



# **TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS Y EL IMPACTO EN LOS ANÁLISIS DE SISTEMAS DE MEDICIÓN**

## **“MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS” “MSA”**

2006 / Septiembre / 7



## Algunas características Dimensionales y Geométricas

MENSURANDO	CARACTERÍSTICA	MAGNITUD
Diámetros con tolerancia	Característica Dimensional	Medición de longitud
Redondez	Característica Geométrica	Medición de Longitud (Forma)
Planitud	Característica Geométrica	Medición de longitud (Forma)
Paralelismo	Característica Geométrica	Medición de longitud (Posición)
Cabeceo (Run Out)	Característica Geométrica	Medición de longitud (Posición)



## **ANÁLISIS DE SISTEMAS DE MEDICIÓN**

- AL MEDIR CUALQUIER MAGNITUD ES IMPORTANTE UTILIZAR EL EQUIPO DE MEDICIÓN ADECUADO Y UTILIZAR UN MÉTODO IGUALMENTE ADECUADO PARA OBTENER UN RESULTADO CONFIABLE.
- CON BASE EN EL RESULTADO DE LA MEDICIÓN SE CONOCE EL VALOR DE LA MAGNITUD MEDIDA Y SE ESTABLECE CONDICIÓN DE ACEPTACIÓN O RECHAZO.
- CON LA CONDICIÓN DE ACEPTACIÓN SE CONTINUA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN, PRODUCTO FINAL Y CUMPLIMIENTO DE CONTRATO.



## ANÁLISIS DE SISTEMAS DE MEDICIÓN

- LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN SE DEBEN ANALIZAR PARA ASEGURAR QUE LOS RESULTADOS DE MEDICIÓN SON CONFIABLES Y DENTRO DE LOS NIVELES DE ACEPTACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.
- EL ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN DEBE CONSIDERAR TODO LOS ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA MEDICIÓN, INCLUYENDO LAS MAGNITUDES DE INFLUENCIA.
- UNA HERRAMIENTA PARA ANÁLISAR LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN ES EL ESTUDIO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (R&R).



## **Repetibilidad (de los resultados de mediciones)**

**Proximidad de la concordancia entre los resultados de las mediciones sucesivas del mismo mensurando, con las mediciones realizadas con la aplicación de la totalidad de las siguientes condiciones.**

- ❖ **El mismo procedimiento de medición;**
- ❖ **El mismo instrumento de medición utilizado en las mismas condiciones;**
- ❖ **El mismo lugar;**
- ❖ **La repetición dentro de un período corto de tiempo.**

### **Notas:**

- ④ **A estas condiciones se les llama condiciones de repetibilidad.**
- ④ **La repetibilidad se puede expresar cuantitativamente con la ayuda de las características de la dispersión de los resultados.**



## Reproducibilidad (de los resultados de mediciones)

Proximidad de la concordancia entre los resultados de las mediciones del mismo mensurando, con las mediciones realizadas haciendo variar las condiciones de medición.

- ◀ el principio de medición;
- ◀ el método de medición;
- ◀ el observador;
- ◀ el instrumento de medición;
- ◀ el patrón de referencia;
- ◀ el lugar;
- ◀ las condiciones de uso;
- ◀ el tiempo.

### Notas:

- Ⓢ Para que una expresión de la reproducibilidad sea válida, es necesario especificar las condiciones que se hacen variar.



## **GAUGE R&R / G R R** **(REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD)**

- Herramienta para identificar las causas de variación en los sistemas de mediciones y la correcta toma de lecturas

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

- Selección del instrumento adecuado para la medición adecuada de la pieza considerando las especificaciones (Tolerancias) dimensionales y de Forma y Posición.
- Realizar mediciones confiables y uniformes, con mejor exactitud.

**Donde:**

**EV= Variación del Equipo**

**AV= Variación de Operador**



## **OBJETIVO DE (R&R)**

### **Información y resultados para tomar de decisiones adecuadas**

- a) Determinación de la variabilidad de la medición
- b) Mantener la exactitud adecuada de la medición
- c) Mejorar la exactitud de los instrumentos de medición
- d) Mejorar las condiciones de medición (temperatura, humedad, etc.)
- e) Capacitación continua al operador
- f) Unificación de criterios con los involucrados
- g) Seleccionar los dispositivos de sujeción adecuados
- h) Consistencia en el manejo del equipo

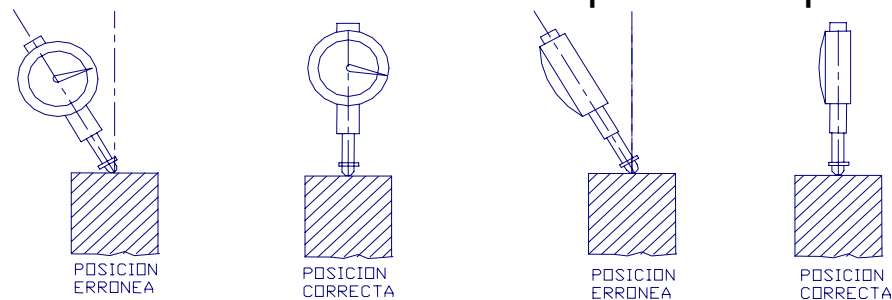


## FACTORES QUE AFECTAN A (EV) (Variación del Equipo de medición)

### POSICIÓN:

La colocación correcta del instrumento de medición a utilizarse es importante.

Por ejemplo, para un indicador de cuadrante, la posición correcta es que el eje de medición sea paralelo a la perpendicular del plano de la pieza que se quiere medir. En el caso de una pipeta graduada, el plano formado por el líquido de referencia debe ser perpendicular al eje, ya que de esta manera se asegura que la escala de la misma y el plano del líquido son paralelos. Cuando se trata de calibrar una balanza es necesario colocar lo más centradamente posible la pesa en el plato.



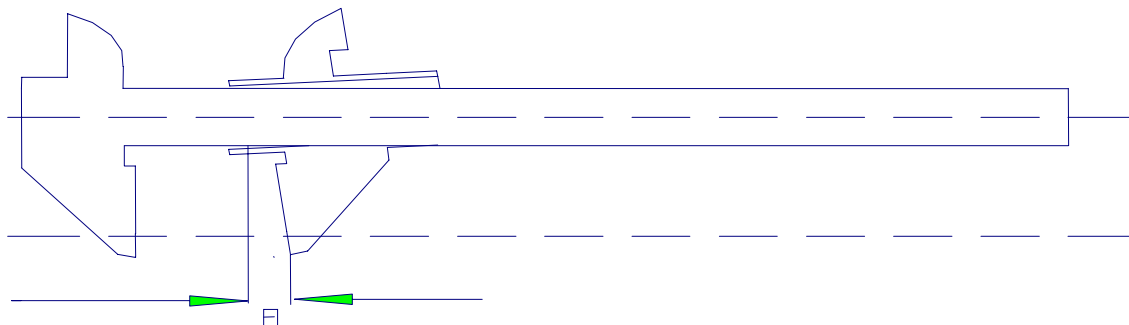


## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

### PRINCIPIO DE ABBE

**Esta ley establece que la máxima exactitud de medición es obtenida si el eje de medición y el eje del instrumento son paralelos, como es el caso del micrómetro.**

Cuando no se cumple este principio se presentan errores que surgen de la distorsión debida a la fuerza de medición aplicada y de la posibilidad de que los topes no se muevan paralelos entre sí.



En casi todos los instrumentos y máquinas de medición de longitud, el principio de Abbe se cumple, no obstante existen algunos instrumentos en los que este principio no se respeta, como los calibradores (vernier, carátulas o digitales) de exteriores e interiores, algunos tipos de máquinas de medición, etc.



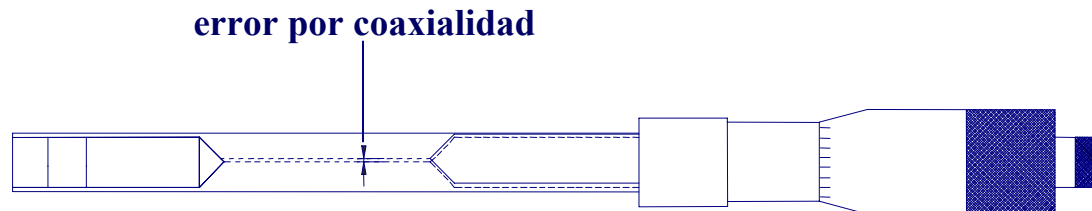
## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

### COAXIALIDAD.

Coincidencia de los ejes de medición

Hay errores que se generan por la falta de coaxialidad de las partes que componen el instrumento de medición.

Por ejemplo, en el caso de la medición de una cuerda (rosca) de un tornillo se utiliza un micrómetro de puntas y si ambas puntas no coinciden exactamente se comete un error en la medición.





## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

### Elección del instrumento de medición

El instrumento de medición debe seleccionarse tomando en cuenta aspectos como:

**Exactitud requerida** en términos de el error máximo tolerado “EMT” o la incertidumbre de medición (la cual se determina por las tolerancias de control del proceso de producción); **resolución** (menor valor de medición); **alcance de medición** (capacidad) **y método** (forma) en que realiza la medición, etc.

Por ejemplo, para medir el diámetro exterior de una pieza de hierro fundido, es suficiente un Calibrador con Vernier, sin embargo, si se va a medir un perno patrón, aunque tenga el mismo diámetro nominal, ni siquiera un micrómetro para exteriores tendría la exactitud suficiente para este tipo de aplicación.

Se ha recomendado en el **MSA** (pag. 43) que la razón de tolerancia de una pieza de trabajo a la resolución de un instrumento sea de 10 a 1.



## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

### Elección del instrumento o equipo de medición

CARACTERÍSTICA	EQUIPO COTIDIANO	EQUIPO ADECUADO
Redondez	Block en “V” con indicador de carátula	Máquina de medición de Redondez
Planitud	Base magnética con indicador de carátula	MMC o método de Autocolimación
Coaxialidad	Generalmente instrumentos “hechizos”	MMC y/o Máquina de medición de Redondez
Cabeceo (Run Out)	Block en V con Indicador de carátula	Máquina de medición de Redondez
Diámetros con tolerancia muy pequeña	Micrómetro de tres apoyos ó MMC	Máquina Unidimensionales



## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

### Instrumento de medición calibrado

- Solo deben ser usados **Instrumentos de medición calibrados con trazabilidad a patrones nacionales o internacionales primarios** (fecha de calibración vigente), además de mantener un programa de verificaciones intermedias para los instrumentos. Importante no usar instrumentos de los que se sospecha alguna anomalía en su funcionamiento.
- Para efectuar mediciones de gran exactitud, es necesario corregir los valores medidos con los errores instrumentales determinado mediante la calibración, como es el caso de los bloques patrón.



## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

### **Características del instrumento o equipo de medición.**

- Hay errores atribuibles al instrumento debidos a defectos de fabricación (dado que es imposible construir aparatos perfectos). Estos defectos pueden ser deformaciones, falta de linealidad, imperfecciones mecánicas, falta de paralelismo, etc.
- Los equipos de medición llegan a las manos del usuario con un error determinado, por lo que al usarse el equipo debiera corregirse la medida realizada mediante un factor de corrección, que corresponde al error que proporciona el mismo fabricante.



## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

### DESGASTE

El uso frecuente del instrumento o equipo de medición ocasiona su desgaste.

Los juegos ocasionados por el desgaste provocan irregularidades de lectura, defectos de rectitud o de forma como pueden ser la planitud, defectos de alineación y centrado, etc.

Se puede prevenir haciendo que las superficies de contacto presenten gran dureza y estén pulidas.



## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

### ENVEJECIMIENTO

Después de efectuado un tratamiento térmico en instrumentos de medición existe un estado molecular inestable llamado envejecimiento, que resulta del mecanizado o de los tratamientos térmicos aplicados.

El envejecimiento puede eliminarse, ya sea mediante tratamientos a base de vibraciones o dejando a la intemperie durante largo tiempo las piezas antes de maquinar. Este procedimiento puede llegar a ser muy aplicado debido a que ocasiona pequeñas modificaciones en la forma geométrica y las dimensiones.



## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

### **Correcta limpieza de superficies de medición**

La limpieza de las piezas y los instrumentos de medición (superficies) es sumamente importante. Es recomendable utilizar trapos que no desprendan hilachas y utilizar un solvente, de preferencia alcohol etílico de alta calidad.

Siempre hay cierto riesgo de que entre la superficie de la pieza y la superficie de medición del instrumentos se depositen (por las corrientes de aire no filtrado, polvos del ambiente, etc.) diminutas partículas llamadas “cuerpos extraños” que también falsean las mediciones. Por supuesto que mientras más grande es la zona de contacto, más posibilidad de inclusión de cuerpos extraños en ellas y más riesgos de cometer errores en la medición.

La instalación de salas de medición protegidas con filtros contra polvo mejoran la limpieza.



## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

### Aplicación de fuerza de medición

**La fuerza de medición es aquella fuerza que se aplica y experimenta el objeto medido en la zona de contacto con las superficies de medición del instrumento.**

Los errores de medición debidos a la misma se originan, fundamentalmente por dos causas:

- a la diferencia de deformación provocada por el aplastamiento de las irregularidades superficiales de la pieza que se mide y el instrumento.
- a las deformaciones de las bases o carros de medición durante el ajuste, verificación o medición.



## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

### Dilatación térmica

Los instrumentos de medición, patrones de medida y piezas a medir sólo garantizan sus dimensiones correspondientes realizando la medición a 20° C o valores muy próximos a ella.

•Al efectuar una medición con un instrumento de medición a una temperatura diferente de 20° C, el resultado obtenido debe corregirse. Dicha corrección se fundamenta en la fórmula física por la dilatación térmica lineal:

$$L_t = L_{20} [ 1 + \alpha (t - 20) ]$$

•donde:

- L<sub>t</sub> longitud del objeto de medición a temperatura t
- L<sub>20</sub> longitud del objeto de medición a temperatura de 20° C
- α coeficiente de dilatación lineal del material del objeto
- t temperatura a la que se efectúa la medición



## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

Desde luego, el fenómeno físico de la dilatación se produce tanto en el instrumento de medición como en el objeto que se mide, sin embargo, esto no debe hacer suponer una compensación de errores porque las variaciones dimensionales del instrumento no van a ser iguales a las de la pieza.

Aplicando la fórmula anterior al instrumento y a la pieza tenemos:

$$L_{ti} = L_{20i} [ 1 + \alpha_i (t - 20) ]$$

$$L_{tp} = L_{20p} [ 1 + \alpha_p (t - 20) ]$$

$$L_{20i} [ 1 + \alpha_i (t - 20) ] = L_{20p} [ 1 + \alpha_p (t - 20) ]$$



## FACTORES QUE AFECTAN A (EV)

$$L_{20p} = \frac{L_{20i} [ 1 + \alpha_i ( t - 20 ) ]}{1 + \alpha_p ( t - 20 )}$$

y con esta ecuación podemos calcular la longitud de una pieza a 20° C, cuando la hemos medido a una temperatura **t** que coincida con la del instrumento.

Obsérvese que si  $\alpha_i = \alpha_p$  y la temperatura **t** es la misma,

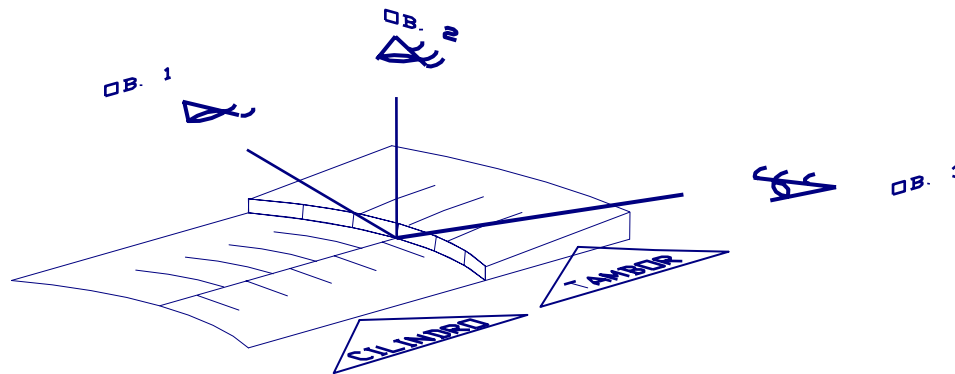
$$L_{20p} = L_{20i}$$



## FACTORES QUE AFECTAN A (AV) (Variación del personal)

### Error de Paralaje

Este se ocasiona cuando al tomar la lectura de la medición el observador no está mirando la escala del instrumento perpendicularmente. Esto es, que mira la escala desde la derecha, la izquierda, de arriba o de abajo con un cierto ángulo, a partir de la perpendicular a la escala. Este error puede disminuirse mirando lo más perpendicularmente posible al plano de observación.





## FACTORES QUE AFECTAN A (AV)

# Características del operador

- Habilidad en el manejo de Instrumentos de Medición
- Experiencia en manejo de instrumentos y métodos de medición
- Conciencia en la realización de mediciones bien hechas y confiables
- Tomar más de una sola medición
- Agudeza visual
- Cansancio
- Estado emocional



## FACTORES QUE AFECTAN A (AV)

### Capacitación Recibida

- a) Interpretación de Planos
- b) Metrología
- c) Ajustes y Tolerancias Dimensionales y Geométricas
- d) Estimación de Incertidumbre
- e) Estudios estadísticos (GRR, Bias, Estabilidad, Linealidad)



## FACTORES QUE AFECTAN A (AV)

### Calor de la mano

Es recomendable evitar tocar las piezas y los instrumentos con la mano, se deben utilizar guantes o pinzas de material aislante para su manipulación. Por ejemplo, un eje de 200 mm de longitud tomado con las dos manos durante un intervalo de tiempo de 10 min corresponde con un aumento de la temperatura aproximado 3,5 °C, provocando que ésta se alargue del orden de 8  $\mu\text{m}$ .



---

## **APLICACION DE (RR) EN END**

Para algunos equipos de medición, principalmente los de prueba (ensayo) donde solo se puede evaluar una vez en el mismo punto (Durometro y Rugosimetro), así como en pruebas mecánicas de Tensión y compresión (máquinas universales de fuerza) y Análisis Metalográficos, en las que la muestra (mensurando) se destruye, las mediciones no se pueden repetir, por lo que se debe considerar la medición correcta cuando se cuente con los equipos debidamente calibrados y/o ajustados con Materiales de Referencia Certificados, aplicando métodos validados y utilizados por personal capacitado y especializado.