

**PRIMER SEMINARIO  
APLICACIONES DE LAS  
HERRAMIENTAS  
ESTADÍSTICAS DE LA  
CALIDAD.  
MEMORIA PUBLICADA**

ENERO 2019

Maestría Ingeniería de Calidad. Facultad de Ciencias Químicas. Comité  
Organizador: Dra. Lorena De Medina Salas, M.C. Frixia Galán Méndez

## ***LA IMPORTANCIA DEL MUESTRO***

***M.I.C. BETZABÉ MORA MURRIETA***

- ❑ La inspección de materias primas, productos semi-terminados o productos terminados es parte importante del aseguramiento de la Calidad.



- ❑ El propósito de la inspección es la aceptación o el rechazo de un producto con base en la conformidad respecto a un estándar.



**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

- El propósito del muestreo para la aceptación es juzgar los lotes.
- Admitir o descartar lotes
- Es una herramienta de verificación que asegura la producción de un proceso conforme a los requisitos.



**Existen tres enfoques para juzgar un lote:**

- Aceptarlo sin inspección
- Efectuar una inspección al 100%
- Utilizar el muestreo para la aceptación.



**Situaciones en las que el muestreo para la aceptación es muy útil.**

- Pruebas destructivas
- Cuando el costo de una inspección al 100% es muy elevado.
- Cuando impacta seriamente en la programación de producción



**Ventajas:**

- Costos más bajos.
- Menor manejo y daño del producto.
- Aplicación en pruebas destructivas.
- Menor cantidad de personal en las actividades de inspección.
- Se reduce notablemente la cantidad de errores de inspección.
- Rechazo de lotes completos.

**Desventajas**

- Riesgos de aceptar lotes “malos” y rechazar lotes “buenos”.
- Menor información del producto o proceso con que se fabricó.
- Requiere planeación y documentación del muestreo.
- (Recurso útil en la planificación global de la calidad).

**Aportes del muestreo para la aceptación**

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

- Historial de calidad
- Retroalimentación
- Controles de procesos adecuados
- Presión económica y psicológica sobre el proveedor



**Tipo de planes de muestreo**

**Atributos**

Características de calidad que se expresan en forma de “pasa, no pasa”.



## Variables

Características de calidad que se mide en una escala numérica



## Conformación del lote

- Lotes homogéneos.
- Grandes en vez de pequeños.
- Adecuación a los sistemas de manejo o manipulación de material.
- Los lotes deben empacarse minimizando riesgos de embarque y manipulación.



**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**Muestreo aleatorio**

- Las unidades de un lote deben elegirse al azar para la inspección.
- Estas unidades deben ser representativas de todos los artículos del lote.
- Si no se usan muestras aleatorias se introducirá un sesgo.

**Plan de muestreo**

- Planteamiento del tamaño muestral que hay que utilizar y de los criterios de aceptación o de rechazo correspondientes para juzgar lotes individuales.



**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**Procedimientos de muestreo de aceptación**

<b>OBJETIVO</b>	<b>PROCEDIMIENTO ATRIBUTOS</b>	<b>POR</b>	<b>PROCEDIMIENTOS PARA VARIABLES</b>
Asegurar niveles de calidad para el consumidor/ productor	Seleccionar un plan para una curva OC especifica		Seleccionar un plan para la curva OC especifica
Mantener la calidad en un objetivo	Sistema AQL; MIL STD 105E, ANSI/ASQC Z1.4		Sistema AQL; MIL STD 414, ANSI/ASQC Z1.9
Asegurar un nivel de calidad de salida promedio	Sistema AOQL; planes de Dodge Romig		Sistema AOQL

<b>OBJETIVO</b>	<b>PROCEDIMIENTO ATRIBUTOS</b>	<b>POR</b>	<b>PROCEDIMIENTOS PARA VARIABLES</b>
Reducir la inspección, con tamaños de la muestra pequeños, buen historial de calidad.	Muestreo en cadena		Medición con límites estrictos



**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

Reducir la inspección después de un buen historial de calidad.	Muestreo por salto de lote; muestreo doble	Muestreo por salto de lote; muestreo doble
Asegurar una calidad no menor al objetivo.	Plan LTPD; planes de Dodge - Romig	Plan LTPD; prueba de hipótesis.

**OC:** Curva de operación característica

**AQL:** Nivel de calidad aceptable

**AOQL:** Limite de la calidad de salida promedio

**LTPD:** Tolerancia del porcentaje defectuoso de un lote

**Planes de muestreo para la aceptación lote por lote por atributos**

- Plan de muestreo único**
- ✓ Dictamina lotes que se seleccionan al azar
- ✓ Muestra de “ $n$ ” unidades del lote
- ✓ Se determina con base a la muestra el destino del lote.

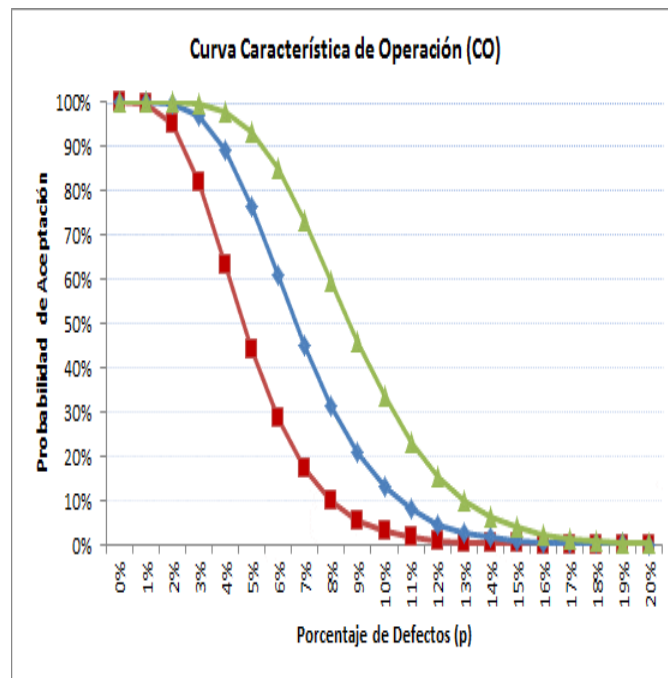
**Plan de muestreo único**

- Muestra  $n$
- Numero de aceptación  $c$
- Procedimiento:
- ✓ Si existen  $c$  o menos unidades defectuosas en la muestra, el lote se acepta.
- ✓ Si existen más de  $c$  unidades defectuosas en la muestra, el lote se rechaza

**Curva de operación característica (OC)**

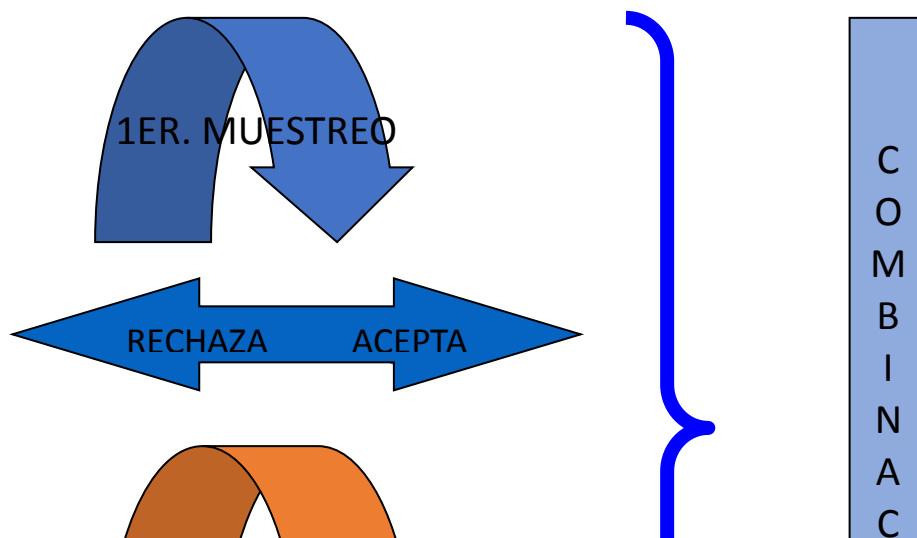
**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

- Es una medida importante del funcionamiento de un plan de muestreo para aceptación.
- Esta curva representa la probabilidad de aceptar el lote contra la fracción muestral defectuosa.
- Representa el poder discriminatorio del plan de muestreo.
- Muestra la probabilidad de que un lote con cierta fracción de artículos defectuosos sea aceptado o rechazado.



**Planes de muestreo para la aceptación lote por lote por atributos**

- Planes de muestreo doble

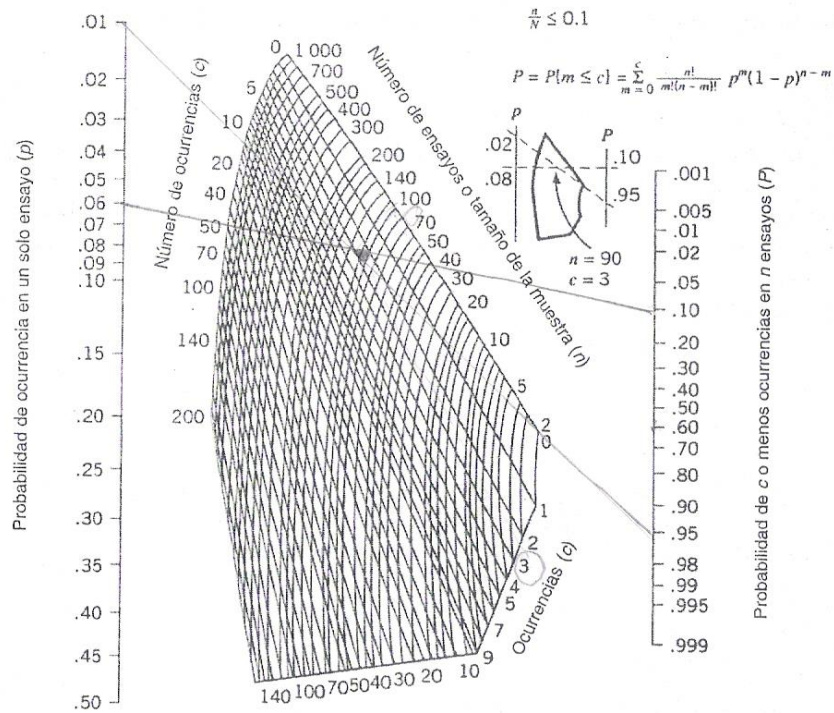


**Planes de muestreo para la aceptación lote por lote por atributos**

- Plan de muestro múltiple
  - Tantas como requiere para tomar una decisión
  - Tamaño de la muestra pequeña
- Muestreo secuencial
  - Se selecciona unidad por unidad del lote hasta dictaminar

**Diseño de un plan de una sola muestra con una curva OC especificada**

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**



*Nomograma Binomial*

$p_1 = 0.01$

$\alpha = 0.05$

$(1 - \alpha) = 0.95$

$p_2 = 0.06$

$\beta = 0.10$

**AQL Y LTPD**

- La intersección entre ambas nos determina el plan de muestreo (n y c)
- $\alpha$  = riesgo del productor
- AQL =  $p_1$
- Nivel de Calidad aceptable
- $\beta$  = riesgo del consumidor
- LTPD =  $p_2$
- Tolerancia del porcentaje defectuoso en un lote

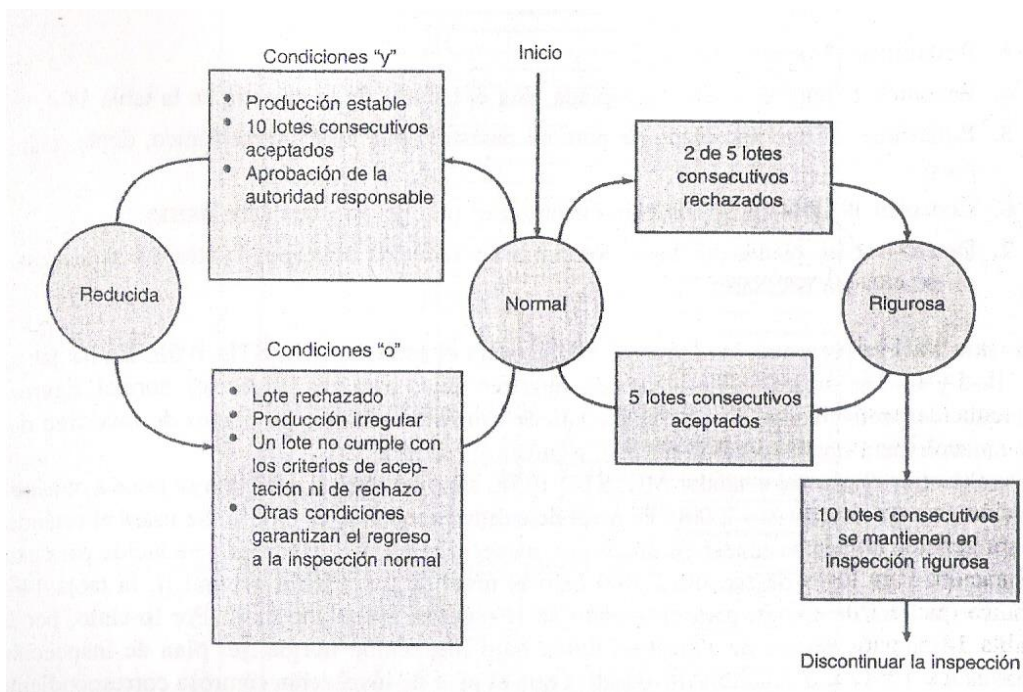
PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

**Military Standard 105E**

- Inspección normal*
- ✓ Se usa al principio de la actividad de inspección.
- Inspección rigurosa*
- ✓ Cuando el historial reciente del proveedor se ha deteriorado.
- Inspección reducida*
- ✓ Cuando el historial reciente del proveedor ha sido excepcionalmente bueno.
- ✓ El tamaño de la muestra es menor que el de la inspección normal.

## Cambios de Inspección en la Military Standard 105E

(AQL)



### Planes de muestreo Dodge - Romig

- LTPD = Planes de protección para la tolerancia del porcentaje defectuoso en un lote.
- AOQL = Planes que proporcionan un límite específico para la calidad de salida promedio.
- Tablas para muestreo único y dobles
- Solo se aplican a los programas que someten los lotes rechazados a una inspección del 100%

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**Tabla de Dodge-Romig**

Tabla 14-9 Tabla de Dodge-Romig de muestreo único para una tolerancia del porcentaje defectuoso en un lote (LTPD) = 1.0%

Tamaño del lote	Promedio del proceso																	
	0-0.01%			0.011%-0.10%			0.11-0.20%			0.21-0.30%			0.31-0.40%			0.41-0.50%		
	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %	n	c	AOQL %
1-120	Todos	0	0	Todos	0	0	Todos	0	0	Todos	0	0	Todos	0	0	Todos	0	0
121-150	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06
151-200	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08
201-300	165	0	0.10	165	0	0.10	165	0	0.10	165	0	0.10	165	0	0.10	165	0	0.10
301-400	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12
401-500	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13
501-600	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.13	305	1	0.14
601-800	200	0	0.14	200	0	0.14	200	0	0.14	330	1	0.15	330	1	0.15	330	1	0.15
801-1 000	205	0	0.14	205	0	0.14	205	0	0.14	335	1	0.17	335	1	0.17	335	1	0.17
1 001-2 000	220	0	0.15	220	0	0.15	360	1	0.19	490	2	0.21	490	2	0.21	610	3	0.22
2 001-3 000	220	0	0.15	375	1	0.20	505	2	0.23	630	3	0.24	745	4	0.26	870	5	0.26
3 001-4 000	225	0	0.15	380	1	0.20	510	2	0.23	645	3	0.25	880	5	0.28	1 000	6	0.29
4 001-5 000	225	0	0.16	380	1	0.20	520	2	0.24	<u>770</u>	<u>4</u>	<u>0.28</u>	895	5	0.29	1 120	7	0.31
5 001-7 000	230	0	0.16	385	1	0.21	655	3	0.27	780	4	0.29	1 020	6	0.32	1 260	8	0.34
7 001-10 000	230	0	0.16	520	2	0.25	660	3	0.28	910	5	0.32	1 150	7	0.34	1 500	10	0.37
10 001-20 000	390	1	0.21	525	2	0.26	785	4	0.31	1 040	6	0.35	1 400	9	0.39	1 980	14	0.43
20 001-50 000	390	1	0.21	530	2	0.26	920	5	0.34	1 300	8	0.39	1 890	13	0.44	2 570	19	0.48
50 001-100 000	390	1	0.21	670	3	0.29	1 040	6	0.36	1 420	9	0.41	2 120	15	0.47	3 150	23	0.50

**Muestreo de Aceptación por Variables**

**Ventajas**

- Requiere un tamaño de muestra más pequeño que un muestreo por atributos.
- Las mediciones de una característica de calidad proporcionan más información sobre un lote que el número de defectuosos.
- Eficiencia económica a pesar de que se muestren muchas variables.
- Los niveles de calidad aceptable son muy pequeños en comparación con la de atributos.

**Desventajas**

- Se asume una distribución normal para la característica de calidad.
- Se debe usar un plan de muestreo para cada característica de calidad (un plan por cada variable).

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

- Existe la posibilidad de rechazar un lote, aun cuando la muestra real inspeccionada no contenga artículos defectuosos.

**Tipos de Planes de Muestreo**

- Plan que controla la fracción defectuosa (o disconforme) del lote " $p$ "
- Plan que controla un parámetro el cual generalmente es la media  $\mu$

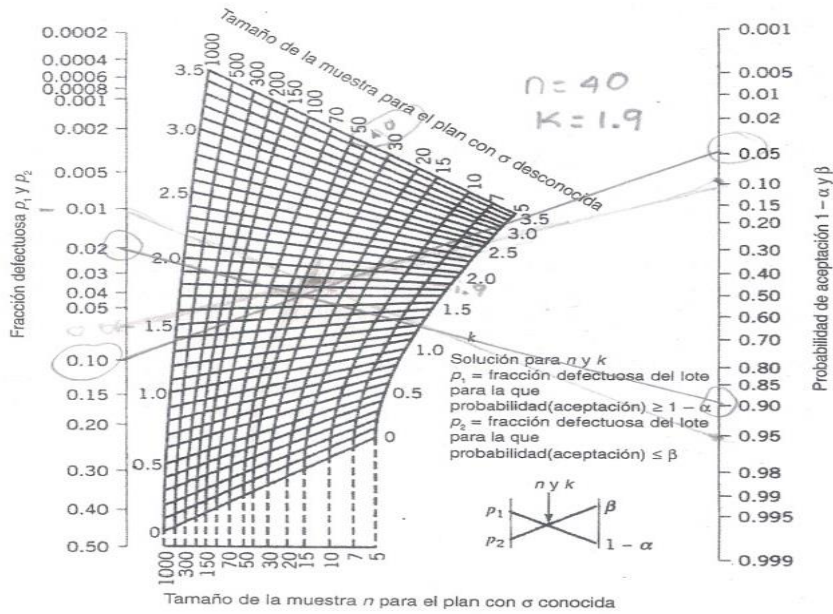
**Métodos de inspección:**

- Método de M
- Método de k
- RMA MIL-STD-414
- Método en cadena
- Muestreo continuo
- CPS-1
- Muestreo por salto por lotes



PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
 MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Diseño de un plan de muestreo por variables con una curva OC especificada (Nomograma).



$p_1 = 0.01,$   
 $1 - \alpha = 0.95$   
 $p_2 = 0.06, \beta$   
 $= 0.10$   
 $n = 40$   
 $K = 1.9$

Figura 15-2 Nomograma para diseñar planes de muestreo por variables.

MIL STD 414 (ANSI/ASQC Z 1.9)

- AQL = Calidad de salida promedio
- 5 niveles de inspección.
- El IV se considera como normal
- Inspección: normal, rigurosa y reducida

PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
 MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Letras código

TABLA 46.19 MIL-STD-414. Códigos de letras para los tamaños de muestras

Tamaño del lote	Niveles de inspección				
	I	II	III	IV	V
3 - 8	B	B	B	B	C
9 - 15	B	B	B	B	D
16 - 25	B	B	B	C	E
26 - 40	B	B	B	D	F
41 - 65	B	B	C	E	G
66 - 110	B	B	D	F	H
111 - 180	B	C	E	G	I
181 - 300	B	D	F	H	J
301 - 500	C	E	G	I	K
501 - 800	D	F	H	J	L
801 - 1.300	E	G	I	K	L
1.301 - 3.200	F	H	J	L	M
3.201 - 8.000	G	I	L	M	N
8.001 - 22.000	H	J	M	N	O
22.001 - 110.000	I	K	N	O	P
110.001 - 550.000	I	K	O	P	Q
550.001 y más	I	K	P	Q	Q

\* Los códigos de letras para los tamaños de muestra dados en la tabla son aplicables cuando se utilizan los niveles de inspección indicados.

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**Tabla Maestra para Inspección Normal y Rigurosa**

Tabla 15-2 Tabla maestra de inspección normal y rigurosa para planes basado en una variabilidad desconocida (Método de la desviación estándar)  
(Límite de la especificación único—Forma 1)(Tabla B-1, MIL STD 414)

Letra de código para el tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra	Niveles de calidad aceptable (inspección normal)														
		.04	.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00	
		<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>k</i>	
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.45	1.34	1.12	.958	.765	.566	.341	
C	4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.65	1.53	1.40	1.24	1.07	.874	.675	.455
D	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.75	1.62	1.50	1.33	1.15	.955	.755	.536
E	7	↓	↓	↓	2.24	2.11	1.98	1.84	1.72	1.58	1.41	1.23	1.03	.828	.611	
F	10	↓	↓	↓	2.32	2.20	2.06	1.91	1.79	1.65	1.47	1.30	1.09	.886	.664	
G	15	2.64	2.53	2.42	2.36	2.24	2.11	1.96	1.82	1.69	1.51	1.33	1.12	.917	.695	
H	20	2.69	2.58	2.47	2.40	2.26	2.14	1.98	1.85	1.72	1.53	1.35	1.14	.936	.712	
I	25	2.72	2.61	2.50	2.41	2.28	2.15	2.00	1.86	1.73	1.55	1.36	1.15	.946	.723	
J	30	2.73	2.61	2.51	2.45	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.57	1.39	1.18	.969	.745	
K	35	2.77	2.65	2.54	2.44	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.58	1.39	1.18	.971	.746	
L	40	2.77	2.66	2.55	2.44	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.58	1.39	1.18	.971	.746	
M	50	2.83	2.71	2.60	2.50	2.35	2.22	2.08	1.93	1.80	1.61	1.42	1.21	1.00	.774	
N	75	2.90	2.77	2.66	2.55	2.41	2.27	2.12	1.98	1.84	1.65	1.46	1.24	1.03	.804	
O	100	2.92	2.80	2.69	2.58	2.43	2.29	2.14	2.00	1.86	1.67	1.48	1.26	1.05	.819	
P	150	2.96	2.84	2.73	2.61	2.47	2.33	2.18	2.03	1.89	1.70	1.51	1.29	1.07	.841	
Q	200	2.97	2.85	2.73	2.62	2.47	2.33	2.18	2.04	1.89	1.70	1.51	1.29	1.07	.845	
		.065	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00		

AQL

Todos los valores AQL se expresan en por ciento de artículos defectuosos.

↓ Usar el primer plan de muestreo abajo de la flecha, es decir, tanto el tamaño de la muestra como el valor *k*. Cuando el tamaño de la muestra es igual o excede el tamaño del lote, deben inspeccionarse todos y cada uno de los artículos del lote.

**Ciclo de vida en la organización**



**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**Referencias:**

- ❑ Barbosa, R. (2016). Monitoreo y análisis estadístico de procesos con aplicaciones. 1ª edición. Colombia. Editorial Universidad del Norte.
- ❑ Madrigal, R. (2018). Control Estadístico de la Calidad. 1ª edición. México. Editorial Grupo Editorial Patria.
- ❑ Montgomery, C. (2004). Control Estadístico de la Calidad. 3ª edición. México. Editorial Limusa Wiley.
- ❑ Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2013) Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. 3ª edición. México. Editorial

## ***INTEPRETACIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL Y CAPACIDAD DE PROCESO***

***Dra. Lorena De Medina Salas***

La obtención de conclusiones preliminares a partir de la interpretación de los gráficos de control incluye la indicación de control o falta de él, relación entre la trayectoria que sigue el proceso y la que se supone debe seguir.

Se sugiere al usuario de los gráficos de control, que represente en forma diferente los puntos que están fuera de los límites, ya que son debido a **causas especiales o asignables**. A partir de los datos del gráfico de control, se obtienen las estimaciones del valor central del proceso y la dispersión del mismo.

Si no hay ningún punto que salga fuera de los límites de control se dice que el proceso está bajo control estadístico, lo que quiere decir, que el proceso se comporta como si no existieran causas especiales de variación, por lo tanto, **el proceso es estable, predecible y confiable** pero no necesariamente aceptable.

También podemos decir que un proceso está dentro de control estadístico, siempre que todos los puntos se encuentren dentro de los límites de control, y que estos puntos no muestren ninguna tendencia o predisposición.

Como sugerencia para un análisis básico de una gráfica de control por variables, es observar primeramente la gráfica de rangos, ya que esta nos indica que tan estable es el proceso, es decir, si no existe una diferencia significativa en el grado de dispersión de los datos, a través del tiempo.

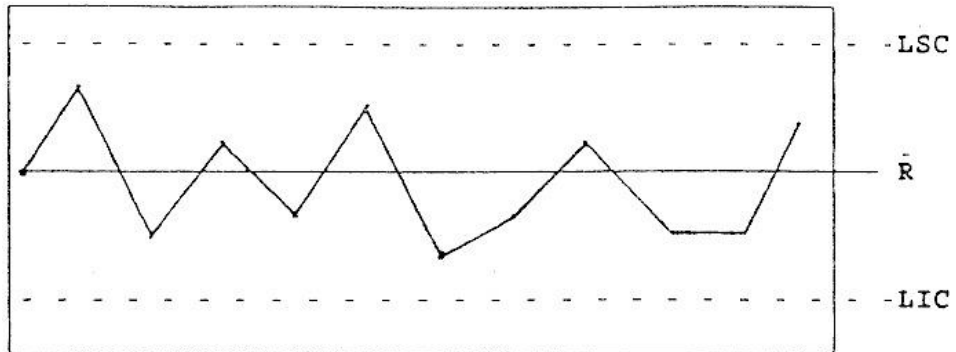
Para cada uno de los puntos que haya fuera de los límites de control, deberá haber una descripción breve pero concisa en la gráfica, el reverso de la misma o en una bitácora (como lo consideren conveniente y práctico), del motivo por el cual se originó este punto fuera de control. En seguida se realizará la acción correctiva inmediata y se volverán a tomar los datos del proceso para asegurarse que la acción tomada motivó un nuevo valor dentro de los límites de control.

Un punto fuera de los límites de control, ya sea en la gráfica de promedios o en la gráfica de rangos puede significar que:

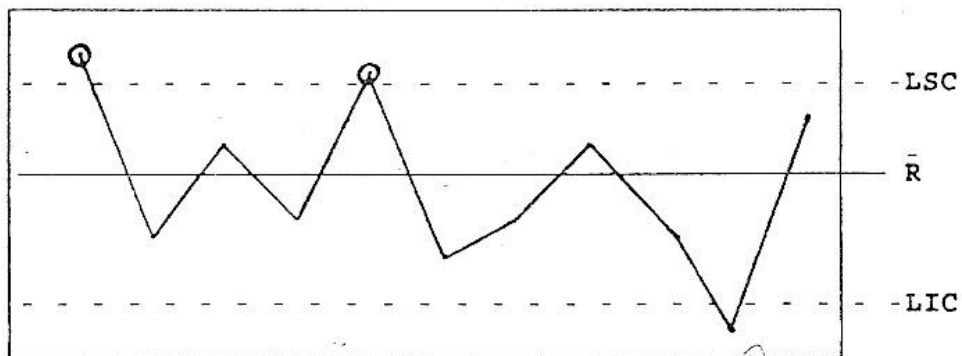
**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

- El límite de control está mal calculado o los puntos fueron mal agrupados.
- La variación de pieza a pieza o la dispersión de la distribución ha empeorado.
- El sistema de medición ha cambiado (otra persona distinta a la habitual tomó los datos o se utiliza un distinto calibrador o está en malas condiciones).

**Proceso dentro de control estadístico**



**Proceso fuera de control estadístico (puntos fuera de los límites de control)**



**PATRONES NO ALEATORIOS.**

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

Existen diversos comportamientos que se pueden presentar dentro de los gráficos de control, sin embargo, cada uno de ellos indica que hay una predisposición hacia cierto patrón y no una aleatoriedad, por lo cual de presentarse, deberá hacerse la indicación de que el proceso analizado está fuera de control estadístico.

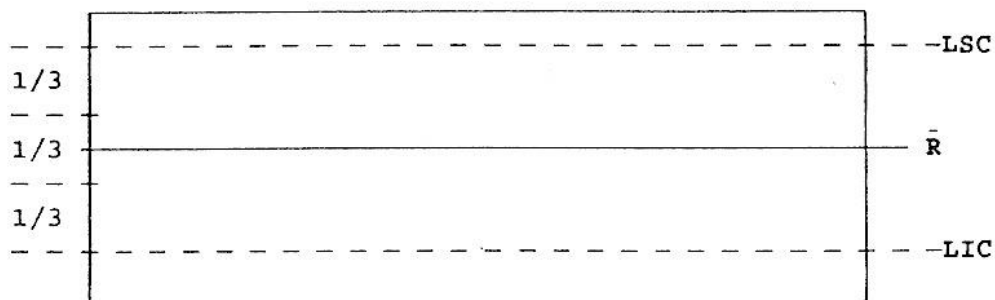
A continuación se presentan los principales casos:

**A. ADHESIÓN A LOS LÍMITES DE CONTROL**

Cuando en las gráficas de control los puntos se agrupan junto a la línea central o junto a las líneas de control, se tiene una adhesión.

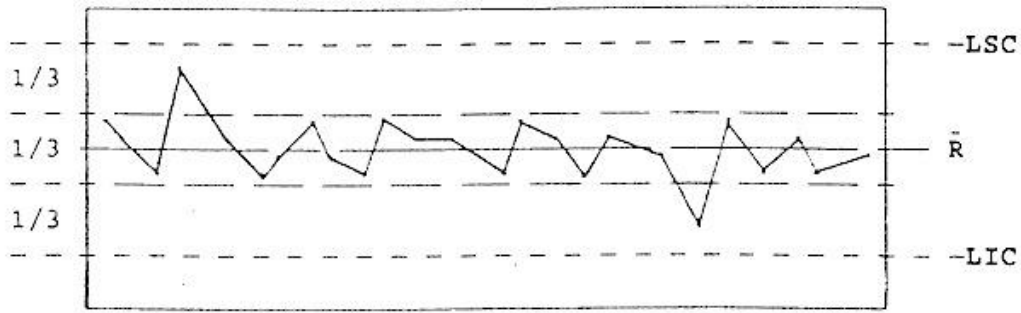
Para evaluar y poder decidir si hay o no adhesión a la línea central se procede de la siguiente manera:

Divida la distancia que hay entre el LSC y el LIC en tres partes iguales e imaginarias, como se muestra en la siguiente figura:



Si una cantidad sustancialmente mayor a  $2/3$  de los puntos graficados se encuentra concentrada en el tercio medio, existe adhesión a la línea central.

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**



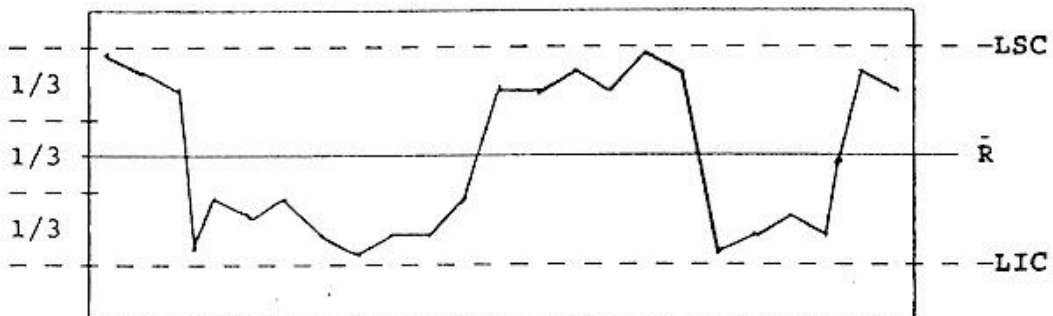
*Proceso de adhesión a la línea central (23 de 25 puntos están dentro del tercio medio).*

Si existe adhesión a la línea central se tiene que verificar lo siguiente:

- Los límites de control han sido mal calculados o los puntos fueron mal graficados.
- Los datos han sido adulterados (los valores que se alejan mucho del promedio  $\bar{R}$  fueron alterados u omitidos).
- Suelen haberse mezclado en el subgrupo un tipo diferente de datos o datos de factores diferentes (máquinas, materiales, mano de obra).

Si una cantidad sustancialmente mayor a 1/3 se encuentra dentro de los tercios exteriores, existe adhesión a los límites de control.

*Proceso con adhesión a los límites de control (24 de 25 puntos están en los tercios exteriores).*



Cuando esta situación se presenta, es necesario verificar lo siguiente:

- Los límites de control han sido mal calculados los puntos mal graficados.



PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

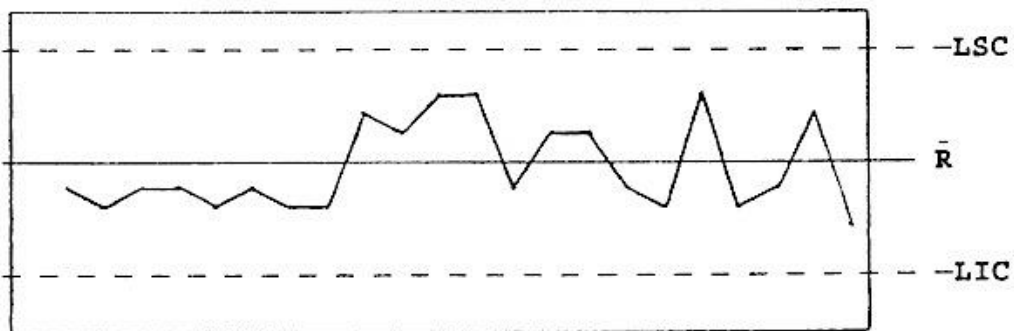
- El proceso o el método de muestro es tal, que los subgrupos contienen mediciones de dos o más factores diferentes.

## B. CORRIDAS Y TENDENCIAS

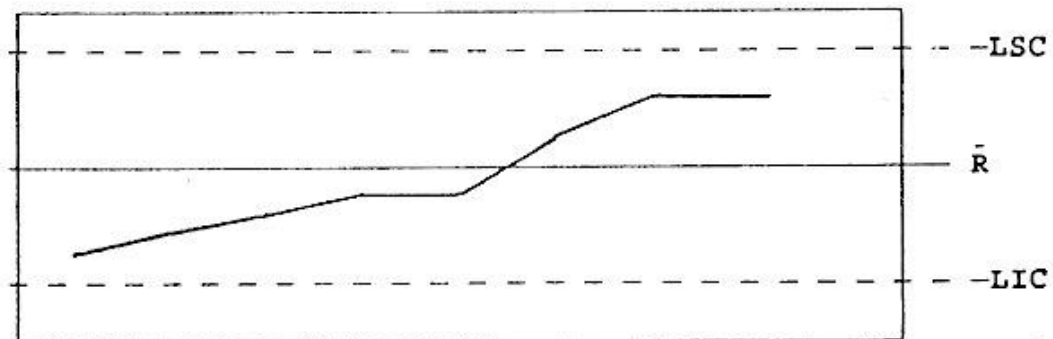
Una serie es una sucesión de puntos que indican la iniciación de una tendencia o desplazamiento de un proceso.

Cuando 7 ó más puntos consecutivos se alinean hacia un lado del promedio, la serie recibe el nombre de **corrida**.

Si 7 ó más intervalos consecutivos se presentan con valores crecientes o decrecientes, la serie recibe el nombre de **tendencia**.



Este proceso presenta una corrida de 8 puntos debajo de R.



Este proceso muestra una tendencia (8 intervalos en ascenso).

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

Una serie por arriba del rango promedio puede significar:

- Mayor dispersión de los resultados, la cual puede venir de una causa irregular (tal como el funcionamiento del equipo) o un cambio en la distribución de los materiales (de un nuevo material); estos problemas requieren una acción inmediata.
- Un cambio en el sistema de medición (se cambió el inspector o el calibrador).

Una serie por debajo del rango promedio (R) puede significar:

- Un cambio en el sistema de medición.

*Recalculo de límites de control:*

Cuando se vayan a calcular nuevos límites de control, en una determinada gráfica, es necesario considerar que aquellos valores que hayan originado puntos fuera de los límites de control, de los cuales se hayan detectado las causas, no se deben tomar en cuenta al efectuarse los recálculos, ya que se considera que fueron causas especiales o asignables y que no deben intervenir en los nuevos límites de control. Por lo tanto, cada vez que se establezcan nuevos límites, estos involucran las variaciones naturales del proceso. Si la gráfica es estable, predecible y confiable, es válido calcular los índices  $C_p$  y  $C_{pk}$  del proceso, si no es así, no es recomendable calcularlos.

Además de lo anterior, es necesario considerar que para determinar si un producto nuevo o si un proceso es capaz de satisfacer las características de calidad, es necesario realizar básicamente dos pruebas.

- La primera de ellas se llama **estudio potencial**, que nos dará un cálculo del **índice  $C_p$** , que define la **capacidad potencial** del proceso y si este va a ser capaz de cumplir satisfactoriamente en un periodo más largo de producción.

Los estudios potenciales de máquinas y procesos, son análisis estadísticos a corto plazo, los cuales son preliminares.

- Si el estudio potencial es satisfactorio, se procederá a efectuar un segundo estudio a más largo plazo, llamado **estudio de capacidad**, el cual nos definirá el cálculo del **índice  $C_{pk}$** , en base al cual se definirá **la habilidad real** del proceso y este nos indicará si el proceso será capaz de cumplir satisfactoriamente con las especificaciones, bajo condiciones distintas de

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

materias primas, personal en turnos distintos, desajustes propios de la maquinaria, diferentes instrumentos de medición, etc.

A continuación, se explican detalladamente cada uno de los estudios antes mencionados.

**Estudio potencial:**

El potencial de un proceso es un retrato instantáneo bajo condiciones optimizadas de la estación del trabajo, donde se deben tener las siguientes condiciones:

- Defina el tamaño de la muestra representativa del proceso (Ejemplo: mínimo 50 datos)
- Parámetros seleccionados por consenso en función a su importancia
- Periodo de tiempo lo más corto posible. (Ejemplo: Máximo 1 hora, un turno)
- Procedimientos por escrito
- Proceso estable
- Máquina optimizada
- Mismos materiales de una sola corrida
- Seleccionar un operario o grupo de operarios entrenados y experimentados
- Instrumentos de medición en buenas condiciones (estudios de R y R menor al 15%).
- No ajustar el proceso durante el estudio.
- **El índice Cp** debe ser mayor o igual a 1.33

**Estudio de capacidad a largo plazo:**

La capacidad del proceso a largo plazo nos indica la variación del proceso bajo diferentes condiciones y nos ayuda a averiguar, si el promedio y los límites de control calculados en el estudio potencial son válidos para este estudio.

Este estudio se debe trabajar bajo las siguientes condiciones:

- Misma máquina sin optimizar
- Mismo parámetro o medida
- Para turnos distintos
- Materiales en diversas condiciones de fabricación
- Duración mayor (Ejemplo: más de una semana, 20 días, etc.)

**Capacidad del proceso.**

La **capacidad o habilidad** de un proceso está determinada por la variación total que se origina por las causas comunes, o en otras palabras, es la variación mínima que puede ser alcanzada una vez que todas las causas especiales han sido eliminadas.

La habilidad representa el rendimiento del proceso, una vez que se ha demostrado que ese proceso está bajo control estadístico.

**Capacidad potencial del proceso.**

La **habilidad potencial** se identifica con el símbolo  $C_p$  y se calcula como el cociente de la variación especificada o permitida, entre la variación total del proceso.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \sigma}$$

Dónde:  $C_p$  = habilidad potencial

LSE = límite superior de especificación

LIE = límite inferior de especificación

$6 \sigma$  = variación total del proceso

**Criterio:**

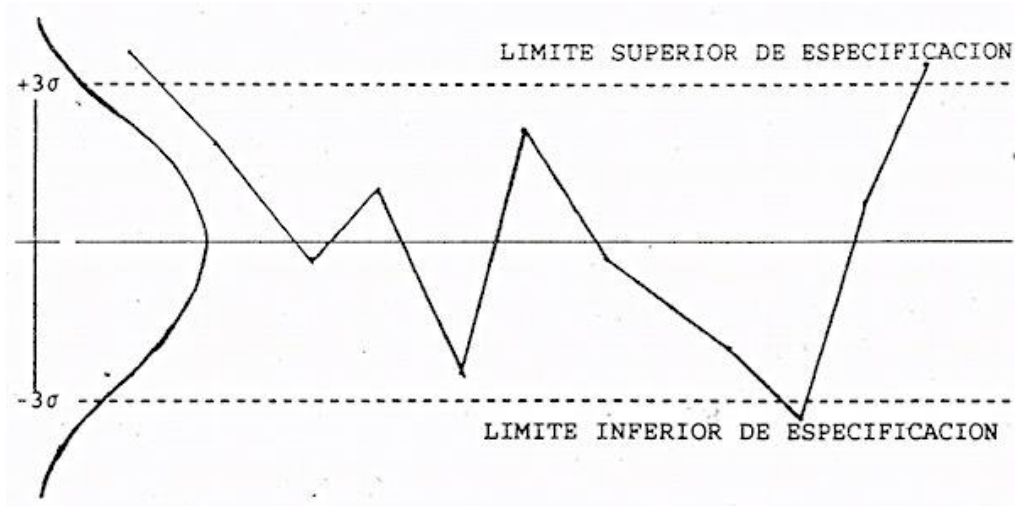
- Cualquier valor menor que 1 para  $C_p$ , indica que el proceso no es potencialmente hábil.
- Cualquier valor mayor que 1, pero menor a 1.33, indica que el proceso es potencialmente hábil para  $\pm 3\sigma$
- Cualquier valor mayor o igual a 1.33, indica que el proceso es potencialmente hábil para  $\pm 4\sigma$ .

PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

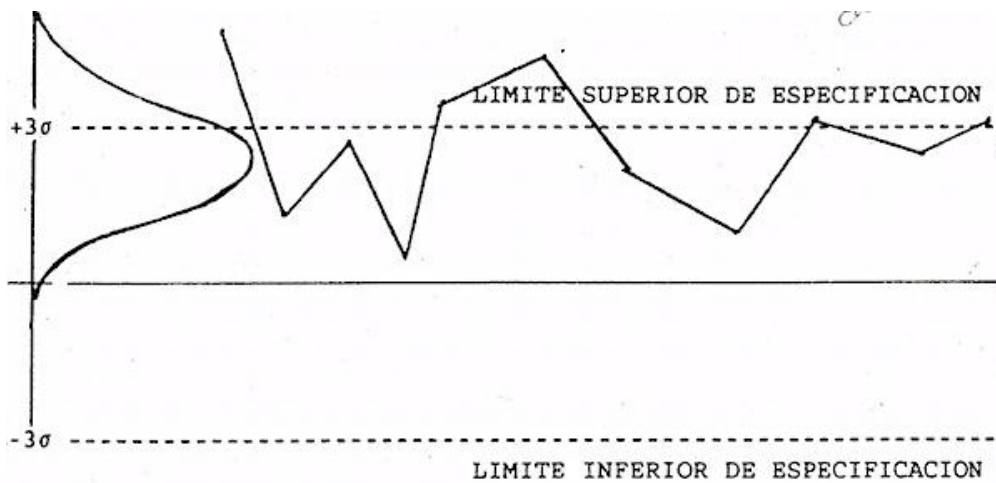
**Proceso no hábil potencialmente.**

Supongamos una gráfica individual donde en lugar de los límites de control pusiéramos los límites de especificación para fines explicativos, o utilizando un histograma.

**Proceso potencialmente no hábil**



Proceso potencialmente hábil



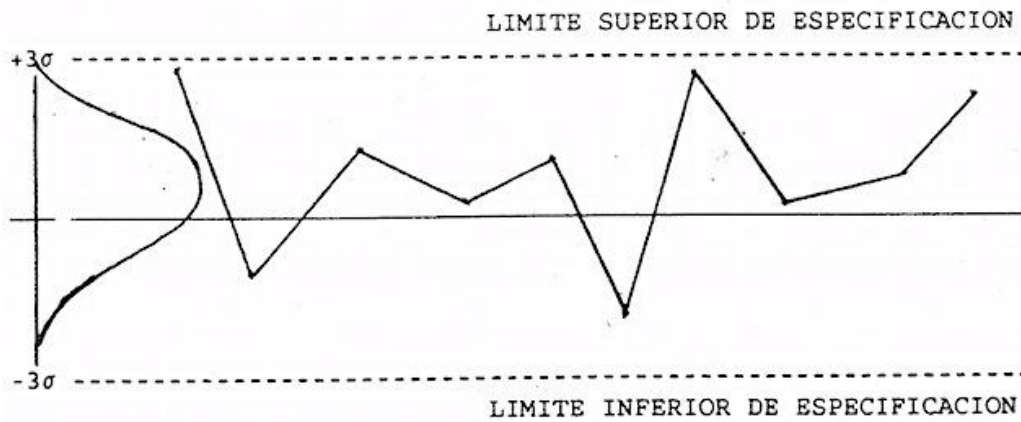
**Capacidad real del proceso.** La capacidad real o habilidad real del proceso, se identifica como el **índice Cpk** y se calcula con la siguiente ecuación.

$$\text{Valor mínimo de: } \begin{cases} C_{PK1} = \left| \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma} \right| \\ C_{PK2} = \left| \frac{LIE - \bar{X}}{3\sigma} \right| \end{cases}$$

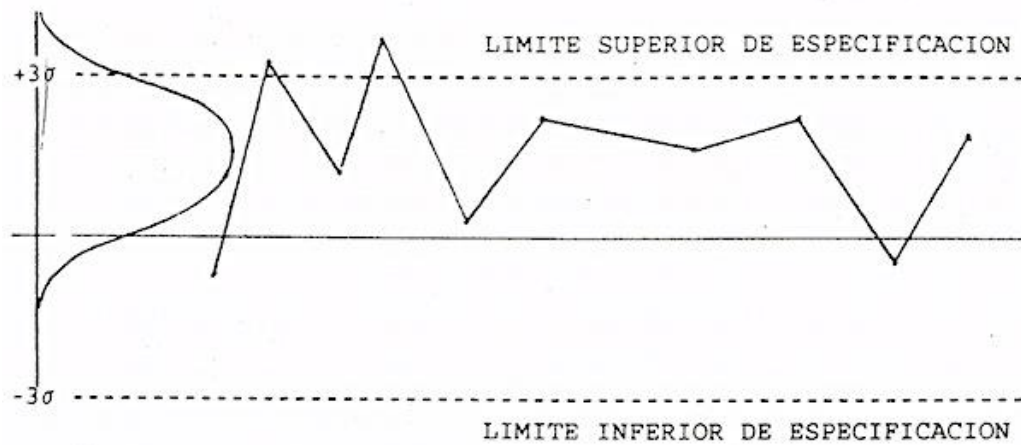
*Criterio:*

- Cualquier valor de Cpk menor a 1, indica que el proceso no es realmente hábil.
- Cualquier valor mayor o igual a 1 pero menor a 1.33, indica que el proceso es realmente hábil para  $\pm 3\sigma$ .
- Cualquier valor mayor o igual a 1.33, indica que el proceso es realmente es realmente hábil para  $\pm 4\sigma$ .

**Proceso realmente hábil**



**Proceso realmente no hábil**



**Referencias:**

- Montgomery, D. (2004). Control Estadístico de la Calidad. Editorial Limusa Wiley. México.
- Gutiérrez, P.H. y De la Vara, S.R. (2004). Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma. Editorial Mc Graw Hill. México.
- Aspic y Asociados. Especialización en Control de Calidad. Universidad Veracruzana.

## *INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE EXPERIMENTOS UNIFACTORIALES*

*Dr. Rafael Gómez Rodríguez*

### ESTRATEGIA DE EXPERIMENTACIÓN

Investigadores de prácticamente todos los campos de estudio llevan a cabo experimentos, por lo general para descubrir algo acerca de un proceso o sistema particular. En un sentido literal, un experimento es una prueba. En una perspectiva más formal, un experimento puede definirse como una prueba o serie de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la respuesta de salida.

Este documento trata de la planeación y realización de experimentos y del análisis de los datos resultantes a fin de obtener conclusiones válidas y objetivas. La atención se centra en los experimentos de ingeniería y las ciencias físicas y químicas. En ingeniería la experimentación desempeña un papel importante en el diseño de productos nuevos, el desarrollo de procesos de manufactura y el mejoramiento de procesos. El objetivo en muchos casos sería desarrollar un proceso robusto, es decir, un proceso que sea afectado en forma mínima por fuentes de validación externas.

Como ejemplo de un experimento, suponga que un ingeniero metalúrgico tiene interés en estudiar el efecto de dos procesos diferentes de endurecimiento, el templado en aceite y el templado en agua salada, sobre una aleación de aluminio. El objetivo del experimentador es determinar cuál de las dos soluciones de templado produce la dureza máxima para esta aleación en particular. El ingeniero decide someter varios ejemplares o muestras para ensayo de la aleación a cada medio de templado y medir la dureza de los ejemplares después del templado. Para determinar cuál de las soluciones es la mejor, se usará la dureza promedio de los ejemplares tratados en cada solución de templado.

Al examinar este sencillo experimento salen a relucir varias cuestiones importantes:

1. ¿Estas dos soluciones son los únicos medios de templado de interés parcial?
2. ¿Hay en este experimento otros factores que podrían afectar la dureza y que deberían investigarse o controlarse?
3. ¿Cuántas muestras para ensayo de la aleación deberán probarse en cada solución de templado?
4. ¿Cómo deberán asignarse las muestras para ensayos de prueba a las soluciones de templado y en qué orden deberán colectarse los datos?
5. ¿Qué método de análisis de datos deberá usarse?
6. ¿Qué diferencia en la dureza promedio observada entre los dos medios de templado se considera importante?

Todas estas preguntas, y tal vez muchas más tendrán que responderse satisfactoriamente antes de llevar a cabo el experimento.

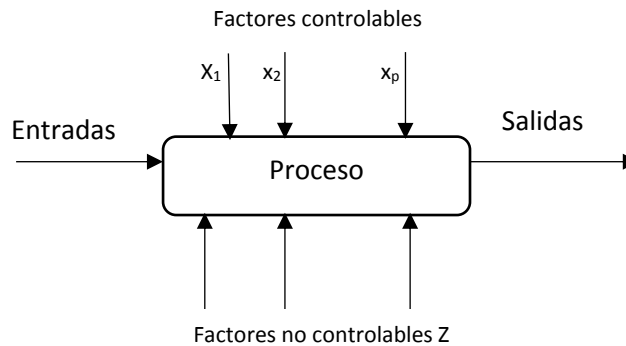
En cualquier experimento, los resultados y las conclusiones que pueden sacarse dependen en gran medida de la manera en que se recabaron los datos. Para ilustrar este punto,



**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

suponga que el ingeniero metalúrgico del experimento anterior utilizó ejemplares de una hornada para el templado en aceite y ejemplares de una segunda hornada para el templado en agua salada. Entonces, cuando compare la dureza promedio, el ingeniero no podrá saber que parte de la diferencia observada es resultado de la solución de templado y que partes es el resultado de diferencias inherentes entre las hornadas. Por lo tanto, el método utilizado para recabar los datos ha afectado de manera adversa las conclusiones que pueden sacarse del experimento.

En general, los experimentos se usan para estudiar el desempeño de procesos y sistemas. El proceso o sistema puede representarse con el modelo ilustrado en la siguiente figura:



El proceso puede por lo general visualizarse como una combinación de máquinas, métodos, personas u otros recursos que transforman cierta entrada (con frecuencia un material) en una salida que tiene una o más repuestas observables.

Algunas variables del proceso  $x_1, x_2, \dots, x_p$  son controlables, mientras que otras  $z_1, z_2, \dots, z_q$  son no controlables (aunque pueden serlo para los fines de una prueba). Los objetivos del experimento podrían comprender los siguientes.

1. Determinar cuáles son las variables que tiene mayor influencia sobre la respuesta  $y$ .
2. Determinar cuál es el ajuste de las  $x$  que tiene mayor influencia para que  $y$  este casi siempre cerca del valor nominal deseado.
3. Determinar cuál es el ajuste de las  $x$  que tiene mayor influencia para que la variabilidad de  $y$  sea reducida
4. Determinar cuál es el ajuste de las  $x$  que tiene mayor influencia para que los efectos de las variables no controlables  $z_1, z_2, \dots, z_q$  sean mínimos.

Como puede ver por el análisis anterior, los experimentos incluyen muchas veces varios factores. Habitualmente, uno de los objetivos de la persona que realiza un experimento, llamada el experimentador, es determinar la influencia que tienen estos factores sobre la respuesta de salida del sistema.

Al enfoque general para plantear y llevar a cabo el experimento se le llama estrategia de experimentación.

ALGUNAS APLICACIONES TÍPICAS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

Los métodos del diseño experimental han encontrado amplia aplicación en diversas disciplinas. De hecho, la experimentación puede considerarse parte del proceso científico y uno de los medios para conocer el funcionamiento de sistemas y procesos. En general, el aprendizaje ocurre a través de una serie de actividades de las que se hacen conjeturas acerca de un proceso, se llevan a cabo experimentos para generar datos del proceso y después se usa la información del experimento para establecer nuevas conjeturas, lo que lleva a nuevos experimentos, y así sucesivamente.

El diseño experimental es una herramienta de importancia fundamental en el ámbito de la ingeniería para mejorar el desempeño de un proceso de manufactura. También tiene múltiples aplicaciones en el desarrollo de procesos nuevos. La aplicación de las técnicas del diseño experimental en las fases iniciales del desarrollo de un proceso puede redundar en

1. Mejoras en el rendimiento del sistema.
2. Variabilidad reducida y conformidad más cercana con los requerimientos nominales o proyectados.
3. Reducción del tiempo de desarrollo.
4. Reducción de los costos globales.

Los métodos de diseño experimental desempeñan también un papel importante en las actividades del diseño de ingeniería, donde se desarrollan productos nuevos y se hace mejoramientos en los productos existentes. Entre las aplicaciones del diseño experimental en el diseño de ingeniería se encuentran:

1. La evaluación y comparación de configuraciones de diseños básicos.
2. La evaluación de materiales alternativos.
3. La selección de los parámetros del diseño para que el producto tenga un buen funcionamiento en una amplia variedad de condiciones de campo, es decir, para que el producto sea robusto.
4. La determinación de los parámetros clave de diseño del producto que afectan el desempeño del mismo.

El uso del diseño experimental en estas áreas puede en productos cuya fabricación sea más sencilla, en productos que tengan un desempeño y confiabilidad de campo mejorados, en costo de producción más bajos y en tiempos más cortos para el diseño y desarrollo del producto.

## PRINCIPIOS BÁSICOS

El problema experimental incluye dos aspectos: el diseño del experimento y el análisis estadístico de los datos.

Los tres principios básicos del diseño de experimental son la realización de réplicas, la aleatorización y la formación de bloques.

Por realización de réplicas se entiende la repetición del experimento básico. La realización de réplicas posee dos propiedades importantes. Primera, permite a experimentador obtener

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

una estimación del error experimental y segunda si se usa la medida muestral para estimar el efecto de un factor en el experimento.

La aleatorización es la piedra angular en la que se fundamenta el uso de los métodos estadísticos en el diseño experimental. Por aleatorización se entiende que tanto la asignación del material experimental como el orden en que se realizaran las corridas o ensayos individuales del experimento se determinan al azar. Uno de los requisitos de los métodos estadísticos es que las observaciones (o los errores) sean variables aleatorias con distribuciones independientes. La aleatorización correcta del experimento ayuda también a “sacar el promedio” los efectos de factores extraños que pudieran estar presentes.

La formación de bloques es una técnica de diseño que se utiliza para mejorar la precisión de las comparaciones que se hacen entre los factores de interés. Muchas veces la formación de bloques se emplea para reducir o eliminar la variabilidad transmitida por factores perturbadores; es decir, aquellos factores que pueden influir en la respuesta experimental, pero en los que no hay un interés específico.

Ejemplo

**PRIMER SEMINARIO APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD  
MAESTRÍA INGENIERÍA DE LA CALIDAD. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

Un ingeniero de desarrollo de productos tiene un interés en investigar la resistencia a la tensión de una fibra sintética nueva que se usara para hacer tela de camisas para caballero. El ingeniero sabe por experiencia previa que la resistencia a la tensión se afecta por el peso porcentual del algodón utilizado en la mezcla de materiales de la fibra. Además, se sospecha que al aumentar el contenido de algodón se incrementará la resistencia, al menos en un principio. Sabe asimismo que el contenido de algodón deberá variar entre 10 y 40 por ciento para que el producto final tenga otras características de calidad que se desean (como la capacidad de ser sometido a un tratamiento de planchado permanente). El ingeniero decide probar ejemplares en cinco niveles del peso porcentual del algodón: 15, 20, 25, 30, 35 por ciento. También decide probar cinco ejemplares en cada nivel del contenido de algodón. Se trata de un ejemplo de un experimento con un solo factor con  $\alpha=5$  niveles del factor y  $n=5$  réplicas.

Tabla. Datos (en lb/pulgada<sup>2</sup>) del experimento de la resistencia a la tensión.

Peso porcentual del algodón	Observaciones						Total	Promedio
	1	2	3	4	5			
15	7	7	15	11	9	49	9.8	
20	12	17	12	18	18	77	15.4	
25	14	18	18	19	19	88	17.6	
30	19	25	22	19	23	108	21.6	
35	7	10	11	15	11	54	10.8	
						376	15.04	

Tabla 3.4. Análisis de varianza de los datos de la resistencia la tensión.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$	Valor P
Peso porcentual de algodón	475.76	4	118.94	$F_0 = 14.46$	<0.01
Error	161.20	20	8.06		
Total	636.96	24			

Referencias:

Montgomery, D. Diseño y Análisis de Experimentos Segunda Edición, Editorial Limusa Wiley. México 2013