

Ajuste en el ángulo de perfil del diente rectificado de una rueda dentada cilíndrica

Adjustment in the profile angle of the rectified tooth of a spur gear wheel

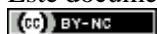
José Carlos Álvarez Díaz^{1,*}, Ernesto Percival Grannum Bonora²

¹ Centro de Estudios de Explotación, Fabricación y Recuperación de Equipos y Piezas, Carr. Circunv. Norte Km 5½. Camagüey, Cuba.

² Universidad de Camagüey, Carr. Circunv. Norte Km 5½. Camagüey, Cuba.

*Autor de correspondencia: josec.alvarez@reduc.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](#)



Recibido: 17 febrero 2020 **Aceptado:** 9 marzo 2020 **Publicado:** 12 marzo 2020

Resumen

En el presente trabajo se expone un método para el ajuste del ángulo de perfil evolvente del diente en una rueda dentada cilíndrica de dientes rectos, a partir de la medición de dicho perfil. Este ajuste se basa en la corrección del ángulo de perfil de la herramienta mediante ecuaciones trigonométricas que relacionan la geometría del engranaje y los parámetros de medición, a partir del error medido en la pieza. El error en el ángulo de perfil se logra reducir en menor cantidad de veces en una rueda luego de aplicado el método expuesto, con respecto a otra rueda a la cual no se le aplicó dicho método y se realizó por la tradicional prueba-error. Ambas piezas presentaban desviaciones iniciales provenientes de la operación de rectificado previo de los dientes y existían mínimas diferencias en el error del ángulo de perfil entre sí.

Palabras clave: ángulo de perfil del diente, rueda dentada, engranaje

Abstract

This work deal with a method of adjustment the involute profile angle of tooth of spur gear wheel, by the measurement of the tooth profile. This adjustment method is based on the profile angle tool correction, by trigonometric equations, in relation with the geometry of gears and inspection parameters, through the measured error. The profile tooth angle corrections improved through the new method in fewer steps than a conventional method for two grind gears: the first was grinding by the conventional method and the second with the new method. The initial deviations of the tooth profile in the two wheels were similar because these were rectified previously in the same grinding machine.

Keywords: profile tooth angle, cogwheel, gear

1. Introducción

Las transmisiones por ruedas dentadas o por engranaje presentan gran aplicación en los mecanismos de la técnica moderna y sus formas y dimensiones están definidas por su finalidad y condiciones de trabajo. A partir de las exigencias en el funcionamiento del mecanismo, que contiene dicha transmisión dentada, se define el grado de precisión de la misma, el cual está dado por requisitos como la holgura lateral, suavidad de trabajo, precisión cinemática y contacto entre

los dientes establecidos en la norma NC 16-76:83 y se asocian a la calidad en la fabricación del par dentado. Dentro de las variables que componen el requisito de suavidad de trabajo se encuentra el error del perfil del diente f_{fr} e implícito en este, aparece el ángulo de engranaje o ángulo de perfil del diente, formado durante el proceso de fabricación [1].

En la fabricación de ruedas dentadas aparecen operaciones como la de rectificado de los dientes, el tallado, hermanado, lapeado, entre otras, realizadas en máquinas herramienta como la Rectificadora 5M841, de fabricación rusa. El ajuste de la rectificadora se compone de pasos a seguir y dentro de estos, se encuentra el ajuste del mecanismo de esmerilado de la muela rectificadora que permite lograr el ángulo necesario de perfil en las caras laterales de la herramienta. Este ángulo influye directamente en los ángulos de los perfiles adyacentes de los dientes rectificados en la rueda dentada. En la antes citada máquina no existe forma de verificar los ángulos del perfil evolvente en la pieza por lo que se hace necesario su traslado hacia otra, como el medidor de perfil Harbin Measuring&CuttingToolGroup Co. Ltd. modelo 3204B [2]. En dependencia de los resultados obtenidos en las mediciones es posible realizar las correcciones en la herramienta, a través de mecanismos propios de la rectificadora.

Generalmente es necesario realizar estas correcciones en más de una ocasión durante el ajuste inicial de la rectificadora, por lo que en la producción correcta de artículos, se requiere del ajuste complementario y para lograrlo es necesario, en la mayoría de los casos, el uso de piezas (ruedas dentadas previamente talladas) que finalmente son desechadas, pues su utilidad se debe a la preparación inicial de la producción. Dicho proceso se realiza comúnmente en los talleres del territorio en cuestión dedicados a esta actividad a través del método prueba-error. Varios autores reportan [3-5] un método cualitativo de interpretación del perfil según el evolventograma. Es decir, según la forma del gráfico del perfil del diente plantean el problema que ocurre o la corrección a realizar en la herramienta pero no argumentan como determinar las magnitudes de dicha corrección teniendo en cuenta los parámetros geométricos del engranaje [6].

Dedicados al tema, aparecen trabajos enfocados principalmente al ajuste de la herramienta (muela abrasiva) a partir de las mediciones realizadas al perfil de los dientes de la rueda dentada. Tal es el caso de Wang [7], donde se expone un método de ajuste del perfil del diente para ruedas dentadas cilíndricas de dientes oblicuos de forma radial y longitudinal, a partir de un ciclo cerrado entre las mediciones realizadas a la rueda dentada que se rectifica y el ajuste de la rectificadora CNC de engranajes de 5 ejes. Se conforma, una modificación topográfica del flanco del diente a través de la corrección de la herramienta: muela abrasiva. Sin embargo, no se expone un método para el rectificado en rectificadoras de ruedas dentadas convencionales como la 5M841, teniendo en cuenta los coeficientes de altura de cabeza y pie del diente a partir del perfil efectivo de trabajo. Shih [8] propone una corrección en el flanco del diente de engranajes de dientes oblicuos, rectificados mediante el empleo de una rectificadora de ruedas dentadas CNC de 5 ejes, pero los errores reales de la superficie del diente son evaluados mediante un centro de medición de engranajes y no en una máquina de medición.

Por otra parte, Wang [9] realiza la medición del perfil del diente, basada en la modificación topológica del mismo a través de la división del flanco en varios puntos. Se genera una malla de 45 puntos, que evalúan la variación del perfil del diente a través de una máquina de medición de engranajes CNC y no en máquinas convencionales como el medidor de perfil modelo 3204B, donde las mediciones son realizadas en las zonas medias del perfil y ancho del diente. En el caso de Han [10] se elabora un método, para la detección y corrección de puntos bruscos (*outliers*) de cambios, en los valores de perfil del diente reflejados en el perfilograma. Ello se realiza con el objetivo de disminuir la influencia de dichos puntos sobre la medición. Sin embargo, no se expone un método para realizar la corrección en el ángulo de perfil, a través del error de perfil del diente

mejorado a partir del modelo ONDGM (1,1). Compañías reconocidas a nivel mundial como es el caso de Wenzel [11], Gleason Corporation [12], Klingelnberg [13] y Zeiss [14], entre otras, han desarrollado la tecnología necesaria que brinda el gráfico de perfiles del diente en formato digital y papel, a través de softwares como GAMA [15] y GearPro [16], entre otros. Además del ángulo de perfil, brindan un gran número de parámetros de la rueda dentada necesarios, de forma eficaz y eficiente, que pueden ser empleados para el ajuste de la máquina herramienta a través de un ciclo cerrado de medición-ajuste. Sin embargo, para las tecnologías procedente de la antigua Unión Soviética de rectificado de ruedas dentadas, muy utilizada aun en Cuba, no se cuenta con un método que permita el ajuste del ángulo de perfil del diente, con la consecuente utilización de una cantidad mínima de artículos para el ajuste, a los valores permisibles según la Norma Cubana NC 16-76: 83 mediante los perfilogramas del diente.

Es por ello que, elaborar un método que reduzca considerablemente el número de ajustes iniciales del error de perfil del diente, para una producción, permitirá alcanzar mayores índices técnico-económicos en un taller de fabricación de ruedas dentadas con perfil de diente rectificado. Es decir, la conformación de un método de ajuste para el ángulo de perfil del diente rectificado, de una rueda cilíndrica de dientes rectos, a partir de valores de medición iniciales, permitirá introducir los valores requeridos en la rectificadora y lograr un correcto ajuste de la máquina.

2. Materiales y Métodos

Un análisis cualitativo y cuantitativo del resultado en las mediciones realizadas a la pieza, para el ajuste del ángulo de perfil en la rectificadora es posible realizarlo y lograr así una mejora en los índices técnico-económicos, durante la producción. Es por ello que si se conociera el valor de la desviación del perfil del diente en la rueda, luego de ser rectificada inicialmente y medido respecto al perfil nominal que debe existir para las condiciones de trabajo de la transmisión, sería posible elaborar un método que permita el ajuste en menor cantidad de veces en la herramienta. Es decir, si se conoce el valor normalizado del ángulo de la cremallera primitiva de la transmisión entonces es posible determinar los parámetros correctos en la herramienta durante la rodadura con la pieza. El ángulo de la cremallera primitiva α en la Figura 1 se forma entre el eje de simetría de la rueda y las caras laterales de la cremallera primitiva, mientras el ángulo entre la cara lateral de la herramienta y el eje de simetría α_D se denomina ángulo de perfil de herramienta.

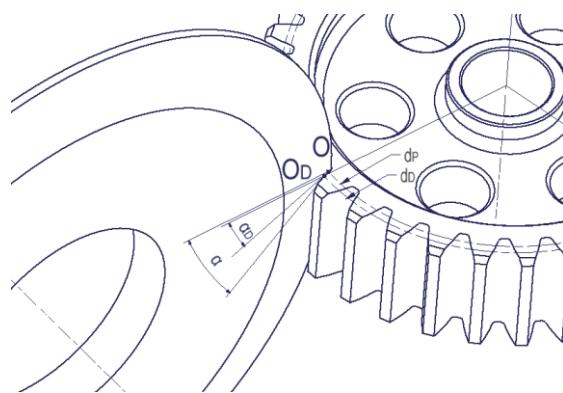


Fig.1 Rodadura entre la rueda dentada y la herramienta

Según sea el valor de α especificado (ángulos de perfil normalizados de $14^{\circ}30'$, 17° , 20° , $22^{\circ}30'$ y 25°) así será el ajuste de α_D seleccionado según el mecanismo de esmerilado de la Fig.2. A través de α se logra fijar el ángulo α_D en grados, minutos y segundos mediante las nonios 1 y 2 (el nonio 3 se refiere al espesor en la punta de la herramienta) en ambas caras de la herramienta. Los ángulos α_3 y α_4 definen el recorrido de los diamantes 4 y 5 respecto al eje de la herramienta y son ajustados

mediante los nonios 1 y 2. Los ángulos de los perfiles derecho e izquierdo de la herramienta se representan como α_1 y α_2 respectivamente.

En la operación de rectificado se perfilan los ángulos α_1 y α_2 mediante el método prueba-error. Estos se corrigen en varias repeticiones, hasta lograr una desviación del perfil real del diente relativo a α dentro del campo de tolerancia referido por la norma NC 16-76:83. Generalmente en la primera y segunda corrección de estos ángulos no se logra el ajuste correcto en la pieza por lo que se hace necesario realizar una tercera o cuarta corrección. Es por esta razón que si se hallara una forma de relacionar α_1 , α_2 , α_3 , α_4 , α y el ángulo de perfil del diente medido, se determinaría la magnitud necesaria de ajuste en la herramienta y obtendría el ángulo α establecido en el plano de la pieza, en una menor cantidad de repeticiones.

Considerando que una variación en el ángulo de perfil de la herramienta provocará igual cambio en el ángulo de perfil evolvente de la rueda, entonces el contorno de la evolvente del diente en la zona efectiva desde k hasta j (Figura 3) se verá modificada según α_1 o α_2 . La variación en α_1 provocará una nueva curva evolvente $k'j$ para el perfil de trabajo del diente bajo un ángulo α' . Si se traza una recta entre los puntos k y j se forma entonces la línea recta kj en todo el perfil de trabajo del diente, obteniéndose entonces el triángulo rectángulo knj , donde n_j es una recta paralela al eje de simetría del diente y que pasa por j.

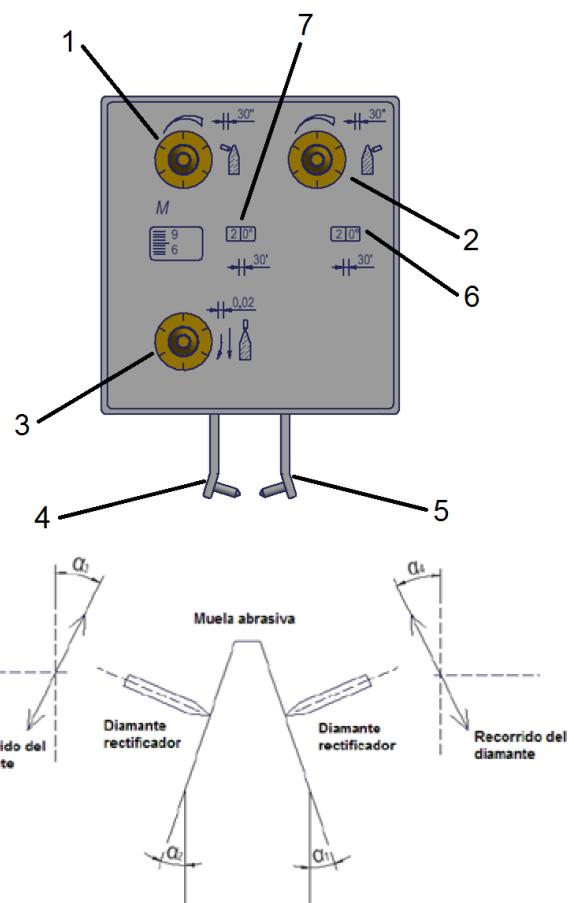


Fig.2 Mecanismo de esmerilado perteneciente a la rectificadora de ruedas dentadas 5M841 y esquema de su funcionamiento

La variación en la evolvente del diente es posible medirla con el medidor de perfil modelo 3204B a través del perfilograma visto en la Figura 4. Dicho medidor se ajusta según los valores de α , módulo del diente y coeficiente de corrección de la rueda para reproducir la curva kj de la Figura 3

mediante un mecanismo de rodadura, registrando las variaciones respecto a dicha evolvente en una cinta de papel. Es decir, se miden las diferencias en la evolvente real del diente medido respecto a la curva evolvente que debe tener dicho diente según sus parámetros (módulo, número de dientes, coeficiente de corrección y ángulo de la cremallera primitiva) a través del medidor por lo que la curva evolvente a obtener se comporta como una línea recta en el gráfico mostrado en la Figura 4.

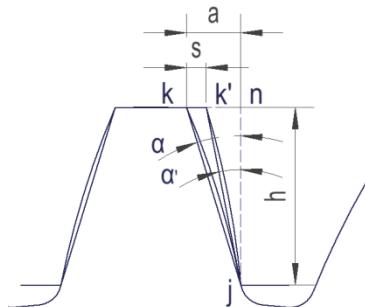


Fig. 3. Variación del indicador inductivo respecto al error del perfil del diente

La variación respecto al perfil evolvente kj representada por $k'j$ representa ahora la magnitud s en la Figura 3 y es dada en micrómetros. Como se necesita conocer el ángulo real del diente medido α' y se tiene la magnitud s se recurre a cálculos trigonométricos:

$$a = \tan \alpha * h \quad (1)$$

Siendo:

α = ángulo de perfil real del diente

a = cota horizontal desde la punta del diente hasta su base o zona efectiva

h = altura del perfil medido del diente

De igual forma:

$$\tan \alpha' = \frac{a - s}{h} \quad (2)$$

Siendo:

α' = nuevo ángulo de perfil del diente

s = desviación en la cota horizontal de la punta del diente e igual a la desviación del ángulo de perfil medida en el diente

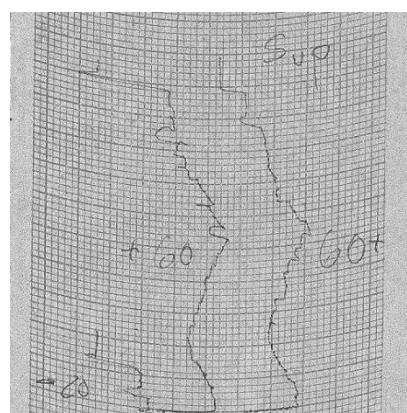


Fig.4 Variación de perfil para el diente número 1 (cada cuadrícula representa 5 μm)

Es decir:

$$\alpha' = \tan^{-1} \left(\frac{a - s}{h} \right) \quad (3)$$

Conociendo que [17]:

$$\text{inv } \alpha^c = \frac{2(X1 + X2)}{(Z1 + Z2)} \tan \alpha_p + \text{inv } \alpha_p \quad (4)$$

Siendo:

$X1$ = coeficientes de corrección del piñón

$X2$ = coeficientes de corrección de la corona

$Z1$ = número de dientes del piñón

$Z2$ = número de dientes de la corona

α_p = ángulo de presión normalizado ($^{\circ}$)

α^c = ángulo de perfil para la rueda dentada corregida ($^{\circ}$)

$$\lambda = \frac{\cos \alpha_p - \cos \alpha^c}{\cos \alpha^c} \quad (5)$$

Siendo:

λ = coeficiente de ángulo

La altura efectiva del diente para ruedas dentadas corregidas según [17] es:

$$h = 2m + \left[\frac{1}{2} \lambda (Z1 + Z2) - (X1 + X2) \right] m \quad (6)$$

Siendo:

h = altura del diente para ruedas dentadas corregidas (mm)

m = módulo de la herramienta (mm)

Sustituyendo (1) en (3) resulta:

$$\alpha' = \tan^{-1} \left(\tan \alpha - \frac{s}{h} \right) \quad (7)$$

Y (6) en (7):

$$\alpha' = \tan^{-1} \left(\tan \alpha - \frac{s}{2m + \left[\frac{1}{2} \lambda (Z1 + Z2) - (X1 + X2) \right] m} \right) \quad (8)$$

De este modo se puede determinar, a partir del error del perfil s , el ángulo real de ambos perfiles de los dientes en una rueda dentada y por tanto la magnitud en grados, minutos y segundos a corregir en la herramienta mediante los nonios 1 y 2 (Figura 2) para lograr el ángulo de perfil en la rueda establecido.

3. Resultados y Discusión

Se realizaron mediciones al error de perfil del diente de una rueda dentada perteneciente al mecanismo de la caja del camión Roman de módulo m igual a 7 mm, número de dientes Z_1 igual a 33, Z_2 de 21, ángulo de perfil del diente α de 20° , coeficiente de corrección X_1 de -0.16 y X_2 de +0.13 y clase de precisión 7Bc. A ello le corresponde una tolerancia para el error de perfil del diente ff de 19 μm según la norma cubana NC 16-76:83. A partir de los resultados obtenidos en el medidor de perfil 3204B dados en la Tabla. 1 y aplicando las ecuaciones (4), (5) y (8) se determinó el ajuste para los ángulos de los flancos izquierdo y derecho de la muela abrasiva en la rectificadora 5M841. Las mediciones se realizaron a una temperatura constante de 25°C .

Se compararon dos casos: uno donde se realizaron las mediciones a una rueda rectificada luego de haber ajustado el ángulo mediante los nonios 1 y 2 de la Figura 2 según el método prueba-error y otro donde dichos ángulos se corrigieron y ajustaron a través del método expuesto en este trabajo, a partir de dos ruedas previamente rectificadas y con desviaciones en el perfil del diente de valores muy cercanos. En ambos casos se rectificó nuevamente la pieza y luego se realizó la medición.

Para determinar el ajuste correcto:

$$\text{inv } \alpha^c = \frac{2(-0.16 + 0.13)}{(33 + 21)} \tan 20^\circ + \text{inv } 20^\circ = 0.0145 \quad (9)$$

Tomando de la tabla II de Apéndices según [17]:

$$\alpha^c = 19^\circ 50'$$

$$\lambda = \frac{\cos 20^\circ - \cos 19^\circ 50'}{\cos 19^\circ 50'} = -0.0011 \quad (10)$$

Sustituyendo en (8) según los valores de la Tabla. 1:

$$\alpha' = \tan^{-1} \left\{ \tan 19^\circ 50' - \frac{0.195 \text{ mm}}{2 * 7 \text{ mm} + \left[\frac{1}{2}(-0.0011)(33 + 21) - (-0.16 + 0.13) \right] * 7 \text{ mm}} \right\} \quad (11)$$

Por lo que para el perfil derecho de la rueda el ángulo de perfil real es:

$$\alpha'_D = 19^\circ 6' 36'' \quad (12)$$

Siendo:

α'_D = ángulo real del perfil derecho del diente

De igual forma:

$$\alpha' = \tan^{-1} \left\{ \tan 19^\circ 50' - \frac{0.115 \text{ mm}}{2 * 7 \text{ mm} + \left[\frac{1}{2}(-0.0011)(33 + 21) - (-0.16 + 0.13) \right] * 7 \text{ mm}} \right\} \quad (13)$$

$$\alpha'_I = 19^\circ 25' 3'' \quad (14)$$

Siendo:

α'_I = ángulo real del perfil izquierdo del diente

Por tanto, el ángulo de la herramienta en el flanco izquierdo (el que elabora el perfil derecho del diente) debe ser corregido en:

$$\alpha_{IZQ}^{CORR} = \alpha - \alpha'_D = 20^\circ - 19^\circ 6' 36'' = 0^\circ 53' 24'' \quad (15)$$

Siendo:

A_{IZQ}^{CORR} = magnitud de corrección en el nonio 1, escala 7 en la Figura 2

El ángulo en el flanco derecho (el que elabora el perfil izquierdo del diente) debe ser corregido en:

$$\alpha_{DER}^{CORR} = \alpha - \alpha'_D = 20^\circ - 19^\circ 25' 3'' = 0^\circ 34' 57'' \quad (16)$$

Siendo:

A_{DER}^{CORR} = magnitud de corrección en el nonio 2, escala 6 en la Fig. 2

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos del error de perfil del diente. En el perfil derecho el signo positivo significa una curva evolvente por encima de la curva a obtener y el signo negativo implica la curva evolvente por debajo de la curva deseada. Para el perfil izquierdo el signo positivo significa una curva evolvente por debajo de la curva a obtener y el signo negativo implica la curva evolvente por encima de la curva deseada. Las desviaciones del perfil real de los dientes respecto al perfil evolvente patrón de la máquina medidora de perfil se exponen también en la Tabla 1. Los valores de la rueda dentada rectificada a la izquierda se deben al método de ajuste común de prueba-error y están representados en la Figura 5 por su desviación tradicional. Es posible ver las amplias dispersiones que representan la sumatoria del error del ángulo de perfil. Disminuir dichas dispersiones hasta valores dentro de la tolerancia implicaría adicionales procedimientos de corrección en la herramienta según las mediciones en la pieza.

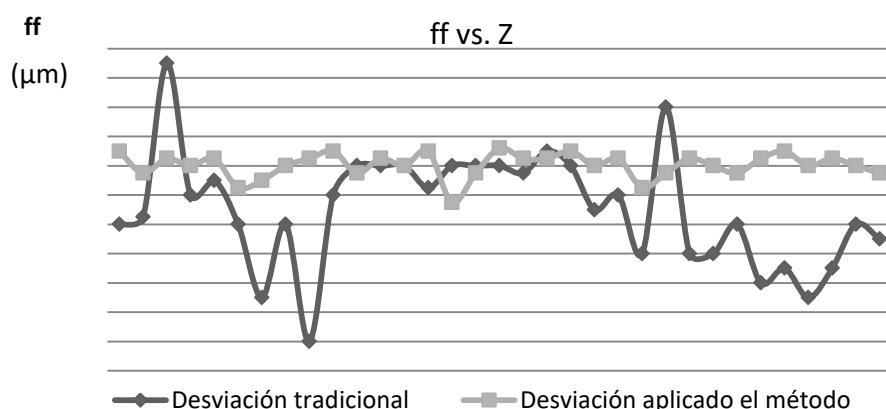


Fig.5 Error en el ángulo de perfil derecho del diente medido en 33 dientes según el método prueba-error y según el método matemático

Manteniendo la máquina herramienta y el dispositivo, a excepción del nuevo ajuste en la muela abrasiva según el método expuesto en este trabajo, es posible apreciar que el campo de tolerancia

de las nuevas mediciones realizadas a la rueda disminuye apreciablemente. Ello se debe a la introducción en el dispositivo de la Figura 2, mediante los nonios 1 y 2, de los valores calculados en las ecuaciones (15) y (16).

Tabla 1. Valores del error del perfil del diente utilizando el medidor de evolvente modelo 3204B
Comparación de error de perfil del diente f_{fr} (μm)

| Rueda dentada rectificada | | | Rueda dentada rectificada | | |
|---|----------------|-------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Desviación máxima | | Desviación máxima | | | |
| | Perfil derecho | Perfil izquierdo | Perfil derecho | Perfil izquierdo | |
| | -180 | +125 | -195 | +115 | |
| Rueda dentada medida según prueba-error | | | | | |
| No. | Perfil derecho | Perfil izquierdo | No. | Perfil derecho | Perfil izquierdo |
| 1 | -60 | +60 | 1 | -10 | -15 |
| 2 | -55 | +80 | 2 | -25 | -10 |
| 3 | +50 | +75 | 3 | -15 | +5 |
| 4 | -40 | +60 | 4 | -20 | +15 |
| 5 | -30 | +60 | 5 | -15 | +25 |
| 6 | -60 | +50 | 6 | -35 | +20 |
| 7 | -110 | +25 | 7 | -30 | +10 |
| 8 | -60 | +35 | 8 | -20 | +8 |
| 9 | -140 | +25 | 9 | -15 | +15 |
| 10 | -40 | +20 | 10 | -10 | +20 |
| 11 | -20 | +20 | 11 | -25 | +35 |
| 12 | -20 | +10 | 12 | -15 | +20 |
| 13 | -20 | +10 | 13 | -20 | +10 |
| 14 | -35 | +7 | 14 | -10 | +15 |
| 15 | -20 | -20 | 15 | -45 | +25 |
| 16 | -20 | +10 | 16 | -25 | +20 |
| 17 | -20 | -10 | 17 | -8 | +10 |
| 18 | -25 | -10 | 18 | -15 | +15 |
| 19 | -10 | -30 | 19 | -15 | +8 |
| 20 | -20 | -10 | 20 | -10 | +15 |
| 21 | -50 | -15 | 21 | -20 | +35 |
| 22 | -40 | +10 | 22 | -15 | +40 |
| 23 | -80 | +5 | 23 | -35 | +25 |
| 24 | +20 | +10 | 24 | -25 | +15 |
| 25 | -80 | -50 | 25 | -15 | +10 |
| 26 | -80 | +15 | 26 | -20 | -10 |
| 27 | -60 | +10 | 27 | -25 | -15 |
| 28 | -100 | +10 | 28 | -15 | -8 |
| 29 | -90 | +25 | 29 | -10 | +10 |
| 30 | -110 | +30 | 30 | -20 | +20 |
| 31 | -90 | +25 | 31 | -15 | +20 |
| 32 | -60 | +25 | 32 | -20 | +25 |
| 33 | -70 | +15 | 33 | -25 | +15 |

4. Conclusiones

A partir del estudio se evidenció que un ajuste correcto en el perfil de la muela abrasiva conduce a la disminución de la desviación del ángulo de perfil del diente de forma más rápida. Ello permite lograr un acercamiento a los valores nominales y tolerancias por una vía mejor, lo que conlleva a una disminución de tiempo y gastos empleados en el ajuste inicial. A través del método prueba-error no se logra una disminución entre máximos y mínimos sustancial. Lograr disminuir la

diferencia entre los puntos extremos requiere del empleo de más de una rueda dentada para el ajuste, lo que significa un gasto adicional incurrido en el proceso de ajuste de la rectificador y por tanto el aumento en el costo de producción. Se recomienda la realización de futuros trabajos investigativos para analizar los restantes parámetros a tener en cuenta durante el proceso de rectificado de los dientes.

Referencias

1. Gear Technology, *Germany officially releases DIN ISO 1328-1:2018-3*, 2018.
2. Harbin measuring & cutting tool group Co., LTD., *Involute and lead measuring machine model 3204B*, 2019. http://www.links-china.com/instrument/ye_3204B.htm
3. Dudley, D.W., *Manual de engranajes Diseño, Manufactura y Aplicación de Engranajes*, 1973. Ed. Continental: México.
4. Puero, M., et al., *A review of tangential composite and radial composite gear inspection*. Precision Engineering Journal, 2017. **50**: p. 26-30.
5. Moderow, R.H., *Gear inspection & chart interpretation*. Gear Technology, 1985. **2**(3): p. 30-48.
6. Gimpert, D., *An Elementary guide to gear inspection*. Gear solutions, 2005. **3**(27): p. 32-38.
7. Wang, H., et al., *Closed-Loop Feedback Flank Errors Correction of Topographic Modification of Helical Gears Based on Form Grinding*. Mathematical Problems in Engineering, 2015. **2015**: p. 1-11.
8. Shih, Y., et al., *Free-Form Flank Correction in Helical Gear Grinding Using a Five-Axis Computer Numerical Control Gear Profile Grinding Machine*. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2012. **134**(4): p. 13-25.
9. Wang, H., et al., *Mathematical model of helical gear topography measurements and tooth flank errors separation*. Mathematical Problems in Engineering, 2015. **2015**: p. 1-10.
10. Han, L., et al., *Outlier detection and correction for the deviations of tooth profiles of gear*. Measurement science review, 2013. **13**(2): p. 56-62.
11. Marks, M., *Measuring left and right*. Gear technology, 2017. **34**(5): p. 22-25.
12. Gleason, C., *The wait is over for lab-level shop floor inspection*. Gear Technology, 2016. **33**(5): p. 20-23.
13. Cannella, A., *Overlapping Pursuits*. Gear Technology, 2018. **35**(5): p. 20-25.
14. Balle, B., *From testing to knowing*. Advanced Technologies in Mechanics, 2015. **2**(5): p. 16-21.
15. Gleason, C., *Gleason presents gear inspection technologies at control*. Gear Technology, 2019. **36**(4): p. 12-14.
16. Zeiss, *Gear Pro Documentation for revision 2015 (5.4)*. Zeiss, 2019. Westlake: Ohio. <https://manualzz.com/doc/4602256/gear-pro-revisionsinformation-2015--5.4>
17. Baranov, G.G., *Curso de la teoría de mecanismos y máquinas*, 1985. Ed. MIR: Moscú.

Conflicto de Intereses

No existe ningún conflicto de intereses entre los autores, ni de los autores con otras entidades vinculadas al contenido del artículo.