

Procedimiento para el análisis de repetibilidad y reproducibilidad en procesos de manufactura

Gonzalo González Rey

Correo electrónico: gonzalo.gonzalez@utags.edu.mx
Universidad Tecnológica de Aguascalientes, México

Artículo Original

Christopher Edgar Falcón Anaya

Correo electrónico: christopher.falcon@itesm.mx
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Aguascalientes, México

Resumen

Se presenta un procedimiento orientado al análisis de la repetibilidad y reproducibilidad (R&R) de un sistema de manufactura basado en mediciones dimensionales realizadas en una pieza o parte fabricada. Se hace uso del Método de Promedio y Rango que ha tenido mayor implementación y exclusividad en el análisis de estabilidad de sistemas de medición. Con el procedimiento presentado y mediante los resultados derivados del análisis de R&R se demuestra que el método puede ser también empleado en el análisis de la estabilidad de un sistema de manufactura.

Palabras claves: repetibilidad, reproducibilidad, proceso de manufactura

Recibido: 6 de diciembre de 2014 Aprobado: 15 de junio de 2015

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad de un programa de mejoramiento de calidad en los procesos de manufactura requiere disponer, entre otras cosas, de un sistema de medición confiable, de máquinas herramienta con capacidades y condiciones adecuadas a la producción demandada y de especialistas calificados para operar las máquinas.

El control de calidad en el proceso de manufactura se ejecuta sobre la base de una referencia que indica cuál debe ser el comportamiento típico de la característica que se asocia con la calidad del proceso de manufactura y esa referencia, en conjunto con el sistema de medición y debe ser estable en un período de tiempo extenso. La estabilidad del sistema debe garantizar medidas de fabricación y control en los rangos de funcionalidad establecidos [1], utilizando iguales métodos de fabricación y medición, con los mismos operarios y equipos, en intervalos de tiempo

comúnmente mayores a un año. Cuando un proceso de manufactura no logra los estándares del control de calidad requeridos se hace necesario que las causas generadoras de ese "sesgo" entre la calidad de producción que se obtiene y la calidad exigida sean investigadas.

Se conoce que la estabilidad en los sistemas de medición es evaluada con indicadores de repetibilidad y reproducibilidad [2-4]. Estos indicadores toman en consideración variaciones en las mediciones debidas al operario y también variaciones adjudicadas a los equipos de medición.

Repetitividad y reproducibilidad (R&R) son términos estandarizados adoptados por ISO [1] y ASTM [5] para evaluar la estabilidad de sistemas de medición, y están relacionados en principio con la precisión y estabilidad en el tiempo de las mediciones realizadas con un conjunto de instrumentos que miden la misma magnitud.

Las diferentes metodologías para evaluar la repetitividad y reproducibilidad en sistemas de medición, conocidas como RRG, fueron desarrolladas en la década del 60 del pasado siglo para tratar la estimación de la variación de un sistema de medidas aplicado a las industrias manufactureras [5]. En la actualidad, RRG es una práctica estándar en muchos ámbitos de la industria y los procesos.

El método del promedio y rango es empleado para el análisis de repetibilidad y reproducibilidad en los sistemas de medición, y posibilita seccionar en dos componentes por separado (repetibilidad y reproducibilidad) la variación del sistema de medición [4,6]. Este método permite precisar la influencia de los operarios y el equipamiento en la estabilidad del sistema basado en un procesamiento de datos obtenidos y clasificados según los instrumentos de medición, las medidas valoradas y los operarios que ejecutan las mediciones.

Se conoce que los resultados de la manufactura y las mediciones requeridas para el control de calidad de la producción están siempre sujetos a una dispersión de las medidas de las piezas elaboradas en el rango de tolerancias admitidas como funcionales y a la incertidumbre de las medidas por errores aleatorios [7,8] que deben ser valorados mediante un análisis estadístico de muestras que tipifique el proceso que se controla.

En particular, los autores han podido corroborar, que de manera práctica, también puede ser evaluada la estabilidad de los procesos en los sistemas de manufactura con indicadores de repetibilidad y reproducibilidad. Estos indicadores permiten evaluar en conjunto la variación que ocurre en un proceso de manufactura debida a las máquinas y a los operarios en condiciones controladas y específicas.

Es objetivo de este artículo presentar un procedimiento orientado al análisis de la repetibilidad y reproducibilidad (R&R) de un sistema de manufactura basado en mediciones dimensionales realizadas en una pieza o parte fabricada. El procedimiento presentado tiene sus fundamentos en el método de promedio y rango.

MÉTODO Y MATERIALES

El propósito de los estudios R&R es verificar que la variabilidad del sistema evaluado sea insignificante con respecto a la variación del producto que se controla en sus parámetros de calidad.

Los métodos para determinar la repetibilidad y la reproducibilidad de los procesos en los sistemas de manufactura, al igual que en los procesos de sistemas de medición, están basados en la evaluación estadística de las dispersiones de los resultados. La referida dispersión se considera como la diferencia entre las dimensiones de la pieza manufacturada y el valor de referencia aceptado con las tolerancias dimensionales funcionales.

En el procedimiento que se orienta, la evaluación de repetibilidad en el proceso brinda una medida de la dispersión de la distribución de los resultados de la manufactura que introduce un operario utilizando una máquina varias veces para hacer un mismo tipo de pieza, usando un idéntico proceso de manufactura, en

un ambiente estable y en intervalos cortos de tiempo. Por consiguiente, la repetibilidad será la variabilidad aleatoria de la producción de un operario por causa del equipamiento y derivadas de intentos sucesivos y bajo condiciones de fabricación definidas. El error de repetibilidad se considerará en el indicador *variación del equipamiento (EV)* y es una de las fuentes de error de los sistemas de manufactura que resulta de la variación o habilidad inherente de la máquina herramienta.

Por otra parte, la evaluación de la reproducibilidad en el proceso de manufactura definirá la variación del promedio de la producción cuando se ejecuta en una misma máquina herramienta con diferentes operarios, para fabricar un mismo tipo de pieza, en un ambiente estable y en intervalos cortos de tiempo. De esta forma, la reproducibilidad considerará la variabilidad de la producción entre operarios que hacen uso de la misma máquina herramienta. El error de reproducibilidad será evaluado con el indicador *variación del operario (AV)* y es una de las fuentes de error en los sistemas de manufactura que resulta de las diferencias en las habilidades de los operadores.

Es importante, que en este procedimiento sean realizadas las mediciones de las dimensiones de las piezas manufacturadas con un mismo instrumento y por un especialista designado para que los errores aleatorios propios de las mediciones no influyan en los resultados obtenidos al valorar la estabilidad del sistema de manufactura.

A continuación se presenta un procedimiento para el estudio de la repetibilidad y la reproducibilidad de los procesos en un sistema de manufactura, donde se explican las diferentes etapas y pasos necesarios para su implementación.

Procedimiento para análisis R&R de un sistema de manufactura

Etapas 1: Toma de datos. Como en cualquier análisis estadístico, mientras mayor sea el tamaño de la muestra mejores serán los resultados obtenidos del estudio, pero en análisis de procesos de manufactura, una muestra grande con participación de gran cantidad de personal y máquinas puede hacer muy costoso la aplicación del procedimiento, por consiguiente, para la planeación y preparación suficiente del estudio se recomienda lo siguiente:

- a) Las mediciones serán realizadas con un instrumento que permita apreciar al menos 1/10 de la medida de tolerancia de la magnitud en las piezas.
- b) La cantidad de piezas a controlar en cada máquina y por cada operario debe ser igual o mayor a 5.
- c) Los operarios elegidos serán seleccionados de aquellos que normalmente operan las máquinas a controlar y la cantidad debe ser igual o mayor a 2.
- d) Las máquinas serán seleccionadas de aquellas que usualmente participan en la producción y la cantidad dependerá mayormente del número de máquinas disponibles y debe ser igual o mayor a 2.

1.1. Se determinan las piezas fabricadas a controlar, los operarios a evaluar y las máquinas a controlar.

1.2. Cada operador fabricará la cantidad de piezas exigidas y serán consignados los resultados de las mediciones correspondientes a las piezas fabricadas por cada operario en una de las máquinas herramientas.

1.3. Los operadores repiten el paso anterior en las otras máquinas herramienta a controlar, pero esta vez en diferente orden y sin observar los resultados del trabajo realizado anteriormente por sus compañeros.

1.4. Los datos obtenidos son organizados en una tabla semejante a la que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Cantidad mínima y organización de datos para el estudio R&R				
	Operario A		Operario B	
	Maquina 1	Maquina 2	Maquina 1	Maquina 2
Dimensión 1				
Dimensión 2				
Dimensión 3				
Dimensión 4				
Dimensión 5				

Etapla 2: Cálculos estadísticos. El cálculo organizado de R&R de un proceso de manufactura es mostrado a continuación en función de los datos de partida compilados en la etapa 1.

2.1. Calcular el rango de variación de la dimensión controlada de la pieza por tipo de máquina para cada operario.

$$R_j = x_{máx} - x_{mín} \quad (1)$$

Siendo:

$x_{máx}$ y $x_{mín}$: Máxima y mínima dimensión controlada por tipo de máquina para cada operario.

j : Contador que identifica la máquina que trabaja cada operario ($j = 1, 2, \dots, n_{gm}$).

2.2. Calcular el rango promedio por tipo de máquina para cada operario.

$$\bar{R}_o = \frac{\sum_{j=1}^{n_{gm}} R_j}{n_{gm}} \quad (2)$$

Siendo:

n_{gm} : Cantidad total de máquinas que trabaja cada operario en el control.

o : Contador que identifica el operario ($o = 1, 2, \dots, n_{op}$).

2.3. Calcular el promedio de los rangos promedios por tipo de máquina de los operarios.

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\sum_{o=1}^{n_{op}} \bar{R}_o}{n_{op}} \quad (3)$$

Siendo:

n_{op} : Cantidad total de operarios en el control.

2.4. Calcular el indicador de variación por equipamiento. Este índice está asociado al error de repetibilidad y brinda información sobre la influencia de las máquinas en la variación aleatoria de la producción.

$$EV = \bar{R} \cdot \frac{5.15}{d_1} \quad (4)$$

Siendo:

d_1 : Factor estadístico evaluado por tabla 2, con $m = n_{gm}$ y $g = n_{op} \times n$.

n : Cantidad de piezas de muestra producida en cada máquina.

2.5. Calcular el índice relativo de repetibilidad.

$$\%EV = \frac{EV}{T} \cdot 100\% \quad (5)$$

Siendo:

T : Tolerancia de la dimensión de la pieza empleada en el control.

2.6. Calcular el promedio de las dimensiones de todas las piezas fabricada por cada operario.

$$\bar{x}_o = \frac{\sum_{i=1}^{n_{gm} \cdot n} x_i}{n_{gm} \cdot n} \quad (6)$$

Siendo:

x_i : Dimensión de la pieza i fabricada por el operario o .

i : Contador las piezas fabricadas por el operario.

Tabla 2 Valores d_1						
	Parámetro m (Para evaluar d_1 considerar $m = n_{gm}$)					
		2	3	4	5	6
Parámetro g (Para evaluar d_1 considerar $g = n_{op} \times n$)	1	1,41	1,91	2,24	2,48	2,67
	2	1,28	1,81	2,15	2,40	2,60
	3	1,23	1,77	2,12	2,38	2,58
	4	1,21	1,75	2,11	2,37	2,57
	5	1,19	1,74	2,10	2,36	2,56
	6	1,18	1,73	2,09	2,35	2,56
	7	1,17	1,73	2,09	2,35	2,56
	8	1,17	1,72	2,08	2,35	2,55
	9	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55
	10	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55
	11	1,16	1,71	2,08	2,34	2,55
	12	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55
	13	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55
	14	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54
	15	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54
	>15	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534

Leyenda: n_{gm} : Cantidad de máquinas.

n_{op} : Cantidad de operarios.

n : Cantidad de muestras por cada máquina para cada operario.

2.7. Calcular el rango de los promedios de las dimensiones de las piezas fabricadas por los operarios.

$$\bar{X}_D = \bar{X}_{imax} - \bar{X}_{imin} \quad (7)$$

2.8. Calcular el indicador de variación por operador. Este índice está asociado al error de reproducibilidad y permite valorar la variabilidad de la producción debido a operarios que hacen uso de la misma máquina como resultado de las diferencias en sus habilidades de operar la máquina.

$$AV = \sqrt{\left(\bar{X}_D \cdot \frac{5.15}{d_2}\right)^2 - \frac{EV^2}{n \cdot n_{gm}}} \quad (8)$$

Siendo:

d_2 : Factor estadístico evaluado por tabla 3.

Tabla 3

Valores d_2

Cantidad de operarios	2	3	4	5	6
Valor d_2 =	1,41	1,91	2,24	2,48	2,67

En los casos que el término bajo la raíz fuera negativo se adopta $AV = 0$, lo que indica que la variabilidad de la producción no es debida a los operarios.

2.9. Calcular el índice relativo de reproducibilidad.

$$\%AV = \frac{AV}{T} \cdot 100\% \quad (9)$$

2.10. Evaluar la resultante de la interrelación entre repetibilidad y reproducibilidad (%R&R):

$$\%R \& R = \sqrt{\%EV^2 + \%AV^2} \quad (10)$$

Etapla 3: Análisis de los resultados. Posterior al procedimiento ejecutado puede ser realizado el análisis de los resultados derivados del cálculo estadístico, y evaluar las causas que originan la variación de la producción en el proceso de manufactura.

En general, se considera un sistema de manufactura estable cuando $\%R\&R < 10\%$. En casos de valores entre 10 % y 30 % el sistema de manufactura puede ser aceptado condicionalmente como estable pero debe ser considerado un proceso de análisis para mejorarlo y establecer las causas que producen la actual variabilidad de la producción. En aquellos sistemas de manufactura que la resultante de la interrelación entre repetibilidad y reproducibilidad supere el 30% el sistema no puede considerarse aceptable: en estas condiciones las máquinas y los operarios introducen variaciones en la producción de las piezas con influencia en más del 30% del tamaño de la tolerancia de la medida funcional.

Cuando en el análisis, el índice relativo de repetibilidad sea mayor que el índice relativo de reproducibilidad, entonces se hace necesario mejorar las capacidades de precisión de la producción de las máquinas; en casos que el índice relativo de reproducibilidad sea mayor que el índice relativo de repetibilidad es muy probable que las habilidades de los operarios requieran ser mejoradas.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

El procedimiento antes presentado ha sido implementado con éxito durante 2 años académicos en el plan de estudio de la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) en el campus de Aguascalientes en los cursos de Laboratorio de Metrología en el tema de Análisis de Sistemas de Medición.

Para mostrar la validez del referido procedimiento, los autores han preferido ejemplificar su aplicabilidad a partir de la experiencia derivada de un trabajo de asesoría realizado en una empresa manufacturera que necesitó establecer un plan de acciones para garantizar la estabilidad del proceso de manufactura en producciones asociadas con máquinas taladradoras en su taller metalmecánico.

Ejemplo de aplicación del procedimiento

Etapla 1: Toma de datos

El análisis es realizado para valorar la estabilidad de un proceso de manufactura que implica la fabricación de agujeros con diámetros ϕ 12,4 Js10 ($\pm 0,035$) mm con empleo de 3 taladradoras verticales ($n_{gm} = 3$) manipuladas por 3 operarios ($n_{op} = 3$). Cada operario realizará 10 agujeros en las piezas de muestra ($n = 10$) en cada una de las 3 taladradoras. Las 90 mediciones de los agujeros de muestra serán realizadas por un experimentado controlador con empleo de un pie de rey digital con alcance de 150 mm y apreciación de 0,01 mm. Los datos obtenidos para ejecutar el cálculo estadístico se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Datos (mediciones en mm) para el estudio R&R

Muestra	Operador A			Operador B			Operador C		
	Máquinas			Máquinas			Máquinas		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	12,41	12,41	12,40	12,40	12,39	12,39	12,40	12,40	12,40
2	12,41	12,40	12,41	12,40	12,39	12,39	12,40	12,41	12,41
3	12,41	12,41	12,41	12,41	12,39	12,39	12,41	12,42	12,41
4	12,41	12,40	12,40	12,40	12,38	12,40	12,41	12,41	12,41
5	12,40	12,41	12,41	12,40	12,40	12,40	12,40	12,41	12,41
6	12,40	12,42	12,40	12,40	12,41	12,40	12,41	12,41	12,41
7	12,40	12,41	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	12,41	12,41
8	12,41	12,41	12,41	12,40	12,40	12,41	12,41	12,41	12,40
9	12,41	12,41	12,41	12,41	12,40	12,40	12,40	12,41	12,41
10	12,40	12,42	12,40	12,40	12,41	12,40	12,41	12,41	12,41

Etapla 2: Cálculo estadísticos

El cálculo de R&R del proceso de manufactura tiene su base en los datos de partida compilados en la tabla 4.

2.1. En la tabla 5 se observa el rango de variación de la dimensión de la pieza por máquina para cada operario, obtenido con empleo de la Ec. (1).

Tabla 5
Rangos de variación (en mm) por operario para cada máquina

Operador A			Operador B			Operador C		
Máquinas			Máquinas			Máquinas		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01

2.2. El rango promedio por tipo de máquina para cada operario es calculado mediante la Ec. (2).

$$\bar{R}_A = \frac{0,01+0,02+0,01}{3} = 0,013 \text{ 3 (mm)}$$

$$\bar{R}_B = \frac{0,01+0,03+0,02}{3} = 0,020 \text{ 0 (mm)}$$

$$\bar{R}_C = \frac{0,01+0,02+0,01}{3} = 0,013 \text{ 3 (mm)}$$

2.3. El promedio de los rangos promedios por tipo de máquina de los operarios es determinado con uso de la Ec. (3).

$$\bar{R} = \frac{0,013 \text{ 3} + 0,020 \text{ 0} + 0,013 \text{ 3}}{3} = 0,015 \text{ 5 (mm)}$$

2.4. El indicador de variación por equipamiento es calculado con la Ec. (4), un valor $d_1 = 1,693$ correspondiente con $m = 3$ máquinas y $g = 3$ operarios $\times 10$ muestras = 30, según la tabla 2.

$$EV = 0,015 \text{ 5} \cdot \frac{5,15}{1,693} = 0,047 \text{ 2 (mm)}$$

2.5. El índice relativo de repetibilidad es determinado con la Ec. (5) y un valor de tolerancia $T = 0,07$ mm.

$$\%EV = \frac{0,047 \text{ 2}}{0,07} \cdot 100\% = 67,4\%$$

2.6. Los resultados del promedio de las dimensiones de todas las piezas fabricada por cada operario y calculados con la Ec. (6) se presentan a continuación.

$$\bar{x}_A = 12,407 \text{ (mm)}$$

$$\bar{x}_B = 12,399 \text{ (mm)}$$

$$\bar{x}_C = 12,408 \text{ (mm)}$$

2.7. Con la Ec. (7) se determina el rango de los promedios de las dimensiones de las piezas fabricadas por los operarios.

$$\bar{X}_D = 12,408 - 12,399 = 0,009 \text{ (mm)}$$

2.8. El indicador de variación por operador es calculado con la Ec. (8): un valor $d_2 = 1,91$ correspondiente con 3 operarios (según la tabla 3), $n = 10$ muestras, $ngm = 3$ máquinas y un valor de indicador de variación por equipamiento $EV = 0,047 \text{ 2 mm}$.

$$AV = \sqrt{\left(0,009 \cdot \frac{5,15}{1,91}\right)^2 - \frac{0,047 \text{ 2}^2}{10 \cdot 3}} = 0,022 \text{ 7 (mm)}$$

2.9. El índice relativo de reproducibilidad es determinado con la Ec. (9) y el valor de tolerancia $T = 0,07$ mm.

$$\%AV = \frac{0,0227}{0,07} \cdot 100\% = 32,43\%$$

2.10. Finalmente y con la Ec. (10) es calculada la resultante de la interrelación entre repetibilidad y reproducibilidad.

$$\%R \& R = \sqrt{67,4^2 + 32,43^2} = 74,80\%$$

Etapa 3: Análisis de los resultados

El valor $\%R\&R = 74,8\% > 30\%$ indica que el sistema de manufactura no es aceptable pues la producción será de calidad inestable y variable. En las condiciones analizadas, las máquinas y los operarios pueden introducir variaciones en la producción de las piezas con influencia en más del 74% del tamaño de la tolerancia de la medida funcional. Las máquinas son las de mayor influencia en la inestabilidad del proceso de manufactura pues el índice relativo de repetibilidad es superior al índice relativo de reproducibilidad ($\%EV = 67,4\% > \%AV = 32,4\%$). Adicionalmente, se observa que los operarios introducen variaciones en la producción de las piezas con influencia en más del 32 % del tamaño de la tolerancia de la medida funcional.

Con los resultados obtenidos del análisis R&R fue recomendada una revisión de las máquinas en la etapa de mantenimiento programado, con el objetivo de verificar aspectos que pudieran estar influyendo en la capacidad de repetibilidad de las máquinas. Durante la verificación de las taladradoras verticales fue detectada en la máquina "B" un ligero desajuste del cabezal portacuchilla y desgaste promedio del orden de 0,01 mm de los escariadores asociados a la referida máquina. Estos aspectos sin duda alguna tenían influencia en la apreciada variación de las medidas de los agujeros fabricados en la máquina "B".

Asimismo, fue detectado que el operario identificado como "2" presentaba incumplimiento en el procedimiento de montaje del casquillo de la plantilla guía que generaba una pequeña impresión en la dimensión final del agujero maquinado.

CONCLUSIONES

El procedimiento presentado se encuentra orientado al análisis de la repetibilidad y reproducibilidad (R&R)

de un sistema de manufactura con base en mediciones dimensionales realizadas en una pieza o parte fabricada. Dicho procedimiento está fundamentado en el método de promedio y rango.

Resultados del procedimiento que correspondan con valores de $%R\&R < 10\%$ permiten asegurar que el proceso de manufactura es estable. En casos de $%R\&R$ entre 10% y 30% el proceso de manufactura puede ser aceptado condicionalmente como estable pero debe ser considerado un proceso de análisis para mejorarlo y establecer las causas que producen la variabilidad de la producción. En aquellos sistemas de manufactura que la resultante de la interrelación entre repetibilidad y reproducibilidad supere el 30 % el sistema no puede considerarse aceptable, en estas condiciones las máquinas y los operarios introducen variaciones en la producción de las piezas con influencia en más del 30% del tamaño de la tolerancia de la medida funcional.

Cuando en el análisis se observa que los índices de repetibilidad sean mayores que los indicadores de reproducibilidad se hace necesario mejorar las capacidades de precisión de las máquinas; en casos que los índices de reproducibilidad sean mayores que los indicadores de repetibilidad es muy probable que las habilidades de los operarios requieran ser mejoradas.

Mediante el análisis de R&R orientado a procesos de manufactura, tal y como fue mostrado en el ejemplo presentado anteriormente, puede ser detectada la inestabilidad de un proceso de manufactura por maquinado que pudiera parecer adecuado al observarse que las dimensiones de las piezas son admisibles para el rango de tolerancia funcional establecida.

REFERENCIAS

1. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA CUBANA. "Lineamientos para el uso de los estimados de repetibilidad, reproducibilidad y veracidad en la evaluación de la incertidumbre de la medición (ISO-TS 21748: 2004, IDT)". NC-ISO-TS 21748: 2008, 45 pp., Oficina de Normalización Nacional, La Habana, Cuba, 2008.
2. **PORTUONDO PAISAN, Yoel; PORTUONDO MORET, Juan.** "La repetibilidad y reproducibilidad en el aseguramiento de la calidad de los procesos de medición". *Tecnología Química*, vol. XXX, núm. 2, 2010, pp. 117-121. ISSN 2224-6185, Disponible en Web: <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/tq/article/viewFile/2815/2327> [consultado abril 2014].
3. **LLAMOSA R., Luis Enrique; MEZA CONTRERAS, Luis G.; BOTERO ARBELAEZ, Marcela.** "Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la Norma Técnica NTC-ISO/IEC 17025". *Scientia et Technica*. Año XIII, núm 35, agosto de 2007, Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701. Disponible en Web: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4805090.pdf> [consultado abril 2014].

4. **DIERING, Magdalena; PAJZDERSKI, Diering.** "The $%R\&R$ index – Proposals and guidelines on the reference value and acceptance criteria". *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, vol. 16, núm. 1, pp. 111-114, 2012. ISSN 2303-4009. Disponible en Web: <http://www.tmt.unze.ba/zbornik/TMT2012Journal/23.pdf> [consultado abril 2014].
5. **LUKO, Stephen.** "¿Qué son la repetitividad y la reproducibilidad?, 3ra. parte" *ASTM Standardization News*. Julio/agosto 2009. ISSN: 1094-4656. Disponible en Web: http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJA09/datapoints_spja09.html [consultado abril 2014].
6. AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (AIAG). *Análisis de sistemas de medición. Manual de referencia*. 4ta ed. Publicado por Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 240 pp., Michigan, USA, 2010.
7. **MORRIS, Alan S.; LANGARI, Reza.** *Measurement and Instrumentation. Theory and Application*. 2012, Edit Butterworth-Heinemann, 640 pp. ISBN: 978-0-12-381960-4.
8. **FIGLIOLA, Richard S.; BEASLEY, Donald E.** *Theory and Design for Mechanical Measurements*. 5th edition, 2011. Edit. John Wiley & Sons, Inc., 605 pp. ISBN: 978-0470547410.

AUTORES

Gonzalo González Rey

Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor, Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Aguascalientes, México. Miembro Académico de la Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes (AGMA)

Christopher Edgar Falcón Anaya

Ingeniero Mecánico. Máster en Ingeniería de Manufactura, Ciencias Técnicas, Especialista de los Laboratorios del Centro de Desarrollo de Ingeniería Automotriz de México (CeDIAM), Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Aguascalientes, México

Procedure for the Analysis of Repeatability and Reproducibility in Manufacturing Process

Abstract

A procedure for the analysis of repeatability and reproducibility conditions (R&R) in a manufacturing system is presented. The analysis of repeatability and reproducibility is based in measurement of dimensions from a piece or manufactured part. The procedure is fixed by means of method of average and range with great acceptance and exclusivity in the study of measurement system analysis. This procedure and results derived of R&R analysis prove that method of average and range could be used in the stability study of manufacturing systems.

Key words: repeatability, reproducibility, manufacturing process