Ingeniería Industrial.

Asignatura: Ingeniería de la Calidad **Año: 5to.**

Sumario.

Tema 2. Six Sigma (6σ) y las herramientas de la calidad.

2.1 Seis sigma y las 7 herramientas de la calidad.

2.1.1 Diagrama de flujo/Estratificación, Hoja de registro.

2.1.2 Gráfico de Pareto.

2.1.3 Diagrama de causa y efecto (diagrama de Ishikawa).

2.1.4 Diagrama de Dispersión e Histograma.

2.1.5 Diagramas de Control.

2.1.5.1 Diagramas de Control para variables.

2.1.5.2 Diagramas de Control para atributos.

2.2 Ejercicios

Objetivos: Que el alumno se capaz de:

- Aplicar las 7 herramientas de la calidad para reducir variaciones.
- Identificar los diferentes tipos de Gráficos de Control
- Construir e interpretar los gráficos de control.

Método: Elaboración conjunta, trabajo independiente

Medios:

Tiza y pizarra, Libro de texto.

Forma de enseñanza: Clase Encuentro

Bibliografía:

- Problemas de la Ingeniería de la Calidad. Colectivo de autores, Editorial Félix Varela
- Control estadístico de la calidad y seis sigmas (6**s**). Gutiérrez Pulido. Humberto. Ed. McGraw Hill
- Materiales entregados por el profesor.

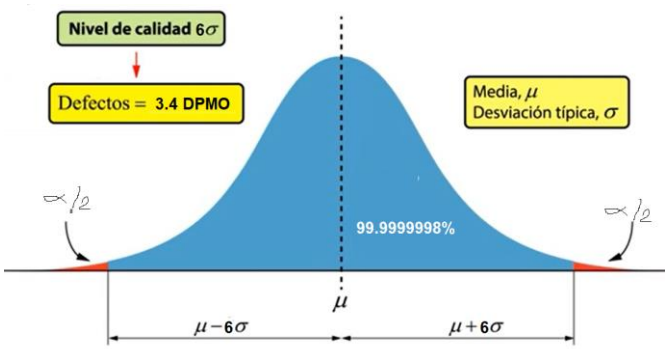
2.1 SEIS SIGMA Y LAS 7 HERRAMIENTAS DE LA CALIDAD.

Seis Sigma es una estrategia basada en datos, de mejora continua del negocio que busca encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, enfocándose hacia aquellos aspectos que son críticos para el cliente.
Su objetivo final es que de cada millón de oportunidades se produzcan 3.4 defectos.
Nace en Motorola y la popularizó General Electric.

Six Sigma $(\mathbf{6}\sigma)$ se fundamenta en el pensamiento estadístico y en el Modelo DMAIC

Fase	¿Qué se hace?	Ejemplo práctico (en una fábrica de tornillos)
Definir	Identificar el problema y lo que el cliente quiere.	*"El cliente se queja de que algunos tornillos no entran en las tuercas. Quiere que todos encajen a la perfección."*

Fase	¿Qué se hace?	Ejemplo práctico (en una fábrica de tornillos)
Medir	Recopilar datos actuales del proceso.	*"Medimos 1000 tornillos y encontramos que 50 tienen el diámetro incorrecto (5% de defectos)."*
Analizar	Encontrar la causa raíz del problema.	*"Analizando, vemos que la máquina que corta el metal se desgasta y cambia la medida después de 500 tornillos."*
Improve (Mejorar)	Implementar soluciones para eliminar la causa.	*"Cambiamos el material de la cuchilla y programamos un mantenimiento cada 400 tornillos."*
Controlar	Mantener la mejora en el tiempo.	*"Creamos un gráfico de control y una alarma que avisa cuando la medida empieza a desviarse, para corregirla antes de que salga un defecto."*



¿Cuándo NO usar Seis Sigma?

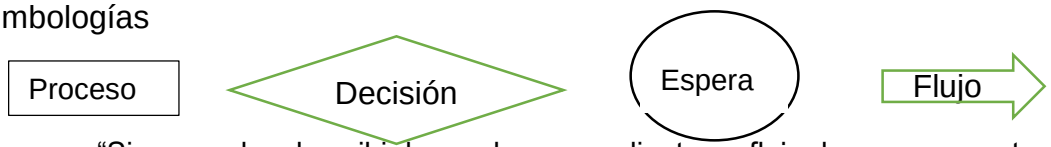
Tan importante como saber usarlo, es saber cuándo no es la solución:

- **Problemas muy simples:** Si la solución es obvia (ej. "falta un tornillo"), no necesitas un proyecto de meses con estadística avanzada. Basta con poner el tornillo.
- **Falta de datos:** Seis Sigma es adicto a los números. Si no puedes medir el problema de forma objetiva, la metodología no funciona.
- **Cultura organizacional débil:** Si los directivos no apoyan el cambio o los empleados tienen miedo a reportar errores, los datos serán falsos y el proyecto fracasará.

Las Siete Herramientas Básicas de la Calidad**: Son un conjunto de técnicas sencillas y visuales, ideadas por **Kaoru Ishikawa**, para el análisis de datos y la resolución de problemas . Algunas de las más importantes son: estratificación o diagrama de flujo, hoja de registro o verificación, Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Diagrama de dispersión, Histograma, Gráficos de Control

2.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO/ESTRATIFICACIÓN, HOJA DE REGISTRO.

El diagrama de flujo es la representación del proceso gráficamente, empleando diferentes simbologías



"Si no puedes describir lo que haces mediante un flujo de procesos entonces no conocemos tu proceso"
W. E. Deming

La estratificación es dividir el todo en partes para poder localizar mejor las fuentes de variaciones. Ambas herramientas se emplean en la fase de **Definición** e identificación del problema.
La hoja de registro o verificación se diseña según el caso y sirve para recopilar la información necesaria, de forma ordenada y sistemática. Se emplea en la fase de **Medición**.

2.1.2 GRÁFICO DE PARETO.

El gráfico de Pareto es un gráfico de barras que ordena los problemas de mayor a menor frecuencia. ayuda a priorizar: "El 80% de los problemas vienen del 20% de las causas" (pocos vitales y muchos triviales)

Pasos para elaborar el gráfico de Pareto.

1er paso. Se elabora una tabla de distribución de frecuencia ordenando las frecuencias absolutas (n_i) de mayor a menor, se calculan las frecuencias relativas (f_i) y las frecuencias relativas acumuladas (Fi).

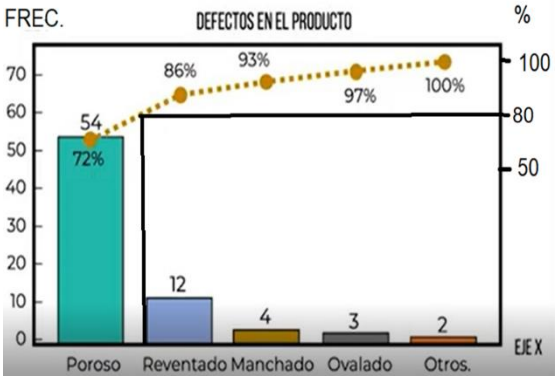
2do paso. Se confecciona un gráfico de barra representando las frecuencias absolutas (n_i), ordenadas de mayor a menor.

3er paso. Se traza un eje a la derecha para representar el % de las frecuencias relativas acumuladas (Fi) y se representa estas, mediante un polígono de frecuencias. (ambos ejes deben estar en la misma escala).

4to paso. Se traza una línea a partir del 80% de las frecuencias relativas acumuladas (Fi) hasta interceptar el polígono de frecuencia y se proyecta este punto hasta el eje X.

5to paso. Las características que estén a la izquierda del punto proyectado representan aquellos problemas que hay que priorizar (son los pocos vitales) y los que están a la derecha del punto proyectado son los muchos triviales.

Esta herramienta se emplea en la fase de Análisis y puede ser 80%-20%, 75%-25%, 70%-30%. Se recomienda una vez hecho el primer Pareto (primer orden) hacer una estratificación de los problema detectado y hacer un nuevo Pareto (de segundo orden) para ir acotando el problema.



2.1.3 DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO (DIAGRAMA DE ISHIKAWA).

El diagrama de causa–efecto se recomienda para el trabajo en grupo, combinado con una técnica grupal como es la lluvia de ideas.

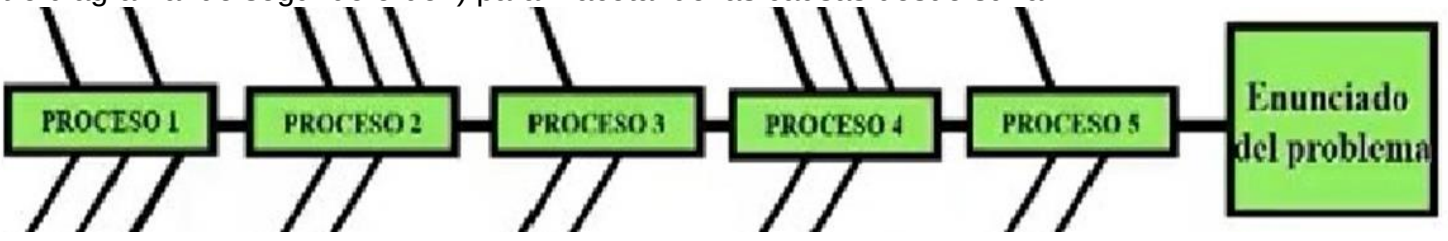
Es un gráfico en forma de espinas de pescado en su cabeza se pone el problema que se va analizar, y en las espinas se organizan las posibles causas del problema agrupadas en 6 categorías (las 6M):,

- Máquina (la herramienta)
- Método (el procedimiento)
- Material (la materia prima)
- Mano de obra (las personas)
- Medición (cómo medimos)
- Medio ambiente (temperatura, humedad, ruido)

De cada una de estas 6 categorías se listan todas las causas que provocan el problema

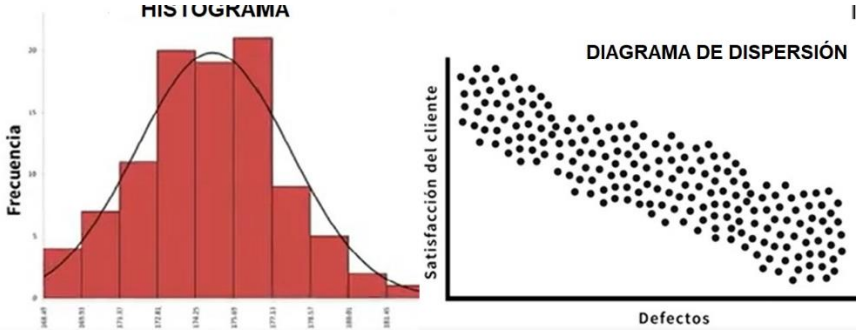
Una de las variantes es el **Diagrama de Ishikawa de Proceso** en el que se listan en la espina central del diagrama todos los pasos o procesos y desde ellos salen las espinas señalando las causas del problema de ese proceso

Una vez realizado el diagrama (que sería de 1er orden, siempre es recomendable hacer nuevamente otro diagrama de segundo orden) para ir acotando las causas desde su raíz.



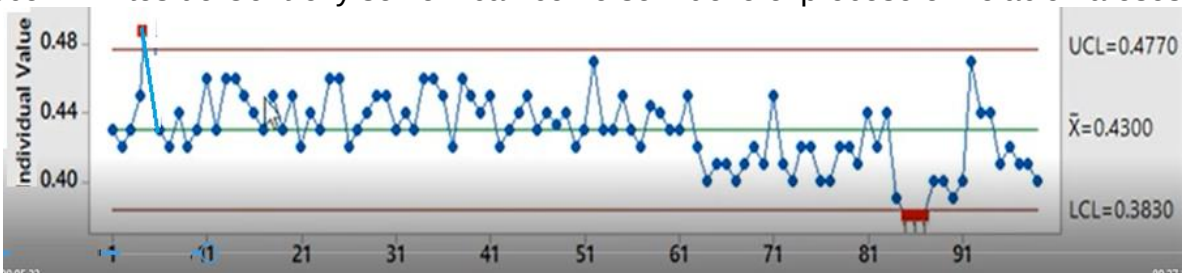
2.1.4 DIAGRAMA DE DISPERSIÓN E HISTOGRAMA.

El histograma es un gráfico de barras que muestra la distribución de los datos numéricos. Permite analizar si el proceso es estable o está "disperso". Se estudió en Estadística I.
El diagrama de dispersión permite establecer la relación que existe entre dos variables sale del MRLG estudiado en Estadística II. Amabas herramientas se emplean en la fase de Análisis



2.1.5 DIAGRAMAS DE CONTROL.

Los **gráficos o cartas de control**, permiten visualizar el comportamiento del proceso a lo largo del tiempo y detectar señales de que algo ha cambiado.
Se establecen Límites de Control y se verifican como se mueve el proceso en relación a esos límites



Límites de Control: Son los límites que definen el rango de variación esperado para un proceso bajo control. Se calculan a partir de la media del proceso y su desviación estándar.
(los límites los establece el mismo proceso no los usuarios)

Tipos de gráficos de control.

Tipo de dato	Gráfico	¿Qué controla?	Ejemplo
Variables (continuas)	**X̄-R**	Media y rango de subgrupos (n ≤ 10).	Peso de bolsas de café.
	X̄-S	Media y desviación estándar (n > 10).	Diámetro de ejes (muestras grandes).
	I-MR	Valor individual y rango móvil (n = 1).	Temperatura cada hora.
Atributos (discretos)	**p**	Proporción de unidades defectuosas.	% de facturas con errores.
	np	Número de unidades defectuosas.	Número de piezas ralladas en un lote.
	c	Número de defectos por unidad (tamaño de muestra constante).	Rayones en un parabrisas.
	u	Número de defectos por unidad (tamaño de muestra variable).	Defectos por lote de teléfonos.

2.1.5.1 DIAGRAMAS DE CONTROL PARA VARIABLES.

Gráficos de Control de variables: Son herramientas estadísticas que muestran el comportamiento o variación de una característica de calidad de un proceso con relación al tiempo. Se usan para características medibles (peso, longitud, diámetro, temperatura).

Los más comunes son los gráficos **X-R** (Media y Rango) y **X-S** (Media y Desviación Estándar). La decisión llo determina el tamaño de la muestra.
También están los gráficos I-MR (individuales y de rangos moviles)

El gráfico X analiza las variaciones del proceso respecto a la media ($\bar{X}$)
El gráfico R analiza las variaciones del proceso respecto a Rango (R)

ENTRE ESTOS GRÁFICO EXISTE UNA ESTRECHA RELACIÓN PORQUE UN PROCESO PUEDE ESTAR BAJO CONTROL SEGÚN SUS MEDIAS Y FUERA DE CONTROL SEGÚN SUS RANGOS O VICEVERSA . ESTA ES LA RAZÓN POR LA QUE DEBEN SER ANALIZADOS AMBOS PARA LLEGAR A CONCLUSIONES

Sirven para representar los valores medio durante el funcionamiento de un proceso, identificar tendencias. Un punto fuera de los límites es una señal de que el proceso puede estar experimentando una variación por causa especial, que debe investigarse, para accionar controlando así el proceso o mejorándolo

Pasos para elaborar los gráficos X-R

1er paso. A partir de los datos se calculan las medias de las muestras y los Rangos y después de tener estos estadísticos se calcula la $\bar{\bar{X}}$ media de la media y la $\bar{\bar{R}}$ media de los rangos
2do paso. Se calculan los límites de control para el gráfico X-R (LCI, LC, LCS)
3er paso. Se crea el grafico de control trazando los límites (puede hacerse con Excel o minitab) también manualmente.
4to paso. Se plotean los puntos unidos por líneas entre si
5to paso. Se analizan si los puntos están dentro del rango de los límites inferior y superior (LCI, LCS)

TABLA DE LÍMITES DE CONTROL PARA GRÁFICOS DE CONTROL DE VARIABLES

Tipo de Gráfico	Línea Central (CL)	Límite de Control Superior (LCS/UCL)	Límite de Control Inferior (LCI/LCL)
Variables (Datos Continuos)			
$\bar{X}$ - **R** (Medias y Rangos)	$\bar{\bar{X}}$ (Gran media)	$\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$
R (Rangos)	$\bar{R}$ (Rango promedio)	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$
$\bar{X}$ - **S** (Medias y Desv. Est.)	$\bar{\bar{X}}$ (Gran media)	$\bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$	$\bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$
S (Desviación Estándar)	$\bar{S}$ (Desv. Est. promedio)	$B_4\bar{S}$	$B_3\bar{S}$
I - MR (Individuales y Rango Móvil)	$\bar{X}$ (Media de individuales)	$\bar{X} + E_2\overline{MR}$	$\bar{X} - E_2\overline{MR}$
MR (Rango Móvil)	$\overline{MR}$ (Rango móvil promedio)	$D_4\overline{MR}$	$D_3\overline{MR}$ (Normalmente 0)

2.1.5.2 Diagramas de Control para atributos.

Gráficos de Control por Atributos: Se usan para características que se clasifican como conformes o no conformes (ej. número de defectos). Incluyen gráficos tipo **p** (fracción defectuosa), **np** (número de defectuosos), **c** (número de defectos) y **u** (defectos por unidad) .

Ejemplo clave:

Un parabrisas con **3 rayones** → es **1 unidad defectuosa** pero tiene **3 defectos**.

- Si cuentas unidades defectuosas → **p o np**
- Si cuentas defectos → **c o u**

- **Si el atributo cuentas unidades defectuosas:**
  - Tamaño de muestra variable → **p**.
  - Tamaño de muestra constante → **np**.
- **Si el atributo cuentas defectos dentro de una unidad:**
  - Tamaño de muestra constante → **c**.
  - Tamaño de muestra variable → **u**.

Gráfico P (proporción de defectuosos)

- ¿Qué mide? La fracción o proporción de unidades defectuosas en cada muestra.
- Fórmula:

$$p=\frac{número\ de\ defectos}{tamaño\ de\ la\ muestra}$$

¿Cuándo usarlo?

  - Cuando el **tamaño de muestra puede variar** de un lote a otro.
  - Cuando queremos expresar el resultado como **porcentaje o proporción**.
- **Ejemplo típico:** En una línea de ensamble, cada día se inspeccionan **100, 150 o 200 piezas** (varía), y se registra qué porcentaje salió defectuoso.

Gráfico NP (número defectuosos)

- ¿Qué mide? El número total de unidades defectuosas en cada muestra.
- Fórmula:

$$np=número\ de\ defectuosos\ en\ la\ muestra$$

- ¿Cuándo usarlo?
  - Cuando el **tamaño de muestra es constante** (siempre el mismo número de piezas inspeccionadas).
  - Cuando es más natural reportar **"cuántos defectuosos hubo"** que una proporción.
- **Ejemplo típico:** Cada hora se inspeccionan **exactamente 50 piezas** y se anota cuántas salieron defectuosas (ej. 3, 5, 2...).

Diferencia clave

Característica	Gráfico P	Gráfico NP
Mide	Proporción de defectuosos	Número de defectuosos
Tamaño de muestra	Puede **variar**	Debe ser **constante**
Resultado	Porcentaje / fracción	Conteo entero
Ejemplo	6% defectuoso	3 piezas defectuosas

Regla práctica: Si el tamaño de muestra cambia → usa **P**.
Si es fijo → puedes usar **P o NP**, pero **NP** es más intuitivo.

Gráficos C (número total de defectos en una **unidad)**

- ¿Qué es?

Es un gráfico de control para **atributos** que monitorea el **número total de defectos** en una **unidad de inspección**, cuando el **tamaño de la unidad es constante**.

Formula

$$\bar{c} = \frac{Total\ de\ defectos}{No.unidades\ inspeccionadas}$$

- ¿Cuándo se usa?

El dato es **discreto** (conteo de defectos).
Se cuentan **defectos**, no unidades defectuosas.
Una misma unidad puede tener **varios defectos**.
El **tamaño de la unidad de inspección es constante**.
Ejemplos: manchas en rollo de telas de igual tamaño.

Gráfico u (Defectos por Unidad)

¿Qué es?
Es un gráfico de control para **atributos** que monitorea el **número de defectos por unidad inspeccionadas**
Formula

$$\overline{U} = \frac{Total\ de\ defectos}{total\ de\ unidades\ de\ medidas\ inspeccionadas}$$

El **tamaño de la unidad de inspección varía** .
¿Cuándo se usa?

- El dato es **discreto** (conteo de defectos).
- Se cuentan **defectos**, en unidades inspeccionadas..
- Las unidades inspeccionadas son diferentes.

Ejemplo: manchas en rollo de telas de distintos tamaños

Diferencia clave: c vs u

Aspecto	c	u
¿Qué grafica?	Número de defectos por unidad	Defectos por unidad de oportunidad (tasa)
Tamaño de unidad	Constante	Variable
Fórmula	c_i = total defectos / unidades inspeccionadas	u_i = total defectos / unidades de oprtunidades inspeccionadas
Línea central	$\bar{c}$	ū
Ejemplo	Rayones en parabrisas	Defectos por lote de teléfonos

Si n es constante, u y c dan la misma información.

Truco mnemotécnico:

- **P** = **P**roporción
- **N**P = **N**úmero (con n fijo)
- **C** = **C**onstante (área fija)
- **U** = **U**nidad variable (área varía)

Atributos (Datos Discretos)			
p (Proporción Defectuosa)	$\bar{p}$	$\bar{p}+3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p}-3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
np (Número Defectuoso)	$n\bar{p}$	$n\bar{p}+3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	$n\bar{p}-3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
c (Número de Defectos)	$\bar{c}$	$\bar{c}+3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c}-3\sqrt{\bar{c}}$
u (Defectos por Unidad)	$\bar{u}$	$\bar{u}+3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	$\bar{u}-3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

2.2 EJERCICIOS

Ejercicio 1.

En un estudio de control de la calidad de esta fábrica se realiza un muestreo aleatorio en el almacén de una muestra de 738 bolsas y se detectan los siguientes problemas:

- 165 están descosidas
- 369 bolsas están rotas
- 135 bolsas están endurecidas
- 49 bolsas no tienen el rotulo del tipo de cemento
- 20 presentan otros defectos

Con los datos aportados confecciona un gráfico de Pareto para determinar cuales son los problemas principales que atenderías

Respuesta ejercicio 1

1 Confección de tabla de distribución de frecuencia organizada de mayor a menor

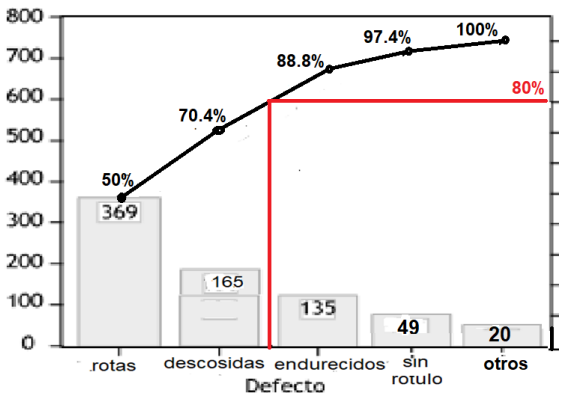
Problemas	Frecuencia absoluta (n_i)	Frecuencia relativa ($fi=n_i / n$)	Frecuencia relativa Acumulada (Fi)
bolsas están rotas	369	50%	50%
bolsas están endurecidas	165	20.4%	70.4%
están descosidas	135	18.4%	88.8%
bolsas sin el rotulo del tipo de cemento	49	6.6%	97.4%
Otros defectos	20	2.6%	100%
TOTAL	738	100%	

2 Confección el gráfico de barras representando las frecuencias absolutas (n_i) de cada problema

3 Se grafican las frecuencias relativas acumuladas (Fi) y se traza la línea que determina el 80% determinándose cuales son los problemas que los causan

R/ La respuestas es que los problemas pocos vitales son las bolsas rotas y las descocidas.

Seria indicado estratificas los problemas que provocan las bolsas rotas y aplicarle a ellos nuevamente Pareto (de 2do orden) para ir acotando las causas



Ejercicio 2

Imagina que eres el encargado de controlar el **peso de bolsas de café molido** (deben pesar 500 gramos). Tomas **5 bolsas cada hora** (subgrupo de tamaño n=5) durante 10 horas (10 subgrupos).

¿Cómo se construye un gráfico $\bar{X}$-R? (Paso a paso con números)

Estos son los datos (en gramos):

Hora	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 3	Bolsa 4	Bolsa 5	Media ($\bar{X}$)	Rango (R) (Máx - Mín)
1	502	498	501	499	500	500.0	4 (502-498)
2	501	497	502	500	498	499.6	5
3	499	500	498	501	497	499.0	4
4	503	501	500	502	499	501.0	4
5	498	497	499	496	498	497.6	3
6	500	501	499	500	502	500.4	3
7	502	503	501	500	501	501.4	3
8	499	498	500	497	499	498.6	3
9	501	500	502	499	500	500.4	3
10	497	499	498	496	497	497.4	3
					$\bar{\bar{X}}$	499.54	$\bar{R}$ = 3.5

Paso 1: Calcular la gran media ($\bar{\bar{X}}$) y el rango promedio ($\bar{R}$)

- **Gran media ($\bar{\bar{X}}$)** = Promedio de todas las medias = (500.0 + 499.6 + ... + 497.4) / 10 = **499.54 gramos**

Rango promedio ($\bar{R}$) = Promedio de todos los rangos = (4+5+4+4+3+3+3+3+3+3) / 10 = **3.5 gramos**

Paso 2: Calcular los límites de control para el gráfico de MEDIAS ($\bar{X}$)

Aquí usamos factores tabulados (que dependen del tamaño del subgrupo, n=5). Para n=5, los factores son: $A_2 = 0.577$, $D_3 = 0$, $D_4 = 2.114$.

- Límite Superior (LSC) para $\bar{X} = \bar{\bar{X}} + (A_2 \times \bar{R}) = 499.54 + (0.577 \times 3.5) = 501.56$ gramos
- Límite Inferior (LIC) para $\bar{X} = \bar{\bar{X}} - (A_2 \times \bar{R}) = 499.54 - (0.577 \times 3.5) = 497.52$ gramos
- Línea Central (LC) = $\bar{\bar{X}} = 499.54$ gramos

Paso 3: Calcular los límites de control para el gráfico de RANGOS (R)

- LSC para $R = D_4 \times \bar{R} = 2.114 \times 3.5 = 7.40$ gramos
- LIC para $R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 3.5 = 0$ gramos (los rangos nunca son negativos)
- Línea Central = $\bar{R} = 3.5$ gramos

Paso 4: Dibujar los gráficos

- Ahora dibujas dos gráficos apilados (el de arriba es el de Medias, el de abajo el de Rangos). En cada uno, dibujas la línea central y los límites, y luego vas **ploteando los 10 puntos** de cada columna.

Conclusión: El proceso de envasado de café está **estadísticamente bajo control**. No hay señales de alarma. Podemos confiar en que el peso promedio es 499.54g y la variación es estable.

Ejercicio 3 GRAFICOS P

En una fábrica de focos, cada día se inspecciona un **lote de tamaño variable** y se registra cuántos focos salen defectuosos. Queremos saber si el proceso está bajo control.

Datos (10 días)

Día	n (inspeccionados)	Defectuosos	p = d/n
1	100	8	0.080
2	120	9	0.075
3	90	6	0.067
4	110	12	0.109
5	100	7	0.070
6	130	10	0.077
7	95	5	0.053
8	105	9	0.086
9	115	8	0.070
10	100	6	0.060
Total	1065	80	

Paso 1: Línea Central (p̄)

$\bar{p}$ = Total defectuosos / total inspeccionados = 80/1065 = 0.0751p̄

Paso 2: Límites de control

Como **n varía**, los límites se calculan **para cada muestra** con:

$$LCS = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$LCI = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

Ejemplo para el Día 1 (n = 100):

$$\sqrt{\frac{0.0751 \times 0.9249}{100}} = \sqrt{0.000695} = 0.0264$$

- LCS = 0.0751 + 3(0.0264) = **0.1543**
- LCI = 0.0751 − 3(0.0264) = **−0.0041** → **se toma 0** (no puede ser negativo)

Ejemplo para el Día 5 (n = 130):

$$\sqrt{\frac{0.0751 \times 0.9249}{130}} = \sqrt{0.000534} = 0.0231$$

- LCS = 0.0751 + 3(0.0231) = **0.1444**
- LCI = 0.0751 − 3(0.0231) = **0.0058**

Paso 3: Interpretación

- Todos los valores de **p** caen dentro de sus límites.
- **Conclusión:** el proceso está **bajo control estadístico**. No hay causas especiales que investigar.

> **Nota didáctica:** Observa que los límites **cambian en cada punto** porque el tamaño de muestra es distinto. Eso es característico del gráfico P.

Ejercicio 4 Gráficos NP

En una línea de ensamble de relojes, cada hora se inspecciona **exactamente 50 piezas** (tamaño constante). Se registra cuántas salen defectuosas.

Hora	n	Defectuosos (np)	Hora	n	Defectuosos (np)
1	50	4	7	50	3
2	50	3	8	50	4
3	50	6	9	50	2
4	50	2	10	50	5
5	50	5	TOTAL	500	41
6	50	7			

Paso 1: Línea Central (n p̄)

$\bar{p}$=41/500=0.082

n$\bar{p}$=50×0.082=4.1

Paso 2: Límites de control

Como **n es constante**, los límites son **fijos** para todos los puntos:

$$LCS = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

$$LCI = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

Calculamos:

$$\sqrt{50 \times 0.082 \times 0.918} = \sqrt{3.764} = 1.940$$

- LCS = 4.1 + 3(1.940) = 4.1 + 5.82 = **9.92 ≈ 9.9**
- LCI = 4.1 − 3(1.940) = 4.1 − 5.82 = **−1.72 → se toma 0**

Paso 3: Interpretación

- Todos los valores de **np** (entre 2 y 7) caen dentro de los límites (0 a 9.9).
- **Conclusión:** el proceso está **bajo control estadístico**.

Nota didáctica: Aquí los límites son **una sola línea recta** porque n es constante. Eso hace el gráfico más fácil de leer.

Ejercicio 5 Gráfico C
En una fábrica de **pantallas de TV**, cada pantalla puede tener **varios defectos** (pixeles muertos, rayones, manchas). Se inspeccionan **10 pantallas** (una por hora) y se cuenta el número total de defectos en cada una.
Aquí la "unidad de inspección" es **una pantalla completa** → área constante.
Datos (10 pantallas)

Pantalla	Defectos (c)	Pantalla	Defectos (c)
1	5	6	2
2	3	7	5
3	7	8	4
4	4	9	6
5	6	10	3
		Total	45

Paso 1: Línea Central ($\bar{c}$)

$$\bar{c} = \frac{\text{total de defectos}}{\text{número de unidades inspeccionadas}} = \frac{45}{10} = 4.5$$

Paso 2: Límites de control

Como el área de oportunidad es **constante**, los límites son **fijos**:

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

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

Calculamos:

$$\sqrt{4.5} = 2.121$$

- LCS = 4.5 + 3(2.121) = 4.5 + 6.36 = **10.86 ≈ 10.9**
- LCI = 4.5 − 3(2.121) = 4.5 − 6.36 = **−1.86 → se toma 0**

R/ Todos los valores de **c** (entre 2 y 7) caen dentro de los límites (0 a 10.9).

- **Conclusión:** el proceso está **bajo control estadístico**.

Nota didáctica: Los límites son **una línea recta** porque el área de oportunidad no cambia.

Ejercicio 6 Grafico U
En una fábrica de **rollos de tela**, cada rollo tiene **distinta longitud** (metros). Se inspeccionan 10 rollos y se cuenta el número de defectos (huecos, manchas, hilos rotos) en cada uno.
Aquí el **área de oportunidad varía** → usamos **u = defectos / unidad de medida** (defectos por metro).

Rollo	Metros (n)	Defectos (c)	u = c/n	Rollo	Metros (n)	Defectos (c)	u = c/n
1	50	10	0.200	6	65	13	0.200
2	60	15	0.250	7	50	8	0.160
3	40	6	0.150	8	60	12	0.200
4	55	11	0.200	9	55	14	0.255
5	45	9	0.200	10	50	7	0.140
				Total	530	105	

Paso 1: Línea Central (ū)

$$\bar{u} = \frac{\text{total de defectos}}{\text{total de unidades de oportunidad}} = \frac{105}{530} = 0.1981$$

Paso 2: Límites de control

Como **n varía**, los límites se calculan **para cada muestra**:

$$LCS = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$LCI = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

Ejemplo para el Rollo 1 (n = 50):

$$\sqrt{\frac{0.1981}{50}} = \sqrt{0.003962} = 0.0629$$

- LCS = 0.1981 + 3(0.0629) = 0.1981 + 0.1888 = **0.3869**
- LCI = 0.1981 − 3(0.0629) = 0.1981 − 0.1888 = **0.0093**

Ejemplo para el Rollo 6 (n = 65):

$$\sqrt{\frac{0.1981}{65}} = \sqrt{0.003048} = 0.0552$$

- LCS = 0.1981 + 3(0.0552) = **0.3637**
- LCI = 0.1981 − 3(0.0552) = **0.0325**

Paso 3: Interpretación

- Todos los valores de **u** caen dentro de sus límites.
- **Conclusión:** el proceso está **bajo control estadístico**.

> **Nota didáctica:** Observa que los límites **cambian en cada punto** porque la longitud del rollo varía
> Eso es característico del gráfico U.

CONCLUSIONES

Six Sigma (6σ) se fundamenta en el pensamiento estadístico y en el Modelo DMAIC

Fase	¿Qué se hace?	Ejemplo práctico (en una fábrica de tornillos)
Definir	Identificar el problema y lo que el cliente quiere.	*"El cliente se queja de que algunos tornillos no entran en las tuercas. Quiere que todos encajen a la perfección."*
Medir	Recopilar datos actuales del proceso.	*"Medimos 1000 tornillos y encontramos que 50 tienen el diámetro incorrecto (5% de defectos)."*
Analizar	Encontrar la causa raíz del problema.	*"Analizando, vemos que la máquina que corta el metal se desgasta y cambia la medida después de 500 tornillos."*
Improve (Mejorar)	Implementar soluciones para eliminar la causa.	*"Cambiamos el material de la cuchilla y programamos un mantenimiento cada 400 tornillos."*
Controlar	Mantener la mejora en el tiempo.	*"Creamos un gráfico de control y una alarma que avisa cuando la medida empieza a desviarse, para corregirla antes de que salga un defecto."*

Las Siete Herramientas Básicas de la Calidad**: Son un conjunto de técnicas sencillas y visuales, ideadas por **Kaoru Ishikawa**, para el análisis de datos y la resolución de problemas . Algunas de las más importantes son: **estratificación o diagrama de flujo, hoja de registro o verificación, Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Diagrama de dispersión, Histograma, Gráficos de Control**

Tipo de dato	Gráfico	¿Qué controla?	Ejemplo
Variables (continuas)	**$\bar{X}$-R**	Media y rango de subgrupos (n ≤ 10).	Peso de bolsas de café.
	$\bar{X}$-S	Media y desviación estándar (n > 10).	Diámetro de ejes (muestras grandes).
	I-MR	Valor individual y rango móvil (n = 1).	Temperatura cada hora.
Atributos (discretos)	**p**	Proporción de unidades defectuosas.	% de facturas con errores.
	np	Número de unidades defectuosas.	Número de piezas ralladas en un lote.
	c	Número de defectos por unidad (tamaño de muestra constante).	Rayones en un parabrisas.
	u	Número de defectos por unidad (tamaño de muestra variable).	Defectos por lote de teléfonos.

Tipo de Gráfico	Línea Central (CL)	Límite de Control Superior (LCS/UCL)	Límite de Control Inferior (LCI/LCL)
Variables (Datos Continuos)			
$\bar{X}$ - R (Medias y Rangos)	$\overline{\overline{X}}$ (Gran media)	$\overline{\overline{X}} + A_2\overline{R}$	$\overline{\overline{X}} - A_2\overline{R}$
R (Rangos)	$\overline{R}$ (Rango promedio)	$D_4\overline{R}$	$D_3\overline{R}$
$\bar{X}$ - S (Medias y Desv. Est.)	$\overline{\overline{X}}$ (Gran media)	$\overline{\overline{X}} + A_3\overline{S}$	$\overline{\overline{X}} - A_3\overline{S}$
S (Desviación Estándar)	$\overline{S}$ (Desv. Est. promedio)	$B_4\overline{S}$	$B_3\overline{S}$
I - MR (Individuales y Rango Móvil)	$\overline{X}$ (Media de individuales)	$\overline{X} + E_2\overline{MR}$	$\overline{X} - E_2\overline{MR}$
MR (Rango Móvil)	$\overline{MR}$ (Rango móvil promedio)	$D_4\overline{MR}$	$D_3\overline{MR}$ (Normalmente 0)

Atributos (Datos Discretos)

p (Proporción Defectuosa)	$\bar{p}$	$\bar{p}+3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p}-3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
np (Número Defectuoso)	$n\bar{p}$	$n\bar{p}+3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	$n\bar{p}-3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
c (Número de Defectos)	$\bar{c}$	$\bar{c}+3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c}-3\sqrt{\bar{c}}$
u (Defectos por Unidad)	$\bar{u}$	$\bar{u}+3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	$\bar{u}-3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

Diferencia clave

Característica	Gráfico P	Gráfico NP
Mide	Proporción de defectuosos	Número de defectuosos
Tamaño de muestra	Puede **variar**	Debe ser **constante**
Resultado	Porcentaje / fracción	Conteo entero
Ejemplo	6% defectuoso	3 piezas defectuosas

Regla práctica: Si el tamaño de muestra cambia → usa **P**.
Si es fijo → puedes usar **P o NP**, pero **NP** es más intuitivo.

Diferencia clave: c vs u

Aspecto	c	u
¿Qué grafica?	Número de defectos por unidad	Defectos por unidad de oportunidad (tasa)
Tamaño de unidad	Constante	Variable
Fórmula	c_i = total defectos / unidades inspeccionadas	u_i = total defectos / unidades de oprtunidades inspeccionadas
Línea central	$\bar{c}$	$\bar{u}$
Ejemplo	Rayones en parabrisas	Defectos por lote de teléfonos

Si n es constante, u y c dan la misma información.

Truco mnemotécnico:

- **P** = **P**roporción
- **N**P = **N**úmero (con n fijo)
- **C** = **C**onstante (área fija)
- **U** = **U**nidad variable (área varía)

La calidad se diseña, no se inspecciona. Invertir en prevención es la decisión más rentable a largo plazo.
No se puede mejorar lo que no se mide. Usa gráficos de control y capacidad para conocer tu proceso.
La variación es el enemigo. Identifica sus fuentes (hombres, máquinas, materiales, etc.) y atácalas en su raíz.
El cliente es el juez final. Usa Kano para entender qué valora realmente.

"La calidad no es un acto, es un hábito. No se logra con una inspección final, sino con la constancia en el diseño, el control y la mejora continua. Ustedes, como ingenieros industriales, son los arquitectos de esa calidad."