

Validation of a measurement system designed to evaluate the strength of opening of dryers

**José Daniel Mosquera-Artamonov*, Priscilia Martínez-López,
Rosa Carrión-Jaimes, Maritxell Rodríguez, Roxana Velázquez Lanuza,
Luis Alfredo Lúcia Mendoza**

*Posgrado de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Universidad Autónoma de Nuevo León, Ciudad Universitaria. C.P. 66451.
San Nicolás de los Garza, Nuevo León-México. * xoce15@ingenieros.com*

Abstract

The article shows the results achieved in the generation and evaluation of a device for measuring the opening force required dryers produced by a company of appliances Queretaro, Mexico. To obtain the results a R&R was applied under the method of ANOVA, determined in the first instance the significance of the variables of the current process. Posteriorly using the proposed device and using three operators (one internal and external two), two replicas with a total of 10 drying was established that for the current process, and the operator parts generate statistical significance and therefore are responsible this variation. It can be noted that using the measuring device, the operator had no significant effect on the measurements; this variation only change dryer dryer. With the implementation of the measuring device improved the process, which will be presented in detail in this article were reported.

Keywords: repeatability, reproducibility, analysis of variance, operator.

Validación de un sistema de medición diseñado para evaluar la fuerza de apertura de secadoras

Resumen

El artículo muestra los resultados logrados en la generación y evaluación de un dispositivo para medir la fuerza de apertura requerida de secadoras producidas por una empresa de electrodomésticos de la ciudad de Querétaro, México. Para la obtención de los resultados se aplicó un R&R bajo el método de ANOVA, determinándose en una primera instancia la significancia de las variables del proceso actual. De forma posterior, empleando el dispositivo propuesto y usando 3 operadores (uno interno y dos externos), con 2 réplicas en un total de 10 secadoras se estableció que para el proceso actual, el operador y las partes generan significancia estadística y por consiguiente son causantes de la variación presente. Se puede destacar que usando el dispositivo de medición, el operador no tuvo efecto significativo en las mediciones; solo la variación presente del cambio de secadora a secadora. Con la implementación del dispositivo de medición se tuvo una mejora en el proceso, la cual será presentada de forma detallada en este artículo.

Palabras clave: repetibilidad, reproducibilidad, análisis de varianza, operador.

1. Introducción

El desarrollo industrial ha ido acompañado de una incesante búsqueda de métodos para con-

trolar los atributos de calidad de los productos fabricados. Las industrias desean tener un sello de diferenciación de sus productos (precio, durabilidad, facilidad de uso, estética, entre otras) para

que se haga evidente a los clientes potenciales, en el momento de tomar la elección de compra del bien o servicio [1].

Este desarrollo ha llevado a enfocar las políticas de calidad no solo en el producto o servicio mismo, sino en el control de los procesos mediante los cuales se produce. Esto último ha potencializado la generación de diferentes métodos que permitan controlar los factores que inciden en la calidad; entre los más conocidos métodos de control de procesos están: ciclo de Deming, Kaizen, Lean Manufacturing, Six Sigma, Lean Six Sigma DMAIC, AMEF, entre otras [2].

Las empresas del sector de electrodomésticos para cumplir con sus estándares de calidad del producto entre muchos parámetros, deben medir la fuerza de apertura de las puertas de las secadoras. Este procedimiento es requerido para poder comercializar el producto tanto al cliente nacional como internacional (UL 2158), y garantizar el diseño de productos confiables para los usuarios, buscando no tener reclamos y/o quejas de los mismos por el mal uso de las secadoras.

Los procesos que son medidos pueden ser mejorados, pero cuando las técnicas de medición y los equipos utilizados no son fiables, los ingenieros y/o administradores, tienen una alta probabilidad de tomar decisiones incorrectas, afirmando que un producto es confiable cuando realmente no lo es (error tipo II) [3]. Por lo cual es fundamental validar los sistemas y/o dispositivos de medición, estando directamente relacionado con un aumento en la satisfacción del cliente así como en las utilidades de la empresa.

La creación de dispositivos de medición (DM) para los diferentes procesos desarrollados por la empresa es un proceso sencillo, si no se tiene en cuenta la validación y aprobación del DM bajo pruebas estadísticas [4]. El proceso de medición al ser un proceso repetitivo con una periodicidad alta, genera variación en los resultados obtenidos y por consiguiente incertidumbre en la toma de decisión sobre la validez y capacidad de un proceso, viéndose afectado el control del proceso. Dicha afirmación es representada en la Figura 1, en donde se tiene la variación del proceso, la del instrumento y finalmente la suma de estas dos variaciones da como resultado la variación total del proceso de producción. Dado al anterior fenó-

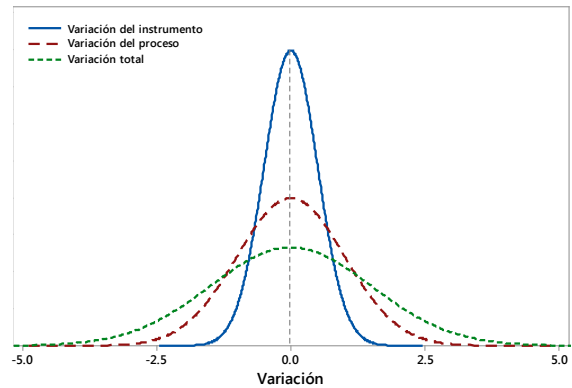


Figura 1. Variación de un proceso productivo incluyendo la variación por el sistema de medición.

meno surge la necesidad de tener instrumentos de medición calibrados y que disminuyan la aportación a la variación total del proceso.

En la actualidad hay varios análisis que permiten determinar el ruido y variabilidad generado por el operador o por el instrumento de medición. Se pueden aplicar algunos de los principios estadísticos para analizar la calidad de las mediciones:

- Control estadístico del proceso (para evaluar y mantener la estabilidad del proceso de medición, mediante el uso de gráficos de control, ICP, diagramas Ishikawa) [5, 6].
- Análisis de varianza (ANOVA): para detectar los factores que afectan de manera significativa a la variabilidad del proceso de medición [7].
- El análisis de repetibilidad y reproducibilidad (GR&R), el cual vincula herramientas del control de procesos con el análisis de varianza [8, 9].

1.1. Planteamiento del problema

El presente trabajo se desarrolla en una empresa de la industria de electrodomésticos de la ciudad de Querétaro (México), en el periodo comprendido entre abril-agosto de 2012. En dicha empresa, las mediciones de fuerza de apertura de las secadoras se hacen de forma manual: el operario pone una rodilla en el piso y la otra pierna la deja en forma de L, así se busca distribuir la fuerza producida por el jalón hecho por el operario (dicha postura se tomó como el método de

la empresa para evaluar la fuerza requerida en la apertura de las secadoras). Parte de esta postura se muestra en la Figura 2.

La fuerza de apertura de cada secadora es inspeccionada por el mismo operario, dado que no se quiere generar variaciones por el cambio de operador en la medición. Dicha restricción en el cambio de operarios, fomenta la monotonía, bajo rendimiento del trabajador, así como dependencia del operario, entre otros factores. Este procedimiento permite determinar si se está cumpliendo con los requerimientos mínimos de seguridad por parte del proceso de producción (9 ± 2 N), además de determinar si de producto a producto es consistente el proceso de ensamble de puertas.

La presente investigación tiene como objetivo validar un dispositivo de medición (DM) confiable y suficientemente robusto que permita medir así como auditar la fuerza de apertura en la puerta de las secadoras de ropa producidas por la empresa.

Materiales y métodos

2.1. Materiales

Para el diseño del dispositivo de medición se usó el análisis jerárquico analítico [10,11] con 5 factores, en donde la prioridad de factores es: para el diseño en (42%) seguro, (40%) Confiable, (10%) Económico, (5%) ligero y con un diseño estéticamente agradable (4%)¹.

Las ponderaciones de los factores fueron tenidas en cuenta para el diseño del dispositivo de medición (DM), haciendo mayor énfasis en la seguridad y confiabilidad al momento de realizar las mediciones. El dispositivo diseñado permite variar la altura (en donde está ubicado el dinamómetro) admitiendo la utilización de diferentes referencias de secadoras sin necesidad de hacer grandes cambios en el DM. En la Figura 3 se muestra en detalle el DM propuesto para la empresa en donde se especifican cada uno de las piezas necesarias para el dispositivo.



Figura 2. Postura tomada por el operador para la medición.

2.2. Método de análisis

Para la evaluación del DM diseñado, se midió la fuerza de apertura de las puertas de las secadoras, realizando mediciones con el dispositivo propuesto y con el método convencional que se usa en la empresa (Figura 2). Los registros se tomaron con 3 operadores (uno de la empresa y dos externos), quienes realizaron 10 mediciones en diferentes secadoras del mismo modelo, realizando 2 repeticiones para cada uno de los métodos (empresa y con el DM).

El método estadístico utilizado para el análisis de los procedimientos de medición (empresa y con el DM) fue el análisis de ANOVA para estudios R&R [12], dado que se puede determinar la variación con mayor exactitud, determinando el porcentaje de contribución que presenta el operador, el instrumento, la pieza y el método de medición. En la Figura 4 se muestra el alcance y división de la variación realizado a través del método de ANOVA.

1 Para esta propuesta el costo de producción del dispositivo de medición no es tan importante (5%), dado que es una necesidad no atendida para la empresa (no depender de un operario para realizar las mediciones). El tiempo de medición no es un criterio importante en esta etapa para los investigadores.

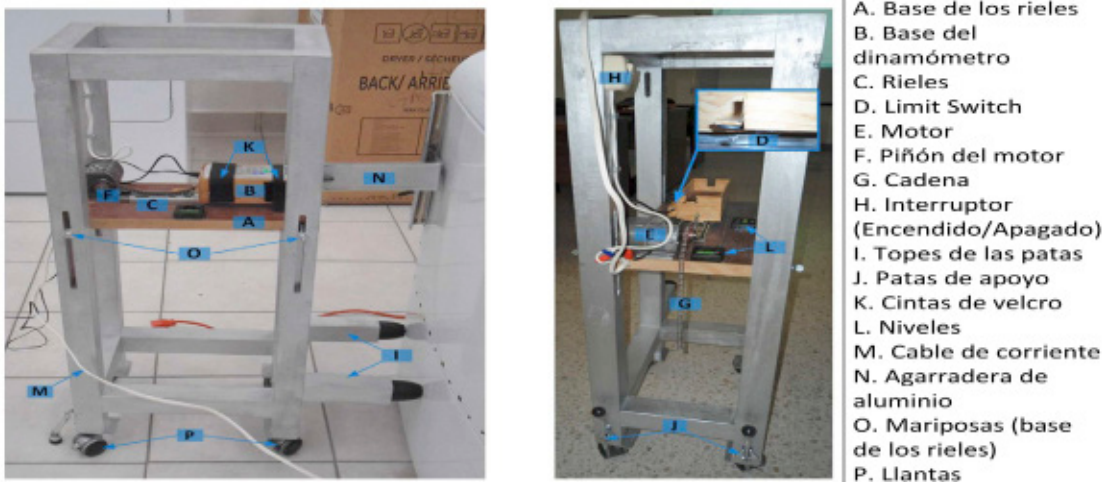


Figura 3. Dispositivo de medición propuesto.

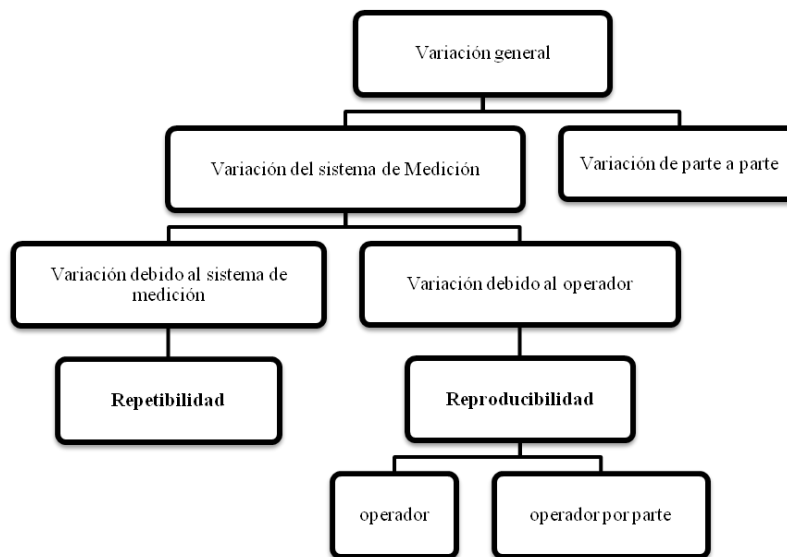


Figura 4. División de la variación.

3. Resultados

3.1. Evaluación del DM

Las muestras 9 y 10, presentan diferencias significativas entre las demás muestras: la muestra 9 no requiere demasiada fuerza para su apertura y la muestra 10 requiere más fuerza de la especificación óptima para ser abierta. El interior de la manija de la puerta de las secadoras 9 y 10, están fabricadas por un material diferente a las demás y son tomadas en cuenta en el análisis por petición de los ingenieros de la empresa.

Los estimativos obtenidos en el análisis R&R (repetibilidad y reproducibilidad) fueron calculados con una variación del estudio de 6 desviaciones estándar (6σ). Usando el análisis R&R, se puede afirmar que el operador no tiene efecto significativo en las mediciones con un valor P de 0,9. La variable que tiene mayor efecto en las mediciones del dispositivo es la consistencia de cada puerta con un valor P de 0.000, volviendo la iteración entre las partes y el operador significativo (P-value 0.000) (Tabla 1).

Analizando la Tabla 1, dado el porcentaje de contribución del sistema de medición (6,37%)

Tabla 1
R&R para las mediciones realizadas con el dispositivo

ANOVA con iteración para medición CON dispositivo					
Fuente	GL	SS	MS	F	P
Partes	9	176,616	19,624	54,486	0,000
Operadores	2	0,007	0,003	0,010	0,990
Partes*operadores	18	6,483	0,360	4,698	0,000
Repetibilidad	30	2,300	0,077		
Total	59	185,406			
R&R del sistema de medición					
Fuente	comp Var	% contribución	Desv.Est	Variación	% Variación
R&R del SM Total	0,2184	6,370	0,467	2,804	25,240
Repetibilidad	0,0767	2,240	0,277	1,661	19,950
Reproducibilidad	0,1417	4,130	0,377	2,259	20,330
Operadores	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Operadores*Partes	0,1417	4,130	0,376	2,259	20,330
Parte a Parte	3,2106	93,63	1,792	10,751	96,760
Variación total	3,4290	100	1,855	11,111	100

se puede afirmar que este sistema es aceptable pero depende de la aplicación, el costo del dispositivo de medición, el costo de las reparaciones u otros factores. Teniendo las mismas conclusiones analizando el porcentaje de variación del estudio (25,24%). El estudio R&R del sistema de medición total explica 25,24% de la variación del estudio. Aunque el porcentaje de contribución del estudio R&R del sistema de medición total es aceptable, es posible mejorarlo. Además de afirmar que el proceso de fabricación de las puertas debe ser evaluado, dado al alto porcentaje de contribución en el porcentaje de variación y su valor P en el análisis de varianza (P-value 0.000). Para el sistema de medición, el número de categorías distintas es 5. De acuerdo con el método AIAG [13]. Se puede afirmar que el sistema de medición es adecuado.

Dado que la reproducibilidad es mayor a la repetibilidad, esto indica que es necesario capacitar mejor a los operadores tanto en el manejo del instrumento como en la toma de los datos [4, 14, 15]. Se había mencionado que las secadoras 9 y 10 tienen valores extremos en la fuerza requerida para ser abiertas. Al mirar la Figura 5 (datos por partes) se puede observar que las secadoras 7 y 8

presentan valores diferentes a las secadoras del 1 al 6.

En la Figura 5 (E) las mediciones realizadas por los tres operarios tienen la misma tendencia, la cual era de esperarse dado que el operario no tiene efecto significativo en las mediciones realizadas (Tabla 1).

En los componentes de variación se identifica que la variación existente fue contribuida por las diferencias existentes entre las partes. En donde los datos 9 y 10 presentan datos extremos, límites inferior y superior como se menciona anteriormente que dichas secadoras presentan grandes diferencias al momento de realizar las mediciones.

3.2. Evolución del método de la empresa (sin dispositivo)

Para analizar la diferencia real entre el sistema de medición propuesto, se compara con método usado por la empresa (Figura 2).

En la Tabla 2, se presenta el análisis del sistema de medición anterior, es decir manual usando el método de la empresa, "sin el dispositivo propuesto" (Figura 2). La significancia de las

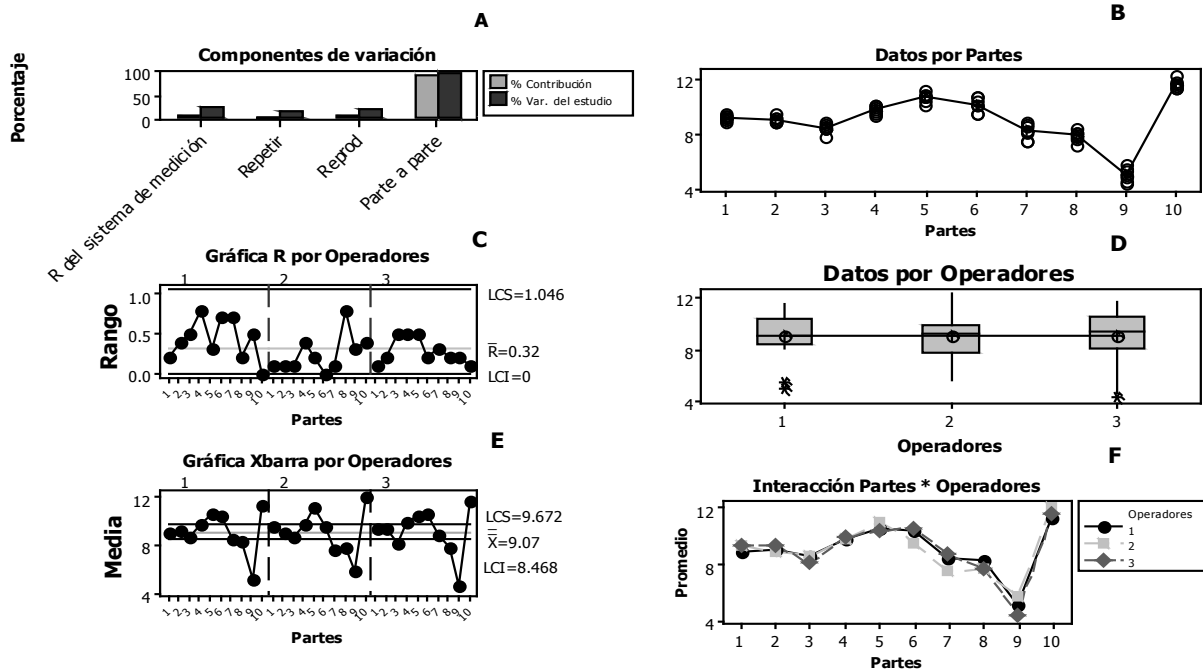


Figura 5. Análisis R&R para los datos recolectados con el dispositivo.

Tabla 2
 R&R para las mediciones realizadas sin el dispositivo

ANOVA con iteración para sin dispositivo					
Fuente	gl	SS	MS	F	P
partes	9	226,31	25,146	29,764	0,000
operadores	2	18,986	9,493	11,237	0,001
partes*operadores	18	15,207	0,845	4,288	0,000
Repetibilidad	30	5,910	0,197		
Total	59	266,413			

R&R del sistema de medición					
Fuente	comp Var	% contribución	Desv.Est	Variación	% Variación
R&R del SM Total	0,95333	19,050	0,9764	5,858	43,650
Repetibilidad	0,197	3,940	0,444	2,663	19,840
Reproducibilidad	0,75633	15,120	0,870	5,218	38,880
Operadores	0,43242	8,640	0,658	3,945	29,400
Operadores*Partes	0,32392	6,470	0,569	3,415	25,440
Parte a Parte	4,05012	80,950	2,0125	12,075	89,970
Variación total	5,00345	100	2,237	13,421	100

variables partes, operador y su iteración es alta (P-Value es menor a 0,05).

El porcentaje de contribución del R&R es de 19,05% y el porcentaje de variación percibido por el sistema de medición es de 43,65%, se puede afirmar que este sistema de medición no es aceptable. En donde el factor de variación principal es la parte (89,97%), conclusión similar notada al momento de usar el dispositivo, seguido por el operador con un 29,4%. En la Figura 6, se puede apreciar la variación: operador a operador (D) (E) en donde los operadores 2 y 3 son personas no entrenadas en el proceso de medición. Mostrando que la variación generada por el operador experto (de la empresa) es mayor que la variación generada por los operadores externos. Permitiendo afirmar que el operario 1 está viciado por la operación que desarrolla.

En la Figura 6, se nota que la variación por operador es mayor que la presentada al momento de utilizar el dispositivo, además el operador 2 tiene la variación más baja, los datos atípicos

son los datos medidos en la secadora 9. La variación entre cada medición realizada en cada secadora (B) es mayor que la presentada en la Figura 5-B.

Conclusiones

Al evaluar el método aplicado por la empresa para medir la fuerza para abrir las secadoras, se concluye que el operador genera efecto con significancia estadística (P-value 0,001). Al momento de tomar las medidas, se encontró variaciones considerables entre operadores. El método usado por la empresa presenta un porcentaje de contribución del 19,05% y un porcentaje de variación del 43,65%. Con lo cual se puede afirmar que esta metodología no es apropiada para la medición y las conclusiones dadas al momento de análisis los datos pueden tener un error de tipo II.

En el control del proceso de fabricación y ensamble de las puertas de las secadoras se encontró que de 10 secadoras, 2 puertas están por

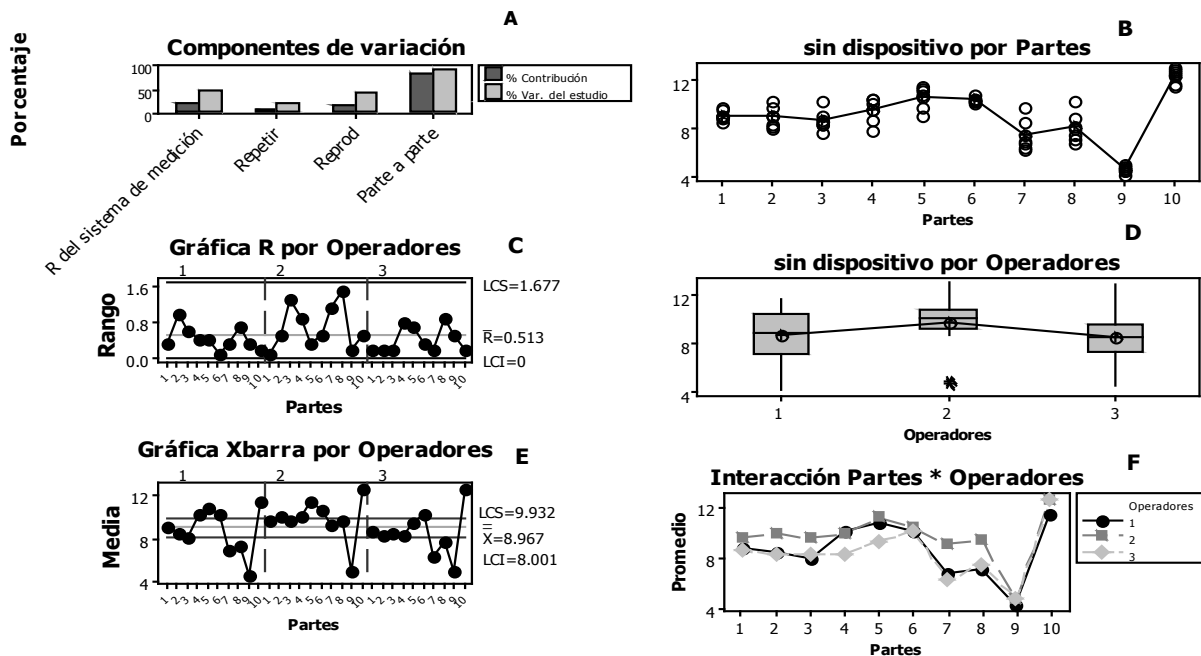


Figura 6. Análisis R&R para los datos recolectados SIN el dispositivo.

- Las unidades por fuera de los límites de control son reprocesadas para que cumplan con las especificaciones según la norma, causando un sobre costo por este proceso.

fuera de los límites de variación del grupo y una está por los fuera de los límites de control estipulados por la norma².

Para el sistema de medición propuesto para la empresa, bajo el análisis de ANOVA, no se presenta efecto significativo por el operador (P-value 0,99). Cumpliendo con uno de los objetivos propuestos para el equipo investigativo de que no existiera diferencia al momento de realizar las mediciones. El porcentaje de contribución del sistema de medición es de 6,37% y el porcentaje de variación es de 25,24%, mostrando una considerable mejora a comparación del método de la empresa de 43,65% y 29,4% respectivamente. Se puede afirmar que el dispositivo de medición propuesto es adecuado para la necesidad de la empresa actualmente.

Agradecimientos

Los autores dan las más sinceras gracias a la empresa por la facilitación de la información que dio resultado al presente artículo, además líder de confiabilidad por las aclaraciones realizadas durante el proceso de análisis de la información y los operarios del proceso los cuales aportaron su conocimiento del método de medición.

A la Unidad de Vinculación Tecnológica y Proyectos Especiales de la Universidad Autónoma de Querétaro, por el apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

J.D. Mosquera-Artamonov agradece al CONACYT por la beca de posgrado. P. Martínez-López, R.E. Carrión-Jaimes y R Velázquez-Lanuzza agradecen a la SESEQ específicamente a la Dirección de Regulación y Fomento Sanitario, por la beca otorgada para cursar el postgrado. A las ingenieras Haidee Martínez Navarro, Mónica Pérez Luna por los aportes realizados en el transcurso de la investigación.

Referencias bibliográficas

1. Sokolov Y. Capability and Performance.isixsigma (2010). Disponible en: http://www.isixsigma.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=1479:capability-and-performance&Itemid=199.
2. Ordorica-Villalvazo J., Camargo-Wilson C., de la Vega- Bustillos. E. J, López-Bonilla. O.R., Olgún-Tiznado. J.E. y López Barreras. J.A.: "Validación de un sistema de medición aplicado a un estudio de termografía sensorial para la detección de desórdenes de traumas acumulados". Ingeniería Industrial. Vol. 10, (2011) 69-84.
3. Unidad II. Prueba de Hipótesis. Instituto Tecnológico de Chihuahua. (2003) Disponible en <http://www.itch.edu.mx/academic/industrial/estadistica1/cap02.html>.
4. Llamosa L. E., Meza-Contreras L. G. y Bote-ro-Arbelaez. M.: "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. Vol. XIII, No. 35 (2007) 455-460.
5. Mosquera-Mosquera J.C, Mosquera-Artamonov J.D. y Medina-Varela P.D.: "Evaluación del índice de capacidad del proyecto de deserción académica en la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP)". Revista Educación en Ingeniería. Vol. 9, (2010) 96-103.
6. Jaramillo-Castro L.R. y Hernández O.R.: "Relación entre Estudios de capacidad de Proceso y Estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad". ConcienciaTecnológica. Vol. 33 (2007) 31-35.
7. HoaglinD.C. y Roy W.E.: "The Hat Matrix in Regression and ANOVA". The American Statistician. Vol. 32, No.1 (1978) 17-22.
8. Baéz Y. A., Limon J., Tlapa D.A. y Rodríguez. M.A.: "Aplicación de Seis Sigma y los Métodos Taguchi para el Incremento de la Resistencia a la Prueba de Jalón de un Diodo Emisor de Luz". Inf. Tecno Vol. 21, No.1 (2010) 63-76.
9. Romero L.F. y Romero-Borbón D.L.: "Estudio RyR por atributos de un proceso de inspección en el sector automotriz". Produção em Foco, Vol. 1 (2011) 140-165.
10. Saaty. R.W.: "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical Modelling", Vol. 9, No.3 (1987) 161-176.
11. Saaty T y Basak I.: "Group decision making using the analytic hierarchy process. Mathematical and Computer Modelling". Vol. 17, No 4 (1983) 101-109.

12. Fu-Kwun W. y Tzu-Wei. C.: "Process oriented basis representation for a multivariate. Gauge study. Computers & Industrial Engineering". Vol. 58, No. 1 (2010) 143-150.
13. AIAG. Automotive Industry Action Group. "Measurement Systems Analysis Reference Manual", 3rd edition. Chrysler, Ford, General Motors Supplier Quality Requirements Task Force.(2002) Disponible: <http://files.instrument.com.cn/FilesCenter/20080819/200881916224076263.pdf>.
14. Tamayo-Arenas J. J., Meza-Contreras L. G. y Osorio-Durán. N. P.: "Control de calidad en calibraciones realizadas en el laboratorio de medida de energía de epm". Scientia Et Technica, Vol. XVI, No. 48 (2011) 7-12.
15. Botero-Arbeláez M., Arbeláez-Sañazar O. y Mendoza-Vargas. J.A.: "Método Anova utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición". Scientia Et Technica, Vol. XIII, No. 37 (2007) 533-537.

Recibido el 12 de Marzo de 2014

En forma revisada el 23 de Marzo de 2015