

GARANTÍA DE LA CALIDAD EN LA MEDICIÓN DE UNA VARIABLE DE PROCESO

Autor: **Luis Albeiro Vieira Peñuela**

Analista de calidad y metrología

Administrador del grupo “Metrología fácil” en WhatsApp, YouTube y redes sociales; consultor independiente de calidad y metrología Cel.: 305 704 03 25 e – mail:

luisalbeirovieira@ingenieros.com

Resumen: Este documento identifica la metodología para declarar la conformidad en los resultados de medición de una variable de proceso industrial que aplique una o varias magnitudes físicas. En primera instancia su análisis enfoca la necesidad de asumir el control estadístico de un proceso a fin de predecir su comportamiento en el tiempo y poder declarar su tolerancia como cota de diseño; y luego se establece la relación directa que existe entre dicha cota resultante del análisis de éste control estadístico y el o los instrumentos o equipos de medición que intervienen en la evaluación de la conformidad de los resultados de medida.

Palabras claves: Se colocan ciertas palabras que identifiquen conceptos contenidos en el trabajo:

Estándar: Que sirve de patrón, modelo o punto de referencia para medir o valorar cosas de la misma especie.

Tolerancia: Hace referencia a un estándar de proceso, o cota (s), por límite de error permitido. No debe entenderse como máximo error permitido de un instrumento ya que el VIM (Vocabulario internacional de metrología), indica que dichos términos no deben asociarse con un mismo significado.

Error Máximo permitido: valor extremo del **error de medida**, con respecto a un **valor de referencia** conocido, permitido por especificaciones o reglamentaciones, para una **medición, instrumento o sistema de medida** dado.

Exactitud de medida: proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando

NOTA 1 El concepto “exactitud de medida” no es una magnitud y no se expresa numéricamente. Se dice que una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida.

NOTA 2 El término “exactitud de medida” no debe utilizarse en lugar de veracidad de medida, al igual que el término “precisión de medida” tampoco debe utilizarse en lugar de “exactitud de medida”, ya que esta última incluye ambos conceptos.

NOTA 3 La exactitud de medida se interpreta a veces como la proximidad entre los valores medidos

atribuidos al mensurando.

Límite de tolerancia: límite de especificación límite especificado, superior o inferior, de los valores permitidos para una propiedad.

Intervalo de tolerancia: intervalo de valores permitidos para una propiedad [Adaptado de la ISO 10576-1:2003 3.5]

NOTA 1 Salvo que se indique lo contrario en una especificación, los límites de tolerancia pertenecen al intervalo de tolerancia.

NOTA 2 El término “intervalo de tolerancia” utilizado en la evaluación de la conformidad tiene un significado distinto del mismo término utilizado en estadística.

NOTA 3 En ASME B89.7.3.1:2001 [2], al intervalo de tolerancia se le denomina “zona de especificación”.

Veracidad de medida: proximidad entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia.

NOTA 1 La veracidad de medida no es una magnitud y no puede expresarse numéricamente, aunque la norma ISO 5725 especifica formas de expresar dicha proximidad.

NOTA 2 La veracidad de medida está inversamente relacionada con el error sistemático, pero no está relacionada con el error aleatorio.

NOTA 3 No debe utilizarse el término exactitud de medida en lugar de “veracidad de medida” y viceversa.

Clase de exactitud: clase de instrumentos o sistemas de medida que satisfacen requisitos metroológicos determinados destinados a mantener los errores de medida o las incertidumbres instrumentales dentro de límites especificados, bajo condiciones de funcionamiento dadas.

NOTA 1 Una clase de exactitud habitualmente se indica mediante un número o un símbolo adoptado por convenio.

NOTA 2 El concepto de clase de exactitud se aplica a las medidas materializadas.

Intervalo nominal de indicaciones: conjunto de valores comprendidos entre dos indicaciones extremas redondeadas o aproximadas, que se obtiene para una configuración particular de los controles del instrumento o sistema de medida y que sirve para designar dicha configuración.

NOTA 1 El intervalo nominal de las indicaciones se expresa generalmente citando el valor inferior y el superior, por ejemplo “100 V a 200 V”.

NOTA 2 En algunos campos, se utiliza el término proveniente del inglés “rango nominal”.

1. INTRODUCCIÓN

Hablar de procesos industriales es algo que nos compete a todos, pues diariamente los productos que usamos o consumimos son en gran parte el resultado de un proceso industrial; sin embargo, cualesquiera que fuere la industria, siempre mantiene como mira y objetivo general velar por la satisfacción del cliente, algo que solo se logra cuidando el bien del consumidor lo que a su vez es el resultado de sostener la calidad de un producto en el tiempo, algo que se logra conocerse solo al comparar los resultados contra un estándar. Sin embargo ¿cómo se estandariza un proceso? ¿cómo se definen límites de tolerancia de un proceso con los cuales poder evaluar conformidad y garantizar la calidad del mismo?

Éste documento expone una metodología basada en lineamientos que ya son estándar pero que, no necesariamente son aplicados a procesos industriales.

2. CONTROL ESTADISTICO DE UN PROCESO INDUSTRIAL.

El libro **Control estadístico de procesos** de los autores **Roberto Carro Paz** y **Daniel González Gómez**, gurús de la instrumentación industrial y administración de la calidad, de la facultad de ciencias económicas y sociales de la universidad de mar de plata Argentina menciona: “El control estadístico de procesos, (SPC, por sus siglas en inglés Statistical Process Control) es la aplicación de técnicas estadísticas para determinar si el resultado de un proceso concuerda con el diseño del producto o servicio correspondiente”, de ahí que lo primero que necesitamos conocer es el comportamiento real del proceso.

2.1. Cota de diseño de proceso V.S. acotamientos de control superior e inferior.

Si bien la especificación de un producto se construye con base en un supuesto ideal, donde se contemplan límites de error tolerados para conservar las condiciones de diseño, (también llamadas cotas de diseño de proceso), la verdad es que la producción en masa de ese producto que busca conservar estas condiciones de diseño; no siempre logra cumplir con los límites de tolerancia de la especificación, muchas veces porque el control que se realiza durante el proceso o sobre los resultados del mismo, es ejecutado con instrumentos de medición que no necesariamente satisfacen la relación mínima de exactitudes entre el proceso y el instrumento mismo; una problemática que trataremos más adelante en éste artículo en el numeral 2.2.

Así pues, queda claro que, para conocer el comportamiento real de un proceso es necesario medirlo, tomar muestras de su comportamiento, evaluarlo estadísticamente para definir su C_{pk} (*capacidad de proceso*), y luego poder declarar objetivamente la conformidad o no conformidad del mismo.

En resumen, hablar de tolerancia en un proceso industrial, es demarcar los límites dentro de los cuales esperamos se mantenga la fabricación de un producto, pero con un enfoque basado únicamente en el diseño, mientras que, la declaración de acotamientos de control superior ULC (del inglés, Upper control limit) y acotamientos de control inferior LCL (del inglés, lower control limit), exponen límites de control como resultado de haber evaluado la condición funcional de un proceso y permite predecir su estabilidad en el tiempo. (En un próximo artículo se desarrollará el modelo estadístico aplicado

para el cálculo de dichos límites, así como la capacidad de proceso).

2.2. Veracidad de la medición V.S la necesidad del proceso.

Si bien es cierto que la elección de los instrumentos de medida se realiza con base en la tolerancia o especificación de límites de error permitidos para un proceso industrial, resulta fundamental aplicar los conceptos declarados en la IV Reunión de Laboratorios de Metrología del SIMCFE (Sistema Institucional de Metrología de la CFE), llevado a cabo en Irapuato Guanajuato, México, los días 15, 16 y 17 de febrero del 2006, respecto al Test de relación de exactitudes TAR, y el Test de relación de incertidumbres TUR, así como la capacidad de medición instalada y capacidad de medición requerida, conceptos que desde hace décadas han sido aceptados internacionalmente. Veamos como de manera práctica podríamos aplicarlos también a procesos industriales.

Supongamos que la cota de diseño declarada como límite de control de un proceso expresa un intervalo de tolerancia de +/- 5 (unidades de cualquier magnitud), pero, siendo el proceso industrial el mensurando, ¿qué tipo de instrumento de medida debería utilizarse para comprobar que el proceso permanece dentro de especificación? Con toda seguridad todos concordamos que un instrumento cuyo máximo error permitido declarado por el fabricante sea de +/- 5 o superior no es el adecuado para medir dicho proceso, pues resulta obvio concluir que, cualquier desviación que presentara el instrumento inmediatamente supone la no conformidad del proceso, pero ¿cómo se elige el instrumento adecuado?

El test de relación de exactitudes TAR, expone una relación mínima de 3:1 entre la exactitud del proceso y la del instrumento como lo muestra la ecuación (1). Así pues, aplicando el concepto de exactitud expresado en VIM (Vocabulario internacional de metrología) en la nota 3: “La exactitud de medida se interpreta a veces como la proximidad entre los valores medidos atribuidos al mensurando”, y tratándose en este caso de un diseño de proceso como mensurando, podríamos aplicar dicho concepto para evaluar la exactitud del proceso con base en lo planteado por el suplemento JCGM 106:2012, numeral 8.3. refiriéndonos a reglas de decisión basadas en zonas de seguridad. Así pues, al conocer los límites de tolerancia de un

proceso, y los errores máximos permitidos de un instrumento de medida, así como su rango de operación; podemos conocer su clase de exactitud aplicando la ecuación (2); por otra parte, al conocer la clase de exactitud del proceso o del instrumento podríamos calcular su intervalo de tolerancia o en el caso del instrumento su máximo error permitido con la ecuación (3).

$$TAR = \frac{\text{Exactitud del proceso}}{\text{Exactitud del instrumento}} \geq 3 \quad (1)$$

$$Cl = \frac{IT \text{ o } MEP * 100\%}{IN} \quad (2)$$

Donde:

Cl = Clase de exactitud

IT = intervalo de tolerancia del proceso

MEP = Máximo error permitido instrumento

IN = Intervalo nominal de indicaciones

$$\frac{IT \text{ o } MEP}{Cl * IN} = \frac{100\%}{100\%} \quad (3)$$

Por otra parte, reconocidos expertos en instrumentación industrial como Dr. Antonio Creus Solé, recomiendan que el intervalo nominal de indicación de un instrumento o rango, sea el doble del intervalo nominal de indicación o punto crítico de control del proceso industrial, así pues, unificando este concepto con el mencionado antes expresado en el suplemento

JCGM 106:2012

numeral 8.3.1.2 donde leemos “Con una regla de decisión basada en la aceptación simple y el caso habitual de una FDP unimodal simétrica (como una distribución normal) para el mensurando, la probabilidad de aceptar un elemento no conforme o de rechazar un elemento conforme, puede ser de hasta el 50 %. Esto sucedería, por ejemplo, si el valor medido de una propiedad estuviera muy cerca del límite de tolerancia. En dicho caso, cerca del 50 % de la FDP para el mensurando estaría a un lado del límite, de forma que al aceptar o rechazar el elemento, habría un 50 % de probabilidad de tomar la decisión errónea”, podríamos entonces definir dos reglas básicas a la hora de elegir apropiadamente un instrumento para un proceso, basándonos en las directrices de la metrología y la instrumentación industrial, a saber:

- **Primera:** El intervalo nominal de indicación de un instrumento de medida o rango de medición debería ser idealmente el doble del punto crítico de control o rango nominal de medición del proceso, y,
- **Segunda:** El máximo error permitido de un instrumento de medición, deberá ser como máximo el 50%, del intervalo de tolerancia declarado para el proceso en su etapa de diseño.

Pero, ¿hay concordancia entre la aplicación de estas reglas y el concepto ya aceptado internacionalmente para Test de relación de exactitudes TAR? Vamos a comprobarlo con el siguiente ejercicio.

Si en un proceso industrial se miden 250 unidades de una magnitud en su punto crítico de control y el intervalo de tolerancia declarado para el proceso como cota de diseño es de +/- 6,5 unidades de esa misma magnitud; ¿qué instrumento de medición debería utilizarse?

Si aplicamos las dos reglas mencionadas antes el instrumento debería tener un intervalo nominal de indicación o rango de 500 unidades de la magnitud a medir, y su máximo error permitido debería ser como máximo el 50% del intervalo de tolerancia del proceso, es decir +/- 3,25 unidades de la magnitud medida, pero ¿cumple con TAR dicho instrumento respecto al proceso en la relación mínima de 3:1? Veamos:

- Exactitud del proceso ecuación (4), aplicando la ecuación (2):

$$CI = \frac{6,5 \times 100\%}{250} = 2,6\% \quad (4)$$

- Exactitud del instrumento ecuación (5), aplicando la ecuación (2):

$$CI = \frac{3,25 \times 100\%}{500} = 0,65\% \quad (5)$$

- Evaluación del TAR ecuación (6), aplicando la ecuación (1):

$$TAR = \frac{2,6\%}{0,65\%} = 4 > 3 \text{ CUMPLE} \quad (5)$$

De ésta manera concordando con conceptos de aceptación y confirmación metrológica ampliamente estudiados en lineamientos como

ISO 10012, OIML D10, entre otros, con ésta práctica aseguramos que los resultados de medición de un instrumento, aún en su peor condición funcional estarán alejados en un 50% del intervalo de tolerancia definido para el proceso en la cota de diseño, lo que otorga veracidad y confianza a la medición del proceso para luego declarar los acotamientos de control superior e inferior (ULC y LCL) del proceso. Ver figura 1.

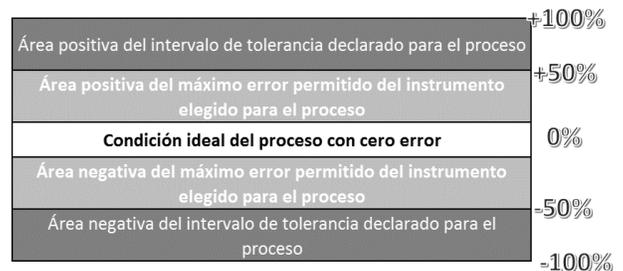


Figura 1.

2.3. El papel de la incertidumbre de medida en la declaración de la conformidad.

Si bien hasta ahora hemos estudiado los beneficios de elegir un instrumento de medida cuya exactitud otorgue confianza a los resultados de proceso; no podemos dejar de lado la importancia de la incertidumbre en la toma de decisiones. En la figura 2 se integra la incertidumbre de medición apropiando el concepto descrito antes y plasmado en la figura 1.

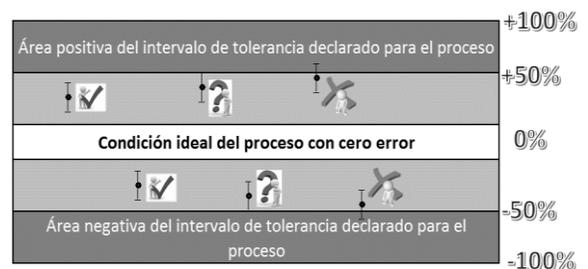


Figura 2.

Tal como estamos acostumbrados en metrología a aplicar criterios de conformidad sobre instrumentos de medida, en éste caso todos aquellos resultados de medición de un instrumento que ha sido elegido correctamente para un proceso y que, luego de su calibración conociendo sus errores e incertidumbres de medición, entrega resultados dentro de los errores máximos permitidos declarados por el fabricante para su clase de exactitud podemos decir que son conformes, sin embargo cuando

estos resultados más su incertidumbre de medición llegan a alguno de los límites de máximo error permitido para el instrumento, existe riesgo de juzgar inapropiadamente el proceso como conforme cuando pudiere no serlo; pero, si por el contrario estos resultados de medida, más la incertidumbre de medición dan fuera de los límites de error máximo permitido, podríamos determinar que los resultados aunque pudieran estar lejos del intervalo de tolerancia declarada para el proceso, pueden otorgar información no del todo confiable para la determinación de los acotamientos de control superior e inferior (ULC y LCL) del proceso.

2.4. Evaluación de la trazabilidad para un proceso industrial.

Después de conocer no solo la condición ideal de un proceso con la etapa de diseño y el establecimiento de los intervalos de tolerancia, sino que también habiendo establecido su condición operativa con la determinación de los acotamientos de control superior e inferior (ULC y LCL), podemos entonces establecer la incertidumbre del proceso mismo, como resultado combinar las incertidumbres del instrumento o los instrumentos de medición del proceso, y las incertidumbres como resultado del estudio analítico que se haya realizado al proceso cuando se definió su C_{pk} (capacidad de proceso).

Gracias a que podemos ahora conocer la incertidumbre del proceso resulta práctico aplicar entonces un test de relación de incertidumbres TUR, con el que garantizaremos que el proveedor de metrología que calibra los instrumentos del proceso cumple idealmente con una relación de 10:1 o superior y mínimo una relación de 4:1, y para ello aplicamos la ecuación (6).

$$TUR = \frac{\text{Incertidumbre del proceso}^2}{\text{Incertidumbre del laboratorio}^2} \geq 4 \quad (6)$$

3. RESULTADOS

A continuación, veremos los resultados de aplicar el concepto expuesto en éste artículo en un proceso industrial.

Compañía: **CLE – SOB Y CIA LTDA**
Sector: Mantenimiento industrial a equipos de compresión de GNVC.

Después de aplicar los conceptos de éste documento en la estación de servicio **EDS PASTRANITA S.A.S**, se obtuvieron los siguientes beneficios:

- Menos paradas de proceso
- Cero presencias de emergencias después de tener un control estadístico de proceso que permitirá predecir su estabilidad en el tiempo.
- Garantía en la seguridad operacional del equipo con el reemplazo de algunos instrumentos de medida que habían sido mal elegidos.

4. DISCUSIÓN

4.1. Ventajas.

- Control estadístico y predictivo del estado funcional del proceso y la clasificación de su exactitud
- Seguridad y garantía operativa
- Menor posibilidad de incumplir la cota de diseño del proceso en su función operacional.

4.2. Desventajas

- Tiempo y costos en estudio y toma de muestras de comportamiento de las variables de proceso.
- Es un requisito tener conocimientos de metrología aplicada.

4. CONCLUSIONES

Aunque éste trabajo técnico aplica criterios de metrología que son muy aplicados en laboratorios para garantizar la consistencia metrológica de los patrones primarios, de acuerdo a lineamientos normativos como los descritos por ejemplo en el estándar ISO / IEC 17025, deja entrever el beneficio de llevarlos a la ejecución también en procesos industriales, teniendo en cuenta que, la necesidad de medir bien no concierne solo a quien calibra un instrumento, sino también a quien lo usa.

5. AGRADECIMIENTOS

Extiendo mi agradecimiento sincero a los siguientes profesionales:

Físico Ciro Alberto Sánchez: Por suministrar información suficiente para documentar mi investigación.

Ing. Marco Estrada: Por confirmar mi investigación con su concepto técnico.

6. REFERENCIAS

[1] JCGM 200:2012 Vocabulario internacional de metrología.

[2] JCGM 106:2012 Evaluación de datos de medición, el papel de la incertidumbre de medida en la evaluación de la conformidad.

[3] Control estadístico de procesos. Roberto Carro Paz y Daniel González Gómez primera edición.

[4] Capacidad de medición. Guía Metas marzo de 2006.