
CAPÍTULO

3

GRÁFICAS DE CONTROL

PARA ATRIBUTOS

3.1 Conceptos generales de atributos.

En un sentido estricto, un **atributo** es una característica de calidad que no puede ser medida; sólo se podrá observar (por ejemplo, la aplicación de pintura, grietas, la costura de una camisa, etc.), clasificando el producto en defectuoso o bueno, en conforme, no conforme, dependiendo de que tenga o no dicha característica. Sin embargo, también hay muchas variables medibles que se pueden considerar como atributos, cuando no interesa su valor, sino sólo conocer si está dentro de un determinado intervalo.

Las gráficas de control por atributos son importantes por las siguientes razones:

- a) Las operaciones medidas por atributos existen en cualquier proceso de manufactura o ensamble, por lo que estas técnicas de análisis son muy útiles.
- b) Los datos por atributos están disponibles en múltiples situaciones siempre que exista inspección, listado de reparaciones, material seleccionado o rechazado, etc. En estos casos, no se requiere gasto adicional de búsqueda de datos sólo el trabajo de incorporarlos a la gráfica de control.
- c) Cuando se requiere obtener datos, la información por atributos es generalmente rápida y barata de obtener y con medios simples (pasa-no pasa) no necesita de personal especializado.
- d) Muchos de los datos presentados a la gerencia en forma de resúmenes, es del tipo de atributos y se pueden beneficiar con el análisis de las gráficas de control. Ejemplos: Desarrollo del departamento en cuando al número de unidades buenas, índices de desecho, auditorías de calidad y rechazo de materiales.
- e) Al introducir las gráficas de control en las plantas, es importante dar prioridad a las áreas con problemas y utilizarlas donde más se necesiten. El uso de las gráficas de control por atributos en las áreas claves de control de calidad indicarían cuáles son los procesos que requieren un análisis más detallado -incluyendo la posibilidad de utilizar gráficas de control por variables.
- f) Finalmente, las gráficas de control por atributos son más fáciles de construir e interpretar que las gráficas por variables.

Los criterios de aceptación al utilizar gráficas de control por atributos deben estar claramente definidos y el procedimiento para decidir si esos criterios se están alcanzando es producir resultados consistentes a través del tiempo. Este procedimiento consiste en definir operacionalmente lo que se desea medir. Una definición operacional consiste en:

- 1) Un criterio que se aplica a un objeto o a un grupo.
- 2) Una prueba del objeto o del grupo y
- 3) Una decisión, sí o no: El objeto o el grupo alcanza o no el criterio.

Si por ejemplo, queremos medir a través de una gráfica por atributos si la superficie de los autos (suponiendo que estamos en la empresa donde se fabrican automóviles) está libre o no libre de suciedad, necesitaremos definir claramente qué es suciedad y requerimos probar si los inspectores están de acuerdo o no con esa definición. Una vez que está definida operacionalmente la especificación, cuando se esté midiendo en la gráfica de control si la superficie de dos automóviles está o no libre de suciedad, podrá decidirse si se alcanza o no el criterio en la superficie revisada.

En años recientes ha habido un énfasis considerable en hacer terminología más precisa. El área de las gráficas de control se ha beneficiado de este énfasis.

Lo que se ha llamado “unidades que no cumplen con los requisitos” -designadas como “unidades variantes” en términos estadísticos- normalmente se expresan en uno de dos términos -unidad mal conformada o unidad defectuosa- en las gráficas de control específicas de porcentaje o fracción defectuosa.

Se puede definir la unidad mal conformada como:

Una unidad o servicio que tiene cuando menos una separación de una característica de calidad a partir de su nivel o estado deseado y que ocurre con una severidad suficiente para ocasionar que un producto o servicio asociado no cumpla con un requisito de especificación.

Se puede definir una unidad defectuosa como:

Una unidad de producto o servicio que tiene cuando menos una separación de una característica de calidad de su nivel o estado, y que ocurre con una severidad suficiente para ocasionar un producto o servicio asociado que no satisface requisitos de uso normalmente esperados o razonablemente predichos; o que tiene varias imperfecciones que combinadas ocasionan el fallo del producto a satisfacer, los requisitos de uso esperados normales.

La diferencia básica es que la unidad defectuosa -el término correspondiente a *defecto*- es un término orientado a la evaluación de unidades con respecto al uso del cliente, y la *unidad mal conformada (desconformidad)* es un término orientado para la evaluación de unidades con respecto a su actuación con las especificaciones.

En algunas gráficas de control por atributos -como en las que los requisitos de las especificaciones son equivalentes a los requisitos de uso del cliente- los dos términos coinciden. También, algunos requisitos contractuales de los clientes pueden especificar que cualquier unidad que se separe de los requisitos especificados se debe considerar como defectuosa.

En otras situaciones de gráfica de control por atributos, la especificación de requisitos puede estar internamente establecida dentro de la planta, y estar deliberadamente más estrecha que los requisitos del cliente, haciendo así *unidad mal conformada* el término más apropiado para la gráfica de control.

Muchas de las gráficas de control por atributos ampliamente usadas se desarrollaron originalmente con el uso de *defectuoso* y *porcentaje defectuoso* como terminología básica. Algunas otras gráficas por atributos han usado ahora los *mal conformada* y *desconformidad* como terminología base, de acuerdo con la terminología moderna.

Cada planta hará su propia determinación en lo referente a cuál de estos términos describe con mayor precisión a las “unidades que no cumplen con los requisitos”, -o “unidades variantes”- de acuerdo a su uso en la gráfica de control. Por claridad, para cada gráfica y ejemplo utilizados en este libro se usa la terminología de defecto y defectuoso para control, para enfatizar el efecto del cliente.

Los objetivos de los gráficos de control por atributos pueden concretarse en los

siguientes puntos.

- 1) Estudiar si la marcha del proceso está bajo control de forma menos costosa que con las gráficas de control por variables.
- 2) Obtener un nivel de calidad aceptable de acuerdo con los objetivos fijados.
- 3) Poner de manifiesto aquellas características que, por razones económicas y/o técnicas, deberían ser controladas mediante gráficos de control por variables.

Dado que el producto defectuoso puede tener uno o más defectos o el número de productos defectuosos. En ambos casos, el estudio se hará mediante muestras, que podrán ser de tamaño constante o variable, lo cual genera los cuatro tipos de gráficos que aparecen en la tabla 3.1. Todos ellos se basan en definir los límites de control a una distancia de 3σ de su valor central, que será la media de lo que se quiera controlar. Su fórmula genérica debe ser:

$$\text{Límite de Control} = \text{Valor Central} \pm 3\sigma$$

Base de Control	Tamaño de muestra	
	Constante	Variable
Número de piezas defectuosas	Gráfico np	Gráfico p
Número de defectos	Gráfico c	Gráfico u

Tabla 3.1 Tipos de gráficos de control por atributos.

En el control del proceso se hará de manera análoga a como se realizaba para los gráficos de control por variables, pero es conveniente hacer notar que aquí los valores que se obtengan por encima de los límites de control superior tienen un significado muy diferente de los que aparezcan bajo los límites de control inferior. Mientras que los primeros están detectando un exceso de defectos (o, en su caso, de piezas defectuosas), los segundos ponen de manifiesto que las muestras tomadas revelan valores muy bajos de defectos (o, en su caso, de productos no aceptables). A pesar de esto último podría llevar a pensar que se está ante un buen resultado, lo que generalmente sucede es que las muestras pueden estar extrayéndose de forma inadecuada, por lo que habría que analizar la forma de la extracción. En el caso de que no sea ésta la causa, estaremos ante un proceso que ha evolucionado favorablemente, por lo que habría que recalculer los límites de control.

En lo referente a las muestras que deben tomarse periódicamente, deben ser de mayor tamaño que las utilizadas para los gráficos de control por variables, el tamaño de muestra más generalizado es de 25 unidades, sin embargo, se han sugerido algunas reglas para determinar el número mínimo de unidades para tamaño de muestra. El tamaño de muestra debe ser lo suficientemente pequeño de forma que las condiciones de producción y pruebas puedan suponerse bastante uniformes. Al contrario, la muestra debe ser lo suficientemente grande para promediar cuando menos 0.5 defectuosos por np. Así, si p es muy pequeña, se requerirá de una mayor n.

En lo que se refiere a los formatos utilizados para estas gráficas se recomienda utilizar los formatos que se encuentran en las páginas siguientes. Aunque pueden ser cambiadas a las propias necesidades de la empresa donde se trabajen.



GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA		p <input type="checkbox"/>	c <input type="checkbox"/>	NOMBRE Y NUMERO DE LA PARTE			
		np <input type="checkbox"/>	u <input type="checkbox"/>				
DEPARTAMENTO	No. Y NOMBRE DE LA OPERACION						
Prom. =		LSC =	LIC =	Tamaño de muestra promedio: Frecuencia:			
SUB-GRUPO	DIA HORA	n	d				OBSERVACIONES
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							

3.2 Elaboración e interpretación de Gráficas por Atributos.

Aunque existen cuatro tipos diferentes de gráficas de control por atributos, podemos generalizar un proceso para su elaboración, la cual consiste en la realización de los siguientes pasos.

- 1) Establecer los objetivos del control estadístico del proceso.- La finalidad es establecer que se desea conseguir con la aplicación de la gráfica de control.
- 2) Identificar la característica a controlar.- Es absolutamente necesario determinar que característica o atributo del producto o proceso se va a controlar para conseguir satisfacer las necesidades de información establecidas en el paso No. 1
- 3) Determinar el tipo de gráfica de control que es conveniente utilizar.- Para poder determinar el tipo es necesario considerar los siguientes aspectos:
 - Tipo de información requerida.
 - Características del proceso.
 - Características del producto.
 - Nivel de frecuencia de las unidades no conformes o disconformidades.
- 4) Elaborar el plan de muestreo (tamaño de muestra, frecuencia de muestreo, y número de muestras).-
 - Las Gráficas de Control por Atributos requieren generalmente tamaños de muestras grandes para poder detectar cambios en los resultados.
 - Para que el gráfico pueda mostrar pautas analizables, el tamaño de muestra, será lo suficientemente grande (entre 50 y 200 unidades e incluso superior) para tener varias unidades no conformes por muestra, de forma que puedan evidenciarse cambios significativamente favorables (por ejemplo, aparición de muestras con cero unidades no conformes).
 - El tamaño de cada muestra oscilará entre +/- 20% respecto al tamaño medio de las muestras.
$$n = (n_1 + n_2 + \dots + n_N) / N \quad N = \text{Número de muestras}$$
 - La frecuencia de muestreo será la adecuada para detectar rápidamente los cambios y permitir una realimentación eficaz.
 - El periodo de recogida de muestras debe ser lo suficientemente largo como para recoger todas las posibles causas internas de variación del proceso.
 - Se recogerán al menos 20 muestras para proporcionar una prueba fiable de estabilidad en el proceso.
- 5) Recoger los datos según el plan establecido.
 - Se tendrá un especial cuidado de que la muestra sea aleatoria y representativa de todo el periodo de producción o lote del que se extrae.
 - Cada unidad de la muestra se tomará de forma que todas las unidades del periodo de producción o lote tengan la misma probabilidad de ser extraídas. (Toma de

muestras al azar).

- Se indicarán en las hojas de recogida de datos todas las informaciones y circunstancias que sean relevantes en la toma de los mismos.
- 6) Calcular la fracción de unidades.- Para cada muestra se registran los siguientes datos:
- El número de unidades inspeccionadas “n”
 - El número de unidades no conformes.
 - La fracción de unidades no conformes.
 - El número de defectos de una pieza.
 - La fracción de defectos por pieza.
- 7) Calcular los límites de control.- Las fórmulas para estos cálculos se encuentran en el formato de la gráfica de control sugerido en el punto anterior de este libro.
- 8) Definir las escalas de la gráfica.
- El eje horizontal representa el número de la muestra en el orden en que ha sido tomada.
 - El eje vertical representa los valores de la fracción de unidades.
 - La escala de este eje irá desde cero hasta dos veces la fracción de unidades no conformes máxima.
- 9) Representar en el gráfico la línea central y los límites de control.
- 10) Incluir los datos pertenecientes a las muestras en la gráfica.
- Representar cada muestra con un punto, buscando la intersección entre el número de la muestra (eje horizontal) y el valor de su fracción de unidades no conformes (eje vertical):
 - Unir los puntos representados por medio de trazos rectos.
- 11) Comprobación de los datos de construcción de la gráfica de control.
- 12) Analizar e interpretar los resultados de la gráfica de control y tomar las acciones correctivas en el momento en que lo requiera el proceso.- Este proceso de interpretación se verá en cada gráfica de control de este libro.

3.2.1 Gráfico p.

Sirve para controlar el número de productos defectuosos utilizando muestras que pueden ser de tamaño constante o variable. Si dividimos dicho número por el tamaño de la muestra n , obtendremos la **fracción defectuosa** de la misma, la cual se denomina p . Se calcula dividiendo el número de artículos defectuosos que existan en la muestra entre el tamaño de la misma, n . El valor central del gráfico p tendría que ser la fracción de defectuosos del universo, p , que al no ser conocida se estima mediante la media de las fracciones defectuosas \bar{p} . el cálculo de esta última se puede realizar como la media de las p calculadas, o bien dividiendo el número de artículos defectuosos obtenidos en un período

mínimo de un mes entre el número de piezas inspeccionadas en el mismo.

$$\text{Fracción defectuosa} = \frac{\text{Número de productos defectuosos}}{\text{Total de productos inspeccionados}}$$

La variable p se distribuye según una binomial, por lo que su desviación estándar y los correspondientes límites de control se pueden expresar como:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} \quad LC = \bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$$

Se podrá apreciar que los límites de control variarán, pues dependen de n , y ésta no necesariamente debe ser constante. Ello obligará a calcular los límites de control para cada una de las muestras, lo cual se puede simplificar tomando el tamaño de muestra promedio y obteniendo unos límites de control simplificados, basándose en que no se incurre en un gran error al ser n un número relativamente elevado.

El siguiente ejemplo muestra el número de defectos obtenidos en una muestra de 50 unidades tomados de la operación de llenado de cera de una fábrica de veladoras.

Cálculo de la fracción defectuosa promedio:

$$\bar{p} = \frac{\text{No. de defectos}}{\text{No. de unidades inspeccionadas}} = \frac{158}{1250} = 0.1264$$

Cálculo de los límites de control:

$$LCS = 0.1264 + 3 \sqrt{\frac{0.1264(1 - 0.1264)}{50}} = 0.267$$

$$LCI = 0.1264 - 3 \sqrt{\frac{0.1264(1 - 0.1265)}{50}} = -0.0145 = 0$$

La razón de que los valores negativos se consideren como cero, es que no pueden existir fracciones defectuosas negativas, debido a que se dividen dos valores positivos.

El análisis de la gráfica es similar que las gráficas de control de variables, por lo que podemos concluir que el proceso no se encuentra dentro de control estadístico debido a:

- Existen cambio bruscos.
- 10 puntos se encuentran dentro de los últimos 3/3 de los límites de control, por lo que existe una gran dispersión de los datos.
- 36% de los puntos caen dentro del 1/3 de los límites de control, lo cual debería ser la mayoría de los puntos.
- Existen puntos cercanos a los límites de control.
- Se deben de investigar las causas por las cuales el proceso ha estado trabajando en forma errática, y buscar las causas asignables para tratar de eliminarlas.

Gráfica de control para controlar el porcentaje defectuosos ($100\bar{p}$); para tamaño de muestra variable.

La gráfica de porcentaje defectuoso es idéntica que la gráfica para controlar la fracción defectuosa sólo que la escala vertical cambia a porcentajes (multiplicando la fracción defectuosa por 100). Esta gráfica la veremos para tamaño de muestra variable.

Para el caso de muestra variable hay necesidad de hacer un cálculo de límite de control por cada tamaño de muestra diferente, el cual también es variable.

Los límites de control entonces vienen dados por:

$$\text{Límites de Control} = 100\bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{100\bar{p}(100 - 100\bar{p})}{n}}$$

Por ejemplo.- Supóngase que se tienen los siguientes datos correspondientes a una empresa ficticia.

Cálculo del límite central

$$100\bar{p} = \frac{122}{7800}(100) = 1.56$$

Cálculo de los límites de control.

$$3\sqrt{100\bar{p}(1 - 100\bar{p})} = 3\sqrt{1.56(100 - 1.56)} = 37.18$$

$$\sqrt{200} = 14.14 \quad \sqrt{300} = 17.32 \quad \sqrt{500} = 22.36 \quad \sqrt{600} = 24.50$$

n	Límites de control para $100\bar{p}$
200	$1.56 \pm 37.18/14.14 = 1.56 \pm 2.63$
300	$1.56 \pm 37.18/17.32 = 1.56 \pm 2.15$
500	$1.56 \pm 37.18/22.36 = 1.56 \pm 1.66$
600	$1.56 \pm 37.18/24.50 = 1.56 \pm 1.52$

Como se puede apreciar el proceso se encuentra dentro de control, la gráfica no contiene ningún síntoma de anomalía, pero se deberían analizar las causas por las cuales el proceso tiene un valor central muy grande (1.56%) para posteriormente mejorar el proceso y tener una mejora continua

3.2.2 Gráfico np.

Esta gráfica nos sirve para controlar el número de productos defectuosos dentro de un proceso.

Este tipo de gráfica es prácticamente igual que la gráfica p y se aplica a los mismos casos. La diferencia es que las muestras son de tamaño constante, n por lo que reduce los inconvenientes que presenta el caso de tener la gráfica p de tamaño de muestra variable. Su **valor central** es el **número de artículos defectuosos**. Si \bar{p} es la proporción media de éstos, multiplicando por n se tendrá el valor medio buscado. Para esta variable $n\bar{p}$, la desviación estándar y los correspondientes límites de control son:

$$\sigma_{np} = \sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$$

$$LC_{np} = n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$$

Para ilustrar un ejemplo, tomaremos los datos de la anterior gráfica \bar{p} , con lo que veremos que es la misma gráfica pero representada por el número de defectuosos.

Cálculo de los límites de control.

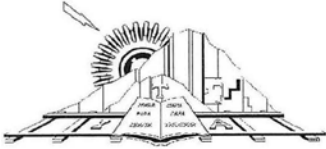
$$n\bar{p} = \frac{158}{25} = 6.32 \quad \text{o bien} \quad n\bar{p} = (50)(0.1264) = 6.32$$

$$LCS = 6.32 + 3\sqrt{6.32(1 - 0.1264)} = 13.369$$

$$LCI = 6.32 - 3\sqrt{6.32(1 - 0.1264)} = -0.7049 = 0$$

Como se puede apreciar en la siguiente gráfica, resulta ser idéntica a la gráfica p , por lo que su significado y las conclusiones son también iguales a esa gráfica.

Si el operario lleva la construcción de la gráfica de control, entonces se sugiere este tipo de gráfica, debido a que hay que hacer menos operaciones matemáticas para su construcción y pueden ocurrir menos errores de cálculo.



GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA La Vela Durmiente		p <input type="checkbox"/> np <input checked="" type="checkbox"/>	c <input type="checkbox"/> u <input type="checkbox"/>	NOMBRE Y NUMERO DE LA PARTE Vaso Veladora Parte 002																							
DEPARTAMENTO No. 13	No. Y NOMBRE DE LA OPERACION Llenado de cera No. Op. 25			ITEM DE CONTROL SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>																							
Prom. =		LSC=		LIC =																							
				Tamaño de muestra promedio: Frecuencia:																							
Tamaño de muestra	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Rechazos	Cantidad (np, c)	6	7	4	3	3	6	12	13	2	12	0	2	6	0	7	13	6	8	12	8	11	2	6	4	5	
	Proporción (p, u)																										
Fecha																											
CUALQUIER CAMBIO EN MANO DE OBRA, MATERIALES, MEDIO AMBIENTE, METODOS O MAQUINAS DEBE SER ANOTADO. ESTAS ANOTACIONES LE AYUDARAN A TOMAR ACCIONES CORRECTIVAS CUANDO SE LO INDIQUEN LAS GRAFICAS DE CONTROL.																											
FECHA	HORA	O B S E R V A C I O N E S																									

3.2.3 Gráfico c.

En la producción de determinados trabajos sobre los cuales se debe efectuar una inspección pasa-no pasa, existen por lo menos dos razones por las cuales las gráficas del porcentaje defectuoso o las de fracción defectuosa, resultan de muy escaso valor:

- 1) La cantidad producida es muy baja Pueden ser muy pocas las unidades producidas cada día, cada semana o cada mes.
- 2) Con productos físicamente grandes y complicados, como máquinas integradas, turbinas, o rodillos, se presentan siempre algunos defectos durante su inspección final. Se pueden notar tomillos flojos que necesiten apretarse, placas que requieran pintura, o sistemas electrónicos por coordinar. Bajo el sistema convencional del porcentaje defectuoso, las gráficas siempre acusarán 100% de rechazos, lo cual las hace de poca utilidad para el control de calidad.

En estas circunstancias, la inspección por atributos resulta más efectiva bajo forma de gráficas de control de defectos por unidad. Por lo tanto, una máquina puede tener 25 defectos durante su inspección final. Los límites de control deben expresarse en términos del número de defectos por unidad

Existen dos tipos de gráficas, dependiendo de la aplicación.

- 1) La gráfica de defectos de una clasificación dada observados en una sola unidad de producto de tamaño o carácter constante en inspecciones sucesivas. Esta gráfica se denomina **c**, y los valores de **c** se grafican en una gráfica llamada gráfica **c**.
- 2) La gráfica promedio o el número promedio de defectos de una clasificación dada observados en una muestra de n unidades de producto de carácter o tamaño constante en inspecciones sucesivas. Esta gráfica promedio se denomina **u**, donde $u=c/n$, y los valores de u se grafican en una gráfica llamada gráfica **u**.

Entonces podemos decir que la gráfica **c** sirve para controlar el proceso productivo mediante el conocimiento del número de defectos que aparece en una muestra, obtenido éste como la suma de todos los defectos que tengan las piezas que lo componen.

Sería útil indicar algunas aplicaciones representativas de la gráfica **c**. Generalmente puede usarse donde el número potencial de errores por artículo sea grande aunque el número esperado sea relativamente pequeño. En los siguientes ejemplos puede utilizarse la gráfica **c**.

- a) Número de defectos de tejido en una prenda de vestir.
- b) Número de defectos de rugosidad por unidad de área en un material de trabajo.
- c) Número de poros, rayones, manchas en una superficie pintada.
- d) Número de errores de ensamble en un equipo completo.

También se puede decir que las gráficas **c** y **u** se usan para analizar el proceso por defectos de un producto, tales como imperfecciones en una lámina, barnizado, niquelado, defectos en una tarjeta de crédito impreso, en tejidos del área textil.

Dado que se considera la existencia de una gran cantidad de posibles defectos por artículo, una probabilidad relativamente baja de que se den un defecto e independencia de sucesos en los distintos artículos, la binomial que regía el número total de defectos tiende a

una distribución de Poisson, en la que la desviación típica puede expresarse como:

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{np'(1 - p')} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{np'} = \sqrt{c}$$

donde c es el número más probable de defectos por muestra. De acuerdo con lo anterior, los límites de control se pueden expresar como:

$$LC = \bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$$

donde c' , ha sido sustituido por la media de defectos por muestra \bar{c} , que se calculará dividiendo el número total de defectos encontrados en un lote de muestras entre el número de éstas. Cabe comentar que, en el presente caso, la muestra puede tener un tamaño más reducido, pues de hecho, cada unidad a controlar puede llevar un número relativamente elevado de posibles defectos. En cualquier caso, el valor de n debe ser sensiblemente constante si se desea llegar a valores comparables.

Ejemplo:

En un tomo revolver se fabrican bridas para gas. De una muestra de 20 piezas nos muestra el número de defectuosos al realizarse la inspección final, que mostraron los siguientes tipos de defectos:

- a) Defecto de avellanado.
- b) Hilos de la cuerda en mal estado.
- c) Ajuste de la cuerda.
- d) Longitud de la pieza.
- e) Tolerancia en el diámetro maquinado.
- f) Rebaba.

Sub-grupo	No. de def.	Tipo de defec.	Sub-grupo	No. de def.	Tipo de defec.	Sub-grupo	No. de def.	Tipo de defec.
1	1	d	8	1	d	15	0	---
2	2	b, c	9	2	d, e	16	2	b, c
3	1	a	10	1	f	17	0	---
4	0	---	11	2	e, f	18	0	---
5	3	b, d, c	12	3	d, e, f	19	2	e, f
6	2	e, f	13	2	a, d	20	3	d,e, f
7	0	---	14	1	a			

Suma del número de defectos = 27

$$\bar{c} = \frac{28}{20} = 1.4$$

$$LCS = 1.4 + 3\sqrt{1.4} = 4.94 \quad LCI = 1.4 - 3\sqrt{1.4} = -2.14 = 0$$



GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA Tornos de Apizaco		p <input type="checkbox"/> np <input type="checkbox"/>	c <input checked="" type="checkbox"/> u <input type="checkbox"/>	NOMBRE Y NUMERO DE LA PARTE Brida para gas Parte A-02																	
DEPARTAMENTO	No. Y NOMBRE DE LA OPERACION			ITEM DE CONTROL	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>																
Prom. = 1.4		LSC= 4.94	LIC = 0	Tamaño de muestra promedio: Frecuencia:																	
SUB GRUPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Rechazos	Cantidad (np, c)	2	2	1	0	3	2	0	1	2	1	2	3	2	1	0	2	0	0	2	3
	Proporción (p, u)																				
Fecha																					
CUALQUIER CAMBIO EN MANO DE OBRA, MATERIALES, MEDIO AMBIENTE, METODOS O MAQUINAS DEBE SER ANOTADO. ESTAS ANOTACIONES LE AYUDARAN A TOMAR ACCIONES CORRECTIVAS CUANDO SE LO INDIQUEN LAS GRAFICAS DE CONTROL.																					
FECHA	HORA	O B S E R V A C I O N E S																			

3.2.4 Gráfico u .

Si se cumplen las hipótesis empleadas para el gráfico c , pero las muestras no pueden ser elegidas de tamaño constante, no se podrá trabajar con el número de defectos por muestra, c , si no que se tendrá que utilizar el número de defectos por productos u . La relación que existe entre estas variables es obvia, por definición:

$$u = \frac{c}{n}$$

Deduciendo los límites de control a partir de los definidos para el gráfico c se obtendrá:

$$LC = \bar{c} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{c}}{n}} = \bar{u} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

Lo mismo que ocurría para el gráfico p , los límites de control son variables. De la misma forma que en éste, se puede adoptar en ocasiones, un tamaño medio de la muestra y fijar así los límites de control, evadiendo el cálculo de los mismos para cada muestra.

Ejemplo:

Los siguientes datos representan los productos defectuosos que se encuentran en una muestra al final de la producción tomados cada hora de una empresa dedicada al ensamble de televisores.

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| a) Piezas posicionadas equivocadas | e) Error de cableado |
| b) Piezas dañadas | f) Conexión soldada deficiente |
| c) Flojas | g) Conexión sin soldar |
| d) Falta alambre | h) Mala alineación |

Fecha	No. Insp.	No. de defec.	Tipo de defec.	Fecha	No. Insp.	No. de defec.	Tipo de defec.
8/Oct.	3	8	2a, 3c, 1d, 2g	23/Oct.	3	4	1a, 2c, 1d
9/Oct.	2	4	2d, 1e, 1, h	24/Oct.	4	5	3d, 1e, 1h
10/Oct.	4	7	4d, 2e, 1h	25/Oct.	2	3	2c, 1e
11/Oct.	3	4	1a, 2c, 1g	26/Oct.	3	4	2d, 2g
12/Oct.	3	10	5d, 3e, 2h	27/Oct.	2	6	2d, 1e, 3h
13/Oct.	3	3	1a, 2c	29/Oct.	4	4	3d, 1e
15/Oct.	2	6	3b, 2d, 1h	30/Oct.	2	8	2a, 2b, 3e, 1h
16/Oct.	3	5	2c, 2e, 1g	31/Oct.	3	3	2d, 1g
17/Oct.	2	3	3d	1/Nov.	3	2	1a, 1b
18/Oct.	2	7	4d, 2e, 1h	2/Nov.	3	3	1a, 1b, 1e
19/Oct.	4	7	5b, 2c	3/Nov.	2	3	2d, 1h
20/Oct.	3	4	2a, 2c	5/Nov.	4	5	3d, 1e, 1h
22/Oct.	1	2	2a				

Cálculo de los límites de control

$$\bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n} = \frac{120}{70} = 1.71$$

$$LC = \bar{u} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$LCS = 1.71 + 3 \sqrt{\frac{1.71}{2.8}} = 4.05$$

$$LCI = 1.71 - 3 \sqrt{\frac{1.71}{2.8}} = -0.63 = 0$$

Como se puede observar en la siguiente gráfica, el proceso está fuera de control, debido a que tiene muchos cambios bruscos y la mayor parte de los puntos se encuentran entre los 2/3 exteriores, lo cual se considera inadecuado.



GRAFICA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

PLANTA TV Miron		p <input type="checkbox"/>	c <input type="checkbox"/>	NOMBRE Y NUMERO DE LA PARTE EG-03																							
np <input type="checkbox"/>		u <input checked="" type="checkbox"/>		ITEM DE CONTROL SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>																							
DEPARTAMENTO Ensamble	No. Y NOMBRE DE LA OPERACION Ensamble general de placa y bastidor			Tamaño de muestra promedio: Frecuencia:																							
Prom. = 1.71		LSC = 4.05	LIC = 0																								
Tamaño de muestra	3	2	4	3	3	3	2	3	2	2	4	3	1	3	4	2	3	2	4	2	3	3	3	2	4		
Rechazos	Cantidad c	8	4	7	4	10	3	6	5	3	7	7	4	2	4	5	3	4	6	4	8	3	2	3	3	5	
	Proporción u	2.67	2.00	1.75	1.33	3.33	1.00	3.00	1.67	1.50	3.50	1.75	1.33	2.00	1.33	1.25	1.50	1.33	3.00	1.00	4.00	1.00	0.67	1.00	1.50	1.25	
Fecha																											
CUALQUIER CAMBIO EN MANO DE OBRA, MATERIALES, MEDIO AMBIENTE, METODOS O MAQUINAS DEBE SER ANOTADO. ESTAS ANOTACIONES LE AYUDARAN A TOMAR ACCIONES CORRECTIVAS CUANDO SE LO INDIQUEN LAS GRAFICAS DE CONTROL.																											
FECHA	HORA	OBSERVACIONES																									

3.3 Capacidad del proceso.

Aunque el tema ya se trató con anterioridad en el punto 2.3 del capítulo anterior, trataré de recalcar algunos aspectos que son de suma importancia en el tema, con el fin de que sea más claro su aplicación.

Un proceso está afectado por un gran número de factores sometidos a una variabilidad (por ejemplo oscilaciones de las características del material utilizado, variaciones de temperatura y humedad ambiental, variabilidad introducida por el operario, repetibilidad propia de la maquinaria utilizada, etc.), que inciden en él y que inducen una variabilidad de las características del producto fabricado. Si el proceso está operando de manera que existen pequeñas oscilaciones de todos estos factores, pero de modo que ninguno de ellos tienen un efecto preponderante frente a los demás, entonces en virtud del TLC es esperable que la característica de calidad del producto fabricado se distribuya de acuerdo con una ley normal. Al conjunto de esta multitud de factores se denominan **causas comunes**. Por el contrario, si circunstancialmente incide un factor con un efecto preponderante, entonces la distribución de la característica de calidad no tiene por qué seguir una ley normal y se dice que está presente una **causa especial o assignable**. Por ejemplo, si en un proceso industrial se está utilizando materias primas procedentes de un lote homogéneo y se continúa la fabricación con materias primas procedentes de otro lote, cuyas características son muy diferentes de las anteriores, es muy posible que las características de los productos fabricados sean significativamente distintas a partir de la utilización del nuevo lote.

Por definición, se dice que un proceso está bajo control estadístico cuando no hay causas asignables presentes. El Control Estadístico de Procesos se basa en analizar la información aportada por el proceso para detectar la presencia de causas asignables y habitualmente se realiza mediante una construcción gráfica denominada Gráfico de Control. Si el proceso se encuentra bajo control estadístico es posible realizar una predicción del intervalo en el que se encontrarán las características de la pieza fabricada.

Para que tenga sentido la aplicación de los gráficos de control, el proceso ha de tener una estabilidad suficiente que aun siendo aleatorio, permita un cierto grado de predicción. En general, un proceso caótico no es previsible y no puede ser controlado. A estos procesos no se les puede aplicar el gráfico de control ni tiene sentido hablar de capacidad. Un proceso de este tipo debe ser estudiado mediante herramientas estadísticas avanzadas hasta que el grado de conocimiento empírico obtenido sobre el mismo permita conocer las causas de la estabilidad y se eliminen.

En lo sucesivo, se supondrá que los procesos tienen un cierto grado de estabilidad. Podemos distinguir dos casos:

- El proceso está regido por una función de probabilidad cuyos parámetros permanecen constantes a lo largo del tiempo. Este sería el caso de un proceso normal de media constante y desviación típica constante. Este es el caso ideal y al que se pueden aplicar los gráficos de control para detectar la presencia de causas asignables.
- El proceso está regido por una función de probabilidad alguno de cuyos parámetros varía ligeramente a lo largo del tiempo. Este sería el caso de un proceso normal cuya media varía a lo largo del tiempo (por ejemplo, una herramienta de corte que va desgastando la cuchilla de corte). Estrictamente hablando, este desgaste de la

herramienta sería una causa especial; sin embargo si puede conocerse la velocidad de desgaste, podría compensarse resultando un proceso análogo al caso anterior.

Puede ocurrir que las características propias del proceso hagan que alguno de los factores de variabilidad intrínsecos al mismo, tenga un efecto preponderante, de modo que en este caso la distribución no sea normal. Un ejemplo puede ser la distribución de los diámetros de un proceso de taladrado, cuyo valor inferior está limitado por el propio diámetro de la broca, mientras que la distribución presenta una cola hacia diámetros mayores debido a posibles incidencias oblicuas de la broca. En este caso, se dice que el proceso está bajo control estadístico cuando no hay otras causas asignables presentes. Esto es equivalente a decir que el proceso permanezca estable, es decir que los parámetros de la distribución permanezcan invariables y por lo tanto puede realizarse una predicción del intervalo en el que se encontrarán los valores de la característica de respuesta.

Por lo tanto, debe tratar de conocerse todo lo que sea posible de los fundamentos tecnológicos del proceso, ya que puede dar pistas sobre el tipo de distribución que seguirán los datos. En ningún caso debe “darse la normalidad por supuesta”. Debe comprobarse y en caso de que los datos no sean normales, deben aplicarse métodos especiales.

Como consecuencia de todo lo anterior, si un proceso normal está en control estadístico, la característica de calidad del 99,73% de los elementos fabricados estará comprendida entre $\mu - 3\sigma$ y $\mu + 3\sigma$. El parámetro μ depende del punto en el que centremos el proceso. Sin embargo σ depende del número y variabilidad de las causas comunes del proceso y por lo tanto es intrínseca a él. Por lo tanto 6σ es la Variabilidad Natural del Proceso o Capacidad del Proceso. Por definición:

Capacidad de Proceso = 6σ

Es esencial resaltar que la variabilidad natural del proceso, 6σ , es intrínseca a él e independiente de las tolerancias que se asignen. Por lo tanto si 6σ es menor que el intervalo de las tolerancias a cumplir, necesariamente algunos productos fabricados estarán fuera de tolerancia y serán no conformes. Si no se tiene en cuenta este hecho y se pretende corregir a base de reajustar el proceso, es decir modificar el centrado, lo único que se consigue es aumentar la variabilidad del mismo.

Con objeto de comparar la capacidad del proceso y la amplitud de las tolerancias a satisfacer, se define el **índice de capacidad de proceso**:

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

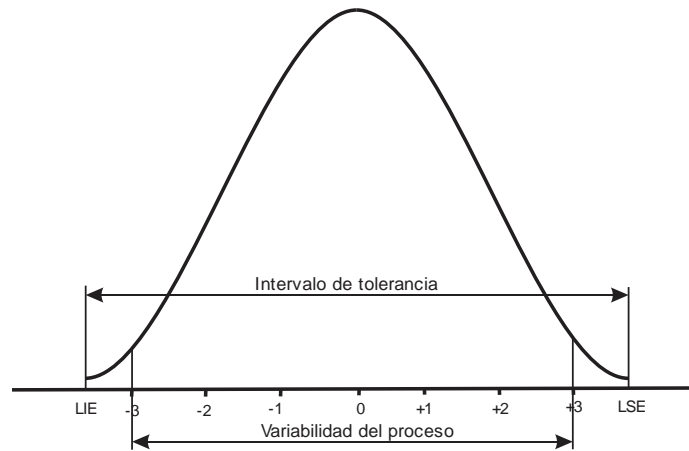
Si se pretende que la producción esté dentro de tolerancia, es necesario que $C_p > 1$.

Si el proceso no estuviese centrado, el valor de este índice falsearía el grado de cobertura con respecto a fabricar piezas fuera de tolerancias. En estos casos es más significativo el índice C_{pk} que se define:

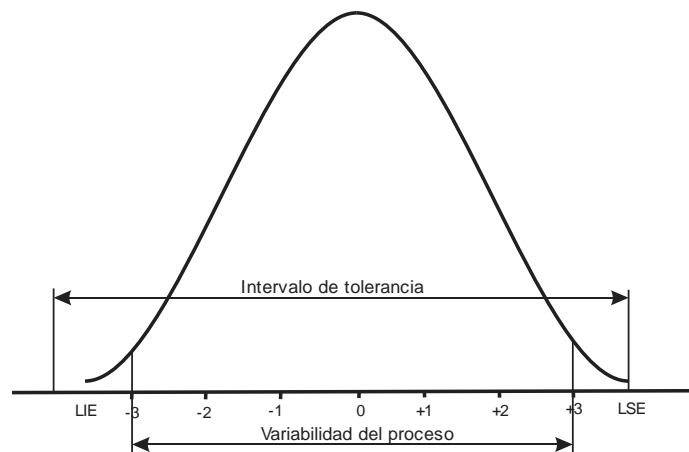
$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right\}$$

De este modo se define un proceso capaz como aquel que $C_{pk} > 1$.

Aplicando estos mismos conceptos a la variabilidad atribuible de una máquina de las que integran el proceso de fabricación, podemos definir la capacidad de máquina, el índice de capacidad de máquina C_M y C_{Mk} .



Índice C_p



Índice C_{pk}

Un proceso productivo tiene habitualmente dos tipos de variabilidad:

- 1) Variabilidad inherente del proceso. Aquella componente de la variabilidad debida a causas comunes solamente y representa la variabilidad que puede estar presente entre elementos fabricados en intervalos próximos (variabilidad en el corto plazo).
- 2) Variabilidad total del proceso. Es la variación resultante de todas las causas de variabilidad (causas comunes y especiales), en la que se tienen en cuenta factores como el desgaste, cambios de lote de materia prima, etc. Representa la variabilidad que puede afectar al conjunto de los elementos fabricados recibidos por el cliente (variabilidad en el largo plazo).

Para ver algunos ejemplos de aplicación, remítase a la página 191 del Capítulo 2 de este libro.