

Reingeniería de la geometría desconocida de engranajes cónicos con dientes rectos y curvilíneos.

G. González Rey; S. A. Marrero Osorio

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE).

Facultad de Ingeniería Mecánica. Departamento de Mecánica Aplicada

Calle 116 s/n, CUJAE, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba.

Teléfono: (537)-2663607 E-mails: cidim@mecanica.cujae.edu.cu ; smarrero@mecanica.cujae.edu.cu

(Recibido el 14 de marzo del 2008, aceptado el 16 de julio del 2008)

Resumen

En el trabajo se presenta un procedimiento para dar solución al problema de solución inversa asociado con la determinación de la geometría desconocida del dentado de un engranaje cónico con ejes ortogonales y dientes de altura proporcional en base a cálculos de ingeniería de engranajes y con empleo de mediciones con herramientas de taller. El procedimiento propone un método práctico, con asistencia de un cálculo organizado linealmente y una búsqueda exhaustiva, para obtener los parámetros fundamentales del engranaje que puedan ser utilizados para el cálculo de la capacidad de carga de engranajes cónicos o cuando son “copiados” para realizar la generación de un nuevo engranaje según Normas ISO. El procedimiento de reingeniería, basado en la experiencia de los autores, establece su fundamento en minimizar la diferencia entre parámetros geométricos medidos y calculados, como son los diámetros de crestas de las ruedas, alturas y espesores de los dientes. Los mencionados parámetros pueden ser calculados con una conveniente organización y evaluación de un sistema de fórmulas que involucran las relaciones entre las variables dependientes y variables independientes que se buscan en el proceso de solución al problema inverso de la geometría desconocida, como pueden ser el módulo, los parámetros de la herramienta de generación, los coeficientes de corrección radial y tangencial y el ángulo de la hélice de los dientes.

Palabras claves: Engranaje cónico, ingeniería inversa, geometría de engranaje.

1. Introducción

Uno de los más frecuentes problemas confrontados durante la recuperación o evaluación de la capacidad de carga de engranajes de ruedas dentadas cónicas, en los casos en que no se poseen los planos de fabricación o información pertinente para la elaboración del engranaje, está relacionado con la no disponibilidad de un procedimiento de cálculo efectivo que permita el completo conocimiento de los parámetros básicos de la geometría de los dientes de las ruedas cónicas.

En Cuba, como en muchos países de escasa disponibilidad técnica y según han podido conocer los autores, la solución a los problemas de reingeniería de la geometría de los engranajes cónicos se enfrenta mediante cálculos basados en las dimensiones de los conos de cresta y una posterior elaboración de varias ruedas en talladoras por generación o máquinas fresadoras de dientes, hasta obtener dimensiones semejantes a las ruedas que se analizan en base a

procesos de prueba y error con aproximaciones sucesivas. Como puede ser comprendido, este es un proceso costoso y solo justifica su aplicación en un lote numeroso de ruedas cónicas con iguales dimensiones.

Por tal motivo, es objetivo del presente trabajo orientar un procedimiento simple, basado en mediciones prácticas con valores medios de precisión, que permita mediante un proceso de ingeniería inversa obtener los parámetros geométricos básicos desconocidos en engranajes cónicos con ejes ortogonales y dientes de altura proporcional (ver Figura 1 y Figura 2), que posibilite una reconstrucción de las ruedas con dimensiones próximas a la muestra y/o una evaluación de la capacidad de carga, esta última acción muy necesaria en casos de reacondicionamiento de equipos re-potenciados y modernizados.

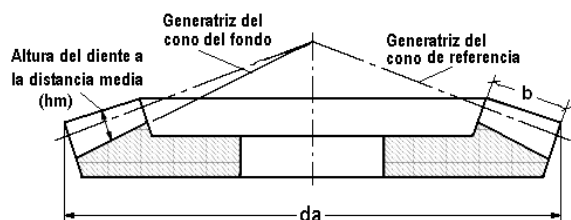


Figura 1 – Dibujo de rueda cónica con altura de dientes proporcional. Notar que los vértices del cono de fondo y el vértice del cono de referencia son concurrentes.

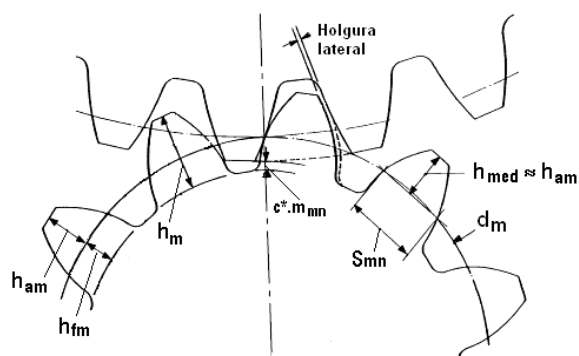


Figura 2 – Identificación y simbología de algunos parámetros de engranajes cónicos a la distancia cónica media.

2. Objetivo de la ingeniería inversa de los parámetros del dentado de un engranaje cónico.

Las reglas para elaborar los planos de trabajo (de taller) de las ruedas cónicas orientan la identificación de los parámetros geométricos fundamentales del dentado en la representación de las ruedas y en la tabla de parámetros que acompaña el plano. En general, se requiere la información de la geometría del dentado de los parámetros que se declaran en la Tabla 1.

Actualmente, en el mercado internacional existe una amplia variedad de máquinas de medición por coordenadas y controladores de engranaje con generación de patrones destinados a la inspección y control de estos elementos. En estas avanzadas máquinas de inspección, el perfil de los dientes puede ser comprobado y comparado con la topografía de un flanco de referencia y mediante un procedimiento de prueba y error es posible obtener una geometría aproximada de los engranajes analizados [1]. Desafortunadamente, los precios de ventas de estas máquinas están entre los US\$ 300 000 y US\$ 500 000 y con escasas posibilidades de adquisición en la mayoría de las fábricas vinculadas con la recuperación de ruedas dentadas. Debido a esta situación, especialistas de engranajes dedicados a la recuperación de ruedas dentadas han considerado procedimientos

alternativos para determinar la geometría desconocida de los engranajes con empleo de herramientas convencionales de medición [2,3,4].

Tabla 1 – Geometría necesaria de un engranaje cónico para la generación de los dientes.

Parámetro	Símbolo	Unidad
Número de dientes en el piñón	z_1	
Número de dientes en la rueda	z_2	
Módulo medio normal	m_{mn}	mm
Ancho de engranaje	b_w	mm
Ángulo entre ejes	Σ	°
Ángulo medio de la hélice de los dientes	β_m	°
Coefficiente de corrección radial en el piñón	x_{hm1}	
Coefficiente de corrección radial en la rueda	x_{hm2}	
Coefficiente de corrección tangencial en el piñón	x_{sm1}	
Coefficiente de corrección tangencial en la rueda	x_{sm2}	
Factor de altura de la cabeza de cuchilla	h_a^*	
Ángulo de presión en la cuchilla	α	
Factor constante de holgura radial	c^*	
Factor del radio de fondo del diente (cresta de la cuchilla)	r_f^*	
Radio de corte del cabezal	r_c	mm

3. Parámetros a medir y datos de partida.

Con el objetivo de realizar los cálculos que permiten obtener la geometría fundamental del dentado de las ruedas del engranaje cónico es necesario que sean obtenidos los siguientes seis parámetros:

1) Ángulo interaxial (Σ): Se observa con facilidad en el montaje cuando el engranaje cónico es ortogonal. La solución que se brinda en este trabajo es para engranajes cónicos ortogonales, entonces $\Sigma = 90^\circ$.

2) Número de dientes de las ruedas (z_1, z_2): Se debe tener especial cuidado al realizar el conteo de la cantidad de dientes en las ruedas del engranaje cónico analizado. Es recomendable realizar alguna marca que ayude en este procedimiento.

3) Diámetros de cresta de las ruedas (d_{ae1}, d_{ae2}): Esta medición puede ser realizada con un pie de rey de dimensiones adecuadas y que permita medir la distancia entre crestas de dientes opuestos diametralmente (ver Figura 1). La medida siempre será

más precisa en ruedas con número par de dientes. También es prácticamente aplicable en ruedas con cantidad impar de dientes, siempre mejor mientras mayor sea el número de dientes. En ruedas con una modificación importante de su cresta exterior (ver Figura 3) el procedimiento se ve limitado y es recomendable estimar un valor de diámetro de cresta exterior y considerando el talón recortado de la cresta del diente, en estos casos los resultados podrían verse afectados.

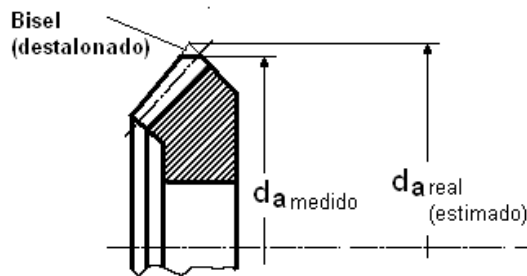


Figura 3 - Rueda cónica con bisel en el cono externo que impide una precisión del diámetro de cresta exterior

4) Ancho de los dientes de las ruedas (b_1 , b_2): El ancho de los dientes será medido en el plano axial de las ruedas (plano que contiene a los ejes de rotación de las ruedas). Ver Figura 1. Puede ser empleado un pie de rey, aunque es suficiente una regla con graduaciones en milímetros.

5) Altura de dientes de las ruedas (h_1 , h_2): Deben realizarse varias mediciones en las ruedas cónicas especificando a qué distancia del centro del vértice del cono (exterior, media e interior). Estas mediciones pueden ser realizadas con un pie de rey que tenga extensión de profundidad. Debe tenerse especial cuidado en realizar la medición desde la cresta del diente hasta su fondo, en un punto lo más cercano a la base del diente.

6) Ángulo de inclinación de la hélice en el cono de cresta (cabeza) β_a : En el caso de engranajes cónicos de dientes rectos o dientes del tipo Zerol, no se hace necesario esta etapa y se acepta el valor de ángulo de inclinación de la hélice como $\beta = 0^\circ$. Ver Fig.4.

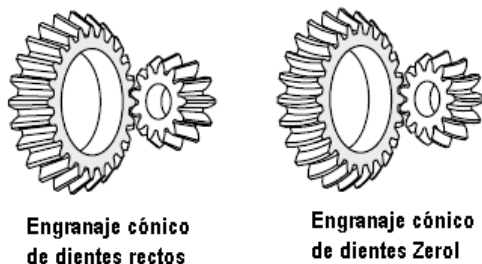


Figura 4 - Engranajes con ángulo de hélice a la distancia cónica media con valor $\beta_m = 0^\circ$.

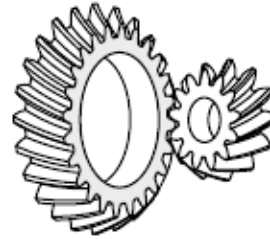


Figura 5 - Engranaje con ángulo de inclinación de hélice a la distancia cónica media $\beta_m \neq 0^\circ$.

El ángulo de inclinación de la hélice β es quizás de los valores más difíciles de precisar en el caso de dientes tangenciales o curvilíneos, cuando no se disponen de comprobadores de hélices o equipos auxiliares para medir el ángulo de inclinación del diente, en estos casos es necesario recurrir a procedimientos de medición menos precisos, pero también más simples, como el conocido y denominado: *huella de la cresta*.

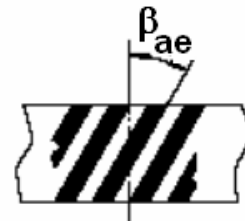


Figura 6 - Marca de la cresta de los dientes para medir el ángulo de inclinación de la hélice en el diámetro exterior β_{ae} .



Figura 7 - Diferentes ángulos de inclinación de la hélice del diente según el diámetro y la distancia de medición en el diámetro exterior (β_{ae} , β_{am} , β_e y β_m).

Con este fin, la cresta de los dientes de las ruedas son untadas ligeramente con algún líquido marcador, de forma tal que permita dejar una clara huella al presionar los dientes sobre una superficie limpia, lisa y blanca. Ver Figura 6. En esta huella es posible medir con cierta precisión el ángulo de inclinación de la hélice del diente sobre la cresta β_a . Con la huella de la hélice en el cono

de cresta se pueden obtener varias mediciones del ángulo especificando a que distancia del centro del vértice del cono (exterior β_e , media β_m e interior β_i) se hace la medición.

4. Parámetros asociados con el tallado de los dientes de las ruedas dentadas cónicas.

Aunque los procedimientos de tallado de las ruedas cónicas con empleo de cuchillas ajustables permiten una ligera diferencia entre el módulo de la herramienta de corte y el de los dientes de las ruedas (en dependencia de la profundidad del tallado), es preferible el empleo de módulos normalizados correspondientes con los tamaños de cuchillas generalmente comercializados. En engranajes cónicos de dientes rectos se realiza la normalización del módulo m_{ne} a la distancia cónica exterior y en el caso de dientes curvilíneos se prefiere la normalización del módulo a la distancia cónica media con empleo del módulo normal medio m_{nm} . Adicionalmente, el radio del cabezal r_c donde se disponen las cuchillas es otro valor necesario a normalizar en el caso de engranajes cónicos de dientes curvilíneos; este valor influye en el largo de la generatriz de los dientes. Valores normalizados de módulo y radio de cabezal se brindan en la Tabla 2.

Tabla 2 – Parámetros normalizados asociados con el tallado de ruedas dentadas cónicas [5,6,7].

Módulo según serie I (preferida) en mm.	1,00 1,25 1,50 2,00 3,00 4,00 5,00 6,00 8,00 10,0 12,0 16,0 20,0 25,0 32,0 40,0 50,0
Módulo según serie II (no preferida) en mm.	1,125 1,375 1,750 2,250 2,275 3,500 4,500 5,500 6,500 7,000 9,000 11,00 14,00 18,00 22,00 28,00 36,00 45,00
Radio del cabezal en mm para dientes curvilíneos.	6,35 12,70 19,05 25,40 34,92 44,45 57,17 63,50 76,20 79,37 95,25 114,30 133,35 152,40 177,80 203,20 228,60 250 320 400 500 600
Ángulo del perfil.	$\alpha = 20^\circ$ es preferido. Son admisibles, pero menos frecuentes, valores de $14,5^\circ$ $17,5^\circ$ $22,5^\circ$ $25,0^\circ$ $28,0^\circ$
Factor de altura de la cabeza.	Valor de mayor preferencia $ha^* = 1$, aunque son admisibles $ha^* = 0,8$ (dientes cortos) y $ha^* = 1,25$ (dientes largos).
Factor de holgura radial.	Valor de mayor preferencia $c^* = 0,2$. Otros valores posibles son $c^* = 0,16$ $0,25$ $0,35$ $0,40$
Factor del radio de curvatura en el fondo.	Valores típicos de ρ^* son $0,15$ $0,20$ $0,25$ $0,30$ $0,40$. El factor de holgura radial c^* determina el mayor valor posible del factor del radio de curvatura en el fondo ρ^*

5. Procedimiento para obtención de los parámetros geométricos del dentado de un engranaje cónico.

Finalmente, la geometría del engranaje puede ser obtenida con ayuda de un procedimiento de cálculo (los autores emplearon Microsoft Excel) que permita iteraciones de los diferentes parámetros geométricos que puedan ser asignados a la rueda y al piñón.

El procedimiento que se propone es un método práctico para obtener los parámetros fundamentales de la geometría de un engranaje cónico correspondiente al sistema métrico según Normas ISO (Ver Figura 7).

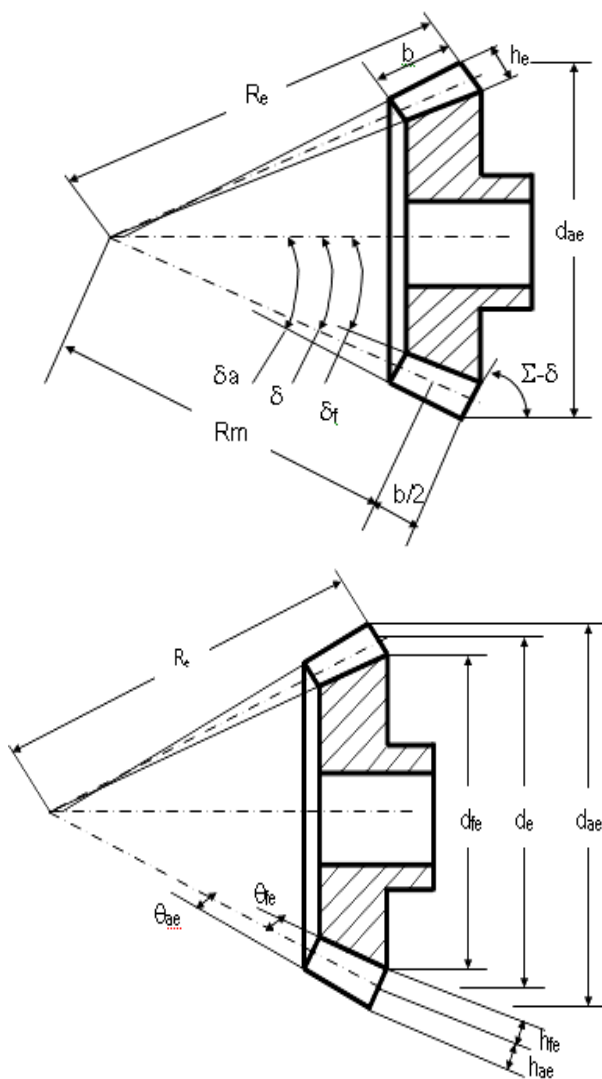


Figura 7 - Identificación de los parámetros geométricos fundamentales en una rueda dentada cónica.

El procedimiento de ingeniería inversa se basa en un proceso de simulación del comportamiento de las variables medidas (consideradas como datos, como son los diámetros de crestas de las ruedas, alturas y espesores de los dientes, etc) en dependencias de aquellas variables independientes que se desean obtener en el proceso de ingeniería inversa (módulo, parámetros de la herramienta de generación, coeficientes de corrección radial y tangencial, ángulo de la hélice, etc). El procedimiento se organiza mediante una búsqueda exhaustiva, con empleo de un proceso de cálculo con prueba y error, que permita obtener una geometría aproximada de los engranajes analizados. Una organización del procedimiento se muestra mediante un diagrama de bloque en la Figura 8.

En la Tabla 1 son declaradas las variables independientes (datos). Las relaciones (fórmulas) necesarias para el cálculo de la geometría básica del engranaje cónico con dientes de altura proporcional y ejes ortogonales son referidas en la Tabla 3, con una organización consecutiva en orden de cálculo que permite valorar la diferencia entre los parámetros geométricos, como los diámetros de crestas de las ruedas, las alturas y espesores de los dientes, que han sido obtenidos prácticamente (valores medidos) según los procedimientos declarados en el epígrafe 3 y los obtenidos según el orden de calculo propuesto en este trabajo.

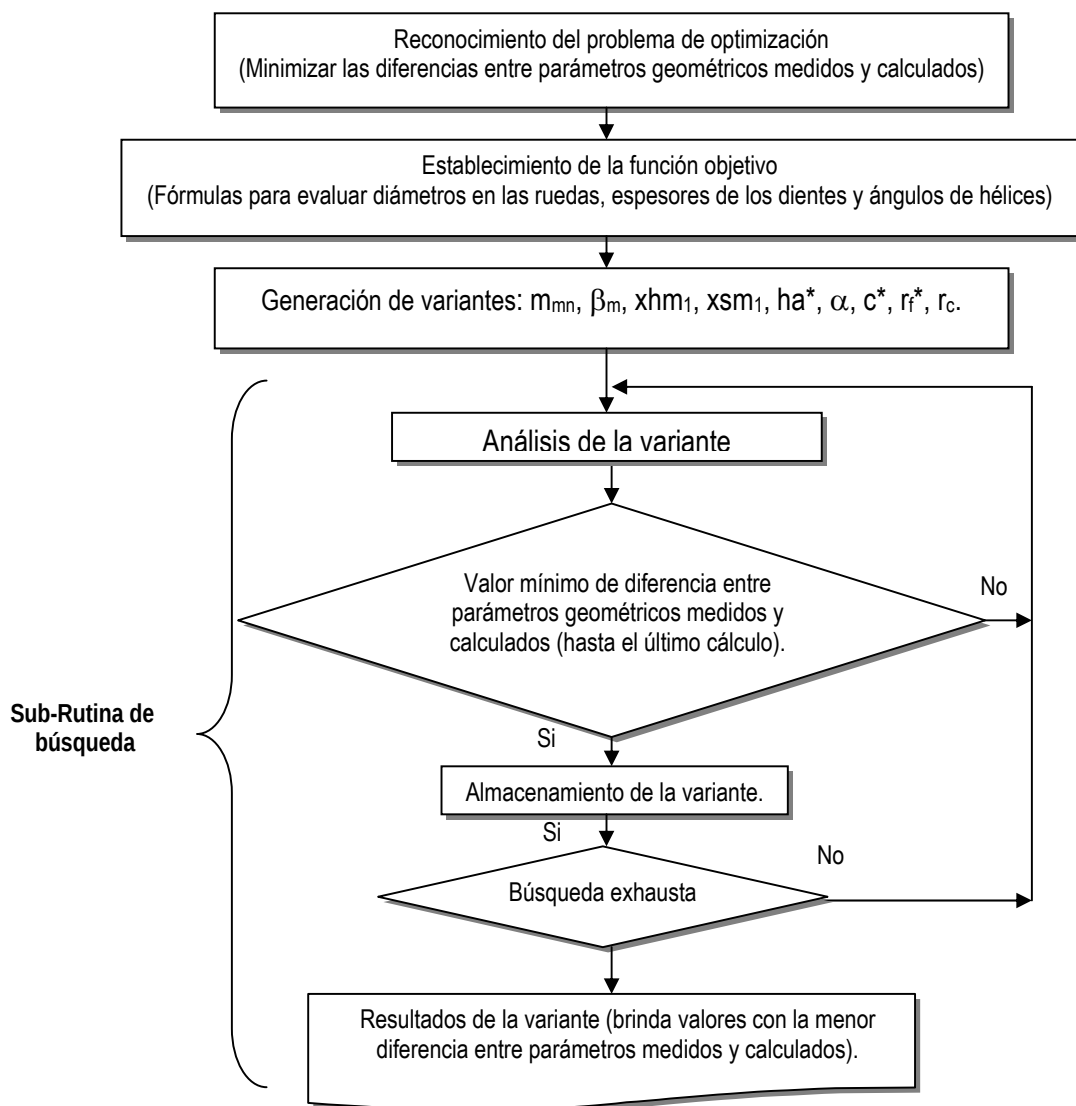


Figura 8 - Diagrama de bloque del procedimiento de ingeniería inversa organizado mediante una búsqueda exhaustiva y con empleo de un proceso cálculo por prueba y error que permite obtener la geometría de un engranaje cónico del cual se desconocen sus parámetros geométricos fundamentales.

Tabla 3 - Relaciones para el cálculo de la geometría básica del engranaje cónico ortogonal con dientes de altura proporcional, considerando parámetros del piñón (1) y rueda (2).

No.	Parámetro a calcular	Fórmula
1	Ángulos de los semiconos primitivos	$\delta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{z_2}{z_1}\right)$; $\delta_1 = 90^\circ - \delta_2$
2	Número de dientes de la rueda plana	$z_c = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$
3	Módulo transversal medio	$m_{mt} = m_{mn} / \cos \beta_m$
4	Distancia cónica media	$R_m = 0,5 \cdot m_{mt} \cdot z_c$
5	Módulo transversal exterior	$m_{et} = m_{mt} \cdot R_e / R_m$
6	Distancia cónica exterior	$R_e = 0,5 \cdot m_{et} \cdot z_c$
7	Diámetros de referencia exterior	$d_{e1} = m_{et} \cdot z_1$; $d_{e2} = m_{et} \cdot z_2$
8	Ángulo de hélice en cono de referencia (Sistema Gleason), a la distancia cónica exterior	$\beta_e = \sin^{-1} \left[\frac{R_m \cdot \sin \beta_m - \frac{(R_m^2 - R_e^2)}{2 \cdot r_c}}{R_e} \right]$
9	Módulo normal exterior	$m_{ne} = \frac{2 \cdot R_e \cdot \cos \beta_e}{z_c}$
10	Ángulo de hélice sobre cono de cresta a la distancia cónica exterior (se comparan con los medidos):	$\beta_{ae2} = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \beta_e \cdot d_{ae2}}{m_{ne} \cdot z_2} \right)$; $\beta_{ae1} = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \beta_e \cdot d_{ae1}}{m_{ne} \cdot z_1} \right)$
11	Diámetros de referencia medio	$d_{m1} = m_{mt} \cdot z_1$; $d_{m2} = m_{mt} \cdot z_2$
12	Alturas media del pie de diente	$h_{fm1} = (h_a^* + c^* - x_{hm1}) \cdot m_{mn}$; $h_{fm2} = (h_a^* + c^* - x_{hm2}) \cdot m_{mn}$
13	Alturas media de cabeza del diente	$h_{am1} = (h_a^* + x_{hm1}) \cdot m_{mn}$; $h_{am2} = (h_a^* + x_{hm2}) \cdot m_{mn}$
14	Alturas medias del diente (se comparan con los medidos)	$h_{m1} = h_{am1} + h_{fm1}$; $h_{m2} = h_{am2} + h_{fm2}$
15	Ángulos de cabeza y de pie	$\theta_{f1} = \theta_{a2} = \tan^{-1} \left(\frac{h_{fm1}}{R_m} \right)$; $\theta_{f2} = \theta_{a1} = \tan^{-1} \left(\frac{h_{fm2}}{R_m} \right)$
16	Ángulos del cono de cresta	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1}$; $\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2}$
17	Ángulos del cono de fondo	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$; $\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$
18	Alturas exteriores del pie del diente	$h_{fe1} = h_{fm1} + 0,5 \cdot b \cdot \tan \theta_{f1}$; $h_{fe2} = h_{fm2} + 0,5 \cdot b \cdot \tan \theta_{f2}$
19	Alturas exteriores de cabeza de diente	$h_{ae1} = h_{am1} + 0,5 \cdot b \cdot \tan \theta_{a1}$; $h_{ae2} = h_{am2} + 0,5 \cdot b \cdot \tan \theta_{a2}$
20	Alturas exteriores del diente (se comparan con los medidos)	$h_{e1} = h_{ae1} + h_{fe1}$; $h_{e2} = h_{ae2} + h_{fe2}$
21	Diámetros de cresta exterior (se comparan con los medidos)	$d_{ae1} = d_{e1} + 2 \cdot h_{ae1} \cdot \cos \delta_1$; $d_{ae2} = d_{e2} + 2 \cdot h_{ae2} \cdot \cos \delta_2$
22	Espesores normal medio del diente en cono de referencia (se comparan con los medidos)	$S_{mn1} = (0,5 \cdot \pi + 2 \cdot x_{hm1} \cdot \tan \alpha + x_{sm1}) \cdot m_{mn}$; $S_{mn2} = \pi \cdot m_{mn} - S_{mn1}$ (despreciando la holgura lateral)

6. Ejemplo de caso.

Con el objetivo de demostrar la aplicación del procedimiento en el estimado de la geometría de un engranaje cónico, es presentado un ejemplo práctico. En las Tabla 4 y Tabla 5 se muestran los datos empleados y los resultados, según los cálculos paso a paso, declarados en la organización del procedimiento y en la Tabla 3.

Tabla 4 – Valores iniciales obtenidos de mediciones y variables propuestas de la geometría básica del engranaje cónico.

Datos iniciales (mediciones) :
Ángulo interaxial $\Sigma = 90^\circ$ Número de dientes en el piñón $z_1 = 13$ Número de dientes en la rueda $z_2 = 24$ Diámetro de cresta exterior en el piñón: $d_{ae1} \approx 135\text{mm}$. (Fue estimado con alguna imprecisión debido a una modificación importante de la cresta exterior del piñón). Diámetro de cresta exterior en la rueda: $d_{ae2} = 229,0\text{mm}$ Ancho del engranaje en piñón (mm) $b_1 = 33,5\text{ mm}$ Ancho de engranaje en rueda (mm) $b_2 = 32,4\text{ mm}$ Altura exterior del diente en rueda $h_{e2} = 21,5\text{mm}$ Espesor normal medio del diente en piñón $s_{mn1} = 10,10\text{mm}$ Espesor normal medio del diente en rueda $s_{mn2} = 10,05\text{mm}$ Altura media del diente en piñón $h_{m1} = 18,0\text{mm}$ (aproximada) Angulo exterior de hélice en rueda en cresta $\beta_{ae2} \approx 41^\circ$
Variables independientes propuestas y que minimizan las diferencias entre valores medidos y calculados.
Módulo medio normal $m_{mn} = 6,5$ Ángulo medio de la hélice de los dientes $\beta_m = 35^\circ$ Coeficiente de corrección radial en el piñón $x_{hm1} = 0$ Coeficiente de corrección radial en la rueda $x_{hm2} = 0$ Coeficiente de corrección tangencial en el piñón $x_{sm1} = 0$ Coeficiente de corrección tangencial en la rueda $x_{sm2} = 0$ Factor de altura de la cabeza de cuchilla $h_a^* = 1,25$ Ángulo de presión en la cuchilla $\alpha = 20^\circ$ Factor constante de holgura radial $c^* = 0,4$ Factor del radio de fondo del diente $r_f^* = 0,6$ Radio de corte del cabezal $r_c = 95,25\text{ mm}$

Tabla 5 - Resultados según procedimiento de cálculos orientados en la Tabla 3

Parámetro a calcular	Resultados
Ángulos de los semiconos primitivos	$\delta_1 = 28,44^\circ$ $\delta_2 = 61,56^\circ$
Número de dientes de la rueda plana	$Z_c = 27,29$
Módulo transversal medio	$m_{mt} = 7,935\text{ mm}$
Distancia cónica media	$R_m = 108,29\text{ mm}$
Módulo transversal exterior	$m_{et} = 9,144\text{ mm}$
Distancia cónica exterior	$R_e = 124,79\text{ mm}$
Diámetros de referencia exterior	$d_{ae1} = 118,87\text{ mm};$ $d_{ae2} = 219,46\text{ mm}$
Ángulo de hélice en cono de referencia en el exterior	$\beta_e = 41,46^\circ$
Módulo normal exterior	$m_{ne} = 6,874\text{ mm}$
Ángulo de hélice sobre cono de cresta en el exterior (se comparan con valores medidos):	$\beta_{ae1} = 45,12^\circ;$ $\beta_{ae2} = 42,44^\circ$ (Diferencia = + 3,5%)
Diámetros de referencia medio	$d_{m1} = 103,16\text{ mm};$ $d_{m2} = 190,44\text{ mm}$
Alturas media del pie de diente	$h_{fm1} = h_{fm2} = 10,72\text{ mm}$
Alturas media de cabeza del diente	$h_{am1} = h_{am2} = 8,12\text{ mm}$
Alturas medias del diente (se comparan con valores medidos)	$h_{m1} = h_{m2} = 18,85\text{ mm}$ (Diferencia = + 4,7%)
Ángulos de cabeza y de pie	$\theta_{r1} = \theta_{a2} = 5,66^\circ$ $\theta_{r2} = \theta_{a1} = 5,66^\circ$
Ángulos del cono de cresta	$\delta_{a1} = 34,10^\circ; \delta_{a2} = 67,21^\circ$
Ángulos del cono de fondo	$\delta_{f1} = 22,79^\circ; \delta_{f2} = 55,90^\circ$
Alturas exteriores del pie del diente	$h_{fe1} = h_{fe2} = 12,36\text{ mm}$
Alturas exteriores de cabeza de diente	$h_{ae1} = h_{ae2} = 9,76\text{ mm}$
Alturas exteriores del diente (se comparan con valores medidos)	$h_{e1} = h_{e2} = 22,12\text{ mm}$ (Diferencia = + 2,9%)
Diámetros de cresta exterior (se comparan con valores medidos)	$d_{ae1} = 136,04\text{ mm};$ $d_{ae2} = 228,75\text{ mm}$ (Diferencia = + 0,8...-0,1%)
Espesores normal medio del diente en cono de referencia (se comparan con valores medidos)	$s_{mn1} = s_{mn2} = 10,21\text{ mm}$ (Diferencia = + 0,1...1,6%)

6. Conclusiones.

En el trabajo se presenta un procedimiento para determinar mediante ingeniería inversa la geometría básica de un engranaje cónico ortogonal con dientes de altura proporcional a partir de mediciones efectuadas con herramientas de taller. El procedimiento establece un proceso de simulación del comportamiento de las variables medidas (consideradas como datos, como son los diámetros de crestas de las ruedas, alturas y espesores de los dientes) en dependencia de aquellas variables independientes que son buscadas en el proceso de ingeniería inversa (módulo, parámetros de la herramienta de generación, coeficientes de corrección radial y tangencial y ángulo de la hélice).

Este procedimiento ha sido aplicado con éxito en varios trabajos de ingeniería de engranaje donde fue necesario obtener la geometría desconocida del dentado de engranajes cónicos. La experiencia de la aplicación práctica del procedimiento para dar solución al problema inverso de determinación de la geometría desconocida de engranajes cónicos permite asegurar que diferencias no mayores del 5% entre los valores medidos y los calculados son admisibles.

Es de destacar que los resultados derivados del procedimiento brindan valores estimado de la geometría del engranaje, dependiendo de la precisión de las mediciones y los propios errores de fabricación de las ruedas. Este concepto es importante, porque establece que el procedimiento presentado permite estimar parámetros de la geometría de las ruedas cónicas que no son necesariamente los valores de los parámetros usados

inicialmente para la generación del engranaje, pero son lo suficientemente útiles como referencia para el cálculo de la capacidad de carga del engranaje o cuando son “copiados” para realizar la generación de un nuevo engranaje según Normas ISO.

7. Referencias.

1. Grimsley, P. *Software solutions for unknown gear*. Gear Solutions. June 2003. pp. 16-23.
2. González Rey, G.; *Procedimiento para la obtención de los parámetros geométricos básicos de un engranaje cónico de dientes rectos*. Ingeniería Mecánica, Vol. 2, No.1, 1999, pp. 23-31.
3. Regalado I., López R.; *Reverse engineering of pure involute cylindrical gears using conventional measurement tools*. Gear Technology. Jan-Feb. 2000. pp. 32-35.
4. Rivero Llerena, G.; *Descifrado geométrico de transmisiones de engranaje por tornillo sinfín cilíndrico*. Ingeniería Mecánica Vol. 3, No. 1, 2000, pp. 20-39.
5. NC-ISO 678: 2007. *Engranajes cónicos de dientes rectos para la industria general y pesada – Módulos y pasos diametrales*. Ciudad de La Habana. 2007.
6. ANSI/AGMA 2005-D03, *Design manual for bevel gears*, AGMA, Alexandria, Virginia. 2003.
7. ISO 17485:2006, *Bevel gears - ISO system of accuracy*. ISO. 2006.

Determination of the unknown geometry of straight and spiral bevel gears by means of inverse engineering.

Abstract

A procedure for the solution of inverse problem to assist gear engineering designers in the cases of the determination of the basic unknown geometry of bevel gear with shaft angle of 90 degrees and standard depthwise tooth taper has been presented. The proposed method can be used as an alternative procedure to determine the unknown bevel gear geometry using conventional measurement tools. The procedure, based on author's experiences, proposes a practical method with assistance of an organized calculation and an exhaustive search, directed to obtain by calculating and conventional measurement with simple tools the fundamental bevel gear geometry parameters. The inverse engineering procedure is based in minimizing the difference between measured and calculated parameters associated with the bevel gear geometry, like as the tip diameters, helix angles, depths and thickness of teeth and other gear geometry features.

Key words: Bevel gears, reverse engineering, bevel gear geometry, ISO bevel gear.