



Centro de
Especializaciones
Noeder



Florida
Global
University

Diplomado de Especialización

GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

CICLO REGULAR

MÓDULO VI

CLASE 2

**SIX SIGMA Y
CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

Ing. Paul Cirilo Flores



1. Fundamento Teórico: La Naturaleza del CTQ

En la metodología Six Sigma, un CTQ es el puente analítico que conecta las necesidades del mercado con las operaciones internas de la empresa. Teóricamente, un CTQ es la operacionalización de un requerimiento del cliente.

Para que un problema sea considerado "crítico para la calidad" y digno de un proyecto DMAIC, debe cumplir con tres axiomas fundamentales:

- **Debe ser directamente impactante para el cliente:** Si la variable falla, el cliente percibe un defecto inmediato, exige garantías, cancela el servicio o reduce su lealtad.
- **Debe ser cuantificable (Medible):** Un CTQ no puede ser un adjetivo (ej. "bonito", "seguro", "rápido"). Debe expresarse en una unidad de medida universal (tiempo, grados, milímetros, porcentaje, moneda).
- **Debe poseer Límites de Especificación:** Un CTQ requiere definir matemáticamente el punto exacto donde el producto deja de ser "bueno" y se convierte en "defecto". Esto se define mediante el Límite de Especificación Inferior (LSL) y el Límite de Especificación Superior (USL).



2. Proceso Estructurado para la Identificación de CTQs

La identificación de los CTQs no se hace por "lluvia de ideas" de la gerencia; se deriva de un proceso deductivo estricto que va de lo macro a lo micro.

Paso 1: Captura de la Voz del Cliente (VOC)

Es la recolección de los datos crudos. El cliente se expresa en su propio lenguaje, a menudo basado en emociones o percepciones.

Herramientas de captura: Encuestas NPS (Net Promoter Score), análisis de reclamos, entrevistas a profundidad, *Focus Groups* y auditorías de devoluciones.

Paso 2: Identificación de los Impulsores (Drivers)

Se toma el VOC ambiguo y se categoriza en los "Impulsores de Valor". Los Drivers son las categorías primarias en las que el cliente basa su decisión de compra o su percepción de calidad.

Ejemplos de Drivers: Confiabilidad, Velocidad de respuesta, Estética, Durabilidad, Precisión transaccional.

Paso 3: Traducción a Métricas CTQ

Es el paso de ingeniería. A cada Driver se le asigna uno o varios indicadores numéricos que la empresa puede monitorear en sus procesos internos.

Regla gerencial: Por cada CTQ definido, debe existir un método estandarizado para medirlo. Si no se puede medir con la tecnología o recursos actuales de la empresa, es un CTQ teórico, no práctico.



3. La Herramienta Analítica: El árbol CTQ

El Árbol CTQ es la representación gráfica de este proceso deductivo. En un proyecto Six Sigma, se exige este diagrama en el *Project Charter* para justificar por qué se eligió medir cierta variable.

Ejemplo aplicado a una Clínica de Urgencias:

- **VOC:** "Quiero que me atiendan rápido porque vengo con mucho dolor".
- **Driver (Necesidad):** Tiempos de espera mínimos y *Triage* eficiente.
- **CTQ 1:** Tiempo desde la recepción hasta la primera evaluación médica ≤ 15 minutos.
- **CTQ 2:** Tiempo total de estancia en urgencias ≤ 120 minutos para casos no críticos.



4. Anatomía de un CTQ Bien definido

Para que el CTQ sea aprobado en la fase "Definir" del ciclo DMAIC, debe documentarse con la siguiente estructura rígida:

- **Nombre de la métrica:** (Ej. Tiempo de resolución de tickets de soporte TI).
- **Unidad de medida:** (Ej. Horas cronológicas).
- **Dirección de la mejora:** (Ej. Cuanto menor sea el tiempo, mejor).
- **Valor Objetivo (Target):** (Ej. 4 horas).
- **Límites de Especificación:** (Ej. USL = 8 horas. No hay LSL porque un tiempo de 0 horas sería excelente).
- **Definición operativa del defecto:** (Ej. Cualquier ticket que permanezca abierto en el sistema de tickets por más de 8 horas y 1 minuto desde su creación).



DPMO

El DPMO es el indicador clave de desempeño (KPI) por excelencia en Six Sigma porque permite algo que la contabilidad tradicional no puede: **comparar la calidad de procesos completamente diferentes** (por ejemplo, comparar la tasa de errores en la emisión de facturas frente a la tasa de defectos en el ensamble de motores), estandarizando la complejidad de cada uno.

- **Unidad (U):** Es el objeto, servicio o transacción que está siendo procesado o evaluado por el cliente (ej. una factura, un automóvil, una llamada de servicio, un platillo de comida).
- **Defecto (D):** Es cualquier evento o característica física/operativa que **no cumple con un requerimiento del cliente (CTQ)**. Una sola unidad puede tener múltiples defectos.
- **Defectuoso:** Es la unidad entera que contiene uno o más defectos y, por lo tanto, es rechazada de manera integral.

Ejemplo: Si una factura tiene la fecha incorrecta y el monto equivocado, tenemos **1 unidad defectuosa**, pero **2 defectos**. El control tradicional mide "unidades defectuosas"; Six Sigma mide "defectos", porque cada defecto es una oportunidad de pérdida financiera y de insatisfacción.



Oportunidad

Una **oportunidad** es el número total de características críticas para la calidad (CTQs) en una sola unidad que pueden ser medidas y que corren el riesgo de fallar.

•**Peligro Gerencial (Inflación de Oportunidades):** No se deben contar todas las partes de un producto como oportunidades solo para hacer que el indicador "se vea mejor". Solo se cuentan los puntos de falla que realmente le importan al cliente (parámetros CTQ).

El DPMO calcula cuántos defectos ocurrirían si se repitiera el proceso un millón de veces, ajustándolo por el nivel de complejidad (número de oportunidades).

$$\text{DPMO} = (\text{Número Total de Defectos encontrados} / (\text{Unidades Inspeccionadas} * \text{Oportunidades por unidad})) * 1000000$$





Imaginemos que un banco evalúa su proceso de "**Apertura de Cuentas Digitales**" para un proyecto Six Sigma.

- **Unidades inspeccionadas (U):** 10,000 solicitudes de cuentas procesadas en el mes.
- **Oportunidades por unidad (O):** El equipo legal y de experiencia del cliente determina que hay **5 campos críticos** que si fallan, detienen el proceso (Nombre legal, Identificación oficial escaneada, RFC/Tax ID, Firma digital, y Correo validado).
- **Defectos encontrados (D):** Al auditar las 10,000 solicitudes, se encontraron un total de **350 errores** repartidos entre esos 5 campos.

Total de oportunidades creadas = $10,000 * 5 = 50,000$ oportunidades de error.

$$\text{DPMO} = 350 / 50000 * 1000000 = 7000 \text{ DPMO}$$



DPMO

El DPMO no es un indicador aislado; está conectado directamente con el **Nivel Sigma (Z)** del proceso. El nivel estadístico de "Six Sigma" se alcanza cuando un proceso genera únicamente **3.4 DPMO**, lo que equivale a un rendimiento (*Yield*) del **99.99966%**.

Si contrastamos el resultado de nuestro caso práctico (7,000 DPMO) con la tabla de conversión estándar de la industria (que asume un desplazamiento de la media de 1.5 sigma):

- 7,000 DPMO sitúa al banco en un nivel aproximado de **3.95 Sigma**.
- Si el banco estuviera en un nivel **3 Sigma** (calidad promedio industrial), tendría **66,807 DPMO**.
- La meta del proyecto Black Belt en el banco será diseñar una mejora para comprimir esos 7,000 DPMO hacia el estándar de excelencia.



DPMO

Nivel Sigma (Z)	Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO)	Rendimiento del Proceso (Yield %)	Costo de la No Calidad Estimado (COPQ)	Estatus Competitivo de la Empresa
1sigma	691,462	30.8537%	No cuantificable (Pérdidas masivas)	Inviabile: El proceso genera más errores que aciertos.
2sigma	308,538	69.1462%	> 40% de las ventas	No competitiva: Requiere inspección total y reprocesos constantes.
3sigma	66,807	93.3193%	25% a 40% de las ventas	Promedio industrial: Nivel típico de muchas empresas transaccionales en Latinoamérica.
4sigma	6,210	99.3790%	15% a 25% de las ventas	Aceptable: Norma para industrias manufactureras estándar antes de implementar Lean Six Sigma.
5sigma	233	99.9767%	5% a 15% de las ventas	Excelente: Alta eficiencia, muy cerca de los estándares internacionales.
6sigma	3.4	99.99966%	< 5% de las ventas	Clase Mundial: Nivel requerido para industrias de alto riesgo (Aeroespacial, Dispositivos Médicos, Semiconductores).



DPMO

TABLA DE CONVERSIÓN DE NIVEL SEIS SIGMA					
Nivel de Sigma	Defectos por millón de oportunidades	Nivel de Sigma	Defectos por millón de oportunidades	Nivel de Sigma	Defectos por millón de oportunidades
0.00	933,193	2.00	308,538	4.00	6,210
0.05	926,471	2.05	291,160	4.05	5,386
0.10	919,243	2.10	274,253	4.10	4,661
0.15	911,492	2.15	257,846	4.15	4,025
0.20	903,199	2.20	241,964	4.20	3,467
0.25	894,350	2.25	226,627	4.25	2,980
0.30	884,930	2.30	211,855	4.30	2,555
0.35	874,928	2.35	197,662	4.35	2,186
0.40	864,334	2.40	184,060	4.40	1,866
0.45	853,141	2.45	171,056	4.45	1,589
0.50	841,345	2.50	158,655	4.50	1,350
0.55	828,944	2.55	146,859	4.55	1,144
0.60	815,940	2.60	135,666	4.60	968
0.65	802,338	2.65	125,072	4.65	816
0.70	788,145	2.70	115,070	4.70	687
0.75	773,373	2.75	105,650	4.75	577
0.80	758,036	2.80	96,801	4.80	483
0.85	742,154	2.85	88,508	4.85	404
0.90	725,747	2.90	80,757	4.90	337
0.95	708,840	2.95	73,529	4.95	280
1.00	691,462	3.00	66,807	5.00	232.7
1.05	673,645	3.05	60,571	5.05	192.7
1.10	655,422	3.10	54,799	5.10	159.1
1.15	636,831	3.15	49,471	5.15	131.2
1.20	617,911	3.20	44,565	5.20	107.8
1.25	598,706	3.25	40,059	5.25	88.4
1.30	579,260	3.30	35,930	5.30	72.4
1.35	559,618	3.35	32,157	5.35	59.1
1.40	539,828	3.40	28,716	5.40	48.1
1.45	519,939	3.45	25,588	5.45	39.1
1.50	500,000	3.50	22,750	5.50	31.7
1.55	480,061	3.55	20,182	5.55	25.6
1.60	460,172	3.60	17,864	5.60	20.7
1.65	440,382	3.65	15,778	5.65	16.6
1.70	420,740	3.70	13,903	5.70	13.4
1.75	401,294	3.75	12,224	5.75	10.7
1.80	382,089	3.80	10,724	5.80	8.5
1.85	363,169	3.85	9,387	5.85	6.8
1.90	344,578	3.90	8,198	5.90	5.4
1.95	326,355	3.95	7,143	5.95	4.3
				6.00	3.4



FUNDAMENTOS DE CONTROL ESTADÍSTICOS DE PROCESO

Control Estadístico de Procesos (SPC - *Statistical Process Control*) debe estudiarse como la herramienta cumbre de la fase de **Control** en el ciclo DMAIC (y un pilar de la manufactura y servicios modernos).

El SPC no es una técnica de inspección para reclamar errores; es una metodología proactiva basada en matemáticas que permite escuchar la "**Voz del Proceso**" para asegurar su estabilidad, predecir su comportamiento futuro y tomar decisiones antes de que se generen pérdidas financieras.

El SPC se sostiene sobre dos pilares de la estadística inferencial:

1.La Variabilidad Inherente: Como se estudió previamente, todo proceso varía. El SPC asume que si un proceso opera bajo *Causas Comunes* (vibración normal, temperatura ambiente controlada, etc.), los datos se comportarán siguiendo una **Distribución Normal** (Campana de Gauss).

2.El Teorema del Límite Central: Este teorema dicta que, sin importar la distribución de los datos individuales, las *medias de las muestras* tomadas del proceso siempre tenderán a distribuirse de forma normal. Esto permite aplicar las reglas probabilísticas de la campana de Gauss a prácticamente cualquier entorno operativo.



FUNDAMENTOS DE CONTROL ESTADISTICOS DE PROCESO

ESTADISTICA DESCRIPTIVA

Promedio

La suma de los números (datos), entre la cantidad de dichos números

Mediana

Es el valor central de un conjunto de datos ordenados.

Moda

Es el valor que más se repite en un conjunto de datos. Pueden existir varias modas o pudiera no haber ninguna moda

Desviación estándar

Mide la variabilidad de los datos respecto a un valor central (promedio)

Varianza

Es una medida de variabilidad que equivale a la desviación estándar al cuadrado.

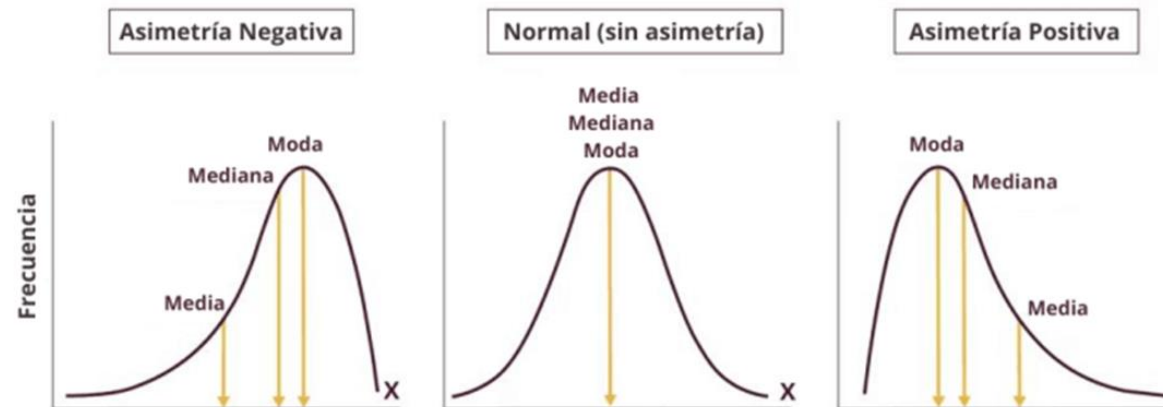
Rango

Es una medida de variabilidad de un conjunto de datos, que resulta de la diferencia del valor mayor menos el valor del menor de los datos

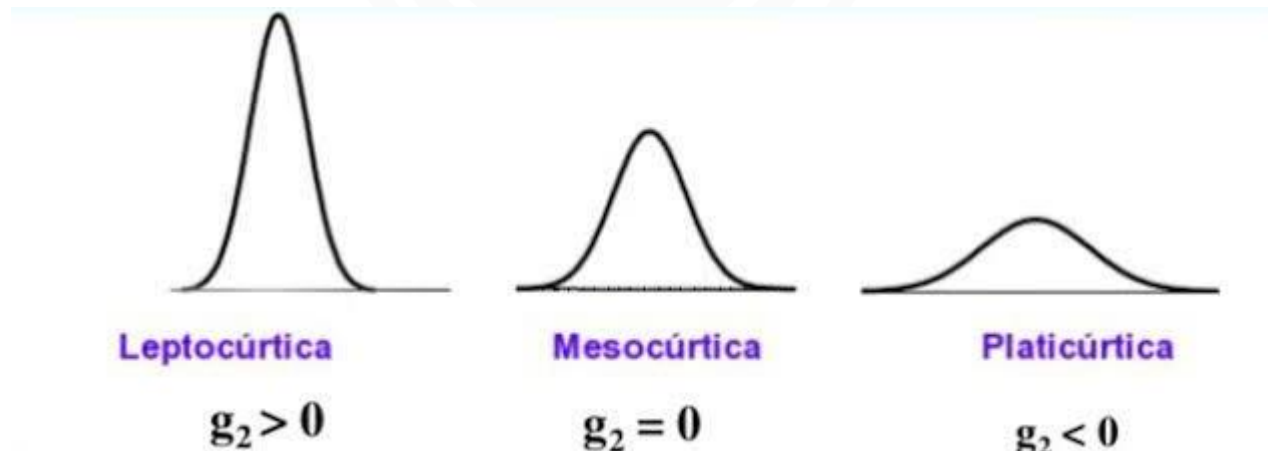


FUNDAMENTOS DE CONTROL ESTADÍSTICOS DE PROCESO

Simetría



Curtosis





FUNDAMENTOS DE CONTROL ESTADISTICOS DE PROCESO

Histogramas

Histograma es un gráfico de barras que representa la distribución de frecuencias de un conjunto de datos continuos (variables medibles como tiempo, peso, temperatura, etc.). A diferencia de un gráfico de barras común (que mide categorías independientes), el histograma agrupa los datos en rangos continuos llamados "clases" o "intervalos"

¿Dónde está el centro? (Tendencia Central): ¿El pico más alto de las barras está alineado con el valor objetivo (*Target*) del cliente, o el proceso está desplazado?

¿Qué tan ancho es? (Dispersión): Si las barras se extienden demasiado hacia los lados, el proceso tiene mucha variabilidad y es inestable.

¿Qué forma tiene? (Morfología de la Distribución):

- Distribución Normal (Campana de Gauss): El proceso actúa bajo *Causas Comunes*. Es simétrico y predecible.
- Distribución Sesgada (A la derecha o izquierda): Indica que el proceso tiene un límite natural o un comportamiento forzado (ej. los tiempos de espera suelen tener sesgo a la derecha, ya que nadie espera "menos de cero" minutos, pero algunos esperan horas).
- Distribución Bimodal (Dos picos): ¡Alerta Six Sigma! Si ves un histograma con dos montañas, significa matemáticamente que estás mezclando dos procesos diferentes en la misma medición. Por ejemplo: dos operadores trabajando con métodos distintos, dos máquinas mal calibradas, o dos proveedores de materia prima mezclados.



FUNDAMENTOS DE CONTROL ESTADISTICOS DE PROCESO

Grafico de Caja

Es una representación visual sintética basada en la posición de los datos. No muestra barra por barra, sino que divide todo el conjunto de datos en cuatro partes iguales utilizando los Cuartiles (Percentiles 25, 50 y 75).

- **La Caja Central:** Representa el **50% central de todos tus datos**. Va desde el Cuartil 1 (Q1 o percentil 25) hasta el Cuartil 3 (Q3 o percentil 75).
- **Rango Inter cuartílico (IQR):** Es la altura o ancho de la caja ($IQR = Q3 - Q1$). Mide la dispersión del núcleo del proceso. Si la caja es muy alta/ancho, el proceso es muy inconsistente.
- **La Línea Interna de la Caja:** Representa la **Mediana (Q2 o percentil 50)**. Si no está en el centro exacto de la caja, indica que los datos son asimétricos.
- **Los Bigotes (Whiskers):** Son líneas que se extienden hacia afuera de la caja. Matemáticamente llegan hasta un límite de $1.5 * IQR$. Representan el rango esperado de variación normal del proceso.
- **Puntos Atípicos (Outliers):** Son asteriscos o puntos que quedan **fuera de los bigotes**. En Six Sigma, un outlier es la evidencia gráfica inmediata de una **Causa Especial** (un error extraordinario, un apagón, una caída de sistema). Deben ser investigados a fondo en la fase de Análisis.



FUNDAMENTOS DE CONTROL ESTADISTICOS DE PROCESO

El equipo del proyecto Six Sigma ha tomado una muestra aleatoria de **20 lotes consecutivos** para medir una variable continua crítica (CTQ): **la Viscosidad del producto**, medida en Unidades Krebs (KU).

El valor objetivo (*Target*) solicitado por el cliente interno es de **100 KU**. Calcular la estadística descriptiva e interpretar

Lote	Viscosidad (KU)	Lote	Viscosidad (KU)
1	102	11	98
2	99	12	101
3	105	13	105
4	99	14	99
5	101	15	100
6	103	16	102
7	97	17	96
8	100	18	102
9	104	19	101
10	102	20	100



FUNDAMENTOS DE CONTROL ESTADISTICOS DE PROCESO

El CTQ: Tiempo de ciclo para aprobación de Créditos Hipotecarios. El compromiso comercial con el cliente (Límite de Especificación Superior o USL) es de máximo 48 horas. Todo crédito que tarde más de 48 horas se considera un defecto.

El equipo del proyecto toma una muestra aleatoria de 20 solicitudes procesadas la semana pasada y mide el tiempo exacto en horas:

Solicitud	Tiempo (Horas)	Solicitud	Tiempo (Horas)
1	45	11	46
2	52	12	51
3	48	13	62
4	60	14	43
5	41	15	48
6	55	16	54
7	47	17	38
8	48	18	55
9	48	19	50
10	53	20	49



INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL

La herramienta operativa por excelencia del SPC es el **Gráfico de Control**. Es un gráfico cronológico (eje X= tiempo o lote; eje Y = valor de la métrica) que cuenta con tres líneas matemáticas fundamentales calculadas a partir de los datos reales del proceso:

- **Línea Central (CL - *Center Line*)**: Representa el promedio matemático real del proceso ($\bar{u}$).
- **Límite de Control Superior (UCL - *Upper Control Limit*)**: Calculado como $\bar{u} + 3\sigma$ (tres desviaciones estándar por encima de la media).
- **Límite de Control Inferior (LCL - *Lower Control Limit*)**: Calculado como $\bar{u} - 3\sigma$ (tres desviaciones estándar por debajo de la media).

Por qué se utiliza exactamente $\pm 3\sigma$?

Bajo las propiedades de la distribución normal, la probabilidad de que un dato caiga de manera puramente aleatoria dentro del rango de $\pm 3\sigma$ es del **99.73%**.

Por lo tanto, si un punto se sale de los límites de control, la probabilidad de que haya sido por simple azar es de apenas **0.27%**. La gerencia puede concluir con un 99.73% de certeza estadística que **ocurrió una Causa Especial** y que el proceso se ha desestabilizado.



INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL

Datos Variables o Continuos (El mundo de las Mediciones)

Se les llama Datos por Variables por el tipo de gráfico de control que utilizan, y Datos Continuos por su naturaleza matemática.

- Definición: Son aquellos datos que se obtienen midiendo una característica física o temporal. Pueden tomar cualquier valor numérico dentro de un rango, lo que significa que admiten infinitos decimales (la única limitante es la precisión del instrumento de medición).
- Instrumentos típicos: Cronómetro, báscula, termómetro, calibrador vernier, durómetro.
- Ejemplos prácticos:
 - El tiempo de aprobación de un crédito (49.65 horas).
 - El peso de un saco de resina (25.320 kg).
 - La temperatura de un horno (180.5°C).

Datos por Atributos o Discretos (El mundo de los Conteos)

Este es el verdadero opuesto de los datos continuos/variables.

- Definición: Son aquellos datos que no se miden con un instrumento de escala continua, sino que se cuentan como unidades enteras o se clasifican cualitativamente. No admiten decimales (no puedes tener "media factura con error" o "un carro y medio defectuoso").
- Naturaleza: Se basan en la presencia o ausencia de una característica (Pasa / No Pasa, Bueno / Malo, Sí / No) o en el conteo de eventos individuales.
- Ejemplos prácticos:
 - El número de quejas recibidas en el mes (14 quejas).
 - La cantidad de tornillos sin cuerda en un lote (5 tornillos).
 - El estado de una entrega (A tiempo / Demorada).



INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL

Datos Continuos o de Variables (Medibles: peso, tiempo, temperatura)

- **Gráfico I-MR (Individuales y Rango Móvil):** Se usa cuando el tamaño de la muestra es $n = 1$. Es el estándar en procesos automatizados o transaccionales (ej. tiempo de duración de cada llamada en un Call Center).
- **Gráfico X-R (Medias y Rangos):** Se usa cuando se toman muestras en subgrupos pequeños (entre $n = 2$ y $n = 8$). Evalúa la estabilidad de la media y la dispersión simultáneamente.
- **Gráfico X-S (Medias y Desviación Estándar):** Se usa cuando el subgrupo de muestra es grande ($n > 8$). Es el más robusto matemáticamente porque calcula la desviación estándar real de cada lote en lugar de estimarla mediante el rango.

Datos Discretos o de Atributos (Contables: defectuosos, quejas, errores)

- **Gráfico p:** Mide la *proporción* o porcentaje de unidades defectuosas. El tamaño de la muestra puede ser variable.
- **Gráfico np:** Mide el *número exacto* de unidades defectuosas. Requiere que el tamaño de la muestra sea estrictamente constante en cada lote.
- **Gráfico c:** Mide el *número total de defectos* en una muestra constante (ej. cantidad de rayaduras en una lámina de acero de tamaño fijo).
- **Gráfico u:** Mide la *tasa de defectos por unidad*. Se utiliza cuando el tamaño de la muestra o el área de oportunidad varía.



INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL

Subgrupo	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Lote 1	500,6	499,8	500,8	501,8	499,7
Lote 2	499,7	501,9	500,9	499,4	500,7
Lote 3	499,4	499,4	500,3	497,7	497,9
Lote 4	497,3	496,8	498,4	496,9	496,3
Lote 5	501,8	499,7	500,1	498,3	499,3
Lote 6	500,1	498,6	500,5	499,3	499,6
Lote 7	499,3	502,2	500,0	498,7	501,0
Lote 8	498,5	500,3	497,6	498,4	500,2
Lote 9	500,9	500,2	499,9	499,6	498,2
Lote 10	502,6	502,9	504,8	503,9	501,4
Lote 11	500,4	499,5	499,2	500,7	501,2
Lote 12	501,1	499,0	499,6	500,4	501,2

¡Gracias!



Centro de
Especializaciones
Noeder

Conéctate con nuestra comunidad

