

ESTIMACIÓN DE LOS VALORES DE DISPERSIÓN Y CENTRADO PERMISIBLES PARA PROCESOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA CON LÍMITES DE ESPECIFICACIÓN

**Erenia Cabrera Delgado,
ISP Félix Varela Machado.**

**Norge Isaías Coello Machado y Juan Manuel Toscano Alfonso,
Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.**

Recibido:

Aceptado:

En la práctica son frecuentes los procesos industriales, en particular en la industria azucarera, donde están establecidos límites de especificación de las variables (tolerancia). Estos procesos están sometidos naturalmente a la dispersión de los valores de estas variables. Para garantizar la calidad del proceso y la satisfacción del cliente se debe lograr que se cumplan las tolerancias establecidas. En el caso de los procesos de la industria azucarera hay que garantizar que los mismos se realicen dentro de límites establecidos, con una calidad determinada entre otros requisitos y dentro de una magnitud de tolerancia establecida, según el criterio de que esta debe ser tan amplia como sea posible y tan estrecha como sea necesario. Los métodos clásicos de control parten de que las variables deben controlarse de acuerdo a estos límites. Aquí se expresan consideraciones para estimar los valores de la dispersión y la tendencia central permisibles de las variables a partir de los límites de especificación logrando así una potencialidad y una capacidad del proceso aceptable para una aplicación en específico.

Palabras clave: Límites de especificación, dispersión, variables, tolerancias.

FALTA TITULO EN INGLES

In the practice are frequent industrial processes, particularly the sugar industry, were been establish the limit of specification the variable (tolerance), this process are submit naturally the dispersion the values the mentioned variables. For to guaranteed the quality this process and satisfaction of client it is debit obtain the completion the tolerances established. In the case the process the sugar cane industry is necessary to guarantee himself it is realize within the established limit, with the quality determined, between other requisite. It is realized within the magnitude of tolerance established, according the criterion: the tolerance debit it is so extensive so that possible and very thins so that necessary. The classical methods of control establish the variable must be verifying refereed this limits. This article are expressed the conditions for to consider the values the dispersion and the central tendency permissible of the variable, to depart of the limits of specifications obtaining the potentiality and the capacity for the process acceptable for the application in specific.

Key words: Limits of specifications, dispersion, variable, tolerance.

DESARROLLO

ocurre en diversos procesos y productos.

Existen con frecuencia parámetros cualitativos en los procesos de la industria azucarera así como en otras industrias, que pueden ser medibles y cuyas magnitudes a su vez están definidas por un límite máximo y un límite mínimo, o sea una tolerancia establecida para esa variable. En general debe cumplirse que la tolerancia sea tan amplia como sea posible y tan estrecha como sea necesario. Esto

Cada una de esas especificaciones está expresada por una variable para la cual están establecidos los límites correspondientes y se persigue el objetivo de lograr que esa variable se encuentre dentro de los límites de especificación. Una forma muy común de controlar el comportamiento de estas variables son los gráficos de control, según se muestra en la figura 1.⁴

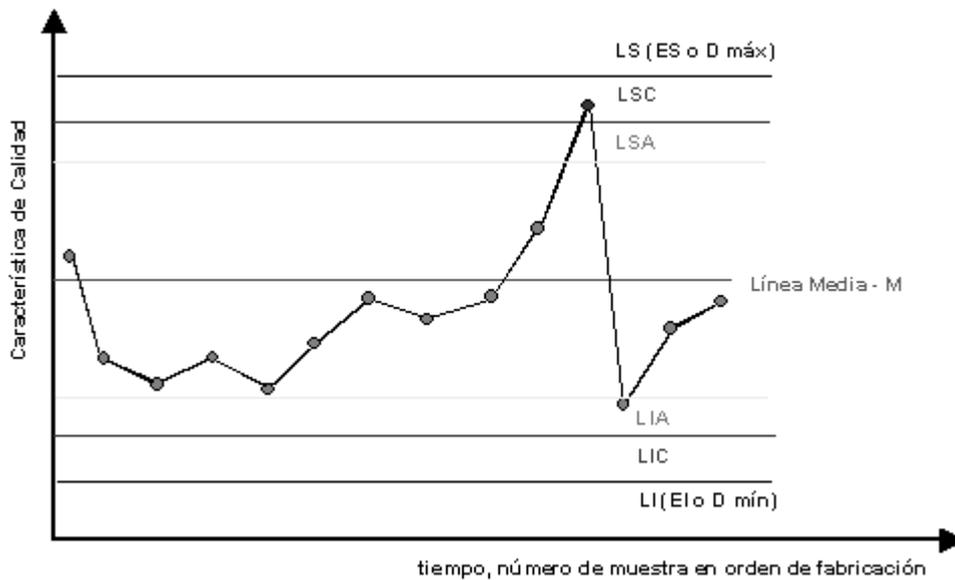


Figura 1. Gráfico de control con sus límites

Gráficos de Control para la regulación de la tendencia central

Gráficos de Control para la media (\bar{X} - Gráficos de Control)

Para el control estadístico de la tendencia central de los procesos, se emplean en la práctica prioritariamente los gráficos de control para la media (\bar{X} -GC). El objetivo fundamental de la aplicación de los gráficos de control para la media consiste en determinar inmediatamente y con seguridad la existencia de distorsiones sistemáticas en el proceso manifestadas en forma de tendencia.

De la experiencia práctica en la industria, así como de los cálculos matemáticos de probabilidades, los

\bar{X} -GC son los más eficientes en reconocer cambios sistemáticos en el proceso así como interrupciones. Una obtención convencional de datos y una elaboración matemática manual de los mismos, basada en el tiempo relativamente largo que es necesario para los cálculos así como la toma de decisiones atentan contra la aplicabilidad de los mismos. En la actualidad una obtención y elaboración automatizada de los datos eleva considerablemente las ventajas del gráfico, de control de forma tal que su efectividad ocupa un lugar central en los criterios de selección.

El cálculo de los límites de control (LC) y límites de aviso (LA) para un \bar{X} -GC para el caso de que la desviación estándar s sea lo suficientemente conocida y referidos a la tendencia central del proceso se obtiene:

$$\begin{aligned} LSCM_{\bar{x}} &= \mu + km_{\bar{x}} \cdot \sigma \\ LICM_{\bar{x}} &= \mu - km_{\bar{x}} \cdot \sigma \\ LSAM_{\bar{x}} &= \mu + km'_{\bar{x}} \cdot \sigma \\ LIAM_{\bar{x}} &= \mu - km'_{\bar{x}} \cdot \sigma \end{aligned}$$

Los coeficientes $km_{\bar{x}}$ y $km'_{\bar{x}}$ se calculan como:

para el caso de que existan límites predeterminados o tolerancias de especificación (LS y LI) el cálculo de los límites de control para un proceso con índices de capacidad $C_p \geq 1$ se realiza según:

$$\begin{aligned} LSCT_{\bar{x}} &= LS - kT_{\bar{x}} \cdot \sigma \\ LSCT_{\bar{x}} &= LS - kT_{\bar{x}} \cdot \sigma \\ LICT_{\bar{x}} &= LI + kT_{\bar{x}} \cdot \sigma \end{aligned}$$

El factor $kT_{\bar{x}}$ se calcula según:

$$\begin{aligned} ks_u &= c_{2n} + 3\sqrt{1 - c_{2n}^2} \\ ks_l &= c_{2n} - 3\sqrt{1 - c_{2n}^2} \end{aligned}$$

donde

$u_{(1-p/2)}$: percentil de la distribución de los valores individuales.

$u_{(1-\alpha/2)}$: percentil de la distribución de los valores promedios.

Para el caso en que $p = 0,27\%$ y $\alpha = 0,27\%$ se obtiene:

Gráficos de control para el monitoreo de la desviación típica (s-Gráficos de Control)

Los Gráficos de Control para monitorear el comportamiento de la dispersión de las muestras

o del proceso (s-GC), eran anteriormente poco aplicados debido a la complejidad matemática de los cálculos necesarios para su conducción, esta limitante casi no tiene efecto en la actualidad con la introducción de las nuevas técnicas de informática en los procesos de manufactura y en los procesos de forma general, sin embargo brinda una gran ventaja desde el punto de vista de su efectividad para detectar cambios en la dispersión del proceso. Esta efectividad se fundamenta en el alto contenido de información de la desviación estándar y su efectividad para interpretar los valores extremos.²

El cálculo de los límites de control (LC) para los gráficos de control para la desviación típica s-GC se basa en la desviación estándar del proceso s en la forma:

$$\begin{aligned} LSC_s &= ks_u \cdot \sigma \\ LIC_s &= ks_l \cdot \sigma \end{aligned}$$

Para el caso de aceptarse una probabilidad de error $\alpha = 0,27\%$ se obtiene:

El procedimiento general para la preparación y aplicación de los Gráficos de Control para el control por variables debe dividirse en las etapas siguientes:⁵

- Determinación de los parámetros estadísticos que describen el proceso bajo control mediante la media del proceso m y la dispersión del proceso s .
Esta determinación se realiza mediante un análisis estadístico, en algunos casos se realiza un preanálisis estadístico o se refiere a datos históricos de producciones similares.
- Para los diferentes tipos de Gráficos de Control se determinan los parámetros estadísticos correspondientes (Valores individuales, o Valor medio y Dispersión para definidos volúmenes de la muestra) y se realiza una prueba de

modelo de distribución. En la mayoría de las aplicaciones prácticas se realiza una prueba de normalidad de la distribución, es decir aquí se plantea la hipótesis $H_0 : N(\mu, \sigma^2)$ como condición necesaria. Existen algunas excepciones como las distribuciones no normales, entre otras; logarítmicas y otras transformaciones.

Para el proceso bajo control estadístico se determinan μ_0, σ_0 y sobre esa base se calculan las fronteras o límites (L), dentro de los cuales se pueden mover los correspondientes parámetros estadísticos de la muestra sin que sea necesario intervenir en el proceso.

Solución práctica

Realizando un análisis práctico de este problema se presenta una contradicción, en la mayoría de las aplicaciones prácticas al comenzar un proceso no se dispone de datos iniciales de μ_0, σ_0 que caractericen el proceso o cualquier estimación de los mismos estaría afectada por posibles errores, otra vez el volumen del proceso no permite realizar una muestra inicial y esto obliga a establecer un control del 100 % con las conocidas consecuencias. Para una posible solución de esta situación se propone proceder de la forma siguiente:

El objetivo fundamental consiste en garantizar el parámetro de calidad que expresa la variable dada por su tolerancia.

$$T = LS - LI \tag{1}$$

A su vez el centro de la tolerancia se expresa por:

$$EC = \frac{LS + LI}{2} \tag{2}$$

Aquí es conocido que:

$$c_p = \frac{T}{6\sigma} \tag{3}$$

y además:

$$c_{pk} = c_p - \frac{|EC - \mu|}{3\sigma} \tag{4}$$

De donde se puede inferir que los parámetros límites para μ_0, σ_0 (la tendencia central y la dispersión) se pueden preestablecer de forma tal que satisfagan la tolerancia establecida.

$$\mu = \frac{LS - LI}{2} \tag{5}$$

Es decir, se parte inicialmente de que el proceso debe estar lo suficientemente centrado, siguiendo las técnicas de Taguchi, de forma tal que la distancia desde la tendencia central hasta el límite superior sea igual que hasta el límite inferior.

$$\sigma = \frac{T}{6c_p} \tag{6}$$

Mediante esta expresión se refiere la magnitud de la dispersión al potencial necesario del proceso y su relación con la tolerancia de especificación.

El caso en que se estableciera la capacidad del proceso $c_p = 1,0$ no se ofrece la posibilidad de asimilar la incertidumbre de la medición ni un posible corrimiento de la tendencia central como se muestra en la figura 2, por lo que de forma general se establece un mínimo valor de $c_p = 1,33$. Sobre la base de consideraciones prácticas del comportamiento de la dispersión y del centrado se establece que el valor mínimo recomendado de c_p sería de 1,33 ya que este valor permite un desplazamiento de la tendencia central hasta una magnitud igual al valor de s en ambas direcciones, sin aumentar la probabilidad de que la variable se encuentre fuera de los límites de especificación.

Para el establecimiento de valores adecuados a cada caso deben tenerse otras consideraciones de índole económico y tecnológico.³

Junto a estas consideraciones debe valorarse la necesidad de tener presente la Incertidumbre de la medición mediante los correspondientes parámetros estadísticos.¹

También en todos los casos, aun cuando estos desplazamientos puedan ser pequeños, siempre están presentes los desplazamientos de la tenden-

cia central. Este valor puede ser para casos especiales mayores, incluso en los casos en que se valore una filosofía 6s, se tendría un valor de $c_p = 2,0$, como se muestra en la figura 3.

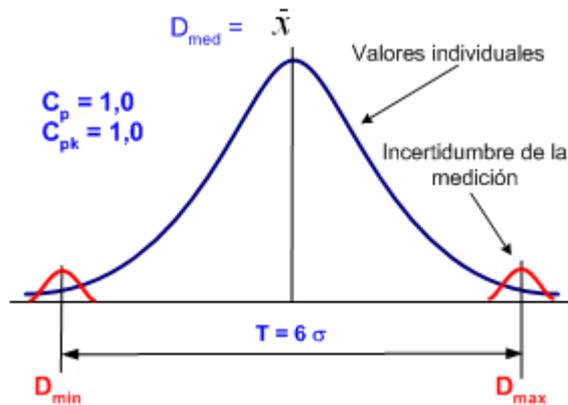


Figura 2. Representación gráfica del comportamiento de la incertidumbre en el umbral de los valores límites y considerando $c_p = 1$.

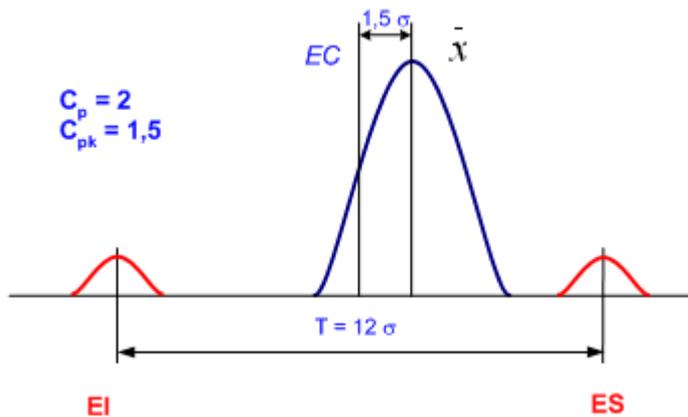


Figura 3. Dispersión del proceso para las condiciones 6 sigma

CONCLUSIONES

1. La posibilidad de realizar un pronóstico de los valores de la dispersión y la tendencia central en el caso del control por variables permite establecer un control preventivo en el proceso.
2. Cualquier desviación de los valores de la dispersión y la tendencia central establecidos para el proceso conduce a la generación de una señal y de esta se deriva un necesario

análisis de sus causas, el cual puede ser realizado con el empleo de las herramientas conocidas de la gestión de la calidad desde un histograma hasta un diseño experimental.

3. La solución extiende al campo de aplicación de los gráficos de control a aquellos procesos en los cuales se desconocen a priori los valores de la tendencia central y la dispersión (μ_o, s_o) y donde se hace difícil la realización de un preanálisis estadístico debido al propio volumen de la producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. COELLO, N.; L. WISWEH *ET AL.*: La incertidumbre de la medición y la problemática seis sigma: Una meta alcanzable o una solución del futuro. COMEC 2006, Santa Clara, Cuba, 2006.
2. COELLO, N. I., B. AND E. GLISTAU: Logistics and Design of Experiment. MicroCad, Miskolc, Hungría, 2008.
3. COELLO, T. B. J. C. N.: Logistics Networks. Models Methods and Applications. Miskolc, University of Miskolc, Hungría, 2004.
4. ILLÉS, B.; E. GLISTAU *ET AL.*: Logistik und Qualitätsmanagement. Miskolc, Hungría, 2007.
5. MACHADO, C.; E. SUÁREZ *ET AL.*: “Aplicación conjunta del control estadístico de procesos, la ingeniería de control y la incertidumbre de las mediciones en la regulación óptima de procesos químicos y mecánicos”, *Centro Azúcar* 3: 92-96, 2005.
6. WANNENWETSCH, H.: “Internationalität der Zulieferer geht oft zu Lasten der Qualität von Produkten”, *Quality Engineering* 3: 11, 2008.