

Evaluación de la capacidad de calidad de un proceso industrial, por métodos estadísticos

Autor: Ing. Angel Francisco Arvelo Luján

[E-mail: brvelo@ucab.edu.ve](mailto:brvelo@ucab.edu.ve)

Este artículo es un resumen de la obra del mismo autor, y que se encuentra en proceso de edición por parte de la Universidad Católica Andrés Bello.

INTRODUCCIÓN

La actual crisis económica por la que atraviesa nuestro país , con la consecuente pérdida en la capacidad de compra de los consumidores, ha traído como consecuencia que muchas empresas industriales vean en la exportación una salida para su desarrollo.

Sin embargo, a la hora de tratar de penetrar los mercados internacionales, nuestras empresas se han encontrado con la dificultad de que allí. las normas de calidad son mucho más exigentes, y de obligatorio cumplimiento.

Así por ejemplo, el cumplimiento de las cláusulas establecidas en la Norma ISO- 9000 y sus anexos, ya es un requisito mundialmente exigido para cualquier empresa industrial o de servicios, que pretenda competir en los mercados de los países desarrollados .

Con el objeto de garantizarle a los consumidores y usuarios, que las empresas productoras y de servicios tienen un sistema de aseguramiento de la calidad, y que dicho sistema es permanente en el tiempo, ha aparecido la figura de las llamadas «Auditorías de Calidad» , en donde un agente externo a la empresa certifica ante terceros , la existencia de este sistema de aseguramiento de la calidad, y que la empresa responderá ante el consumidor frente a cualquier problema derivado de la producción de alguna pieza defectuosa . o de alguna falla en la prestación del servicio.

Aunque las cláusulas previstas en la norma ISO - 9000 , son de un carácter bastante general, y están enfocadas exclusivamente hacia el sistema y no hacia el

producto, algunas de ellas hacen mención a la necesidad de que la empresa cuente con la existencia de métodos estadísticos para el control de calidad, y sugiere la implantación de técnicas de muestreo para detectar a tiempo la aparición de cualquier tipo de fallas .

La aplicación de métodos de muestreo en la industria venezolana , ya era conocida aún antes de la aparición de la Norma 150-9000, y así desde hace ya muchos años, COVENIN adoptó los planes de muestreo por atributos , conocidos como «Tablas Militares 105-D» , como normas venezolanas.

Sin embargo, además de los planes de muestreo, otra evaluación muy importante en las auditorías de calidad. son los llamados estudios de capacidad o de habilidad de procesos, los cuales requieren de una metodología estadística.

Así por ejemplo, la Norma Venezolana Covenin 9004-90, en donde se dan los lineamientos para la 'Gestión de Calidad», establece textualmente en su Título N° 10 «Calidad en Producción» , Sección 10.2 « Capacidad del Proceso», lo siguiente:

« A los procesos de producción se les debe verificar su capacidad para producir de acuerdo con las especificaciones establecidas para el producto. Deben ser identificadas las operaciones asociadas con las características del producto o proceso, que puedan tener efectos significativos sobre la calidad del producto. Se debe establecer un control apropiado para asegurar la permanencia de estas características dentro de las especificaciones y que se hayan realizado los cambios y modificaciones apropiadas.

La verificación de los procesos de producción debe incluir la revisión de los procedimientos relativos a material, equipo , sistemas de computación , procedimientos y el personal involucrado .»

El concepto de capacidad de procesos se refiere fundamentalmente a la disposición que tiene el proceso para cumplir con las especificaciones que le son impuestas por las normas, y así por ejemplo, si el proceso presenta un alto grado de variabilidad y las especificaciones son muy estrechas, entonces generará un alto porcentaje de piezas defectuosas, es decir fuera de especificación,

Si por el contrario, el proceso es muy preciso, y fabrica piezas con poco margen de variabilidad, entonces con calibraciones adecuadas, se podrá lograr que la totalidad de las piezas caigan dentro de las especificaciones exigidas, y el proceso se denominará capaz. Un proceso «capaz» es entonces, aquel que puede cumplir a cabalidad con los requisitos de calidad impuestos por las especificaciones.

El concepto de capacidad de procesos no es nuevo en los textos de «Control Estadístico de Calidad», pero si es una novedad dentro del medio industrial venezolano. De hecho, antes de la aparición de la Norma ISO-9000, sólo era puesto en práctica por un limitado número de industrias. tales como las petroleras. la industria automotriz, y algunas transnacionales.

El objetivo del presente trabajo, es presentar de una manera clara y precisa. la metodología estadística necesaria para estimar la capacidad de cualquier proceso industrial que deba someterse a ciertas especificaciones externas, y puede ser de utilidad tanto para la empresa a fin de autoevaluarse, como para el auditor externo.

La metodología que aquí se presenta no es propia, de hecho aparece dispersa en buena parte de los textos de «Control Estadístico de Calidad». Considero que mi principal contribución es organizarla, y presentarla de una manera didáctica, a fin de que pueda ser fácilmente utilizada por las personas relacionadas con el tema.

He tratado de desarrollar la metodología conciliando dos aspectos : el práctico y el académico .

El aspecto práctico es sumamente importante puesto que este trabajo está dirigido a personas del medio industrial, a quienes les interesa principalmente el aspecto metodológico, con el fin de evaluar su proceso.

El aspecto académico es también para mí sumamente importante, ya que dada mi condición de Profesor Universitario, actividad a la que he dedicado gran parte de mi vida profesional por más de 27 años, no me sentiría satisfecho si me limitara a dar un «recetario» de fórmulas y procedimientos, sin justificación teórica alguna.

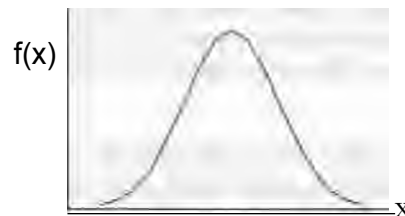
Para conciliar estos dos aspectos decidí dividir el trabajo en cinco capítulos ; los cuatro primeros se refieren exclusivamente a aspectos de carácter práctico que constituyen la esencia de la metodología, y en el quinto capítulo se da el fundamento teórico de la misma.

Este resumen no incluye los aspectos relativos a los fundamentos teóricos.

Sinceramente espero que el presente trabajo sea una contribución para el desarrollo del sector industrial venezolano, de utilidad para las personas relacionadas con el Control Estadístico de Calidad, y para aquellos estudiantes y profesionales interesados en conocer el porqué de las cosas.

DISTRIBUCIÓN NORMAL Y CAPACIDAD DE PROCESOS INDUSTRIALES

La Distribución Normal es la más importante de las distribuciones estadísticas, y representa un modelo teórico de comportamiento para una variable aleatoria continua «X» . cuya función densidad de probabilidad viene dada por la expresión:



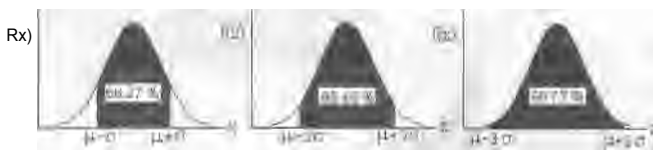
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

En la expresión anterior. « μ » y « σ » representan los parámetros de la distribución, que reciben el nombre de media y desviación típica respectivamente, y definen en realidad una familia, pues al tomar diferentes valores obtendremos una nueva curva.

Los parámetros de la curva tienen una influencia determinante en su geometría, y así, el parámetro « μ » representa el eje de simetría o valor central de la distribución, mientras que el parámetro « σ », por ser una medida de la variabilidad en los valores de «X» con respecto a la media « μ », incide en su ancho; de manera que a un me-

nor valor de «a», la curva se hace más estrecha al estar los valores de la variable más concentrados alrededor del valor de «u». y a un mayor valor de «c» obtendremos una curva más ancha, con una mayor dispersión de los valores de la variable con relación a la media.

La Distribución Normal tiene la propiedad de que en el intervalo $(\mu \pm a)$ existe una probabilidad de 68.27% de obtener una observación, en el intervalo $(\mu \pm 2a)$ una probabilidad de 95,45%, y en el intervalo $(\mu \pm 3a)$ un 99,73% .



Uno de los principales objetivos del Control Estadístico de Calidad es conocer los parámetros con que el proceso está produciendo las piezas, pues mediante su conocimiento se podrá determinar si se está en capacidad de cumplir con las especificaciones que le son exigidas al producto, y obviamente en la medida en que la desviación típica del proceso se reduzca, se obtendrá un proceso más estable y un producto más homogéneo.

VARIABILIDAD DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES

La Teoría de Control Estadístico de Calidad establece que en todo proceso industrial existen dos tipos de causas de variabilidad. que se conocen como comunes y asignables .

Las causas comunes constituyen la suma de los efectos de un conjunto total de causas aleatorias no controlables, que producen una variación en la calidad del producto manufacturado, y que son semejantes al conjunto de fuerzas que dan lugar a que una moneda caiga de uno u otro lado cuando es lanzada al aire. Con respecto a estas causas comunes, es poco lo que se puede hacer para reducirlas, debido a que son inherentes al proceso, ala precisión de las máquinas, etc. .La desviación típica «a» de la curva. es justamente el reflejo de la variabilidad debida a estas causas aleatorias.

Las causas asignables por el contrario, son debidas a la presencia de algunos factores que perturban el proceso, y que por si solos son capaces de explicar en gran medida la variabilidad en la calidad del producto. Entre estas causas podrían ser citadas como ejemplo,

diferencias entre las máquinas, diferencias entre los operarios, diferencias entre los materiales, etc.

El Control Estadístico de Procesos supone que si se estudia un grupo de datos y se encuentra que se ajustan a una Distribución Normal, entonces no existen causas asignables. y se dice que el proceso está bajo control estadístico debido a que es posible pronosticar con un alto grado de certeza su variabilidad.

Por el contrario, cuando los datos obtenidos del proceso no se ajustan a la Normal, se dice que están actuando una o más causas asignables, y que el proceso está fuera de control.

En la obra pueden encontrarse una serie de procedimientos prácticos, y pruebas, para verificar la normalidad del proceso.

CONCEPTO DE CAPACIDAD DE UN PROCESO INDUSTRIAL

El hecho de que un proceso industrial se encuentre bajo control estadístico no significa que va a producir artículos de calidad, lo que significa es simplemente que sobre su variabilidad están actuando solamente causas comunes. y es perfectamente posible que a pesar de hallarse bajo control. este margen de variabilidad sea tan amplio que le impida cumplir con las especificaciones exigidas por el consumidor.

Para poder controlar la calidad deben existir unas especificaciones. que son los límites entre los cuales debe caer una determinada característica cuantitativa para que se considere que el producto satisface los requisitos de calidad; así por ejemplo, cuando se exige que un eje debe tener un diámetro de (100.00 ± 0.25) mm, esto significa que su diámetro debe caer en el intervalo $(99.75 : 100.25)$ mm para que cumpla con este requisito de calidad. Estos límites del intervalo definen lo que se denominan las especificaciones, y sus extremos, reciben el nombre de «límite inferior de especificación» y «límite superior de especificación», que en lo sucesivo se designaran por «L» y «L_s» respectivamente.

La diferencia entre esos límites se define como la tolerancia: $T = L_s - L$

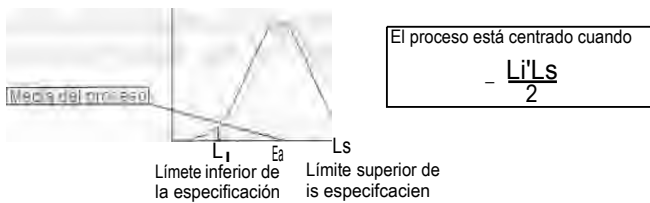
Resulta obvio que cuanto mayor sea la tolerancia de un producto, más fácil le resultará al proceso cumplir con las exigencias de calidad, puesto que el producto permite una mayor variabilidad; pero por el contrario, cuanto más pequeña sea la tolerancia, es más difícil cumplir

puesto que el margen de variabilidad es más estrecho, y por tanto más exigente.

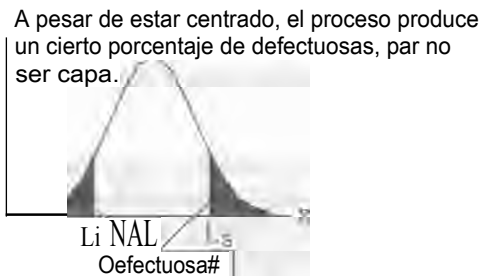
Hemos visto, que cuando un proceso está bajo control estadístico, los productos que fabrica se comportan según un modelo normal. y que entre los límites «p-3σ» y «p+3σ», debe caer entonces el 99.73% de la producción. De allí entonces, que resulte conveniente que un proceso trate de ubicarse entre estos límites, a fin de garantizar que la casi totalidad de la producción va a cumplir con la especificación.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que los parámetros «p» y «σ» del proceso constituyen una característica propia del mismo. Su media «p», generalmente puede ser fijada a voluntad, según ciertos ajustes y calibraciones que se le hagan a las máquinas, pero su desviación típica «σ» es mucho más difícil de modificar. puesto que depende de las causas comunes que lo afectan, tales como precisión de las máquinas, destreza de los operarios, etc.

Cuando la media «p» del proceso coincide con el punto medio de las especificaciones, se dice que el proceso está centrado.

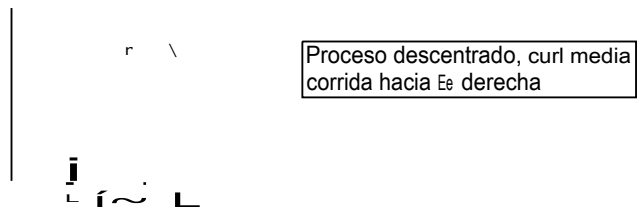


Centrar un proceso no es garantía de que la producción va a cumplir con las especificaciones, pues si los límites de especificación resultan más estrechos que los límites de variación ±3σ, entonces un cierto porcentaje de la producción va a resultar defectuosa. tal como se muestra en la figura:



Cuando un proceso está centrado, el porcentaje de piezas defectuosas se reparte por igual a ambos lados de la curva.

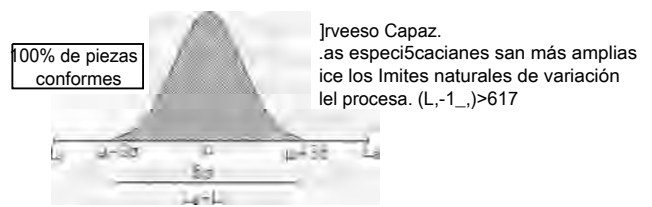
Cuando la media de un proceso no coincide con la media de la especificación, se dice que está descentrado o que la media está corrida, y en ese caso el porcentaje de piezas por encima del límite superior (defectuosas por exceso) es diferente de las que resultan por debajo del límite inferior (defectuosas por defecto).



Por lo general, en el Control de Calidad, se trata de mantener al proceso centrado, porque bajo esta situación, el porcentaje de piezas fuera de especificación es lo mínimo posible.

Hay situaciones especiales en que deliberadamente se provoca un corrimiento de la media y el proceso se descentra. debido a que por un extremo es posible corregir las piezas defectuosas. y por el otro extremo las piezas resultan inservibles. Cuando se presentan situaciones de esta naturaleza. la determinación del punto en que hay que colocar la media del proceso, depende del costo de la corrección, del costo de perder la pieza inservible, y de la utilidad que se obtenga por una pieza dentro de la especificación.

Se dice que un proceso es capaz, cuando los límites de la especificación resultan mas amplios que sus límites ±3σ. pues en este caso, de estar centrado el proceso, podremos garantizar que prácticamente el 100% de las piezas producidas cumple con la especificación exigida.



PROCESO CAPAZ CENTRADO

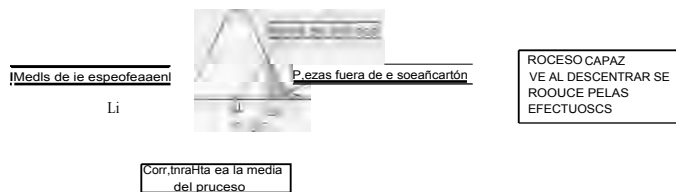
La capacidad del proceso es entonces la disposición que tiene para adaptarse a las especificaciones. y es por consiguiente una cualidad que debe exigirse a todo proceso industrial, si se quiere garantizar la fabricación de piezas que cumplan los requisitos de calidad establecidos en las normas.

Para medir la capacidad del proceso es necesario comparar la amplitud de su intervalo natural de variación, que como se sabe es desde $p-3cs$ hasta $u+3cr$. lo que da una amplitud de $6cs$. con la amplitud del intervalo de especificación L_s-L , que es «T» tolerancia de la especificación, y de allí que la medida utilizada para expresar la capacidad es el denominado «Coeficiente de Capacidad», C_p , definido por:

$$C_p = \frac{L_s - L_i}{6c} \quad T$$

Cuando $C_p > 1$, el proceso es capaz siempre que esté centrado, mientras que cuando $C_p < 1$, el proceso es incapaz aunque esté centrado, pues los límites de la especificación resultan demasiado estrechos en comparación con los límites de variabilidad natural del proceso. por efecto de las causas comunes.

El hecho de que un proceso sea capaz no significa sin embargo, que no deba ser controlado, pues si aparecen circunstancias externas que provoquen un corrimiento de la media y lo descentran, van a aparecer entonces un cierto porcentaje de defectuosas, en caso de que la distancia de la nueva media a uno de los límites de especificación sea inferior a 3σ . tal como se muestra en la figura:



Para detectar a tiempo estos corrimientos en la media, es por lo que los «Gráficos de Control» constituyen una herramienta muy útil en el Control de Procesos.

En conclusión, los estudios de capacidad denominados también de habilidad, tienen como objetivo el determinar si el proceso puede someterse a las especificaciones que le son impuestas, o si por el contrario, dichas especificaciones resultan demasiado estrictas para el proceso, y por consiguiente, deben ser ampliadas o debe recurrirse a otro proceso que sea más preciso.

GRÁFICAS DE CONTROL

Cuando la prueba de ajuste a la normal es aceptada, se dice que el Proceso esta bajo control estadístico. es decir, que sobre él sólo están actuando causas comunes o aleatorias, y que la variabilidad encontrada entre las diferentes piezas es una variabilidad natural, propia del proceso.

La condición de estar bajo control estadístico. no es sin embargo permanente en el tiempo, y en cualquier momento pueden aparecer causas asignables como por ejemplo un cambio en la materia prima, un error del operador, un desajuste en la maquinaria, etc., que ocasionen una perturbación.

Un proceso puede dejar de estar bajo control estadístico por dos razones no excluyentes, por un corrimiento de la media, por una variación en su desviación, o por ambas.

Cualquiera de estas dos razones puede ocasionar que buena parte de la producción caiga fuera de especificación. Las técnicas de Control Estadístico de Procesos deben detectar a tiempo la presencia de estas causas asignables, a fin de tomar las medidas correctivas requeridas.

Por otro lado. cuando la prueba de ajuste es rechazada, existen entonces algunas observaciones muestrales que fueron tomadas bajo condiciones atípicas de operación.

Las pruebas de ajuste no proporcionan información acerca de cuales de las observaciones muestrales son las atípicas, y por lo tanto no permiten iniciar la investigación que permita identificar la causa asignable que actuó sobre el proceso. Por las razones antes expuestas, se hace necesario entonces desarrollar una metodología que alcance los siguientes objetivos:

- 1") Identificar en la muestra inicial del proceso las observaciones atípicas, a fin de excluirlas de la muestra una vez encontradas las causas asignables, y no tomar-

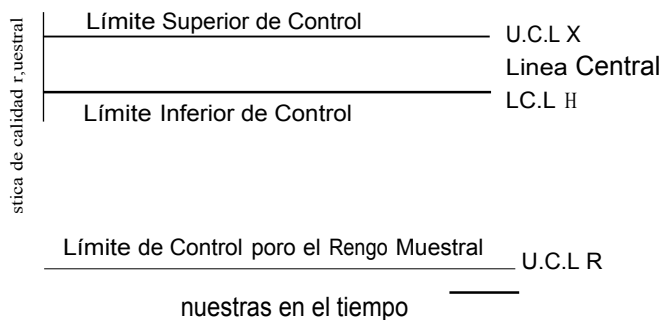
las en consideración para estimar los parámetros del proceso

2C) Detectar a tiempo anomalías en el proceso, tanto corrimientos de la media, como incrementos en la desviación por encima de sus límites naturales, para impedir la producción de piezas fuera de especificación.

Las Gráficas de Control por variables vienen a ser la herramienta que permite alcanzar estos objetivos.

Las gráficas de control por variables se aplican exclusivamente cuando la característica de calidad puede ser expresada mediante una variable cuantitativa continua.

Un diagrama de control por variables es esencialmente una prueba de la hipótesis para verificar que el proceso está bajo control estadístico.



GRÁFICA DE CONTROL PARA UN PROCESO BAJO CONTROL ESTADÍSTICO

La gráfica está formada por dos zonas; la de arriba se refiere a los límites de control para la media, la cual tiene dos bandas, una superior y otra inferior, debido a que la prueba de hipótesis para la media es bilateral, y por lo tanto se rechaza cuando la muestra cae por debajo del límite inferior L.C.L (Abreviatura del inglés Lower Control Limit), o por arriba del límite superior U.C.L (Upper Control Limit). La línea central representa el punto en donde se estima que está ubicada la media del proceso.

La zona de abajo representa el límite de control para la desviación del proceso, (generalmente se muestra en forma separada a la primera), y sirve para detectar el momento en que la variación del proceso se ha modificado de manera significativa.

Cuando se toma una muestra del proceso, se calcula su media y su desviación (generalmente se toma el rango muestral como medida de dispersión), y cuando ambos valores caen dentro de sus respectivos límites de control, lo que estamos haciendo es aceptar la hipótesis de que el proceso está bajo control estadístico.

Cuando una muestra arroja un valor de la media muestral que se sale de sus límites de control, la gráfica nos advierte sobre la presencia de alguna causa asignable que ha provocado un corrimiento de la media.

Cuando la muestra arroja una desviación fuera de su límite de control, la gráfica detecta una causa asignable que ha modificado la desviación del proceso. Una modificación por encima del límite superior debe ser motivo de preocupación, pues hace al producto más heterogéneo y debe ser erradicada; mientras que una modificación por debajo del límite inferior (en caso de que exista) es beneficiosa para el proceso, pues lo hace más homogéneo, y de allí que sea importante detectar la causa asignable, para convertirla en un factor permanente dentro del proceso.

Como toda prueba de hipótesis, la gráfica de control está sujeta a dos posibles errores:

Error tipo I : Rechazar una hipótesis verdadera, que en este caso significa concluir que el proceso está fuera de control cuando en realidad no lo está.

Error tipo II : Aceptar una hipótesis falsa, que en este caso significa concluir que el proceso está bajo control cuando en realidad no es así.

Generalmente las gráficas de control se diseñan para una probabilidad de error tipo I muy baja, de apenas 0.27%, pues son del tipo $\pm 3\sigma$, y por tanto la probabilidad de que la muestra caiga entre los límites cuando en realidad el proceso está bajo control es de 99.73%. (En la práctica es frecuente decir que estas probabilidades son de 99% para la aceptación de un proceso bajo control, y de 1% para el rechazo de un proceso bajo control).

La razón por la cual las gráficas se diseñan para una probabilidad tan baja de error tipo I, es porque se considera que este error es muy grave para la producción, pues ocasionaría la paralización del proceso sin que exista un motivo real para ello; y por este argumento se quiere tener la casi absoluta certeza de que cuando la muestra se salga de alguno de los límites de control es debido a que existe una evidencia muy significativa de que una causa asignable lo está perturbando.

Como la probabilidad de error tipo I es muy baja, la del tipo II puede resultar relativamente alta, especialmente cuando la muestra es pequeña, y por ello ocasionalmente puede ser útil representar la curva de operación. Para saber la probabilidad que tiene el diagrama de control de detectar cambios en el proceso. Para una mayor información acerca del procedimiento para construir esta curva OC para los diagramas de control por variables. el lector puede consultar el Cap.21 del texto «Control de Calidad y Estadística Industrial», del autor Acheson J. Duncan.

Existen dos tipos de Gráficas de Control por variables, que se conocen como $\{ \bar{x}, R \}$ y (\bar{x}, S) según se utilice el rango muestral «R» o la desviación típica muestral «S» respectivamente, como medida de la dispersión del proceso.

En la práctica las gráficas $\{ \bar{x}, R \}$ son mucho más utilizadas, por la sencillez en el cálculo de «R» en comparación con el de «S», y porque al tomar tamaños de muestra pequeños, la eficiencia de ambos estimadores es prácticamente la misma.

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO

Una vez que el proceso se encuentra bajo control estadístico, es posible obtener una estimación de sus parámetros, y a partir de allí hacer el análisis de las especificaciones, y el cálculo de los índices de capacidad.

El análisis de las especificaciones se hace de la siguiente manera:

Estimados los parámetros «p» y «u», se calcula:

L.N.I = Límite natural inferior estimado del proceso =

$$\bar{x} - 3s$$

L.N.S = Límite natural superior estimado del proceso =

$$\bar{x} + 3s$$

L_1 = Límite inferior de especificación (Fijado externamente por las normas)

L_2 = Límite superior de especificación (Fijado externamente por las normas)

y pueden presentarse las siguientes situaciones :

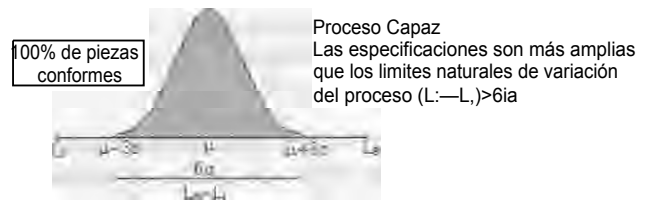
Situación N° 1 : El intervalo de variación natural del proceso está incluido en el intervalo definido por las es-

pecificaciones , es decir :

$$[L.N.I;L.N.S] \subset [L_1 : L_2]$$

Esta situación es obviamente la ideal , y es la que identifica a un Proceso Capaz. pues aquí el proceso puede cómodamente cumplir con las especificaciones , y no habrá prácticamente piezas defectuosas.

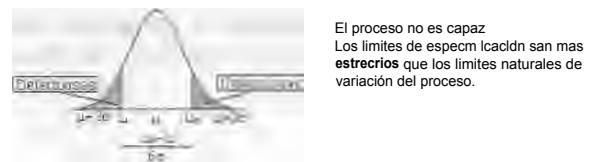
En esta situación no necesariamente el proceso está centrado.



De darse este caso , la única recomendación que se podría hacer es la de tratar de centrar el proceso, a fin de minimizar el riesgo de que por algún desajuste tanto en la media como en la desviación, se produzcan defectuosas.

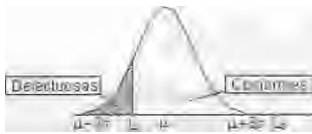
Situación N° 2 : Las especificaciones están incluidas dentro del intervalo de variación natural del proceso , es decir: $[L_1 ; L_2] \subset [L.N.I ; L.N.S]$

Este es el caso de un proceso no capaz , en donde las especificaciones resultan demasiado estrictas para su precisión , y por más esfuerzos de control que se hagan , el proceso va a producir un porcentaje apreciable de piezas defectuosas .



De encontrarse este caso , centrarlo no basta y las recomendaciones deben ser radicales , tales como cambiar las maquinarias por otras más precisas , entrenar mejor al personal , o negociar un cambio en las especificaciones por otras más amplias. pues al proceso le resulta imposible cumplir a cabalidad con las actuales.

Situación N° 3 : Ninguno de los dos intervalos está incluido dentro del otro.



El proceso esta descentrado. Las piezas conformes son las que se encuentran en la Intersección del intervalo natural del proceso con el intervalo de especificación

Las piezas conformes son las que se encuentran en la intersección de ambos intervalos.

Un corrimiento significativo en la media del proceso en una u otra dirección es la causa de esta situación N°3. y el proceso puede ser mejorado de efectuarse los ajustes necesarios para centrarlo.

Una vez centrado, el proceso pasará a producir con aproximadamente el 100% de piezas correctas, en caso de que $6\sigma \leq L_s - L_i$ (Situación N° 1, Proceso Capaz). o pasará a producir con un porcentaje menor que el actual de piezas defectuosas (Situación N° 2, Proceso no Capaz) , en caso de que $6\sigma > L_s - L_i$.

Para estimar los coeficientes de capacidad hay que distinguir dos casos, y la metodología es la siguiente :

Caso N° 1 : Proceso Centrado.

Este caso ya fue definido anteriormente, y viene dado por:

C_p	$\frac{L_s - L_i}{6\sigma}$	$\frac{\text{Tolerancia}}{6cs}$
-------	-----------------------------	---------------------------------

Para este caso. de proceso centrado, este coeficiente se suele llamar «Coeficiente de capacidad básica o potencial del proceso», pues la condición de proceso

centrado representa su estado óptimo de operación, en lo que a porcentaje de piezas conformes se refiere.

Por las consideraciones anteriores. « C_p » -Coeficiente de capacidad básica del proceso» representa también la capacidad potencial o máxima del proceso, y si $C_p < 1$, no es posible garantizar que la totalidad de las piezas producidas satisfacen la especificación.

El coeficiente « C_p » tiene también otra interpretación muy importante. pues su inverso $\frac{1}{C_p} \cdot 100\%$ representa el porcentaje de la banda de tolerancia que abarca los límites naturales de variación del proceso, cuando éste está centrado.

Así por ejemplo $C_p = 1.40$, se interpreta en primer lugar como una medida de que el proceso es capaz en caso de que esté centrado, y en segundo lugar, calculan-

do su inverso expresado en porcentaje $\frac{1}{1.40} \cdot 100\% = 71,43\%$, puede ser interpretado como que los límites naturales de variación del proceso $[\mu - 3\sigma ; \mu + 3\sigma]$ representan el 71.43 % de los límites de especificación.

Evidentemente cuando $C_p < 1$, su inverso expresado en porcentaje es mayor que el 100% , y esto se interpreta como que los límites naturales de variación del proceso son más amplios que los límites de especificación , y en consecuencia el proceso no puede cumplirlas a cabalidad.

A partir del valor estimado de « C_p », y con la ayuda de las tablas normales, se puede estimar el número esperado de piezas defectuosas que producirá el proceso, según la siguiente tabla:

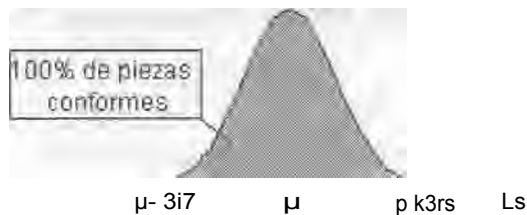
NUMERO ESPERADO DE PIEZAS DEFECTUOSAS POR CADA MILLON DE PIEZAS PRODUCIDAS

Valor de Cp	ESPECIFICACIONES UNILATERALES	ESPECIFICACIONES BILATERALES
0.50	66.800,00	133.600,00
0.75	12.200,00	24.400,00
1,00	1.350,00	2.700,00
1,10	483,00	966,00
1,20	159,00	318,00
1,30	48,00	96,00
1,40	13,00	26,00
1,50	3,40	6,80
1.60	0,80	1.60
1,70	0,17	0,34
1.80	0.03	0,06
2.00	0,0009	0,0018

Caso N° 2 : Proceso no centrado .

Quando el proceso no está centrado . el porcentaje de piezas conformes no es máximo , pero esto no implica que el proceso no sea capaz , pues puede suceder que las especificaciones le resulten tan amplias que a pesar del corrimiento de la media , la casi totalidad de las piezas caigan dentro de la especificación .

Tal situación se muestra en la siguiente figura :



PROCESO CAPAZ ; A PESAR DE NO ESTAR CENTRADO

Quando el coeficiente de capacidad se calcula para un proceso no centrado se designa por «C_{PK}» , y recibe el nombre de «Coeficiente de Capacidad Real», pues refle-

ja las condiciones reales de operación; mientras que el anterior «C_P» es para la condición ideal de proceso centrado.

Para estimar «C_{PK}», es necesario identificar primero si la media del proceso está corrida hacia la izquierda o hacia la derecha , y para ello es hay que calcular las diferencias «p - L_in , y «L_S - p».

La menor de tales diferencias indica respectivamente la dirección del corrimiento de la media del proceso, pues evidentemente cuando se produce un corrimiento hacia la derecha entonces la media del proceso está más cerca del límite superior de especificación que del límite inferior; y viceversa.

Si la menor de las diferencias es «P - L», la media está corrida hacia la izquierda, y de resultar «L_S - p» la menor, entonces el corrimiento es a la derecha.

Para que el proceso sea capaz en este caso no centrado, la distancia de la media del proceso a su límite más cercano de especificación debe ser mayor que 3σ, pues de no ser así , habrá un cierto porcentaje de piezas fuera de especificación.

El coeficiente de capacidad real del proceso, se define por la siguiente expresión:

$$C_{PK} = \text{mínimo entre } \frac{U - Ls}{6\sigma} \text{ y } \frac{Li - Ls}{3\sigma}$$

La interpretación que tiene este coeficiente es similar al del caso centrado, ya que cuando $C_{PK} = 1$, esto significa que la media del proceso se encuentra a menos de tres desviaciones típicas del límite de especificación más cercano, y por tanto el proceso no es capaz.

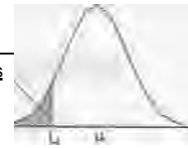
Como $C_{PK} < 1$, con uno de $C_{PK} > 1$, indica que el proceso no es capaz bajo las condiciones actuales de operación porque la media está muy corrida, pero que de tomarse las medidas correctivas necesarias para centrarlo, el proceso llegará a ser capaz.

Esta es la gran diferencia entre estos dos coeficientes, « C_p » representa el valor máximo de la capacidad del proceso y no puede ser mejorado a menos que se apliquen medidas radicales o se cambien las especificaciones; mientras que « C_{PK} » es una medida de la capacidad actual, susceptible de mejoras con simples ajustes a las maquinarias que centren el proceso.

Algunos textos y programas de computación hacen la distinción entre un C_{PK} para el límite inferior, y otro C_{PK} para el límite superior, los definen como C_{PKI} y C_{PKS} respectivamente, y luego definen el "Coeficiente de Capacidad Real" C_{PK} para el proceso como el menor valor entre los dos, lo cual es obviamente equivalente a lo anterior.

En el caso de especificaciones unilaterales, no es aplicable el concepto de Proceso Centrado, y resulta obvio que a medida que la media del proceso se aleje en sentido contrario del límite único de especificación, el proceso es más capaz. pues el porcentaje de defectuosas disminuye. tal como se muestra en la figura siguiente para la situación de una sola especificación inferior:

P= Porcentaje de defectuosas



A medida que "p" se aleje de L_i , C_{PK} aumenta

La capacidad potencial « C_p » no existe en estos casos, debido a que no hay un valor máximo para la capacidad del proceso. Cuanto más se aleje la media del proceso del límite único de especificación, mayor será su capacidad.

Para calcularla Capacidad real « C_{PK} », sólo interesa la distancia de la media al único límite de especificación existente, la cual debe ser mayor que « 3σ ». para que el proceso sea considerado capaz.

$$C_{PK} = \frac{U - \mu}{3\sigma} \quad (\text{Sólo la especificación superior})$$

$$C_{PK} = \frac{\mu - L}{3\sigma} \quad (\text{Sólo la especificación inferior})$$

La estimación de la capacidad del proceso se hace al igual que antes, a partir de los parámetros estimados del proceso bajo control.

Con relación al valor mínimo que pueden tomar estos coeficientes para los fines de aprobación de una auditoría de calidad, es conveniente aclarar que la Norma ISO - 9000 es muy general y no los establece; solamente consagra la conveniencia de que el proceso de producción sea capaz. (Véase en la «Introducción», el texto exacto de la norma).

Sin embargo, algunos autores, tales como Douglas C. Montgomery en su texto «Control Estadístico de Calidad» del Grupo Editorial Iberoamericana, Pág. 242. re-

comienda algunos valores mínimos para el coeficiente «CPK», en función del tipo de proceso, y de la incidencia que tenga la característica de calidad en la seguridad del usuario o en la calidad del producto terminado.

Los valores mínimos para «CPK», recomendados por el Dr. Douglas Montgomery son:

	Especif. Unilaterales	Especif, Bilaterales
Procesos existentes	1.33	1.25
Procesos nuevos	1.50	1.45
Parámetro de seguridad, de resistencia, o crítico del proceso existente.	1.50	1.45
Parámetro de seguridad, de resistencia, o crítico del proceso nuevo	1.67	1.60

Se entiende por característica de seguridad aquella cuya falta de cumplimiento pueda ocasionar daños físicos al usuario tales como por ejemplo, la resistencia de un material.

Se entiende por parámetro crítico aquel cuya falta de cumplimiento ocasiona que el producto terminado sea declarado como inservible.

El valor $C_p = 1.33$ corresponde a un proceso centrado con límites de especificación de $\pm 4\sigma$, mientras que el de $C_p = 1.67$ para $\pm 5\sigma$.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1º) Para realizar un estudio de capacidad es requisito indispensable elaborar como paso previo un gráfico de control, con el objeto de verificar la estabilidad del proceso.

En general, es preferible utilizar un gráfico (\bar{X} , R) a menos que por razones técnicas sea necesario mantener un control más estricto sobre la variabilidad del proceso, en cuyo caso debe utilizarse uno (5, S).

La formación de subgrupos debe hacerse de manera que cada uno de ellos sea lo más homogéneo posible, y que exista una gran probabilidad de variación de un subgrupo a otro, para lo cual es recomendable tomar las muestras de cada subgrupo a partir de la producción de un período breve de tiempo, o de un mismo lote.

2º) Existen dos metodologías importantes para evaluar la capacidad de un proceso de producción, que son:

a) A partir del gráfico de control.

b) A partir del histograma (Esta metodología no se explica en este resumen).

Ambas metodologías tienen ciertas limitaciones en su fundamentación teórica, y por ser complementarias, lo recomendable es utilizar ambas, a fin de obtener una mejor estimación de la capacidad del proceso.

Una evaluación hecha por una sola de las metodologías, tiene el inconveniente de estar basada en unos supuestos, de los cuales no se tiene una razonable certeza, de que el proceso o la muestra los cumple.

3º) No existen en las Normas ISO-9000 señalamientos acerca de la metodología a seguir para evaluarla capacidad del proceso, ni tampoco acerca de los valores mínimos exigidos para los indicadores de su capacidad.

Lo recomendable es que el organismo competente señale pautas sobre el particular, ya que actualmente la certificación de la capacidad del proceso, a los fines de dar cumplimiento a lo previsto en la Norma ISO-9000, queda a criterio del auditor.

4º) Los indicadores de capacidad deberían ser estimados por intervalos, y la certificación de capacidad mediante pruebas de hipótesis.

Esta recomendación permitiría que el auditor tome una decisión más racional con relación a la certificación de capacidad.

Como este problema se encuentra en fase de desarrollo, una recomendación para las Universidades e Institutos de Investigación, es que inicien un análisis más a fondo del problema, a fin de desarrollar una nueva metodología que permita establecer de una manera más pre-

cisa que la actual, los requisitos que debe reunir un proceso de producción, para que le sea concedida la certificación de capacidad.

5°) La condición óptima de operación de un proceso es cuando está centrado, pues en éste punto su capacidad de calidad es máxima.

En conclusión, los responsables de la calidad del proceso deben canalizar su esfuerzos para tratar de lograr un proceso centrado; con la única excepción de la situación en que el costo de corregir una pieza defectuosa es diferente para cada extremo.

6²) Es recomendable la realización de experimentos con el proceso, a fin de poder detectar los factores que lo afectan de manera significativa, y reducir así su variabilidad.

La cláusula de la Norma 15O-9000 (ver Introducción) así lo sugiere, y por lo tanto un estudio de capacidad solamente. no es suficiente para dar cumplimiento a lo establecido en ella .

7⁹) La revisión de las especificaciones del proceso es también otra recomendación muy importante, pues el estudio de capacidad supone que son conocidas.

Un error en la fijación de las especificaciones ocasiona consecuencias gravísimas en la evaluación de la capacidad del proceso, y por ello es muy importante que estén perfectamente definidas.

8⁹) Otra recomendación importante para las empresas de producción, es la que se refiere a la formación de su personal en Métodos Estadísticos.

A lo largo de toda la obra hemos visto como la evaluación de capacidad exige el manejo de numerosas destrezas en técnicas estadísticas, para cuya realización se requiere un entrenamiento adecuado del personal.

Esta recomendación es extensible también a las Facultades de Ingeniería, ya que en los planes de estudio de las diversas especialidades de Ingeniería, es frecuente encontrar que la enseñanza de la Estadística no existe, o está minimizada.

Si se toma en consideración que el Ingeniero es por lo general, el profesional llamado a gerenciar los procesos de producción , resulta obvio que para poder establecer metas de calidad en la producción industrial, debe fortalecerse su formación en esta disciplina.

COMENTARIO FINAL

Un estudio de capacidad no puede ser visto como un hecho aislado con el propósito de aprobar una auditoria, y lograr una certificación de calidad: debe formar parte de un programa continuo de mejoramiento de la calidad, en donde el liderazgo gerencial es de vital importancia.

Las técnicas de control y mejoramiento de procesos no son métodos que se aplican una vez, sólo cuando el proceso está en problemas, sino que deben tener un carácter permanente, para lo cual se requiere el apoyo decidido de la gerencia.

La participación y el compromiso de la gerencia constituyen el paso más importante en todo el proceso de mejoramiento. La gerencia desempeña un papel modelo, y el resto de la organización la considerará como guía y ejemplo.

El trabajo en equipo es también muy importante. pues la identificación de los factores que afectan el comportamiento del proceso requiere del concurso de todo el personal involucrado.

Una de las tareas clave en la aplicación de los diagramas de control estadístico. es la determinación de las variables apropiadas sobre las cuales se debe aplicar el control, así como también los puntos del proceso de producción, en los que debe establecerse el control: y para ello se requiere de un adecuado trabajo en equipo .

Un programa de Control Estadístico de Procesos debe reunir los siguientes requisitos para que pueda tener éxito:

1. Liderazgo gerencial.
2. Trabajo en equipo.
3. Educación del personal a todos los niveles.
4. Énfasis en el mejoramiento continuo.

Todos los miembros de la gerencia y del equipo, deben recibir capacitación relativa a las herramientas apropiadas para el mejoramiento del proceso.

Un diagrama de flujo del proceso para mejorar su entendimiento acerca de la forma como opera, es un buen método para analizarlo, y para establecer los puntos donde podrían aplicarse con provecho los controles.

También es importante desarrollar criterios de medición relativos a las variables claves. para lo cual se debe contar con equipos de laboratorio adecuadamente calibrados.

En este sentido es muy importante también contar con normas y procedimientos escritos acerca de la forma como deben hacerse estos ensayos y mediciones. ya que si no existe uniformidad, ésta variabilidad se reflejará injustamente como una variabilidad del proceso, y en consecuencia en una inadecuada evaluación de su capacidad.

Por último, es importante recordar que el contenido de esta obra sólo considera los aspectos relativos al estudio de capacidad, pero que esto es sólo uno de los muchos aspectos que evalúa la Norma ISO-9000, y que por lo tanto su cumplimiento no garantiza la obtención de la correspondiente certificación de calidad.

La evaluación del sistema de calidad hecho por la norma ISO-9000 es muchísimo más amplia, y obedece a un concepto más global como es el de CALIDAD TOTAL.

Manuel Vicente Méndez

Tuberías a Presión

Tuberías a Presión

en
los
sistemas
de
abastecimiento
de

Méndez Vicente
Méndez

- Conceptos Hidráulicos del flujo a presión
- Válvulas en los sistemas de abastecimiento de agua
- Hidromecánica general de las bombas centrifugas
- Dispositivos de medición en tuberías a presión
- Cálculo hidráulico del régimen permanente en tuberías
- Consideraciones sobre el golpe de ariete en el diseño de tuberías
- Clases de comportamiento estructural, protección y selección de tuberías en los sistemas de abastecimiento de agua
- Obras, dispositivos complementarios en el proyecto de tuberías
- El factor económico en el diseño de aducciones
- Organización del proyecto integral de aducciones