



INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL ERROR PRODUCIDO EN EL PROCESO DE MEDICIÓN DE RODAMIENTOS

CARLOS COLAZO, MARCELO COSTAMAGNA, MARTÍN PESCI

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María
Avda. Universidad 450, (5900) Villa María – Córdoba – Argentina

(Recibido 16 de agosto de 2007, revisado 1 de octubre de 2008, para publicación 23 de agosto de 2009)

Resumen – El objetivo del presente trabajo es determinar si existe influencia de la temperatura en los errores resultantes del proceso de medición de aros de rodamientos de bolas, salidos del proceso de rectificado de pistas, medidos al pie de la máquina y a temperatura ambiente. Se confeccionó un procedimiento para la toma de datos para el rodamiento 6203 – IR, tomando dos muestras de 5 elementos cada una, a las temperaturas ambientes de 9°, 12° y 20°C [8]. Luego se realizó, con el software SPSS vers. 10.0, el procedimiento para pruebas no paramétricas con k pruebas independientes con el objeto de verificar si existe o no diferencia entre el error de medición para las tres temperaturas efectuadas en el muestreo. Para ello se efectuaron las pruebas de Kruskal-Wallis, de las medianas y la de Jonckheere-Terpstra [5]. Además se confecciona un análisis por tablas de contingencia, donde se encuentra que existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula H_0 , por lo tanto confirmar la existencia de dependencia entre las variables temperatura y error en la medición [1]. Para concluir se realiza un análisis ANOVA para confirmar los resultados.

Palabras clave – Proceso en la medición, fabricación de rodamientos, influencia de la temperatura.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente incorporación de pequeñas y medianas empresas en la República Argentina a los sistemas internacionales de normalización basados en los estándares ISO 9001:2000 y TS 16949:2002, ha aumentado considerablemente la necesidad de obtener métodos óptimos para la medición de aquellas variables consideradas críticas, identificando las causas que provocan fluctuaciones importantes de calidad.

Actualmente existen programas para el tratamiento estadístico de datos que facilitan los procesos de cálculo y sus representaciones gráficas. Sin embargo, tales herramientas no permiten determinar directamente el método óptimo que estará en función de la variable requerida y de las características propias de la zona de influencia.

Se trabajará con los factores que producen los efectos más relevantes de las múltiples condiciones que influyen en la imprecisión de medición, las condiciones ambientales y especialmente la temperatura (diferencias de temperaturas entre el instrumento de medición y la pieza, sus variaciones respecto a la temperatura de calibración de la máquina y los gradientes temporales y espaciales).

En la actualidad los procedimientos de medición y control de diámetros internos y externos, en la producción de rectificado de aros de rodamiento, se realizan calibrando en el laboratorio el instrumento de medición a una temperatura de 20°C, usando un patrón de referencia el cual tiene trazabilidad a patrones internacionales. Posteriormente se lleva el instrumento de medición a la planta y a continuación el operario comienza el proceso de medición de las diferentes piezas producidas en forma consecutiva.

En el proceso de rectificado de los aros, los operarios no tienen en cuenta las correcciones a efectuar en las máquinas rectificadoras, debido a los efectos sistemáticos de la temperatura en el proceso de medición de los aros de rodamientos que están produciendo, esto ha sido considerado por los auditores externos del Sistema de Gestión de Calidad, como posible causa de una variabilidad en las dimensiones reales de la pieza.

2. DESARROLLO METODOLÓGICO

Se desarrolló un procedimiento documentado donde se definió la metodología para la obtención de las muestras (aros de rodamiento salidos del proceso de rectificado).

El personal que intervino en la toma de datos fue entrenado especialmente respecto de las técnicas de medición necesarias, a fin de reducir la influencia del operario en los resultados obtenidos en las distintas mediciones.

Además, los instrumentos de medición utilizados se calibraron antes del proceso de medición contra patrones con trazabilidad a patrones internacionales.

Se obtuvieron los resultados de medición de dos muestras de 5 aros de rodamiento 6203 – IR cada una a distintas temperaturas ambiente, 9°C, 12°C y 20°C, y posteriormente cada muestra convenientemente identificada, se midió a la temperatura controlada de 20°C, calculándose los errores obtenidos. Los resultados se presentan en la Tabla 1.

A continuación y utilizando el software SPSS, se efectúa una prueba no paramétrica con k pruebas independientes con el objeto de determinar la homogeneidad de las muestras, y verificar que no existan diferencias significativas entre las tres mediciones realizadas a distintas temperaturas.

Realizando el Test de Kruskal-Wallis para comparar las tres muestras a las temperaturas de 9°C, 12°C y 20°C y constatar que ellas provienen de la misma población, o lo que es lo mismo, de tres poblaciones con la misma distribución, estos resultados se ven reflejados en las Tabla 2, Tabla 3, y la prueba de las medianas en la Tabla 4 y Tabla 5.

Tabla 1. Errores medidos. Temperatura de trabajo.

Temperatura [°C]	Errores medidos en micrones									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9°	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
12°	2	1	3	1	1	1	1	1	2	1
20°	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1

Tabla 2. Rangos.

	VAGRUP	N	Rango promedio
ERROR	1	10	23,80
	2	10	14,75
	3	10	7,95
	Total	30	

Tabla 3: Estadísticos de contraste (b,c).

	ERROR
Chi-cuadrado	18,967
Gl	2
Sig. asintót.	0,000
Sig. exacta	0,000
Probab. en el punto	0,000

a) Prueba de Kruskal-Wallis.

b) Variable de agrupación: TEMP.

Tabla 4. Frecuencias.

		TEMP		
		1	2	3
ERROR	> Mediana	10	3	0
	<= Mediana	0	7	10

Tabla 5. Estadísticos de contraste (b).

	ERROR
N	30
Mediana	1,00
Chi-cuadrado	21,448(a)
Gl	2
Sig. asintót.	0,000
Sig. exacta	0,000
Probabilidad en el punto	0,000

a) 3 casillas (50,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5.

La frecuencia de casilla esperada mín. es 4,3.

b) Variable de agrupación: TEMP.

Tabla 6. Distribución de frecuencias de los errores.

El error obtenido en la medición del aro de rodamiento en micrones						
A \ B		0	1	2	3	Total
Temp.	9 °C	0	0	8	2	10
	12 °C	0	7	2	1	10
	20 °C	3	7	0	0	10
	Total	3	14	10	3	30

Tabla 7. Medidas direccionales.

			Valor	Error típico asint. (a)	T aprox. (b)	Sig. Aprox.
Nominal por nominal	Lambda	Simétrica	0,500	0,083	6,708	0,000
		TEMP dep.	0,500	0,112	3,873	0,000
		ERROR dep.	0,500	0,125	3,303	0,001
	Tau de Goodman y Kruskal	TEMP dep.	0,423	0,081		0,000(c)
		ERROR dep.	0,386	0,088		0,000(c)
	Coef. de incertidum.	Simétrica	0,478	0,059	7,589	0,000(d)
		TEMP dep.	0,496	0,065	7,589	0,000(d)
ERROR dep.		0,461	0,060	7,589	0,000(d)	
Ordinal por ordinal	d de Somer	Simétrica	-0,732	0,057	-11,608	0,000
		TEMP dep.	-0,741	0,066	-11,608	0,000
		ERROR dep.	-0,723	0,062	-11,608	0,000
Nominal por intervalo	Eta	TEMP dep.	0,789			
		ERROR dep.	0,763			

Tabla 8. Medidas simétricas.

		Valor	Error típ. asint. (a)	T aproximada (b)	Sig. Aprox.
Nominal por nominal	Phi	0,920			0,000
	V de Cramer	0,651			0,000
	Coef. de conting.	0,677			0,000
Ordinal por ordinal	Tau-b de Kendall	-0,732	0,057	-11,608	0,000
	Tau-c de Kendall	-0,723	0,062	-11,608	0,000
	Gamma	-0,931	0,067	-11,608	0,000
	Correl. de Spearman	-0,806	0,051	-7,206	0,000(c)
Intervalo por inter.	R de Pearson	-0,730	0,055	-5,648	0,000(c)
Medida de acuerdo	Kappa	.(d)			
N de casos válidos		30			

a) Asumiendo la hipótesis alternativa.

b) Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

c) Basada en la aproximación normal.

d) No se pueden calcular los estadísticos Kappa. Requieren una tabla simétrica de 2 vías en la que los valores de la primera variable sean idénticos a los valores de la segunda.

Tabla 9. ANOVA.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	11,267	2	5,633	18,778	0,000
Intra-grupos	8,100	27	0,300		
Total	19,367	29			

Además, y como la necesidad de la empresa es determinar si existe una relación entre la temperatura ambiente en el área de producción y el error obtenido en la medición del aro de rodamiento, se efectúa con el mismo software un análisis por tablas de contingencia, obteniendo la Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8 [5,6,7].

También se realiza un análisis de varianza de un factor con el mismo programa para validar los resultados obtenidos. Los resultados del ANOVA se muestran en la Tabla 9.

3. RESULTADOS

En primer lugar, para comparar las 10 muestras a cada una de las temperaturas de 9°C, 12°C y 20°C, y constatar que ellas provienen de la misma población o lo que es lo mismo de tres poblaciones con la misma distribución, se realizó el Test de Kruskal – Wallis. Estos resultados se ven reflejados en las Tablas 2 y 3, en donde se observan p -valor menores que 0,05 de la misma manera en la prueba de las medianas representadas en la Tabla 4 y 5; y la prueba de Jonckheere-Terpstra(a); quedando demostrado que no existe homogeneidad o sea que existen diferencias significativas para las tres temperaturas analizadas, como consideramos un nivel de significación $\alpha = 0,05$, o sea el 5% y los p -valores obtenidos fueron todos inferiores, rechazamos la hipótesis nula $H_0 =$ "No existe diferencia entre el error de medición para las tres temperaturas", concluyendo entonces que se tiene evidencia suficiente que demuestra una considerable diferencia entre ellas.

En segundo lugar, para determinar la existencia de dependencia de ambas variables $A =$ "Temperatura ambiente de producción" y $B =$ "error en la medición" al 95% del coeficiente de confianza, se realizó el test basado en las medidas de Asociación Direccionales, Tabla 7, como Lambda (0,50), la Tau de Goodman y Kruskall (0,423 y 0,386), el coeficiente de incertidumbre (0,478), la D de Somer (-0,732, -0,741 y -

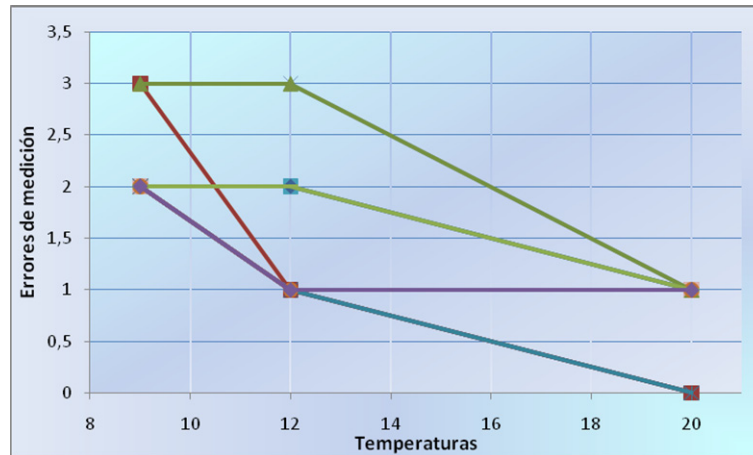


Fig. 1. Gráfico de dispersión de las variables error-temperatura.

0,723), y la Eta (0,789 y 0,763), y como podemos ver en la última columna se presentan los p -valores de los contrastes de asociación correspondientes, todos menores a 0,05, que muy próximo a 0 existiría una carencia absoluta de relación, por lo tanto estos valores indican que el grado de asociación es alto, y evidentemente los p -valores de los contrastes constatan la existencia de una cierta asociación entre las variables A y B al 95 % de coeficiente de confianza.

Los resultados de las medidas de asociación globales o simétricas, Tabla 8, como Phi (0,920), V de Cramer (0,651), Coeficiente de contingencia (0,677), Tau-b de Kendall (-0,732), Tau-c de Kendall (-0,723), Gamma (-0,931), Correlación de Spearman (-0,806) y R de Pearson (-0,730), que también presentan los p -valores de los contrastes de asociación correspondientes menores que 0,05, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa de que existe suficiente evidencia de la dependencia de ambas variables. Finalmente, los resultados del análisis ANOVA se muestran en la Tabla 9 donde se obtuvo un coeficiente F ínter grupos de 18,778, lo que corrobora la hipótesis alternativa para la situación analizada.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis desarrollado en el Test de Kruskal – Wallis se demuestra una considerable diferencia entre los valores obtenidos de las temperaturas evaluadas en los diferentes ensayos, lo que nos lleva a determinar la condición necesaria pero no suficiente para la dependencia de ambas variables.

Posteriormente, para determinar la existencia de dependencia de ambas variables A = “*Temperatura ambiente de producción*” y B = “*error en la medición*” se realizó el test basado en las medidas de Asociación Direccionales y luego de las medidas de asociación globales o simétricas por lo que concluimos definitivamente en la existencia de una importante relación entre el error de medición y la temperatura ambiente de la planta de producción. Cuanto mayor es la diferencia entre la temperatura ambiente respecto de la temperatura controlada de referencia 20°C mayor es el error de medición Fig. 1.

Dicha asociación se puede establecer a través de los diferentes coeficientes analizados.

Se propone para un desarrollo posterior determinar una función analítica que permita corregir el error sistemático producido por la temperatura ambiente en el proceso de rectificado de los aros, donde los operarios con una simple expresión analítica puedan determinar el factor de corrección a efectuar en las máquinas rectificadoras, mejorar el proceso de medición de los aros de rodamientos que están produciendo, lo que ha sido considerado por los auditores externos del Sistema de Gestión de Calidad, como posible causa de una variabilidad en las dimensiones reales de la pieza.

REFERENCIAS

- [1] Box, G., Hunter, W., Hunter, J., *Estadística para Investigadores, Parte IV, "Construcción y Empleo de Modelos"*, Ed. Reverté SA. Barcelona (1999)
- [2] Kennet, R., Zacks, S., *Estadística Industrial Moderna*, Editorial Thomson (2001)
- [3] Lohr, S.L., *Muestreo: Diseño y Análisis*, Editorial Thomson (2000)
- [4] Miller, I., Freund, J., Johnson, R., *Probabilidad y Estadística para Ingenieros, Cap. 9 y 10 "Inf. Relativas a proporciones y Pruebas no paramétricas"*, Editorial Prentice-Hall, 4ª Edición, México (1994)
- [5] SPSS Inc., *SPSS Base 10.0 Applications Guide, Cap. 13 "Nonparametric Tests"*, Editorial Marqueting Department (1999)
- [6] Pérez, C., *Técnicas Estadística con SPSS, Cap. 6 "Tablas de Correlación y Contingencia. Asociación e Independencia"*, Editorial Prestice Hall (2001)
- [7] Visauta Vinacua, B., Martori, I., Cañas, J.C., *Análisis Estadístico con SPSS para Windows, Vol. I Estadística Básica. Cap. 7 "Pruebas no paramétricas"*, Editorial McGraw-Hill (1999)
- [8] Kegel, T., "Statistical Control of the Measurement Process", Congreso Internacional de Ductos, Mérida Yucatan (2001)
- [9] Kegel, T.M., "Statistical control of a pressure instrument calibration process", *ISA Transactions*, **35**, 69-77 (1996)

TEMPERATURE INFLUENCE IN THE ERROR PRODUCED IN THE PROCESS OF MEASUREMENT OF BEARINGS

Abstract – The aim of this study is to determine whether after hoop rectification, environmental conditions (especially temperature) influence the ball bearing ring measurement process. Following a procedure, data was extracted from a pre-established sample for the 6203-IR bearing. Ten samples were taken of 9°C, 12°C and 20°C [8]. Afterwards, the non parametric test procedure with independent k tests were carried out using SPSS version 10.0 software. The aim of these tests was to verify whether there were error measurement differences between the three temperatures taken, the Kruskal- Wallis of the medians and the Jonckheere-Terpstra tests were carried out [5]. Besides drawing up a contingency table analysis, where there is sufficient evidence to reject the null hypothesis H_0 , thus confirming the existence of dependence between the temperature variables and measurement error [1]. In conclusion ANOVA analysis is performed to confirm the results.

Keywords – Process measurement, Manufacture of bearings, Temperature influence.