



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -  
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

*Booklets*



**RENIECYT**

Registro Nacional de Instituciones  
y Empresas Científicas y Tecnológicas

2015-20795

**CONACYT**

RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar  
DOI - REBID - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

# Title: Validación Estadística Del Instrumento Virtual Para Desbalanceo Dinámico En Dos Planos Mediante Un Diseño De Experimentos 2

**Author:** Gustavo HERRERA SÁNCHEZ

**Editorial label ECORFAN:** 607-8324  
**BCIERMIMI Control Number:** 2017-02  
**BCIERMIMI Classification (2017):** 270917-0201

**Pages:** 20  
**Mail:** [gustavo.herrera@utpuebla.edu.mx](mailto:gustavo.herrera@utpuebla.edu.mx)  
**RNA:** 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**  
244 – 2 Itzopan Street  
La Florida, Ecatepec Municipality  
Mexico State, 55120 Zipcode  
Phone: +52 1 55 6159 2296  
Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
E-mail: [contacto@ecorfan.org](mailto:contacto@ecorfan.org)  
Facebook: ECORFAN-México S. C.

**Twitter:** @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

### Holdings

Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
<b>Peru</b>	<b>Spain</b>	<b>Cuba</b>	<b>Haití</b>
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			

# Contenido

- **Objetivo**
- **Introducción**
- **Instrumento Virtual**
- **Diseño de experimentos**
- **Análisis estadístico de un experimento de dos factores: el modelo de efectos fijos**
- **Resultados**
- **Conclusiones**



# Objetivo



Validar estadísticamente el instrumento virtual de la UTP para el diagnóstico y corrección del desbalanceo mecánico de rotores rígidos en uno y dos planos mediante un diseño de experimentos  $2^2$





# Introducción



El instrumento virtual (IV) desarrollado en la Universidad Tecnológica de Puebla busca diagnosticar y corregir el desbalance mecánico de rotores rígidos en uno y dos planos mediante el método de coeficientes de influencia, validando estadísticamente los resultados obtenidos de la vibración con referencia a la norma ISO 1940-1:2003.



# Introducción

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, Rabanaque, Torres, 2000):

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



# Instrumento Virtual



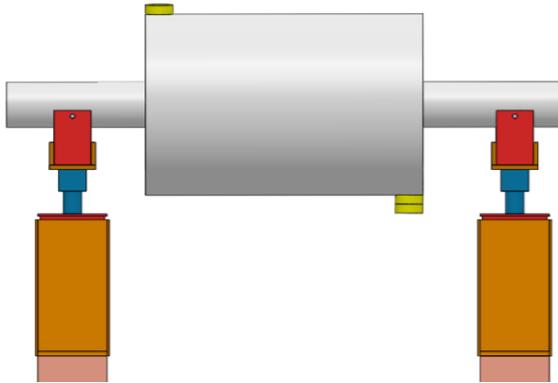
## Vibraciones

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)



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

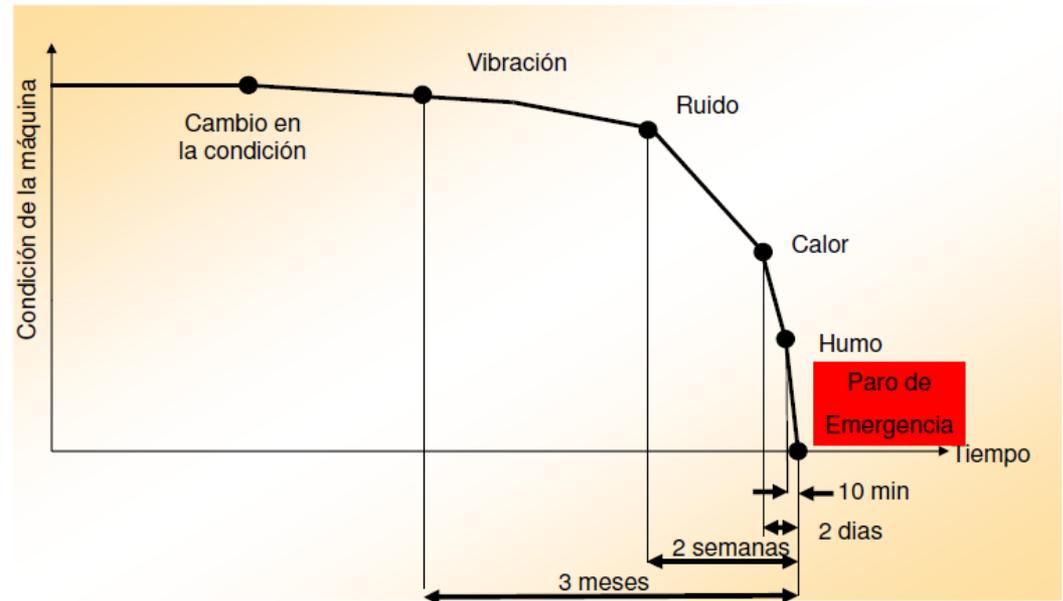
**2017**



Cortesía de Silva, et al, 2016



## Curva de condiciones

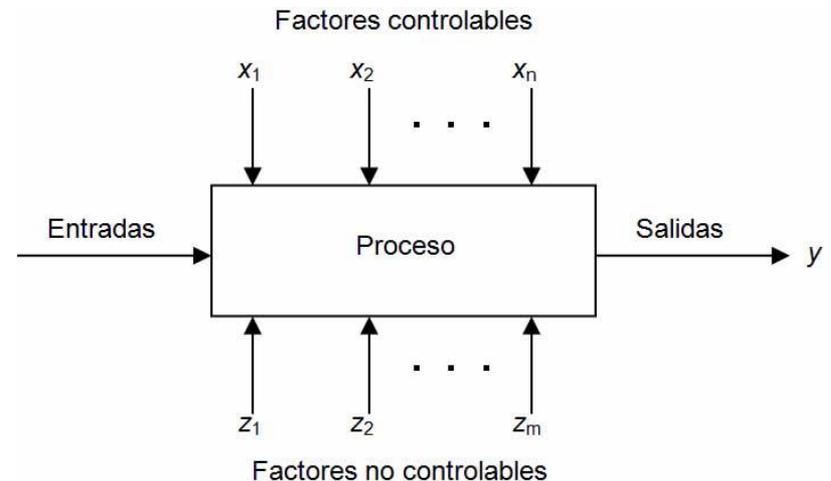


Cortesía de FAG Industrial Services

Un experimento factorial de dos factores contempla sólo dos factores, que se pueden llamar A y B, cada uno con dos niveles.

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

$H_0$  versus  $H_1$



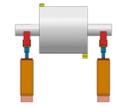
# Análisis estadístico de un experimento de dos factores: el modelo de efectos fijos

*Tabla ANOVA.* (Hines & Montgomery, 2002)

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	$SS_T$	$abn - 1$		

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

	Balanceador IRD Balancing 236			
	Empresa: Embobinados Industriales y Montajes S.A. de C.V.			
	Plano 1		Plano 2	
	Magnitud (mils)	Ángulo (grados)	Magnitud (mils)	Ángulo (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



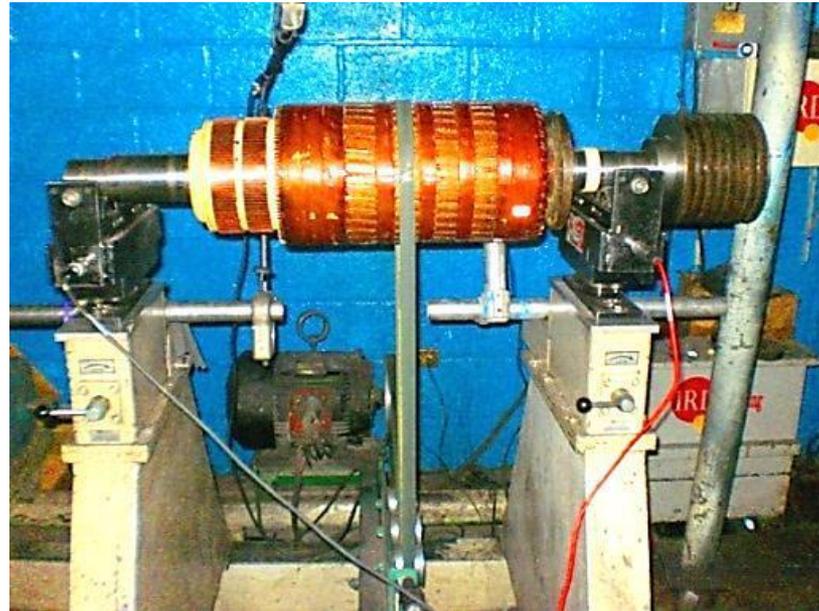
Aplicación Móvil <i>Measure Vibration</i> UTP			
Plano 1		Plano 2	
Magnitud (mils)	Ángulo (grados)	Magnitud (mils)	Ángulo (grados)
0.154	236.560	0.149	84.576
0.151	236.002	0.158	85.457
0.158	236.254	0.153	84.278
0.153	236.634	0.154	85.977
0.195	186.53	0.161	228.63
0.196	185.05	0.162	226.83
0.200	185.42	0.151	228.84
0.194	186.06	0.153	227.77
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

# Resultados

## Plano 1

### Magnitud y ángulo

- Lectura inicial de diagnóstico
- Lectura con peso y ángulo corrección
- Lectura final con peso de acuerdo a norma ISO 1940-1:2003



## Plano 2

### Magnitud y ángulo

- Lectura inicial de diagnóstico
- Lectura con peso y ángulo corrección
- Lectura final con peso de acuerdo a norma ISO 1940-1:2003

3 empresas con sus equipos versus IV de la UTP

# Resultados

## *Análisis de Varianza para Plano 1 – Magnitud, Empresa 1 - IV UTP.*

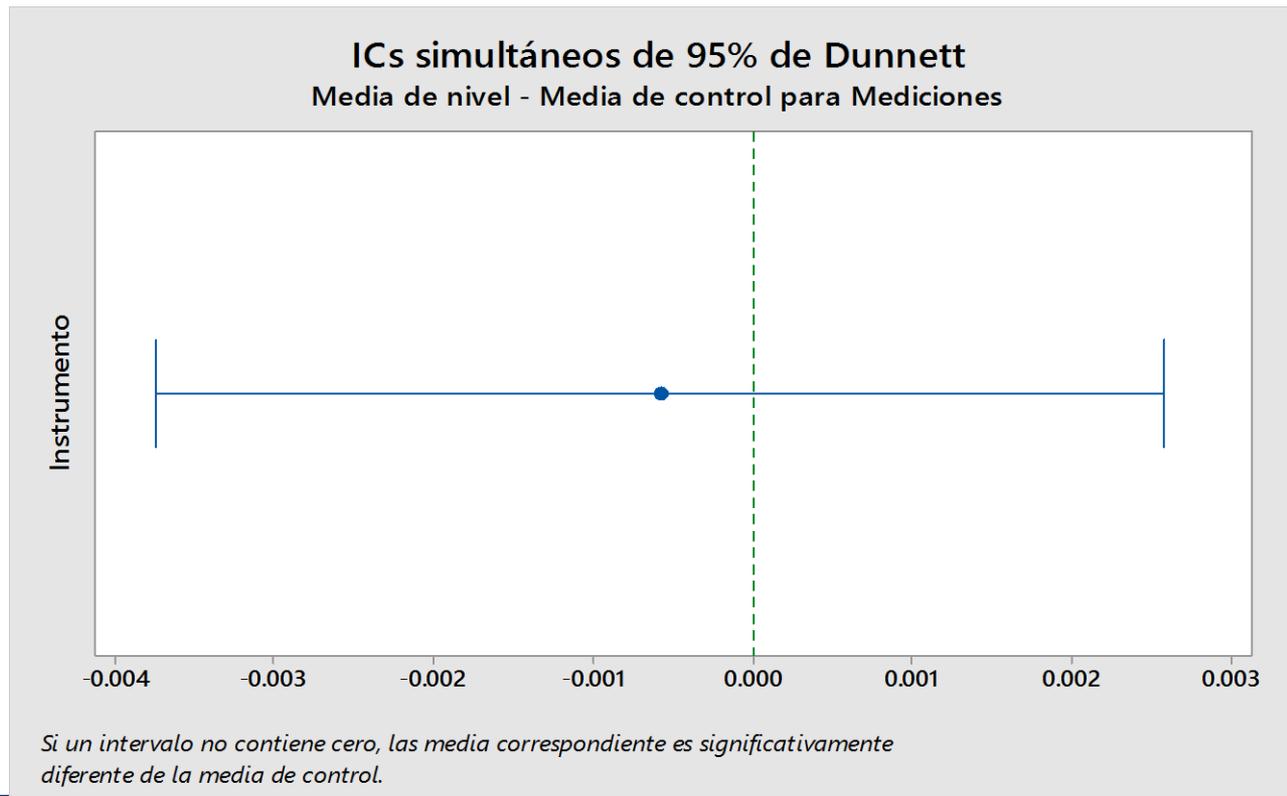
Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Media de cuadrados	$F_0$	Valor Crítico F
Instrumento	2.04E-06	1	2.04E-06	0.15077	4.414
Lecturas	0.1116021	2	0.055801	4120.69	3.554
Interacción	1.308E-06	2	6.54E-06	0.4830	3.554
Error	0.0000243	18	1.35E-05		
Total	0.1118609	23			

## *Resumen de las pruebas de hipótesis*

	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	$H_0$	$H_1$	$H_0$	$H_0$	$H_1$	$H_0$

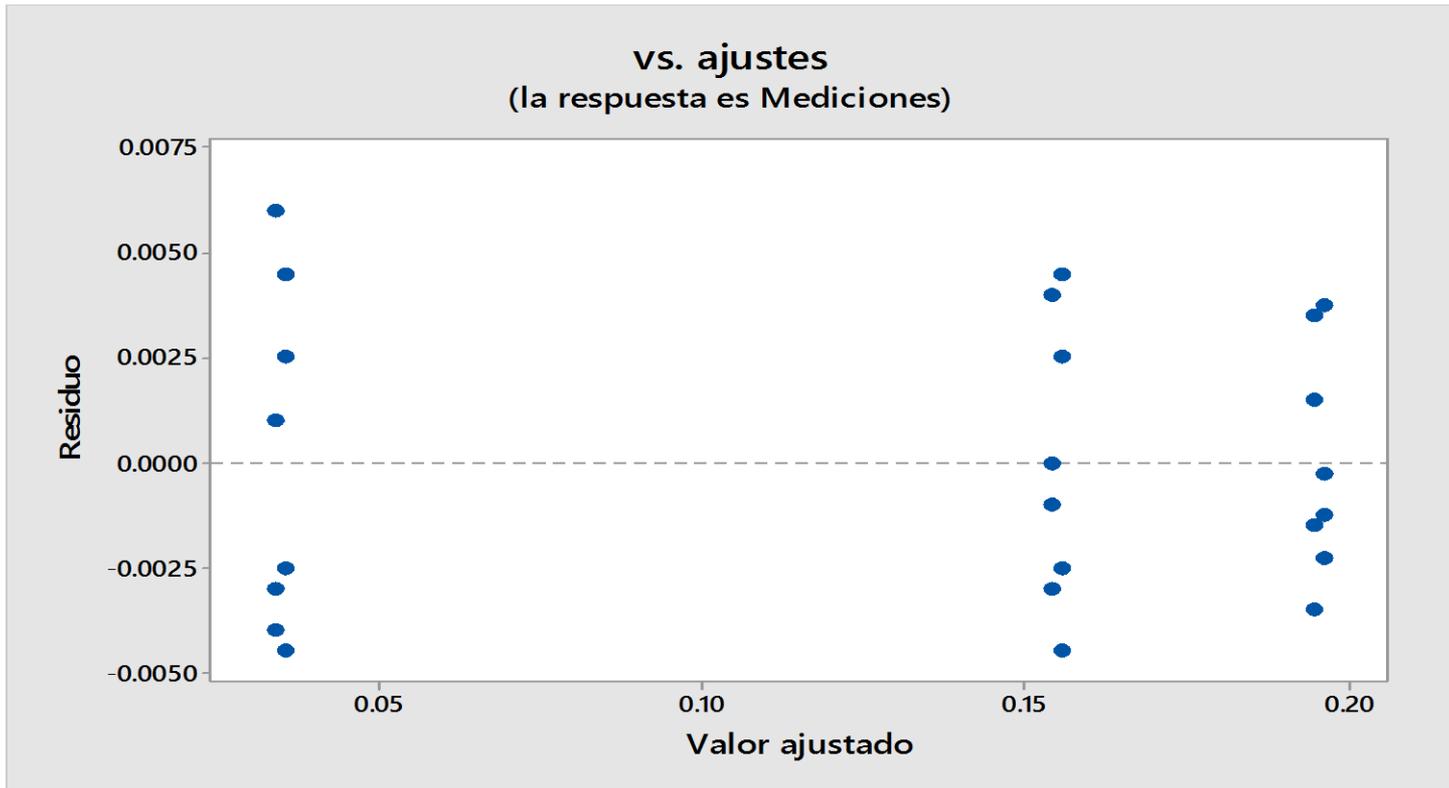
# Resultados

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



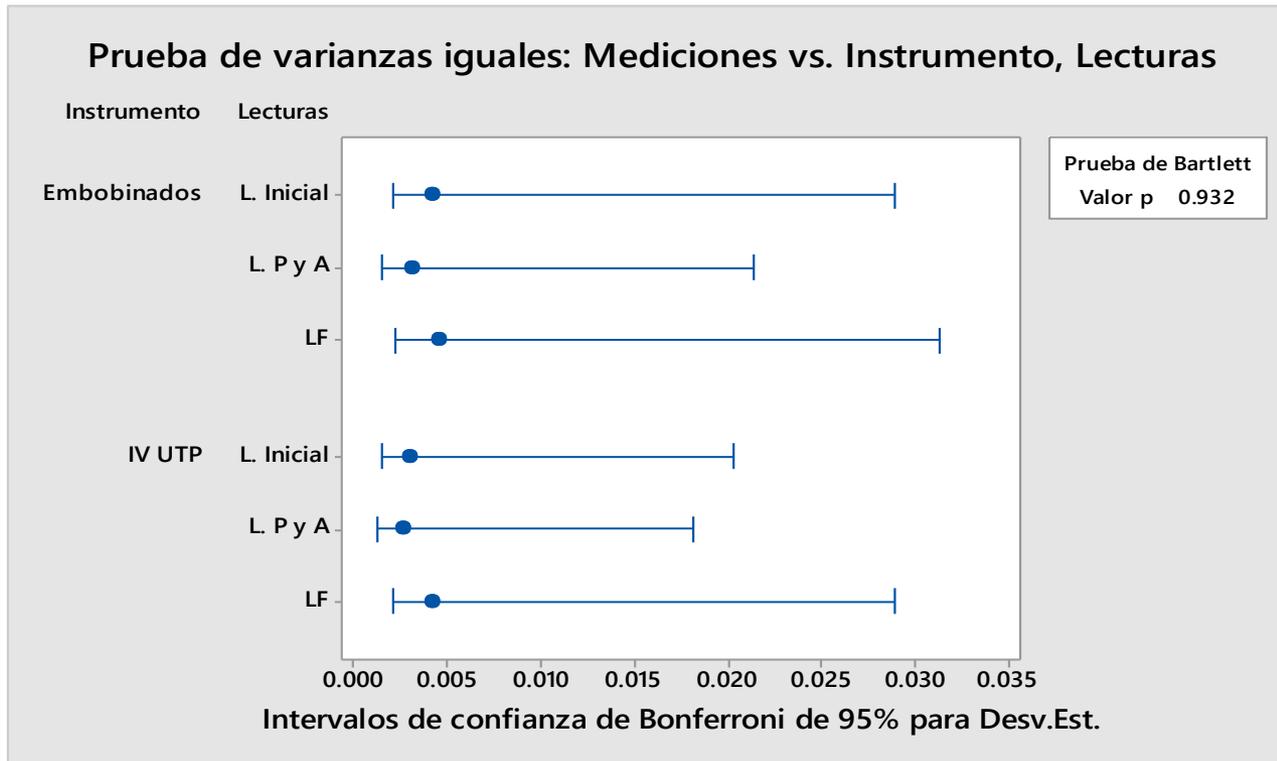
# Resultados

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



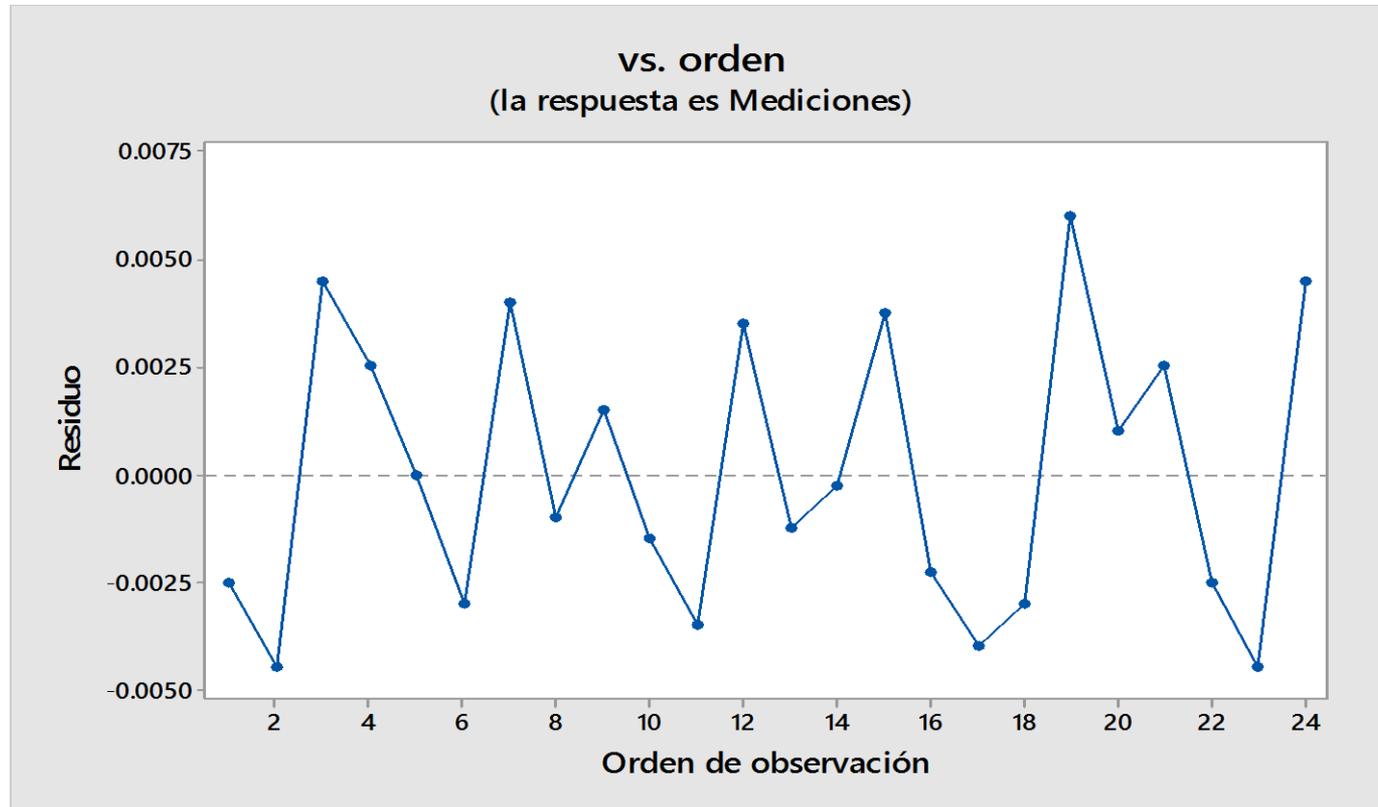
# Resultados

*Prueba de Bartlett para E1 – IV UTP, plano 1 magnitud.*



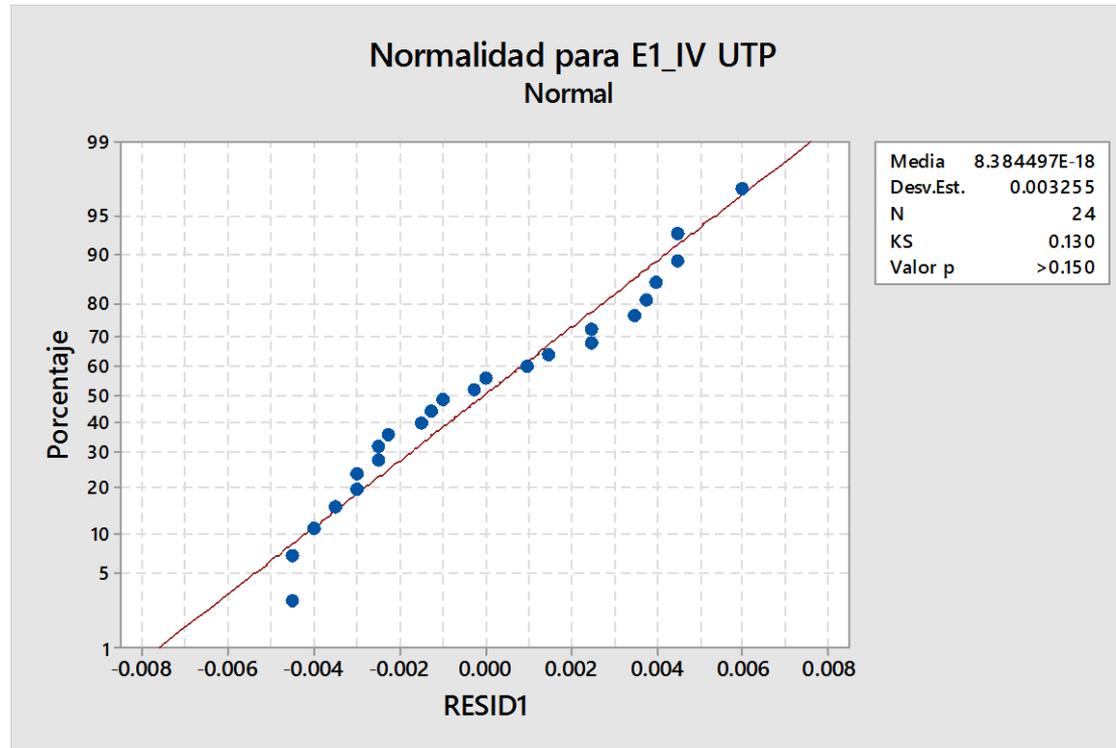
# Resultados

*Muestras independientes y aleatorias E1- IV UTP plano 1 magnitud*



# Resultados

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



# Conclusiones

El Instrumento Virtual - UTP para el desbalanceo dinámico en dos planos para rotores rígidos es validado estadísticamente cumple con la idoneidad del diseño  $2^2$ :

1. Media de errores cero
2. Varianza entre muestras iguales y constantes
3. Independencia y aleatoriedad estadística
4. Normalidad de los datos



# Conclusiones



Después de efectuar el diseño de experimentos con tres instrumentos y en tres empresas, se concluye que no existen diferencias significativas entre el instrumento virtual y el IRD Balancing 236 y SKF Microlog Analyzer con un nivel de confianza del 95%.



# Bibliografía

- 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.
- Estupiñán, p. E., San Martín, C., & Canales M., L. (2006). Desarrollo de un instrumento virtual para el balanciamiento dinámico de rotores. *Ingeniare - Revista Chilena de Ingeniería*, Vol. 14 Nº 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/Clase\\_7.pdf](https://campusvirtual.univalle.edu.co/moodle/pluginfile.php.88615/mod_resource/content/0/Clase_7.pdf)
- Napolitano, H. (2010). Diseño de Experimentos. *Educación en Ciencias Químicas.*, Nº 354 ■ INDUSTRIA & QUIMICA, pp 62-69.
- Royo, J., Torres, F., & Rebañaque, 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](http://www.guemisa.com)



**ECORFAN®**

**© ECORFAN-Mexico, S.C.**

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)