

Validación estadística del instrumento virtual para desbalanceo dinámico en dos planos mediante un diseño de experimentos 2²

HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo†, SILVA-JUÁREZ, Alejandro, SALAZAR-PEDRAZA, Miguel de Jesús y GALLARDO-NAVARRO, José Luis

División de Mantenimiento Industrial, Universidad Tecnológica de Puebla

Recibido 3 de Julio, 2017; Aceptado 8 de Septiembre, 2017

Resumen

El mantenimiento predictivo busca que las tareas de mantenimiento industrial mejoren la calidad de los productos y/o servicios prestados. El análisis de vibraciones permite diagnosticar un gran porcentaje de fallas. Un cambio en la vibración básica de una máquina, siempre y cuando está funcionando en condiciones normales, será indicativo de que algún defecto incipiente se está dando en alguno de sus elementos, provocando un cambio en las condiciones de funcionamiento de la misma. Por ello, la Universidad Tecnológica de Puebla (UTP) desarrolló una aplicación virtual para el diagnóstico y corrección del desbalanceo mecánico de rotores rígidos en uno y dos planos valorando la severidad de acuerdo a la norma ISO 1940-1:2003. De acuerdo al Modelo de la aproximación de Taguchi, las desviaciones de calidad en las características de los servicios y productos desarrollados de acuerdo al estándar, se ven afectados por las tareas proactivas de mantenimiento. Para probar que no hay efectos significativos en la aplicación virtual para el balanceo mecánico de un rotor rígido, se lleva a cabo un diseño de experimentos (DOE) para validar estadísticamente el instrumento virtual diseñado en la UTP para el desbalanceo dinámico en rotores rígidos.

vibraciones, instrumento virtual, diseño de experimentos

Abstract

Predictive maintenance seeks to ensure that industrial maintenance tasks improve the quality of the products and / or services provided. The analysis of vibrations allows diagnosing a big average of failure. A change in the basic vibration of the machine, when it is operating under normal conditions, will be indicative that some defect is incipient is developing in some of its elements, causing a change in the operating conditions of the same. For this reason, the Universidad Tecnológica de Puebla (UTP) developed a virtual application for the diagnosis and correction of the mechanical imbalance of rigid rotors in one and two planes evaluating the severity according to ISO 1940-1: 2003. According to Taguchi's model of approximation, the quality deviations in the characteristics of the services and the products developed according to the standard are affected by the proactive maintenance tasks. To prove that there are not significant effects in the virtual application for the mechanical unbalance of a rigid rotor, a design of experimental (DOE) is performed to statistically validate the virtual instrument designed in the UTP for dynamic unbalance in fixed rotors.

Vibrations, virtual instrument, design of experiments

Citación: HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo, SILVA-JUÁREZ, Alejandro, SALAZAR-PEDRAZA, Miguel de Jesús y GALLARDO-NAVARRO, José Luis. Validación estadística del instrumento virtual para desbalanceo dinámico en dos planos mediante un diseño de experimentos 2². Revista de Innovación Sistemática 2017. 1-3:1-9

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La importancia del instrumento virtual para el diagnóstico y corrección del desbalanceo mecánico en rotores rígidos en uno y dos planos es que puede competir con los instrumentos de marcas reconocidas, ya que ha sido probado en diferentes empresas con sus propios instrumentos de medición de desbalanceo.

Un diseño de experimentos será aplicado a los resultados obtenidos por el instrumento virtual para el diagnóstico y corrección del desbalanceo mecánico de rotores rígidos en uno y dos planos valorando la severidad de acuerdo a la norma ISO 1940-1:2003, desarrollado en la Universidad Tecnológica de Puebla (Silva J., Salazar P., Ponce, & Herrera S., 2016) para compararlos con los resultados de los instrumentos de las empresas. Este diseño experimental examina estadísticamente la eficacia del instrumento virtual para obtener un mayor apego a los requerimientos nominales y objetivos (Montgomery, 2004) de la norma ISO 1940-1:2003 por medio de un diseño de experimentos 2^2 , es decir, dos factores con dos niveles.

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una máquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración; reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias (Vera, 2000). Por otro lado, el establecimiento de parámetros de operación normales permiten diferenciar situaciones fuera del estándar, lo cual se logra mediante un análisis de vibraciones, una de las metodologías más certeras en el diagnóstico y monitoreo de equipos y elementos (Mora, 2013).

También, el mantenimiento predictivo es una secuencia lógica que detecta un problema, se estudia, se encuentra su causa, y finalmente se decide la posibilidad de corregirlo (Royo, Torres, & Rebanaque, 2000):

- Detección: Reconocimiento del problema.
- Análisis: Localización de la causa del problema.
- Corrección: Encontrar el momento y forma de solucionar el problema.

Por otra parte, entre los parámetros relevantes de vibraciones están: severidad de la vibración, espectros, situaciones de movimiento, velocidades pico, banda octava, desviaciones en las frecuencias, ángulos de fase, bandas amplias y estrechas, entre otras. Esto tiene como consecuencia, fallas no previstas en equipos rotatorios, se pueden clasificar en accidentes o pérdidas económicas, dada la necesidad de optimizar los procesos de mantenimiento, diseño y fabricación, la detección de fallas en equipos es un factor fundamental para lograr este objetivo (Camacho, Palacios, Ramírez, Vera, & Anchondo, 2016).

El desbalanceo en un rotor es la combinación de desbalanceo estático y desbalanceo por par de fuerzas (vea figura 1). Para corregir el desbalanceo dinámico es necesario hacer mediciones de vibración mientras el rotor está trabajando y hacer correcciones en dos planos.

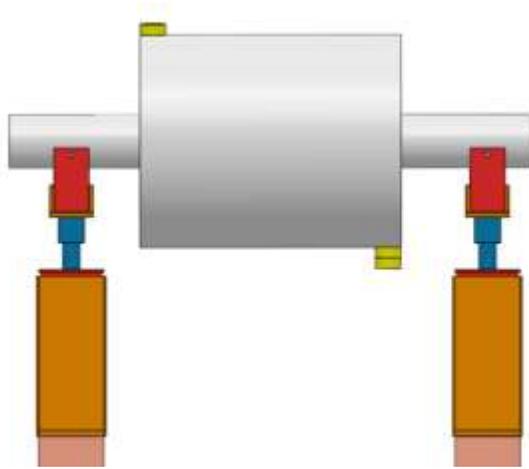


Figura 1 Desbalanceo en dos planos

Fuente. Silva J., A., Salazar P., M. A., Ponce, M. J., & Herrera S., G. (2016)

Este análisis, busca probar que estadísticamente el instrumento virtual en comparación con los instrumentos de las empresas involucradas, dan resultados similares para resolver el problema de vibraciones en su diagnóstico y corrección del desbalanceo mecánico en rotores rígidos en uno y dos planos. Para una maplia explicación de la operación del Instrumento Virtual UTP, ver el artículo “Instrumento virtual para diagnosticar y corregir desbalance de maquinaria rotativa” (Silva J., Salazar P., Ponce, & Herrera S., 2016).

El diseño de experimentos es esencialmente una estrategia para la planificación de experimentos de manera tal que las conclusiones relevantes sean alcanzadas en forma eficiente y económica (Napolitano, 2010). El objetivo de un diseño de experimentos es probar si al utilizar un tratamiento, en este caso el instrumento virtual, se produce una mejora o no.

Desarrollo

Instrumento virtual

El instrumento virtual desarrollado en la UTP (Silva J., Salazar P., Ponce, & Herrera S., 2016) utilizó un sistema de adquisición de datos y herramientas de LabVIEW con el objetivo de diagnosticar el desbalanceo mecánico en rotores rígidos, evaluar la severidad vibratoria mediante el análisis espectral y hacer el cálculo de los pesos de corrección.

Existen otros estudios para el balanceo de rotores rígidos como los desarrollados por García Reynoso et al (2008) y Estupiñan, San Martín y Canales (2006), estos instrumentos requieren ser válidos en campo. Después de validar el instrumento virtual de la UTP en campo, ahora se realizará un diseño de experimentos de dos factores para su validación estadística.

Metodología Diseño de experimentos factoriales

Los diseños de experimentos han permitido a las organizaciones de pasar de un estado estático a uno dinámico, el utilizar datos históricos es escuchar pasivamente al proceso, mientras que un experimento significa establecer una conversación dinámica con el proceso (Hunter, 1975). La experimentación hoy en día, es frecuentemente utilizada para resolver un problema o comprobar una idea.

El diseño de experimentos es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas. El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente.

Esta metodología se ha ido consolidando como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejor, situaciones complejas de relación causa-efecto (Gutiérrez Pulido, 2012).

Cuando existen más de dos factores de interés en un experimento es conveniente utilizar un diseño factorial 2^k . Un experimento factorial de dos factores contempla sólo dos factores, que se pueden llamar A y B, cada uno con dos niveles. El modelo matemático lineal (Hines & Montgomery, 2002) para las observaciones de dos factores es un diseño completamente aleatorizado.

$$y_{i,j,k} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (1)$$

Donde μ es el efecto de la media general, τ_i es el efecto del nivel i-ésimo del factor A, β_j es el efecto del nivel j-ésimo del factor B, $(\tau\beta)_{ij}$ es el efecto de la interacción entre A - B y ϵ_{ijk} , es una componente del error aleatorio.

La hipótesis nula H_0 busca probar que no hay ningún efecto significativo de los factores A y B y ninguna interacción significativa AB contra la hipótesis alterna H_1 cuando menos hay un efecto significativo en la media general μ . El diseño factorial de dos factores se muestra en la tabla 1.

		Factor B			
		1	2	...	b
Factor A	1	y_{11n}	y_{12n}		y_{1bn}
	2	y_{21n}	y_{22n}		y_{2bn}
	⋮				
	a	y_{a1n}	y_{a2n}		y_{abn}

Tabla 1 Arreglo para un diseño factorial 2^2

Fuente: Hines & Montgomery (2002)

Análisis estadístico de un experimento de dos factores: el modelo de efectos fijos

Este análisis supone que los efectos A y B son fijos, es decir, los niveles a del factor A y los niveles b del factor B son elegidos en forma específica por el experimentador. El proceso para la prueba de hipótesis es mediante un análisis de varianza (ANOVA) como se muestra en la tabla 2.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F_0
A	SS_A	$(a - 1)$	MSS_A	MSS_A / MSS_E
B	SS_B	$(b - 1)$	MSS_B	MSS_B / MSS_E
AB	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	MSS_{AB}	MSS_{AB} / MSS_E
Error	SS_E	$ab(n - 1)$	MSS_E	
Total	SS_T	$abn - 1$		

Tabla 2 Tabla ANOVA

Fuente: Hines & Montgomery (2002)

Las fórmulas para diseño factorial general de dos factores:

Suma de cuadrados

$$SS_T = \sum \sum \sum y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2)$$

$$SS_A = \sum \frac{y_{i..}^2}{bn} - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (3)$$

$$SS_B = \sum \frac{y_{.j.}^2}{an} - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (4)$$

$$SS_{AB} = \sum \sum \frac{y_{ij.}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abn} - SS_A - SS_B \quad (5)$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (6)$$

Medias de cuadrados

$$MSS_A = SS_A / (a - 1) \quad (7)$$

$$MSS_B = SS_B / (b - 1) \tag{8}$$

$$MSS_{AB} = SS_{AB} / (a - 1)(b - 1) \tag{9}$$

$$MSS_E = SS_E / ab(n - 1) \tag{10}$$

Las pruebas de hipótesis son:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i \tag{11}$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_i \tag{12}$$

Las reglas de decisión para rechazar la

H_0

$$A: F_0 > F_{\alpha, (a-1), abn-1} \tag{13}$$

$$B: F_0 > F_{\alpha, (b-1), abn-1} \tag{14}$$

$$AB: F_0 > F_{\alpha, (a-1)(b-1), abn-1} \tag{15}$$

El desarrollo del experimento se llevó a cabo en tres empresas con su propio instrumento y el Instrumento Virtual (IV) de la UTP. Este análisis se realizó para el plano 1 y el plano 2 del rotor rígido, en magnitud de la onda de vibración y su ángulo en las etapas de diagnóstico (lectura inicial), corrección (lectura con peso y ángulo de prueba) y comprobación (lectura final) de acuerdo a la norma ISO 1940-1:2003.

Se llevó a cabo la recolección de las muestras aleatorias en campo, en la tabla 3, se observa las lecturas obtenidas en la empresa 1 y con el IV de la UTP.

Balanceador IRD Balancing 236				
Empresa: Embobinados Industriales y Montajes S.A. de C.V.				
	Plano 1		Plano 2	
	Magnitud	Ángulo	Magnitud	Ángulo
	(mils)	(grados)	(mils)	(grados)
Lectura inicial	0.153	236.56	0.149	88.596
	0.151	236.27	0.155	87.368
	0.160	237.84	0.153	87.959
	0.158	237.61	0.148	88.646
Lectura con peso y ángulo de prueba	0.196	186.53	0.160	220.63
	0.193	187.66	0.146	221.75
	0.191	186.09	0.157	222.05
	0.198	187.08	0.149	220.83
Lectura Final con pesos de corrección	0.030	45.963	0.009	187.630
	0.031	45.416	0.030	188.119
	0.040	46.258	0.008	187.734
	0.035	46.515	0.020	188.272
Aplicación Móvil <i>Measure Vibration UTP</i>				
	Plano 1		Plano 2	
	Magnitud	Ángulo	Magnitud	Ángulo
	(mils)	(grados)	(mils)	(grados)
Lectura inicial	0.154	236.560	0.149	84.576
	0.151	236.002	0.158	85.457
	0.158	236.254	0.153	84.278
	0.153	236.634	0.154	85.977
Lectura con peso y ángulo de prueba	0.195	186.53	0.161	228.63
	0.196	185.05	0.162	226.83
	0.200	185.42	0.151	228.84
	0.194	186.06	0.153	227.77
Lectura Final con pesos de corrección	0.038	45.963	0.010	184.630
	0.033	46.785	0.042	184.512
	0.031	45.124	0.037	185.211
	0.040	46.332	0.039	185.415

Tabla 3 Recolección de datos

Fuente: Elaboración propia con datos de Silva J., A., Salazar P., M. A., Ponce, M. J., & Herrera S., G. (2016)

Resultados

Se analizaron las mediciones en los dos planos en un rotor rígido. Los resultados obtenidos son de la siguiente forma:

- Plano 1 Magnitud Empresa 1 vs IV UTP
- Plano 1 Ángulo Empresa 1 vs IV UTP

- Plano 2 Magnitud Empresa 1 vs IV UTP
- Plano 2 Ángulo Empresa 1 vs IV UTP
- Plano 1 Magnitud Empresa 2 vs IV UTP
- Plano 1 Ángulo Empresa 2 vs IV UTP
- Plano 2 Magnitud Empresa 2 vs IV UTP
- Plano 2 Ángulo Empresa 2 vs IV UTP
- Plano 1 Magnitud Empresa 3 vs IV UTP
- Plano 1 Ángulo Empresa 3 vs IV UTP
- Plano 2 Magnitud Empresa 3 vs IV UTP
- Plano 2 Ángulo Empresa 3 vs IV UTP

Así, para los cálculos, mediante Minitab 17 diseño de experimentos factorial, en el plano 1 para la magnitud de la onda (milésimas) y su ángulo (grados), con los datos de la empresa 1 (E1) y las réplicas obtenidos con el IV UTP se exponen en tabla 4.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Media de cuadrados	F_0	Valor Crítico F
Instrumento	2.04E-06	1	2.04E-06	0.15077	4.414
Lecturas	0.1116021	2	0.055801	4120.69	3.554
Interacción	1.308E-06	2	6.54E-06	0.4830	3.554
Error	0.0000243	18	1.35E-05		
Total	0.1118609	23			

Tabla 4 Análisis de Varianza para Plano 1 – Magnitud, Empresa 1 - IV UTP

Fuente: *Elaboración propia*

De acuerdo a los resultados de la tabla ANOVA, no hay una diferencia significativa entre los instrumentos, por lo tanto, se acepta H_0 . Se acepta la H_1 en las lecturas, pues hay una diferencia significativa entre ellas.

En la interrelación entre instrumentos y lecturas no existe una diferencia significativa, se acepta H_0 .

Este procedimiento se aplica para las tres empresas y el IV UTP en los planos 1 y 2 para magnitud y ángulo. En la tabla 5 se expresan los resultados de las pruebas de hipótesis generales.

En la tabla 5, se observa que no hay diferencia significativa entre los instrumentos de las empresas y el IV UTP y su interrelación, se acepta H_0 . En las lecturas si s hay diferencias significativas, se acepta la H_1 . En general, el IV UTP no tiene diferencias significativas en su uso en comparación con otros instrumentos similares.

	Plano 1			Plano 2		
	Magnitud			Magnitud		
Empresa – UTP	Inst.	Lect.	I-L	Inst.	Lect.	I-L
E1_IDR B 236	H_0	H_1	H_0	H_0	H_0	H_0
E2_IDR B 236	H_0	H_1	H_0	H_0	H_1	H_0
E3_AX CMXA 80	H_0	H_1	H_0	H_0	H_1	H_0
	Ángulo			Ángulo		
	Inst.	Lect.	I-L	Inst.	Lect.	I-L
E1_IDR B 236	H_0	H_0	H_0	H_0	H_1	H_1
E2_IDR B 236	H_0	H_1	H_0	H_0	H_1	H_0
E3_AX CMXA 80	H_0	H_1	H_0	H_0	H_1	H_0

Tabla 5 Resumen de las pruebas de hipótesis

Fuente: *Elaboración propia*

Continuando con la validación estadística, se utiliza el método de Dunnet (Ruiz-Falcó, 2009) para comparar las medias de las mediciones del instrumento IV UTP como elemento de control con el E1_IRD Balancing 236 (gráfico 1) nos indica que no hay diferencia significativa entre los instrumentos, porque el valor cero está comprendido en el intervalo de confianza al 95%.

Esto se realiza para las tres empresas en plano 1 y 2, magnitud y ángulo contra el IV UTP.

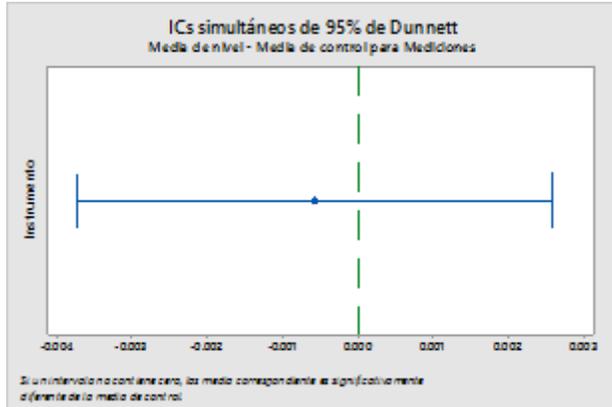


Gráfico 1 Intervalo de Confianza para comparar las medias de las mediciones de los instrumentos E1 - IV UTP

Fuente: Elaboración propia

Para la comprobación de la idoneidad del diseño de experimentos (Montgomery, 2004), iniciamos que los errores tienen media cero. Estas pruebas se realizan para los dos planos, magnitud y ángulo de las empresas y el IV UTP. En el gráfico 2 se muestra que efectivamente la media de los errores es cero para la E1 - IV UTP.

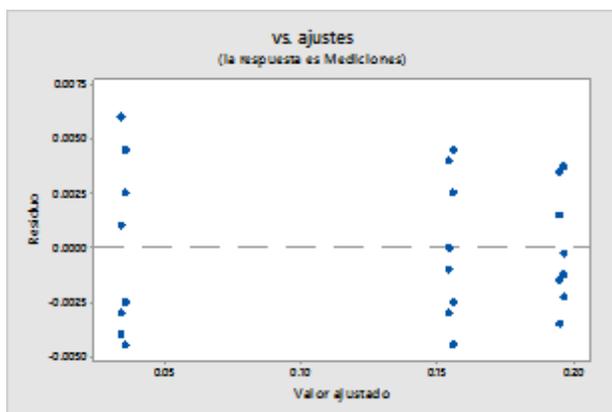


Gráfico 2 Errores con media cero E1-IV UTP, plano 1 magnitud

Fuente: Elaboración propia

Para la homogeneidad de varianzas se aplica la prueba de Bartlett (Correa, Iral, & Rojas, 2006), es decir, la varianza de los errores es constante. El gráfico 3 indica que no hay diferencia significativa entre las varianzas, ya que el valor p es mayor a 0.05.

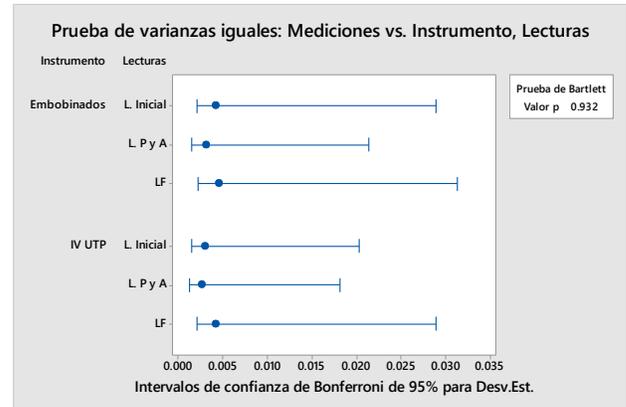


Gráfico 3 Prueba de Bartlett para E1 - IV UTP, plano 1 magnitud

Fuente: Elaboración propia

Para las muestras utilizadas en la prueba E1 - IV UTP plano 1 magnitud, el gráfico 4 revela que efectivamente son independientes y aleatorias (Mosquera, 2017). Esto asegura la validez de los resultados.

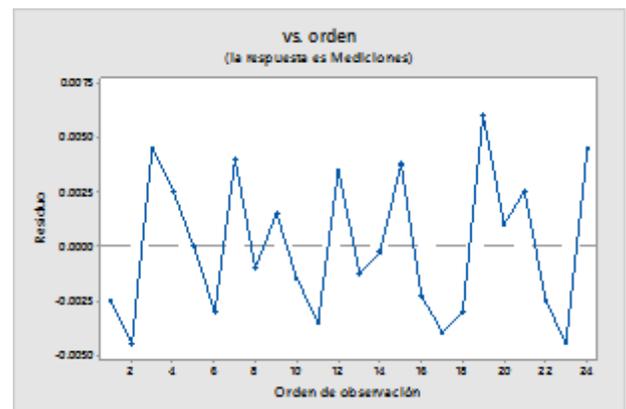


Gráfico 4 Muestras independientes y aleatorias E1- IV UTP plano 1 magnitud

Fuente: Elaboración propia

Para la prueba de normalidad E1 – IV UTP plano 1 magnitud, en el gráfico 5 se observa que hay una normalidad aceptable de acuerdo a la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Flesia, 2011).

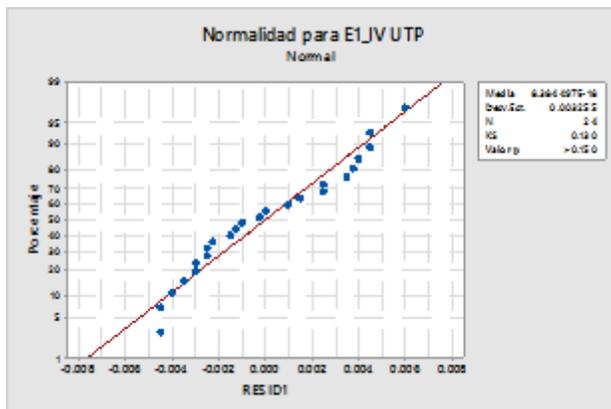


Gráfico 5 Normalidad de las muestras de la E1 – IV UTP plano 1 magnitud

Fuente: *Elaboración propia*

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada gracias al apoyo de la División de Mantenimiento Industrial de la Universidad Tecnológica de Puebla y las empresas Embobinados Industriales y Montajes S.A. de C.V., Instrumentación Industrial de Puebla S.A. de C.V. y Soluciones de Confiabilidad Integral.

Conclusiones

En general, el Instrumento Virtual desarrollado en UTP para el desbalanceo dinámico en dos planos para rotores rígidos es validado estadísticamente mediante el diseño de experimentos general, pues utilizando el modelo lineal representado mediante la ecuación (1) cumple con la idoneidad del diseño cumpliéndose los 4 supuestos de media de errores cero, varianza entre muestras iguales y constantes, independencia y aleatoriedad estadística y normalidad de los datos.

El instrumento ya fue probado en campo en tres empresas y sus resultados fueron satisfactorios de acuerdo a la norma ISO 1940-1:2003. Las pruebas de hipótesis para las lecturas muestran diferencias significativas, sin embargo, están dentro de los parámetros establecidos por la norma ISO.

Por otro lado, de acuerdo al Modelo de la aproximación de Taguchi (Méndez & Jairo, 2015), las desviaciones de calidad en las características de los servicios y productos desarrollados de acuerdo al estándar, se ven afectados por las tareas proactivas de mantenimiento. Con este instrumento virtual se coadyuva a este modelo en el área de mantenimiento industrial.

Finalmente, se cumple el objetivo de la validación estadística del instrumento virtual, lo que permite tener una confianza en su eficiencia y eficacia en campo y estadísticamente.

Referencias

Camacho, A., Palacios, L., Ramírez, I., Vera, E., & Anchondo, L. (2016). Efectos en la vibración debidos al cambio de la rigidez en un rotor fisurado. *Revista Tecnología e Innovación Ecorfan-Bolivia*, Vol. 3 No.9 61-66.

- Correa, J. C., Iral, R., & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística*, Vol 29 No. 1 pp 57-76.
- Estupiñan, p. E., San Martín, C., & Canales M., L. (2006). Desarrollo de un instrumento virtual para el balanceamiento dinámico de rotores. *Ingeniare - Revista Chilena de Ingeniería*, Vol. 14 N° 2, pp. 146-152.
- Flesia, G. (2011). *Test de Kolmogorov-Smirnov*. FaMAF.
- García Reynoso, A. e. (2008). Método de Balanceo de Rotores Rígidos con Datos de Vibración pulsante. *Ingeniería Mecánica Tecnología y Desarrollo*, Vol. 3 No. 1 p 21 - 28.
- Gutiérrez Pulido, H. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México: Mc Graw Hill.
- Hines, W. W., & Montgomery, D. C. (2002). *Probabilidad y estadística para ingeniería*. México: CECSA.
- Hunter, G. G. (1975). *101 ways to design an experiment*. Madison: University of Wisconsin.
- Méndez, L. M., & Jairo, O. J. (2015). Aproximación del Método Taguchi para el estudio de recubrimientos de óxido de cromo aplicados por proyección térmica a la llama . *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*, 35 (2): 201-212.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y Análisis de experimentos*. México: Editorial LIMUSA.
- Mora, G. A. (2013). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega.
- Mosquera, R. J. (27 de junio de 2017). *Universidad del Valle*. Obtenido de Campus virtual:
https://campusvirtual.univalle.edu.co/moodle/pluginfile.php/88615/mod_resource/content/0/Cla_se_7.pdf
- Napolitano, H. (2010). Diseño de Experimentos. *Educación en Ciencias Químicas.*, N° 354 ■ INDUSTRIA & QUIMICA, pp 62-69.
- Royo, J., Torres, F., & Rebanaque, G. (2000). Análisis de vibraciones e interpretación de datos. *Revista Mantenimiento: Ingeniería industrial y de edificios.*, No. 136, 39-48.
- Ruiz-Falcó, A. (2009). *Herramientas Estadísticas - Comparación de más de dos muestras: ANOVA (Parte I)*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Silva J., A., Salazar P., M. A., Ponce, M. J., & Herrera S., G. (2016). Instrumento virtual para diagnosticar y corregir desbalance de maquinaria rotativa. *Revista de Tecnología e Innovación Ecorfan-Bolivia*, Vol.3 No.7 73-81.
- Vera, J. (2000). *Algunos tipos de vibraciones*. Recuperado el 6 de marzo de 2017, de GUEMISA: www.guemisa.com