

1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura:	Dinámica de Maquinaria
Carrera:	Ingeniería Mecánica
Clave de la asignatura:	DMD – 1301
(Créditos) SATCA ¹	2 – 3 – 5

2.- PRESENTACIÓN

Caracterización de la asignatura.

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero Mecánico la capacidad de analizar, simular y predecir con cierta exactitud el comportamiento eficiente de las partes de máquinas sometidas a cargas y deformaciones estática y dinámicamente.

Para integrarla se ha hecho un análisis de los elementos mecánicos de mayor importancia en el diseño de maquinaria, identificando los temas selectos de dibujo mecánico, matemáticas, calidad, estática, dinámica, mecanismos, diseño, vibraciones mecánicas, mecánica de materiales, con mayor utilización en el desempeño industrial del perfil del ingeniero.

Puesto que esta asignatura dará soporte directo a los desempeño del egresado en el diseño de maquinaria; se inserta en el módulo de especialidad al final de su trayectoria escolar; después de haber cursado aquellas materias que le proporcionen el soporte necesario para comprenderla.

Al término del curso el alumno será capaz de realizar la modelación, simulación estática y dinámica del diseño de partes de máquinas, mediante el análisis cinetostático inverso de esfuerzos y deformaciones utilizando el análisis vectorial y un programa de computadora por medio del Método del Elemento Finito.

¹Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos

Intención didáctica.

Se organiza el temario en cuatro unidades, cada una con un propósito específico y cuya integración conduce a la adquisición de la habilidad formativa. Se contempla aquí la existencia de un concepto nuevo para el egresado de una importancia significativa para el diseño de elementos de las máquinas y es el conocimiento y aplicaciones del Método del Elemento Finito además abarcando el uso de ingeniería asistida por computadora como aproximación al diseño y análisis a este tipo de problemas, con una provisión de software que pueda mejorar el entendimiento del egresado, y la aplicación de todo lo aprendido anteriormente con ingredientes de creatividad, inventiva y sentido común, como una emulación de lo que será el desarrollo de su carrera profesional. Buscando llevar al alumno a la sensibilización de su trabajo como diseñador, su rol como ser pensante, y su responsabilidad en el contexto histórico actual de mejorar el entorno donde se desenvuelve.

La primera unidad abordará el problema de determinar las fuerzas presentes en mecanismos y maquinaria en movimiento. Este tema se denomina Cinética o análisis de fuerzas dinámicas, haciendo uso de las leyes Newtonianas el método de D'Alembert. Iniciando con breve repaso de algunos fundamentos necesarios para el análisis dinámico. Suponiendo de anticipado que el alumno ya tuvo un curso previo de introducción a la dinámica.

Con la segunda unidad ya una vez se que a planteado la síntesis y el análisis cinemático para definir una configuración geométrica y un conjunto de movimientos en una tarea de diseño particular es lógico y conveniente utilizar a continuación una solución Cinetóstica o dinámica inversa para determinar las fuerzas y los pares de torsión en el sistema con soluciones independientes para el problema planteado. Es aquí donde el análisis, la deducción, el cálculo y el dibujo intervienen en todo su esplendor. Se utilizará este procedimiento para determinar las fuerzas y pares de torsión requeridos para controlar un sistema cinemático que nos proporcione las aceleraciones diseñadas. Los equipos de computo son aquí indispensables.

Tercera unidad. Las partes rotatorias de cualquier eslabón o elemento que está en rotación pura, en teoría puede estar, perfectamente balanceada para eliminar todas las fuerzas o momentos de sacudimiento. Es una práctica de diseño aceptada balancear todos los elementos rotatorios en una máquina a menos que se deseen fuerzas de sacudimiento. Un elemento rotatorio puede balancearse estática o dinámicamente pero para lograr un balanceo completo se requiere realizar el balanceo el balanceo dinámico. En esta unidad se aplicarán las matemáticas de análisis vectorial para determinar y diseñar un estado de balanceo estático y dinámico, elaborando el modelo matemático y generando una matriz de ecuaciones simultáneas, en elementos rotatorios empleando el método de D'Alembert con la aplicación de las fuerzas de inercia en los elementos rotatorios.

La Cuarta unidad viene a representar una pequeña ventana a la fase del aprendizaje para hacer diseños estándar y fáciles, utilizando las computadoras como un papel importante. Utilizando los programas de diseño asistido por ordenador (DAO, más conocido por CAD, Computer-Aided Design), los ingenieros pueden obtener más información sobre sus diseños. El ordenador puede traducir automáticamente algunos modelos en instrucciones aptas para fabricar un diseño. La computadora también permite una reutilización mayor de diseños desarrollados anteriormente, mostrándole al ingeniero una biblioteca de partes predefinidas para ser utilizadas en sus propios diseños.

En el transcurso de las actividades programadas es muy importante que el estudiante aprenda a valorar las actividades que lleva a cabo y entienda que está construyendo su futuro y en consecuencia actúe de una manera profesional; de igual manera, aprecie la importancia del conocimiento y los hábitos de trabajo; desarrolle la precisión y la curiosidad, la puntualidad, el entusiasmo y el interés, la tenacidad, la flexibilidad y la autonomía.

Es necesario que el profesor ponga atención en ir desarrollando las aptitudes y actitudes del estudiante en estos aspectos en el desarrollo de las actividades de aprendizaje de esta asignatura

3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

<p>Competencias específicas:</p> <p>Proponer soluciones técnicas y eficientes a necesidades de diseño para equipos mecánicos que resuelvan problemas reales del entorno social y/o académico del alumno.</p> <p>Calcular y/o diseñar elementos de maquinas utilizando criterios de simulaciones utilizando el CAD con apoyo de software especializados, para las condiciones de trabajo, materiales económicos y duraderos.</p> <p>Diseñar y simular elementos de mecánicos capaces de resistir altas velocidades y sometidos a cargas y torques externos para lograr una maquina operando bajo condiciones seguras.</p> <p>Tomar decisiones, con base en los elementos teóricos adquiridos, que permitan reducir consumos de energía.</p>	<p>Competencias genéricas:</p> <p>Competencias instrumentales</p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad de análisis, síntesis y diseño.• Capacidad de planificar y organizar la información tecnológica de la ingeniería de materiales.• Aplicación conocimientos básicos de la carrera• Comunicación oral y escrita• Habilidades de manejo de la computadora para el CAD.• Habilidad en el manejo de programas para dibujo mecánico.• Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas• Solución de problemas• Toma de decisiones. <p>Competencias interpersonales</p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad crítica y autocrítica• Trabajo en equipo• Habilidades interpersonales <p>Competencias sistémicas</p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica• Habilidades de investigación• Capacidad de aprender• Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)• Habilidad para trabajar en forma autónoma• Búsqueda del logro
---	--

4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones (cambios y justificación)
Instituto Tecnológico de Orizaba. 06-10-2003.	Integrantes de la Academia de Ing. Mecánica	Actualización de Bibliografía
Instituto Tecnológico de Orizaba. 08-08-2008	Academia de Ing. Mecánica	Retícula Nueva (Emisión 2004). Incorporar Prácticas de Laboratorio con el Método de Elemento Finito. Incrementar horas de práctica, actualizar las unidades. Modificar los créditos. Para su ratificación en el nuevo modelo educativo.
Instituto Tecnológico de Orizaba del 16 al 20 de Enero de 2012.	Integrantes de la Academia de Ingeniería Mecánica.	Propuesta del módulo de Especialidad de Diseño Mecánico para su consideración en el modelo educativo por competencias

5.- OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DEL CURSO (competencias específicas a desarrollar en el curso)

Al término del curso el alumno será capaz de realizar todas las etapas del diseño de partes de máquinas en movimiento así como el balanceo de elementos rotatorios. Y la modelación y análisis de deformaciones y esfuerzos de elementos por medio de un programa del Método del Elemento Finito.

6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Identificar condiciones de carga en elementos estáticos y en movimiento que induzcan esfuerzo en las partes mecánicas.
- Interpretar y aplicar las ecuaciones adecuadas para el análisis de esfuerzos y diseño de elementos por medio de programas en computadora.
- Identificar los sistemas de medición y dibujo mecánico para el uso apropiado de los instrumentos de medición correspondientes.
- Representar mediante software especializado la forma y medidas de partes y ensambles para su modelación, presentación y análisis de resultados.
- Comunicar los resultados en forma verbal y escrita en formatos profesionales para la toma de decisiones previas y finales.

7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Análisis de fuerzas dinámicas de Teoría de D'Alembert	1.1 Filosofía de los problemas avanzados de dinámica. Leyes de Newton. 1.2 Modelos dinámicos. 1.3 Momentos de inercia de Masas. 1.4 Teorema de transferencia. 1.5 Modelaje de eslabones rotatorios. 1.6 Modelos dinámicos con parámetros concentrados. 1.7 Modelaje de sistemas equivalentes. 1.8 Construcción de un modelo de un sistema equivalente con grado de libertad. 1.9
2	Solución cinetostática o dinámica inversa de fuerzas o pares de torsión de un sistema.	2.1 Método de solución Newtoniana. 2.2 Determinación de las ecuaciones de movimiento de un solo eslabón en rotación pura. 2.2 Solución del problema dinámico directo. 2.3 Solución del problema dinámico inverso. 2.3 Resolver problemas de aplicación. 2.4 Determinación de las ecuaciones de movimiento de un mecanismo articulado de tres barras (Manivela corredera). 2.5 Solución del problema dinámico directo. 2.6 Solución del problema dinámico inverso. 2.7 Resolver problemas de aplicación.

3	Modelos matemáticos para determinar y diseñar un estado de balanceo estático y dinámico en elementos rotatorios.	3.1 Balanceo estático con fuerzas de D'Alembert en un solo plano. 3.2 Balanceo dinámico en dos planos. 3.3 modelar las ecuaciones par la solución en los dos planos en sistema tridimensional con eje de giro en el eje z. 3.4 Resolver problemas de aplicación.
4	Método del elemento finito (FEM)	4.1 Historia y aplicaciones. 4.3 Análisis por elementos finitos. 4.4 Pre-procesamiento 4.5 Análisis (computo de la solución) . 4.6 Post-Procesamiento (Visualización). 4.7 Aplicaciones del FEA a la industria en Ing. Mecánica. 4.8 Ingeniería asistida por computadora CAE 4.9 Modelado estático y dinámico.

8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS (desarrollo de competencias genéricas)

El profesor debe:

Ser conocedor de la disciplina que está bajo su responsabilidad, conocer su origen y desarrollo histórico para considerar este conocimiento al abordar los temas. Desarrollar la capacidad para coordinar y trabajar en equipo; orientar el trabajo del estudiante y potenciar en él la autonomía, el trabajo cooperativo y la toma de decisiones. Mostrar flexibilidad en el seguimiento del proceso formativo y propiciar la interacción entre los estudiantes. Tomar en cuenta el conocimiento de los estudiantes como punto de partida y como obstáculo para la construcción de nuevos conocimientos.

Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes. Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes. Ejemplo: al socializar los resultados de las investigaciones y las experiencias prácticas solicitadas como trabajo extra clase.

Observar y analizar fenómenos y problemáticas propias del campo ocupacional. Relacionar los contenidos de esta asignatura con las demás del plan de estudios a las que ésta da soporte para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante.

Propiciar el desarrollo de capacidades intelectuales relacionadas con la lectura, la escritura y la expresión oral. Ejemplos: trabajar las actividades prácticas a través de guías escritas, redactar reportes e informes de las actividades de experimentación, exponer al grupo las conclusiones obtenidas durante las observaciones.

Realizar investigaciones y ejercicios en relación a: Fuerza, masa y aceleración al centro de masa. Fuerzas externas e Inerciales. Fuerzas de D' Alembert. Movimiento de rodamiento. Trabajo, Energía y par de fuerzas. Energía cinética de un cuerpo rígido, fuerzas conservativas y potenciales.

Realizar investigaciones para diferenciar los movimientos y fuerzas internas que resultan en diferentes mecanismos de uno, dos, tres y cuatro eslabones mediante el uso de un programa de MatLab para calcular las matrices resultantes del análisis cinetostático.

Observando distintos mecanismos físicos y considerando la importancia de las propiedades mecánicas de los materiales (masa, velocidades, aceleraciones energía cinética) para su correcto funcionamiento.

Realizar el estudio de un problema real en el cual se encuentre un mecanismo para aplicar los principios matemáticos para su solución.

Facilitar el contacto directo con materiales e instrumentos, al llevar a cabo actividades prácticas, para contribuir a la formación de las competencias para el trabajo experimental como: identificación manejo y control de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, trabajo en equipo.

Propiciar el desarrollo de actividades intelectuales de inducción-deducción y análisis-síntesis, que encaminen hacia la investigación. Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la aplicación de los conceptos, modelos y metodologías que se van aprendiendo en el desarrollo de la asignatura.

Proponer problemas que permitan al estudiante la integración de contenidos de la asignatura y entre distintas asignaturas, para su análisis y solución. Relacionar los contenidos de la asignatura con el cuidado del medio ambiente; así como con las prácticas de una ingeniería sustentable.

Cuando los temas lo requieran, utilizar medios audiovisuales para una mejor comprensión del estudiante. Propiciar el uso de las nuevas tecnologías en el desarrollo de la asignatura (procesador de texto, hoja de cálculo, base de datos, graficador, Internet, Proyecto digital, computadoras programas de FEM etc.).

9.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

Para la calificación del alumno se considera que deben evaluarse tanto los conocimientos adquiridos como las habilidades y actitudes, por lo que se sugiere que sea como sigue:

- Tareas de investigación de conceptos nuevos en lo referente a maquinaria y equipo.
- Participación del alumno en presentación de problemas resueltos modelo durante el curso.
- Resolución de ejercicios en clase por el maestro.
- Aplicación de exámenes que consideren parte teórica y práctica.
- Desarrollo de trabajos de investigación relacionadas con cada unidad y enviados por el alumno a través de Internet al maestro.
- Desarrollar prácticas aplicando la computadora con el Método de Elemento Finito para análisis de esfuerzos y deformaciones en diferentes elementos mecánicos expuestos a cargas externas.
- Elaboración del reporte de cada práctica realizada en el centro de computo del laboratorio de manufactura complementado con investigación por parte del alumno.

10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1: Conocerá y comprenderá los principios y los métodos para determinar las fuerzas presentes en mecanismos y maquinaria en movimiento tanto externas como internas.

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Integrar equipos de trabajo para un mejor tratamiento del problema.</p> <p>Aplicará y analizará las leyes de Newton para descifrar las fuerzas y pares de torsión originadas en los mecanismos en movimiento.</p> <p>Crearé modelos dinámicos simplificados para análisis de partes complicadas relacionando masa, centros de gravedad, momentos de masa 1° y 2°.</p> <p>Aplicará y analizara el teorema de los ejes paralelos en momentos de inercia sobre cualquier eje x, y, z.</p>	<p>1.1 Entenderá la razón de diseñar.</p> <p>1.2 Aplicará la filosofía del diseño a problemas reales.</p> <p>1.3 Determinará mediante estrategia grupal, la necesidad más factible de resolver.</p>

Unidad 2: Una vez que se ha utilizado el análisis cinemático es necesario el conocimiento, aprendizaje y utilización de una solución Cinetostática o Dinámica inversa para determinar las fuerzas y los pares de torsión en un sistema mecánico en movimiento.

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Elaborará dibujos utilizando software comercial para representar sus ideas.</p> <p>En salón de clase exposición de la teoría y formulación de los conceptos de la conservación de la cantidad de movimiento lineal y angular los cuerpos rígidos y sus alcances en las maquinas.</p> <p>Presentación en salón de clase modelo matemático del análisis de fuerzas dinámicas internas producidas en los mecanismos utilizando el método Newtoniano, para el cálculo de las distintas partes que forman su propuesta.</p> <p>Resolver en salón de clase problemas modelos de aplicación de las teorías y principios aprendidos aplicando MatLab para la solución de las matrices de los sistemas de ecuaciones producto del análisis.</p>	<p>2.1 Tarea extra clase para el alumno de resolver problemas de aplicación del tema por equipos, utilizando el envío por medio de internet.</p> <p>2.2 Con ayuda de software del FEA (SOLID WORK, Independientes, AutoCAD, Matlab etc.) elaborará la memoria gráfica de su propuesta.</p> <p>2.3 Presentación en clase y análisis grupal de los resultados.</p> <p>2.4 Trabajo de investigación del Método del Elemento Finito.</p>

Unidad 3: Aplicar las fuerzas inerciales de d'Alembert para determinar y diseñar un estado de balanceo estático y dinámico en elementos rotatorios.

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Balanceo de fuerzas en uno y dos planos. Balanceo del momento. Balanceo estático. Análisis de flechas rotatorias desbalanceadas. Aplicaciones de balanceo de flechas en dos ejes.</p>	<p>3.1 Tarea extra clase para el alumno de resolver problemas de aplicación del tema por equipos, utilizando el envío por medio de internet. 3.2 Presentación en clase y análisis grupal de los resultados.</p>

Unidad 4: Método de los elementos finitos (FEM)

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Habilidad para hacer diseños estándar y fáciles, por medio de computadoras. Utilizando los programas de diseño asistido por ordenador (DAO, más conocido por CAD, Computer-Aided Design), los ingenieros pueden obtener más información sobre sus diseños.</p> <p>Mayor desarrollo en sus habilidades de observación, y análisis y crítica del diseño realizado.</p> <p>La computadora también permite una reutilización mayor de diseños desarrollados anteriormente, mostrándole al estudiante una biblioteca de partes predefinidas para ser utilizadas en sus propios diseños.</p> <p>Los futuros ingenieros deben tomar muy seriamente su responsabilidad profesional para producir diseños que se desarrollen como estaba previsto y no causen un daño inesperado a la gente en general.</p>	<p>4.1 La unidad cubre la teoría básica del método de los elementos finitos para la solución de problemas elásticos lineales en estado estable, unidimensional y bidimensional. Se muestra una formulación general del método de los elementos finitos utilizando métodos variacionales y método de los residuos ponderados. Se desarrollan ejemplos de soluciones sencillas utilizando códigos de computadora con un programa del I FEA libre y comercial.</p> <p>4.2 En conjunto con todos los equipos participantes, integrará la información producida para el diseño considerando un factor de seguridad en la manufactura.</p> <p>4.3 Luego, se desarrolla la solución de problemas relacionados con vigas, placas, estructuras y tanques a presión, comparándolos con resultados obtenidos con formulas tradicionales empleados en los textos de Ingeniería mecánica.</p>

11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

- 1 Beer F..P. y Johnston E.R. MECANICA VECTORIAL PARA INGENIEROS DINAMICA Mc Graw Hill Septima Edición.
- 2 Hibbeler Ingeniería Mecánica Dinámica Prentice Hall Octava edición.
- 3 Harry R. Nara Mecánica Vectorial para Ingenieros. Dinámica .Limusa
- 4 Higdon A. Stiles W.B. INGENIERIA MECANICA. TOMO II. DINAMICA VECTORIAL Prentice Hall Inc. 1982.
- 5 Shigley J.E. y Vickers J.J. Jr. TEORIA DE MAQUINAS Y MECANISMOS Mc Graw Hill 1983
- 6 Robert L. Norton DISEÑO DE MAQUINARIA Mc Graw Hill Tercera Edición
- 7 Timoshenko, S. Y Jim Godier THEORY OF ELASTICITY Ed. Mc Graw Hill
- 8 Curtis, ANALISIS NUMERICO Ed. Mc Graw Hill
- 9 ORTHWEIN, William Diseño de componentes de máquinas Ed. CECSA, primera edición, 1996, México-
- 10 MOTT, Robert
Diseño de elementos de máquinas
Ed. Prentice Hall, segunda edición, 1995 México.
- 11 DYM. Clive y LITTLE. Patrick
El proceso de diseño en Ingeniería. Como desarrollar soluciones efectivas
Ed. Limusa Wiley. Primera edición. 2002, México.
12. SPOTTS M.F. Design of machine elements, 6ta. edicion ingles ed. Prentice Hall.

Libros de referencia para herramienta computacional:

- Método del Elemento Finito ANSYS.
- Método del Elemento Finito Programa de W. Michael Lai Prof Universidad de Columbia N.Y USA.
- The MathWorks Inc. MATLAB. Edición de estudiante. Ed. Prentice-Hall 1996
- Nakamura, S. Análisis numérico y visualización gráfica con MATLAB. Ed. Prentice-Hall. 1998.
- Etter, D. M. Solución de problemas de Ingeniería con MATLAB. Ed. Prentice Hall. 1998.
- The MathWork Inc. La edición de estudiante de SIMULINK. Ed. Prentice- Hall 1998.
- Ogata, K. Problemas de Ingeniería de control utilizando MATLAB. Ed. Prentice-Hall. 1999.
- Wolfram, S. Mathematical book. Ed. Wolfram, Media/Cambridge University Press. 1999.

12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS (aquí sólo describen brevemente, queda pendiente la descripción con detalle).

Práctica Número 1.- Introducción al método del elemento Finito, conocimiento de un software para aplicación del M.E.F., instalación y copia para los alumnos.

Práctica Número 2.- Modelación matemática con el M.E.F del elemento viga simplemente apoyada con cargas concentradas y de sección uniforme.

Práctica Número 3.- Elaboración de la malla del M.E.F. Cálculo y análisis de resultados en computadora del elemento viga simplemente apoyada con cargas concentradas, de sección circulares.

Práctica Número 4.- Modelación matemática con el M.E.F del elemento viga simplemente apoyada con cargas concentradas y de secciones rectangulares y materiales diferentes.

Práctica Número 5.- Elaboración de la malla del M.E.F. cálculo y análisis de resultados en computadora del elemento viga empotrada en un extremo y con cargas concentradas de sección y materiales diferentes.

Práctica Número 6.- Modelación matemática con el M.E.F del elemento placa con barreno para provocar concentración de esfuerzos y cargas de tensión.

Práctica Número 7.- Elaboración de la malla del M.E.F. Cálculo y análisis de resultados en computadora del elemento estructura.

Referencias

1. Carlos A. Felippa (2001). «[A historical outline of matrix structural analysis: a play in three acts](#)». *Computers & Structures* **79** (14): pp. 1313--1324. doi:10.1016/S0045-7949(01)00025-6. <http://www.colorado.edu/engineering/CAS/Felippa.d/FelippaHome.d/Publications.d/Report.CU-CAS-00-13.pdf>.
 2. Turner, M.J., R.W. Clough, H.C. Martin, and L.C. Topp (1956). «Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures». *Journal of the Aeronautical Sciences* **23**: pp. 805-824.
 3. Hieronimus, Klaus, *A Few Aspects on the Development of Structural Models*, SAE Technical Paper 770598, 1977
 4. Hastings, J. K., Juds, M. A., Brauer, J. R., *Accuracy and Economy of Finite Element Magnetic Analysis*, 33rd Annual National Relay Conference, April 1985.
 5. McLaren-Mercedes (2006). «[Vodafone McLaren-Mercedes: Feature - Stress to impress](#)». Consultado el 03-10-2006.
 6. Marc Halpern (1997). «[Industrial Requirements and Practices in Finite Element Meshing: A Survey of Trends](#)».
 7. Chee Kong Teo, *Sensitivity Study Of A Truck Chassis*, Masters Thesis, Mississippi State University, Department of Mechanical Engineering, December 2002
 8. «[FEA Information](#)» (August 2005). Consultado el 03-09-2006.
- Grube, Kris W., *A Process for Investigating Geometric Sensitivity and Optimization of a Vehicle Structure*, Ford Research Publication EM-89-1989.

Enlaces externos

- [ASME Eyewitness Series: Finite Element Method \(FEM\)](#) - Línea de tiempo Histórica
- ["Early Masters of the Mesh"](#) - Mechanical Engineering Magazine Online (ASME)
- [Animaciones de Simulación de eventos no lineales](#)
- [FEA en la industria de los semiconductores](#)
- [Recursos de Análisis de Elementos Finitos](#)
- [FEAinformation](#) - Líderes en software y hardware
- [Libros de Elementos Finitos](#) - Bibliografía
- [Historical Outline of Matrix Structural Analysis: A Play in Three Acts](#)
- [Recursos en Internet de Elementos Finitos](#) - una lista de enlaces y programas de FEA