

Elementos de Máquinas

Análisis de la Asignatura. Año 2020

Dr. Ing. Marcelo Tulio Piovan

1. Introducción.

Históricamente la asignatura Elementos de Máquinas ha representado para la formación de cualquier ingeniero mecánico una fuente fundamental de conocimiento aplicado y teórico en vista a su futura práctica profesional. En la asignatura no solo concurren a modo de soporte, los contenidos de todas las asignaturas básicas de los tres primeros niveles de la carrera, si no que sus alcances también se ven enriquecidos por aplicaciones y problemas derivados de asignaturas del mismo nivel, tales como Mecánica de los Fluidos, Tecnología de calor y El cálculo en Ingeniería Mecánica con Elementos Finitos, entre otras. Así pues, de los posibles métodos de estudio y enfoques profesionales disponibles para la instrucción de los alumnos de ingeniería, en el proyecto, cálculo, diseño, dimensionado y/o verificación de elementos de máquina, se integran y utilizan un número creciente de herramientas de ciencia y tecnología. Esto trae aparejado un planteo oportuno de los contenidos y de la metodología a emplear en el dictado de la asignatura.

Teniendo en cuenta que la materia ha de servir como integración de los conocimientos adquiridos en los primeros tres niveles y con las materias propias del cuarto nivel, el ordenamiento de los tópicos de la misma debe estar previsto para facilitar al alumno la noción de los vínculos existentes entre Elementos de Máquina y las otras disciplinas, de tal forma que la explicación de los conceptos teóricos y sus aplicaciones prácticas no estén exentas de ejemplos provenientes de las otras asignaturas con los cuales se puede obtener una visión completa a un problema de diseño determinado.

Uno de los tópicos fundamentales de esta materia es el cálculo, dimensionado y/o verificación de piezas de diversas formas y para diversos usos. Entre los que se pueden citar:

- Cálculo árboles y ejes.
- Dimensionado y cálculo de distintos elementos de sujeción: uniones atornilladas o soldadas.
- Dimensionado de muelles y resortes.
- Cálculo de transmisiones por engranajes.
- Cálculo de acoplamientos, levas y volantes.
- Cálculo de embragues y frenos.

- Cálculo de levas y volantes.
- Cálculo de transmisiones por correas y cadenas.
- Dimensionado de cojinetes.
- Dimensionado y cálculo de órganos y piezas vinculantes de mecanismos.
- Cálculo y análisis de mecanismos.

Para la formulación adecuada de estos problemas se procederá a presentar al alumno los contenidos en una manera secuencial y natural, partiendo de un análisis de los fenómenos en estudio, su enfoque conceptual mediante un modelo matemático determinado y el nivel de aproximación con la realidad y su aplicación a la práctica. Se pretende que el modelo matemático, que describe el comportamiento de un fenómeno en particular, permita al alumno ver con mayor claridad el fenómeno en sí mismo, así como también dotarlo de la capacidad de análisis para resolver problemas no convencionales. De manera que esta rutina suministre al alumno una serie de herramientas de análisis y juicio útiles para calcular o diseñar nuevos componentes o bien para sustentar decisiones en los casos cada vez más frecuentes de reingeniería.

Debido al alto grado de avance y diversificación que se ha producido en la tecnología, para muchos casos se torna muy complejo (sino imposible) elaborar una solución analítica simple basada en una teoría de comportamiento consistente y que satisfaga los requisitos de premura y efectividad siempre tan ponderados. De allí que se desprende como natural la aplicación de elementos de teoría de resistencia de materiales y teoría de la elasticidad (volcados en las asignaturas Estabilidad I y Estabilidad II, respectivamente) en el grado de profundidad necesario, como para plasmar en el alumno la capacidad de reconocer los distintos modelos matemáticos derivados de tales enfoques, junto con sus hipótesis y límites de aplicabilidad; dado que, una de las fuentes más comunes de los errores de análisis y/o diagnóstico previos al cálculo, se encuentra en la aplicación de ecuaciones o modelos matemáticos en rangos donde no son válidos. Téngase presente que existen normas internacionales que aún no se actualizaron suficientemente para cubrir estas alternativas.

La introducción teórica de cada tema en particular estará inclinada hacia las aplicaciones derivadas de la teoría de la elasticidad preferentemente por sobre los conceptos más macroscópicos de la resistencia de materiales, en los casos donde la complejidad de análisis lo exija. Este enfoque permite estudiar y analizar desde un punto de vista más racional determinados problemas confinados muchas veces a una descripción empírica. Estas situaciones se presentan, por ejemplo en la descripción de los estados de concentración de tensiones, y cálculo de tensiones de contacto, entre otros. Así mismo, los conceptos de resistencia de materiales seguirán formando parte

primordial del método de análisis de tensiones y de deformaciones de las piezas, aun así se complementarán con otro tipo de soluciones de la teoría de elasticidad.

Para poder manipular con eficiencia estos conceptos es imprescindible contar con una metodología de enseñanza acorde a la complejidad de los modelos involucrados. Así pues se implementará en la cátedra la aplicación de un potente sistema de cálculo basado en el método de elementos finitos llamado FLEXPDE. Este programa además de ser sumamente amigable permite la representación del problema a partir de sus ecuaciones diferenciales convencionales, teniendo además la posibilidad de describir el problema a partir de los modelos geométricos desarrollados desde plataformas de CAD.

Por otro lado el cálculo de ciertos mecanismos impone el conocimiento de las fuerzas y velocidades a las que es sometido el cuerpo. La utilización de programas de simulación mecánica tales como Working-Model, Solid-Edge, SAM ARTAS u otros permiten no solo observar el comportamiento del mecanismo ensamblado sino establecer las fuerzas, velocidades y aceleraciones que actúan sobre el mecanismo, de manera que se pueda analizar un problema determinado en forma dinámica. De esta manera se pone al alumno en un contacto más fluido con herramientas de análisis computacional que serán de uso frecuente en su práctica profesional. Téngase en alta consideración que el uso de plataformas computacionales tiene la intención de motivar al alumno y no servir de paliativo para simplificar la tarea analítica del profesional.

Es importante añadir que el contacto de los alumnos con esta clase de programas ya se ha hecho en forma parcial en las asignaturas Estabilidad II (con Flexpde) y Mecánica del sólido (con Working-Model, SAM-ARTAS u otros programas ad-hoc), Diseño Mecánico (Solid-Edge entre otros) por lo que puede suponerse cierto grado de entendimiento en la utilización de los mismos. Por otro lado la materia electiva de cuarto nivel “El Cálculo en Ingeniería Mecánica con Elementos Finitos” pone especial énfasis en la aplicación del programa Flexpde y Abaqus.

Se fomentará, a la par del cálculo con modelos analíticos sencillos, la utilización de herramientas computacionales especializadas para problemas particulares, tales como programas para el cálculo de ejes, mecanismos, engranajes y estructuras mecánicas, entre otros.

Durante los años 2002 a 2007 (con un paréntesis durante 2005 por licencia) la cátedra condujo una experiencia de dictado basada en desarrollar, por comisiones, el proyecto de una minimáquina durante el año lectivo para que los alumnos apliquen todos los contenidos de la asignatura a tal proyecto. Esta práctica, tuvo resultados heterogéneos, desde malos hasta extraordinarios y en varios casos obteniéndose máquinas de mucha calidad y utilidad didáctica. La cátedra desde 2008 dejó de emplear esta concepción por varias razones. La más importante fue por observarse la pérdida de

motivación de los alumnos al tener que aprobar parciales junto con la evaluación del proyecto para cursar la asignatura. Esto fue detectado parcialmente entre 2002 a 2004 y fuertemente durante el 2006 y 2007. El desgranamiento y desintegración de las comisiones es otro problema asociado al enfoque de seguimiento vía proyecto. Por tal razón y la gran cantidad de alumnos que se incorporaron entre 2009 y 2019, esta actividad se dejó de lado.

Durante 2020 se volverá a la práctica de mini-proyectos integradores, que serán individuales o para dos alumnos máximo. Los mini-proyectos contemplarán el uso de plataformas computacionales y bancos experimentales de los laboratorios de investigación de la FRBB en la medida de ser necesarios.

2. Objetivos

Los objetivos que se pretenden lograr en la asignatura son:

- Suministrar los conocimientos teóricos necesarios para interpretar el comportamiento de las diversas piezas y elementos que conforman una máquina.
- Suministrar metodologías de cálculo convencionales y computacionales modernas para poder encarar distintos problemas técnicos en los diseños de máquinas.
- Estimular y desarrollar en los alumnos la capacidad de encarar problemas convencionales y no convencionales con seguridad y criterio ingenieril.
- Capacitar a los alumnos para reconocer los diferentes esquemas y criterios de análisis y cálculo y optar por el más conveniente en términos de efectividad y de economía.
- Desarrollar en los alumnos una visión crítica de las metodologías de análisis y cálculo que se utilizan en la actualidad, de modo que sean usuarios inteligentes de los paquetes computacionales interpretando los alcances y limitaciones de los mismos.
- Capacitar a los alumnos en la elaboración de documentación ingenieril a través de la redacción de informes técnicos del funcionamiento de máquinas.

3. Método de dictado

Las clases serán teóricas y prácticas sin que esto suponga una separación neta entre una y otra. Ya que, en teoría se presentarán problemas de la práctica para facilitar la comprensión de determinados puntos, como también en la práctica se pueden discutir asimismo detalles surgidos de la teoría a manera de ejercicios. El tiempo de clase podría distribuirse de la siguiente forma: 60 % para clases teóricas y 40 % para clases practicas, aun cuando esto no es fijo, pudiendo emplearse mayor tiempo

para una u otra actividad. Se considerará dentro del tiempo de teoría y de práctica los aspectos de necesarios para guiar a los alumnos en su aprendizaje.

Se utilizarán medios audiovisuales tales como retro-proyector de transparencias y PC con cañón para el aprovechamiento del tiempo de clase, especialmente cuando se trata de exponer y explicar elementos complejos que exijan muchos dibujos. Los alumnos poseen acceso a la página web de la asignatura donde pueden encontrar las notas del curso junto con los trabajos prácticos, casos de estudio, ejercicios extendidos, etc. Los alumnos tienen a disposición en el aula virtual las notas de curso necesarias para auto-formación si es que lo desean.

NOTA:

Debido a la pandemia de COVID-19, las clases y algunos prácticos de laboratorio se harán por medio de video conferencias empleando el programa ZOOM, para lo cual la cátedra ya tiene incorporado el material pertinente en el aula virtual.

4. Orientación

El Ingeniero Mecánico de la Universidad Tecnológica Nacional se caracteriza por su formación con un marcado énfasis en las aplicaciones concretas. Sin embargo, como ingeniero, igualmente debe estar capacitado para reconocer aquellas situaciones no convencionales y optar por una solución racional elaborada por sí mismo o bien para plantearlas correctamente a un especialista.

Se considera que el ingeniero tenga, además del entendimiento claro para problemas concretos, una marcada inclinación en el uso de plataformas computacionales de ingeniería, ya que contando con el auxilio de esta clase de herramientas, actualmente disponibles en versiones académicas en Internet, es posible encarar problemas de mayor complejidad.

5. Contenidos

En este apartado se describen las unidades de la asignatura y sus conexiones como integradora con las asignaturas de los primeros tres niveles y del mismo nivel.

Capítulo 1: Estudio conceptual de elementos de máquina. El diseño

En este capítulo se establecen prioridades sobre criterios elementales para diseñar piezas y la filosofía basal para encarar diseño conjunto de piezas dentro de un todo como lo es una máquina y esta dentro de un sistema, etc. Se presentan y elaboran los conceptos y metodologías de diseño estructuradas para la actividad de proyecto de mini-máquina durante el año. A su vez se establecen las líneas de conexión de la asignatura “Elementos de Máquinas” con el resto de asignaturas a modo

de integración o de expectativa del tipo, forma e intensidad de integración. Este capítulo, por lo general nunca demora más de 3 clases

Capítulo 2: Mecanismos

Definiciones de mecanismos. Análisis cinemático de mecanismos tradicionales: Biela manivela, biela – balancín, etc. Introducción a la utilización de paquetes computacionales de simulación cinemática (working-model). Determinación de trayectorias, velocidades, aceleraciones y fuerzas. Análisis dinámico de mecanismos. En este capítulo se extienden y asimilan los conceptos teóricos vertidos en la asignatura Mecánica del Sólido (3er nivel) en cuanto a emplear los modelos de cálculo de cuerpos sólidos en el espacio a partir de ensamblarlos para simular un mecanismo. A su vez se efectúa una integración con metodologías de cálculo numérico para poder resolver las ecuaciones propias del movimiento de cuerpos vinculados. Se evalúa la mecánica de levas y actuadores efectuando una continuación con la integradora de segundo nivel “Ingeniería Mecánica II” donde ya se esbozan algunos aspectos de levas y otros mecanismos particulares de la industria automotriz.

Capítulo 3: Tensiones y Deformaciones. Revisión de principios físicos.

Se plantean metodologías de diseño seguro a partir de la confiabilidad, empleando conceptos de estadística para elaborar coeficientes de seguridad y efectuar estimaciones de la confiabilidad de piezas. En estas condiciones es clara la integración que se efectúa con la asignatura Probabilidad y Estadística. Se reevalúan los modelos y esquemas para analizar las solicitaciones que pueden ejercerse sobre una pieza. Se repasan los modelos matemáticos disponibles para analizar tensiones y deformaciones ya vistos en Estabilidad I y Estabilidad II. Se analizan problemas de cálculo a Fatiga e impacto, solicitaciones estáticas y dinámicas, Estados de tensiones simples: Tracción, compresión, flexión, torsión y pandeo. Modelos unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales. Análisis de las teorías de comportamiento y falla estática y dinámica de materiales. Selección de materiales. Introducción a Flexpde para visualizar determinados problemas y para encarar el cálculo de otros.

Capítulo 4: Proyecto de elementos de sujeción, anclaje y cierre

Se analiza en forma conjunta la metodología para dimensionar uniones por soldadura o por bulones. Cálculo de diversas condiciones de sollicitación: cizalladura y desgarramiento, concentración de tensiones. Cálculo de chavetas y pasadores. Uniones soldadas. Cálculo de uniones soldadas. Evaluación de piezas fabricadas explícitamente por soldadura. Resistencia de uniones soldadas. Se evalúa la Mecánica de los tornillos. Pretensado de pernos, par de apriete y resistencia de pernos.

También se elaboran temas de mayor complejidad como lo son los tornillos diferenciales y sus aplicaciones a partir de ejemplos prácticos y también con bancadas experimentales.

Capítulo 5: Proyecto de elementos accesorios elásticos: Resortes

Se presentan métodos para calcular tensiones y deformaciones en muelles helicoidales. Resortes a extensión y a compresión. Se evalúa la capacidad de carga y almacenamiento de energía. Se describen otros tipos de resortes o elementos de almacenamiento y retorno de energía, junto con sus metodologías de cálculo. En este capítulo se emplean modelos de cálculos elementales basados en técnicas conocidas de resistencia de materiales o bien los esquemas de cálculo vistos ya en Estabilidad I y II. Se plantean también algunos ejemplos de cálculo empleando modelos de elementos finitos desarrollados ad-hoc por la cátedra.

Capítulo 6: Proyecto de elementos de transmisión Flexibles

Se describen los elementos que participan en la transmisión por correas y cadenas. Se analizan las características de las correas en V, correas sincrónicas. Se evalúan los modelos analíticos para establecer las fuerzas de fricción entre poleas y correas. Ley de Prony. Se establecen criterios genéricos para la selección y cálculo de transmisiones por cadenas y correas empleando catálogos de fabricantes. Se establecen algunos criterios para el cálculo de cables metálicos y ejes flexibles.

Capítulo 7: Proyecto y cálculo de ejes y elementos accesorios

Definiciones y aplicaciones. Teorías para calcular y dimensionar ejes. Análisis de las concentraciones de tensiones. Descripción del código ASME para el cálculo de ejes. Se emplean diferentes sistemas de cálculo por elementos finitos para dimensionar árboles y ejes: BEAM2D. Análisis de diversos casos de carga. Se establecen los conceptos de cálculo y selección de cojinetes, sean rodamientos o cojinetes de fricción de tipo radial o axial. Se analizan los diferentes tipos de cargas que se ejercen sobre un cojinete, junto con algunos problemas derivados de la lubricación. Se estudia sucintamente los problemas generales del desgaste y aspectos de tipo tribológico en las piezas. Se analizan elementos accesorios los ejes: chavetas, pasadores, etc. Se analizan y estudian metodologías de cálculo para volantes: evaluación de los estados de tensiones y de deformaciones, energías de almacenamiento, etc.

Capítulo 8: Proyecto de elementos de acoplamiento

Se establecen principios genéricos del funcionamiento de embragues y frenos, basados en aspectos de fricción. Se establecen las diferencias y semejanzas entre ambos componentes. Se establecen y

caracterizan los distintos tipos de embragues y de frenos. Se elaboran las formas de cuantificar cargas y solicitaciones que actúan sobre los embragues. Se desarrollan los métodos y criterios de cálculo de embragues. Se establecen algunas consideraciones energéticas en cuanto a los aspectos de frenado y embrague por fricción. Se elaboran los modelos matemáticos de fricción específicos para diferentes configuraciones geométricas.

El problema de la transmisión entre dos ejes. Descripción de diferentes tipos de acoplamientos. Análisis de acoplamientos. Rígidos, Flexibles, Dentados. Utilización de catálogos. Estudio cinemático de algunos acoplamientos especializados: juntas cardánicas, juntas homocinéticas, etc.

Capítulo 9: Trenes de engranajes. Reductores, planetarios y diferenciales

Se establecen las primeras definiciones y aplicaciones de los engranajes. Se presenta una clasificación de los diversos tipos de engranajes: Rectos, cónicos, helicoidales, sinfín, etc. Se muestran las aplicaciones más frecuentes. Se establece un análisis de la geometría y cinemática del dentado y sus propiedades. Tipos de cargas que se ejercen sobre los engranajes. Análisis de tensiones y deformaciones en los dientes de engranajes rectos, cónicos helicoidales y sinfín. Duración superficial. Introducción a las normas AGMA. En este capítulo se presentan y se enfocan algunas metodologías novedosas para calcular problemas de contacto en engranajes, desarrolladas en conjunto con el Dr. Víctor Cortínez (Ref. [1]) como extensión de la actividad científica.

Se estudian a su vez las características de los sistemas o trenes de engranajes de tipo planetario o bien los de tipo diferencial y sus usos más frecuentes.

Referencias

[1] Análisis de deformación de dentados en trenes de engranajes. M.T. Piovan, V.H. Cortínez. Modelización Aplicada a la Ingeniería, Vol.I 326-346, 2005. Legnani, Jacovkis, Armentano Editores. ISBN 950-42-0057-5.

Bibliografía de la Asignatura:

- 1- Elementos de Máquina, Shigley-Mishcke (Editorial McGraw-Hill), 1995.
- 2- Elementos de Máquina, Mott (Editorial McGraw-Hill), 1998.
- 3- Elementos de Máquina, Hamrock-Jacobson-Smith (Editorial McGraw-Hill), 2000.
- 4- Elementos de Máquina, Shigley-Mishcke (Editorial McGraw-Hill), 2002.
- 5- Diseño de componentes de Máquinas, Orthwein (Editorial CECSA), 1996.

- 6- Diseño de Maquinaria, Norton (Editorial McGraw-Hill),2000.
- 7- Diseño de Máquinas, Norton (Editorial McGraw-Hill), 2001.
- 8- Elementos de Máquina, Spotts (Editorial Prentice Hall), 1998.
- 9- Diseño de Mecanismos, Sandor-Erdman (Editorial Prentice Hall), 1998.
- 10- Dinâmica de Sistemas Mecânicos, I.F.Santos (Editorial Makron), 2001.
- 11- Mechanical Design of Machine Elements and Machines, J.A. Collins (Editorial John Wiley Sons), 2003.
- 12- Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, J. Baumeister III (McGraw-Hill Digital Engineering Library), 2004.
- 13- CAM design databook, H. Rothbart, (McGraw-Hill Digital Engineering Library), 2004.