

Métodos automatizados en el aprendizaje de cálculo de engranajes en la formación del Ingeniero Mecánico

Automated methods in the learning of calculation of gears in the formation of the mechanical engineer

M. Sc. Angel Martínez Delfín^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-3678-1710>

M. Sc. Irma de las Casas Tomas¹ <https://orcid.org/0000-0003-3629-7304>

¹ Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba.

* Autor para la correspondencia (email) amdelfin@mecanica.cujae.edu.cu

RESUMEN

Objetivo: El artículo tiene como objetivo ofrecer una alternativa que facilite el procesamiento del cálculo de la capacidad de carga de los engranajes cilíndricos con empleo de métodos automatizados en la asignatura Elementos de Máquinas, esta opción está basada en un modelo matemático del lugar geométrico de los puntos del contorno de los dientes en coordenadas polares.

Métodos: Los métodos analíticos sintéticos y el matemático estadístico posibilitaron el diseño de la propuesta y la realización del cálculo de capacidad ya referido.

Resultados: Se demuestra cómo es posible que los estudiantes aprendan a realizar estos cálculos con el auxilio de métodos automatizados desde la asignatura Elementos de Máquina en la carrera del Ingeniero Mecánico. De igual forma, se definió la necesidad de un nuevo método para los temas relacionados con los engranajes, garantizando así el aprendizaje de la forma de trabajo de los principales deterioros de los mismos y en función de ello, las comprobaciones necesarias a realizar.

Conclusión: La introducción de métodos de cálculo automatizados en el aprendizaje de cálculo de la capacidad de carga de los engranajes facilita el aprendizaje de los estudiantes y el desarrollo de competencias profesionales del futuro ingeniero mecánico.

Palabras clave: métodos de enseñanza, enseñanza asistida por computadora, cálculo.

ABSTRACT

Objective: The paper aims at devising an alternative for teaching and learning how to calculate the capacity of the load of the cylindrical gears with the use of automated methods. This alternative is based on a mathematic model of the locus of the points of the contour of the teeth in polar coordinates.

Methods: Using synthetic analytical methods and statistical mathematics, it was possible to perform the referred calculation and proposing a teaching method.

Results: The text illustrated that it is possible to instruct the students to calculate gear load capacity by means of automated procedures. Likewise, the need for a new teaching method to deal with gears is argued. This method fosters students learning of professional techniques to examine gears and how to distinguish worn-out properties.

Conclusion: The introduction of automated methods to learn how to calculate the capacity of the load of the cylindrical gears facilitates students learning and the development of professional competencies of the would-be mechanical engineer.

Keywords: computer-assisted learning, teaching methods, calculation

Recibido: 15/07/2019

Aprobado: 5/10/2019

INTRODUCCIÓN

En las carreras universitarias, el continuo perfeccionamiento de los planes de estudio para la formación integral de sus egresados constituye uno de los principios fundamentales de la Educación Superior. Así lo constatan los Lineamientos de la Política Económica y Social del país, al amparar, que en su apartado declara la necesidad de actualizar los programas de formación en las universidades, en correspondencia con el desarrollo del modelo económico y social cubano y las nuevas tecnologías (Partido Comunista de Cuba, 2017). Con esto se aspira a que el egresado asimile y produzca nuevas tecnologías, “que tenga pleno conocimiento de las necesidades de Cuba, de su gente, y se vincule en la solución de los múltiples desafíos” (Gómez, González, & Escalona, 2018).

Al reducirse el tiempo de estudio de las carreras a cuatro años, se hace necesario buscar formas más rápidas y seguras para la resolución de tareas docentes que faciliten el aprendizaje, así como que promuevan la independencia del estudiante. En este artículo se examina una alternativa de método para el tratamiento del contenido relacionado con los engranajes correspondientes a la asignatura Elementos de Máquinas.

Los engranajes forman parte importante de una gran cantidad de mecanismos que permiten la transmisión de potencia desde la entrada hasta la salida de la transmisión. Es habitual tomar como

referencia para los esfuerzos a contacto el modelo formado por dos cilindros en contacto oprimidos con una fuerza, considerando que los cilindros tienen un radio igual al de los flancos de los dientes que hacen contacto en el polo y que la longitud de los cilindros es igual a la longitud sumaria del engranaje (González, García, & García, 1997, 2000, 2010; González & Marrero, 2008). Esto permite tomar como base la ecuación de Hertz para determinar los esfuerzos de contacto que surgen en los dientes que es la vía en que normalmente se realizan estos cálculos, sin embargo esta forma resulta muy trabajosa para los estudiantes; considerando que si se utiliza otro procedimiento, que además de ser automatizado resulta asequible para ellos y de rápida resolución, se lograrían mejores resultados en el aprendizaje de este tema, de ahí que este trabajo tenga como objetivo demostrar cómo resolver ecuaciones para el cálculo geométrico del engranaje cilíndrico de ejes paralelos y contacto exterior de forma automatizada.

La necesidad de instruir mediante elementos prácticos y reales de la cotidianidad y el aprendizaje orientado como un todo, donde el estudiante se apoye en el trabajo independiente que resulta fundamental para lograr tales objetivos, visto esto como: “un método de enseñanza-aprendizaje que posibilita la organización de la actividad cognoscitiva independiente, en la cual el alumno, para buscar la solución de un problema, se ve obligado a interactuar con las fuentes del conocimiento, mediante operaciones lógicas del pensamiento (análisis, síntesis, deducción, inducción, comparación, generalización y abstracción), que le permiten adquirir conocimientos o formar habilidades, orientado, controlado y dirigido de forma relativa por el profesor, dependiendo de la independencia cognoscitiva que haya alcanzado” (Guerra, 2006).

Cuando el estudiante se decide a resolver los problemas propuestos de forma independiente se logra el carácter productivo y creador de capacidades y habilidades que van más allá del cumplimiento de los objetivos específicos sobre los contenidos que se estudian para contribuir a la formación integral incluyendo valores y actitudes, resulta un proceso de auto aprendizaje que comprende el proceso de asimilación y profundización del conocimiento donde actúa en calidad de sujeto y desarrolla su independencia cognoscitiva. La utilización de diversas modalidades de software educativo puede ser de gran ayuda al trabajo independiente de los estudiantes de cualquier nivel de enseñanza, contribuyendo decisivamente a elevar la calidad de esta importante vía de aprendizaje.

En el plan de estudio E, se reducen considerablemente las horas en la asignatura Elementos de Máquina, de manera que es conveniente proponer formas de realización de ejercicios que faciliten la ejecución de éstos con mayor rapidez, cosa que puede lograrse mediante la introducción de la automatización, con diferentes formas de solución que el estudiante pueda posteriormente seleccionar y aplicar al contenido de engranaje.

MÉTODOS

La investigación se realizó con el empleo de métodos del nivel teórico, en particular el análisis- síntesis, lo que facilitó profundizar en el conocimiento de las diferentes normas para el cálculo de comprobación desde esfuerzos de contacto y de esfuerzos de fractura para comprobar la transmisión del mismo.

El método matemático estadístico permitió realizar los cálculos para comprobar la transmisión según los criterios valorados; específicamente fue empleado el procedimiento que se utiliza en la asignatura para la comprobación de engranajes, además del programa de diseño asistido por computadoras (CAD) *AutoDesk Inventor* para la demostración de los resultados.

De igual forma se realizaron entrevistas a docentes que imparten la asignatura de Elementos de Máquinas; se observaron clases prácticas y se revisó toda la documentación del nuevo plan de estudio E y plan de estudio D, así como las competencias profesionales que debe cumplir el egresado de esta especialidad.

RESULTADOS

En la asignatura de Elementos de Máquinas, el alumno recibe las herramientas necesarias que le permiten diseñar y seleccionar distintos elementos de máquinas, esto parte del conocimiento de nuevos métodos que permiten la integración de los distintos conocimientos adquiridos por él en las asignaturas precedentes, las mismas se muestran relacionadas en la **Figura 1**. En ésta el alumno recibe las herramientas necesarias que le permiten diseñar y seleccionar distintos elementos de máquinas que puede emplear en su trabajo como futuro profesional. De ahí que el diagrama que a continuación se muestra ilustra la interacción que se establece entre los contenidos que recibirá el alumno en su formación.

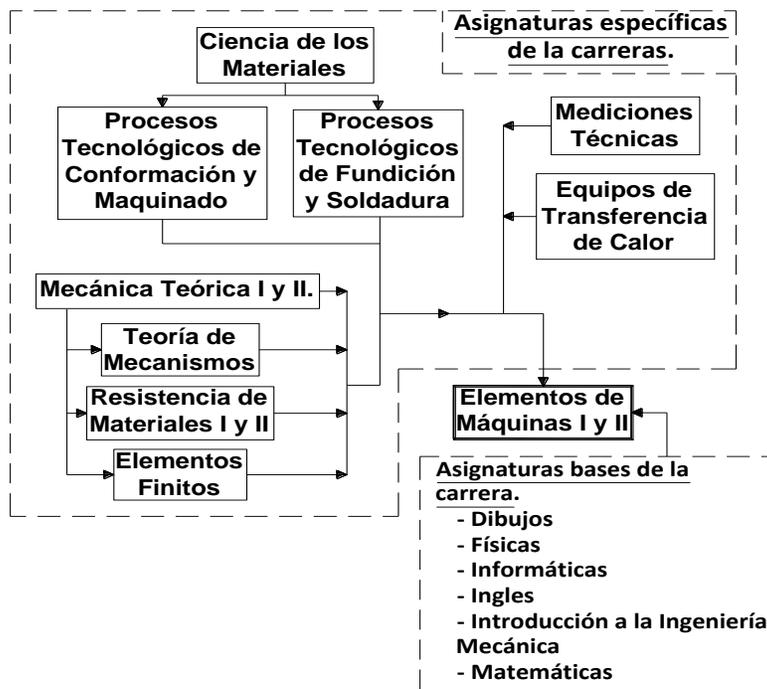


Fig. 1: Relación de asignaturas precedentes a Elementos de Máquinas.

Dentro de las transmisiones mecánicas, constituyen un grupo importante las transmisiones por engranajes, identificándose a los engranajes cilíndricos, cónicos, por tornillo sinfín entre otros, como algunos de los tantos tipos que existen desde épocas antiguas y que en la actualidad tienen variada utilización en numerosos campos de la vida moderna, y que son componente de diversos equipos.

En el presente trabajo se realiza la comprobación de una transmisión por engranajes de ejes paralelos del tipo cilíndrico helicoidal, con contacto exterior entre ellas, cerrados y bien lubricados, que puede ser calculada de forma automatizada, sin embargo, existen otros problemas que deben tenerse en cuenta para realizar estos cálculos, al ser causas de posibles fallos en los engranajes las siguientes situaciones.

- Insuficientes esfuerzos de resistencia al contacto y a la flexión en los dientes engranados de ambas ruedas, provocado por la acción de la carga durante el funcionamiento.
- Pobre diseño, fruto de errores de fabricación, lo que provoca una deficiente relación de carga entre dos o más parejas de dientes de engranajes.
- Problemas relacionados con la vibración: siempre que el paso de base del engranaje y del piñón de acoplamiento sean distintos al paso de base de operación del par de engranajes, se genera excesiva vibración y ruido. Este deficiente funcionamiento afectará también a la vida útil del engranaje.

También, durante la transmisión de potencia pueden presentarse algunos deterioros, los cuales están en función de las condiciones en que ésta sea operada; estos son: fractura del diente, picadura de los dientes, desgaste de los flancos, agarramiento (desgaste adhesivo) de los flancos y arrastre plástico del material. Para determinar estos deterioros se realizan diferentes comprobaciones, utilizando diferentes criterios en función del deterioro que pudiera aparecer en la transmisión; estas comprobaciones tienen como objetivo garantizar la no aparición de los mismos. En la **Figura 2** son mostradas las comprobaciones a realizar en función de las condiciones en que se encuentre operando la transmisión.

En la asignatura Elementos de Máquinas se desarrollan los contenidos que propician el conocimiento de los diferentes criterios de comprobación de transmisiones de engranajes cilíndricos en función de las condiciones en que son operadas.

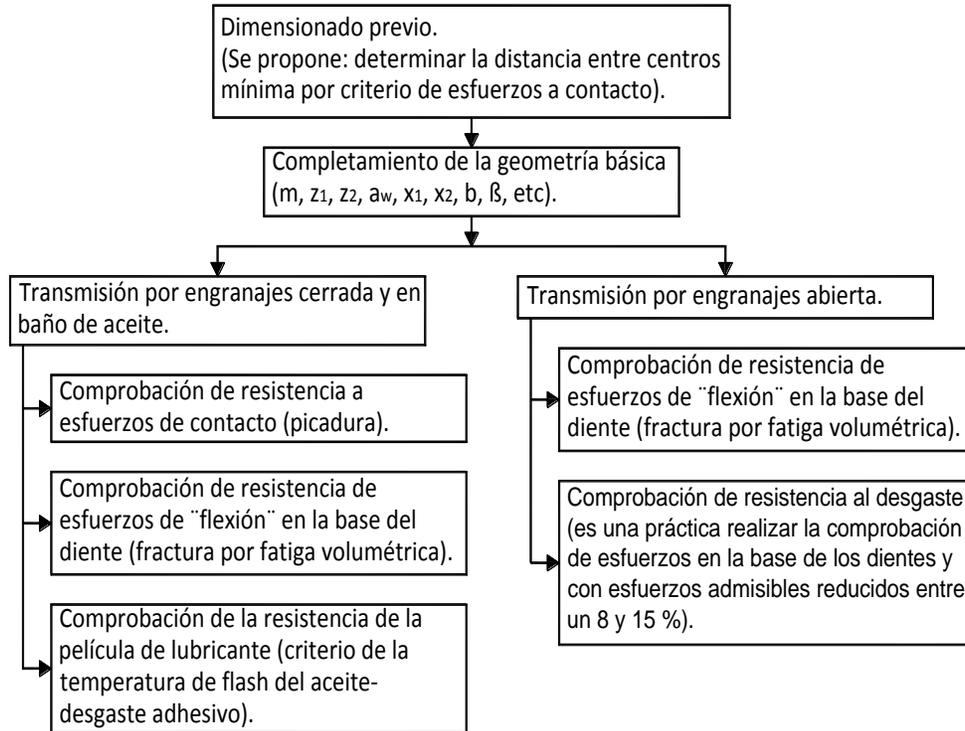


Fig. 2: Criterios de comprobación de transmisiones de engranajes cilíndricos en función de las condiciones en que son operadas.

Para evitar que uno o varios de los deterioros mencionados puedan presentarse en la transmisión, es de suma importancia considerar todas las variables que intervendrán en el diseño del engranaje, tanto de carga, materiales, geometría como de explotación.

En este trabajo serán probados específicamente los engranajes cilíndricos helicoidales de contacto exterior y ejes paralelos, por lo que se requiere realizar un análisis de las condiciones de trabajo del engranaje objeto de estudio.

La transmisión por engranajes investigada se encuentra operando en condiciones cerradas y bien lubricadas, garantizándose en todo momento que no exista contacto entre los flancos de los dientes del piñón y la rueda, gracias a la película de lubricante que los separa. Debido a que la presencia del lubricante evita el contacto, pueden surgir pequeñas grietas por fatiga en la superficie que con el tiempo pueden tomar diferentes orientaciones dependiendo de las fuerzas de rozamiento, esto conduce a comprobar la transmisión a los esfuerzos de contacto que se generan en las superficies de los flancos. Adicionalmente, producto de la acción periódica de la carga cada vez que entran en contacto los dientes del piñón y la rueda, surgen en la base de los dientes esfuerzos producto de la carga actuante y del cambio de sección brusco lo que genera concentradores de tensión, teniéndose adicionalmente que comprobar la transmisión a esfuerzos a fractura en el pie del diente; en la **Figura 3** aparecen resaltadas las zonas donde se producen los esfuerzos antes mencionados.

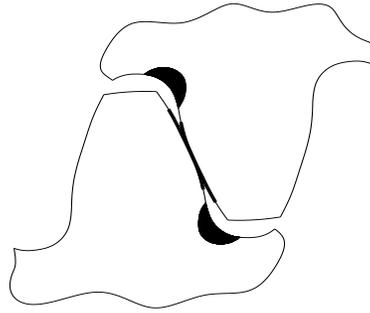


Fig. 3: Zonas donde se producen los esfuerzos a contacto en la base del diente en una pareja de dientes engranados.

Para garantizar las condiciones de lubricación en que se encuentra operando la transmisión, es necesaria la selección de un aceite que cumpla con los requisitos de explotación y garantice la viscosidad necesaria a la temperatura de trabajo.

La **Figura 4**, muestra el procedimiento a emplear para el trabajo con transmisiones cerradas y bien lubricadas, destacadas en la misma se encuentra las comprobaciones realizadas en este artículo.

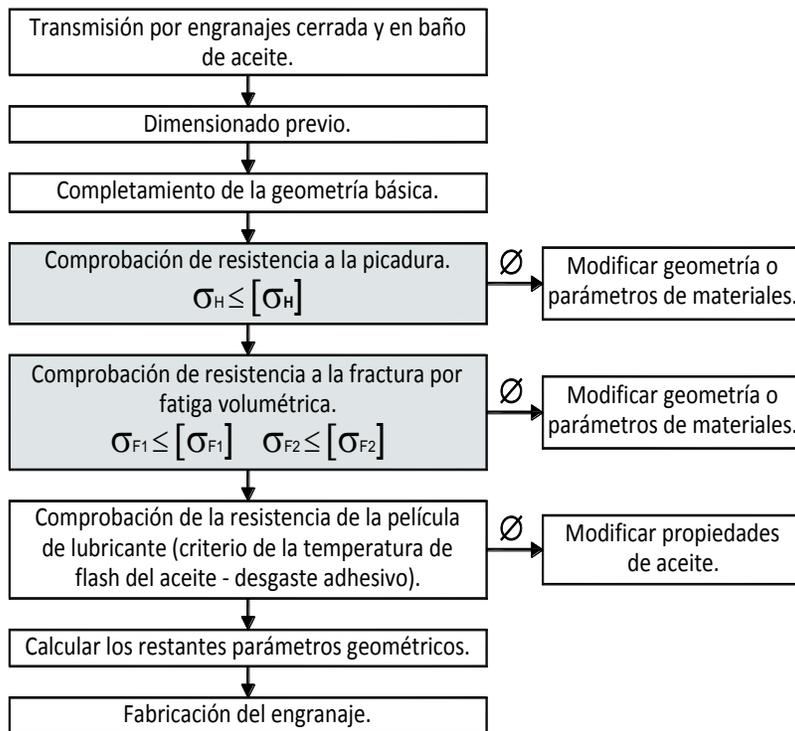


Fig. 4: Diagrama de diseño y comprobación de transmisiones por engranaje cerradas y bien lubricadas.

Específicamente para las condiciones del problema que se analiza, se realizan las comprobaciones mostradas a una transmisión que le ha sido definida su geometría, materiales, tratamientos térmicos y regímenes de carga. Es importante destacar que el alumno una vez culminado su paso por la asignatura, tendrá la suficiente capacidad técnica para con estos conocimientos diseñar distintos tipos de transmisiones por engranajes, incluyendo cualquier tarea técnica que se le puedan presentar en su quehacer como futuro ingeniero mecánico.

Métodos de comprobación de una transmisión por dos vías diferentes para demostrar la veracidad en la solución.

1. Comprobaciones realizadas por método simplificado impartido a los alumnos en clases en el Plan D. (realizado manualmente).
2. Comprobaciones realizadas con el conocimiento de los aspectos principales del engranaje y auxiliándose de métodos automatizados.

Método simplificado impartido en clases a los alumnos en el Plan D

El modelo matemático que le es impartido a los alumnos en clases es obtenido del estudio y análisis de varias normas de engranajes las cuales son ISO 6336 Parte 1: 1996, GOST 21354-86, DIN 3990:1998, y ANSI/AGMA 2001-D04:2005 (American Gear Manufacturers Association, 2004; International Organization for Standardization, 1996). Para la obtención de este modelo han sido planteadas dos consideraciones que le permiten simplificar el cálculo:

- El contacto se analiza en el polo para evaluar el radio de curvatura reducido.
- La longitud de contacto se toma igual al ancho del engrane por considerarse un solo par de dientes engranados.

Estas consideraciones permiten simplificar los cálculos a desarrollar, aunque los resultados que pueden obtenerse difieran en alguna medida de la realidad. Si bien su precisión se ve limitada por las simplificaciones realizadas en virtud del tiempo de duración del turno de clases en que se realizaría, unido al tiempo que conllevaría el empleo de esta norma, se cuenta entonces con el mérito de transmitir al alumno el conocimiento de la forma de trabajo de los engranajes, deterioros que se pueden presentar y comprobaciones a realizar en función de las condiciones de trabajo en que opere la transmisión entre otros aspectos importantes que la caracterizan. Con este conocimiento adquirido, el alumno podrá enfrentar el diseño y comprobación de engranajes en el futuro, basándose en los requisitos que se exijan dependiendo de la empresa o mercado para el que sea diseñado el producto en el que trabaja.

Para las comprobaciones mencionadas, se obtendrán los esfuerzos reales, admisibles y coeficientes de seguridad reales con que se encuentra trabajando la transmisión, cuyas condiciones se deben cumplir según las siguientes expresiones (González, 1995):

$$\sigma_H = Z_E * Z_H * \sqrt{\frac{2 * M_{T1} * K_A * K_\beta * K_V * (u + 1)}{(d_{w1})^2 * b_w * u}} \leq [\sigma_H]$$

$$\sigma_{Fi} = \frac{2 * M_{T1}}{d_1 * b_i * m} * K_A * K_V * K_\beta * Y_{Fi} * Y_\beta \leq [\sigma_{Fi}]$$

Dónde: i representa el subíndice empleado para identificar el piñón o a rueda.

Comprobaciones realizadas por métodos automatizados propuestos para el Plan E

Para realizar estas comprobaciones, se puede emplear cualquier método automatizado que aborde el análisis del tema de estudio. Como propuesta de métodos automatizados pueden ser empleados programas de diseño asistido por computadoras (CAD) que traten el tema de los engranajes, así como también otros programas como el TK-Solver y el Microsoft Excel en los cuales se podrá programar la norma de engranajes con la que se trabajará, asimismo puedan emplearse otros sistemas, siempre con el objetivo de realizar las comprobaciones con la mayor precisión en los resultados. Específicamente en esta investigación fue empleada una versión de prueba del Autodesk Inventor, donde ha sido seleccionada la norma (International Organization for Standardization, 1996) una de las que el programa contiene. Como resultado de las comprobaciones de resistencia el programa brinda los coeficientes de seguridad que se presentan para esfuerzos a contacto y para flexión en la base del diente; las expresiones empleadas aparecen en la **Tabla 1**.

Tabla 1: Coeficiente de seguridad a contacto.

Fatiga.	Carga única.
Coeficiente de seguridad a contacto.	
$S_{H1,2} = \frac{\sigma_{Hlim1,2} * Z_{N1,2} * Z_L * Z_R * Z_V * Z_{X1,2} * Z_W}{Z_E * Z_H * Z_{B1,2} * Z_\epsilon * Z_\beta * \sqrt{\frac{F_t * K_H}{b_w * d_i} * \frac{u+1}{u}}}$	$S_{HSt1,2} = \frac{\sigma_{HPmax1,2}}{Z_E * Z_H * Z_{B1,2} * Z_\epsilon * \sqrt{\frac{F_t * K_H * K_{AS}}{b_w * d_i} * \frac{u+1}{u}}}$
Coeficiente de seguridad a flexión.	
$S_{F1,2} = \frac{\sigma_{Flim1,2} * Y_{A1,2} * Y_{T1,2} * Y_{N1,2} * Y_{S1,2} * Y_{X1,2} * Y_R}{Y_{Fa1,2} * Y_{Sa1,2} * Y_{Sag1,2} * Y_\beta * Y_\epsilon * \frac{F_t * K_F}{b_{wF1,2} * m}}$	$S_{FSt1,2} = \frac{\sigma_{FPmax1,2} * Y_{N1,2} * Y_{X1,2}}{Y_{Fa1,2} * Y_{Sa1,2} * Y_{Sare1,2} * Y_\beta * Y_\epsilon * \frac{F_t * K_F * K_{AS}}{b_{wF1,2} * m}}$

Para aplicar este método, es necesario garantizar en todo momento la enseñanza y comprensión del alumno del empleo de los modelos matemáticos impartidos en clase, específicamente el conocimiento de la forma de trabajo del engranaje en todos sus aspectos, una vez que se haya apoderado del mismo será capaz de emplear cualquier método automatizado que esté a su alcance para aplicar lo aprendido y obtener soluciones en el menor tiempo posible siendo capaz de poder analizar las mismas. Independientemente del método automatizado que sea seleccionado para realizar las comprobaciones, podrá elegirse entre distintas normas existentes para la comprobación de la capacidad de carga de los engranajes. En el caso de los sistemas de diseño asistido por computadoras contienen una serie de estas normas, que en el caso que sea programada la que se vaya a utilizar, podrán realizarse valiéndose de cualquiera de las que se emplean para esto. Entre otras normas se encuentran:

- ANSI/AGMA 2001-D04:2005.
- ISO 6336 Part 1, 1996.
- DIN 3990:1998.
- CSN 01 4686:1988.
- GOST 21354-86.
- Entre otras existentes.

Las soluciones antes mencionadas constituyen herramientas de apoyo que facilitan el cálculo después que ha sido asimilado el conocimiento de la forma de trabajo del engranaje, permitiendo así la generación de distintas soluciones en el menor tiempo posible gracias a la automatización del proceso. Aunque el tema analizado es el cálculo de la capacidad de carga de los engranajes, lo expresado anteriormente es válido también para el resto de los temas estudiados en la asignatura.

Ilustración del análisis de una transmisión en clases

A continuación, se realiza la comprobación de una transmisión que ha sido previamente dimensionada en función de determinadas condiciones de carga y explotación, obteniéndose como resultado la transmisión cuyos datos aparecen en la **Tabla 2**, la cual va a ser comprobada con el empleo de ambos métodos.

Tabla 2: Datos de la transmisión a comprobar.

	Piñón	Rueda
Potencia a la entrada de la transmisión [kW]:	5	
Frecuencia de rotación del árbol de entrada [min ⁻¹]:	1500	-----
Distancia entre ejes a_w [mm]:	140	
Módulo [mm]:	2,5	
Número de dientes:	25	85

Ángulo de hélice β [°]:	12	
Ancho del piñón y de rueda [mm]:	45	40
Ángulo de engranaje en el plano transversal: α_{tw} [°]:	19,77	
Coefficiente de corrección x_1 y x_2 :	0	-0,2258
Grado de precisión de la elaboración:	7	
Material Ac45-Temple Superficial con dureza [HRC]:	57	52
Vida útil esperada [hrs]:	20000	
Montaje simétrico de las ruedas con relación a los apoyos		
Choques uniformes en máquina motriz y movida		
Los dientes de rueda y piñón han sido rectificadas		
Parámetros de la herramienta de generación.		
Ángulo del perfil de la cremallera de referencia: α [°]:	20	
Factor de altura de cabeza: h_a^*	1	
Factor de holgura radial: c^*	0,25	

Resultados del método simplificado impartido a los alumnos en clases

Una vez analizada la transmisión y realizadas las comprobaciones planteadas anteriormente, se obtienen los resultados mostrados en la **Tabla 3**.

Tabla 3: Resultados del método simplificado.

Parámetros evaluados	Piñón	Rueda
Esfuerzo real a contacto σ_H [MPa]:	363,6	
Esfuerzo admisible a contacto [σ_H] [MPa]: (Menor valor de rueda y piñón)	903,3	
Coefficiente de seguridad real a contacto S_H :	3,21	2,98
Esfuerzo a fractura en el pie del diente σ_{F_i} [MPa]:	23,74	23,84
Esfuerzo admisible a la fractura en el pie del diente [σ_{F_i}] [MPa]:	319,15	319,15
Coefficiente de seguridad real a fractura en base del diente S_{F_i} :	25,28	25,17

Resultados del método automatizado

Utilizando el método automatizado con el empleo de una versión de prueba del Autodesk Inventor, fue seleccionada, la norma (International Organization for Standardization, 1996). Los resultados se muestran en la **Tabla 4**.

Tabla 4: Resultados del método automatizado

Parámetros evaluados.		Piñón	Rueda
Coefficiente de seguridad de resistencia a la picadura. A fatiga.	SH	1.902	1.839
Coefficiente de seguridad de resistencia a la fractura por fatiga volumétrica. A fatiga.	SF	8.105	7.972
Coefficiente de seguridad en contacto a carga estática.	SHst	1.780	1.369

Coefficiente de seguridad a flexión a carga estática.	SFst	17.421	16.397
Cálculo de comprobación		Positivo	

Con el empleo de uno y otro método, son obtenidos diferentes valores, comunes para ambos y que permiten realizar la comparación; se presentan los coeficientes de seguridad real a contacto y a flexión con el empleo del método simplificado que es obtenido para cargas variables y el mismo será comparado por el resultado obtenido con el empleo del AutoDesk Inventor para el caso de la fatiga. Los mismos aparecen resaltados en cada tabla.

Puede notarse la diferencia en los resultados con el empleo de estos métodos, esto se debe a que, para el empleo del método simplificado, son realizadas un grupo de consideraciones para facilitar los cálculos las que afectan la precisión de los resultados obtenidos. Sin embargo, con el empleo del AutoDesk Inventor son obtenidos resultados mucho más precisos.

Sobre la base de los resultados obtenidos en las comprobaciones se ratifica la necesidad de un nuevo método para impartir cada uno de los temas de la asignatura con lo que se garantiza la apropiación de los modos de actuación profesional. En la **Figura 5** se ilustra el proceso de trabajo del profesional para el cálculo de la capacidad de carga de los engranajes cilíndricos, lo que supone que el profesional se apropie de determinados conocimientos y desarrolle habilidades para el empleo de los programas de cómputo y la interpretación de sus resultados.



Fig. 5: Secuencia de trabajo para el método automatizado.

CONCLUSIONES

El empleo en las clases de métodos automatizados para la comprobación y cálculo de transmisiones por engranajes, cerrados y bien lubricados, permite no solo lograr con rapidez resultados precisos, sino además la apropiación por parte de los estudiantes de modos de actuación profesional.

La propuesta de utilización de sistemas automatizados constituye una herramienta a utilizar en otros cálculos y en nuevas situaciones y problemas profesionales, a partir del conocimiento previamente adquirido.

El empleo de métodos automatizados favorece el logro de un aprendizaje desarrollador al poder aplicar este conocimiento a otras situaciones profesionales en la vida laboral del futuro Ingeniero Mecánico.

REFERENCIAS

American Gear Manufacturers Association (AGMA). (2004). *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth*. Acceso: 13/11/2018. Disponible en: <https://wp.kntu.ac.ir/asgari/AGMA%202001-D04.pdf>

Gómez, L., González, M., & Escalona, R. (2 de enero de 2018). Nuevo plan de estudios, nuevas expectativas. *Periódico Granma*. Acceso: 26/04/2019. Disponible en: <http://www.granma.cu/cuba/2018-01-02/nuevo-plan-de-estudios-nuevas-expectativas-02-01-2018-22-01-47>

González, G. (1995). *Apuntes de engranajes cilíndricos*. La Habana: CUJAE. Acceso: 2/01/2018. Disponible en: <http://ftp.mecanica.cujae.edu.cu/Docencia/Pregrado/CRD/Mec%3a1nica/4to/1erSemestre/Elementos%20de%20M%3a1quinas%20I/Curso%202018-2019/Tema%203.%20Engranajes/01-%20Engranajes%20Cil%3adndricos/Apuntes%20Engranajes%20Cil%3adndricos.pdf>

González, G., & Marrero, S. A. (2008). *Reingeniería de la geometría desconocida de engranajes cónicos con dientes rectos y curvilíneos*. 11(3), 13-20. Acceso: 3/04/2019. Disponible en: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/104/427>

González, G., García, A., & García, M. (1997). Trabajos en la normalización internacional del cálculo de los engranajes cilíndricos y cónicos. *Revista Ingeniería Mecánica* (0), 37-42. Acceso: 14/05/2019. Disponible en: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/459/814>

González, G., García, A., & García, M. (2010). Diseño racional de engranajes cilíndricos orientado a aumentar eficiencia y disminuir pérdidas por fricción. *Revista Cubana Ingeniería*, 1(3), 73-82. Acceso: 14/03/2019. Disponible en: <http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/32>

González, G., García, A., & González, V. (2000). Procedimiento de descifrado geométrico de engranajes cilíndricos. *Revista Ingeniería Mecánica*, 3(1), 41-49. Acceso: 15/05/2019. Disponible en: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/336/676>

Guerra, N. (2006). *Modelo pedagógico para la concepción del trabajo independiente integrado en la asignatura de biología*. Tesis de maestría inédita. Camagüey: Editorial Universitaria.

International Organization for Standardization. (1996). ISO 6336. *Calculation of load capacity of spur and helical gears* (Part 1). Access: 11/10/2018. Available at: <https://www.iso.org/standard/51337.html>

Partido Comunista de Cuba. (2017). *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2016-2021*. La Habana. Acceso: 23/10/2018. Disponible en: <http://repositorio.geotech.cu/xmlui/bitstream/handle/1234/2732/LineamientosdePolíticaEconómicaSocialdelPartidoylaRevoluciónparaelperíodo2016-2021.pdf>

Conflicto de interés:

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.

Declaración de responsabilidad autoral:

Ángel Martínez Delfín: Participó en el diseño metodológico de la investigación, diseñó los gráficos y tablas, aplicó los métodos e instrumentos, participó en la interpretación de los resultados, así como su comprobación experimental.

Irma de las Casas Tomás: Aportó el diseño metodológico de la investigación, la selección de los métodos e instrumentos, además de la construcción del marco teórico, sistematizó los resultados de la pesquisa.