

## **Cálculo y Diseño de Componentes de Máquinas** **Estado del arte actual**

José Luis Piña – Ing. Mecánico UBA

*H. Yrigoyen 710 - (B8000LPN) Bahía Blanca - Argentina*

*Tel. (54-291) 451.55.50 - Fax (54-291) 451.08.27*

*e-mail : [joseluispina@estudiopina.com.ar](mailto:joseluispina@estudiopina.com.ar)*

*website: [www.estudiopina.com.ar](http://www.estudiopina.com.ar)*

### **RESUMEN**

Se reseña sintéticamente la evolución de los métodos de cálculo y diseño de Elementos de Máquinas entre la década del '70 y la actualidad.

Se mencionan los libros, manuales y normas vigentes en ese período.

Se incluye un listado de normas internacionales y procedimientos de cálculo de reconocimiento internacional utilizados actualmente para: engranajes cilíndricos, engranajes cónicos, engranajes de sinfín/corona, engranajes cilíndricos helicoidales de ejes cruzados, engranajes con piñón cilíndrico y rueda frontal plana, árboles y ejes, rodamientos, cojinetes planos, tornillos/bulones/pernos roscados, conexiones cubo-árbol, transmisiones a correas en V y dentadas, transmisiones a cadenas, y muelles/resortes.

Se hace referencia a software específico de distintos proveedores que son utilizados hoy día como herramientas para soluciones de ingeniería y se comentan las ventajas más significativas que se logran en su aplicación profesional. Se mencionan los nuevos software de tipo integral y las nuevas posibilidades que brinda su aplicación.

Se comenta brevemente sobre la introducción de estos programas en la enseñanza del tema específico.

Se extraen conclusiones sobre los beneficios de trabajar en base a las normas internacionales, las nuevas perspectivas en el campo profesional que brindan las herramientas basadas en software y la extensión de éstas en la enseñanza.

**Palabras Claves:** Cálculo, engranajes, árboles, rodamientos, cojinetes.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El objetivo de este trabajo es efectuar una reseña sintética sobre la evolución de los métodos de cálculo y diseño de Elementos de Máquinas entre la década del '70 y la actualidad.

Para ello, inicialmente se muestra el listado de las normas de la American Gear Manufacturers Association –AGMA- vigentes en 1978 y se citan algunos libros y manuales utilizados en aquella década.

A continuación se incluyen las obras seguidas en la especialidad en los años '80 y '90.

Seguidamente se desarrollan tablas que contienen información sobre normas internacionales vigentes para distintos Elementos de Máquina de la International Standard Organization –ISO-, del Deutsches Institut für Normung –DIN- y de AGMA, considerados por el autor como las más reconocidas por los especialistas y las industrias internacionales del sector, y sobre otros procedimientos de cálculo asimismo estimados en el mundo occidental y en buena parte de Asia.

Consecutivamente se listan distintos paquetes de software de la especialidad que se encuentran disponibles en el mercado internacional. Dichos productos presentan alcances diferentes entre sí, algunos abarcan uno o dos tipos de Elementos de Máquina solamente y otros, prácticamente la totalidad de los utilizados habitualmente en la industria.

Finalmente, se presentan las conclusiones pertinentes.

## **2. ANÁLISIS**

El cálculo y diseño de los Elementos de Máquina ha requerido históricamente presuponer ciertas dimensiones básicas de los componentes, asumir las características de materiales y sus propiedades principales, para luego verificar su capacidad frente a los esfuerzos que van a soportar aquéllos en operación. Luego, podían definirse las modificaciones necesarias y proceder a la nueva verificación de las piezas. Para ello, se han seguido distintos procedimientos, marchas de cálculo, que permitieron elaborar los proyectos de conjuntos y sus partes, generar los lineamientos para su construcción y asegurar, dentro de un conjunto de limitaciones, su comportamiento bajo carga y otras solicitaciones presentes en servicio.

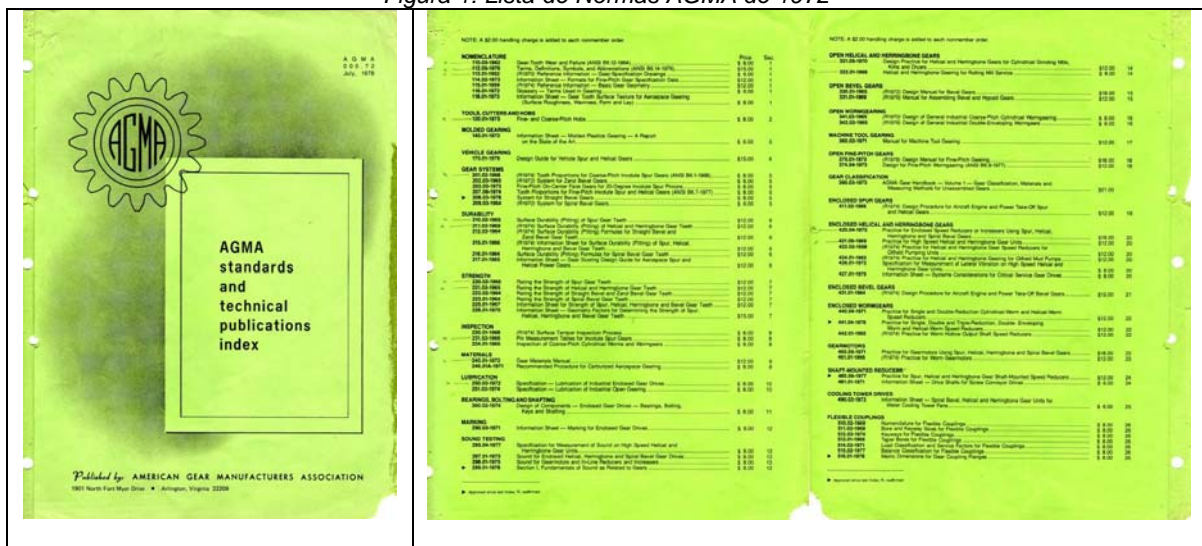
Esos mismos procedimientos se han utilizado para verificar los componentes de conjuntos instalados en máquinas que operaron durante un cierto tiempo, tanto para el diagnóstico de su desempeño, evaluar las posibilidades de modificar las condiciones de trabajo y, también, para realizar las pericias en caso de averías.

**2.1 Los años '70**

Aún para aquéllos que en los '70 tenían acceso a los adelantos de la época, la aplicación de los procedimientos constituía una tarea de aproximaciones sucesivas, con limitaciones en cuanto a su precisión, que resultaba evidente para técnicos e ingenieros que adquirirían desarrollo en estos temas.

Los libros y manuales de entonces, eran la guía infalible para la toma de conocimiento. Entre algunos de los "imprescindibles" se encontraban las referencias [1-8]. Las normas AGMA constituían una referencia indispensable.

*Figura 1: Lista de Normas AGMA de 1972*



A su vez, los medios de cálculo planteaban desafíos definidos por sus características, no sólo en las recordadas reglas de cálculos sino, luego, las primeras calculadoras electrónicas, cuya versión "científica" llenaba de orgullo a sus usuarios.

**2.2 Los cambios en los años '80 y '90**

En los años '80, la evolución de la tecnología era acompañada de nueva bibliografía que incorporaba los desarrollos de entonces. Entre las novedades se hallaban las referencias [9-16].

Y así continuó acelerándose esa tendencia en los '90 y hasta el presente. Las referencias bibliográficas [17-24] son representativas de los nuevos enfoques.

AGMA que por décadas mantuvo en su normalización desarrollos bastante independientes de lo que acontecía en Europa, hacia fines de los '80 comienza a tener una presencia cada vez más importantes en los distintos Subcomités de Normalización del Comité Técnico ISO TC 60, y, una vez iniciados los '90, accede al Secretariado General de éste.

En consecuencia, en los últimos quince años asistimos a una lenta pero franca tendencia a la convergencia en las normas de las tres instituciones mencionadas.

### 2.3 La normalización en los inicios del siglo XXI

Los continuos desarrollos tecnológicos en componentes de máquina y en transmisiones en particular, tanto a nivel de materiales y tratamientos térmicos, forjados de precisión, plásticos, sinterizados; de evolución de procesos de maquinado, afeitado y rectificado con el consiguiente incremento de clase de precisión disponibles para fabricaciones seriadas y notable aumento de flexibilidad para construcciones unitarias; los cambios de métodos de análisis a través de cálculos computacionales y modelizaciones basadas en métodos numéricos y software específicos, permitieron el estudio profundo de la influencia de distintos parámetros geométricos en la cinemática y dinámica de distintos componentes y su optimización.

El resultado de lo anterior ha sido una tendencia a disminuir peso y tamaño de componentes, como también un fuerte incremento de la densidad de potencia transmitida (kW/cm<sup>3</sup> y/o kW/kg).

Los resultados de las investigaciones y desarrollos habitualmente se vuelcan en trabajos que son presentados en conferencias, jornadas y congresos y, algunos de ellos, son luego incorporados como elementos de juicio al interior de los comités de normalización. Así, las normas internacionales van siguiendo muy de cerca estos cambios. Por ello, en el mundo occidental asistimos a una renovación en períodos cada vez más cortos de las normas publicadas por ISO, AGMA y DIN, para mencionar las de mayor influencia dentro de la especialidad en nuestra industria.

Como muestra de lo anterior, se incluyen listados actuales de Normas AGMA e ISO-TC 60, donde pueden apreciarse los años de publicación de cada una.

Figura 2: Lista actual de Normas AGMA

Index of AGMA Standards and Information Sheets by Topic		Index of AGMA Standards and Information Sheets by Topic	
<p><b>Accessories</b></p> <p>AGMA 911-AH Design Guidelines for Aerospace Gearing</p> <p>AGMA 921-C59 Recommended Practices for Carbonized Aerospace Gearing</p> <p><b>Calculation and Measurement Methods</b></p> <p>AGMA 100-ADJ Recommendations Relative to the Evaluation of Radial Composite Gear Double Flank Teeth</p> <p>ANSI/AGMA 211-A45, Evaluation of Double Flank Teeth for Radial Composite Measurement of Gears</p> <p>AGMA 902, 1000-A-A45, Code of Inspection Practice - Part 2, Recommendations Relative to Evaluation of Gear-Meshing Instruments</p> <p>ANSI/AGMA 1003-A06, Gears - Evaluation of Instruments for the Measurement of Individual Gears</p> <p><b>Couplings</b></p> <p>AGMA 922-AM Lead Classification and Service Factors for Flexible Couplings</p> <p>ANSI/AGMA 9000-C90 Flexible Couplings - Gear Drive - Flexible Couplings - Keyless Fit</p> <p>ANSI/AGMA 9001-B97 Flexible Couplings - Lubrication</p> <p>ANSI/AGMA 9002-B04 Bases and Keys for Flexible Couplings (Metric Series)</p> <p>ANSI/AGMA 9003-A31 Flexible Couplings - Keyless Fit</p> <p>ANSI/AGMA 9004-A35 Flexible Couplings - Mass Elastic Properties and Other Characteristics</p> <p>ANSI/AGMA 9005-B00 Flexible Couplings - Gear Drive - Rapid Connection, ISO Series</p> <p>ANSI/AGMA 9009-D02 Flexible Couplings - Recommendations for Flexible Couplings</p> <p>ANSI/AGMA 9112-A04 Bases and Keys for Flexible Couplings (Metric Series)</p> <p>ANSI/AGMA 9104-A04 Flexible Couplings - Mass Elastic Properties and Other Characteristics (Metric Edition)</p> <p><b>Design and Assembly - Bevel</b></p> <p>AGMA 929-A06 Calculation of Bevel Gear Top Land and Grooves on Outer Edge Profile</p> <p>ANSI/AGMA 2005-D02 Design Manual for Bevel Gears</p>	<p>ANSI/AGMA 2005-B88 Tooth Thickness Deviation and Measurement</p> <p>ANSI/AGMA 2007-C00 Surface Taper Esh Inspection Gear Gearing</p> <p>ANSI/AGMA 2008-B01 Bevel Gear Classification, Terminology and Measuring Methods</p> <p>ANSI/AGMA 2011-A08 Cylindrical Wormgearing Tolerance and Inspection Methods</p> <p>ANSI/AGMA 2015-A-04 Accuracy Classification System - Final Measurements for Cylindrical Gears</p> <p>ANSI/AGMA 2111-A08 Cylindrical Wormgearing Tolerance and Inspection Methods (Metric)</p> <p><b>Supplemental Tables for AGMA 2015/915-1-A02 Accuracy Classification System - Tangential Measurement Tolerance Tables for Cylindrical Gears</b></p> <p><b>Estos contenidos</b></p> <p>ANSI/AGMA 9018-B07 Design and Selection of Components for Endless Gear Drives</p> <p><b>Estándares de Referencia</b></p> <p>AGMA 902, 14179-1, Gear, Reducers - Thermal Capacity Based on ISO TR 14179-1</p> <p>ANSI/AGMA 1013-A06 Standard for Industrial Endless Gear Drives</p> <p>ANSI/AGMA 4113-A06 Standard for Industrial Endless Gear Drive (Metric)</p> <p>ANSI/AGMA 4123-B06 Design Manual for Endless Drive Gear Drives (Metric)</p> <p><b>Estados Unidos</b></p> <p>AGMA 912-A04, Mechanisms of Gear Tooth Failure</p> <p>ANSI/AGMA 9103-B06 Appearance of Gear Teeth - Terminology of Gear and Failure</p> <p><b>High Speed Units</b></p> <p>ANSI/AGMA 6011-B01 Specification for High Speed Pinion Gear 1010</p> <p><b>Inspección y Medición</b></p> <p>AGMA 915-1-A02 Inspection Practices - Part 1, Cylindrical Gears - Radial Measurements</p> <p>AGMA 915-2-A02 Inspection Practices - Part 2, Cylindrical Gears - Helical Measurements</p> <p>AGMA 915-3-A09 Inspection Practices - Gear Shims, Shaft Center Distances and Positioning</p> <p>ANSI/AGMA 1102-A01, Tolerance Specification for Gear Hubs</p>	<p>ANSI/AGMA 1010-D05 Gear Nomenclature, Definition of Terms and Symbols</p> <p><b>Estados Unidos</b></p> <p>AGMA 909-A06 Specifications for Metal Plastic Gears</p> <p>AGMA 900-A01 Materials for Plastic Gears</p> <p>ANSI/AGMA 1000-A07 Tooth Proportions for Plastic Gears</p> <p>ANSI/AGMA 1106-A07 Tooth Proportions for Plastic Gears</p> <p><b>Estados Unidos</b></p> <p>AGMA 300-A05 Calculated Bending Load Capacity of Plastic Meshing (PNS) External Spur Gears</p> <p>ANSI/AGMA 6006-A06 Specifications for Powder Metallurgy Gears</p> <p><b>Estados Unidos</b></p> <p>ANSI/AGMA 1003-A07 Tooth Proportions for Fine-Pitch Spur and Helical Gears</p> <p>ANSI/AGMA 1100-A07 Tooth Proportions for Plastic Gears (Metric Edition)</p> <p>ANSI/AGMA 1106-A07 Tooth Proportions for Plastic Gears (Metric Edition)</p> <p><b>Estados Unidos - Spur, Helical and Bevel Gears</b></p> <p>AGMA 908-B03 Information Sheet - Geometry Factors for Determining the Fatigue Resistance and Bending Strength of Spur, Helical and Worming Gear Teeth</p> <p>AGMA 918-A03 A Summary of Numerical Examples Demonstrating the Procedure for Calculating Geometry Factors for Spur and Helical Gears</p> <p>AGMA 920-A03 Effect of Lubrication on Gear Surface Damage</p> <p>AGMA 927-A01 Lead Distribution Factors - Industrial Methods for Cylindrical Gears</p> <p>AGMA 932-A05 Rating the Fatigue Resistance and Bending Strength of Industrial Bevel Gear Teeth</p> <p>ANSI/AGMA 2001-D04 Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth (Metric Edition)</p> <p>ANSI/AGMA 2002-B07 Rating the Fatigue Resistance and Bending Strength of Industrial Bevel Gear Teeth</p> <p>ANSI/AGMA 9104-A04 Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth (Metric Edition)</p>	<p>ANSI/AGMA 902-B02 Design Guide for Involute Spur and Helical Gears</p> <p><b>Estados Unidos</b></p> <p>ANSI/AGMA 914-B01 Gear Shunt Manual - Part 1, Components of Shunt as Related to Gears Part 2, Gearing, Specifications and Limits of Gear Shunt Part 3, Gear Axial Limits</p> <p>ANSI/AGMA 6009-B06 Specification for Measurements of Gear Wear on Gear Drive</p> <p>ANSI/AGMA 9081-B06 Guide for Gear Hub Material, Properties and Some Gear Drive Considerations</p> <p><b>Estados Unidos</b></p> <p>ANSI/AGMA 9081-B06 Practice for Endless Cylindrical Helical Gear Radial and Chamfered</p> <p>ANSI/AGMA 9081-A06 Design, Rating and Application of Industrial Endless Helical Gearing</p> <p>ANSI/AGMA 4123-B06 Design, Rating and Application of Industrial Endless Helical Gearing (Metric)</p>
Publications Catalog	8	December 2007	December 2007
Publications Catalog	7	December 2007	December 2007

Figura 3: Lista actual de Normas ISO en Publicación AGMA



Figura 5: Principales Normas vigentes para Engranajes Cónicos

Componente	Característica	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA	Procedimientos internacionales
Engranajes cónicos rectos, espirales e hipoidales	Geometría	677	3971	929	Klingelberg KN 3028 KN 3029
	Cinemática y dinámica	678 23509	3998-3	2005	
	Clase de precisión	17485	3965-1 a -4	2009	
	Resistencia a la fatiga superficial y a flexión	10300-1 a 3	3991-1 a -3	2003 932	Klingelberg KN 3030
	Resistencia al gripado-engrandura	13989-1 y 2	3991-4	---	

Figura 6: Principales Normas vigentes para Engranajes de Sinfín/Corona

Componente	Característica	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA
Engranajes de sinfín cilíndrico o globoidal y corona	Geometría	10828	3975-1 y -2	6022
	Cinemática y dinámica		3976 3998-4	
	Clase de precisión	---	3974-1 y -2	2111
	Resistencia al desgaste, a fatiga superficial y al cizallamiento	14521	3996	6034 6135

Figura 7: Principales Normas vigentes para "Face Gears"

Componente	Característica	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA	Procedimientos internacionales
Engranajes cilíndricos helicoidales de ejes cruzados	Geometría	53 54 701 1122-1 y -2 21771	868	913	G. Henriot
	Cinemática y dinámica		3960	933	
			3992	910	
	Clase de precisión	1328-1 y -2	3998-1 a -3 3999	917	---
			3961	1012	
			3962-1 a -3 3963 3967	2015-1 y 2 2002	
Resistencia a la fatiga superficial y a flexión	6336 / G. Niemann	---	---	Hirn Höscht	
Resistencia al gripado-engrandura		---	---	---	

Figura 8: Principales Normas vigentes para "Crown Gears"

Componente	Característica	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA	Procedimientos internacionales
Engranajes con piñón cilíndrico y rueda frontal plana	Geometría	---	---	---	Crown Gear/ASS
	Cinemática y dinámica	---	---	---	
	Clase de precisión	1328-1 y -2	3965	---	---
	Resistencia a la fatiga superficial y a flexión	análogo 6336 análogo 10300	análogo 3991	---	Crown Gear/ASS
	Resistencia al gripado-engrandura	---	---	---	U. Kissling

Figura 9: Lista Principales Normas vigentes para Árboles y Ejes

Componente	Característica	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA	Procedimientos internacionales
Árboles y Ejes	Deformación elástica	---	743-1 a -3	6001	ASME B.106.1M FKM Guideline 143 Hänchen + Decker
	Resistencia estática y a fatiga				
	Velocidades críticas y frecuencias	---	---	---	Dietrich G., Stahl H. Klotter K.
	Espectro de cargas	---	743-4 draft	---	FKM Guideline 143 Miner

Figura 10: Principales Normas vigentes para Rodamientos

Componente	Característica	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA	Procedimientos internacionales
Rodamientos	Seguridad estática	76	281	6001	SKF FAG Timken
	Expectativa de vida	281	622		
	Influencia de la lubricación	16281			
	Velocidad por límite térmico	15312	732-1 y -2	---	
	Momento de fricción			---	
	Espectro de cargas	281 16281	281	6001	

Figura 11: Lista Principales Normas vigentes para Cojinetes Planos

Componente	Característica	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA	Procedimientos internacionales
Cojinetes planos	General	4378 12128	31699	---	---
	Cálculo cojinete radial hidrodinámico lubricado con aceite	---	31652-1 a -3 31657-4	6001	G. Niemann Lang O., Steinhipler R. Evaston IL - CBNI
	Cálculo cojinete radial hidrodinámico lubricado con grasa	---	---	---	K. Spiegel
	Cálculo cojinete axial hidrodinámico de zapatas fijas y/o pivotantes	---	31653-1 a -3 31654-1 a -3	---	---

Figura 12: Principales Normas vigentes para Tornillos

Componente	Cálculo de	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA	Otros procedimientos internacionales
Tornillos / Bulones / Pernos roscados	Mecánica de diferentes uniones	---	2519 1591-1 y -3	6001	R. Norton J. E. Shigley VDI 2230
	Resistencia estática y a fatiga				
	Longitud roscada y resistencia al cizallamiento de la rosca				
	Influencia de temperatura				

Figura 13: Principales Normas vigentes para Conexiones Cubo-Árbol

Componente	Cálculo de	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA	Procedimientos internacionales
Conexiones cubo-árbol	Unión forzada cilíndrica	---	7190	6001	J. E. Shigley F. G. Kollmann
	Unión forzada cónica	---	---	6001	J. E. Shigley F. G. Kollmann
	Chavetas prismáticas y semicirculares	---	6892	6001	J. E. Shigley G. Niemann
	Estriados prismáticos y de evolventes	---	5466-1 y -2	6123	J. E. Shigley G. Niemann
	Conexiones poligonales	---	32711, -1 y -2 32712, -1 y -2	---	G. Niemann
	Uniones c/pasador cilíndrico	---	---	---	J. E. Shigley G. Niemann
	Uniones estaño-soldadas, por soldadura y mediante adhesivos	---	18800	---	J. E. Shigley G. Niemann ASME VIII

Figura 14: Principales Normas vigentes para Correas

Componente	Cálculo de	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA	Otros procedimientos internacionales
Correas en V	Dimensionamiento	5292	2218 7753-2	---	RMA Publications: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Use of Idlers w Power Transmission Belt Drives</li> <li>• V-Belt Drives With Twist and Non-Alignment Including Quarter Turn</li> <li>• Mechanical Efficiency of Power Transmission Belt Drives</li> <li>• A Drive Design Procedure for Variable Pitch Multiple V-Belt Drives</li> </ul>
	Longitud y número de correas				
	Configuración de la polea tensora				
Correas dentadas	Dimensionamiento	5295	---	---	RMA Publications: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Installed Run-out in Curvilinear Synchronous Belt Drive</li> </ul>
	Longitud y ancho de correa, número de dientes				
	Configuración de la polea tensora				

Figura 15: Principales Normas vigentes para Cadenas

Componente	Cálculo de	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA	Otros procedimientos internacionales
Cadenas	Dimensionamiento	10823	10823	-	ACA Publications: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chains for Power Transmission and Material Handling-2nd Edition - Book</li> </ul>
	Longitud/ número de eslabones y de ramales				
	Configuración de la rueda tensora				

Figura 16: Principales Normas vigentes para Resortes

Componente	Cálculo de	Normas ISO	Normas DIN	Normas AGMA	Otros procedimientos internacionales
Resortes / Muelles	De compresión	---	EN 13906-1	---	SMI Publications: • Compression, Extension, Torsion and Garter Springs • Fundamentals of Spring Design • Handbook of Spring Design
	De extensión		EN 13906-2		
	De torsión		EN 13906-3		
	De discos		2092 2093		
	Barras elásticas de torsión		2091		

#### 2.4 Actuales herramientas de Cálculo y Diseño en la Industria

En las últimas décadas aparecieron en el mercado internacional diversos software que, basados en los desarrollos continuos del hardware y de los más difundidos sistemas operativos, permiten cubrir el Cálculo y Diseño de los más usuales Elementos de Máquina.

Algunos de estos productos incluyen en un solo paquete todos los Elementos, constituyendo útiles herramientas para el diseñador y el calculista. Varios de ellos presentan actualizaciones periódicas de sus programas acorde a las nuevas ediciones de las Normas respectivas, añadiendo interfaces CAD y mejorando la interacción del usuario.

Se citan a continuación, en orden alfabético, los siguientes software específicos ofrecidos en el mercado internacional:

- AGMA: Gear Rating Suite.
- AHS GEAR: GCP2
- AMTEC Inc.: CT FEM - Gear Desing Program
- ANSOL: Planetary – Helical – Hypoid software
- Digital River GmbH: MITCalc
- Dontyne Systems: GearDesignPro
- Dr. S.V. Lunin: ZAKGEAR
- Drive System Technology, Inc.: PowerGear
- DriveConcepts GmbH + TEDATA GmbH: MDESIGN
- DTS (Piero Zaltron)
- FVA: STplus + Rikor + KNplus + Becal
- Gear C.A.M.
- GearSoft Design: GearCAD

- GEARTECH (R. Erichello) + KISSsoft: GEARCALC
- GMJ Technology: eAssistant
- Hexagon Industriesoftware GmbH: HEXAGON
- Hobbing.com: Gear CAD Library
- Involute Simulation Software Inc.: HyGEARS
- iP ingénieurPartner: StarGear
- J.V. POPLAWSKY and Assoc.: COBRA-AHS + COBRA-EHL
- Keves – Mechanical & Structural Design & Software: MSDS
- KISSsoft AG: KISSsoft + KISSsys
- Ricardo PLC: SABR
- Romax Technology Limited: ROMAX
- Rotor Bearing Technology Software, Inc.: ARMD
- Smart Manufacturing Technology Limited: SMT
- Software Engineering Service: SES
- Studio Castellani: IPAR
- TU Dresden: PCSPANN
- Universal Technical Systems: UTS – Integrated Gear Software
- Vibration Consultants, Inc: Gears Calculator Program
- Web Gear Services Ltd.: Web Gear

Los productos más desarrollados permiten tratar, por ejemplo, una transmisión completa en un cálculo único, considerando a la misma como un todo.

Algunos software utilizan criterios propios o adaptados de marchas de cálculo según distinta literatura, mientras que otros se basan enteramente en Normas Internacionales y/o procedimientos ampliamente reconocidos y validados.

Entre las ventajas más significativas se encuentran las siguientes:

- Proyectar, optimizar y verificar un diseño con una herramienta única, fácil de usar.
- Mejorar la eficiencia y seguridad del diseño.
- Compartir datos con fabricantes, usuarios y consultores.
- Obtener automáticamente documentación completa para cada análisis.
- Ahorrar tiempo y costos en el diseño de componentes de máquina críticos.
- Amplia sistematización de la tarea del diseñador y del calculista.

A partir del año 2000 se encuentran disponibles algunos software integrales que combinan análisis cinemático, cálculo de resistencia o expectativa de vida, gráficos 3D y tablas de diálogos definidas por el usuario con un lenguaje de programación. Permiten al usuario rápidos estudios paramétricos de una cadena cinemática en muy poco tiempo, y comparar diferentes variantes de un diseño. Esto conlleva a un inicio más balanceado del proyecto y menores modificaciones durante su proceso. Además, se reúne toda la documentación en un archivo único.

## **2.5 Integración de software modernos en los Cursos de Elementos de Máquina**

Es corriente escuchar comentarios de Profesores de esta Materia como los siguientes:

- “Los estudiantes deben aprender los métodos de cálculo, luego deben hacer algunos cálculos a mano. Si usan software, nunca aprenderán realmente cómo se hace la verificación de un elemento de máquina.”
- “Aún si el estudiante hace algún cálculo de Elementos de Máquina a mano, rápidamente olvidará todos los detalles. Cuando luego en su vida profesional deba hacer un cálculo tal, volverá a mi apunte y lo aplicará. Por lo tanto, es importante que el estudiante haya comprendido la idea básica del método de cálculo, pero habiendo software profesional disponible, hacer cálculos a mano no tiene sentido.”
- “El estudiante debería aprender hoy, cómo aplicar, chequear y usar el cálculo mediante software. El uso inteligente de las herramientas modernas es muy importante en la vida profesional.”
- “Al final de mi Curso de Elementos de Máquina, los estudiantes tienen que diseñar una caja de engranajes. Normalmente consumen 80-90% de su tiempo con el cálculo manual de los engranajes. Entonces, no hay tiempo suficiente para el diseño de conjunto de la caja, incluyendo la lubricación, el equilibrio térmico, los sellos, la costo-eficacia de del proyecto. Desde que están autorizados a usar un software profesional específico, utilizan 25% para el dimensionamiento de las partes individuales y tienen tiempo necesario para finalizar el proyecto de una caja con todo lo que ella requiere.”

Frente al desafío de incorporar software específico en la enseñanza, he aquí algunas sugerencias:

- Es conveniente durante un Curso -p.ej.: cuando se explica una unión por interferencia- mostrar cómo se usa el software. Los estudiantes entenderán el manejo básico en corto tiempo.
- En general, los tutoriales son muy útiles para la auto introducción en el uso del software. En cambio, los manuales son, en la mayoría de los casos, documentos muy técnicos.

- Durante algunos ejercicios, el estudiante debiera primero proyectar el Elemento de Máquina en cuestión mediante fórmulas simples y luego verificar, como segundo paso, con el software.

### **3. CONCLUSIONES**

En opinión del autor, el manejo de las distintas normas vigentes permite al investigador, al docente, al ingeniero y al técnico, tomar conocimiento de desarrollos específicos (materiales, técnicas de fabricación, cálculo, tolerancias, etc.) que ya están consensuados por los especialistas integrantes de los Comités y sometidos a los procesos de votación y aprobación según procedimientos rígidos y serios.

Las normas ponen a disposición pautas homologadas y validadas que establecen referencias claras y concisas, desde la nomenclatura hasta detalles concernientes a la elaboración de documentación técnica (planos y especificaciones), ensayos metalúrgicos y no destructivos, otros procedimientos de inspección y control, criterios de dimensionamiento, métodos de cálculo y evaluación de cargas, etc. Así, se tiende a un lenguaje técnico común, que facilita la conexión entre los distintos campos desde la investigación, el diseño, la manufactura, la inspección, el montaje y puesta en marcha, y el usuario final.

En consecuencia, las normas internacionales referidas constituyen una base sólida para el Cálculo y Diseño de Elementos de Máquinas y, con su evolución, permiten poner al día los conocimientos técnicos y los procedimientos concernientes.

Como se dijo más arriba, en el trabajo profesional el diseño de una transmisión obliga al ingeniero a un proceso iterativo: cada cambio en un elemento (p.ej.: el ángulo de hélice de un engranaje) influencia a otros componentes (p.ej.: la carga sobre un rodamiento). El control de estas influencias mediante cálculo manual es extremadamente lento y proclive a errores.

Algunos de los software de la especialidad actualmente disponibles en el mercado internacional abarcan el Cálculo y Diseño de los más usuales Elementos de Máquina, y presentan actualizaciones periódicas de sus programas acorde a las nuevas ediciones de las Normas respectivas y otros procedimientos reconocidos. De esta manera se constituyen en herramientas altamente eficaces.

En el caso de los modernos software integrales, el objetivo es no sólo disponer de engranajes parametrizados sino de extender esa ventaja a la transmisión completa, conectando el cálculo de resistencia/expectativa de vida de todos los elementos para que se realice en forma simultánea bajo hipótesis únicas.

A su vez, se trata de disponer inmediatamente de presentación gráfica 3D del sistema completo en el estado corriente que muestre la influencia geométrica de cada cambio en los parámetros y eventuales colisiones entre componentes y carcasa. Así, se acelera el proceso de diseño y se logra balancearlo aún en la fase inicial.

Algunas de las características especiales de estos nuevos desarrollos son las siguientes:

- Cálculo de espectro de cargas para todos los componentes incluidos en el modelo.
- Uso de variantes de configuración dentro de un mismo modelo.
- Ejecutar automáticamente análisis de sensibilidad.
- Usar lenguaje estructurado de sentencias sencillas para automatización de tareas repetitivas (rutinas).

Por otra lado, en cuanto a la aplicación de los conocimientos y herramientas actuales en la enseñanza, cabe decir que los software integrales modernos son herramientas muy profesionales que contienen enorme cantidad de información, variantes y posibilidades de sumo interés para los especialistas, los cuales pueden no ser entendidos por el estudiante. No obstante, como la presencia de los software complejos es parte de su realidad, es una cuestión importante que el estudiante aprenda cómo trabajar con ellos, y es parte del trabajo de los educadores ayudarlo en cómo hacerlo.

#### **4. REFERENCIAS**

- [1] Darle W. Dudley, *Practical Gear Desing*, McGraw-Hill, Tokio, 1954.
- [2] Rupert Le Grand, *Nuevo Manual del Taller Mecánico*, Labor, Barcelona, 1966.
- [3] C.W. Ham y E. J. Crane, *Mecánica de Máquinas - 4ª Edición*, McGraw-Hill, New York, 1964.
- [4] Pablo Tedeschi, *Proyecto de Máquinas*, EUDEBA, Buenos Aires, 1969.
- [5] MAAG Gear Book, MAAG, Zürich, 1963.
- [6] J.E. Shigley, *El Proyecto en la Ingeniería Mecánica*, del Castillo, España, 1963.
- [7] V. Dobrovolski y K. Zablonki, *Elementos de Máquina*, Mir, Moscú, 1970.
- [8] S. N. Kozhevnikov, *Mecanismos - 3ª Edición*, Gustavo Gili, Barcelona, 1970.
- [9] Darle W. Dudley, *Manual de Engranajes*, Continental, México DF, 1973.
- [10] Erik Oberg y Franklin Jones, *Machinery's HandBook - 21ª Edición*, Industrial Press Inc., New York 1979.
- [11] P. Orlov, *Ingeniería de diseño - 3ª Edición*, Mir, Moscú, 1979.
- [12] Michel Barreau, *Calculez vos engrenages*, Tec&Doc, Paris, 1982.
- [13] J.E. Shigley y J.J. Uicker, *Teoría de Máquinas y Mecanismos*, McGraw-Hill, New York, 1982.
- [14] Georges Henriot, *Traité Théorique et Pratique des Engrenages - 5ª Edición*, Dunod, París, 1983.
- [15] Darle W. Dudley, *Handbook of Practical Gear Desing*, McGraw-Hill, New York, 1984.
- [16] Robert O. Parmley, *Mechanical Components Handbook*, McGraw-Hill, 1985.
- [17] Dennis P. Townsend, *Dudley's Gear Handbook - 2ª Edición*, McGraw-Hill, New York, 1991.

- [18] Niemann, Elementi di Macchine-1ª Edición, EST-Springer, 1992.
- [19] Jon R. Mancuso, Couplings and Joints - 2ª Edición, Marcel Dekker, New York, 1999.
- [20] Georges Henriot, Engrenages - Conception fabrication mise en œuvre - 7ª Edición, Dunod, París, 1999.
- [21] Harold Rothbart y Thomas H. Brown, Mechanical Design Handbook - 1ª Edición, McGraw-Hill, New York, 2003.
- [22] Abersek y J. Flaska, How Gears Break, WITpress, Boston, 2004.
- [23] Erik Oberg y Franklin Jones, Machinery's Handbook - 28ª Edición, 2005.
- [24] J.E. Shigley y C.R. Mischke, Mechanical Engineering Design-7ª Edición, McGraw-Hill, New York, 2006.

### **Agradecimientos**

El autor de este trabajo desea agradecer a las autoridades del Primer Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica -I CAIM 2008- por su invitación a presentar el mismo en este importante evento.

---