

## 5. CONCLUSIONES

Del presente trabajo podemos identificar la existencia de una serie de métodos para determinación de adecuabilidad. De acuerdo al levantamiento de criterios presentados en este trabajo, todas las metodologías presentan diferentes características, quedando en manos de cada empresa la selección que más se acomode a sus necesidades. De esta manera podemos extraer las siguientes conclusiones:

- como criterio general se recomienda la utilización de los métodos más robustos. Métodos más simples podrían ser utilizados en la medida que los criterios de comparación no sean de interés o sean satisfechos con holgura;
- queda en evidencia que los métodos más utilizados, aquellos como la resolución y el error máximo, no consideran una serie de aspectos que pueden ser críticos. Por ejemplo la repetibilidad, variación del proceso y los costos de fallas;
- en la medida que las metodologías aumentan en complejidad, y por consiguiente consideran un mayor número de parámetros, la intercambiabilidad se dificulta. Para los métodos más complejos, no existen 2 instrumentos exactamente iguales que puedan usar indistintamente. Así la posibilidad de intercambiabilidad requiere un estudio más acabado;
- en el caso de utilizar el error máximo, es necesario realizar verificaciones periódicas para evaluar dicho error. El usar simplemente las especificaciones de catálogo que entrega el fabricante podría llevar a invalidar los resultados;
- en el caso de utilizar calibres o materiales de referencia, sólo el método de la incertidumbre de medición y el planteado en la norma ISO 14253 son válidos;
- por último queda demostrado la necesidad de desarrollar una nueva metodología que considere además el criterio de Costos de Fallas.

Quisiera por último agradecer a la Fundación CERTI y a LABMETRO por la oportunidad de realizar este trabajo y a DICTUC S.A. por su apoyo en la realización de este Maestrado.

## 6. REFERENCIAS

- Chrysler, Ford y General Motors, 1997, “Análise dos Sistemas de Medição”, MSA, versión en portugués, 127p.
- INN, 1998, Norma Chilena NCh2450 “Vocabulario de Términos Fundamentales y Generales de Metrología”. Homologación del documento ISO, *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*, 41p.
- ISO, 1997, Norma ISO/FDIS 14253-1 “Geometrical Products Specifications (GPS) – Inspection by Measurements of Workpieces and Measuring Equipment – Part 1: Decision Rules for Proving Conformance or non-conformance with Specification”, 14p.
- ISO, 1997, Norma ISO/DTR 14253-2 “Geometrical Products Specifications (GPS) – Inspection by Measurements of Workpieces and Measuring Equipment – Part 2: Guide to the Estimation of Uncertainty in GPS Measurements, in Calibration of Measuring Equipment and in Product Verification”, 72p.
- Schoeler, N. y Donoso, J., 1999, “Gerenciamento de Instrumentos de Medição Segundo a ISO 9000 e QS 9000” Manual del curso CM-113 impartido por la Fundación CERTI pp. 95-129.

#### 4. COMPARACIÓN ENTRE METODOS

A continuación se presenta un análisis comparativo entre los 6 métodos formales presentados con respecto a los diferentes parámetros. Los métodos han sido colocados horizontalmente en orden de complejidad, estos sin embargo, son precisamente aquellos que consideran y respetan, un mayor número de criterios. Para el análisis de los métodos, utilizaremos la siguiente simbología:

- : El método presenta características positivas o muy positivas con respecto a ese parámetro.
- ◐: El método presenta características regulares o limitadas con respecto a ese parámetro.
- : El método presenta características negativas o muy negativas con respecto a ese parámetro.

**Tabla 1.** Comparación entre métodos

Parámetro \ Método	Resolución	Error Máximo	Incertidumbre Calibración	Incertidumbre Medición	ISO 14253	MSA
Rango de medición	●	●	●	●	●	●
Resolución	●	●	●	●	●	●
Tolerancia	●	●	●	●	●	●
Simplicidad	●	◐	◐	○	○	○
Intercambiabilidad	●	◐	◐	○	○	○
Error de medida	○	●	●	●	●	●
Repetibilidad de la calibración	○	○	●	●	●	●
Condiciones de calibración	○	○	●	●	●	◐
Reproducibilidad	○	○	○	●	●	●
Condiciones de medición	○	○	○	●	●	◐
Robustez	○	○	○	◐	●	●
Estabilidad	○	○	○	◐	◐	●
Proceso fabricación	○	○	○	○	◐	●
Costos de la calidad	○	○	○	○	○	○

Ninguna de las metodologías planteadas encima, utiliza todos los criterios de selección planteados. En particular, ninguna de ellas, exceptuando a MSA, toma en cuenta directamente la variabilidad del proceso de fabricación de las piezas que deben ser inspeccionadas. De esta forma, si fijamos un mismo nivel de tolerancia, se estaría tomando una misma decisión, tanto para un proceso con índice de capacidad ( $C_p$  o  $C_{pk}$ ) alta, de otro con índice bajo. De la misma forma, ninguno de ellos es sensible a los costos de falla, es decir, los métodos presentados responden de la misma forma ante piezas de bajo y alto costo.

En la actualidad, a pesar de sus limitaciones, el método de la resolución debe ser el más utilizado universalmente. Este método podría ser considerado como valido en la medida que se cumplan una serie de requisitos. Entre ellos podemos mencionar:

- tolerancias amplias o procesos de fabricación altamente capaces;
- utilización de instrumentos simples como pies de metro o micrómetro, que presenten errores de indicación pequeños con respecto a la resolución, buena repetibilidad, reproducibilidad y estabilidad;
- variación de las condiciones de medición despreciables con respecto a la tolerancia;
- piezas de bajo costo, cuando la clasificación dentro o fuera de tolerancia no es crítica.

### **3.6 Norma ISO 14253:**

Esta metodología se presenta en la norma ISO 14253-1 (1997) donde se establecen criterios para determinar si una pieza cumple o no con las especificaciones de tolerancia, de acuerdo al instrumento y de acuerdo a las condiciones de medición. Este método determina que, los límites de tolerancia deben ser ajustados (apretados), descontando en cada extremo una magnitud equivalente a la incertidumbre de medición.

Por su parte, la norma ISO 14253-2 (1997) presenta un Procedimiento de Análisis de Incertidumbre de Medición (PUMA), que plantea como ajustar las condiciones de medición, de tal forma de satisfacer los requerimientos establecidos.

Este método incorpora un nuevo ángulo al problema, en la medida que los límites de tolerancia son ajustados proporcionalmente al valor de la incertidumbre de medición. Establece una región de piezas conformes, otra de no conformes y una tercera de duda, de esta forma, la incertidumbre de medición, repercute directamente sobre el número de piezas conformes. A mayor incertidumbre de medición, mayor número de piezas originalmente conformes irán a caer dentro de la zona de duda.

#### **a) Ventajas:**

- este método presenta las mismas ventajas del método anterior;
- este método incorpora indirectamente el parámetro de Variación del Proceso de Fabricación. En la medida que las piezas en la zona de duda sean declaradas como no conformes, el número de piezas aceptadas como buenas disminuirá, cuando el proceso de fabricación tenga una mayor variación.

#### **b) Desventajas:**

- no establece una metodología formal para establecer la adecuabilidad del sistema de medición. Cada usuario debe encontrar una solución para cada caso, a partir de la relación entre tolerancia, incertidumbre y capacidad de proceso de fabricación;
- presenta las mismas desventajas del método anterior.

### **3.7 MSA (Análisis de Sistemas de Medición) - QS 9000:**

Esta metodología fue establecida por (Chrysler, Ford y General Motors, 1997) en el marco de las normas QS 9000. Establece una serie de requisitos que deben ser cumplidos por el sistema de medición.

#### **a) Ventajas:**

- método muy robusto, en la medida que toma en cuenta tanto las características del sistema de medición, tolerancias y capacidad del proceso de fabricación.

#### **b) Desventajas:**

- método complejo por los conocimientos necesarios, terminología propia de MSA y por los cálculos matemáticos involucrados;
- requiere satisfacer una serie de condiciones en forma conjunta. De esta forma, un sistema de medición será adecuado solo si satisface cada uno de estas condiciones;
- este método no es tan sensible (no considera) a la variación de las condiciones de calibración.

### **3.4 Incertidumbre de Calibración:**

Considera adecuada la utilización de instrumento, patrón de medición o material de referencia con incertidumbre de la calibración entre un 10% a un 33% de la tolerancia. Esta incertidumbre se obtiene directamente del certificado de calibración respectivo. En el caso de instrumentos de medición, al menos debe considerar la incertidumbre del patrón de calibración, la resolución, la repetibilidad y la corrección de errores sistemáticos.

#### a) Ventajas:

- método valido para ser usado tanto en instrumentos, como en patrones y materiales de referencia;
- además de los criterios considerados en los métodos anteriores, incluye la repetibilidad y considera además aspectos de la calibración como incertidumbre del patrón de calibración, condiciones ambientales en que fue realizada la misma.

#### b) Desventajas:

- método complejo por los conocimientos metrológicos necesarios y por los cálculos matemáticos involucrados;
- debido a que la incertidumbre es propia de cada instrumento, no es posible determinar la adecuabilidad general de una familia de instrumentos;
- es necesario disponer del instrumento ya calibrado para saber si será adecuado o no;
- costos de la calibración previa de cada instrumento.

### **3.5 Incertidumbre de Medición:**

Considera adecuada la utilización de sistemas de medición con incertidumbre de medición entre un 10% a un 33% de la tolerancia. Esta incertidumbre se obtiene a partir del certificado de calibración respectivo, más la participación de las magnitudes de influencia presentes durante la medición.

#### a) Ventajas:

- método robusto en la medida que considera además de los criterios utilizados por el método anterior, las condiciones reales de medición, reproducibilidad y estabilidad. De esta forma, este método mantiene su validez inclusive cuando las condiciones de medición varíen.

#### b) Desventajas:

- este método presenta las mismas desventajas del método anterior;
- método complejo debido a que la incertidumbre debe ser determinada para cada uso diferente;

- b) Desventajas: Dependiente de la persona que posee el conocimiento, poco sistemática y en general no considera todos los criterios formales. Por su falta de sistemática, no será tratado más profundamente ni considerado como una alternativa viable ni recomendable.

### **3.2 Resolución:**

Considera adecuada la utilización de instrumentos de medición con resolución entre un 10% a un 33% de la tolerancia.

a) Ventajas:

- método simple, debe ser uno de los métodos universalmente más utilizados;
- la resolución es una información fácil de encontrar en catálogos o al manipular los propios instrumentos;
- depende sólo de la familia de instrumentos, de esta forma todos los instrumentos de la misma familia, pueden ser asociados a un mismo comportamiento. Esto facilita la determinación de adecuabilidad antes de la compra de los mismos;

b) Desventajas:

- la resolución en general se considera como un método inadecuado, en la medida que considera un número limitado de criterios;
- existen algunos instrumentos (particularmente los digitales) donde la resolución no presenta una relación directa con la calidad metrológica del instrumento, pudiendo este presentar importantes errores de medición;
- método no válido para ser usado en patrones y materiales de referencia;

### **3.3 Error Máximo Permitido:**

Considera adecuada la utilización de instrumentos de medición con error máximo admisible, dentro del rango de medición de un 25% de la tolerancia. Este criterio puede ser un poco vago en cuanto a la interpretación de error máximo, ya que no siempre queda claro si este considera o no la incertidumbre del sistema de medición empleado en la determinación de dicho error. En la mayoría de los casos, la incertidumbre no es considerada y se utiliza entonces la tendencia como estimador del error.

a) Ventajas:

- método relativamente simple;
- a menudo, dentro de las especificaciones de los instrumentos aparece esta información, típicamente en inglés bajo el término *accuracy*. Esto facilita la determinación de adecuabilidad de los instrumentos antes de la compra de los mismos;
- éste método es más completo que el de resolución, en la medida que considera los posibles errores de las indicaciones del mismo.

b) Desventajas:

- método ambiguo en cuanto a la forma de determinar el error máximo, normalmente se utiliza la tendencia, es decir, sin considerar la incertidumbre de la calibración;
- en el caso de instrumentos que no sean nuevos, muchas veces se utiliza el error máximo admisible declarado por el fabricante y no se determinan regularmente los errores de dicho instrumento bajo condiciones reales de medición;
- método no válido para ser usado en patrones y materiales de referencia.

- **Condiciones de Medición:** Magnitudes de influencia presentes durante la medición (temperatura, presión, humedad, vibraciones, impurezas, etc.) y repetibilidad de las mediciones. Lo importante es que las diferentes metodologías planteadas sean sensibles a las posibles variaciones que puedan presentar estas condiciones.
- **Robustez:** Este criterio se refiere a la capacidad que tiene cada metodología para entregar soluciones adecuadas, al variar las condiciones de medición, dentro de los límites establecidos.
- **Estabilidad:** Representa la aptitud de un sistema de medición para conservar sus características metrológicas a lo largo del tiempo.
- **Variabilidad del Proceso de Fabricación:** Si bien este criterio esta asociado al proceso de fabricación en sí, se relaciona con la selección del sistema de medición mas adecuado, en la medida que, procesos de fabricación incapaces producen una gran cantidad de piezas en la zona de límites de tolerancia. De esta forma, el proceso de selección se hace más crítico en los casos donde el proceso es altamente incapaz, produciendo muchas piezas en los límites de tolerancia.
- **Costos de la Calidad:** Una empresa que desee tomar la mejor decisión, con respecto a la selección del sistema de medición más adecuado, deberá considerar los 4 tipos de costos asociados, estos son:
  - **Prevención:** Representa todos los costos asociados a las medidas tomadas internamente para evitar otro tipo de costos. Entre estos se puede mencionar costos de entrenamiento del personal, homologación de proveedores y calibración de instrumentos.
  - **Medición (verificación):** Representa todos los costos asociados a la verificación de productos. Entre estos se puede mencionar costos de inspección y ensayos.
  - **Fallas internas:** Representa todos los costos provocados mientras el producto se encuentra en poder del fabricante. Entre estos se puede mencionar los costos de desperdicios y reproceso.
  - **Fallas externas:** Representa todos los costos generados después de que el fabricante entrega el producto. Entre estos se puede mencionar los costos de garantía, perdida de imagen y responsabilidad civil.

### **3 ESTUDIO DE METODOS**

En la actualidad existen una serie de metodologías empleadas para la determinación de la adecuabilidad de los medios de medición, tal como lo plantea (Schoeler, Donoso, 1999). A continuación se presentan aquellos más utilizados, describiendo las ventajas y desventajas más significativas de cada uno de ellos.

#### **3.1 Experiencia:**

En todo ambiente profesional, siempre existen personas que, muchas veces sin un conocimiento teórico, realizan tareas en forma adecuada sin la necesidad aparente de manejar métodos formales.

a) **Ventajas:** Metodología simple y avalada por resultados a lo largo de muchos años.

## 2. PARÁMETROS DE SELECCIÓN

Para la determinación del sistema de medición más adecuado, existe una serie de aspectos que podrían ser tomando en cuenta. A continuación se presentan aquellos que han sido considerados como más relevantes, la terminología esta de acuerdo al Vocabulario Internacional de Metrología (INN, NCh2450):

- **Rango de Medición:** Para la selección de un sistema de medición, en particular cuando se utilizan instrumentos de medición, es necesario verificar que se cubra el rango de medición correspondiente, ya sea con 1 o más instrumentos.
- **Resolución:** El instrumento elegido para una tarea de medición, debe presentar errores de medición compatible con los resultados de medición esperados. La resolución de un instrumento aparece como un parámetro que, en teoría, debería estar relacionado a dicho error.

Existe otro término, que a veces se confunde con el de resolución, este es “valor de una división (de escala)”. En muchos instrumentos, especialmente aquellos digitales, ambos valores coinciden, sin embargo, existen algunos donde la resolución puede tomar un valor menor, por ejemplo, el caso de un micrómetro con valor de una división de escala de 0,01 mm y que sea utilizado con una resolución de 0,002 mm.

- **Tolerancia de Proyecto:** Este criterio esta relacionado al rango de aceptación de los resultados. En la medida que las tolerancias sean más estrechas, aumenta la probabilidad de rechazar piezas y por consiguiente, la selección adecuada de un instrumento de medición se hace más crítica.
- **Simplicidad:** Se refiere a la facilidad para encontrar una solución, considerando tiempos, costos, conocimientos y cálculos matemáticos requeridos. Este criterio es muy importante a la hora de elegir un método. Las empresas normalmente buscan soluciones simples a sus problemas, por lo tanto una buena solución tiene que ser a su vez los más simple posible.
- **Intercambiabilidad:** Caracteriza la similitud del desempeño metrológico entre un instrumento y otro. El disponer de instrumentos de alta intercambiabilidad, permite la utilización indistinta de uno u otro, lo cual facilita la operación.
- **Error de medida:** Diferencia entre lo que indica el instrumento de medición y lo que debería indicar. En la medida que estos errores sean significativos y no puedan ser corregidos, los resultados pueden perder toda validez. En la practica se utiliza la tendencia como estimador del error.
- **Repetibilidad de la calibración:** Representa el grado de concordancia entre los resultados de las diferentes lecturas, realizadas en un corto periodo de tiempo, manteniendo las condiciones de calibración.
- **Condiciones de Calibración:** Este criterio representa al nivel metrológico de la calibración, considerando aspectos como la idoneidad de los metrólogos, calidad de los procedimientos de calibración, incertidumbre de los patrones, condiciones ambientales durante la calibración, etc. En el caso de una calibración externa, valora el nivel técnico del laboratorio que prestador de servicios.
- **Reproducibilidad:** Representa el grado de concordancia entre los resultados de las mediciones, dado por cambio de operador, de método, e inclusive de instrumentos.

# **EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS ACTUALMENTE UTILIZADOS PARA SELECCIONAR SISTEMAS DE MEDICIÓN**

**José Donoso Urrutia**

**Carlos Alberto Schneider**

Universidade Federal de Santa Catarina, LABMETRO, Curso de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Departamento de Engenharia Mecânica, 88040-970, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: [jiu@labmetro.ufsc.br](mailto:jiu@labmetro.ufsc.br)

## **Resumen**

En procesos de inspección de partes y piezas, es necesario disponer de un sistema de medición “adecuado” para verificar el cumplimiento de tolerancias. Para que un sistema de medición sea adecuado, este debe permitir medir los parámetros o dimensiones de interés en el rango de medición deseado, con una precisión y exactitud acorde. En la actualidad existen una serie de métodos diferentes que permiten definir un medio o sistema de medición adecuado para una tarea en particular. Este trabajo presenta algunos de los métodos más utilizados, identificando sus características, ventajas y desventajas.

**Palabras-clave:** Metrología, Calidad, Costos, Adecuabilidad

## **1. INTRODUCCIÓN**

La industria de manufactura, especialmente de partes y piezas mecánicas, ha sido afectada fuertemente en los últimos años por un aumento de las exigencias metrológicas. De esta forma, cada día las especificaciones de tolerancias dimensionales y geométricas son más estrechas.

Para satisfacer estos requerimientos, se hace necesario el disponer de sistemas de medición adecuados. El término sistemas de medición, se refiere no sólo a un instrumento de medición, patrón o material de referencia, sino que además, a todos aquellos factores o condiciones que influyen en el resultado de una medición, tales como la capacidad de los operadores, las condiciones ambientales y el procedimiento de medición.

En la actualidad existe una serie de metodologías, las cuales usan diferentes criterios de selección. Ante la falta de una orientación al respecto, surge la necesidad de contar con una herramienta que permita evaluar y comparar las alternativas de solución. Para realizar esta tarea se definirán una serie de parámetros o aspectos de interés y posteriormente se establecerá el nivel de cumplimiento de cada metodología con respecto a cada criterio. Por último se levantarán una serie de conclusiones con respecto a las diferentes alternativas.

Queda en manos de cada empresa, definir sus propias metodologías, para esto deberán definir los criterios que serán considerados y establecer prioridades.