



Cartas de Control

Gráficos para Variables



Procesos Productivos

Los procesos productivos son incapaces de producir dos unidades de producto exactamente iguales. Esto se debe a un sin número de causas que provocan variación y que por lo tanto es necesario controlarlas cuando se presentan en exceso.



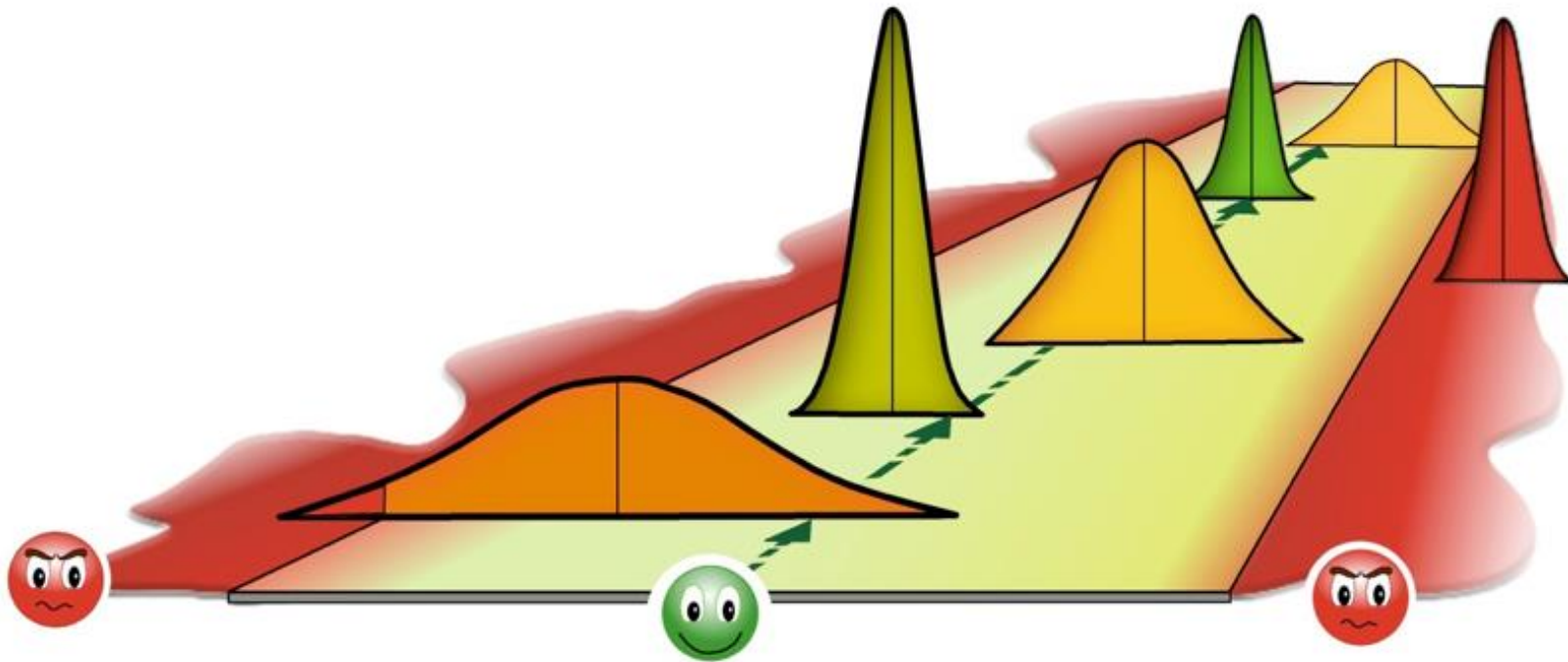
Veamos
como
funciona
tomando
como
ejemplo la
fabricación
de paletas
de helado



<https://www.youtube.com/watch?v=fih1Fw1eVjQ>

Especificación: Peso 63 g
Volumen 92 g

Muestra: Peso 63 – 64 g
Volumen 94 g



Variabilidad de los Procesos

Especificación va a ser siempre:

$$\mu \pm 3\sigma$$

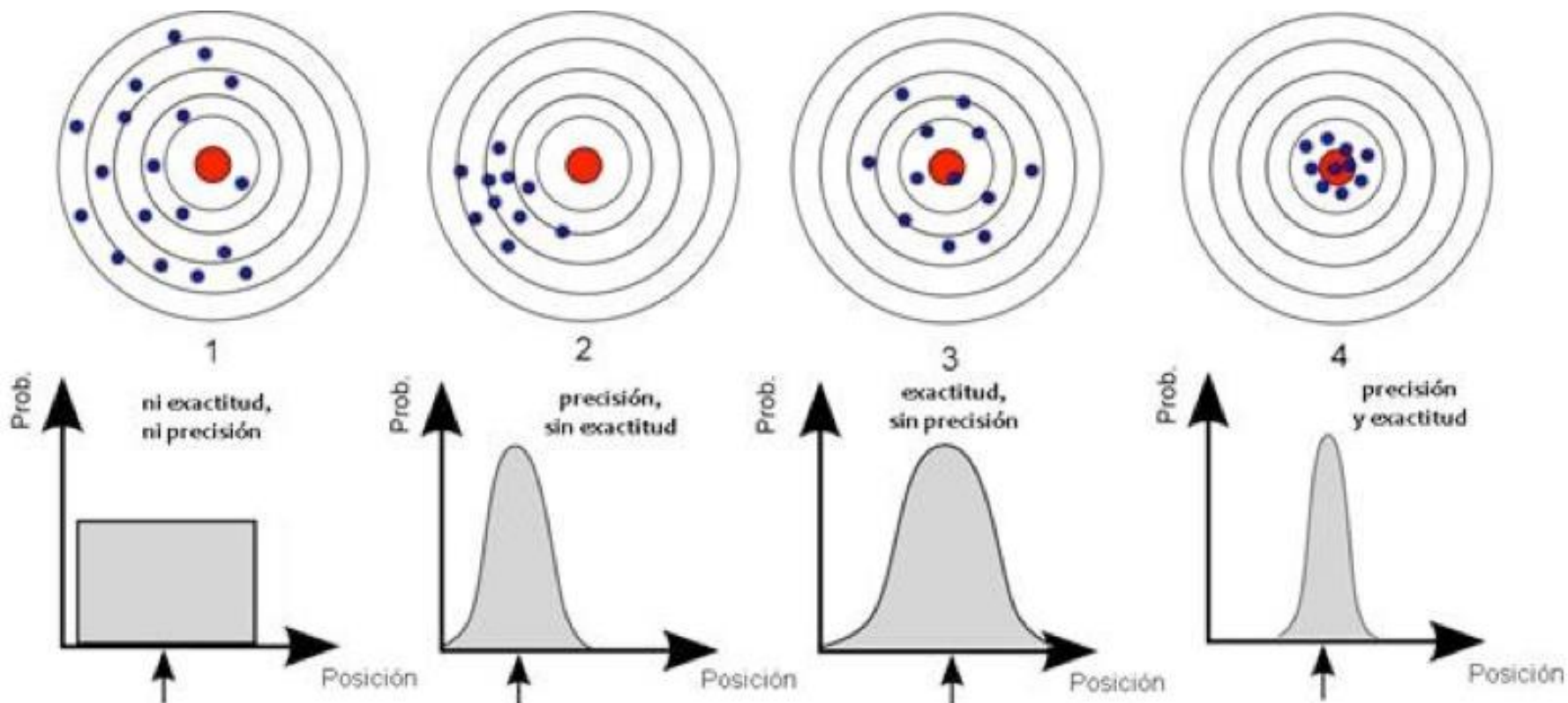
Doble especificación
 $1 \pm 0,02$

Producto es bueno si esta entre
0,98 a 1,02 litros

$$\left. \begin{array}{l} \mu + 3\sigma \\ \mu - 3\sigma \end{array} \right\}$$

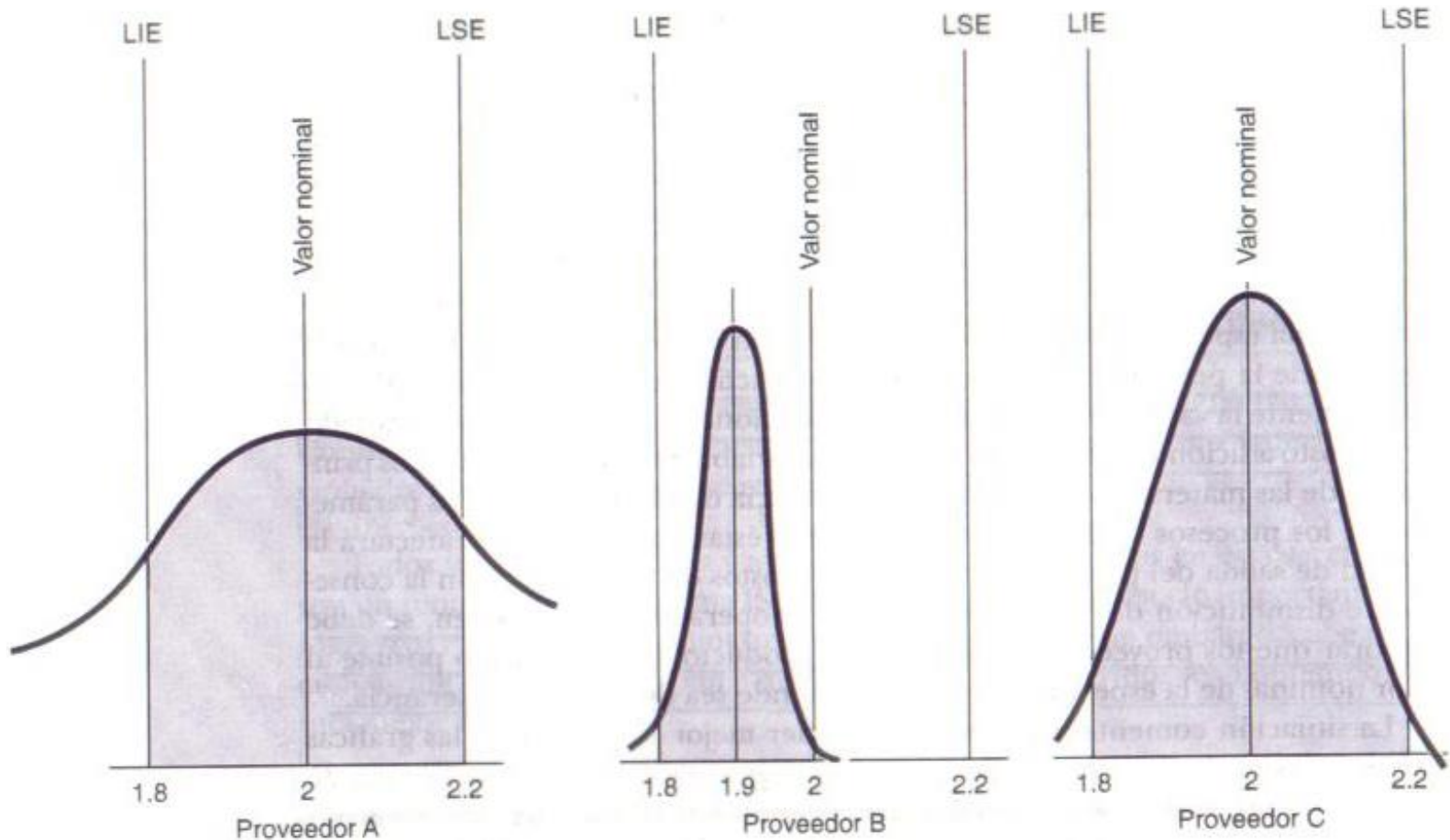
Una especificación
 $1 + 0,02$

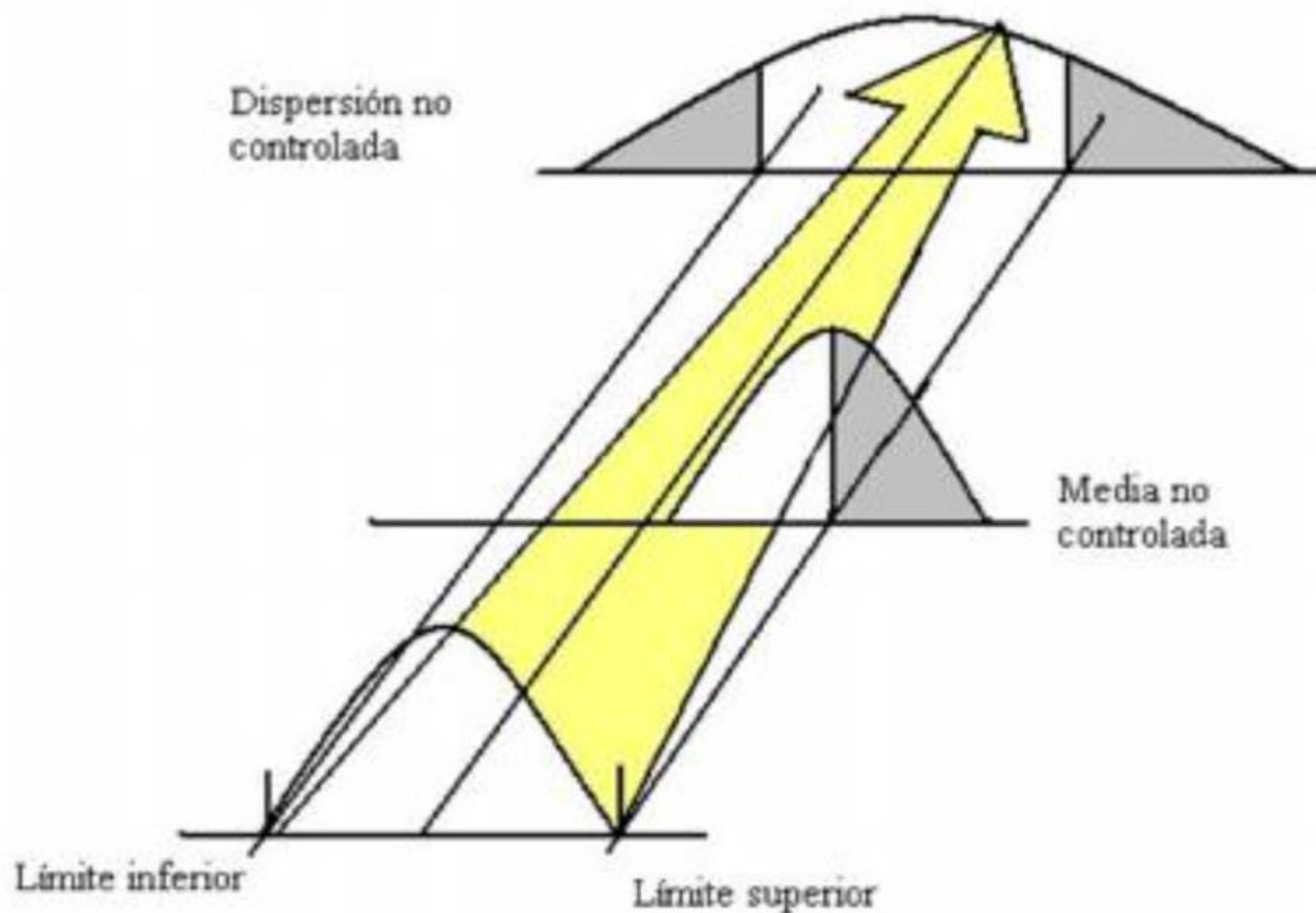
Una especificación superior
Esta bueno el producto que
se encuentre entre:
1 a 1,02



PRECISIÓN VRS EXÁCTITUD

¿Cuál proveedor tiene problemas de Exáctitud y cuál de Precisión?

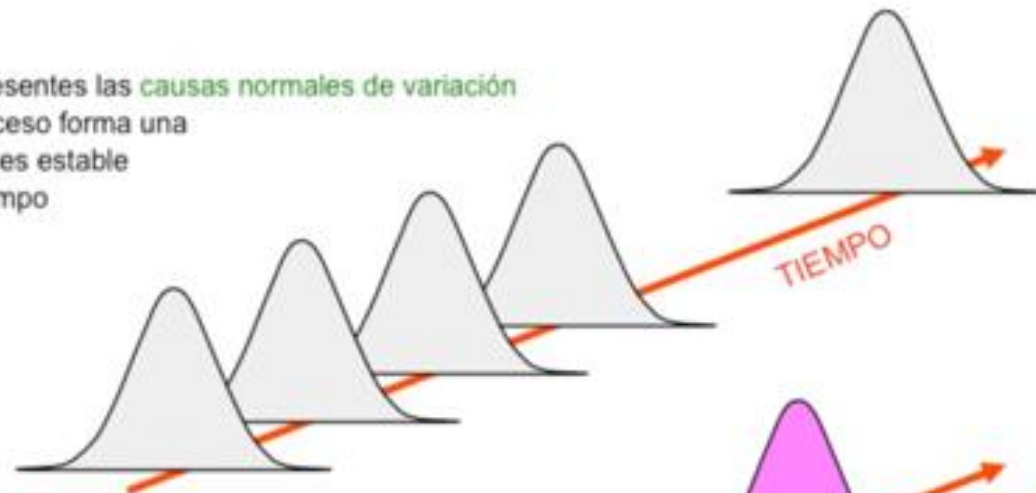




Causas de Variación

Causas Asignables – Causas No Asignables

Si sólo están presentes las **causas normales de variación** la salida del proceso forma una distribución que es estable a lo largo del tiempo y predecible:



Si aparecen **causas especiales** la salida del proceso no es estable a lo largo del tiempo y no es predecible:



Causas especiales y normales de variación.- Special and normal causes of variation

Causas No Asignables

Ocurren al azar y se deben a la naturaleza tecnológica de máquinas, procesos y materiales. Estas causas tienen una influencia muy pequeña sobre la calidad del producto y no son determinantes para que el proceso salga fuera de control. Estas causas son independientes entre sí.



Causas Asignables

Ocurren debido al comportamiento anormal de uno o más factores de calidad, son pocas en número, pero de gran influencia en la calidad del producto. Estas causas pueden ser estudiadas a fondo para disminuir o anular su influencia.



Ejemplo

- ◆ Una operación de corte de lámina, ejecutada en una guillotina, se efectúa siguiendo este procedimiento:
 - ◆ Colocar la lámina bajo la guillotina y sujetarla con el dispositivo.
 - ◆ Accionar la palanca de avance para que la guillotina baje.
 - ◆ Cortar la lámina.
 - ◆ Accionar la palanca de avance para que la guillotina suba.
 - ◆ Descargar las dos piezas y colocarlas a un lado de la guillotina

Causas Imputables a:



Mano de Obra

- Falta de adiestramiento
- Exceso de confianza
- Descuido
- Desmotivación
- Negligencia



Maquinaria

- Filo de cuchilla
- Lubricación partes mecánicas
- Desajustes de cuchilla
- Desajuste dispositivo

Causas Imputables a:



Método de Trabajo

- Puesto mal diseñado
- Distancia a la palanca inadecuado
- Método de descarga y carga
- Accionar no controlado



Materiales y Materia Prima

- Dureza de la lámina
- Láminas torcidas
- Porosidad
- Defectos superficiales
- Brillo Granulación
- Rayaduras

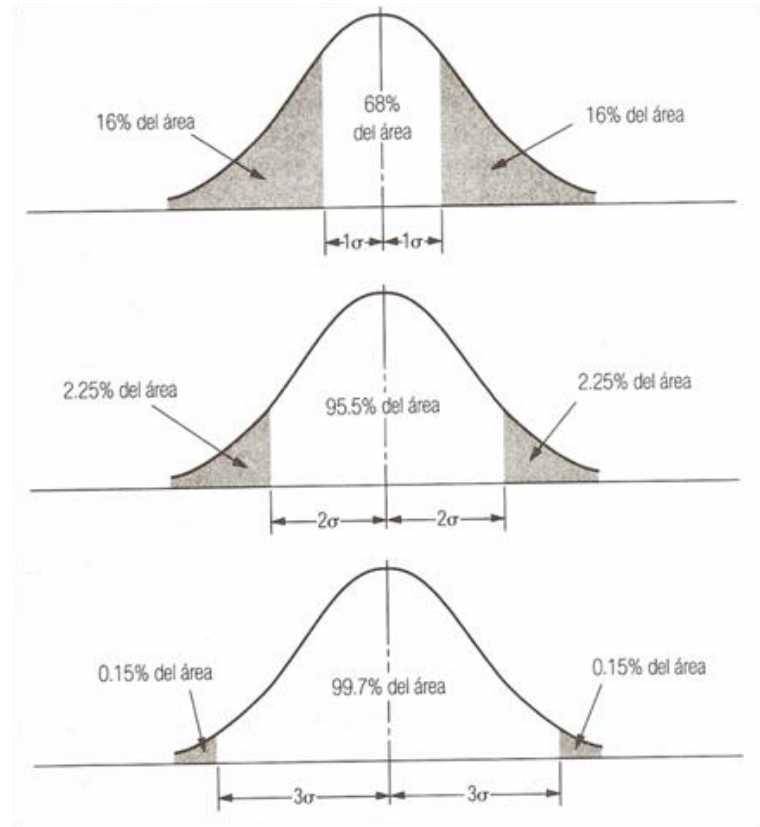
Gráficos de Control

El gráfico de control es una forma gráfica y cronológica de representar el comportamiento de una o más características de calidad, fijando límites que sean acordes con experiencias y valores especificados y previamente establecidos.



Gráficos de Control

Estadísticamente, el gráfico de control se puede definir como un intervalo de confianza en una escala serie-tiempo, en donde los límites de control son niveles de significación, con sus coeficientes correspondientes a la desviación estándar de la característica en estudio.



Gráficos de Control

El objetivo es llevar un estudio detallado del comportamiento de la variable con el fin de tomar las acciones correctivas y en especial preventivas para que las anomalías no se presenten. Los gráficos de control para variables se componen de dos partes: una se basa en promedios y controla **la exactitud**; la otra se basa en medidas de dispersión y **controla la precisión**.

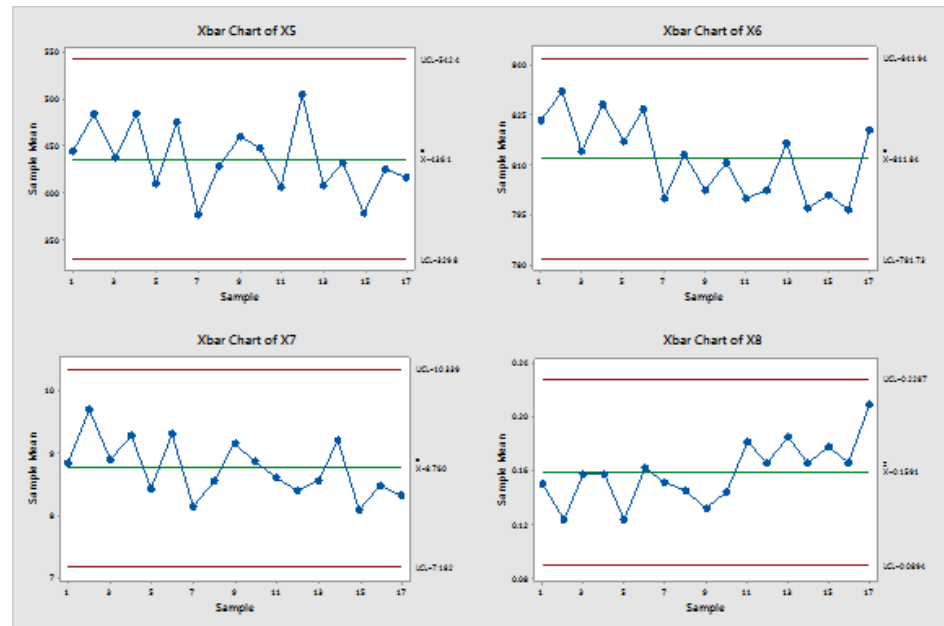
Tipos de Gráficos

Gráfico de promedios e intervalos

Gráfico de promedios y desviación estándar

Gráfico de medianas e intervalos

Gráfico de sumas acumuladas



Construcción del Gráfico

1. Selección de la variable
2. Definición del marco de muestreo y el método de selección
3. Determinación del número de sub grupos o muestras (m)
4. Determinación del tamaño del sub grupo o muestra (n)
5. Recolección de la información
6. Cálculo de límites de control
7. Construcción del gráfico

Gráfica o carta de $\bar{x} - R$

Esta se usa para controlar y analizar un proceso en el cual la característica de calidad del producto que se está midiendo toma valores continuos, tales como longitud, peso o concentración.

Límites de Control

Carta de Promedios:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + (A_2 \times \bar{R})$$

$$LCC = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - (A_2 \times \bar{R})$$

Carta de Intervalos:

$$LSC = D_4 \times \bar{R}$$

$$LCC = \bar{R}$$

$$LIC = D_3 \times \bar{R}$$

Gráfica o carta de $\bar{x}$ y $R_{móvil}$

Esta se usa para controlar y analizar un proceso en el cual la característica de calidad del producto que se está midiendo toma valores continuos, tales como longitud, peso o concentración.

Límites de Control

Carta de Individuales:

$$LSC = \bar{x} + 3 \left(\bar{R} / d_2 \right)$$

$$LCC = \bar{x}$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \left(\bar{R} / d_2 \right)$$

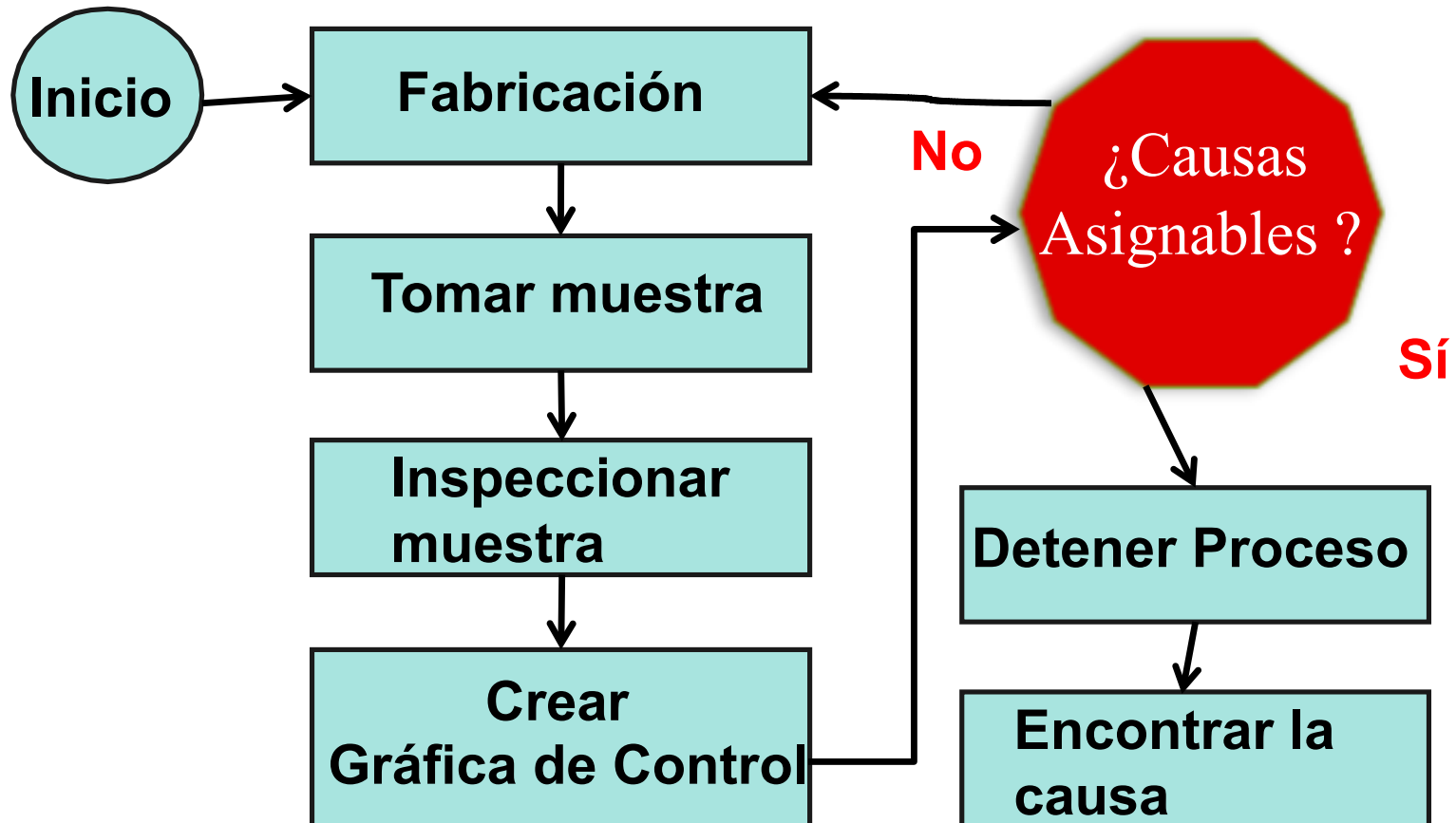
Para el Rango Móvil utilizamos la mismas fórmulas de la carta de Rangos pero con un n de 2

$$LSC = D_4 \times \bar{R}$$

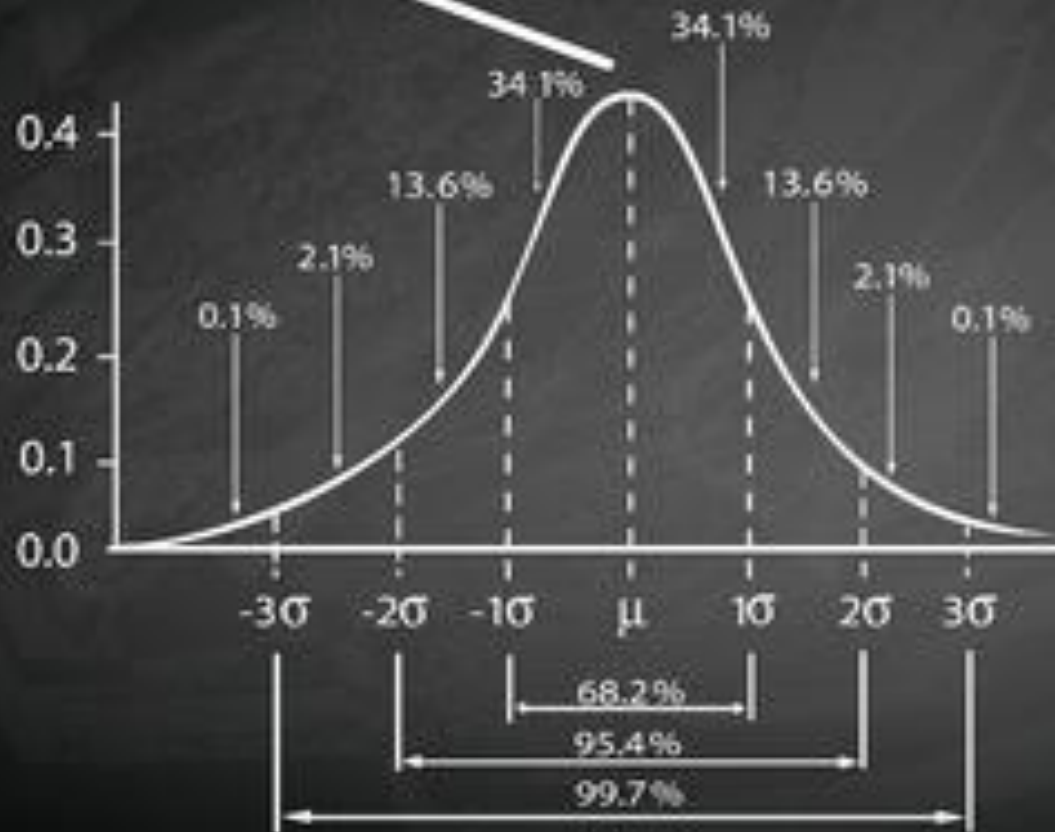
$$LCC = \bar{R}$$

$$LIC = D_3 \times \bar{R}$$

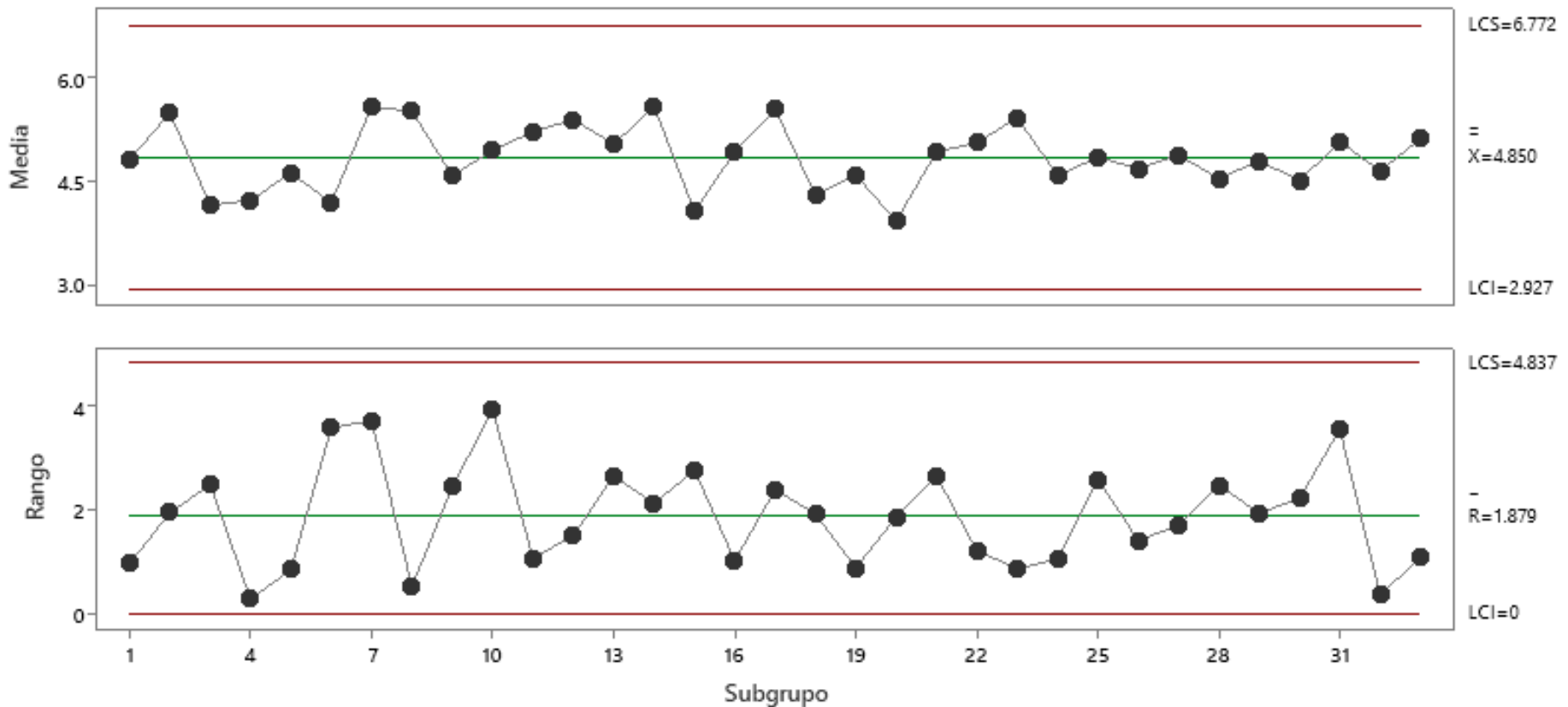
Proceso Estadístico de Control

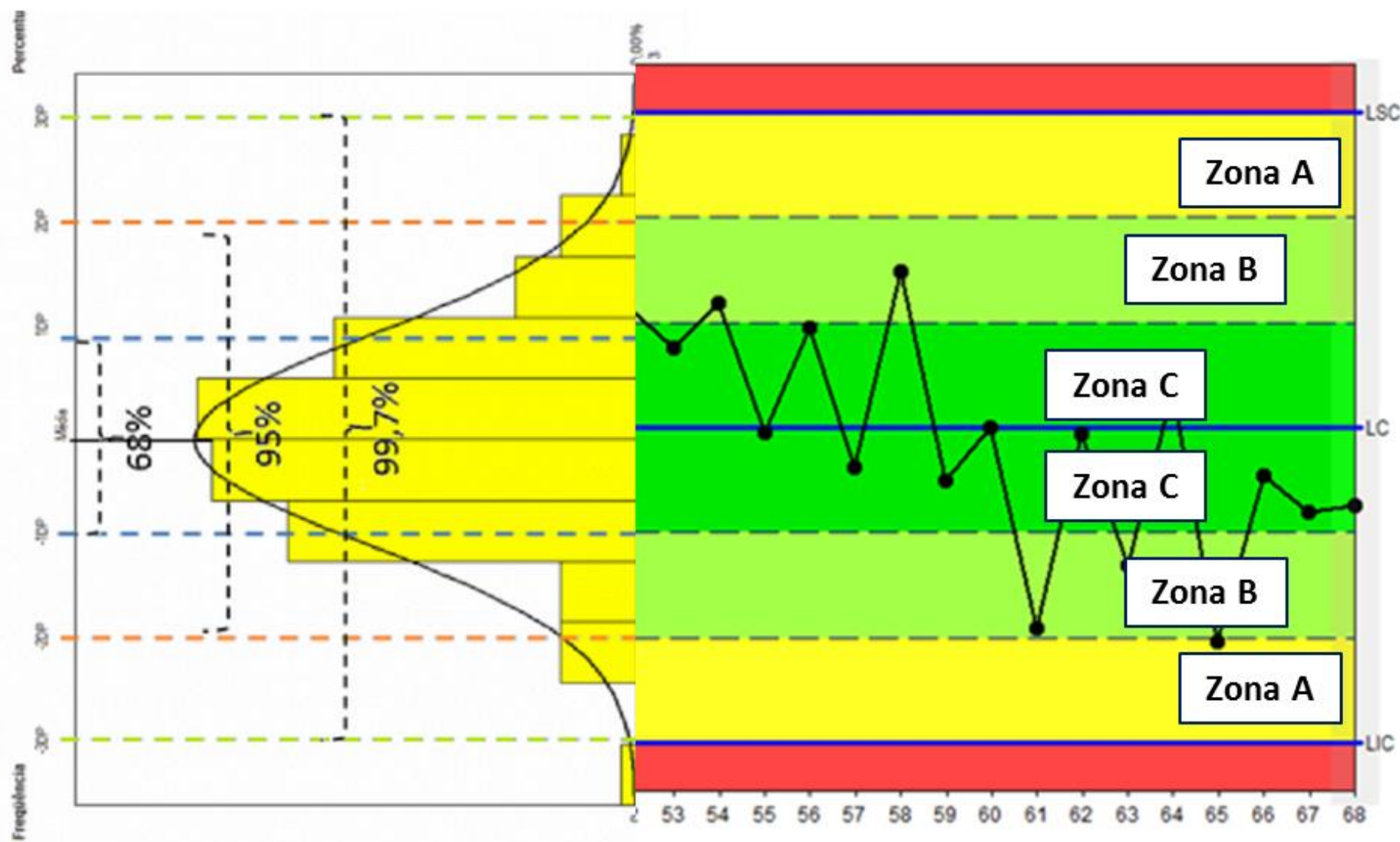


Distribución Normal

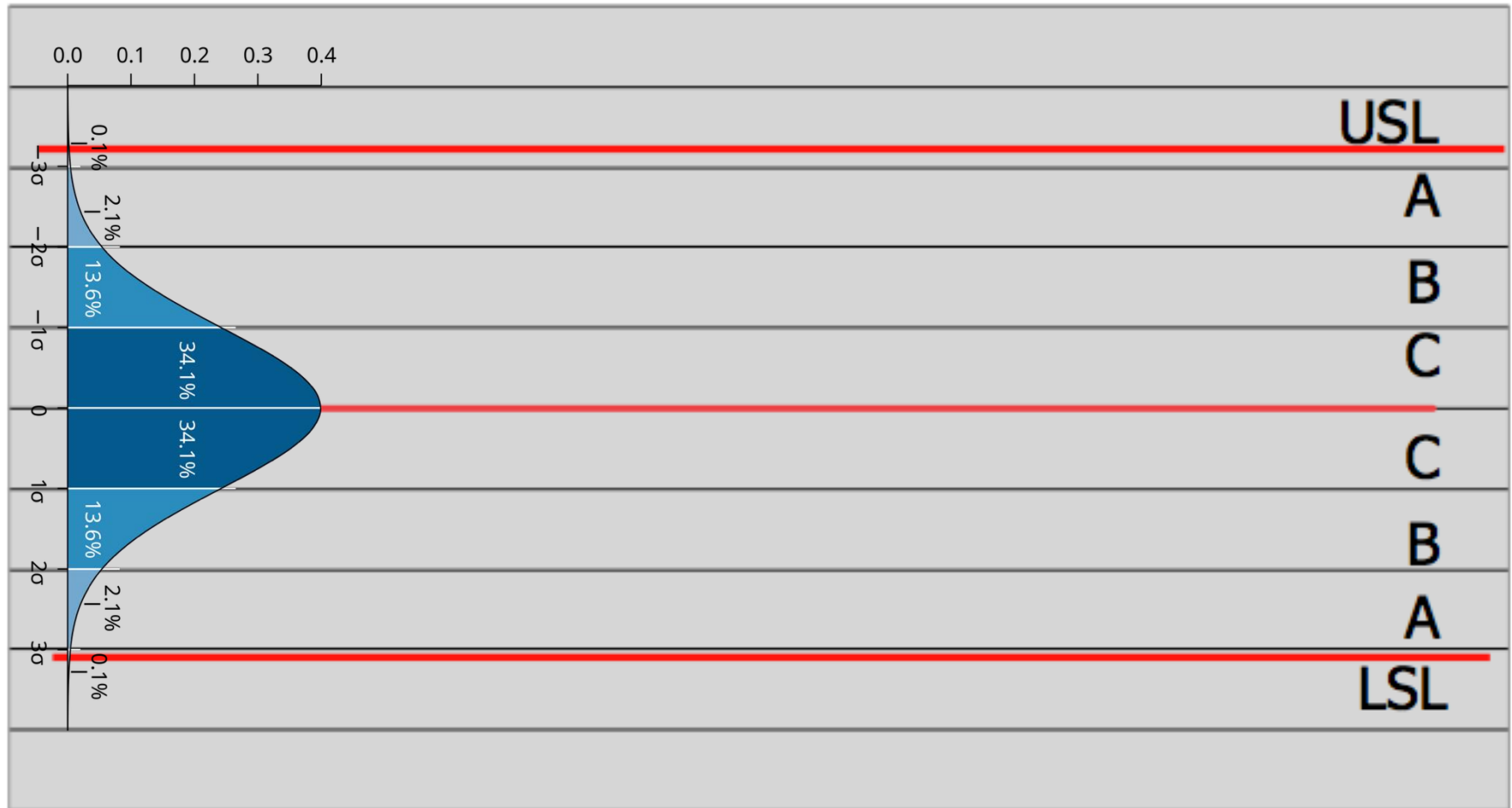


Gráfica o carta de $\bar{x} - R$

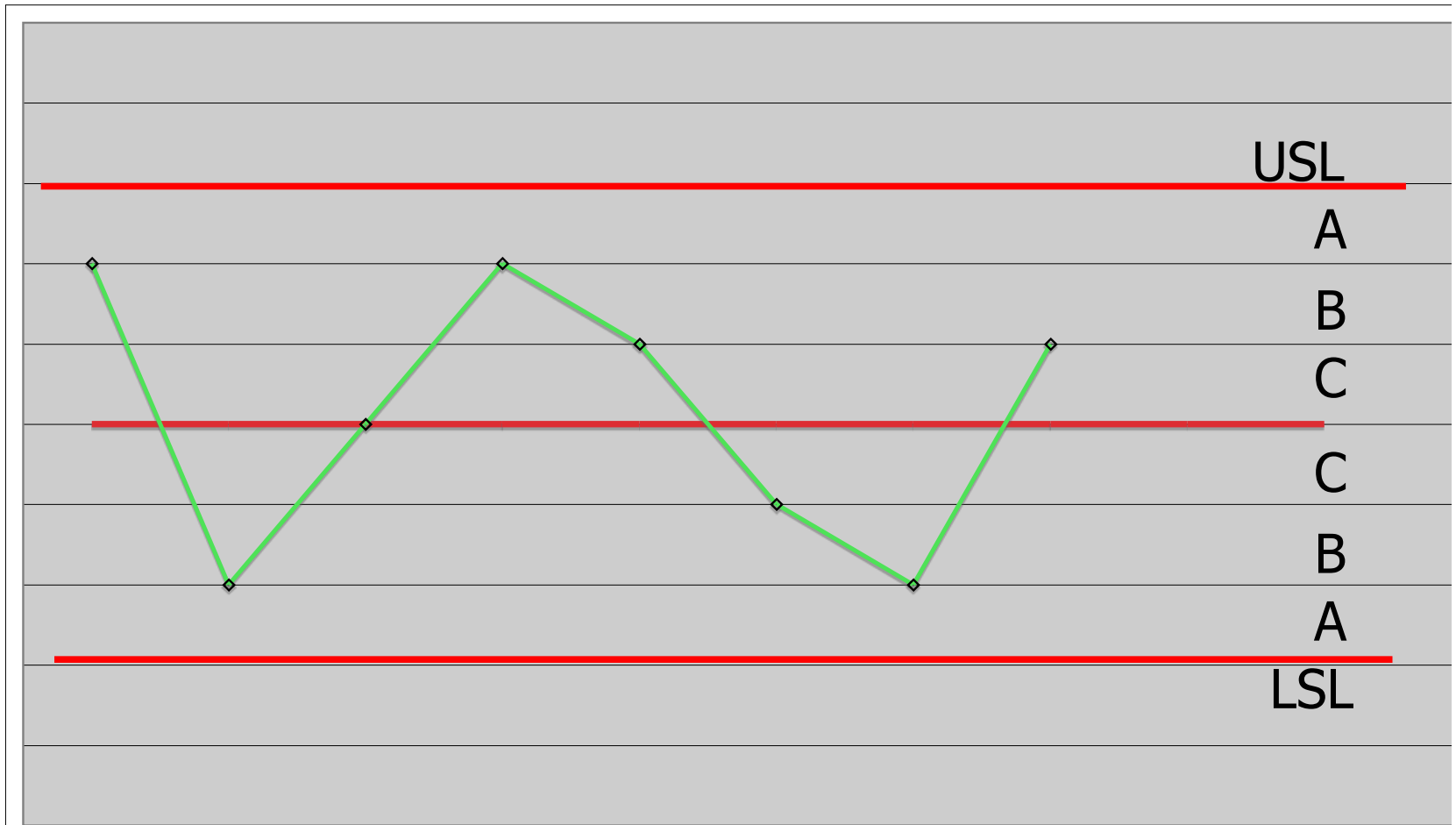




Buscamos una variabilidad de puntos aleatorios pero con base en una distribución normal.

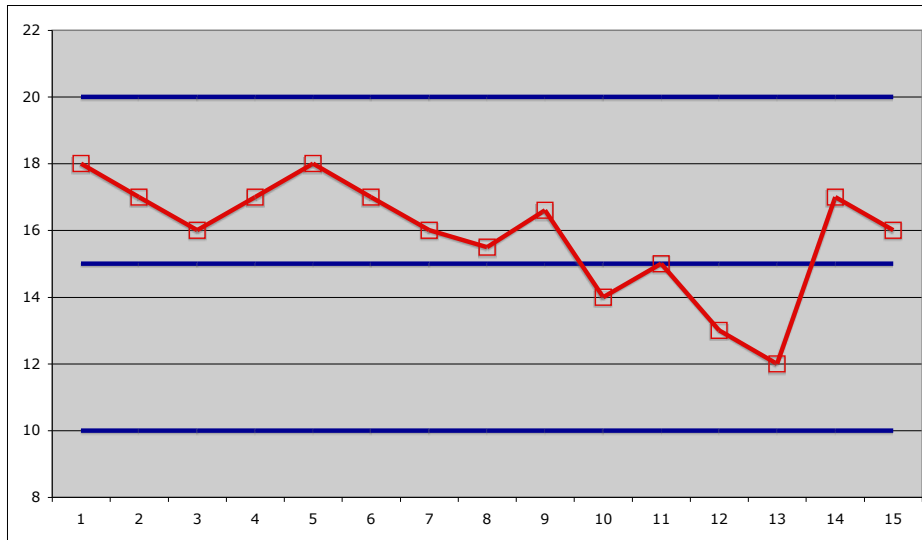


Proceso estable



La carta indica que un proceso es estable cuando sus puntos caen dentro de los límites de control y fluctúan o varían aleatoriamente

Patrón 1. Cambios en el nivel del proceso

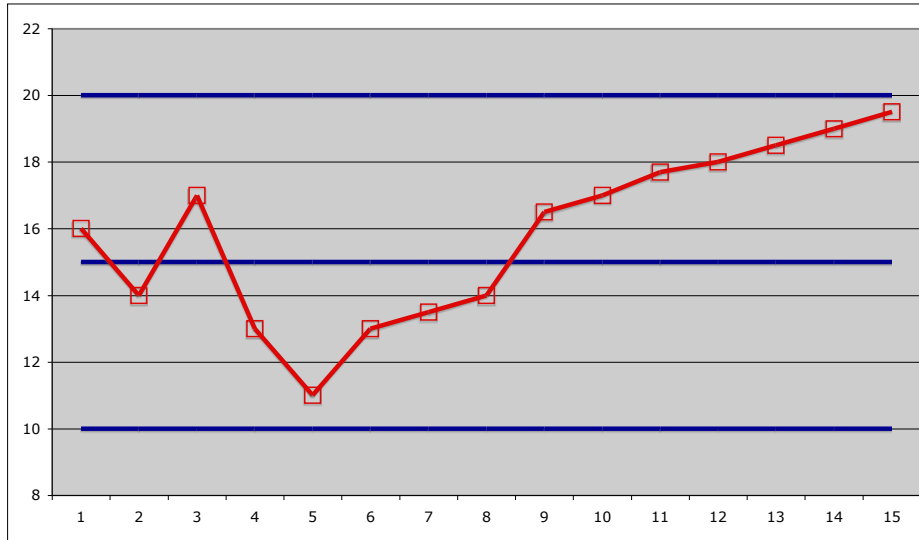


- ! Introducción de nuevos trabajadores
- ! Cambios en los métodos de inspección
- ! Mayor o menor atención de los trabajadores
- ! El proceso ha mejorado o empeorado

Representa un cambio en el promedio del proceso o en su variación media

Un punto fuera de los límites de control o una tendencia clara y larga que los puntos consecutivos caen en un solo lado de la línea central

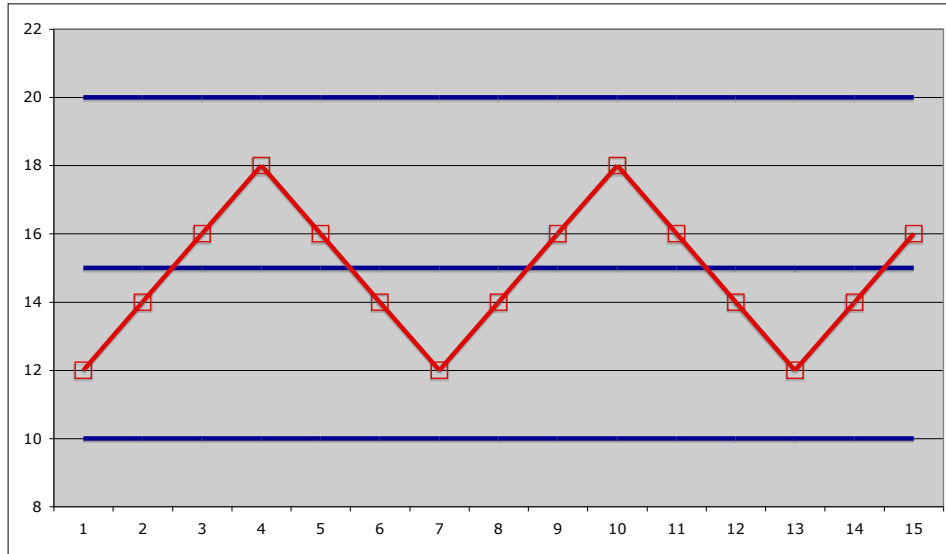
Patrón 2. Tendencias en el nivel del proceso



- ! Deterioro o desajuste gradual del equipo
- ! Desgaste de las herramientas de corte
- ! Acumulación de desperdicios en las tuberías
- ! Calentamiento de máquinas
- ! Cambios graduales del medio ambiente

Representa un desplazamiento paulatino del nivel medio de un proceso. Movimiento demasiado largo de puntos hacia arriba o abajo.

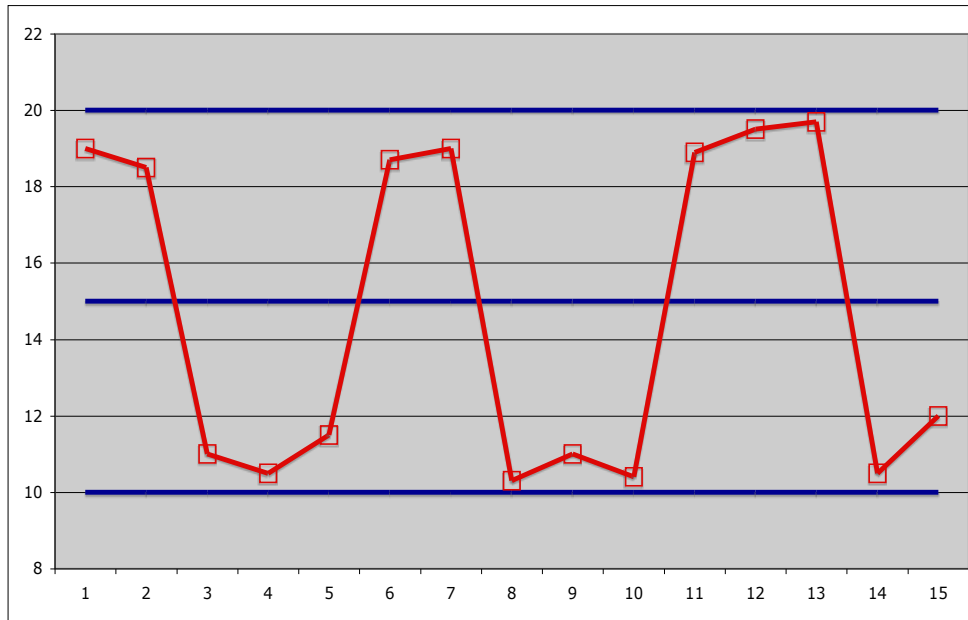
Patrón 3. Ciclos recurrentes (periodicidad)



- ! Cambios periódicos en el ambiente
- ! Diferencias en los dispositivos de medición o de prueba
- ! Rotación regular de máquinas u operarios
- ! Efecto sistemático producido por 2 máquinas, operarios o materiales que se usan alternadamente

Desplazamientos cíclicos de un proceso que se detectan cuando se dan flujos de puntos consecutivos que tienden a crecer y luego decrecer en forma similar

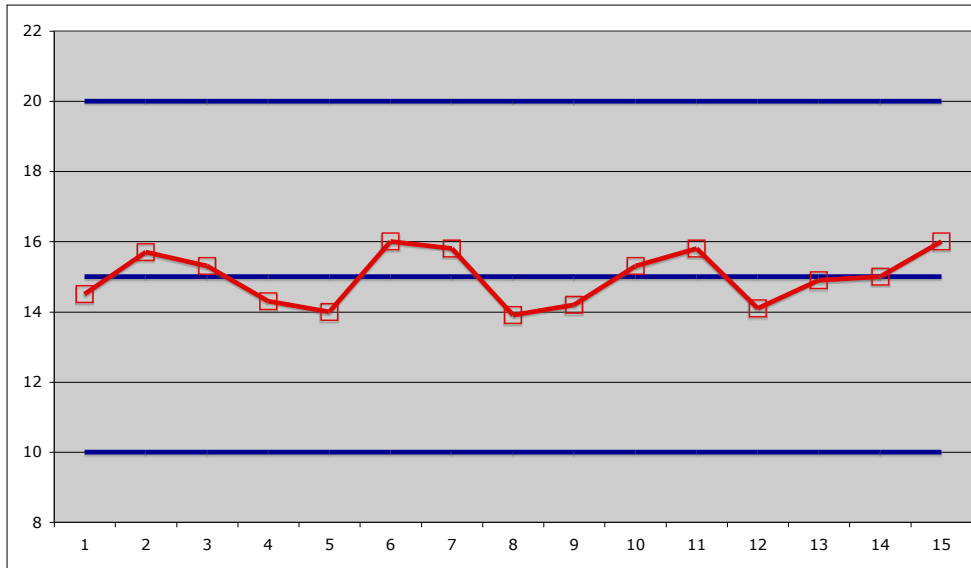
Patrón 4. Mucha variabilidad



- ! Sobre control o ajustes innecesarios en el proceso
- ! Diferencias sistemáticas en la calidad del material o en los métodos de prueba
- ! Control de 2 o más procesos en la misma carta con diferentes promedios

Señal de que existe una causa asignable de mucha variación. Se manifiesta mediante la alta proporción de puntos cerca de los límites de control, a ambos lados de la línea central, y pocos o ninguno en la parte central

Patrón 5. Falta de variabilidad (estatificación)



- ! Equivocación en el cálculo de los límites de control
- ! Agrupamiento en una misma muestra a datos provenientes de universos con medias bastantes diferentes que al combinarse se compensan unas con otras.
- ! Cuchareo de los resultados
- ! Carta de control inapropiada para el estadístico graficado

Una señal de que hay algo especial en el proceso es que prácticamente todos los puntos se concentren en la parte central del gráfico

Ejercicio

En www.ucreanop.com en ejercicios de clase está el archivo de Excel con el nombre Sesión 09 ejercicio de cartas de control para variables.

Los valores que se adjuntan corresponden a la fabricación de un producto realizada en tres días sucesivos. La especificación para este producto es de 8.7 ± 0.5 centímetros.

Muestra	Día 1									
	Sub grupos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	9.50	9.80	9.20	10.80	11.90	9.20	9.70	9.10	9.30	8.90
2	10.10	9.20	8.90	10.20	8.90	8.80	10.40	8.00	10.60	8.50
3	9.40	8.00	9.80	10.20	9.20	10.00	10.00	9.50	8.60	9.30
4	11.70	10.20	8.60	11.40	9.50	8.60	8.10	9.10	9.80	8.30
5	10.10	9.50	9.50	11.10	8.90	9.00	9.00	10.10	9.60	9.90
Promedio	10.16	9.34	9.20	10.74	9.68	9.12	9.44	9.16	9.58	8.98
Intervalo	2.30	2.20	1.20	1.20	3.00	1.40	2.30	2.10	2.00	1.60

Muestra	Día=2 Sub-grupos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	9.00	9.00	8.50	9.00	8.10	9.00	9.20	8.80	9.20	8.80
2	8.30	8.10	9.70	10.20	10.40	8.80	9.00	7.00	9.00	9.80
3	8.70	9.00	9.50	8.20	9.90	9.10	8.40	7.60	8.40	8.60
4	10.30	7.80	8.50	9.80	9.30	7.00	8.40	7.20	8.60	9.60
5	9.80	9.60	8.80	8.80	9.10	11.10	9.60	8.80	8.40	9.80
Promedio	9.22	8.70	9.00	9.20	9.36	9.00	8.92	7.88	8.72	9.32
Intervalo	2.00	1.80	1.20	2.00	2.30	4.10	1.20	1.80	0.80	1.20

Muestra	Día=3 Sub-grupos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8.10	8.50	8.70	10.10	9.10	9.60	7.50	8.70	9.40	8.20
2	8.30	8.70	8.30	10.50	8.30	9.10	9.80	8.80	10.00	8.90
3	8.90	8.90	8.70	10.50	8.30	8.30	9.80	8.30	10.30	8.90
4	10.10	9.10	9.10	9.50	8.10	9.90	8.10	8.60	8.90	9.20
5	8.50	9.70	7.30	9.50	8.90	8.90	7.90	9.50	8.80	8.50
Promedio	8.78	8.98	8.42	10.02	8.54	9.16	8.62	8.78	9.48	8.74
Intervalo	2.00	1.20	1.80	1.00	1.00	1.60	2.30	1.20	1.50	1.00

Carta de Promedios:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + (A_2 \times \bar{R})$$

$$LCC = \bar{\bar{x}}$$

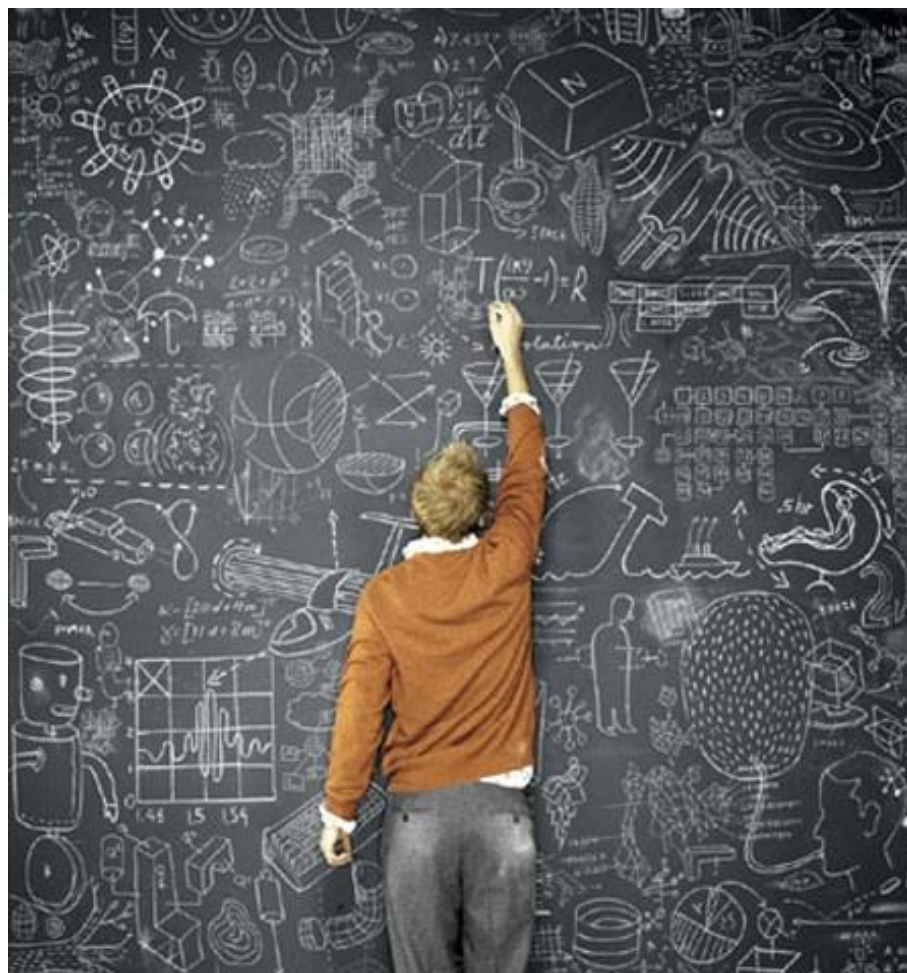
$$LIC = \bar{\bar{x}} - (A_2 \times \bar{R})$$

Carta de Intervalos:

$$LSC = D_4 \times \bar{R}$$

$$LCC = \bar{R}$$

$$LIC = D_3 \times \bar{R}$$





**Bajar las tablas
estadísticas de la
página del curso**

TABLAS ESTADÍSTICAS

Tabla 1. Factores para Gráficas de Control

Factores Para Gráficos de Control por Variables													
	Promedios		Intervalos						Desviaciones Normales				
n	A1	A2	d2	d3	D1	D2	D3	D4	c2	B1	B2	B3	B4
2	3.76	1.88	1.13	0.89	0	3.69	0	3.27	0.56	0	1.84	0	1.27
3	2.39	1.02	1.69	0.88	0	4.36	0	2.57	0.72	0	1.86	0	2.57
4	1.88	0.73	2.06	0.86	0	4.70	0	2.28	0.80	0	1.81	0	2.27
5	1.60	0.58	2.33	0.85	0	4.92	0	2.11	0.84	0	1.76	0	2.09
6	1.41	0.48	2.53	0.85	0	5.08	0	2.00	0.87	0.03	1.71	0.03	1.97
7	1.28	0.42	2.70	0.83	0.2	5.20	0.08	1.92	0.89	0.10	1.67	0.12	1.88
8	1.17	0.37	2.85	0.82	0.39	5.31	0.14	1.86	0.90	0.17	1.64	0.18	1.81
9	1.09	0.34	2.97	0.81	0.55	5.39	0.18	1.82	0.91	0.22	1.61	0.24	1.76
10	1.03	0.31	3.08	0.80	0.69	5.47	0.22	1.78	0.92	0.26	1.58	0.28	1.72
11	0.97	0.29	3.17	0.79	0.81	5.53	0.26	1.74	0.93	0.30	1.56	0.32	1.68
12	0.92	0.27	3.26	0.78	0.92	5.59	0.28	1.72	0.94	0.33	1.54	0.35	1.62
13	0.88	0.25	3.34	0.77	1.03	5.65	0.33	1.69	0.94	0.36	1.52	0.38	1.65
14	0.85	0.23	3.41	0.76	1.12	5.69	0.31	1.67	0.95	0.38	1.51	0.41	1.59
15	0.82	0.22	3.47	0.75	1.21	5.74	0.35	1.65	0.95	0.41	1.49	0.43	1.57
16	0.79	0.21	3.53	0.75	1.28	5.78	0.36	1.64	0.95	0.43	1.48	0.45	1.55
17	0.76	0.20	3.59	0.74	1.36	5.82	0.38	1.62	0.96	0.44	1.46	0.47	1.53
18	0.74	0.19	3.64	0.74	1.43	5.85	0.39	1.61	0.96	0.46	1.45	0.48	1.52
19	0.72	0.19	3.69	0.73	1.49	5.89	0.40	1.60	0.96	0.48	1.44	0.50	1.50
20	0.70	0.18	3.73	0.73	1.55	5.92	0.41	1.59	0.96	0.49	1.43	0.51	1.49
21	0.68	0.17	3.78	0.72	1.61	5.95	0.42	1.57	0.96	0.50	1.42	0.52	1.48
22	0.66	0.17	3.82	0.72	1.66	5.98	0.43	1.57	0.97	0.52	1.41	0.53	1.47
23	0.65	0.16	3.86	0.72	1.71	6.00	0.44	1.56	0.97	0.53	1.41	0.54	1.45
24	0.63	0.16	3.90	0.71	1.76	6.03	0.45	1.55	0.97	0.54	1.40	0.55	1.44
25	0.62	0.15	3.93	0.71	1.80	6.06	0.46	1.54	0.97	0.55	1.39	0.56	1.43
+ de 25	$3/\sqrt{n}$	--	--	--	--	--	--	--	1	$1-3/\sqrt{2n}$	$1+3/\sqrt{2n}$	$1-3/\sqrt{2n}$	$1+3/\sqrt{2n}$

Muestra	Día 1									
	Sub grupos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	9.50	9.80	9.20	10.80	11.90	9.20	9.70	9.10	9.30	8.90
2	10.10	9.20	8.90	10.20	8.90	8.80	10.40	8.00	10.60	8.50
3	9.40	8.00	9.80	10.20	9.20	10.00	10.00	9.50	8.60	9.30
4	11.70	10.20	8.60	11.40	9.50	8.60	8.10	9.10	9.80	8.30
5	10.10	9.50	9.50	11.10	8.90	9.00	9.00	10.10	9.60	9.90
Promedio	10.16	9.34	9.20	10.74	9.68	9.12	9.44	9.16	9.58	8.98
Intervalo	2.30	2.20	1.20	1.20	3.00	1.40	2.30	2.10	2.00	1.60

Carta de Promedios:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + (A_2 \times \bar{R})$$

$$LCC = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - (A_2 \times \bar{R})$$

Carta de Intervalos:

$$LSC = D_4 \times \bar{R}$$

$$LCC = \bar{R}$$

$$LIC = D_3 \times \bar{R}$$

DÍA 1

$$\bar{\bar{X}} = 9,54$$

$$\bar{R} = 1,93$$

Límites de control del proceso

Promedios

$$LSC = 9,54 + (0,58 \times 1,93) = 10,66$$

$$LCC = 9,54$$

$$LIC = 9,54 - (0,58 \times 1,93) = 8,42$$

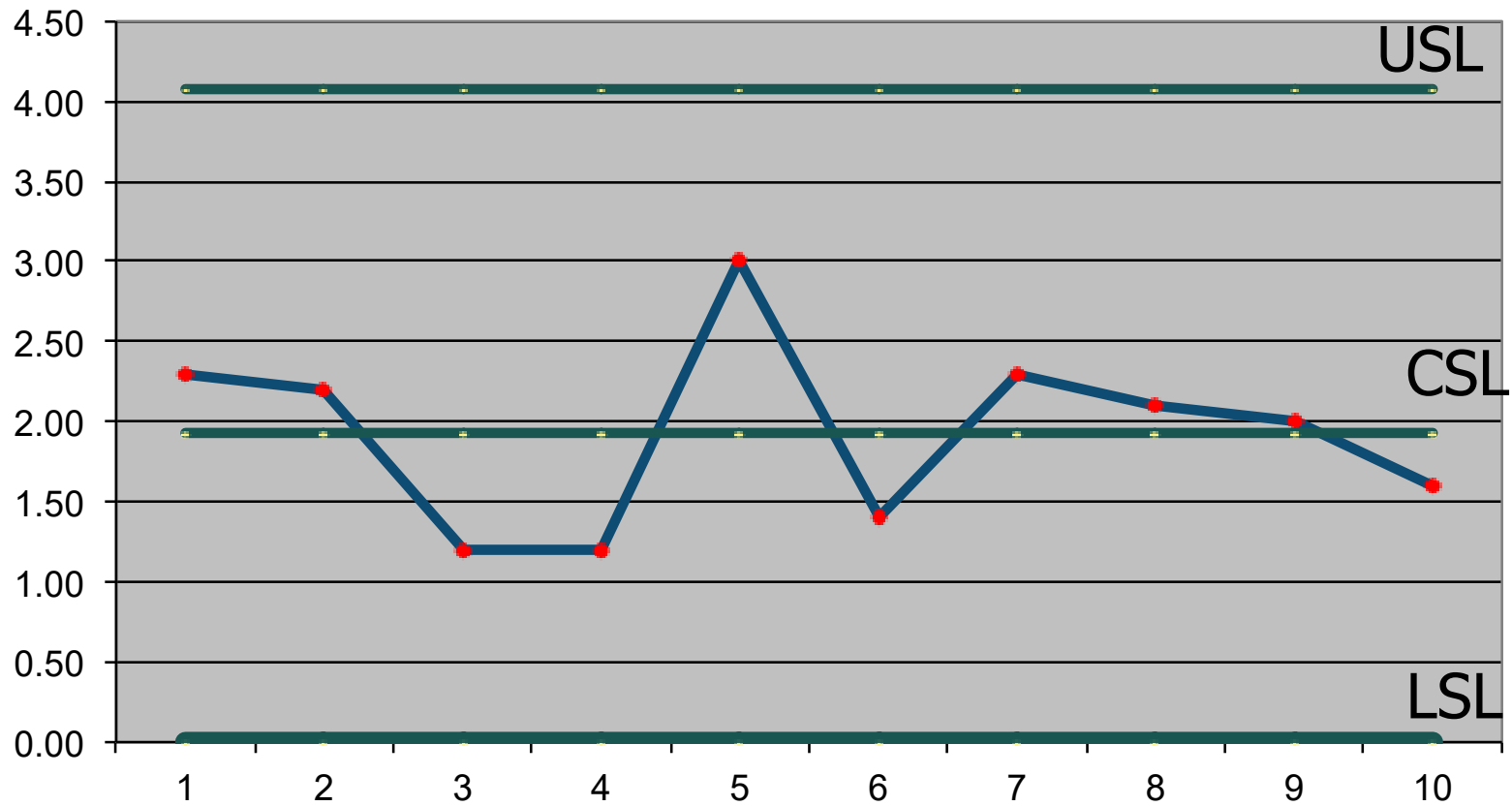
Intervalos

$$LSC = 2,11 \times 1,93 = 4,07$$

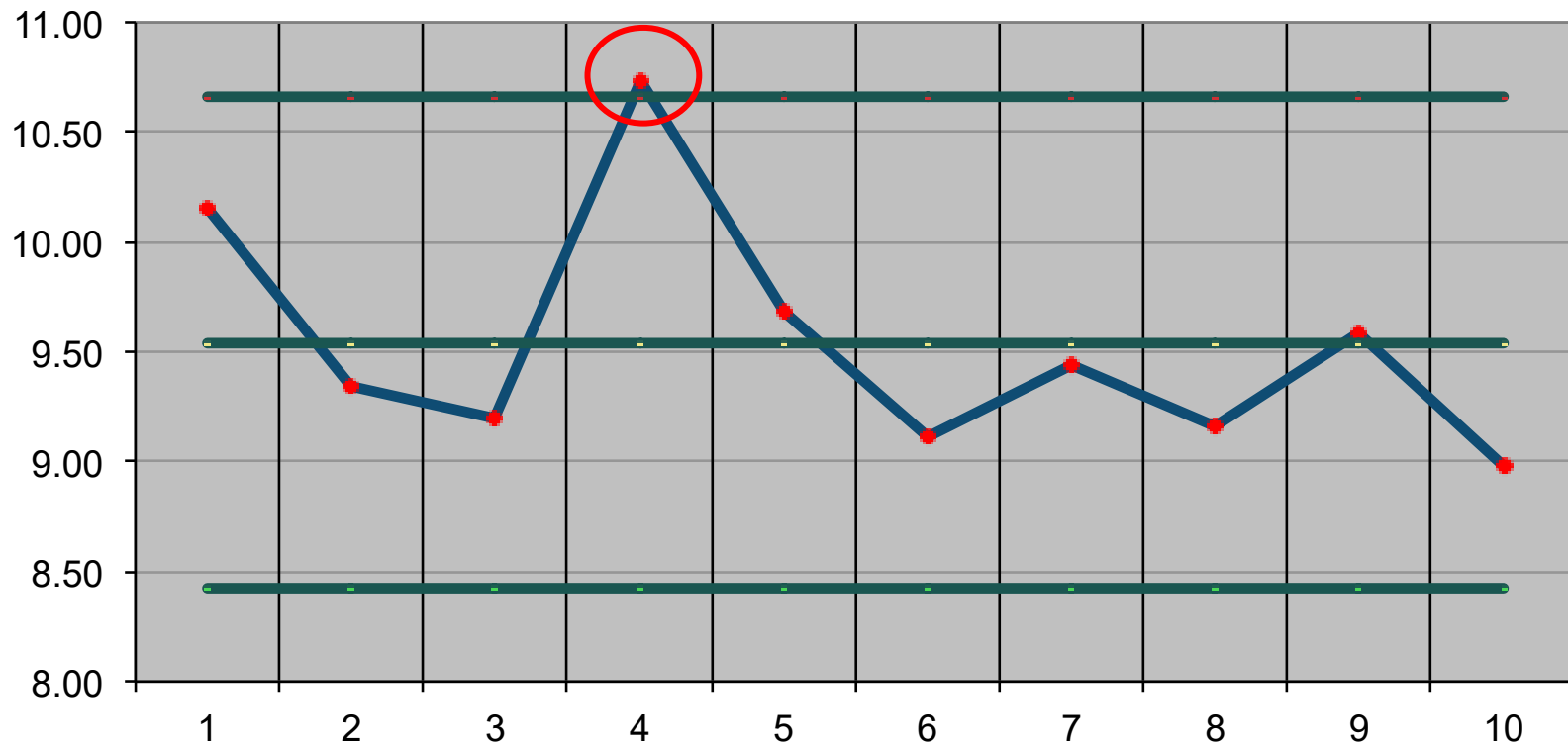
$$LCC = 1,93$$

$$LIC = 0 \times 1,93 = 0,00$$

Primer Día Gráfica $\bar{R}$



Primer Día Gráfica $\bar{\bar{X}}$



Recalculamos la carta de Promedios

$$\bar{\bar{X}} = 9,41$$

Límites de control del proceso

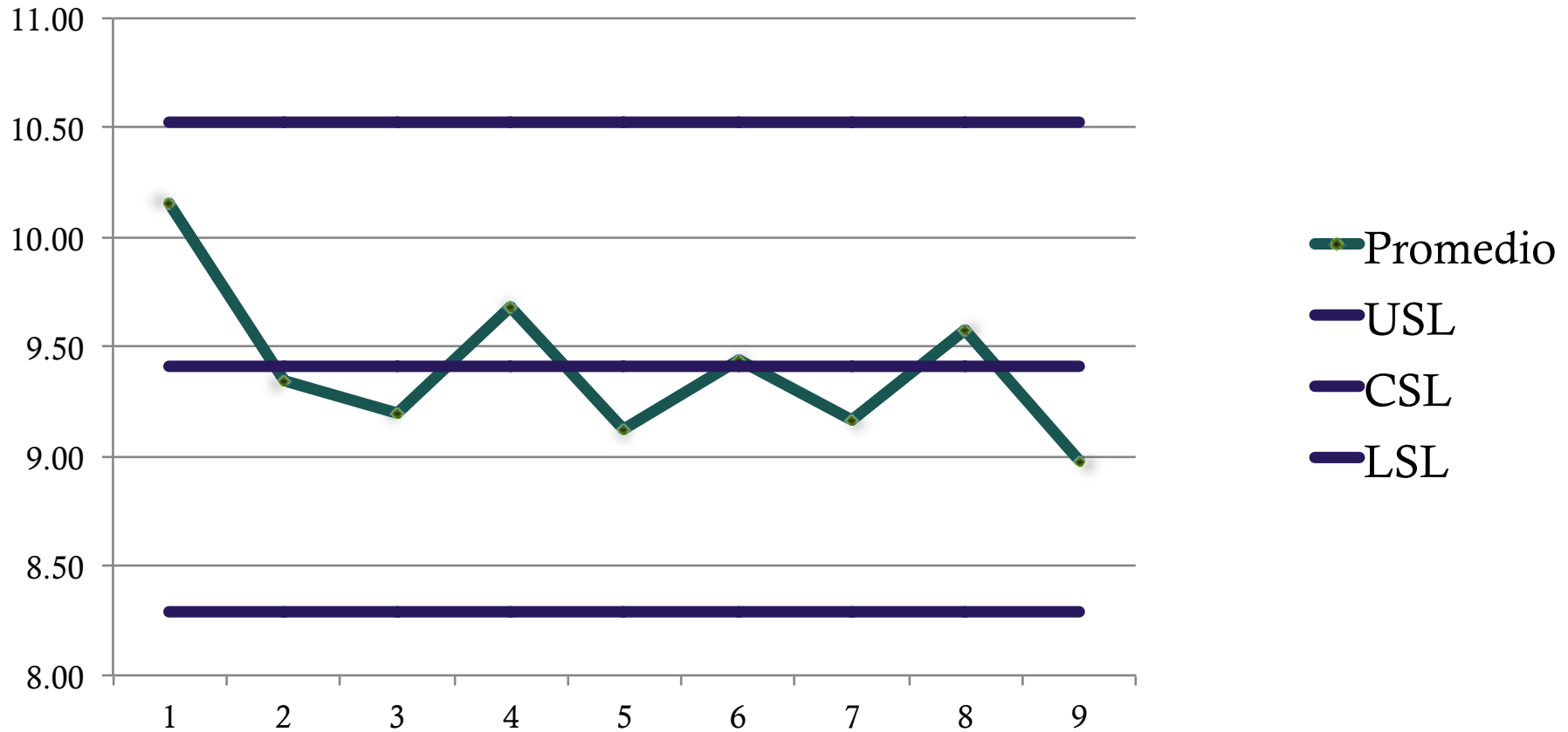
Promedios

$$LSC = 9,41 + (0,58 \times 1,93) = 10,52$$

$$LCC = 9,41$$

$$LIC = 9,41 - (0,58 \times 1,93) = 8,29$$

Primer Día Gráfica $\bar{\bar{X}}$ Recalculada



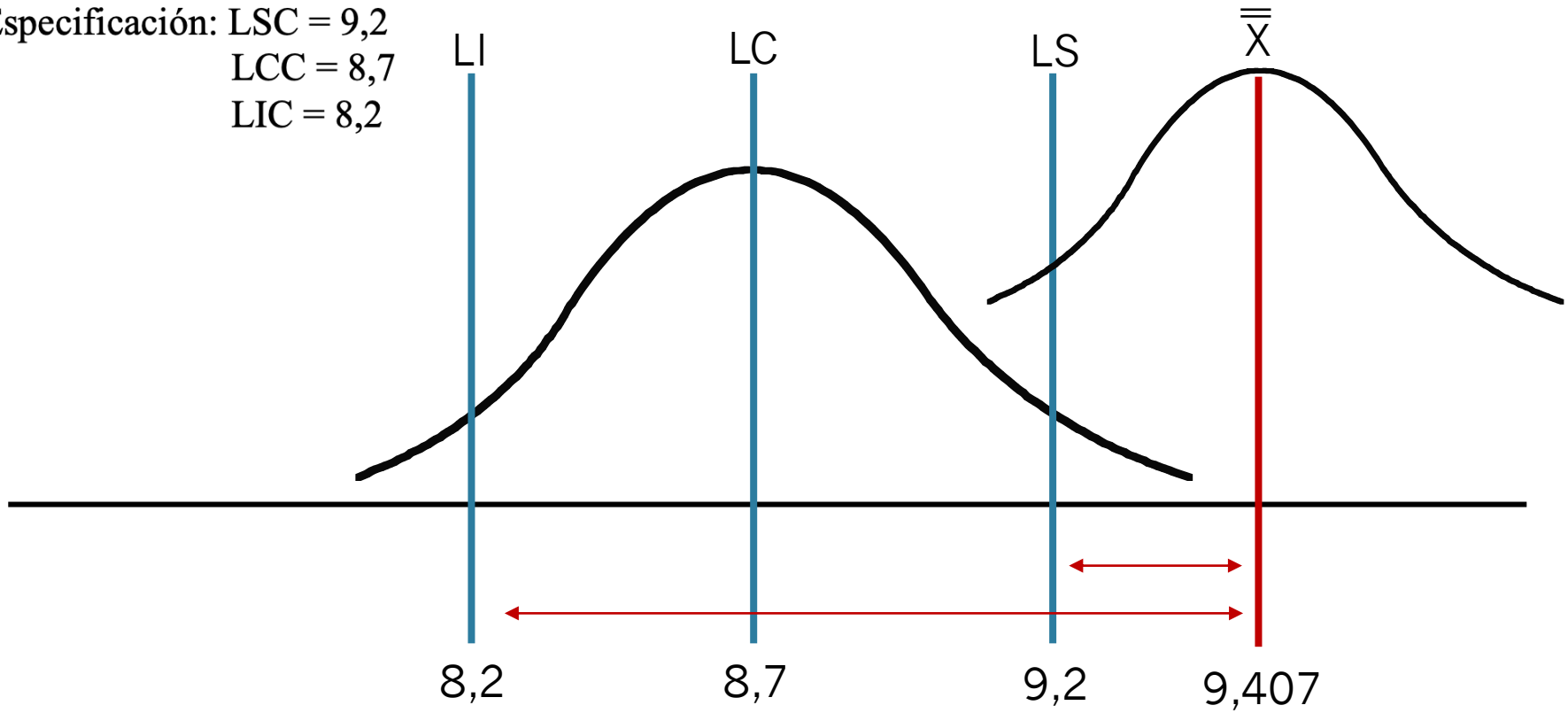


Ahora Calculamos Porcentajes de Defectuosos

- Por Precisión
- Por Exáctitud

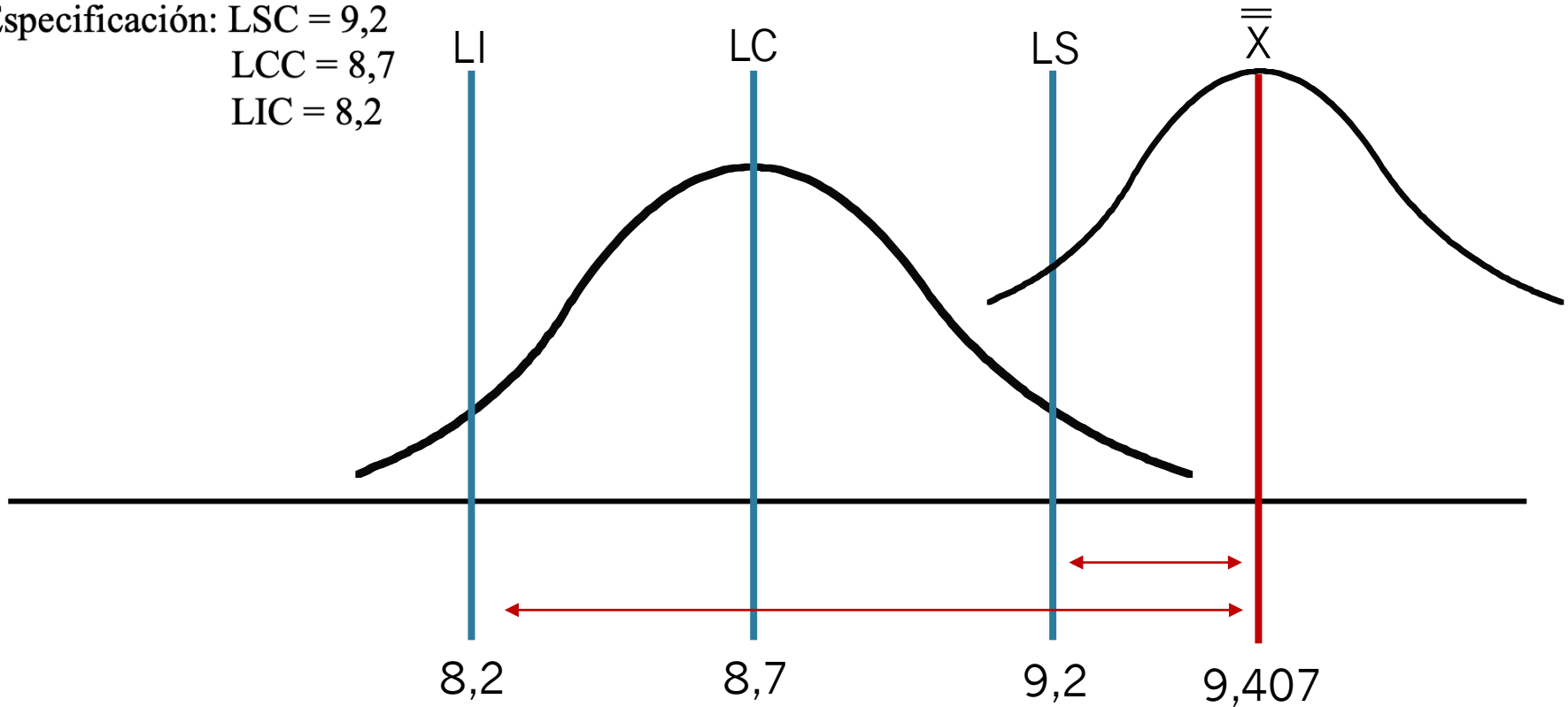
$$Z_t = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad \frac{8,7 - 8,7}{\sigma} = ?$$

Especificación: LSC = 9,2
LCC = 8,7
LIC = 8,2



$$Z_t = \frac{X - \mu}{\sigma} = \frac{8,7 - 8,7}{\sigma} = 0 \longrightarrow \text{Probabilidad} = 50\%$$

Especificación: LSC = 9,2
LCC = 8,7
LIC = 8,2



¿Cómo calculamos la probabilidad de las unidades buenas?

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

$$Z_t = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

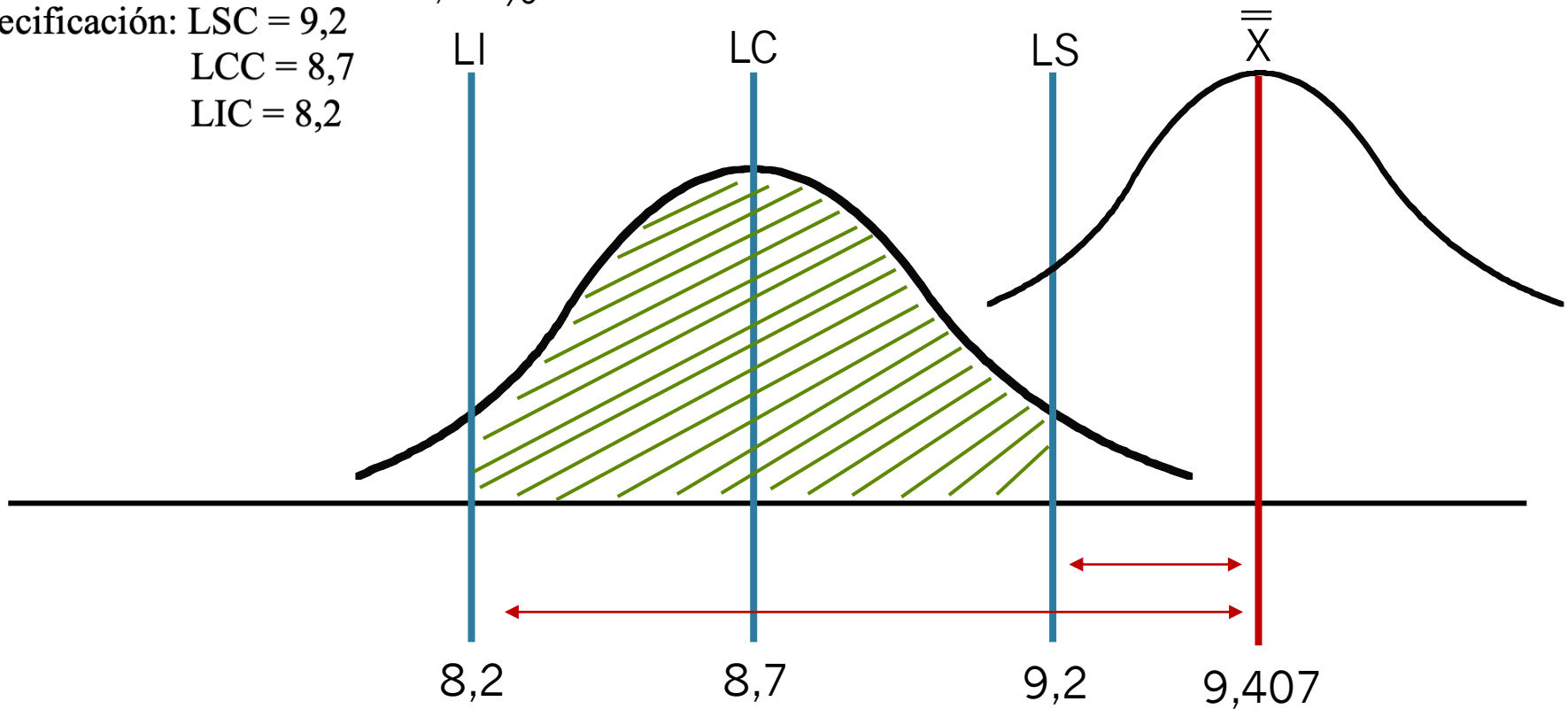
$$Z_{t_{LCs}} = \frac{8,2 - 9,407}{0,8283}$$

$$Z_{t_{LCs}} = \frac{9,2 - 9,407}{0,8283}$$

Especificación: LSC = 9,2
LCC = 8,7
LIC = 8,2

7,25%

40,14%



¿Cómo calculamos la probabilidad de las unidades buenas?

El área de la campana en verde representa las unidades buenas

Tabla 2. Áreas bajo la curva normal

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	0.08	0.09
-3.4	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0002
-3.3	.0005	.0005	.0005	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0003
-3.2	.0007	.0007	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005
-3.1	.0010	.0009	.0009	.0009	.0008	.0008	.0008	.0008	.0007	.0007
-3.0	.0013	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010
-2.9	.0019	.0018	.0017	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
-2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
-2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
-2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
-2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
-2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
-2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
-2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
-2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
-2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
-1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
-1.8	.0359	.0352	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
-1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
-1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.495	.0485	.0475	.0465	.0455
-1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
-1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0722	.0708	.0694	.0681
-1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
-0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
-0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
-0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
-0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
-0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
-0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
-0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
-0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
-0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
-0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641

$$\sigma = \frac{\overline{R}}{d_2} = 0,83$$

Especificación: LSC = 9,2
LCC = 8,7
LIC = 8,2

$$Z_2 = - 0,25$$

$$Z_1 = - 1,46$$

Pb = 0,4013 – 0,0722 = 0,3291 Total de Defectuosos: 1- 0,3291 = 0,6709

$$Z_2 = 0,6024$$

$$Z_1 = - 0,6024$$

Pb = 0,7257 – 0,2743 = 0,4514 Defec por precisión: 1- 0,4514 = 0,5486

Defectuosos por exactitud: 0,6709 – 0,5486 = 0,1223



Es frecuente encontrar empresas en las que la aplicación e interpretación de las cartas de control es muy deficiente y cuando en la carta se presenta uno de los patrones anteriores no se hace nada, “el proceso dio un brinco el otro día pero ya regresó a su normalidad”, “de tal a tal día hubo una tendencia pero las cosas regresaron a la normalidad”

Casos como estos implican que las cartas de control se usan como bitácoras. Pero la carta de control no es una bitácora, en casos como estos se desperdició una oportunidad (una señal estadística) para conocer y mejorar la estandarización del proceso.



Tarea

Realice el análisis de control para los días 2 y 3

TERMINADO EL ANÁLISIS SE DESEA SABER

- ¿Qué se ha logrado a través de los tres días de control?
- ¿Qué se planea hacer en el futuro?
- ¿Qué destino dar a la producción fabricada?