

# Capacidad de proceso

Oscar Alberto Mejía Echeverri

M.Eng. Profesor Titular

Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística  
Universidad del Valle. Cali-Colombia.

## RESUMEN

En la manufactura de productos el reto es cumplir las especificaciones, puesto que, solamente podrán salir al mercado y ser vendidos aquellos productos, para los que todas sus variables cumplan las respectivas especificaciones. De allí la importancia de buscar permanentemente mejoras en el desempeño de los procesos, hoy en día, se enfocan los esfuerzos en el control de los procesos y la reducción de la variación, lo que conlleva a una mayor confianza en los procesos. El análisis de la capacidad de proceso es una de las más útiles herramientas, puesto que, considera el centramiento y la dispersión, relacionándolos con la capacidad para cumplir las especificaciones.

No obstante, su aplicación en el medio manufacturero es menor de lo esperado. El presente artículo busca promocionar más su utilización y correcta aplicación, discutiendo los conceptos fundamentales.

**Palabras clave:** Figuras de Control, Control de Procesos, Límites de Especificación, Límites de Control, Variación de Proceso, Capacidad de Proceso, Proveedores, Compradores.

## 1. INTRODUCCIÓN

La capacidad del proceso para una variable está dada por los valores entre los que fluctúa su variación natural, esto es, sin la presencia de causas asignables de variación. Tanto, la mano de obra, como las máquinas, los métodos, los materiales y el medio ambiente presentan cada una su propia varia-

ción de tipo natural y es la interacción de todas estas variaciones, la que determina la capacidad del proceso. Así pues, la capacidad del proceso sólo se puede determinar, si se está bajo control, esto es, sin el efecto de causas asignables de variación.

Cuando se conoce la capacidad de proceso se puede determinar el nivel de cumplimiento de la especificación, esta cuantificación le permite a la dirección tomar decisiones, como por ejemplo, aceptar que el 8% de las unidades producidas están fuera de las especificaciones, con todas las consecuencias comerciales y de costos, que esto pueda traer o invertir en tecnologías y mejoras de proceso, que reduzcan las variaciones, generando un producto más homogéneo y vendible.

Un estudio de capacidad de proceso da una evidencia estadística de la calidad. Así pues, cuando no se tiene claro a que dedicar los recursos en el proceso de mejoramiento, esta evidencia define la prioridad; cuando se va a evaluar proveedores facilita la definición (Schneider et al., 1996; Bossert, 1998); cuando se hacen comparaciones con respecto a la competencia se aclaran estrategias, se aprovechan ventajas. Y la realidad es que cada vez más compradores utilizan la capacidad del proceso del proveedor como criterio de compra (Pyllpow, 2003).

## 2. DESARROLLO

### Límites de especificación y control

Es necesario enfatizar que los límites de especificación y de control son diferentes. La tabla 1, muestra las diferencias teniendo en cuenta los siguientes criterios: Fuente, Propósito, Objeto, y Origen.



**Tabla 1. Diferencias entre límites de especificación y de control**

	Límites de Especificación	Límites de Control
Fuente	Las necesidades funcionales impuestas por el servicio que debe prestar el producto.	La historia reciente y representativa del proceso.
Propósito	Dar respuesta a las necesidades contractuales la negociación entre Clientes y Proveedores.	Facilitar el control de los procesos
Objeto	Aplican sobre valores individuales. Cada unidad debe cumplir completamente la especificación.	Aplican sobre promedios.
Origen	Una industria, un sector que los agrupa o un organismo de normalización nacional (como ICONTEC) o Internacional (como ISO).	El personal de los diferentes procesos.

### Tolerancia y capacidad del proceso

La capacidad del proceso está dada por  $6\sigma$ , donde,  $\sigma$  es la desviación estándar del proceso, cuando se encuentra bajo control estadístico. Así, bajo el supuesto de normalidad se estarían considerando el 99.73% de las observaciones. Se podría trabajar con otro valor de desviaciones, como por ejemplo  $8\sigma$ , pero la práctica ha mostrado, que el uso más universal es  $6\sigma$  (Kenett y Zacks, 2000; Evans y Lindsay, 2000; Juran y Gryna, 1995).

La tolerancia está asociada a las especificaciones y viene dada por:

$$\text{Tolerancia} = \text{LES} - \text{LEI}$$

Donde,

**LES** : Límite de Especificación Superior

**LEI** : Límite de Especificación Inferior

Al estudiar la relación de la capacidad del proceso y la tolerancia dada por límites de especificación simétricos, se pueden presentar tres casos genéricos:

- **Caso I** :  $6\sigma < \text{LES} - \text{LEI}$
- **Caso II** :  $6\sigma = \text{LES} - \text{LEI}$
- **Caso III** :  $6\sigma > \text{LES} - \text{LEI}$

### CASO I. Situación ideal

La tolerancia dada por la especificación es mayor que la capacidad del proceso, bajo el supuesto de normalidad de la variable (Heuvel y Lon, 2003), se puede esperar, que no saldrá producción por fuera de las especificaciones, mientras el proceso se mantenga dentro de control, evitando los reprocesos, desperdicios y sobrecostos. Toda la producción se puede vender. Ver figura 1(a), Situación Ideal.

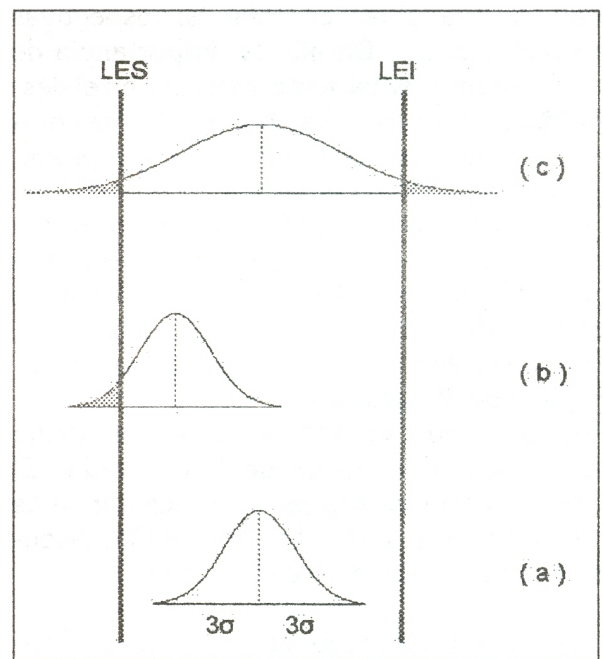


Figura 1. Caso I.

No obstante, se puede presentar que el centramiento del proceso se desplace con respecto al valor central esperado por especificación, ver figura 1(b); O que la dispersión del proceso se incremente significativamente, ver figura 1(c), o inclusive, que se presente una mezcla de estas dos situaciones. Si así fuere, se podría presentar producción por fuera de especificación; sin embargo, las figuras de control potencialmente podrían estar detectando estos fuera de control oportunamente, facilitando la toma de



acciones correctivas pertinentes, que lleven el proceso a control y eviten la generación de producción fuera de especificaciones.

### CASO II. Situación indeseable pero poco probable

La Capacidad del proceso y la tolerancia de la especificación son iguales, ver figura 2. Bajo la hipótesis de normalidad, el 0.27% de las unidades producidas estará por fuera de los límites de especificación y cualquier variación del proceso conlleva a producción adicional fuera de especificación. La confianza, que inspira el que la capacidad del proceso no sea mayor que la tolerancia, puede inducir a descuidar un poco el control, facilitando, que producción fuera de especificación llegue a manos de los Clientes.

Por lo tanto, en este caso, se exige un control riguroso del proceso y prácticamente inspección 100% al producto, lo que sería imposible en los casos de pruebas destructivas.

Resulta prioritario y estratégico para cualquier organización el tratar de llevar el proceso a lo que era el CASO I, esto es, donde la tolerancia es mayor que la capacidad del proceso; posiblemente si después de realizar los mejoramientos que estén al alcance del grupo que maneja el proceso, no se ha llegado a una situación conveniente, la dirección debe tomar cartas en el asunto y pensar quizás en inversiones en nuevas tecnologías, equipos o métodos, entre otros.

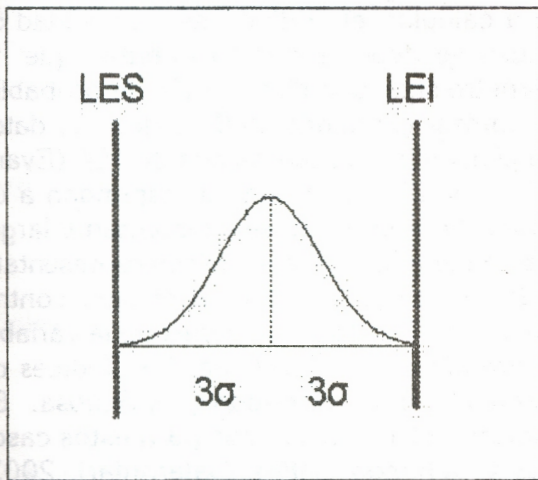


Figura 2. Caso II

### CASO III. Situación indeseable

La tolerancia es menor que la capacidad del proceso, por lo tanto, siempre habrá producción por fuera de especificación. Como seguramente no es fácil distinguir a simple vista, cuales productos están dentro y cuales fuera de especificación y para evitar que productos fuera de especificación lleguen a los Clientes, es necesario imponer la inspección 100%, para separar lo que es vendible de lo que se debe reprocesar, mandar a segundas o a desperdicio. Ver figura 3 (a).

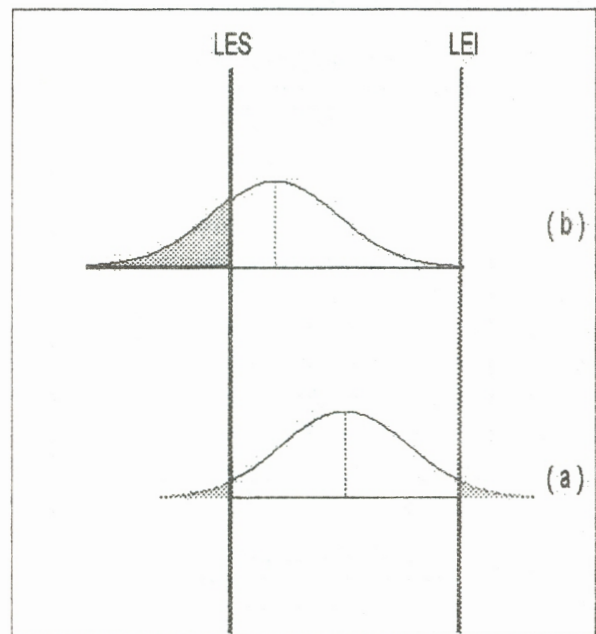


Figura 3. Caso III

Dependiendo del producto y del mercado se puede optar por ajustar el centramiento, de tal manera, que los productos salgan por fuera de un solo límite de especificación, bien sea el superior o el inferior, por ejemplo, si la variable es una longitud y al cliente no le afecta que los productos sean un poco más largos, pero sí que sean más cortos, se puede ajustar el proceso para que todas las unidades sean vendibles. Ver figura 3 (b) Obviamente, la organización tendrá que revisar sus sobrecostos por materiales. En cualquier organización un producto en estas circunstancias requiere con prioridad reducción de la variación, y seguramente serán necesarias inversiones,



pues no se tienen muchas alternativas, bastaría con preguntarse: ¿Qué pasaría si las pruebas fueran destructivas?

**Índice de capacidad de proceso**

Este índice permite medir la relación entre la tolerancia, dada por la especificación y la variación natural del proceso, expresada por la capacidad del proceso.

El índice de capacidad de proceso,  $C_p$ , corresponde a las veces que el proceso cabe entre los límites de especificación. Esto es:

$$C_p = \frac{\text{ESPECIFICACIÓN}}{\text{PROCESO}}$$

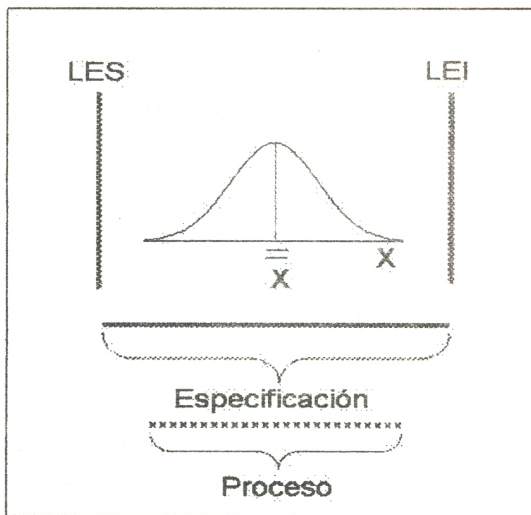


Figura 4. Relación geométrica Especificación - Proceso

En la figura 4., se ilustra geoméricamente el cálculo del  $C_p$ , que corresponde a las veces que cabe el trazo punteado (Proceso) en el trazo pleno (Especificación).

En la figura 5., se pueden observar tres valores de  $C_p$ . Cuando  $C_p = 2.0$ , se puede decir que se está en el Caso I, ya discutido, cuando  $C_p = 0.6$ , se está en el caso III y finalmente, cuando  $C_p = 1.0$ , se está en el caso II.

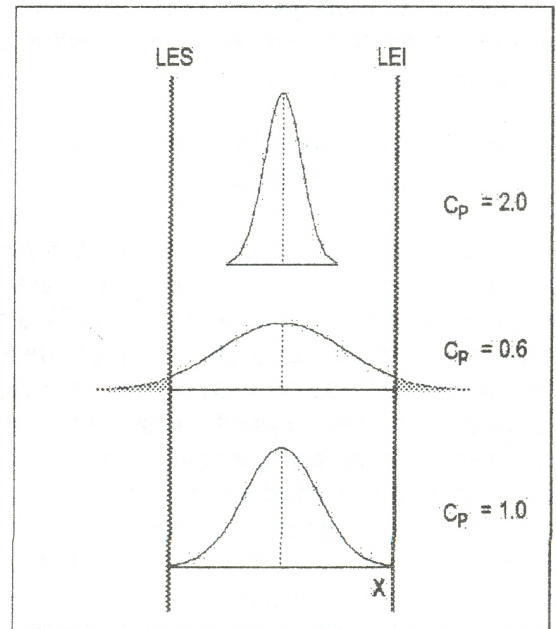


Figura 5. Ejemplos  $C_p$

La tabla 2 muestra como se relacionan los valores de  $C_p$  con la proporción de producción fuera de especificación, bajo el supuesto, que el proceso está centrado y bajo control y que la variable presenta distribución normal.

Tabla 2. $C_p$ y proporción de producción fuera de especificación							
$C_p$	0.5	0.8	1.0	1.33	1.5	1.63	2.0
Fuera de Especificación	13.36%	1.64%	0.27%	66ppm	7ppm	1ppm	0.002ppm

Para calcular el índice de capacidad de proceso se debe tener en cuenta que el parámetro siga una distribución de probabilidad normal (Chandra, 2001), que los datos para el estudio no sean menos de 100 (Evans y Lindsay, 2000) y que correspondan a un periodo de tiempo lo suficientemente largo, de tal manera, que se consideren representativos del proceso y que este esté bajo control estadístico. Para distribuciones de la variable no normales, la validez de los índices de capacidad, aquí discutidos, es dudosa. Se exploran índices adecuados para estos casos (Kotz y Johnson, 1994; Balamulari, 2003; Heuvel y Lon, 2003).



Bajo estas condiciones, un buen momento para estudiar la capacidad de proceso y calcular su índice,  $C_p$ , es cuando se diseñan o rediseñan los gráficos de control, puesto que, en este proceso se cumplen las anteriores condiciones y de manera específica, se eliminan de los datos, todos aquellos, que hayan presentado causas asignables de variación e inclusive aquellos, que sin la evidencia física, presenten duda estadística.

Cuando así se haga,

$$\text{Capacidad del Proceso} = 6S_x$$

Donde,

$S_x$  se usa como la estimación de  $s$ , desviación estándar de los valores individuales.

El índice de capacidad de proceso,  $C_p$ , se calcula como:

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6S_x}$$

A su vez, se conoce que:

$$6S_{\bar{x}} = LCS - LCI$$

Donde,

LCS: Límite de Control Superior

LCI: Límite de Control Inferior.

$S_{\bar{x}}$  : Desviación Estándar de Promedios.

Por el teorema del límite central.

$$S_x = S_{\bar{x}} \sqrt{n}$$

Luego,

$$6S_x = (LCS - LCI) \sqrt{n}$$

Finalmente,

$$C_p = \frac{LES - LEI}{(LCS - LCI) \sqrt{n}}$$

La práctica ha definido un índice de capacidad de proceso,  $C_p$ , de 1.33 como un valor

mínimo para cualquier variable, cubriendo así, las posibles fluctuaciones del centramiento y de la dispersión del proceso, que bajo estas condiciones generaría menos de una unidad defectuosa por cada 10.000 producidas. Evans es un poco más crítico y sugiere el valor de 1.50, así mismo, afirma que algunas empresas piden a sus proveedores valores de  $C_p$  iguales o mayores a 2.0 (Bossert, 1998).

A mayores valores de  $C_p$ , menor variación, o dicho de otra manera, para incrementar el  $C_p$  es necesario disminuir la desviación estándar del proceso, lo cual se logra reduciendo la variación, este empeño debe ser permanente y sus resultados se verán reflejados en el  $C_p$  y en la calidad del producto, que es donde realmente importa.

### Cálculo del $C_{pk}$

En los casos en que el proceso no esté centrado en el promedio de los límites de especificación o que sólo se cuente con un límite de especificación, como cuando se dice, pureza mínima 98.3% o máxima humedad 0.4%, se deben utilizar los índices unilaterales, que se constituyen en una más realista medición del desempeño del proceso y que vienen dados por.

$$C_{ps} = \frac{LES - \bar{X}}{3S_x} = \frac{2(LES - \bar{X})}{(LCS - LCI)\sqrt{n}}$$

$$C_{pi} = \frac{\bar{X} - LEI}{3S_x} = \frac{2(\bar{X} - LEI)}{(LCS - LCI)\sqrt{n}}$$

Siendo,

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{ps}, C_{pi})$$

Donde  $\bar{X}$  es el promedio, o simplemente la línea central de la figura  $\bar{X}$  y que aquí se utiliza como estimador de la media del proceso,  $m$ .

$C_{ps}$  = Índice de Capacidad de proceso por el límite de especificación superior.

$C_{pi}$  = Índice de Capacidad de proceso por el límite de especificación inferior.



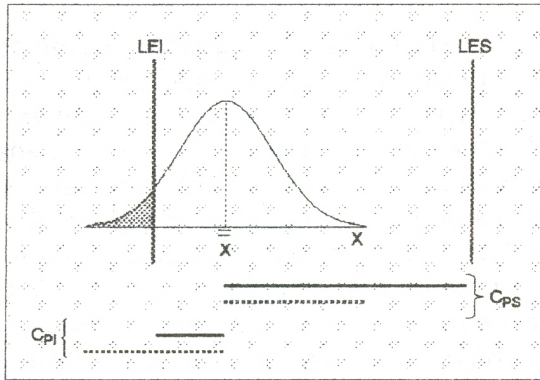


Figura 6. Relación geométrica Especificación - Proceso, para  $C_{pk}$

La figura 6 ilustra geométricamente el cálculo de  $C_{ps}$  y  $C_{pl}$ , siendo:

$$C_{ps} \text{ o } C_{pl} = \frac{\text{Especificación}}{\text{Proceso}}$$

Donde, nuevamente, el trazo pleno corresponde a la especificación y el discontinuo al proceso.

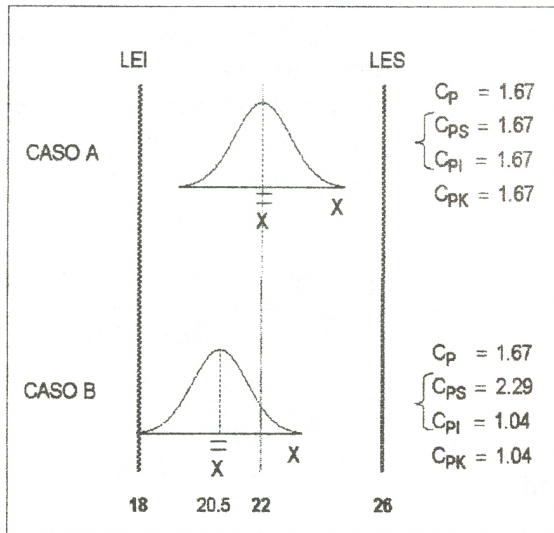


Figura 7. Relación entre  $C_p$  y  $C_{pk}$

En la figura 7 se puede observar que cuando el proceso está centrado, Caso A, las variables  $C_p$ ,  $C_{ps}$ ,  $C_{pl}$  y  $C_{pk}$  son iguales, indicando que la facilidad o dificultad para cumplir el proceso la especificación es la misma por el lado superior e inferior.

Cuando los procesos no están centrados,  $C_p$  con respecto a las especificaciones, se

convierte en la capacidad potencial del proceso y  $C_{pk}$  en la capacidad real.

En Chandra se encuentra la discusión de otros índices para los casos de distribución normal de la variable y en Van den Heuvel y Lon, para los casos de no normalidad.

En la figura 7 también se muestra la situación cuando el proceso ( $S_x = 0.8$ ) no está centrado (Caso B), en el que el índice  $C_{pk}$  refleja la mayor proximidad al límite de especificación inferior, mostrando que el proceso tendrá mayor dificultad para cumplir la especificación por el lado inferior que por el superior. Siempre  $C_{pk}$  será el valor más crítico.

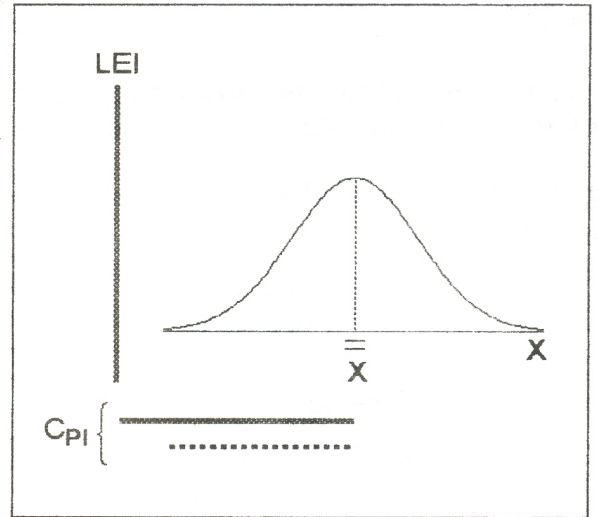


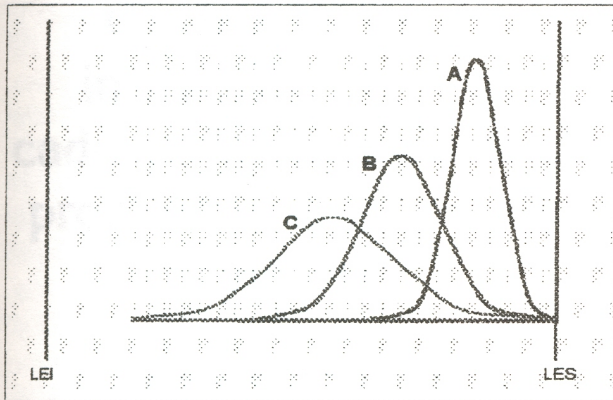
Figura 8. Ejemplo de un solo límite de especificación

En la figura 8 se ilustra la situación cuando sólo se tiene un límite de especificación, en este caso el inferior. Es obvio que sólo se puede calcular:

$$C_{pl} = \frac{\bar{X} - LEI}{3S_x}$$

Y este será igual a  $C_{pk}$ .





La figura 9 muestra como los tres procesos A, B y C, a pesar de tener dispersiones diferentes, presentan el mismo valor de  $C_{PK}$ , para este caso  $C_{PK}$  es igual a 1.0. Ilustrando así como el valor de  $C_{PK}$  involucra el centramiento y la dispersión del proceso. El proceso llamado A que presenta la menor dispersión de los tres, podría tener un  $C_{PK}$  de tres o más, sin embargo, el centramiento desplazado hacia el límite de especificación superior, hace que el  $C_{PK}$  sea apenas de 1.0, indicando que hay serios riesgos de que salga producción por fuera de especificación, que es justamente lo que se percibe al observar la figura. Así que, la tarea es incrementar el  $C_{PK}$ , para lo cual no sólo se debe trabajar en reducir la dispersión, la variación natural, sino que se debe garantizar el centramiento del proceso.

Es bueno resumir que el valor de  $C_{PK}$  es igual o menor al de  $C_p$ . Es igual, cuando el proceso está centrado y es menor, en todos los demás casos. Un valor de  $C_{PK}$  menor que 1.0 indicará que el proceso necesariamente está generando producción por fuera de la especificación. Un valor de  $C_{PK}$  igual a cero, indicará que el promedio del proceso,  $\bar{X}$ , es igual a uno de los límites de especificación. Si  $C_{PK}$  resulta ser negativo, es porque el promedio del proceso está afuera de los límites de especificación.

### 3. CONCLUSIÓN

Como se ha observado el concepto de capacidad de proceso,  $C_p$  o  $C_{PK}$ , involucra el centramiento, la dispersión o variación del proceso y los límites de especificación, siendo

una herramienta de muy fácil uso resulta muy útil para evaluar un determinado proceso, bien sea que se trate de productores, que deben controlar sus procesos, o de compradores, que deben garantizar la calidad de lo que compran.

### 4. BIBLIOGRAFÍA

- BALAMULARI, S. (2003), Bootstrap Confidence Limits for Short-run Capability Indices, *Quality Engineering*, Vol. 15, No. 4.
- BESTERFIELD D.H., (1995), «Control de Calidad», Prentice Hall Hispanoamérica, México.
- BOSSERT, James, (1998), Considerations for Global Supplier Quality, *Quality Progress*, Vol. 31, No. 1.
- Chandra, M. J., (2001), «Statistical Quality Control», CRC Press, Boca Raton.
- EVANS, J.R., Lindsay, W.M., (2000), «Administración y control de la calidad», Grupo Editorial Iberoamérica, México.
- HEUVEL (Van Den) E.R. y Lon R.A., (2003), Capability Indices and the Proportion of non Conforming Items, *Quality Engineering*, Vol.15, No.3.
- JURAN, J.M., Gryna, F.M., (1995), «Análisis y Planificación de la Calidad», McGraw Hill, México.
- KENETT, R.S., Zacks, S., (2000), Estadística industrial moderna, Internacional Thomson Editores, México.
- KOTZ, S., Johnson, N.L., (1994), Process Capability Indices, Chapman and Hall, New York.
- MONTGOMERY, D.C, (1991), «Control Estadístico de la Calidad», Grupo Editorial Iberoamérica, México.
- PYLLPOW, P.E., (2003). , «My Supplier's Capability is What?», *Quality Progress*, Vol. 36, No. 5.
- SCHNEIDER, H., Pruett, J. Lagrange, C. (1996), Uses of Process Capability Indices in the Supplier Certification Process, *Quality Engineering* 8, No.2.