simple.

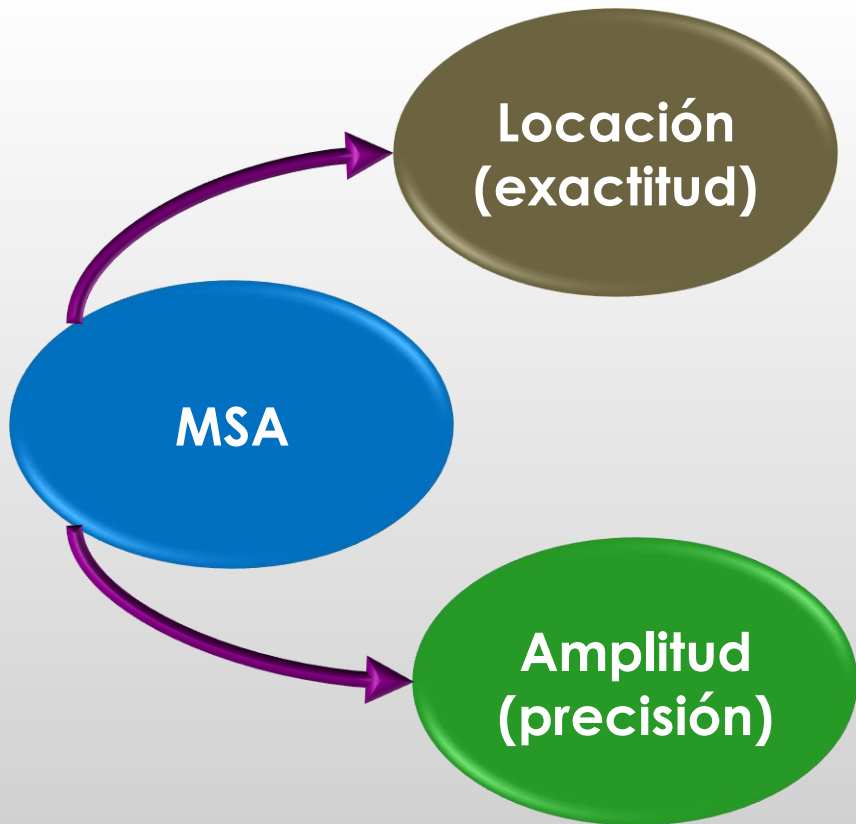
- A. Ejemplos de procedimientos de prueba
- B. Estudio de variables de medición (determinación de estabilidad, bias, linealidad, repetibilidad y reproducibilidad).
- C. Estudio de sistemas de medición por atributos.





MSA

Sistema de Medición



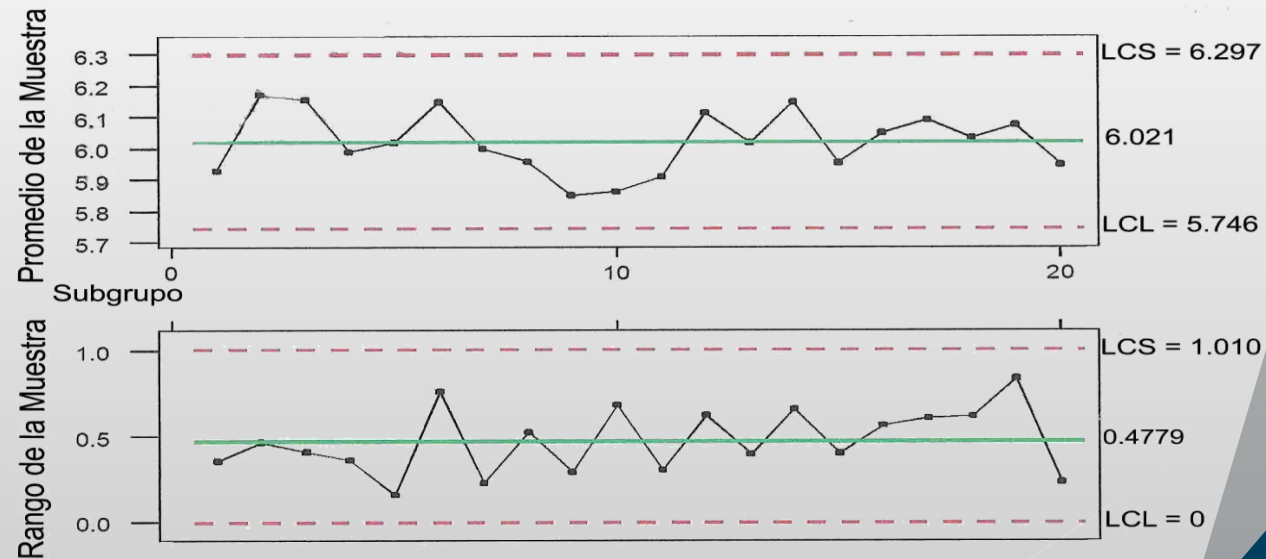
- S sesgo
- E estabilidad
- L linealidad

- R reproducibilidad
- R repetibilidad

Sección B – Estudios de Sistemas de Medición por Variables

Un ejemplo de Estabilidad

- Un equipo de procesos selecciona una parte y la manda al lab., determinando un valor de referencia de 6.01. Luego el equipo mide esta parte 5 veces por turno durante cuatro semanas (20 subgrupos). Con los datos recolectados y graficados, se obtuvo:



- El análisis muestra que el proceso es estable y sin causas especiales visibles.

Instrucciones

1. Obtener una muestra y designarla como master.
2. Sobre una base periódica (diariamente, semanalmente), medir la muestra master de 3 a 5 veces. Las lecturas necesitan tomarse en diferentes tiempos para representar cuando el sistema de medición está realmente siendo usado.
3. Graficar los datos en una gráfica de control X&R o X&s bajo el orden de tiempo.
4. Establecer límites de control
5. Evaluar condiciones fuera de control o inestables usando el análisis estándar de gráficas de control

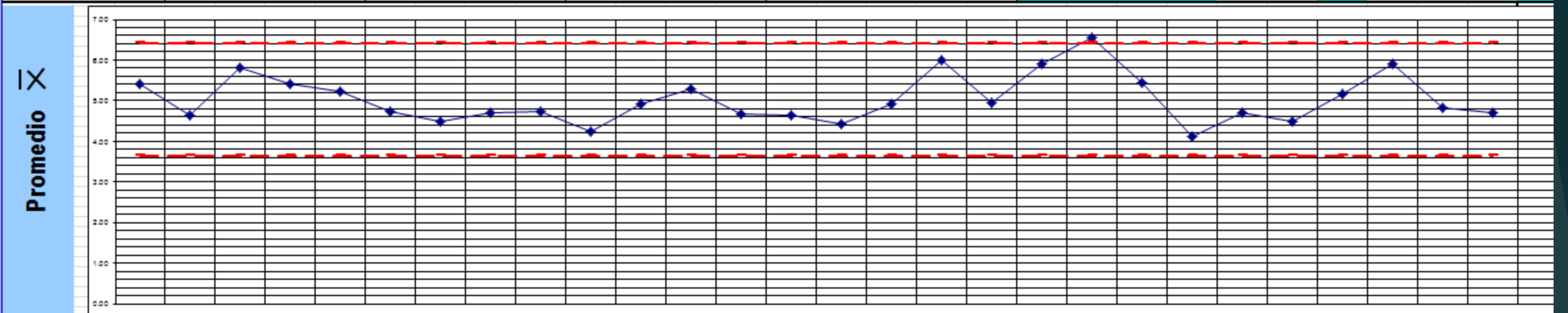
Si el proceso de medición es estable, los datos pueden usarse para determinar el sesgo del sistema de medición.

También, la desviación estándar de las mediciones puede usarse como una aproximación de la repetibilidad del sistema de medición mismo. Ésta puede compararse con la del proceso para determinar si la repetibilidad del sistema de medición es adecuada para la aplicación.

El diseño de experimentos u otras técnicas analíticas de solución de problemas pueden requerirse para determinar los contribuidores primarios de la falta de estabilidad del sistema de medición.

Gráfica de Control por Variables $\bar{X} - R$

Nombre de Parte	No. de Característica	Característica	Especificación	Subgrupo/ Tamaño de Muestra	Frecuencia:	Fecha de Inicio	Fecha
Qubic Release	LD013	Longitud DIOUEW	5.0 +/- 5.0	5	4 Subgrupos /Turno	xx/xx/xx	
Operación	Máquina /Dispositivo No.	No. de Gage Principal	No de Gage de Respaldo:	Medición	Resultados del Análisis del Sistema de Medición		
VG10	FJG18	PSM05	PSM05	RRG:	Promedio de Proceso \bar{X} = 5.04	LCS \bar{x} = 6.424635714	LCS \bar{y}
					Promedio de Rangos \bar{R} = 2.41	LCI \bar{r} = 3.646792857	LCI \bar{y}



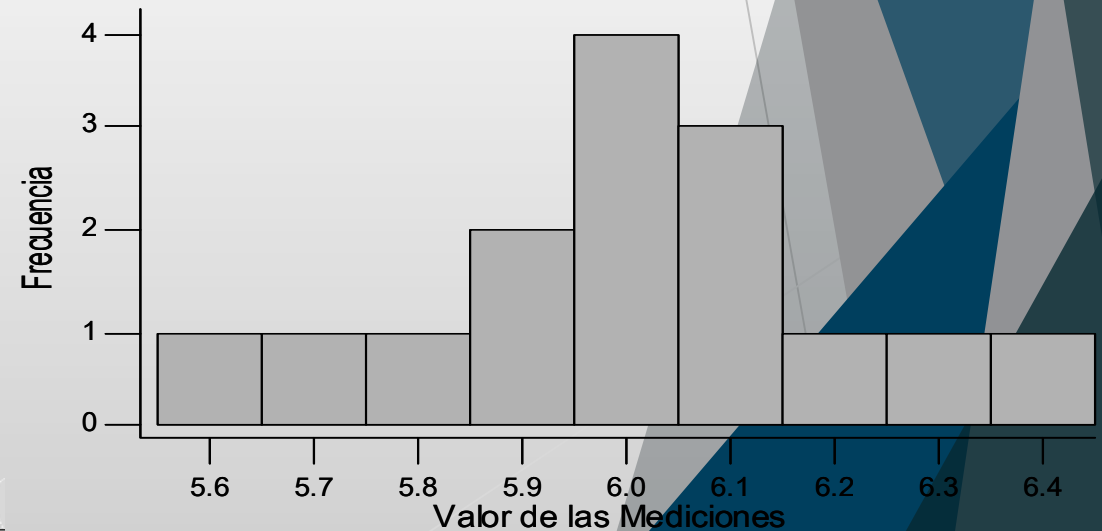
Sección B – Estudios de Sistemas de Medición por Variables



ejemplo de Sesgo

Un ingeniero de manufactura requiere evaluar el sesgo de un sistema de medición. Se selecciona una parte dentro del rango de operación del sistema de medición. Se determina también su valor de referencia. Luego, un operador mide la parte 15 veces.

	Valor de Referencia = 6.00	Sesgo	
I N T E N T O S	1	5.8	-0.2
	2	5.7	-0.3
	3	5.9	-0.1
	4	5.9	-0.1
	5	6.0	0.0
	6	6.1	0.1
	7	6.0	0.0
	8	6.1	0.1
	9	6.4	0.4
	10	6.3	0.3
	11	6.0	0.0
	12	6.1	0.1
	13	6.2	0.2
	14	5.6	-0.4
	15	6.0	0.0



Sección B – Estudios de Sistemas de Medición por Variables



Un ejemplo de Linealidad

Un supervisor está presentando un nuevo sistema de medición al proceso. Como parte de un PPAP, se requiere evaluar la linealidad. Se seleccionaron 5 partes a lo largo del rango de operación. Cada parte se midió con una inspección de layout para determinar su valor de referencia. Luego cada parte se midió 12 veces por un operador líder. Las partes se seleccionaron al azar durante el estudio.

Sección B – Estudios de Sistemas de Medición por Variables



Un ejemplo de Linealidad

Tabla con las 5 muestras y los 12 resultados de cada muestra.

Valor de Referencia de la Parte		1	2	3	4	5
I N T E N T O S	1	2.70	5.10	5.80	7.60	9.10
	2	2.50	3.90	5.70	7.70	9.30
	3	2.40	4.20	5.90	7.80	9.50
	4	2.50	5.00	5.90	7.70	9.30
	5	2.70	3.80	6.00	7.80	9.40
	6	2.30	3.90	6.10	7.80	9.50
	7	2.50	3.90	6.00	7.80	9.50
	8	2.50	3.90	6.10	7.70	9.50
	9	2.40	3.90	6.40	7.80	9.60
	10	2.40	4.00	6.30	7.50	9.20
	11	2.60	4.10	6.00	7.60	9.30
	12	2.40	3.80	6.10	7.70	9.40

Tabla III-B 4: Datos del Estudio de Linealidad

Sección B – Estudios de Sistemas de Medición por Variables



Un ejemplo de Linealidad

Tabla con los cálculos del sesgo.

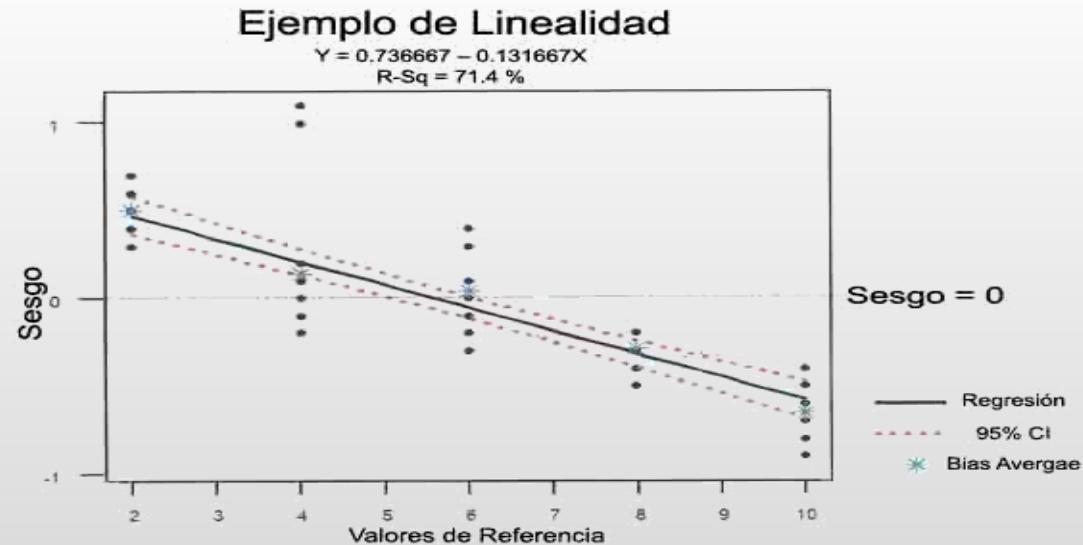
	Parte	1	2	3	4	5
	Valor de Referencia	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
S E S G O	1	0.7	1.1	-0.2	-0.4	-0.9
	2	0.5	-0.1	-0.3	-0.3	-0.7
	3	0.4	0.2	-0.1	-0.2	-0.5
	4	0.5	1.0	-0.1	-0.3	-0.7
	5	0.7	-0.2	-0.0	-0.2	-0.6
	6	0.3	-0.1	0.1	-0.2	-0.5
	7	0.5	-0.1	0.0	-0.2	-0.5
	8	0.5	-0.1	0.1	-0.3	-0.5
	9	0.4	-0.1	0.4	-0.2	-0.4
	10	0.4	0.0	0.3	-0.5	-0.8
	11	0.6	0.1	0.0	-0.4	-0.7
	12	0.4	-0.2	0.1	-0.3	-0.6
	Promedio del Sesgo	0.491667	0.125	0.025	-0.29167	-0.61667

Tabla III-B 5: Estudio de Linealidad – Resultados Intermedios

Sección B – Estudios de Sistemas de Medición por Variables

Un ejemplo de Linealidad

Se realiza el análisis de regresión y gráfica de sesgo vs. Los valores de referencia.



Causas especiales pueden estar influenciando el sistema de medición. Los datos para el valor de referencia 4 parecen bimodales (2 modas). También, el valor de R2 indica que el modelo lineal puede no ser apropiado.

Sección B – Estudios de Sistemas de Medición por Variables



Lineamientos para determinar la Repetibilidad y Reproducibilidad

1) 3 métodos aceptables para determinar el R&R son:

- Método de los rangos,
- Método de los promedios y rangos, y
- Método ANOVA.

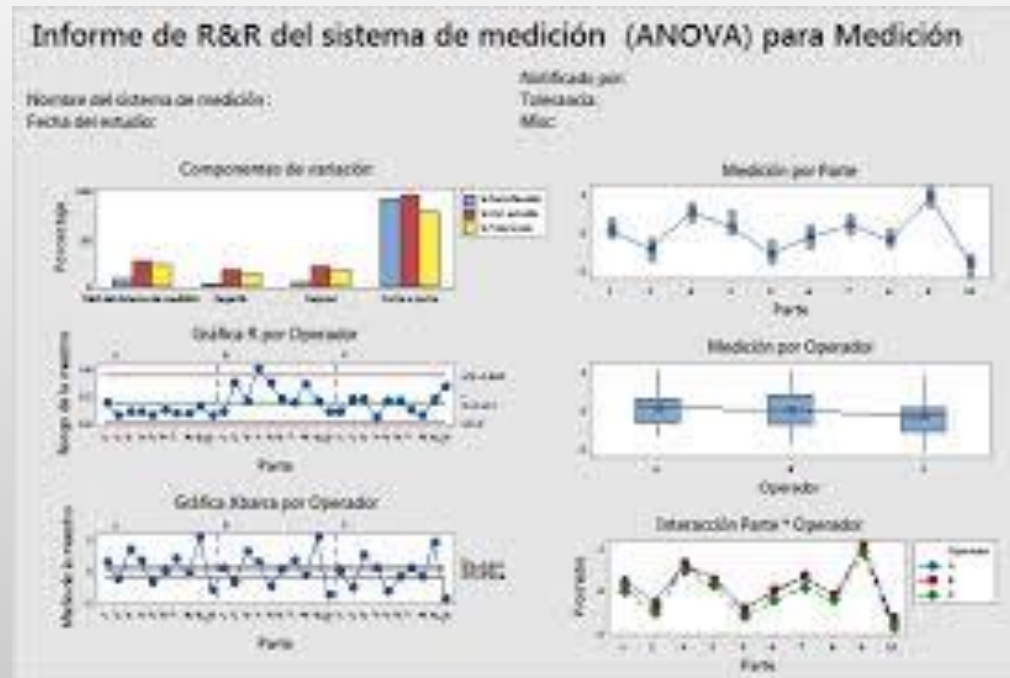
2) Se prefiere el método ANOVA porque mide la interacción estadística entre las partes y los evaluadores, y los otros 2 métodos no la cuantifican,

3) Es siempre un prerequisite en los estudios R&R evaluar la estabilidad, de lo contrario, los resultados pueden no ser válidos.

Sección B – Estudios de Sistemas de Medición por Variables

Determinación de R&R por el método de ANOVA

- Para este método siempre es práctico hacer los cálculos con una pc.
- La ventaja de este método con el de rangos y promedios y rangos es que se puede determinar la interacción estadística entre los evaluadores y las partes,



Estudio Gage R&R



- Planee el método.
- Seleccione el número de evaluadores, el número de la muestra de piezas y el número de lecturas repetidas
 - Considere utilizar al menos 2 operadores y 10 muestras, donde cada operador mida cada muestra al menos dos veces (todos usando el mismo dispositivo).
 - Seleccione evaluadores que operen habitualmente los instrumentos.
 - Seleccione piezas de muestra del proceso que representen todo el ámbito operativo. Numere cada pieza.
- Asegúrese de que el instrumento tenga una discriminación que sea al menos 1/10 de la variación prevista del proceso para la característica que vaya a leerse.

Estudio Gage R&R



- Calibrar el medidor (gage) o asegurar que haya sido calibrado
- El operador 1 tienen que tomar todas las muestras en orden aleatoria
- El operador 2 tienen que tomar todas las muestras en orden aleatoria
- Repetir los pasos 2 y 3 de acuerdo al número de repeticiones requeridas (2 o 3)
- Analizar los datos en Minitab para determinar la estadística del estudio R&R
 - Repetibilidad
 - Reproducibilidad
 - La desviación estándar de las dos
 - %R&R
 - Relación P/T

Hoja de Recolección de Datos de Repetibilidad y Reproducibilidad de Gages



	Evaluador /Intento #	Parte										Promedio
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	A 1	0.29	-0.56	1.34	0.47	-0.80	0.02	0.59	-0.31	2.26	-1.36	
2	2	0.41	-0.68	1.17	0.50	-0.92	-0.11	0.75	-0.20	1.99	-1.25	
3	3	0.64	-0.58	1.27	0.64	-0.84	-0.21	0.66	-0.17	2.01	-1.31	
4	Promedio											$\bar{X}_a =$
5	Rango											$\bar{R}_a =$
6	B 1	0.08	-0.47	1.19	0.01	-0.56	-0.20	0.47	-0.63	1.80	-1.68	
7	2	0.25	-1.22	0.94	1.03	-1.20	0.22	0.55	0.08	2.12	-1.62	
8	3	0.07	-0.68	1.34	0.20	-1.28	0.06	0.83	-0.34	2.19	-1.50	
9	Promedio											$\bar{X}_b =$
10	Rango											$\bar{R}_b =$
11	C 1	0.04	-1.38	0.88	0.14	-1.46	-0.29	0.02	-0.46	1.77	-1.49	
12	2	-0.11	-1.13	1.09	0.20	-1.07	-0.67	0.01	-0.56	1.45	-1.77	
13	3	-0.15	-0.96	0.67	0.11	-1.45	-0.49	0.21	-0.49	1.87	-2.16	
14	Promedio											$\bar{X}_c =$
15	Rango											$\bar{R}_c =$
16	Promedio por Parte											$\bar{\bar{X}} =$ $\bar{R}_p =$



9	Promedio											$\bar{X}_b =$
10	Rango											$\bar{R}_b =$
11	C 1	0.04	-1.38	0.88	0.14	-1.46	-0.29	0.02	-0.46	1.77	-1.49	
12	2	-0.11	-1.13	1.09	0.20	-1.07	-0.67	0.01	-0.56	1.45	-1.77	
13	3	-0.15	-0.96	0.67	0.11	-1.45	-0.49	0.21	-0.49	1.87	-2.16	
14	Promedio											$\bar{X}_c =$
15	Rango											$\bar{R}_c =$
16	Promedio por Parte											$\bar{\bar{X}} =$ $\bar{R}_p =$
17	$\bar{\bar{R}} = ((\bar{R}_a = \quad) + [\bar{R}_b = \quad] + [\bar{R}_c = \quad]) / [\# \text{ de Evaluadores} = \quad] =$											$\bar{\bar{R}} =$
18	$\bar{X}_{DIFF} = [\bar{X}_{Max} = \quad] - [\bar{X}_{Min} = \quad] =$											
19	$*LCS_R = [\bar{\bar{R}} = \quad] \times [D_4 = \quad] =$											
<p>* $D_4 = 3.27$ para 2 intentos y 2.58 para 3 intentos. UCL_R representa el límite de las lecturas individuales R_s. Circular aquellas que estén fuera de éste límite. Identificar las causas y corregirlas. Repetir estas lecturas usando el mismo evaluador y unidad como originalmente se usó o descartar los valores y recalculer el promedio y $\bar{\bar{R}}$ y el valor del límite de las observaciones restantes.</p> <p>Notas:</p>												

Figura III-B 6a: Hoja de Recolección de Datos de Repetibilidad y Reproducibilidad de Gages

Sección B – Estudios de Sistemas de Medición por Variables

Un ejemplo de R&R ANOVA (cruzado)

Un proveedor automotriz desea saber si el sistema de medición utilizado actualmente está midiendo de forma precisa el grosor de una parte de un motor. Se seleccionaron diez partes, que representan el rango esperado de variación del proceso. Tres operadores midieron el grosor de cada una de las diez partes, dos veces por parte, en orden aleatorio



- Estadística básica
- Regresión
- ANOVA
- DOE
- Gráficas de control
- Herramientas de calidad**
- Confiabilidad/supervivencia
- Análisis multivariado
- Serie de tiempo
- Tablas
- No paramétricos
- Pruebas de equivalencia
- Potencia y tamaño de la muestra

- Gráfica de corridas...
- Diagrama de Pareto...
- Causa y efecto...
- Identificación de la distribución individual...
- Transformación de Johnson...
- Análisis de capacidad
- Capability Sixpack
- Intervalos de tolerancia...
- Estudio de medición**
- Crear hoja de trabajo de análisis de concordancia de atributos...
- Análisis de concordancia de atributos...
- Muestreo de aceptación por atributos...
- Muestreo de aceptación por variables
- Gráfica multi-vari...
- Gráfica de simetría...

- Estudio tipo 1 del sistema medición...
- Crear hoja de trabajo de estudio R&R del sistema de medición ...
- Gráfica de corridas del sistema de medición...
- Estudio de linealidad y sesgo del sistema de medición ...
- Estudio R&R del sistema de medición (cruzado)...**
- Estudio R&R del sistema de medición (Cruzado)
Evaluar la variación del sistema de medición cuando cada operador mide cada parte en el estudio.
- Estudio de

	C1	C2	C3	C4	C5
	Parte	Operador	Respuesta		
1	1	1	0.65		
2	1	1	0.60		
3	2	1	1.00		
4	2	1	1.00		
5	3	1	0.85		
6	3	1	0.80		
7	4	1	0.85		
8	4	1	0.95		



Sesión

25/08/2019 04:28:25 p. m.

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

Estudio R&R del sistema de medición (cruzado)



Números de parte: Parte

Operadores: Operador

Datos de medición: Respuesta

Método de análisis

 ANOVA Xbarra y R

Seleccionar

Ayuda

Información del sistema de medición...

Opciones...

Int. de conf...

Almacenamiento...

Estudio R&R del sistema de medición (cruzado): opciones d...

Variación de estudio: 6 (número de desviaciones estándar)

Tolerancia del proceso

 Ingresar por lo menos un límite de especificaciónEspec. inferior: Espec. superior: Espec. superior - Espec. inferior: 1

Desviación estándar histórica: 0.174757

Término de interacción alfa a retirar: 0.05

 Mostrar probabilidades de clasificación errada No mostrar contribución porcentual No mostrar variación porcentual del estudio Dibujar gráficas en gráficas separadas, una gráfica por página

↓	C1	C2	C3	C4	C5
	Parte	Operador	Respuesta		
1	1	1	0.65		
2	1	1	0.60		
3	2	1	1.00		
4	2	1	1.00		
5	3	1	0.85		
6	3	1	0.80		
7	4	1	0.85		
8	4	1	0.95		

C17	C18	C19	C20

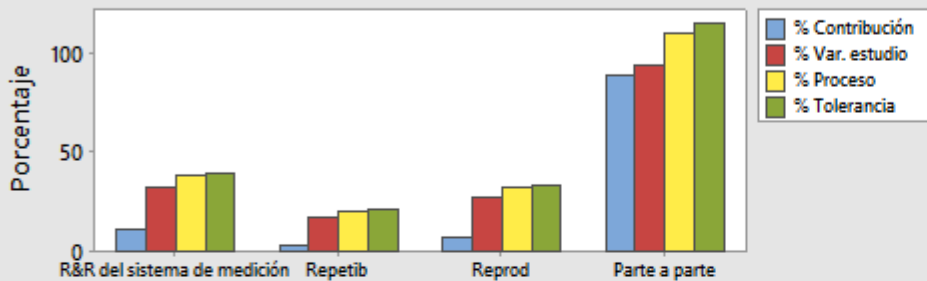
Informe de R&R del sistema de medición (ANOVA) para Respuesta



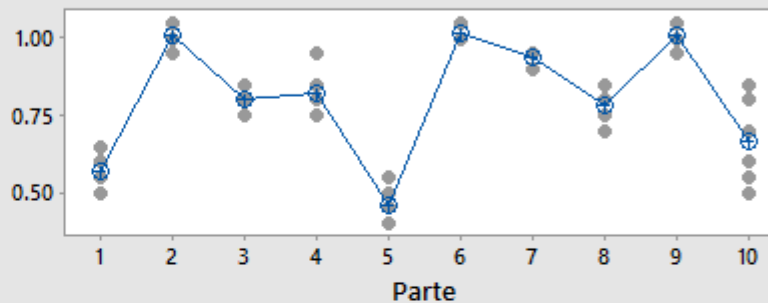
Nombre del sistema de medición :
 Fecha del estudio:

Notificado por:
 Tolerancia:
 Misc:

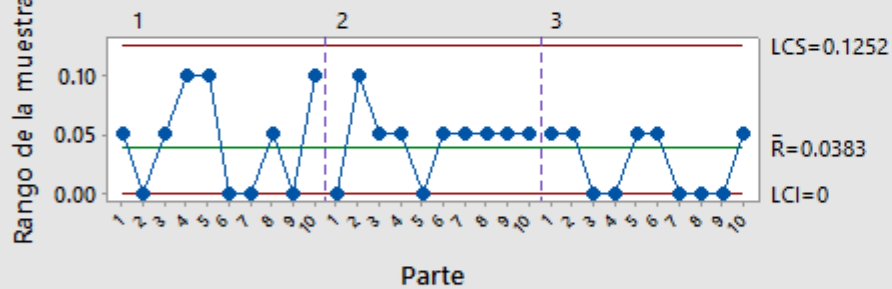
Componentes de variación



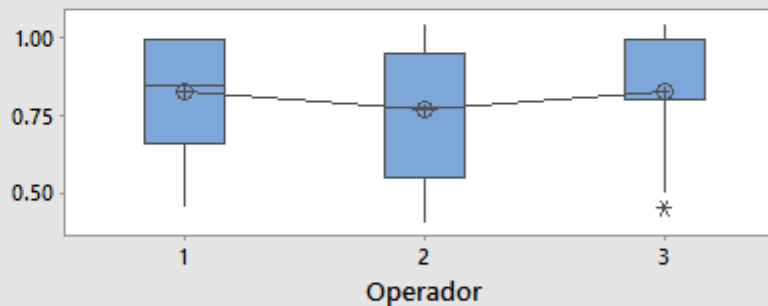
Respuesta por Parte



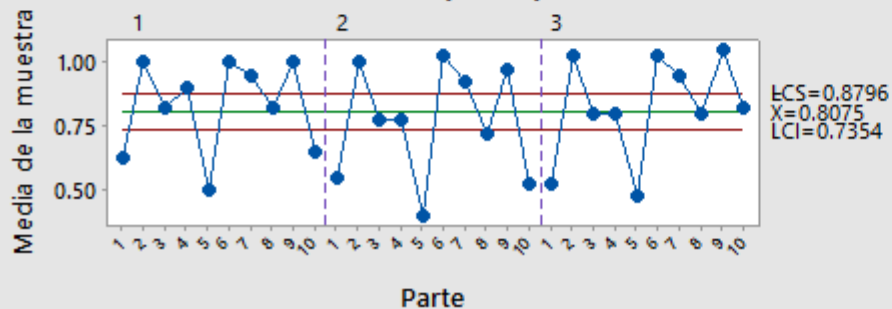
Gráfica R por Operador



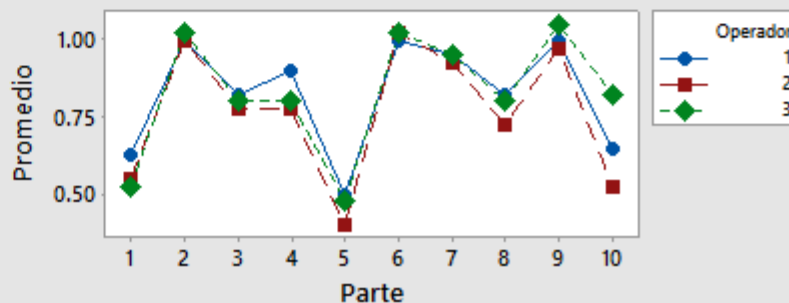
Respuesta por Operador



Gráfica Xbarra por Operador



Interacción Parte * Operador



Resultados en Minitab



Minitab nos da información en forma analítica y gráfica

- **Resultados Analíticos**

- Tabla de ANOVA (Análisis de Variación)
- Componentes de la Variación
- Tabla de porcentaje de contribución

- **Resultados Gráficos**

- Cuadros X-Bar / R
- Componentes de la Variación
- Cuadro de interacción entre Operador*Muestra
- Cuadros de medidas por Operador y por Muestra



Índice de la Capacidad de medición - P/T

Relación Precisión a la Tolerancia

$$P / T = \frac{5.15 * \sigma_{MS}}{Tolerance}$$

$$Tolerance = USL - LSL$$

Usualmente expresada en porcentaje

- ◆ Se refiere a que **porcentaje de la Tolerancia** esta tomado por errores de medición.
- ◆ Mejor caso: <10% Aceptable: <30%
- ◆ Incluye repetibilidad y reproducibilidad
Operador x Unidad x Experimento de Prueba

Nota: 5.15 desviaciones estandares toman en cuenta 99% de la variación MS.
El uso de 5.15 es una norma industrial.

Índice de la Capacidad de medición - P/T



La relación P/T (% Tolerance en Minitab) es la estimación mas comun de la precisión del sistema de medición.

- Esta estimación puede ser apropiada para evaluar como funciona el sistema de medición con respecto a las especificaciones
- Las especificaciones, pueden ser muy apretadas o muy holgadas
- Generalmente la relación P/T es una buena estimación cuando se usa el sistema de medición solamente para clasificar las muestras de producción

Indice de la Capacidad de medición - % GR&R



$$\% R\&R = \frac{\sigma_{MS}}{\sigma_{Total}} \times 100$$

Se refiere a que *porcentaje de la Variación Total* está tomado por error de medición

Incluye repetibilidad y reproducibilidad

Operador x Unidad x Experimento de Prueba

Como meta, buscar un %R&R < 30%

Indice de la Capacidad de medición - % GR&R



$$\% R\&R = \frac{\sigma_{MS}}{\sigma_{Total}} \times 100$$

Se refiere a que *porcentaje de la Variación Total* está tomado por error de medición

Incluye repetibilidad y reproducibilidad

Operador x Unidad x Experimento de Prueba

Como meta, buscar un %R&R < 30%



Reporte de Repetibilidad y Reproducibilidad de Gages

Nombre y No. De Parte: Características: Especificaciones:	Nombre del gage: No. De gage: Tipo de Gage:	Fecha: Revisado por:
Dato : $\bar{R} = 0.3417$	$\bar{X}_{DIFF} = 0.4446$	$Rp=3.511$

Análisis de Medición Unitaria	% de Variación Total (TV)							
Repetibilidad – Variación del Equipo (EV) $EV = \bar{R} \times K_1$ $= 0.3417 \times 0.5908$ $= 0.20188$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Intentos</th> <th>K_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>0.8862</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.5908</td> </tr> </tbody> </table>	Intentos	K_1	2	0.8862	3	0.5908	$\%EV = 100[EV/TV]$ $= 100 [0.20188/1.14610]$ $= 17.62\%$
Intentos	K_1							
2	0.8862							
3	0.5908							
Reproducibilidad – Appraiser Variación (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2/nr)}$ $= \sqrt{(0.4446 \times 0.5231)^2 - (0.20188^2/(10 \times 3))}$ $= 0.22963$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Evaluadores</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K_2</td> <td>0.7071</td> <td>0.5231</td> </tr> </tbody> </table>	Evaluadores	2	3	K_2	0.7071	0.5231	$\%AV = 100 [AV/TV]$ $= 100 [0.22963/1.14610]$ $= 20.04\%$
Evaluadores	2	3						
K_2	0.7071	0.5231						
Repetibilidad y Reproducibilidad (RRG) $RRG = \sqrt{EV^2 + AV^2}$ $= \sqrt{(0.20188^2 + 0.22963^2)}$ $= 0.30575$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Partes</th> <th>K_3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>0.7071</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.5231</td> </tr> </tbody> </table>	Partes	K_3	2	0.7071	3	0.5231	$\%RRG = 100 [RRG/TV]$ $= 100 [0.30575/1.14610]$ $= 26.68\%$
Partes	K_3							
2	0.7071							
3	0.5231							



Variación de Parte (PV) $PV = P_p \times K_3$ = 1.10456	4	0.4467	$\%PV = 100 [PV/TV]$ $= 100 [1.10456/1.14610]$ = 96.38%
	5	0.4030	
	6	0.3742	
Variación Total (TV) $TV = \sqrt{RRG^2 + PV^2}$ $= \sqrt{(0.30575^2 + 1.10456^2)}$ = 1.14610	7	0.3534	$ndc = 1.41 \left(\frac{PV}{RRG} \right)$ $= 1.41 (1.10456/0.30575)$ = 5.094~5
	8	0.3375	
	9	0.3249	
	10	0.3146	
Para información sobre la teoría y constantes usadas en el formato ver <i>Manual de Referencia MSA</i> , 4ª. edición			

Figura III-B 16: Reporte de Repetibilidad y Reproducibilidad de Gages

Sección C – Estudios de Sistemas de Medición por Atributos



- Cuando se maneja un gage de atributos, el resultado es pasa ó no pasa, por lo que se sugiere una codificación 0 para rechazo y 1 para aprobado,
- Se evalúa el grado de acuerdo ó coincidencia entre los evaluadores y un valor de referencia,
- Por lo general se manejan 50 piezas, 3 evaluadores y 3 repeticiones ó intentos, conocido como estudio 50-3-3,
- Se determinan tablas cruzadas de acuerdo entre evaluadores y con el valor de referencia, calculando un factor kappa con siguiente fórmula:

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - p_e}$$

- Luego se determina el acuerdo total entre evaluadores para estimar la efectividad,
- El criterio de aceptación y rechazo para Kappa y Efectividad es 0.75-0.40 y 90-80% respectivamente.

Análisis del Sistema de Medición (MSA)



Estudio de un sistema de medición por atributos.

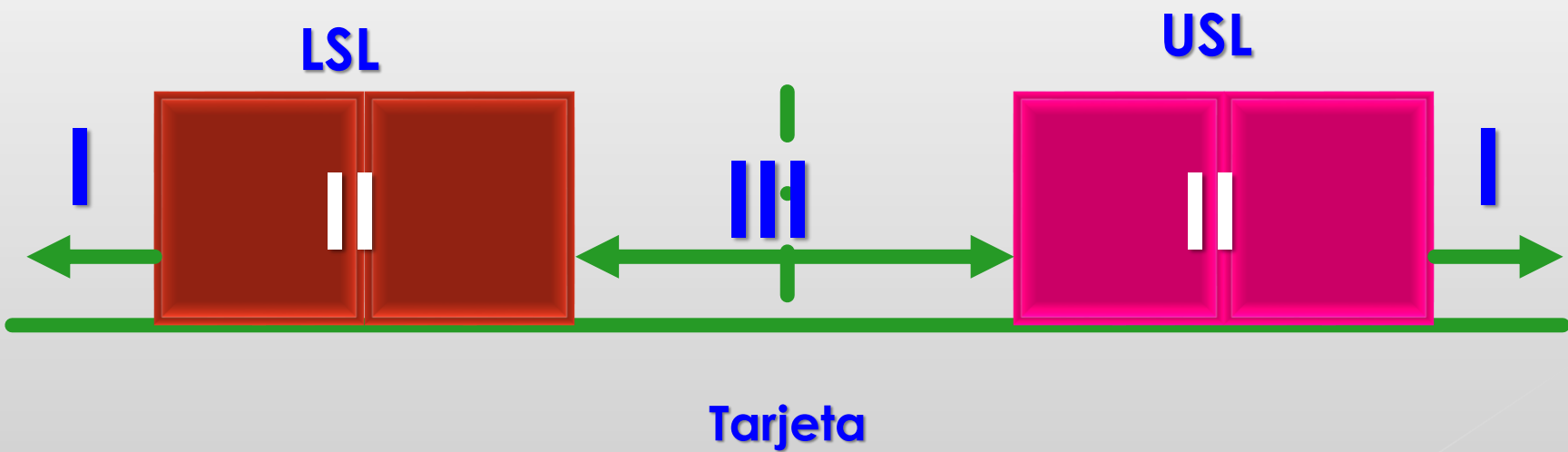
Los sistemas de medición por atributos son la clase de sistemas en que el valor de medición es uno de un número finito de categorías. Esto contrasta con el sistema de medición donde las variables que puede resultar en un valores continuos.

El más común de ellos es un medidor Pasa / No Pasa que sólo tiene dos resultados posibles. Otros sistemas de atributo, por ejemplo, normas visuales, puede resultar en cinco a siete clasificaciones, como muy buena, buena, regular, mala, muy mala.



R & R por Atributos

Una medición por atributos es aquella que compara un objeto contra los límites de especificación para determinar si cumple o no cumple el objeto.





Probabilidad de Falsa Alarma (Pfa): La probabilidad de una falsa alarma es la posibilidad de rechazar una parte conforme. Sin embargo, rechazar una parte conforme ocasiona retrabajo y reinspección cuando no es necesario. Si la Pfa se hace muy grande. La probabilidad de falsa alarma se calcula con la siguiente fórmula:

$Pfa = \text{Número de falsas alarmas} / \text{número de oportunidades para falsas alarmas}$

Sesgo (B): Es la medida de la tendencia para clasificar una pieza como conforme o no conforme. El sesgo es una función de Pmiss y Pfa. Los valores del sesgo son iguales o mayores a cero y tienen la siguiente interpretación:

- B = 1 implica que no hay sesgo
- B > 1 implica sesgo a rechazar partes
- B < 1 implica sesgo a aceptar partes

El valor del sesgo se calcula de la siguiente manera:

$$B = Pfa / Pmiss$$

R & R por Atributos

R&R por Atributos



Resultados de inspección

Tasador	Número de buenas correctas	Número de malas correctas	Número de correctas	Número de falsas alarmas	Número de errores	Número total
A	19	18	37	5	0	42
B	24	14	38	0	4	42
C	23	15	38	1	3	42

Cálculos

Tasador	E	Pfa	Pmiss
A	$37/42 = 0.88$	$5/24 = 0.21$	$0/18 = 0$
B	$38/42 = 0.90$	$0/24 = 0$	$4/18 = 0.22$
C	$38/42 = 0.90$	$1/24 = 0.04$	$3/18 = 0.17$

R&R por Atributos



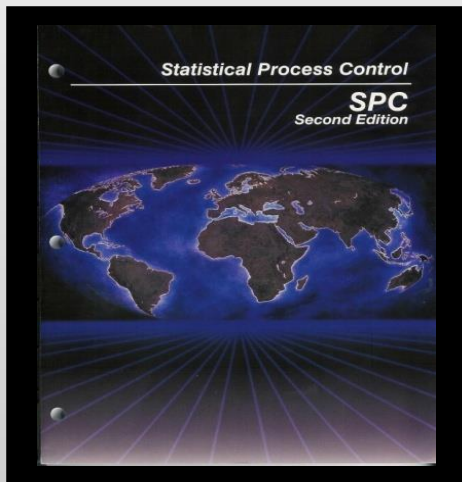
Criterios de Evaluación de datos de variables por atributos

Parámetro	Aceptable	Marginal	Inaceptable
E	>0.90	de 0.80 a 0.90	<0.80
Pfa	<0.05	de 0.05 a 0.10	>0.10
Pmiss	<0.02	de 0.02 a 0.05	>0.05



AIAG CORE TOOLS:
Control Estadístico del Proceso

SPC
Segunda Edición



SPC – Control Estadístico de proceso



Es una técnica estadística, de uso muy extendido, para asegurar que los procesos cumplen con los estándares. Todos los procesos están sujetos a ciertos grados de **variabilidad**, por tal motivo es necesario distinguir entre las variaciones por causas naturales y por causas imputables.

Es una colección de métodos estadísticos, gráficos de control, sobre todo para analizar y controlar un proceso

¿Por qué usarlo?

Para saber cuando los procesos tienen un cambio y responder en consecuencia

Control Estadístico del Proceso

SPC



Capítulo 1 – Mejoramiento Continuo y Control Estadístico de los Procesos.

- A. Prevención Versus Detección
- B. Un Sistema de Control de Procesos
- C. Variación: Causas Comunes y Especiales
- D. Acciones Locales y Acciones para el Sistema
- E. Control y Habilidad de los Procesos
- F. El Ciclo del Mejoramiento Continuo y el Control de los Procesos
- G. Gráficas de Control: Herramientas para Control y Mejoramiento de los Procesos
- H. Aplicación Efectiva y Beneficios de las Gráficas de Control

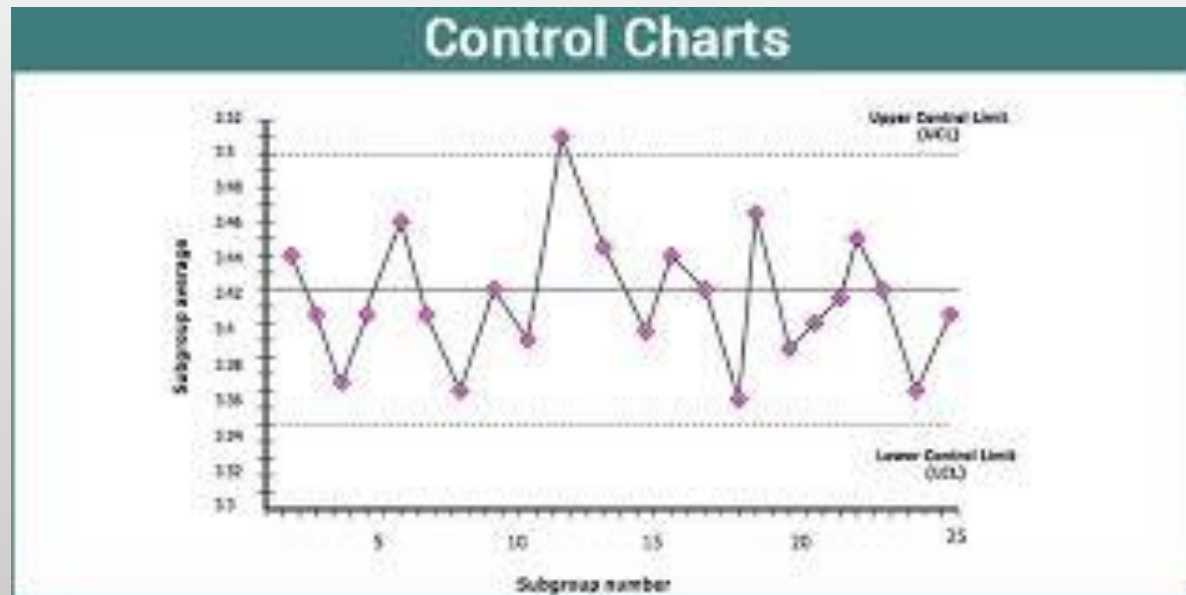


Control Estadístico del Proceso SPC



Capitulo II – Gráficas de Control.

- A. Proceso para las Gráficas de Control
- B. Definición de Señales “Fuera-de-Control”
- C. Formulas para Gráficas de Control



Control Estadístico del Proceso

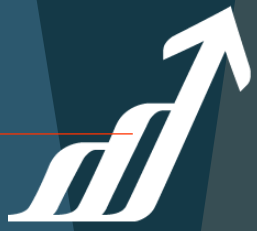
SPC



Capitulo III– Otros Tipos de Gráficas de Control

Capitulo IV - Entendimiento de Habilidad de los Procesos y Desempeño de los Procesos

- A. Definiciones de Términos de Procesos
- B. Manejo de Distribuciones No Normales y Multivariables
- C. Uso Sugerido de Medidas de los Procesos



- **El Capítulo I** ofrece bases para el control de los procesos, explica varios conceptos importantes tales como, causas especiales y comunes de variación. También introduce las gráficas de control, las cuales pueden ser una herramienta muy efectiva para el análisis y monitoreo de los procesos.
- **El Capítulo II** describe la construcción y uso de gráficas de control tanto para datos de variables como de atributos.
- **El Capítulo III** describe otros tipos de gráficas de control que pueden ser usadas para situaciones especiales – gráficas en base a probabilidades, gráficas de corridas cortas, gráficas para detectar pequeños cambios, no normales, multivariantes y otras gráficas.
- **El Capítulo IV** aborda el análisis de habilidad de los procesos.
- Los Apéndices abordan el muestreo, sobre-ajustes, un proceso para seleccionar gráficas de control, tablas de constantes y fórmulas, la tabla normal, un glosario de términos y símbolos, y referencias.

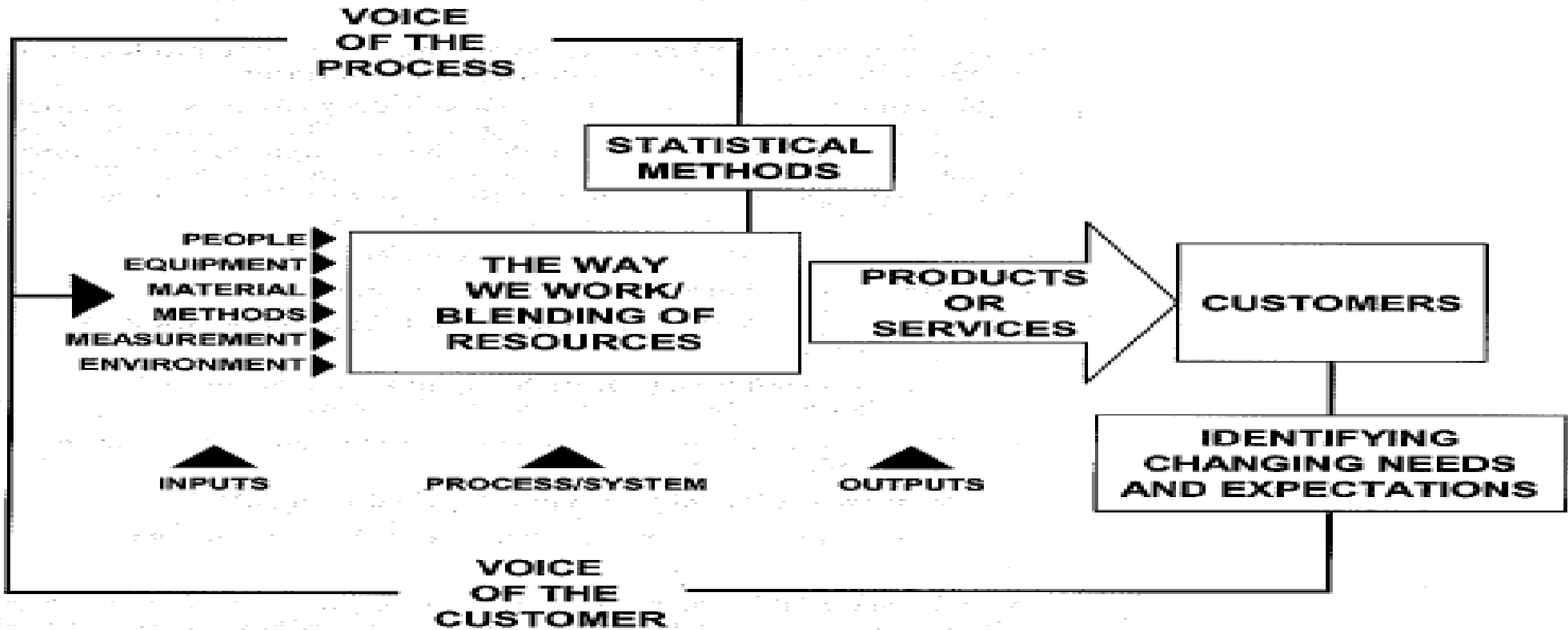
Sección A -Estrategia de Detección vs Prevención



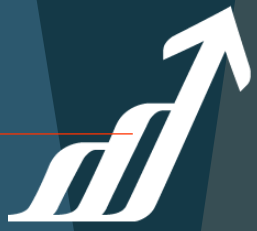
Detección - Hacer los productos y Control de Calidad inspeccionar el producto final y descubrir los productos que no cumplían con especificaciones. la cual significa desperdicio, dado que permite tiempo y materiales a ser invertidos en productos ó servicios que no siempre son usables.

Prevención - “Hazlo correcto desde la primera vez”

PROCESS CONTROL SYSTEM MODEL WITH FEEDBACK



Sección B Sistema de Control de procesos



Se conforma por cuatro elementos:

1. **El Proceso** – Por proceso, significa una combinación completa de proveedores, fabricantes, gente, equipo, materiales de entrada, métodos y medio ambiente que trabajan juntos para producir un resultado, y los clientes que usen dicho resultado.
2. **Información Acerca del Desempeño** – Mucho de la información acerca del desempeño actual de un proceso puede ser aprendida estudiando los resultados del proceso mismo. Las características de un proceso (tales como, temperaturas, tiempos de ciclo, velocidades de alimentación, ausentismo, tiempos muertos, lo tardío, o número de interrupciones) debieran ser el enfoque último de nuestros esfuerzos



Sección B Sistema de Control de procesos



Se conforma por cuatro elementos:

3. **Acciones Sobre el Proceso** – Las acciones sobre el proceso son frecuentemente más económicas cuando se toman para prevenir que características importantes (del proceso o resultados) varíen mucho de sus valores meta. Esto asegura que la estabilidad y la variación de los resultados del proceso se mantengan dentro de límites aceptables. Dichas acciones pueden consistir en:

- Cambios en las operaciones
 - Entrenamiento a los operadores
 - Cambios en los materiales de recibo
- Cambios en los elementos más básicos del proceso mismo
 - El equipo
 - La forma en como la gente se comunica y se relaciona
 - El diseño del proceso como un todo – el cual puede ser vulnerable a cambios de temperatura y humedad en piso.

Sección B Sistema de Control de procesos

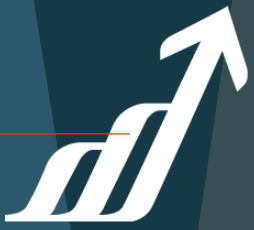


Se conforma por cuatro elementos:

34. **Acciones Sobre los Resultados** — Acciones sobre los resultados es frecuentemente lo menos económico, cuando se restringe a la detección y corrección de **producto fuera de especificaciones** sin abordar problemas del proceso en cuestión. Desafortunadamente, si el resultado actual no cumple consistentemente con los requerimientos de los clientes, puede ser necesario **clasificar todos los productos y desechar o retrabajar** cualquier producto no conforme. Esto debe continuar hasta que acciones correctivas necesarias sobre el proceso se hayan tomado y verificado.

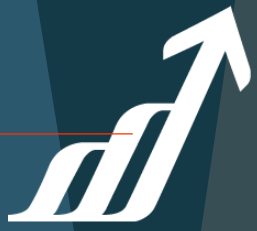


Sección C Causas Comunes y causas especiales



Causas comunes se refieren a las tantas fuentes de variación que están actuando consistentemente en un proceso. Causas comunes dentro de un proceso generan una distribución estable y repetible en el tiempo. Esto es llamado “en un estado de control estadístico”, “en control estadístico”, o algunas veces sólo “en control”. Causas comunes generan un sistema estable de causas aleatorias. Si solo causas comunes de variación están presentes y no cambian, los resultados de un proceso son predecibles.

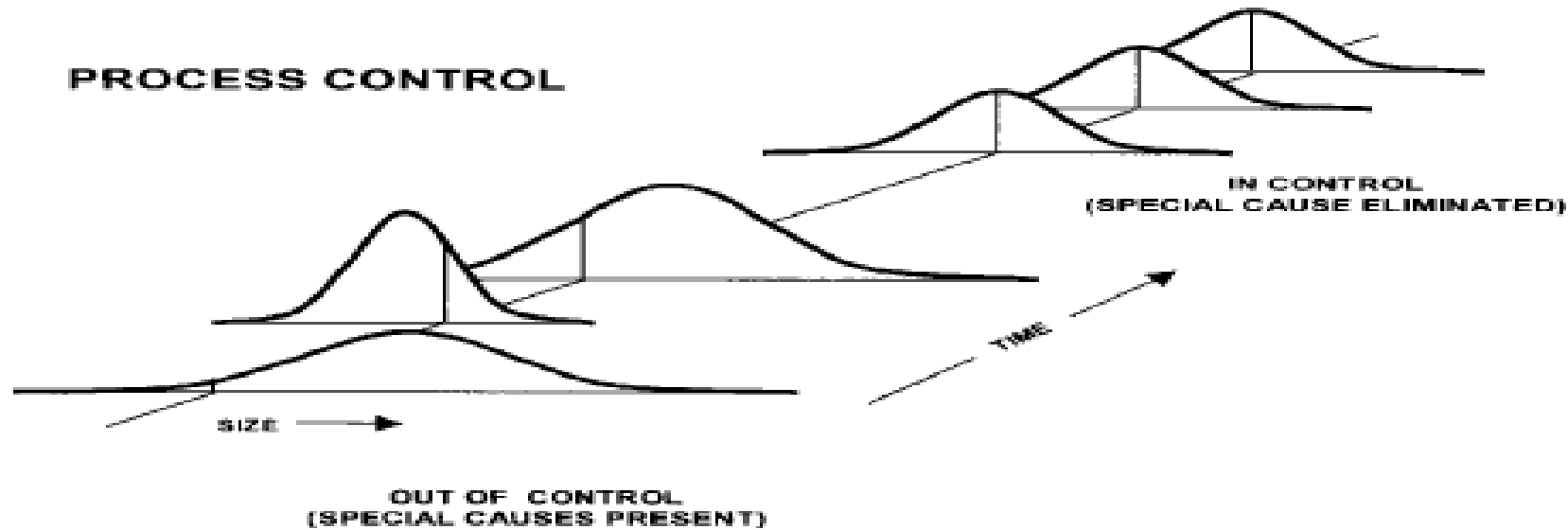
Sección C Causas Comunes y causas especiales



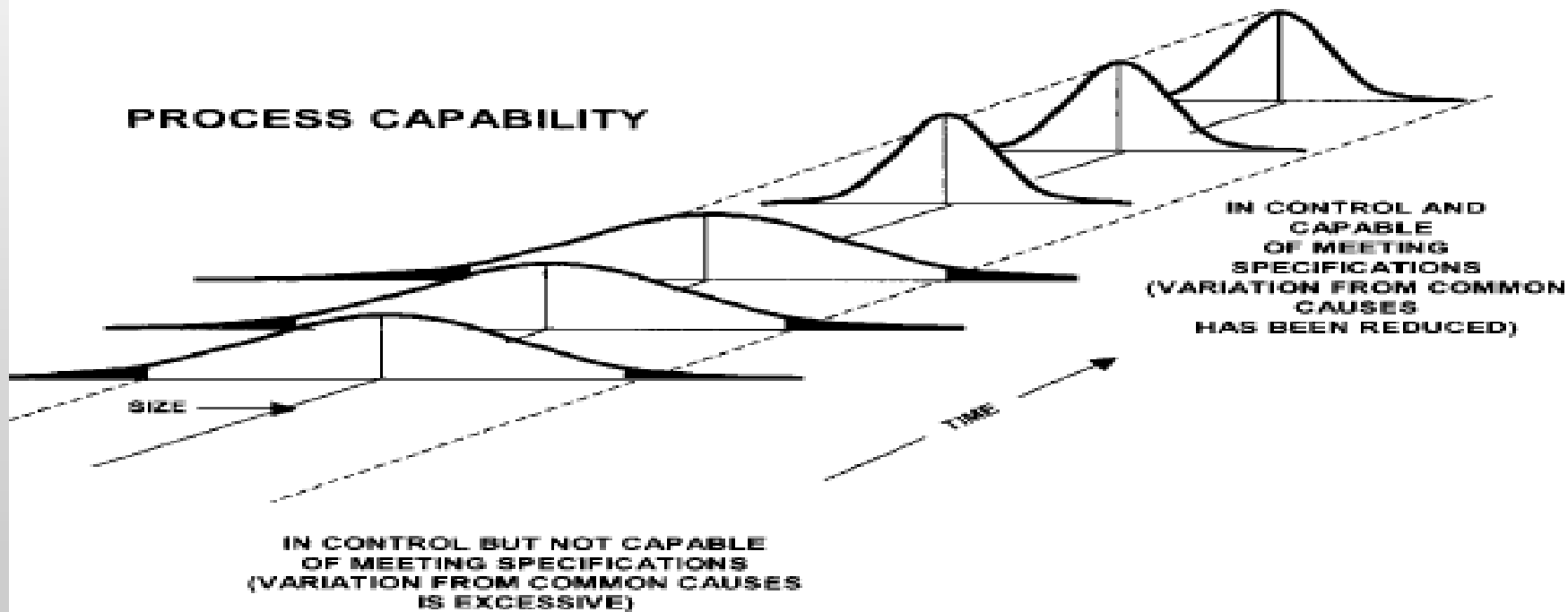
Causas especiales (a menudo llamadas causas asignables) se refieren a cualquier factor causando variaciones que afecten solo algunos resultados del proceso. Estas a menudo son intermitentes e impredecibles. Las causas especiales son señalizadas por uno o mas puntos fuera de los límites de control o por patrones no aleatorios de puntos dentro de los límites de control. A menos que todas las causas especiales de variación se identifiquen y se actúe sobre ellas, estas pueden continuar afectando los resultados del proceso en formas impredecibles. Si están presentes causas especiales de variación, los resultados del proceso no serán estables en el tiempo.



PROCESS CONTROL



PROCESS CAPABILITY



Sección D Acciones Locales y acciones sobre el sistema



Acciones Locales

- ▶ Generalmente se requieren para eliminar causas especiales de variación
- ▶ Generalmente pueden tomarse por gente cercana al proceso
- ▶ Típicamente pueden corregir alrededor del 15% de los problemas del proceso

Acciones Sobre el Sistema

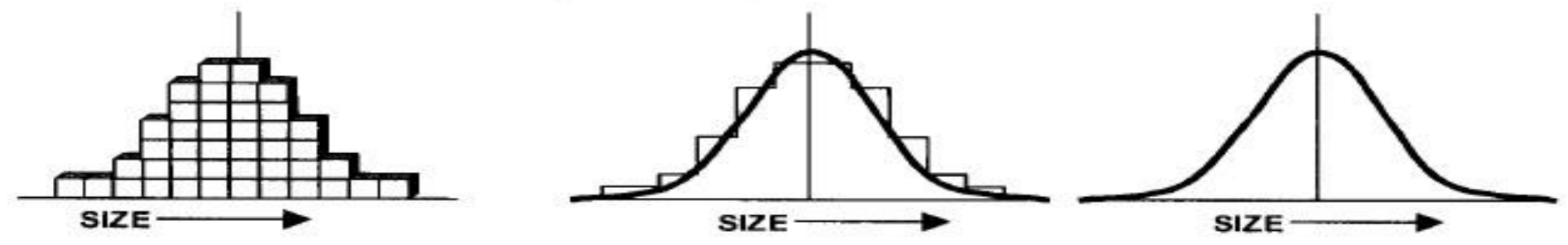
- ▶ Generalmente se requieren para reducir variaciones debidas a causas comunes
- ▶ Casi siempre requieren de acciones de la dirección/ administración para correcciones
- ▶ Son necesarias para corregir típicamente alrededor del 85% de los problemas del proceso



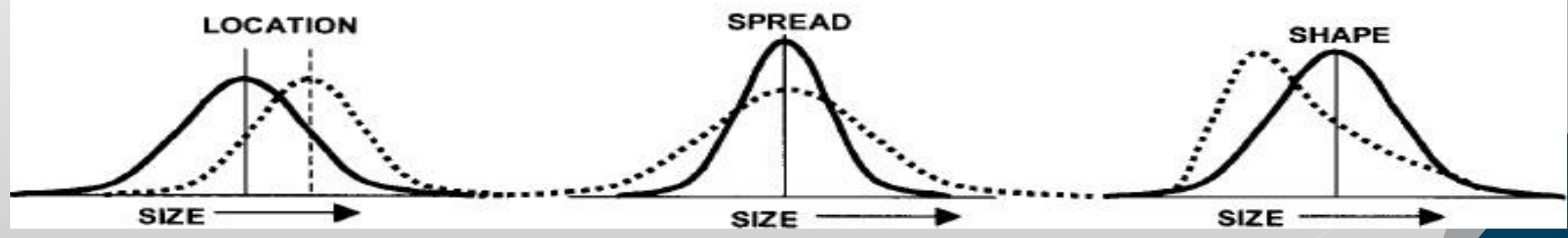
PIECES VARY FROM EACH OTHER



BUT THEY FORM A PATTERN THAT, IF STABLE, CAN BE DESCRIBED AS A DISTRIBUTION



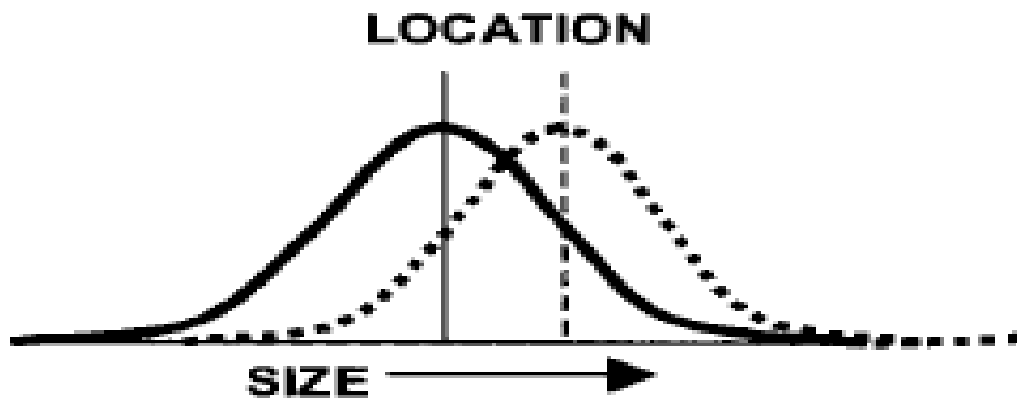
DISTRIBUTION CAN DIFFER IN:



VARIACIÓN



Location (Center): 3 key measures



Mean = Average or \bar{X}

Median = Middle (by count)

Mode = Most often

VARIACIÓN

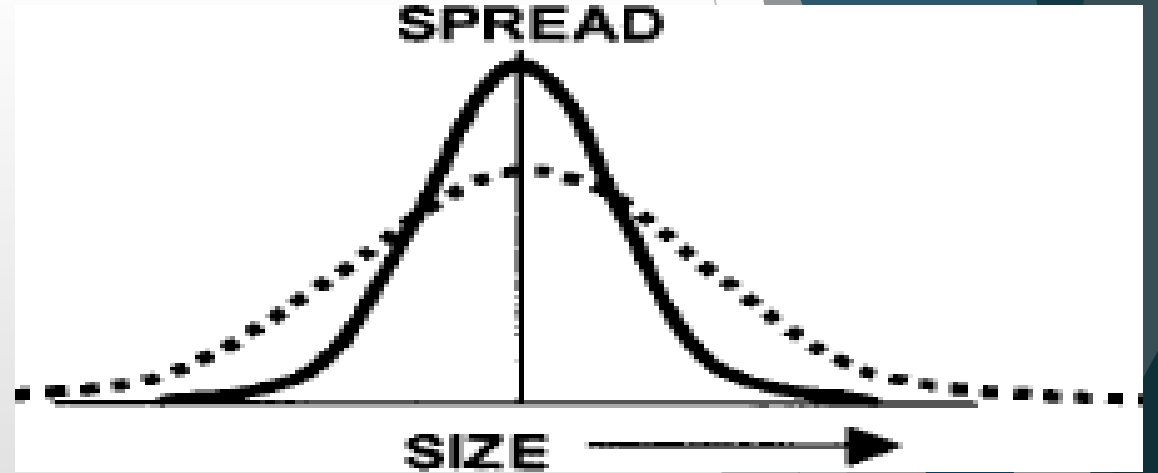


Spread: 3 key measures

Range = R

Standard Deviation = σ or S

Variance = σ^2

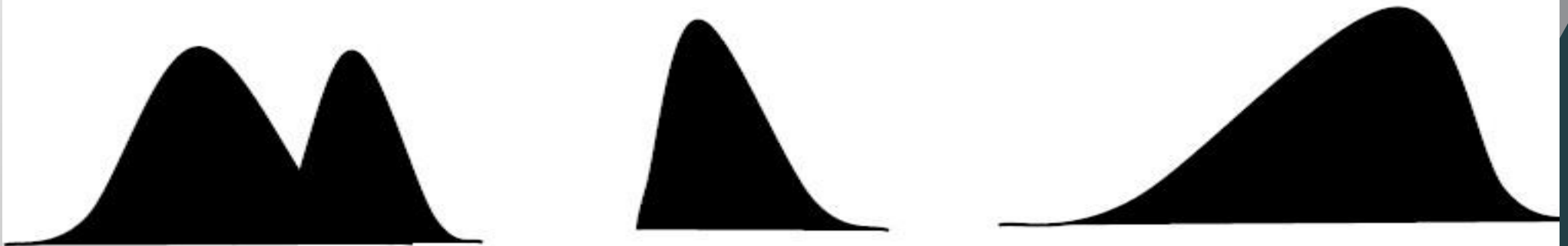
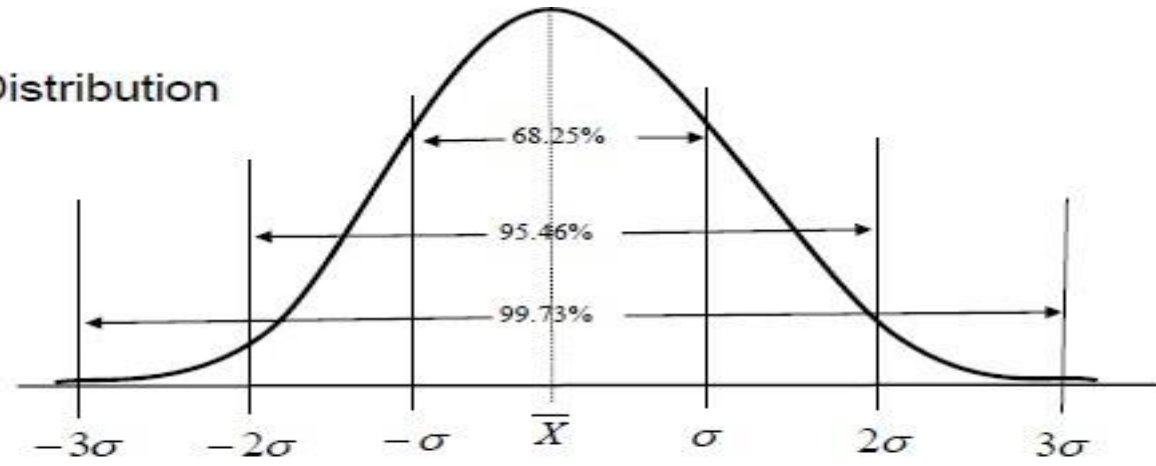


VARIACIÓN

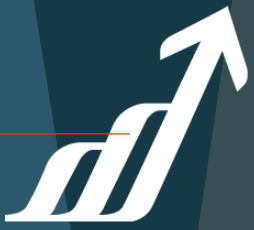


VARIATION SHAPE

Normal Distribution



Sección E Control y Habilidad de los Procesos



La **Habilidad del Proceso** es determinada por la **variación** que proviene de causas comunes. Generalmente representa el mejor desempeño del proceso mismo. Esto se demuestra cuando el proceso ha sido operado en un estado de control estadístico independientemente de las especificaciones.

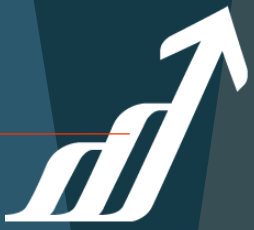
Desempeño del Proceso; esto es, el resultado global del proceso y como se relaciona con sus requerimientos (definidos por especificaciones), independientemente de la variación del proceso mismo.

Process Control and Process Capability



	IN CONTROL	OUT OF CONTROL
CAPABLE	Case 1: Ideal Process is stable and able to meet specifications	Case 3: Unpredictable Process appears to meet specifications
NOT CAPABLE	Case 2: Not Acceptable Process is stable but with excessive variation	Case 4: Not Acceptable Special and common causes must be reduced

Sección E Control y Habilidad de los Procesos



Los **índices de procesos** pueden dividirse en dos categorías: aquellos que son calculados usando estimativos de variación dentro de subgrupos (ó muestras) y a que los usando la variación total cuando se estime un índice dado (ver también Capítulo IV).

Por ejemplo, **se recomienda que C_p y C_{pk}** sean usados (ver Capítulo IV), y además que se combinen con técnicas gráficas para entender mejor la relación entre la distribución estimada y los límites de especificación. En cierto sentido, esto cuantifica el comparar (y tratar de alinear) la “voz del proceso” con la “voz del cliente”) (ver también sherkenbach (1991)).

El Ciclo de Mejoramiento Continuo de los Procesos



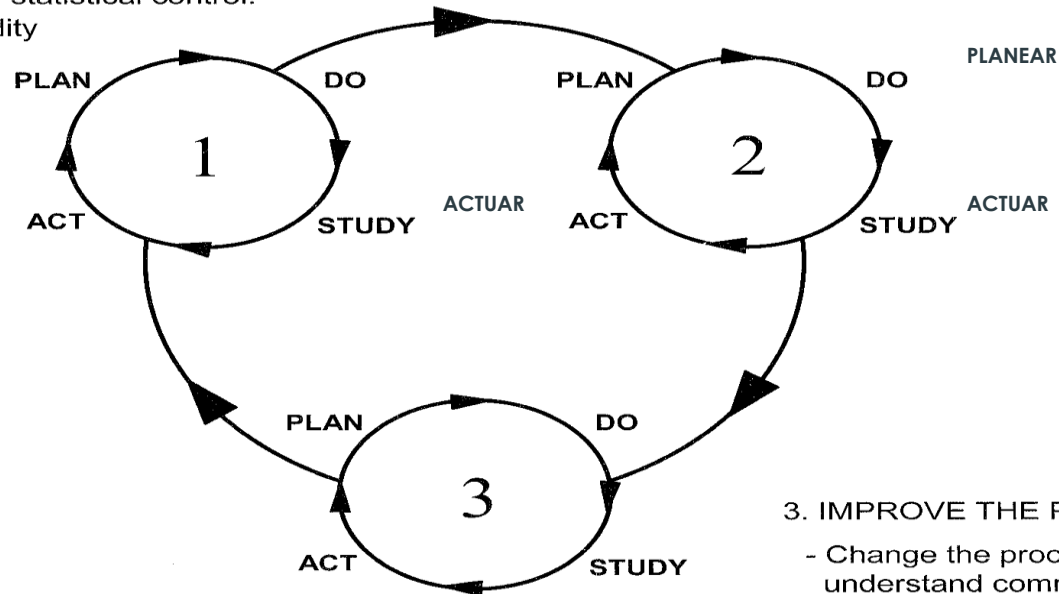
STAGES OF THE CONTINUAL PROCESS IMPROVEMENT CYCLE

1. ANALYZE THE PROCESS

- What should the process be doing?
- What can go wrong?
- What is the process doing?
- Achieve a state of statistical control.
- Determine capability

2. MAINTAIN THE PROCESS

- Monitor process performance
- Detect special cause variation and act upon it.



3. IMPROVE THE PROCESS

- Change the process to better understand common cause variation.
- Reduce common cause variation.

GRAFICOS DE CONTROL



Las gráficas de control pueden ser usadas para monitorear o evaluar un proceso. Existen básicamente dos tipos de gráficas de control, aquellas para datos de variables y para datos de atributos. El proceso mismo dicta qué tipo de gráfica de control usar.

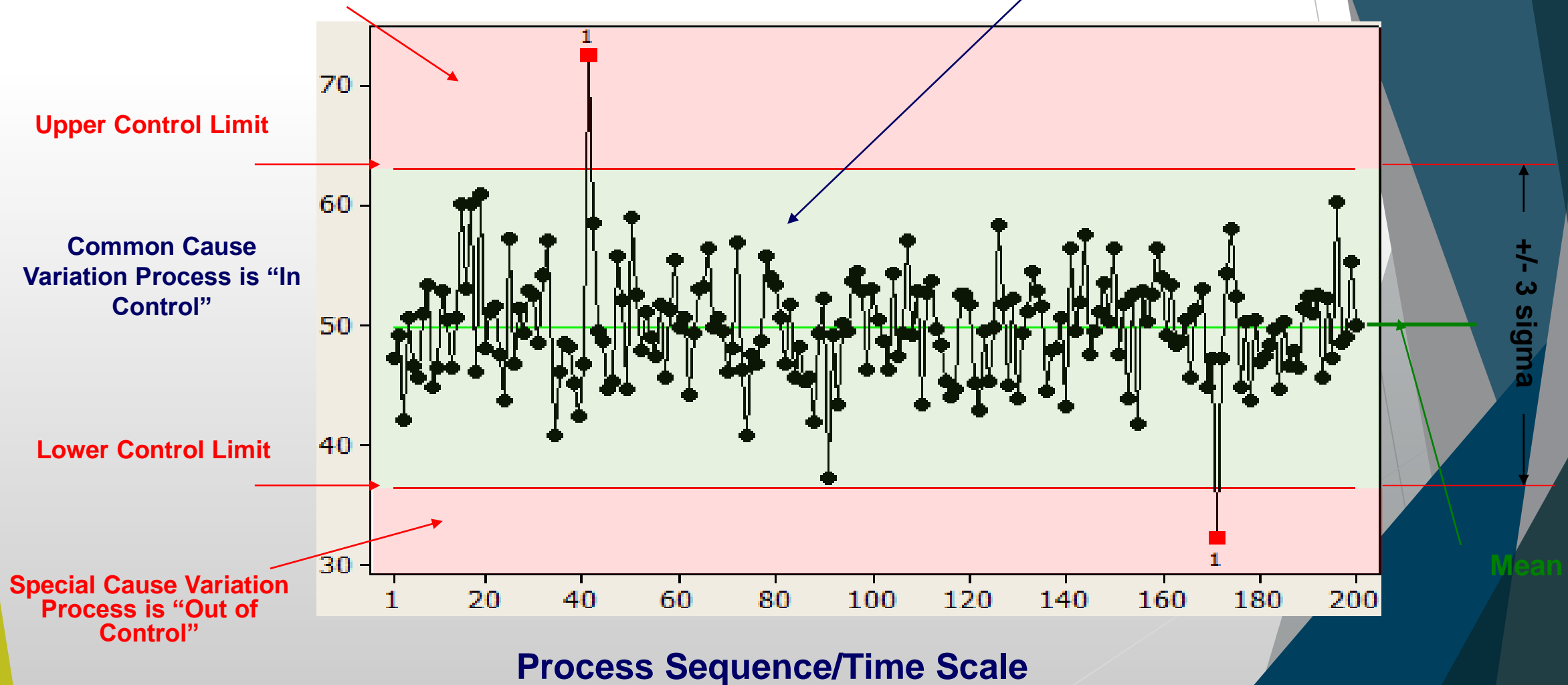
Algunos de los tipos de gráficas más comunes, gráficas de Promedios y Rangos (R), *gráficas de Lecturas Individuales*, gráficas de Rangos Móviles (MR), *etc.*, pertenecen a la familia de gráficas de variables. Las gráficas basadas en datos de conteo o porcentaje (ej., p , np , c , u) pertenecen a la familia de gráficas de atributos.

Control Chart



Special Cause Variation
Process is "Out of Control"

Run Chart of data points



GRAFICOS DE CONTROL VARIABLES



Las gráficas de control por variables representan la aplicación típica del control estadístico de los procesos, donde los procesos y sus resultados pueden caracterizarse por mediciones de variables. Las gráficas de control por variables son particularmente útiles por varias razones:

- Un valor cuantitativo (ej., “el diámetro es 16.45 mm”) contiene más información que una simple declaración sí-no (ej., “el diámetro está dentro de especificaciones”);
- Aunque la recolección de datos de variables es usualmente más costosa que la recolección de datos de atributos (ej., pasa/ no pasa), puede alcanzarse una decisión más rápidamente con un tamaño de muestra más pequeño. Esto puede conducir a costos totales de medición bajos debidos a un incremento en la eficiencia;

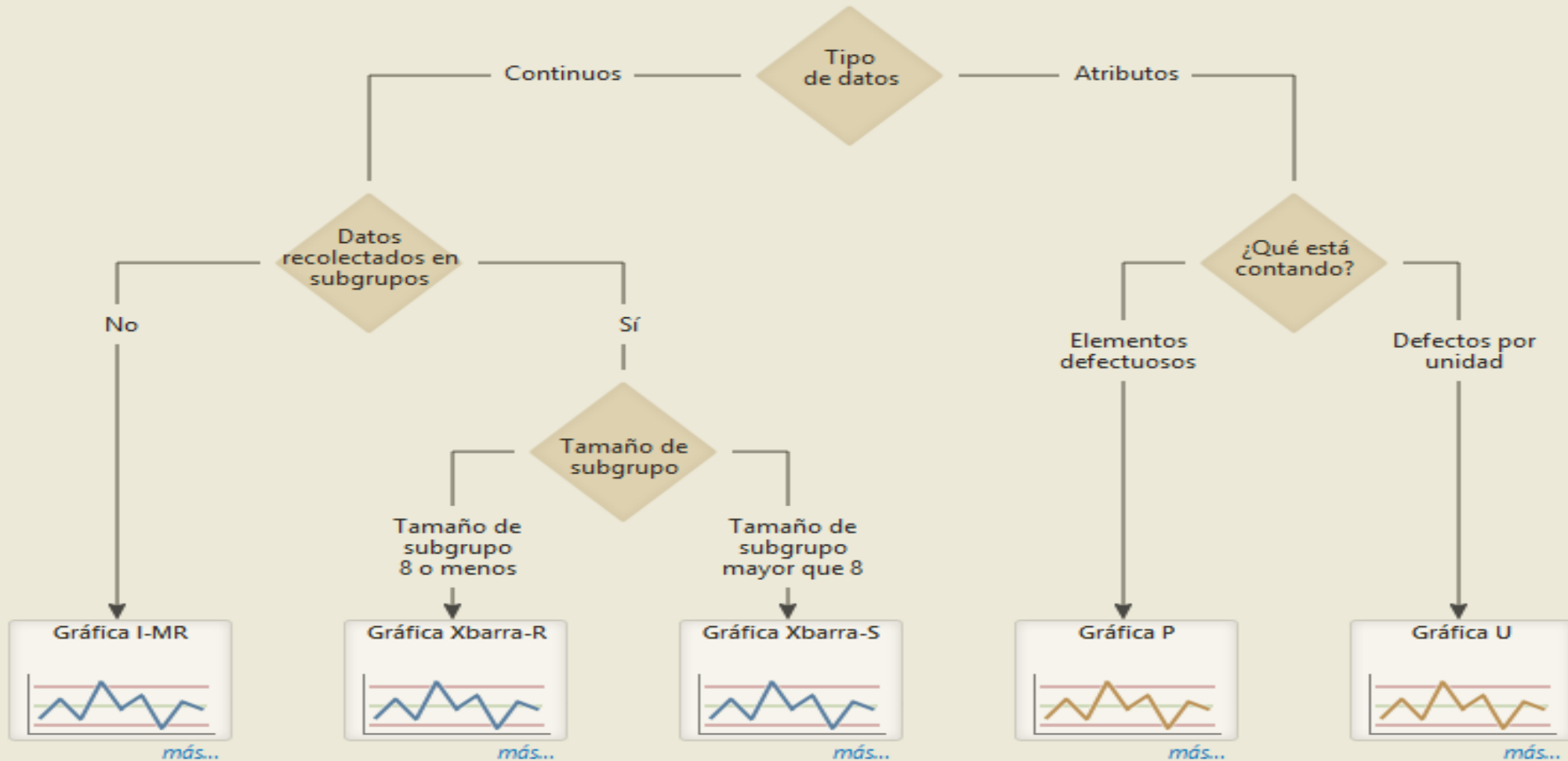
GRAFICOS DE CONTROL ATRIBUTOS



Los datos de atributos son valores discretos y pueden ser contados para registro y análisis. Con análisis de atributos los datos son separados en distintas categorías (conforme/no conforme, aprueba/falla, pasa/no pasa, presente/ausente, bajo/medio/alto). Ejemplos incluyen la presencia de una etiqueta requerida, la continuidad de un circuito eléctrico, el análisis visual de una superficie pintada, ó errores en un documento editado.



Elegir una gráfica de control



Cerrar



TIPO DE DATOS	ESTADÍSTICOS A REPRESENTAR	NOMBRE DEL GRÁFICO
<i>Datos en subgrupos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Medias de subgrupos, X-barra • Rangos de subgrupos, R • Desviaciones estándar de subgrupos, S • X-barra y R • X-barra y S 	<p>X-barra R S X-barra y R X-barra y S</p>
<i>Observaciones individuales</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Observaciones individuales • Rangos móviles • Obs. Individuales y rangos móviles 	<p>Individual Rangos móviles I – MR</p>
<i>Combinaciones de subgrupos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Medias móviles con peso exponencial • Medias móviles • Sumas acumuladas • Obs. Individuales o medias de subgrupos según su distancia a la línea central 	<p>EWMA Medias móviles CUSUM Zona</p>
<i>Series cortas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Obs. Individuales estandarizadas y rangos móviles 	<p>Z - MR</p>

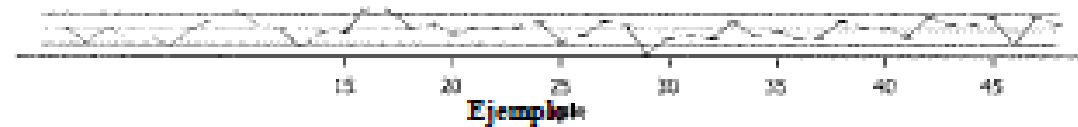
ELEMENTOS DE LA GRAFICA DE CONTROL



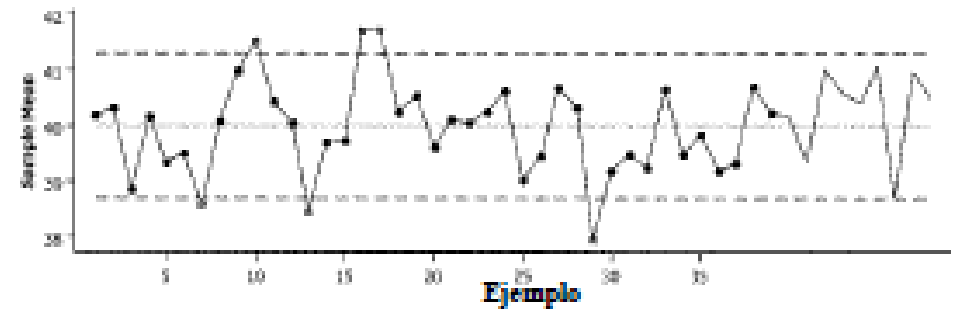
- **(A)** Escala apropiada

La escala debiera ser tal que la variación natural del proceso pueda ser fácilmente vista. Una escala que produzca una gráfica de control “estrecha” no permite análisis ni control del proceso mismo.

NO



SÍ



- **(B)** UCL, LCL

ELEMENTOS DE LA GRAFICA DE CONTROL



- **(B)** UCL, LCL

La habilidad de determinar indicadores que den señales de causas especiales en las gráficas de control requiere que los límites de control se basen en una distribución muestral. Los límites de especificación **no** debieran usarse en lugar de límites de control válidos para análisis y control del proceso.

	LCL	UCL
Xbar chart	$\bar{X} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2}$	$\bar{X} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2}$
R chart	$D_3 \bar{R}$	$D_4 \bar{R}$
I chart	$\bar{X} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2}$	$\bar{X} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2}$
MR chart	0	$D_4 \bar{MR}$

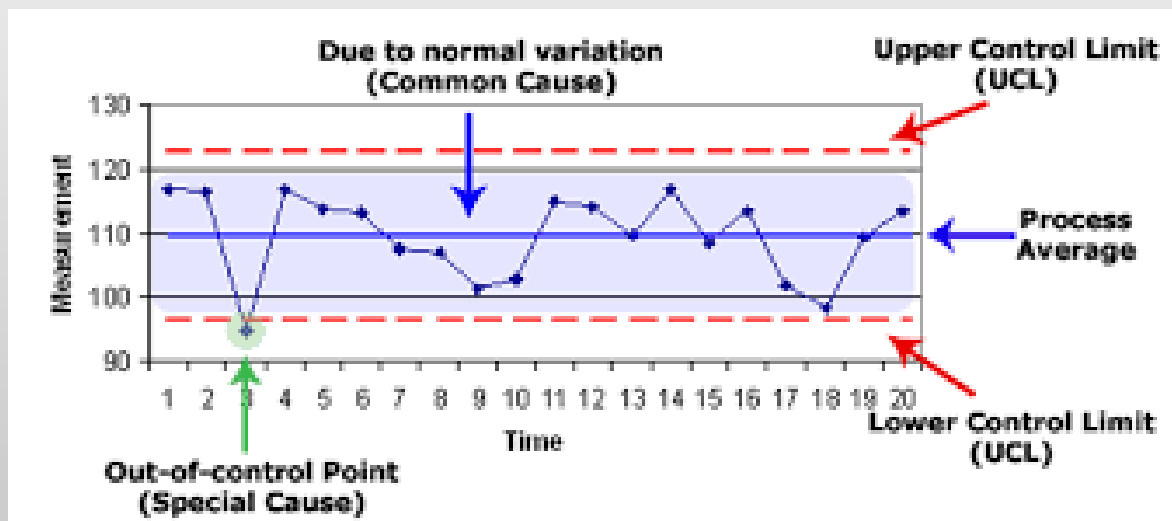
ELEMENTOS DE LA GRAFICA DE CONTROL



- **(B)** Línea central

La gráfica de control requiere de una línea central basada en la distribución muestral, a fin de permitir la determinación de patrones no aleatorios que den señales de causas especiales.

- **(C)** Secuencia/esquema de tiempo de los subgrupos
Manteniendo la secuencia en la cual los datos son recolectados ofrece indicaciones de “cuándo” ocurre una causa especial y si dicha causa está orientada en el tiempo.



ELEMENTOS DE LA GRAFICA DE CONTROL



- **(D)** Identificación de valores fuera-de-control graficados

Puntos graficados que estén fuera de control estadístico debieran estar identificados en la gráfica de control. Para control del proceso, el análisis de causas especiales y su identificación debiera ocurrir conforme cada muestra es graficada así como revisiones periódicas de la gráfica de control como un todo para patrones no aleatorios.

- **(E)** Bitácora de eventos

Además de la recolección, graficado y análisis de datos, información de soporte adicional debiera ser recolectada. Esta información debiera incluir fuentes potenciales de variación, así como acciones tomadas para resolver *señales fuera-de-control* (OCS). Esta información puede registrarse en la gráfica de control en una Bitácora de Eventos por separado.

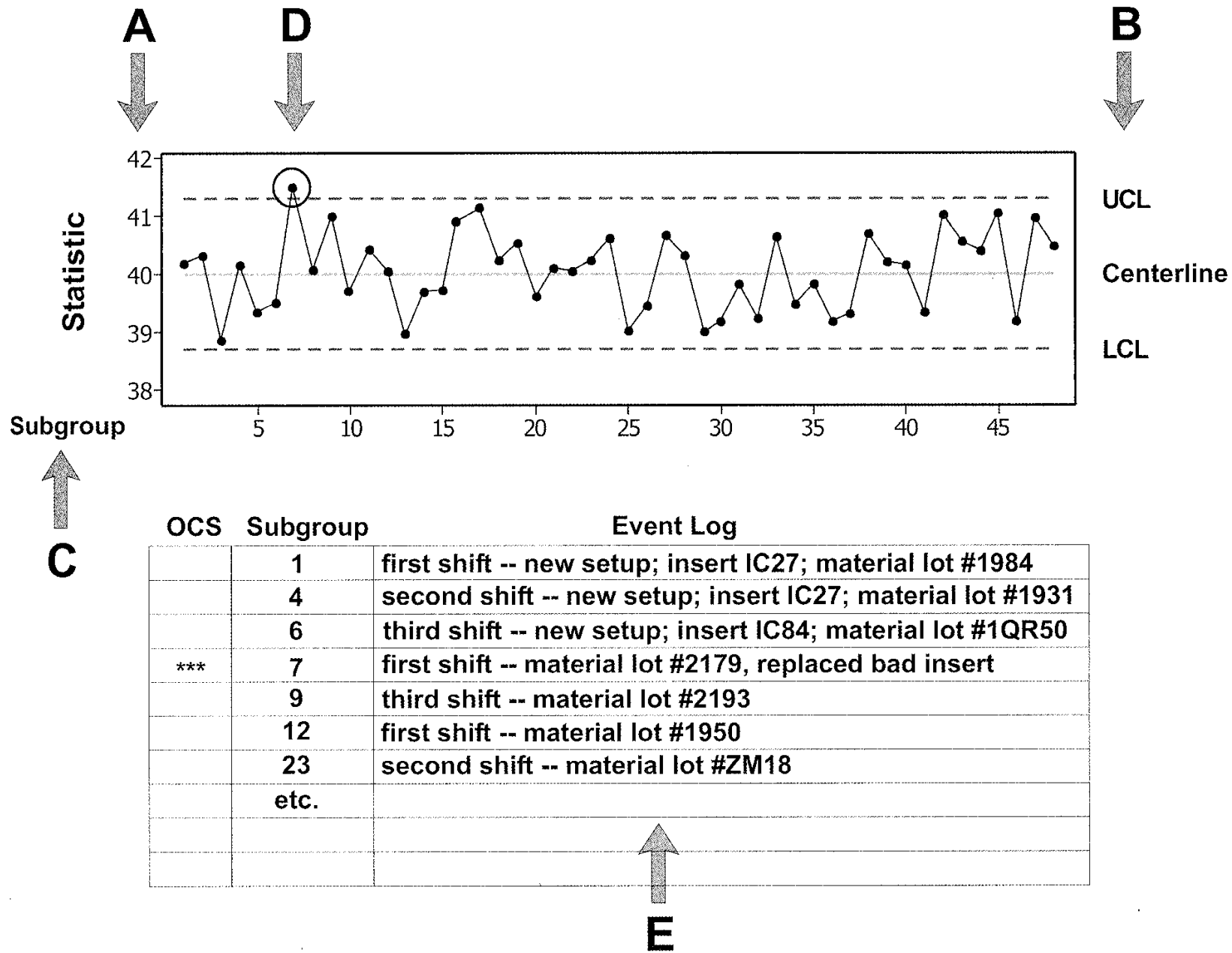


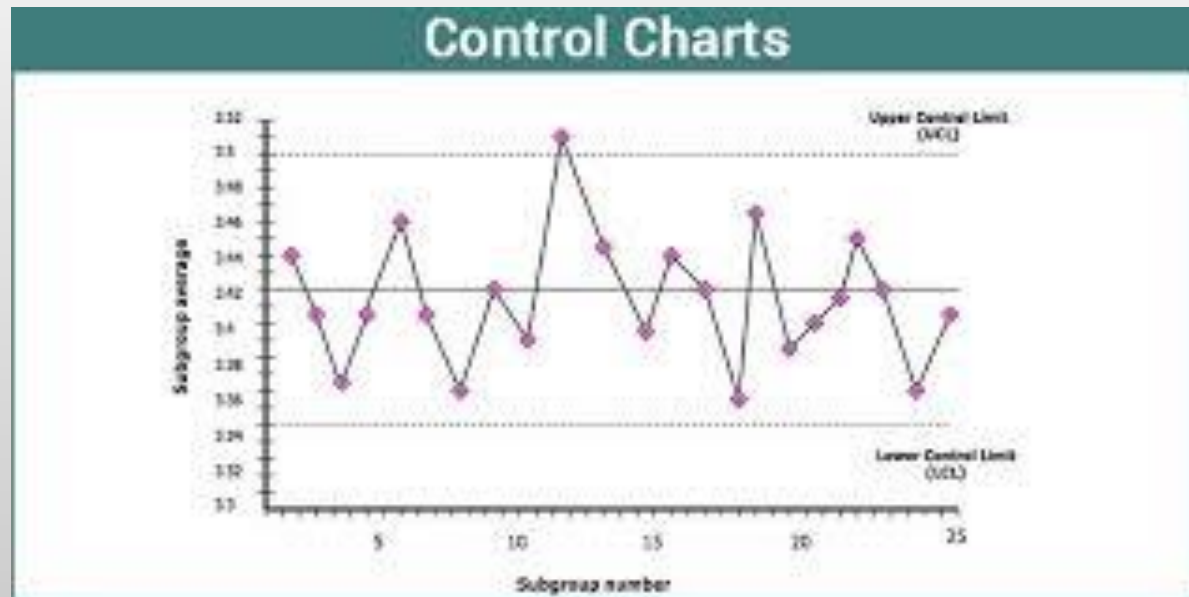
Figure II.3: Elements of Control Charts

Control Estadístico del Proceso SPC



Capítulo II – Gráficas de Control.

- A. Proceso para las Gráficas de Control
- B. Definición de Señales “Fuera-de-Control”
- C. Formulas para Gráficas de Control



Sección A Proceso para las Gráficas de Control



Define la característica.

La característica debe ser operacionalmente definida de manera que los resultados puedan ser comunicados a todos los interesados en formas que tengan el mismo significado hoy como ayer. Esto involucra el especificar qué información es recolectada, dónde, cómo, y bajo qué condiciones.

Define el sistema de medición.

La variabilidad total de proceso consiste de la variabilidad parte-a-parte y de la variabilidad del sistema de medición. Es muy importante evaluar el efecto de la variabilidad del sistema de medición sobre la variabilidad global del proceso y determinar si es aceptable. El desempeño de las mediciones debe ser predecible en términos de exactitud, precisión y estabilidad.

Sección A Proceso para las Gráficas de Control



Minimiza variaciones innecesarias.

Causas de variación innecesarias y externas, debieran ser reducidas antes de iniciar el estudio. Esto podría significar simplemente vigilar que el proceso es operado como se espera. El propósito es evitar problemas obvios que podrían y debieran ser corregidos sin el uso de gráficas de control. Esto incluye ajustes y sobrecontrol del proceso. En todos los casos, una bitácora de eventos del proceso puede mantenerse haciendo notar todos los eventos relevantes tales como, cambios de herramental, lotes de materias primas nuevos, cambios en los sistemas de medición, etc. Esto ayudaría en el análisis del proceso subsecuente.

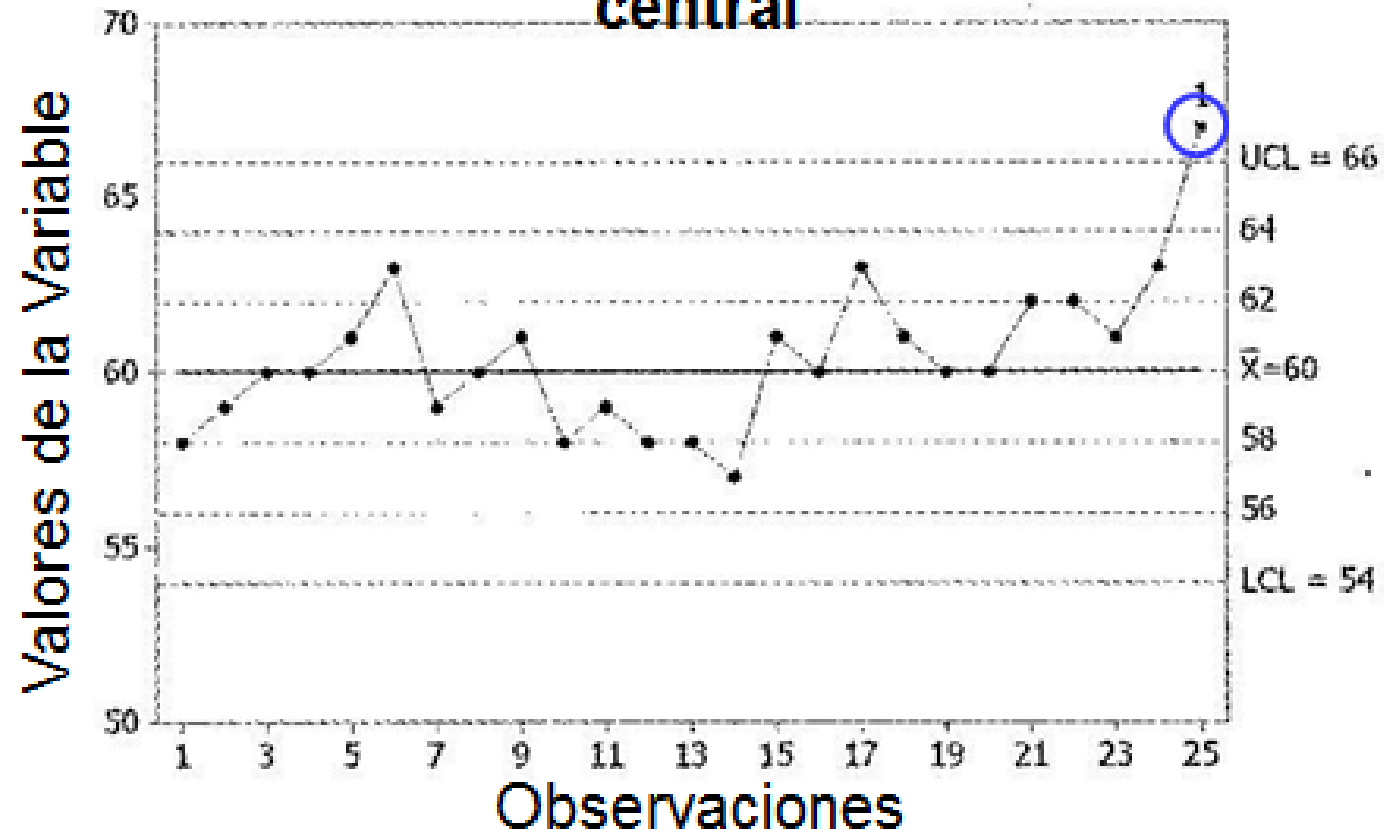
Asegura que el esquema de selección es apropiado para detectar causas especiales esperadas.

Sección B

Definición de Señales “Fuera-de-Control”



1- 1 punto más allá de 3 sigma de la línea central

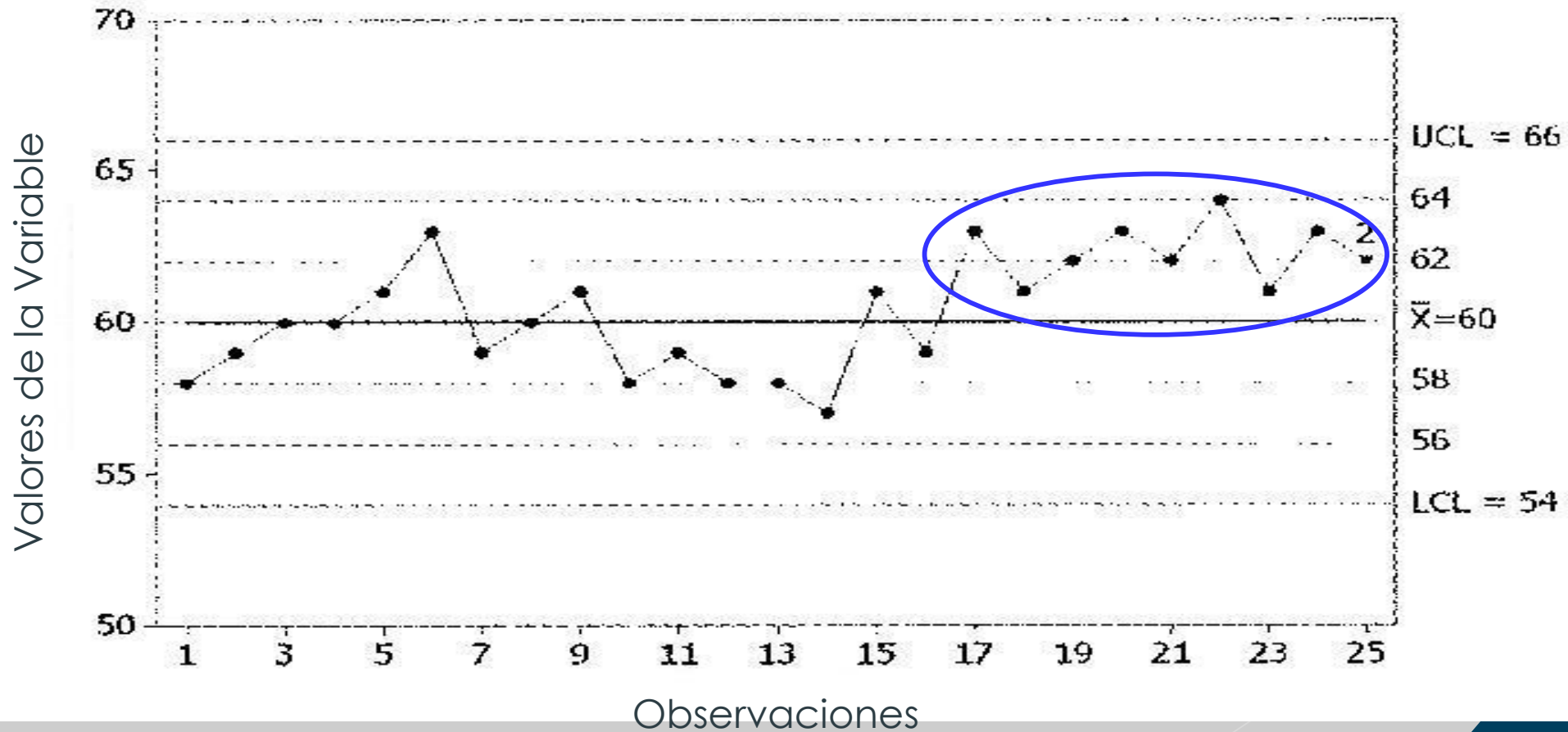


Sección B

Definición de Señales “Fuera-de-Control”



2- 9 Puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central

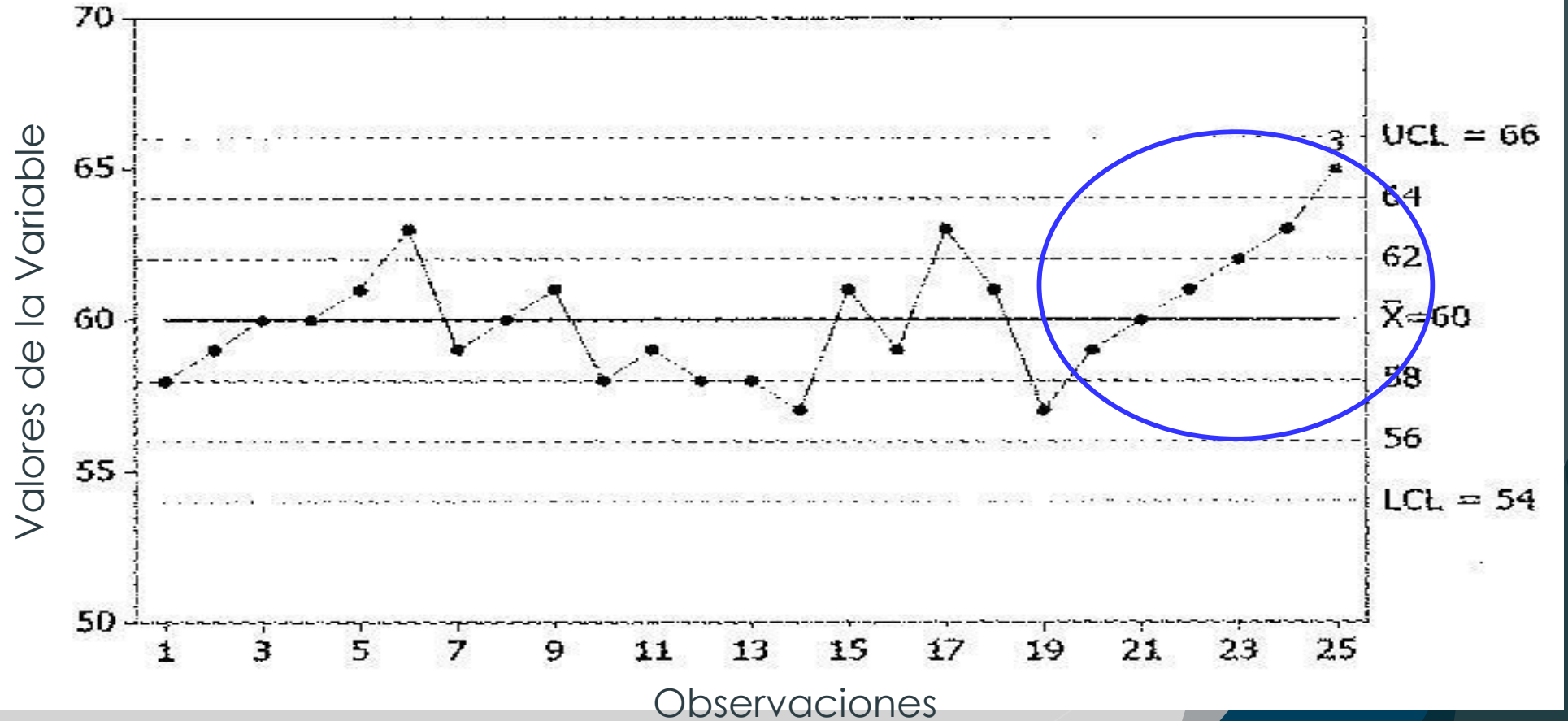


Sección B

Definición de Señales “Fuera-de-Control”



3- 6 Puntos consecutivos todos crecientes ó decrecientes

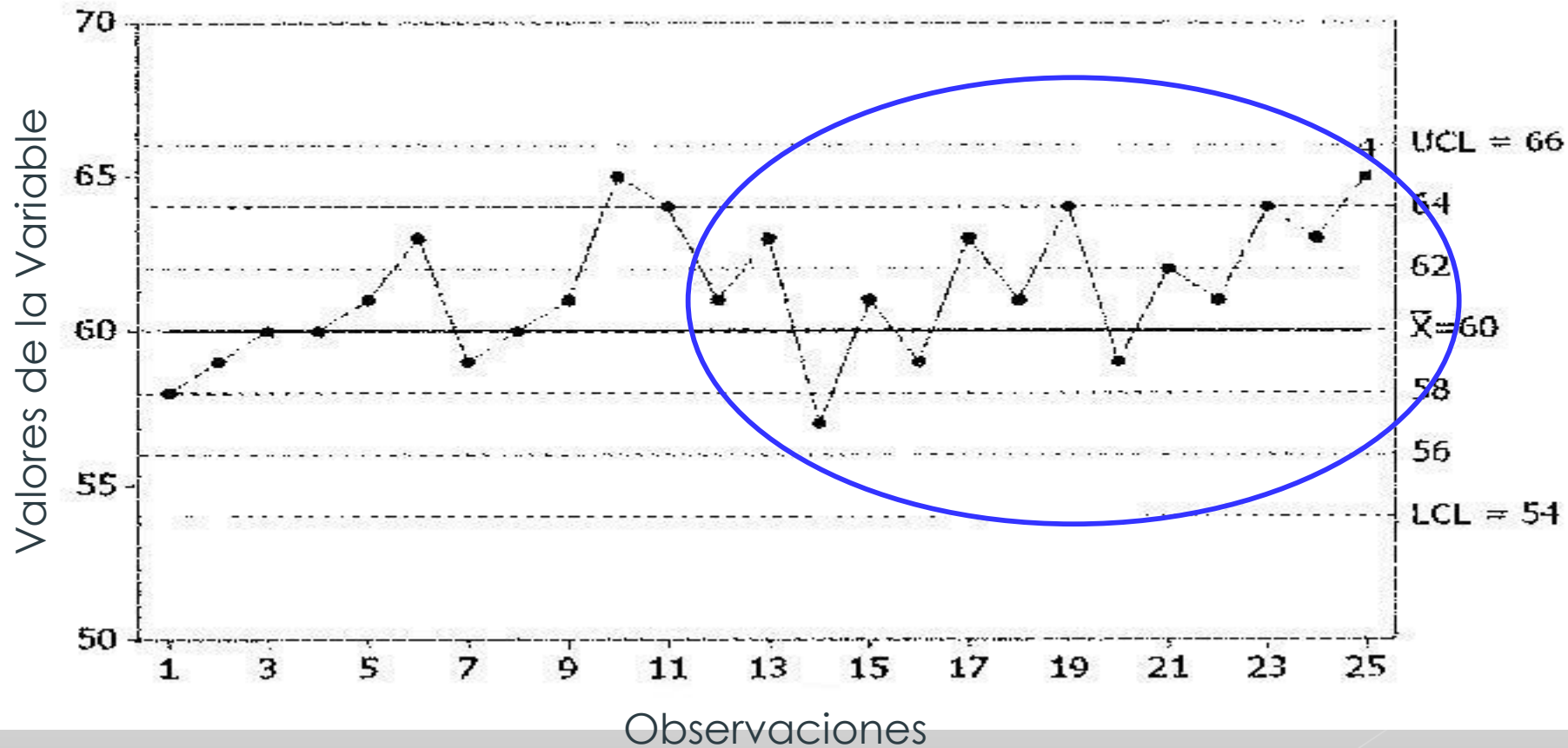


Sección B

Definición de Señales “Fuera-de-Control”



4- 14 Puntos consecutivos alternando hacia arriba y hacia abajo

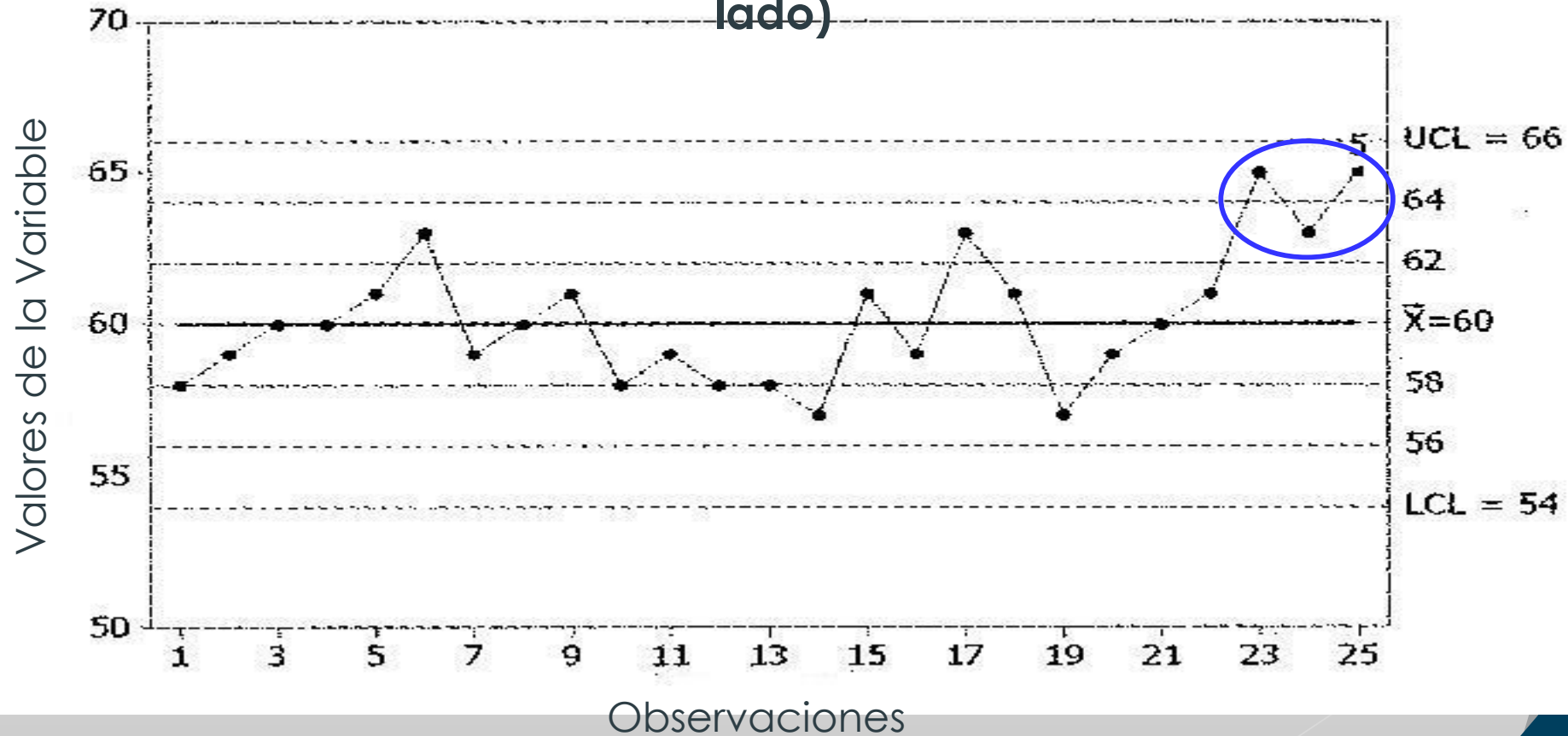


Sección B

Definición de Señales “Fuera-de-Control”



5- 2 de 3 puntos más allá de 2 desviaciones de la línea central (mismo lado)

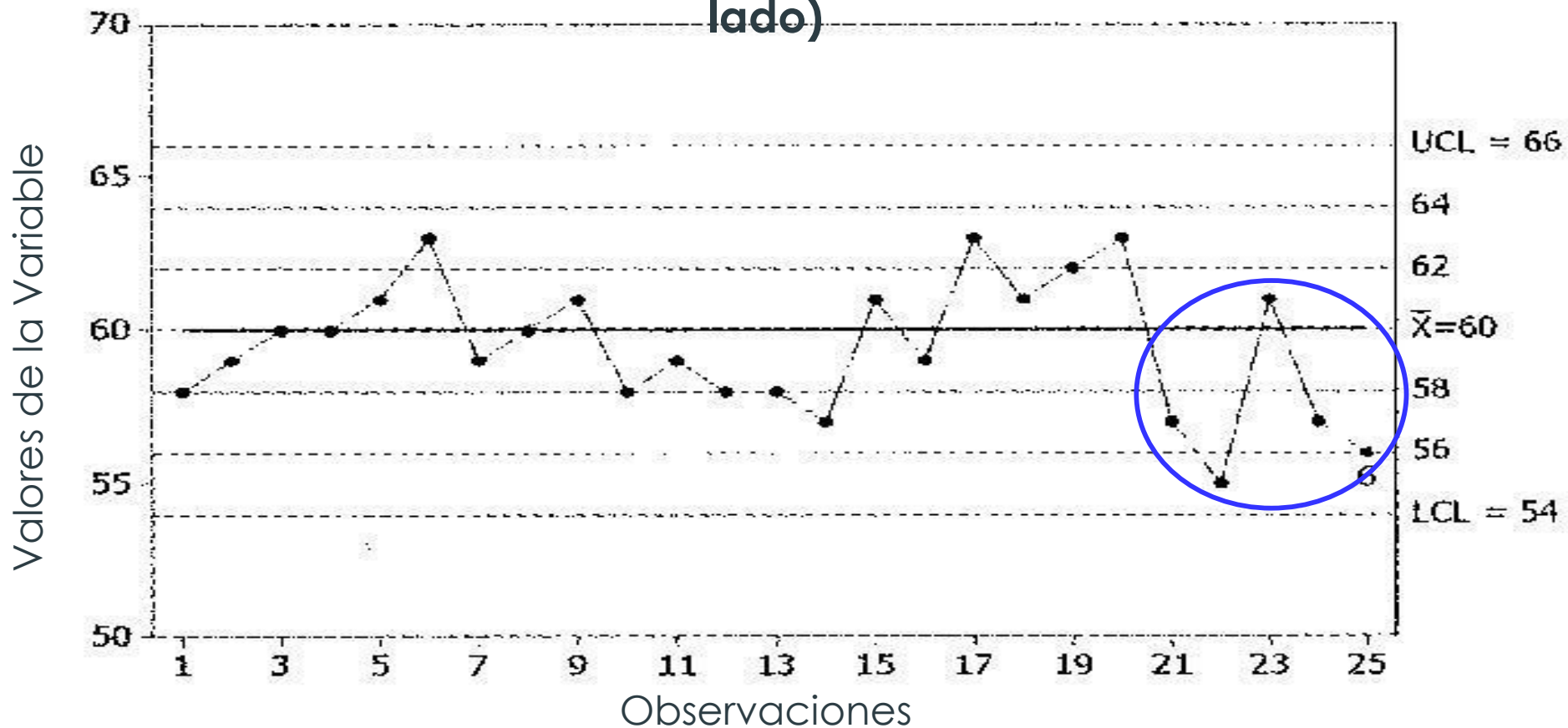


Sección B

Definición de Señales “Fuera-de-Control”



6- 4 de 5 puntos más allá de 1 desviación de la línea central (mismo lado)

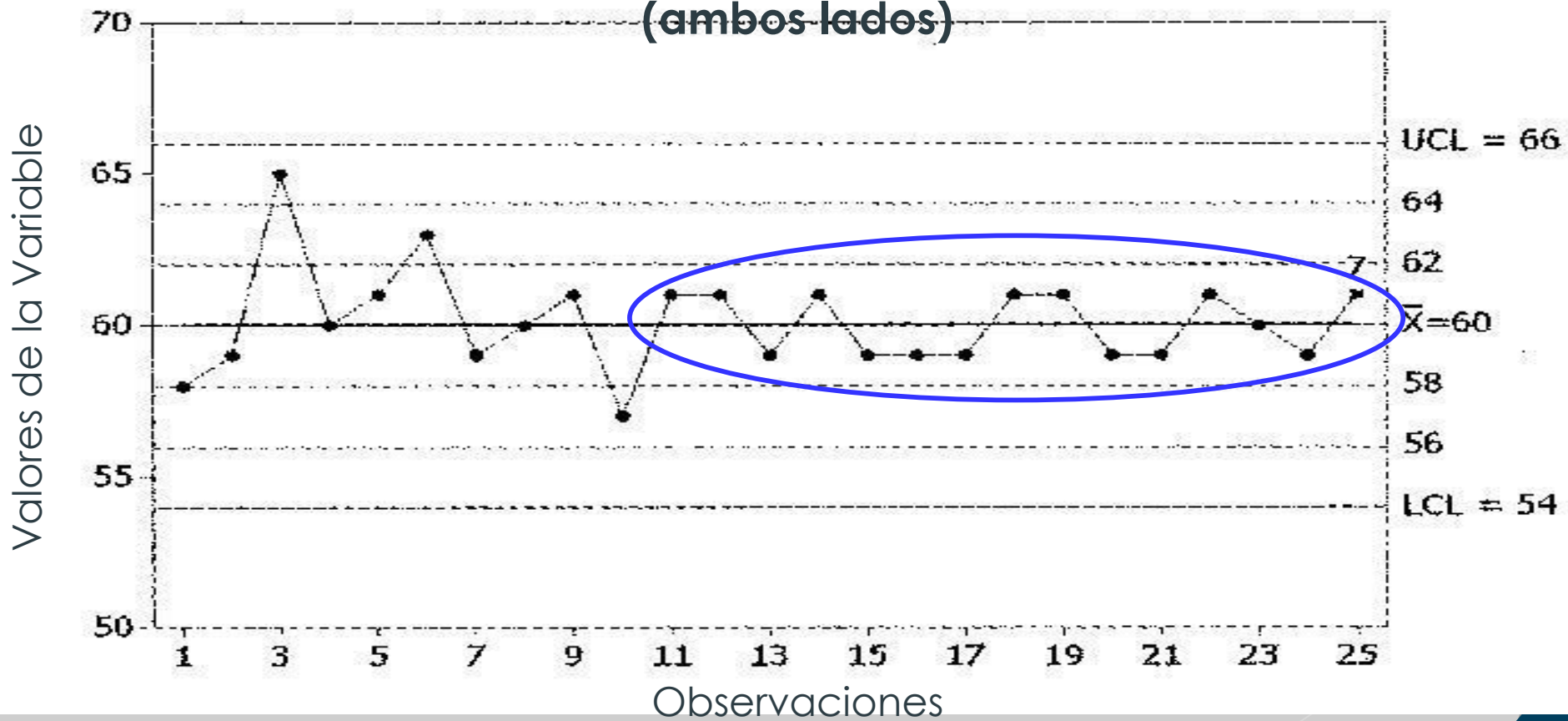


Sección B

Definición de Señales “Fuera-de-Control”



7- 15 puntos consecutivos dentro de 1 desviación de la línea central
(ambos lados)

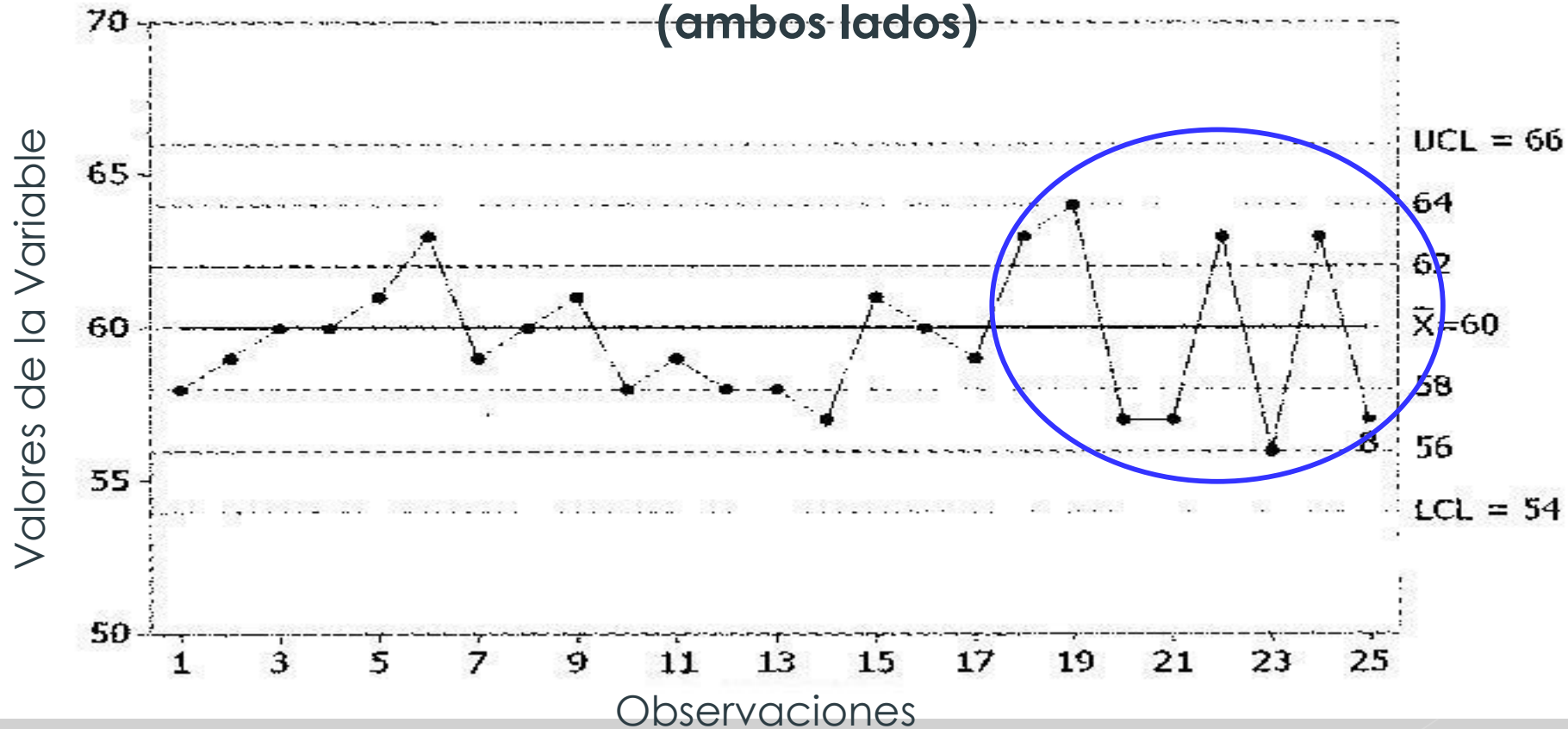


Sección B

Definición de Señales “Fuera-de-Control”



8- 8 Puntos consecutivos más allá de 1 desviación de la línea central
(ambos lados)





Crterios para Causas Especiales

Existen varios criterios para identificar causas especiales (ver tabla abajo y AT&T (1984)). Las más comúnmente usadas son las discutidas anteriormente. La decisión de qué criterios usar depende del proceso a ser estudiado/controlado.

Resumen de Criterios Típicos para Causas Especiales	
1	1 punto más allá de 3 desviaciones estándar ²¹ de la línea central
2	7 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central
3	6 puntos consecutivos, todos crecientes ó todos decrecientes
4	14 puntos consecutivos, alternando arriba y abajo
5	2 de 3 puntos > 2 desviaciones estándar de la línea central (mismo lado)
6	4 de 5 puntos > 1 desviación estándar de la línea central (mismo lado)
7	15 puntos consecutivos dentro de 1 desviación estándar de la línea central (ambos lados)
8	8 puntos consecutivos > 1 desviación estándar de la línea central (ambos lados)

Table II.1

Sección C

Fórmulas para Gráficas de Control



Verificación de cálculos para las gráficas:

- X-R (Promedios y Rangos)
- X-MR (Lecturas Individuales)
- X-s (Promedios y Desviaciones Estándar)

Pág 70 del Manual SPC

Sección C

Fórmulas para Gráficas de Control



Verificación de cálculos para las gráficas:

- p (Defectivos)
- np (Defectivos)
- c (Defectos)
- u (Defectos)

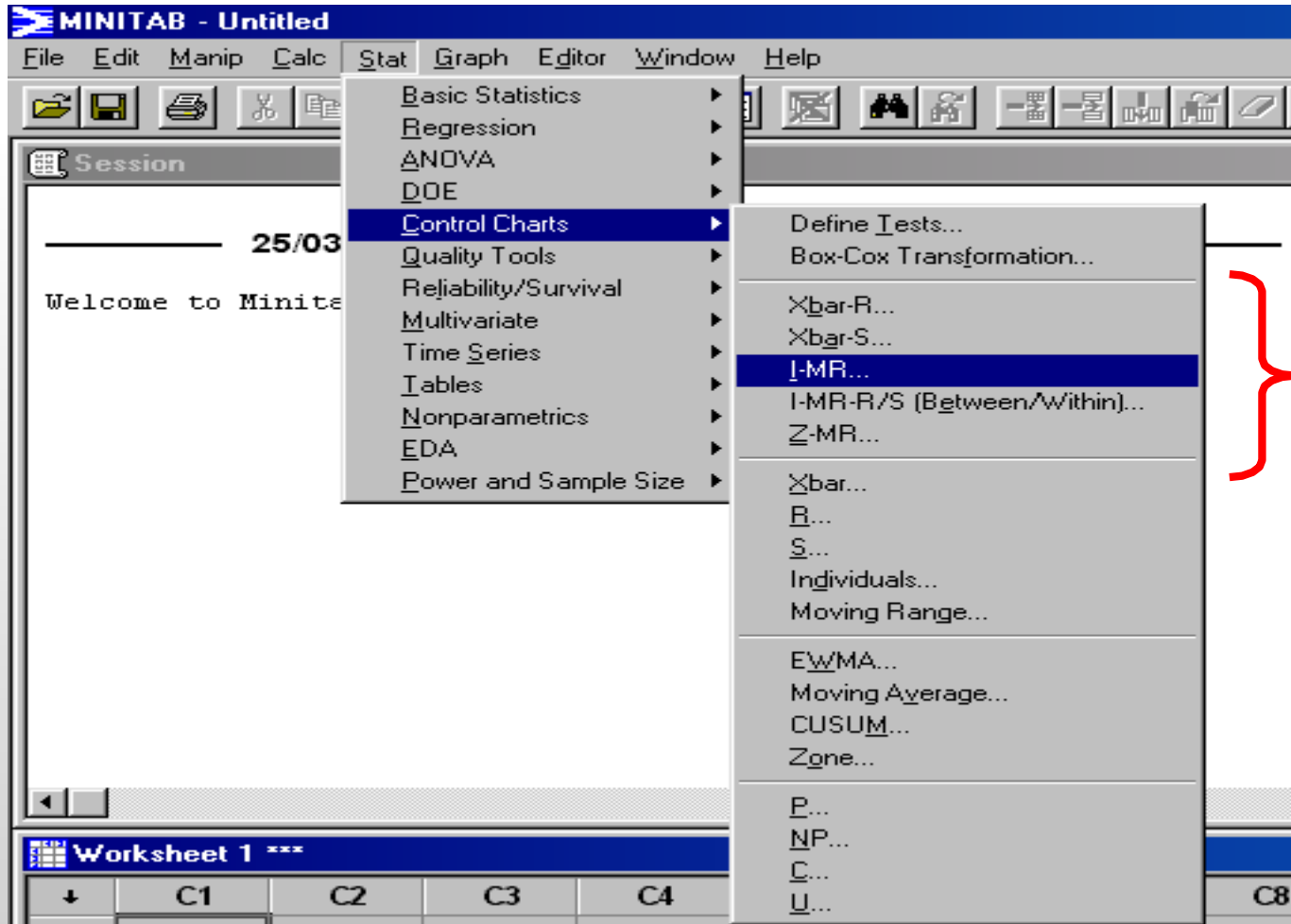


Gráfica I-MR

Los gráficos de control por variables pueden también construirse para observaciones individuales procedentes de la línea de producción. Esto puede resultar necesario cuando el considerar muestras de tamaño mayor que 1 resulte demasiado caro, inconveniente, o imposible. En este procedimiento de control se emplea el rango móvil de dos observaciones sucesivas para estimar la variabilidad del proceso.



Es más fácil usando Minitab:



Aquí encontramos
gráficas de control para datos
variables...



Gráfica Xbarra-S

Es un gráfico de control para desviaciones estándar muestrales. Por tanto, podemos usar los gráficos S para estudiar la variabilidad del proceso y detectar la posible existencia de causas especiales. Resulta habitual utilizar los gráficos S para muestras de tamaño superior a 10, utilizando los gráficos R en caso contrario.



Gráfica Xbarra-R

Un gráfico X-barra contiene las medias muestrales de la característica que se pretende estudiar, por lo que mediante él podremos detectar posibles variaciones en el valor medio de dicha característica durante el proceso (desviaciones con respecto al objetivo). Un gráfico R es un gráfico de control para rangos muestrales. Se utiliza para medir la variación del proceso y detectar la posible existencia de causas especiales. Es habitual usar los gráficos R para estudiar la variación en muestras de tamaño no superior a 10, recurriendo a los gráficos S para muestras mayores.

GRAFICOS POR ATRIBUTOS



Estas gráficas de control usan datos categóricos y las probabilidades relacionadas a las categorías para identificar la presencia de causas especiales. El análisis de datos categóricos por estas gráficas generalmente utiliza distribuciones binomiales o de Poisson aproximadas en una forma normal. Son usadas para el rastreo de partes no aceptables identificando productos no conformes y no conformidades dentro de un producto mismo

GRAFICOS POR ATRIBUTOS

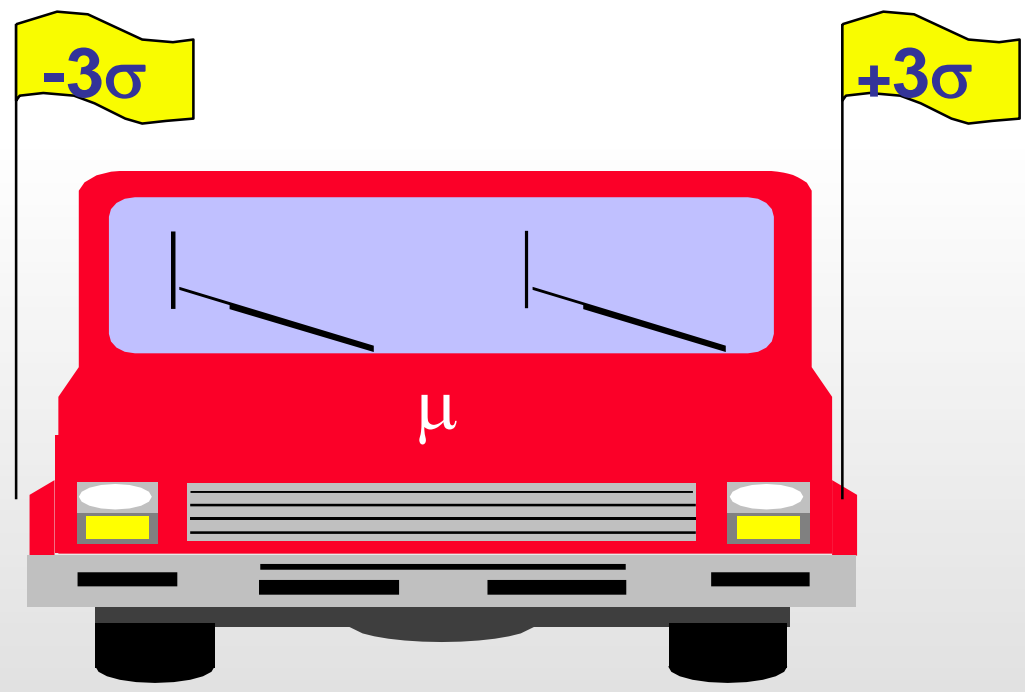
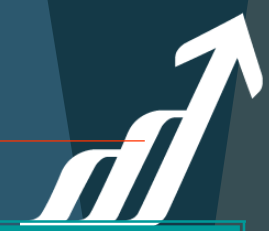


- ▶ gráfico P es un gráfico de control del porcentaje o fracción de unidades defectuosas (cociente entre el número de artículos defectuosos en una población y el número total de artículos de dicha población).
- ▶ gráfico NP Este tipo de gráficos permite tanto analizar el número de artículos defectuosos como la posible existencia de causas especiales en el proceso productivo. Los principios estadísticos que sirven de base al diagrama de control NP se basan en la distribución Binomial:

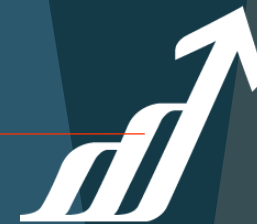


GRAFICOS POR ATRIBUTOS

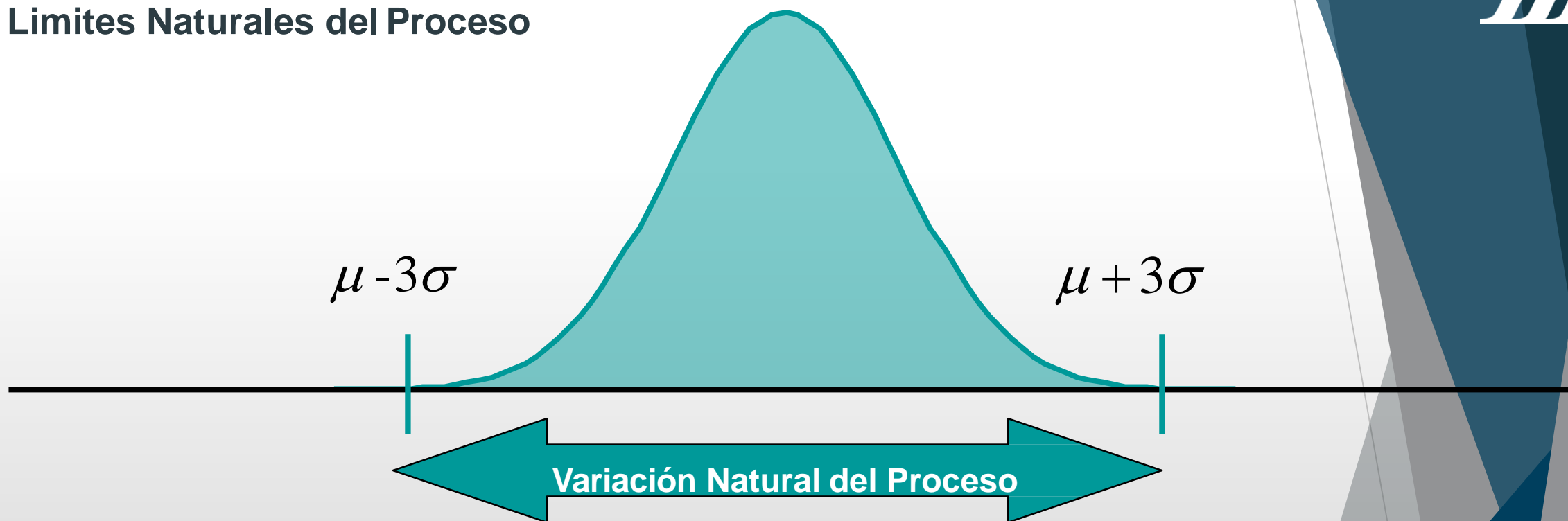
- ▶ El diagrama C está basado en el número total de defectos (o no conformidades) en la producción. Los principios estadísticos que sirven de base al diagrama de control C se basan en la distribución de Poisson:
- ▶ El diagrama U está basado en el número de defectos por unidad de inspección producida. Los principios estadísticos que sirven de base al diagrama de control U se basan en la distribución de Poisson



Capacidad Del Proceso



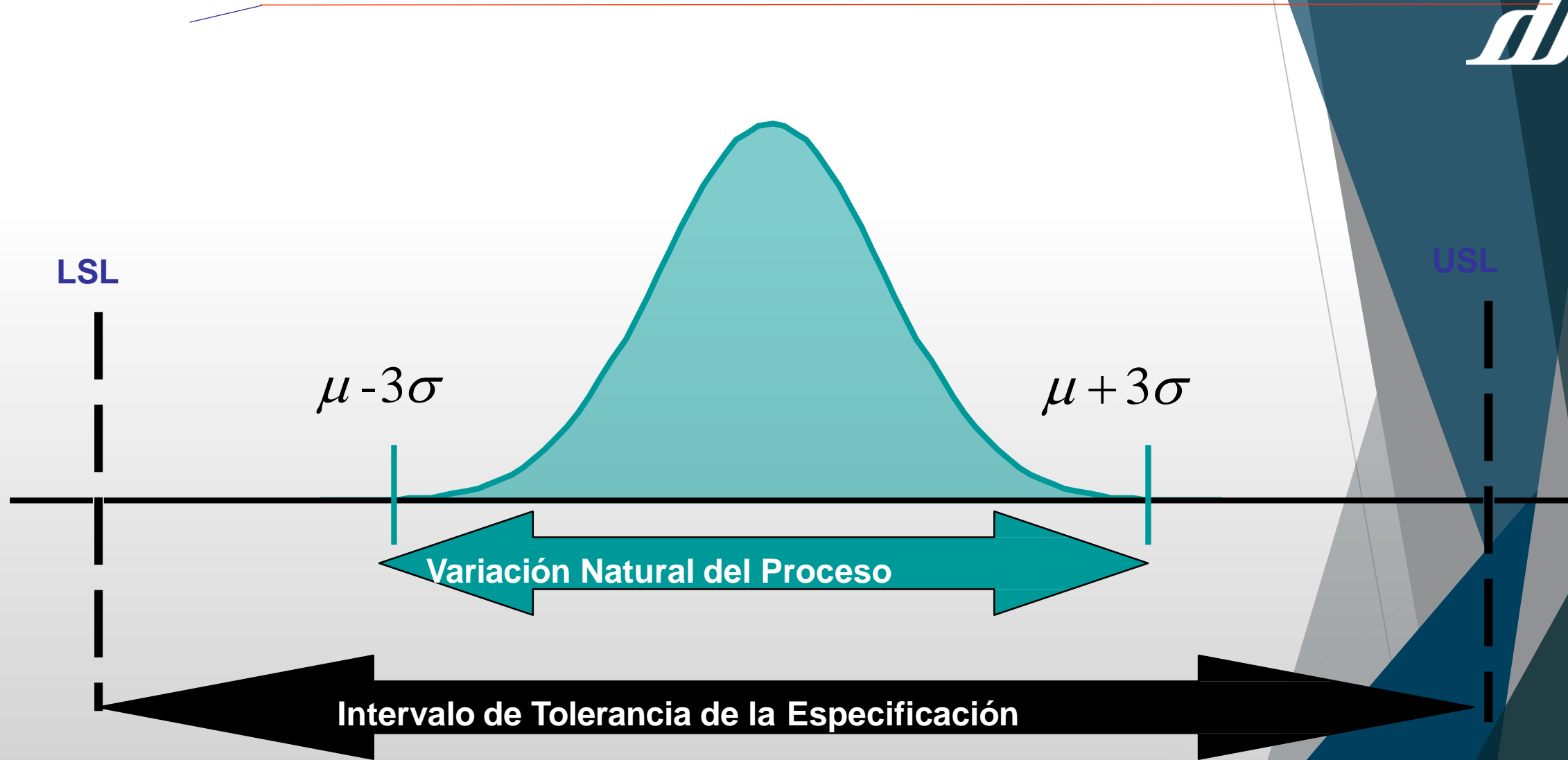
Los Limites Naturales del Proceso



Los valores individuales del proceso varían naturalmente por $\pm 3\sigma$ alrededor de la media del proceso. Los límites inferiores y superiores de esta variación son “Limite Natural del Proceso Inferior” (LNPL) y “Limite Natural del Proceso Superior” (UNPL), respectivamente.



El Limite Inferior (LSL) y el Limite Superior (USL) de la Especificación definen la variación máxima de tolerancia que el cliente espera ver. La distancia entre los dos limites se llama el Intervalo de Tolerancia de la Especificación.



LSL

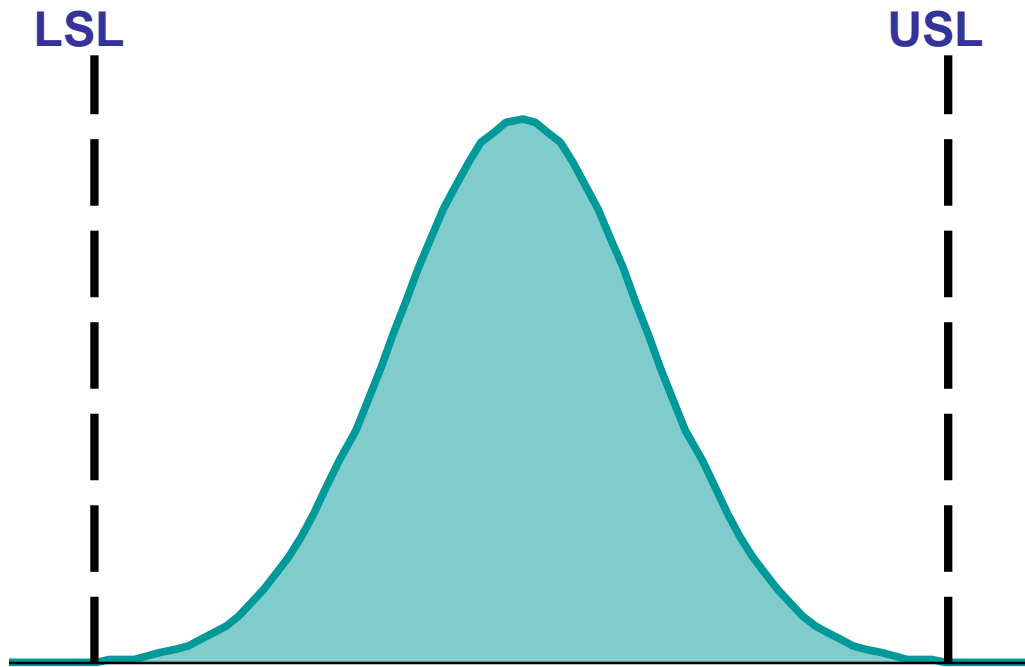
USL

$\mu - 3\sigma$

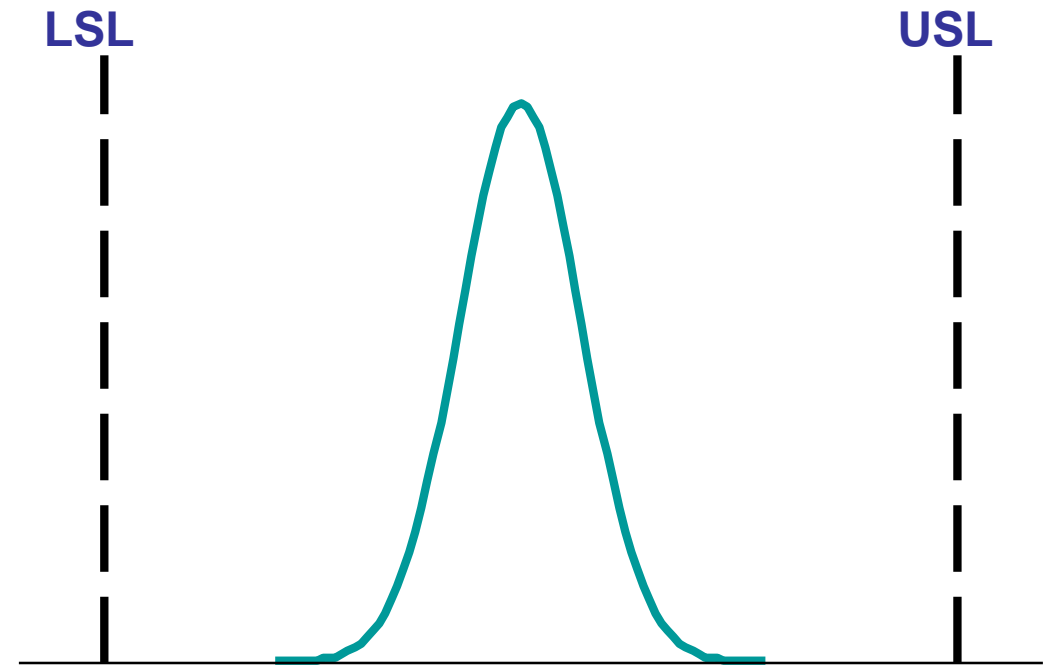
$\mu + 3\sigma$

Variación Natural del Proceso

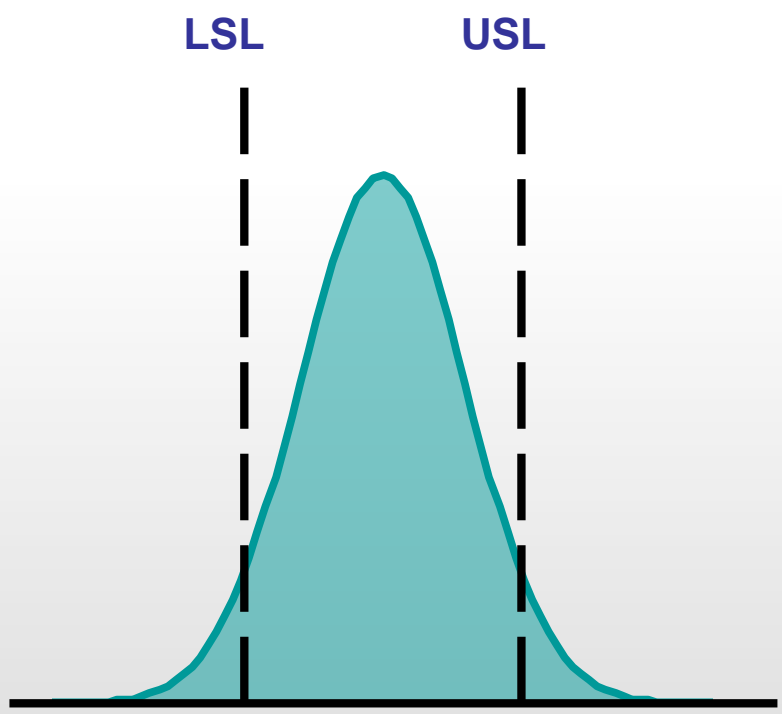
Intervalo de Tolerancia de la Especificación



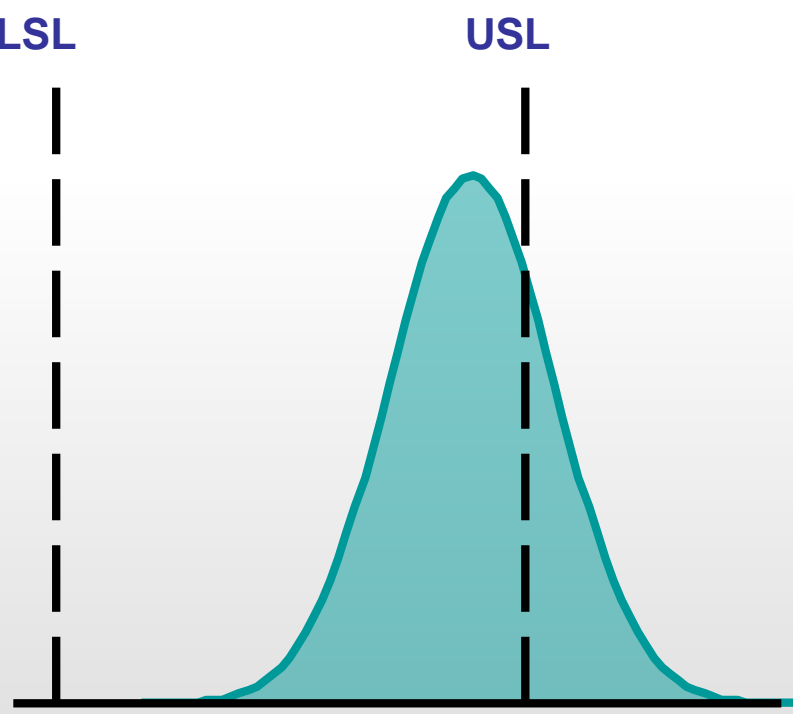
El proceso es apenas capaz mientras se quede centrado dentro de los límites de especificación.



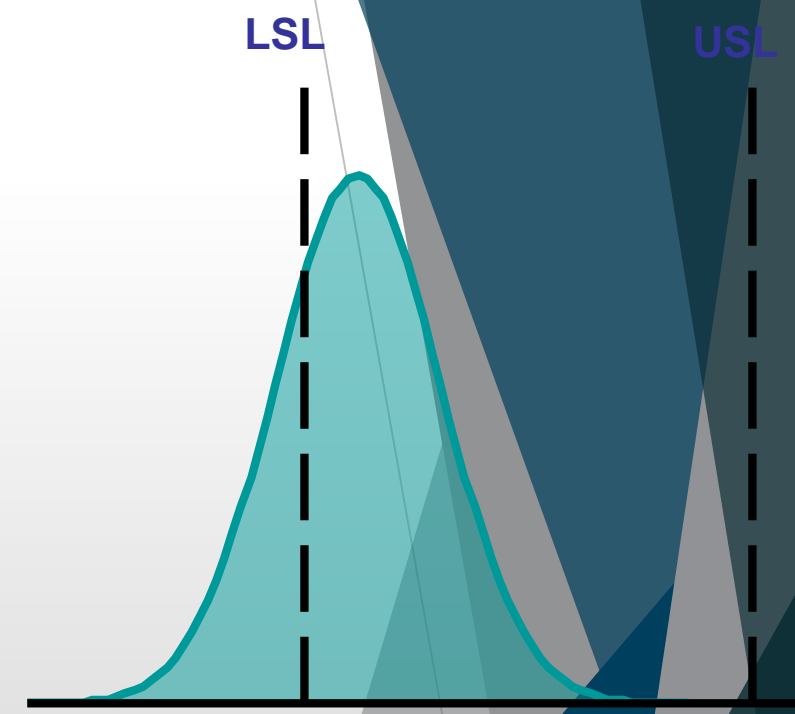
El proceso es capaz y se mantendrá así, aún si el promedio es movido. Tiene espacio suficiente para moverse.



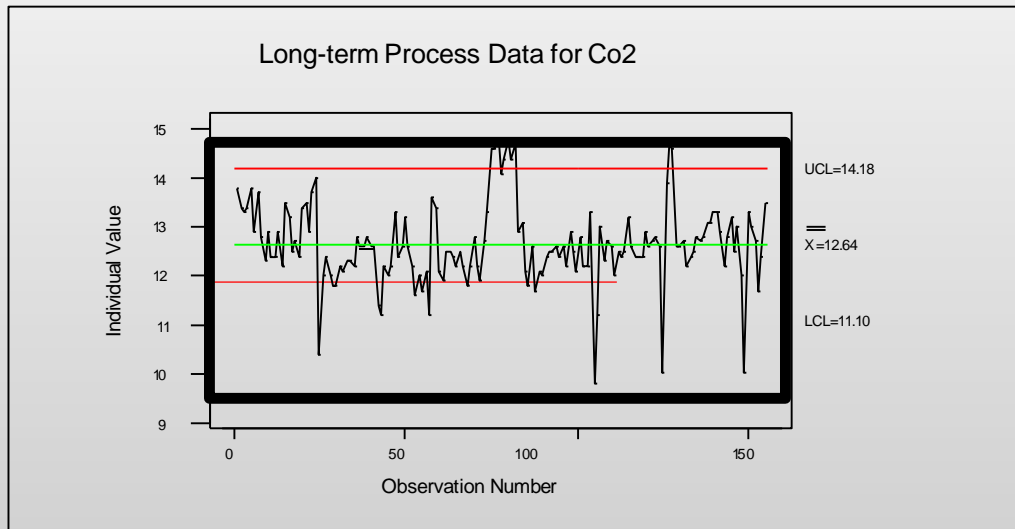
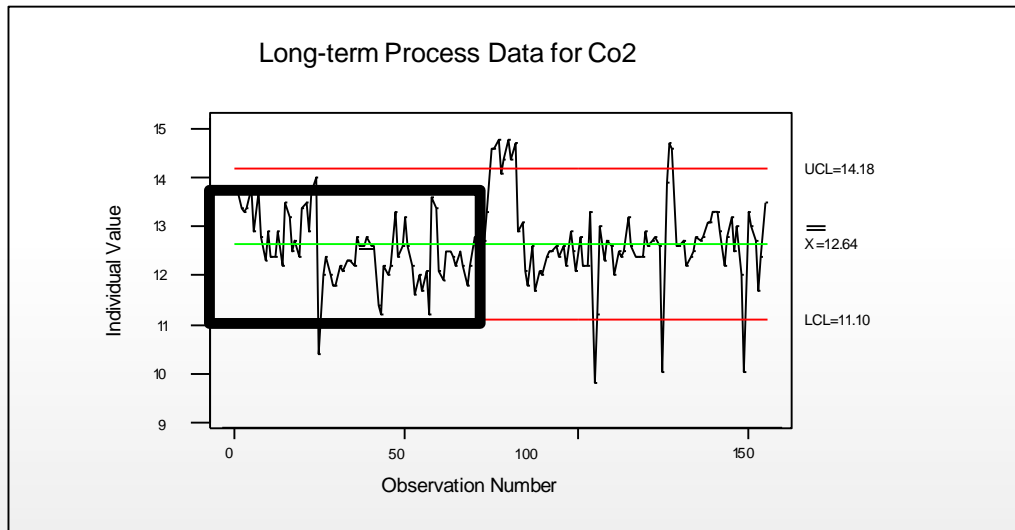
El producto está fuera de los límites USL y LSL.



El producto está arriba del USL.

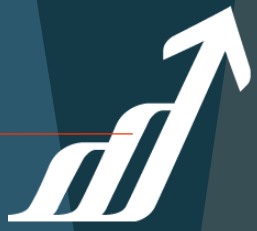


El producto está por debajo del LSL.



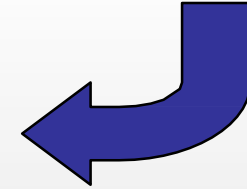
- Un estudio a corto plazo cubre un período relativamente pequeño durante el cual las fuentes ajenas de variación han sido excluidas. (Guía: de 30-50 puntos de datos)
- Un estudio a largo plazo cubre un período mas largo durante el cual hay más probabilidad que el proceso se desvíe. (Guía: de 100-200 puntos de datos)

Proporción de Capacidad, CP



$$CP = \frac{\text{La Voz del Cliente}}{\text{La Voz del Proceso}} = \frac{USL - LSL}{3\sigma - (-3\sigma)}$$

$$C_P = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$



- C_p toma en consideración solo la difusión del proceso
- Valores Típicos:
 - Marginal, $C_p = 1$
 - Bueno, $C_p = 1.67$
 - 6 Sigma, $C_p = 2$



C_p: Este es un índice de habilidad. Compara la habilidad del proceso con la variación máxima permitida como se indica por la tolerancia. Este índice ofrece una medida de que tan bien el proceso satisface los requerimientos de variabilidad.

$$C_p \text{ se calcula por } C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_c} = \frac{USL - LSL}{6\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)}$$

C_p no es impactado por la localización del proceso. Este índice puede solo ser calculado para tolerancias de dos lados (bilaterales).

Proporciones de Capacidad de Un Solo Lado



$$C_{PU} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}$$

$$C_{PL} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}$$

- Si un proceso tiene una sola especificación (USL o LSL), se debe calcular una proporción de capacidad de un solo lado (C_{PU} o C_{PL}). Se considera la difusión del proceso y el lugar.
- Valores Típicos:
 - Marginal, C_{PU} o $C_{PL} = 1$
 - Bueno, C_{PU} o $C_{PL} = 1.33$
 - 6 Sigma, C_{PU} o $C_{PL} = 1.5$

Proporción de Capacidad Centrada,



$$C_{PK} = \text{Mínimo} (C_{PU}, C_{PL})$$

- Si la especificación es de dos lados, se puede calcular la relación de capacidad centrada. Es la más pequeña de C_{PU} y C_{PL} .
- Otra manera de calcular C_{PK} es de dividir la distancia de la media a la especificación más cercana (DNS) entre 3σ .

$$C_{PK} = \frac{DNS}{3\sigma}$$



Cpk: este es un índice de habilidad. Toma en cuenta la localización del proceso así como la habilidad. Para tolerancias bilaterales Cpk siempre será menor o igual a Cp.

$$C_{pk} \leq C_p$$

C_{pk} será igual a C_p sólo si el proceso está centrado.

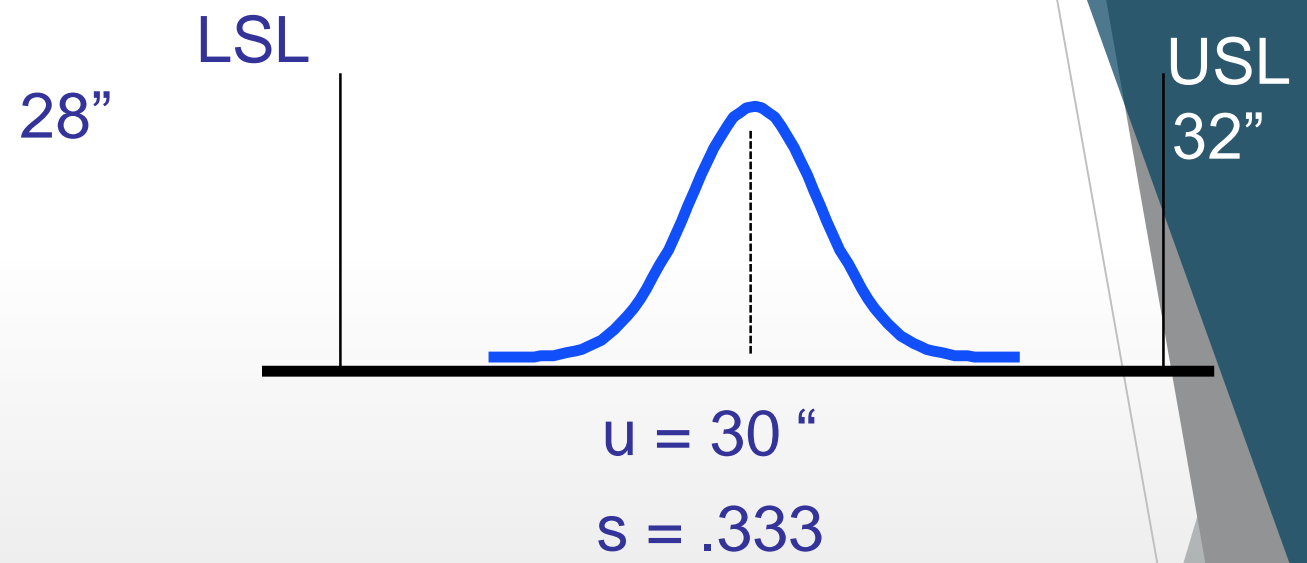
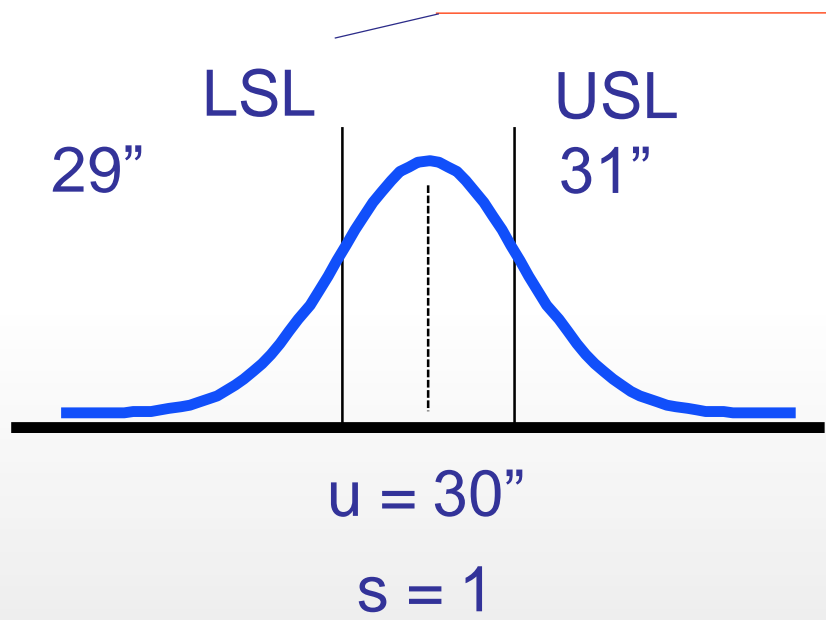
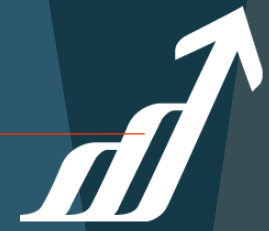
C_{pk} se calcula como el valor mínimo de CPU ó CPL donde:

$$CPU = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_c} = \frac{USL - \bar{X}}{3\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)}$$

y

$$CPL = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_c} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)}$$

C_{pk} y C_p debieran ser siempre evaluados y analizados en conjunto. Un valor de C_p significativamente mayor que su correspondiente C_{pk} indica oportunidad del mejoramiento para el centrado del proceso.



$$C_p = \frac{|USL - LSL|}{6\sigma}$$

$C_p = C_{pk} = 0.33$

$C_p = C_{pk} = 2.0$



P_p: Este es un índice de desempeño. Compara el desempeño del proceso con la máxima variación permitida como se indique por la tolerancia. Este índice ofrece una medida de que tan bien el proceso satisface los requerimientos de variabilidad P_p se calcula por

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_p} = \frac{USL - LSL}{6s}$$

P_p no es impactado por la localización del proceso.



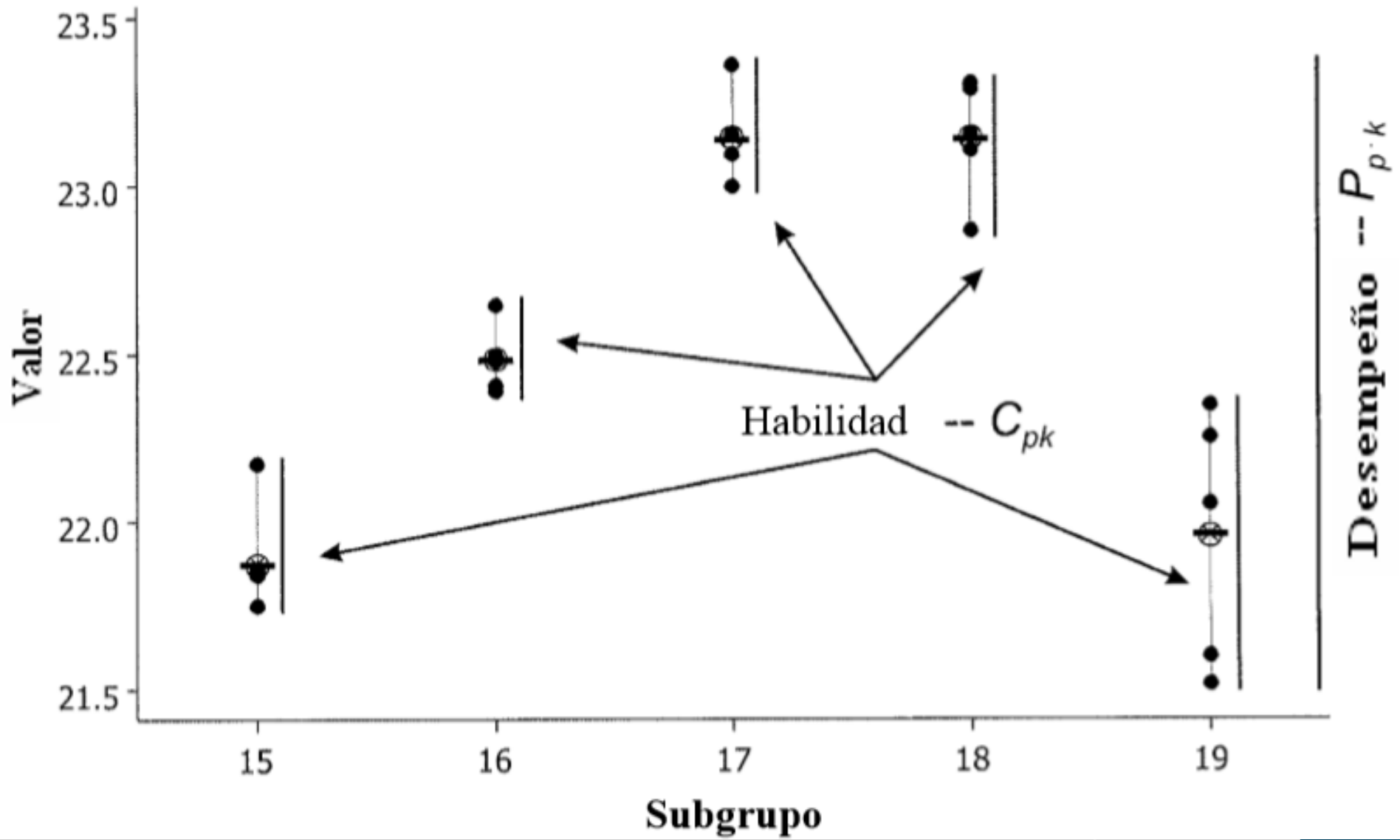
Ppk: es un índice de desempeño. Toma en cuenta la localización del proceso así como el desempeño. Para tolerancias bilaterales Ppk siempre será menor o igual que PP. Ppk será igual a Pp solo si el proceso está centrado.

$$P_{pk} \leq P_p$$

P_{pk} es calculado como el valor mínimo de PPU ó PPL donde:

$$PPU = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3\sigma_p} = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3s} \quad \text{y}$$

$$PPL = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3\sigma_p} = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3s}$$





Preparación para el análisis de capacidad

Al comenzar la medición o control de un parámetro, siempre se debe:

- Calibrar el sistema de medición (salvo que se haya hecho recientemente).
 - Use una norma del NIST (National Institute of Standards and Technology)
 - Un técnico capacitado.
- Realizar un análisis del sistema de medición (MSA)
 - Grupo de piezas reales (utilice piezas de los límites superior e inferior del intervalo de tolerancia, incluso piezas rechazadas).
 - Grupo de operadores de máquinas reales.
 - Varias tandas 'ciegas' y aleatorias.
- El proceso debe estar controlado estadísticamente.



Un fabricante de motores utiliza un proceso de forjado para producir anillos para pistón. El proceso de forjado está bajo control, y ahora los ingenieros de calidad desean evaluar la capacidad del proceso. Reúnen veinticinco muestras de cinco anillos para pistón. Los límites de especificación para el diámetro del anillo para pistón son 74.0 ± 0.05 .

Diámetro				
74.030	74.009	73.994	74.000	73.982
74.002	73.994	73.998	73.984	74.001
74.019	73.997	73.994	74.005	74.015
73.992	73.985	73.995	73.998	74.005
74.008	73.993	73.990	73.996	73.996
73.995	73.995	74.004	73.994	74.004
73.992	74.006	74.000	74.012	73.999
74.001	73.994	74.007	73.986	73.990
74.011	74.000	74.000	74.005	74.006
74.004	74.005	73.996	74.007	74.009
73.988	73.985	73.983	74.006	74.010
74.024	74.003	74.002	74.010	73.989
74.021	73.993	73.998	74.018	73.990
74.005	74.015	73.997	74.003	74.009
74.002	73.988	74.012	74.000	74.014
74.002	74.008	74.006	73.984	74.015
73.996	73.995	73.967	74.002	74.008
73.993	74.009	73.994	74.003	73.993
74.015	74.005	74.000	74.005	74.000
74.009	74.004	73.984	73.997	74.010
73.992	73.998	74.012	74.000	73.982
74.007	74.000	74.014	74.010	73.984
74.015	73.990	73.998	74.013	73.995
73.989	74.007	73.999	74.020	74.017
74.014	73.995	74.007	74.003	74.013

d (distribución normal)

Los datos están organizados como

Columna individual:

Tamaño del subgrupo:

(utilizar una constante o una columna de ID)

Subgrupos en las filas de:

Espec. inferior:

Límite

Espec. superior:

Límite

Media histórica:

(opcional)

Desviación estándar histórica:

(opcional)

Aceptar

Cancelar

Transformar...

Estimar...

Opciones...

Almacenamiento...

Análisis de capacidad (distribución normal) - Opciones

Objetivo (agrega Cpm a tabla):

Usar la tolerancia de $K \cdot \sigma$ para estadísticas de capacidad $K =$

Ejecutar análisis

Análisis dentro de subgrupos

Análisis general

Mostrar

Partes por millón

Porcentajes

Estadísticas de capacidad (Cp, Pp)

Valor Z de referencia (nivel sigma)

Incluir intervalos de confianza

Nivel de confianza:

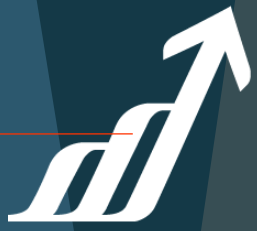
Intervalos de confianza:

Título:

Ayuda

Aceptar

Cancelar



Examine las curvas para ver cuán cerca están entre sí. Una diferencia sustancial entre las curvas dentro de y general puede indicar que el proceso está **fuera de control** o que hay fuentes de variación que el componente dentro de no estimó. Para los datos sobre pistones, las curvas dentro de y general están alineadas estrechamente.

- Objetivo, y límites de especificación **inferior** y **superior** representados por líneas verdes y rojas verticales de trazo interrumpido en el histograma. Compare las barras del histograma con las líneas para determinar:
 - Si las mediciones están centradas en el objetivo
 - Si las mediciones se encuentran dentro de los límites de especificación

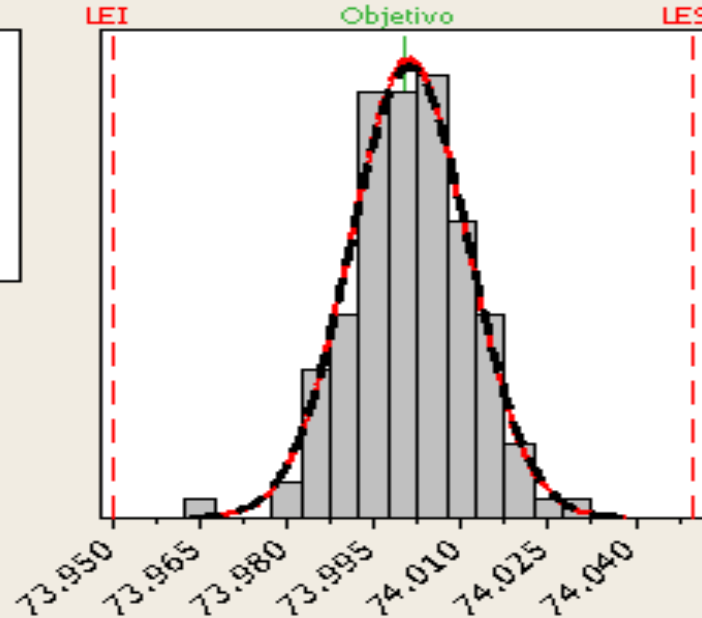


Salida de ejemplo

Datos

Capacidad de proceso de Diámetro

Procesar datos	
LEI	73.95
Objetivo	74
LES	74.05
Medida de la muestra	74.0012
Número de muestra	125
Desv.Est. (Dentro)	0.0100509
Desv.Est. (General)	0.0101989



—	Dentro de
—	General

Capacidad (dentro) del potencial	
Cp	1.66
CPL	1.70
CPU	1.62
Cpk	1.62

Capacidad general	
Pp	1.63
PPL	1.67
PPU	1.60
Ppk	1.60
Cpm	1.62

Desempeño observado	
PPM < LEI	0.00
PPM > LES	0.00
PPM Total	0.00

Exp. Dentro del rendimiento	
PPM < LEI	0.18
PPM > LES	0.59
PPM Total	0.77

Exp. Rendimiento general	
PPM < LEI	0.26
PPM > LES	0.85
PPM Total	1.11

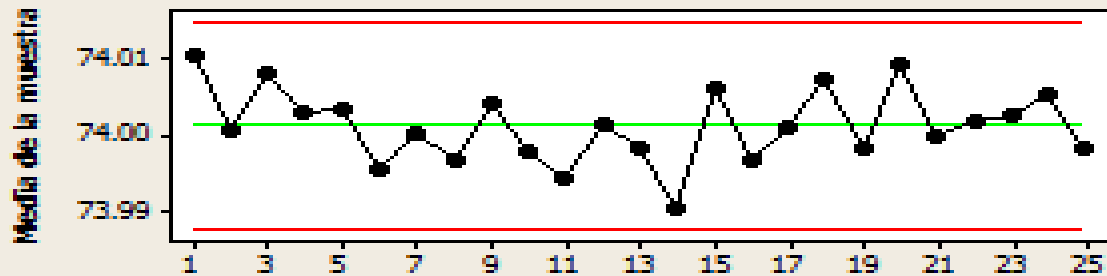
Interpretación

Más

Rev.04 - Sep.2015 Para los datos sobre pistones, el proceso está aproximadamente centrado en el objetivo y las mediciones se encuentran dentro del **intervalo de especificación**

Capacidad de proceso Sixpack de Diámetro

Gráfica Xbarra

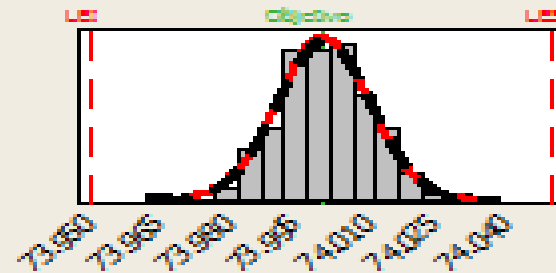


LCS=74.01466

$\bar{\bar{X}}=74.00118$

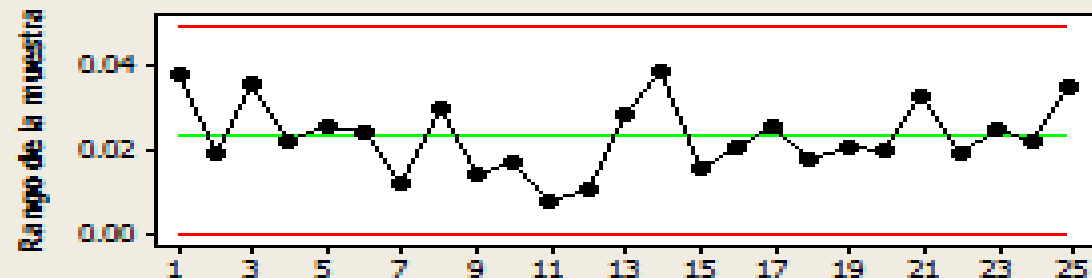
LCI=73.98769

Histograma de capacidad



Especificaciones	
LEI	73.95
Objetivo	74.00
LES	74.05

Gráfica R



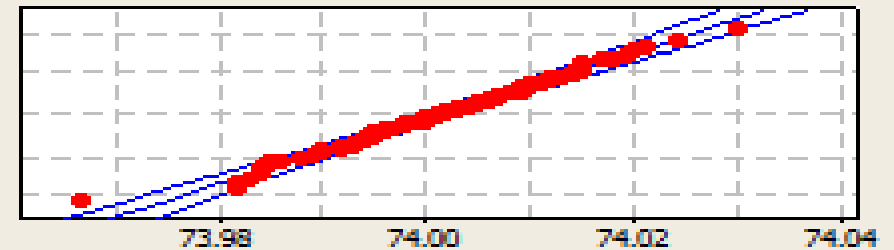
LCS=0.04943

$\bar{R}=0.02338$

LCI=0

Gráfica de prob. Normal

AD: 0.193, P: 0.892



Últimos 25 subgrupos



Gráfica de capacidad

Dentro	
Desv.Est.	0.01005
Cp	1.66
Cpk	1.62
PPM	0.77

Dentro de	
+	
General	
+	

General	
Desv.Est.	0.01020
Pp	1.63
Ppk	1.60
Cpm	1.62
PPM	1.11

Especificaciones	
+	
+	
+	