

Geometría descriptiva al servicio del aprendizaje en el análisis estático y dinámico en mecánica e ingeniería estructural.

Pablo E. Oyarzún H., Universidad Austral de Chile, pablooyarzun@uach.cl

David L. Peña M., Universidad Austral de Chile, david.pena@uach.cl

Nadia S. Cárdenas M., Universidad Austral de Chile, nadia.cardenas@uach.cl

Manuel Carpio M., Universidad Austral de Chile, carpio@uach.cl

RESUMEN

El presente artículo plantea de la formulación de un proyecto de innovación docente que contempla reforzar las competencias de los estudiantes en cuanto a la geometría, tanto analítica como descriptiva, en virtud de ser aplicada en el aprendizaje de mecánica de sólidos y análisis estructural mediante un enfoque gráfico de la estática, materializado en un curso o disciplina de duración de 17 semanas. La idea planteada se gestó bajo el alero de la necesidad latente de reforzar la comprensión de temas vinculados a las disciplinas de geometría. Si bien los procedimientos de la estática gráfica han ido quedando obsoletos en favor del desarrollo de métodos analíticos de cálculo, a raíz de la existencia de calculadoras y computadoras cada vez más eficientes al almacenar grandes conjuntos de datos (así como también al ejecutar operaciones matemáticas en tiempos cada vez menores), este enfoque ha resurgido producto de la aparición y la propia depuración de software de dibujo asistido por computadora (CAD), con lo cual diversos problemas de la estática, mecánica de sólidos y análisis estructural han quedado supeditados al trazado, proyección y medición de líneas rectas, líneas curvas y áreas, para posteriormente dar cabida a la interpretación de resultados por medio de una escala adecuada, deduciendo cantidades estáticas para la condición de equilibrio de un cuerpo o de un sistema de cuerpos. Además, conceptos de dinámica de estructuras tendrán cabida mediante adquisición de pequeñas maquetas armables, simulando masas y resortes.

PALABRAS CLAVES: Geometría vectorial, geometría descriptiva, estática gráfica, mecánica de sólidos, análisis de estructuras.

INTRODUCCIÓN

Desde el contexto de la innovación docente, diferentes diagnósticos que sondean las competencias de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Austral de Chile, al momento de su ingreso a las Carreras en cuanto a la receptividad o disposición de los estudiantes para aprender, han detectado que es esencialmente mediante mecanismos visuales la forma en que los estudiantes adquieren el conocimiento y conciben los problemas en ingeniería.

En relación con lo anteriormente expuesto, la geometría tanto analítica como descriptiva se torna una disciplina apropiada para ser aplicada dentro de este enfoque de aprendizaje.

Por otra parte, la necesidad imperante de establecer nuevos padrones de enseñanza apuntando a un enfoque integrador, en cuanto a la estática y al análisis estructural, aplicables a Carreras de Ingeniería y Arquitectura que no necesariamente posean una formación civil-estructural, permitiría lograr que los estudiantes se desprendan por un instante de las técnicas de cálculo usuales, las cuales podrían llevar a la pérdida de la noción física del problema que se está analizando.

De esta forma, la formulación de una disciplina o asignatura basada en el planteamiento de distintos tópicos de estática y estructuras mediante un enfoque gráfico, fortalecería la concepción física y geométrica de los problemas, favoreciendo además la interacción

interdisciplinaria y posibilitando la retroalimentación de distintos entes participantes del proceso de concepción, análisis, diseño y construcción de una obra civil.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO-EMPÍRICA DEL PROYECTO

El análisis vectorial [1] y la determinación del lugar geométrico para puntos de diversas formas constituyen en gran medida la contraparte analítica de los procesos que pretenden ser implementados en la formulación de la disciplina o curso.

Tal como se mencionó, los métodos gráficos aplicados a la estática de estructuras y la mecánica de los sólidos habían sido relegados a un segundo plano, debido al surgimiento de calculadoras y computadoras que han favorecido la implementación de métodos analíticos por medio de técnicas numéricas de resolución. Un ejemplo de lo anteriormente mencionado son los métodos numéricos ampliamente explorados en la mecánica del continuo; tales como el método de elementos finitos [2,3], método de elementos de contorno [4,5], además de diversas técnicas para implementar numéricamente el proceso de marcha en el tiempo [6-9], etc.

Sin embargo, el surgimiento de software de dibujo asistido por computadora (CAD) ha motivado el hecho de reconsiderar los métodos gráficos como herramienta de análisis, puesto que los algoritmos de determinación de lugar geométrico, además del propio trazado y ejecución de distintas formas de medición, constituyen acciones incorporadas dentro del código del propio software CAD.

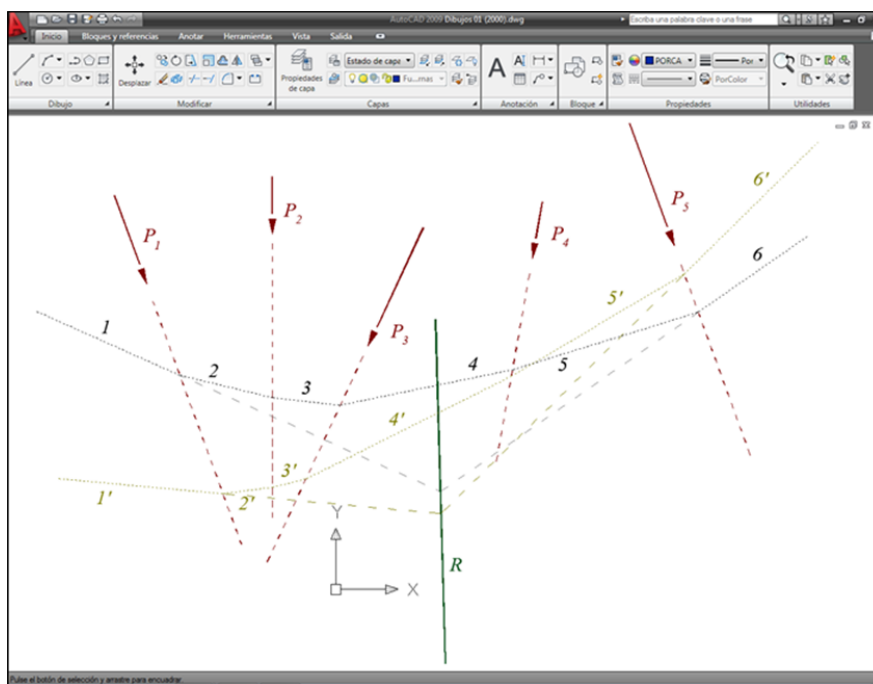


Figura N° 1. Campo de fuerzas, polígono funicular y deducción del módulo, dirección, sentido y línea de acción de la resultante de un conjunto de fuerzas, en software AutoCAD.

Específicamente, en lo que se refiere a fundamentación teórica, el análisis vectorial constituye una importante herramienta tanto en la concepción física de problemas de la mecánica e ingeniería civil así como también en su resolución, pese a que el análisis vectorial se oriente

frecuentemente hacia un enfoque analítico. Es allí donde surgen los métodos gráficos aplicados a la estática [10] y a la geometría descriptiva [11,12].

En cuanto al análisis estructural; la determinación de fuerzas y de momentos (magnitud, dirección, sentido y línea de acción o punto de aplicación), así como también su representación mediante diagramas (diagramas de fuerza cortante, momento flector, líneas de presiones, etc.) se consiguen generar mediante métodos gráficos [10]. Por ejemplo, en la figura 1 se presenta un conjunto de fuerzas, mientras que en la figura 2 se componen tales fuerzas formando un polígono y deduciendo su resultante "R". La línea de acción de dicha resultante se deduce a partir del trazado de radios polares en la figura 2 (a partir del polo "O"), que permiten generar un polígono funicular en la figura 1, a partir del cual se deduce la línea de acción buscada.

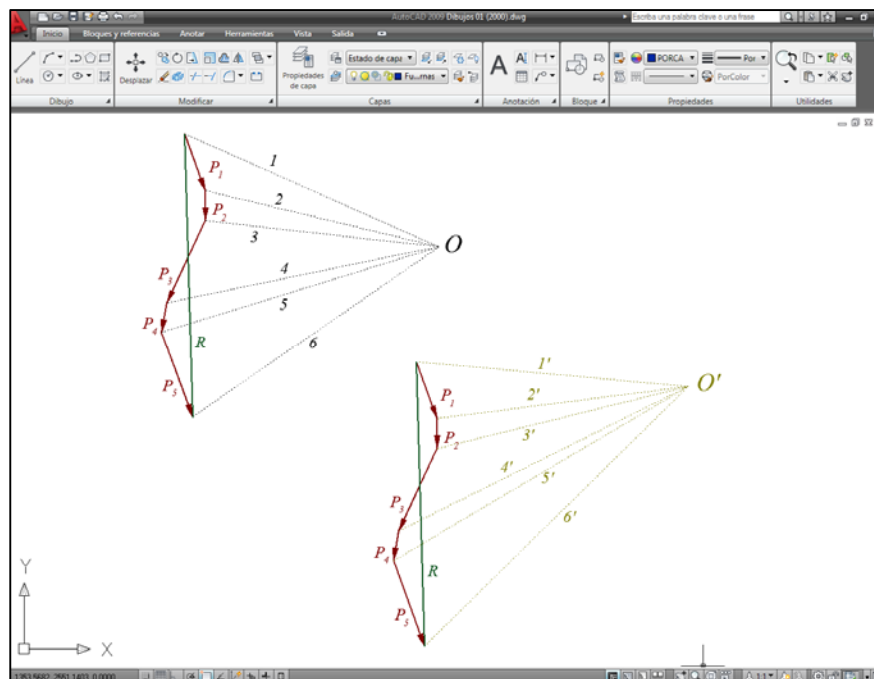


Figura 2: Composición de fuerzas (sumatoria) mediante polígono de fuerzas; deducción de la resultante "R" en magnitud, dirección y sentido; trazado de radios polares escogiendo dos opciones para el polo "O"; en software AutoCAD.

Tópicos avanzados del análisis estructural, tales como determinación de líneas de influencia y análisis estático para distintas configuraciones estructurales: estructuras reticuladas (figura 3), además de bóvedas, ménsulas, arcos (figura 4), vigas de celosía y de alma llena, pórticos, etc. también admiten su resolución mediante métodos gráficos, muchas veces análogos a los procedimientos analíticos usuales.

Las proyecciones de los métodos gráficos hacia el análisis de estructuras han llegado inclusive a aplicarse en la determinación de líneas de influencia y deformaciones elásticas de elementos estructurales.

Además es posible generar configuraciones del propio equilibrio de cuerpos rígidos o deformables, así como también deducir distancias y ángulos por medio de la proyección de

líneas rectas y curvas, empleando metodologías que se sustentan en la geometría descriptiva diédrica [13], en la cual incluso es posible generar proyecciones planas a través de objetos tridimensionales [14].

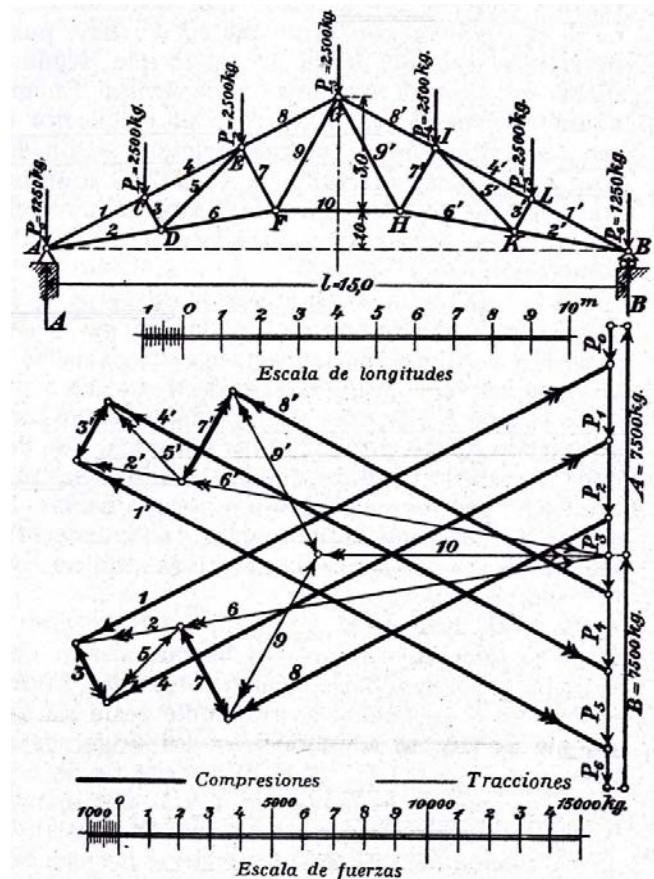


Figura 3: Análisis gráfico de estructura reticulada, método de Cremona [10].

En lo que respecta a la mecánica de sólidos, los métodos gráficos permiten determinar centroides de figuras planas (figura 5) y hasta momentos de inercia de sección (figura 6).

PORMENORES ACERCA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

El trabajo se llevaría a cabo bajo el soporte de un software de dibujo asistido por computadora (CAD), tal como AutoCAD. Esta herramienta será aquella con la cual se facilitaría la obtención de una concepción físico-visual de los problemas referentes a la estática y análisis de estructuras, así como también de la mecánica de sólidos, sin necesidad de recurrir a métodos analíticos tradicionales. No obstante, también será imprescindible disponer de horas de clase convencionales, con el fin de transmitir y aplicar los principios de estática gráfica y a futuro llevarlos más fácilmente a la práctica mediante el software CAD.

Además, por medio de pequeñas maquetas armables, consistentes en conjuntos de masas y resortes simulando sistemas oscilatorios, se fortalecería la visión física del comportamiento de sistemas ante vibraciones.

Tal como se mencionó anteriormente, la idea de implementación de la primera parte del proyecto surge de la necesidad de implementar mejoras en las competencias o habilidades a respecto de generar una concepción tanto de la geometría como de la física de los problemas en ingeniería, a raíz de los resultados obtenidos en los últimos diagnósticos de estudiantes de primer año, en nuestra Facultad. Estos resultados revelan la necesidad en que tales competencias sean niveladas. Por otro lado, la ocasión se torna propicia para introducir a los estudiantes en el trabajo mediante software CAD, para la elaboración de planos de arquitectura, de estructuras, detalles, etc.

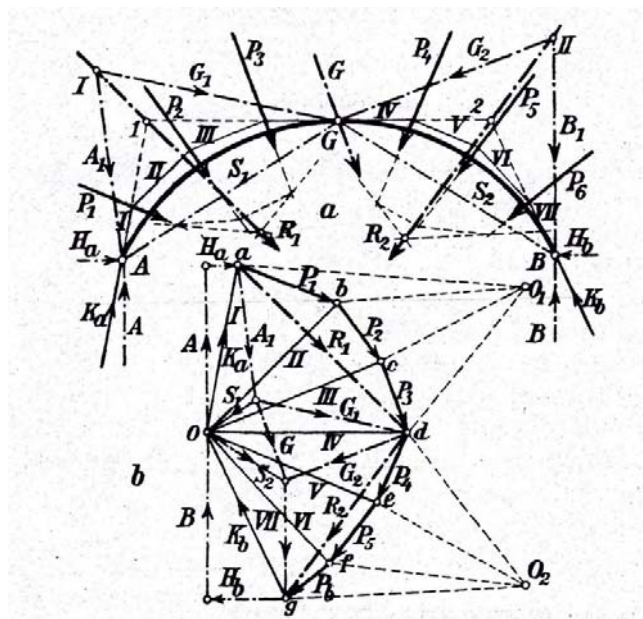


Figura 4: Análisis gráfico de arco tri-articulado [10].

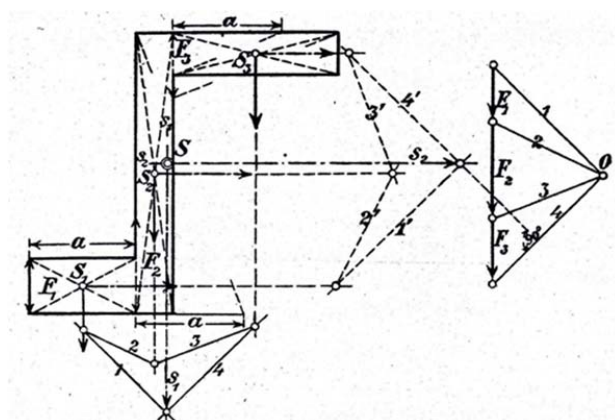


Figura 5: Determinación gráfica de centro de gravedad (centroide) de figura plana [10].

La metodología en la primera parte contempla desarrollar módulos de carácter teórico-práctico y sesiones de trabajo en AutoCAD de forma alternada y progresiva. De esta forma, al mismo tiempo que se introducen los principales preceptos de la estática gráfica en el aula teórica, se llevarían a cabo sesiones de AutoCAD conociendo opciones de trazado y edición; definición,

uso y edición de capas, opciones de medidas y escalado; entre otras. Posteriormente, en la medida que se procede con módulos de mecánica de sólidos y estructuras (bajo un enfoque de estática gráfica en el aula teórica) se da inicio a las sesiones aplicativas de AutoCAD, crecientemente más autónomas mientras el estudiante se vaya adaptando a las múltiples técnicas que pueda adoptar para concebir un dibujo en software CAD y luego aplicar los preceptos de la estática gráfica al momento de determinar el valor de una fuerza o momento, sea externo (por ejemplo, una reacción de apoyo) o interno.

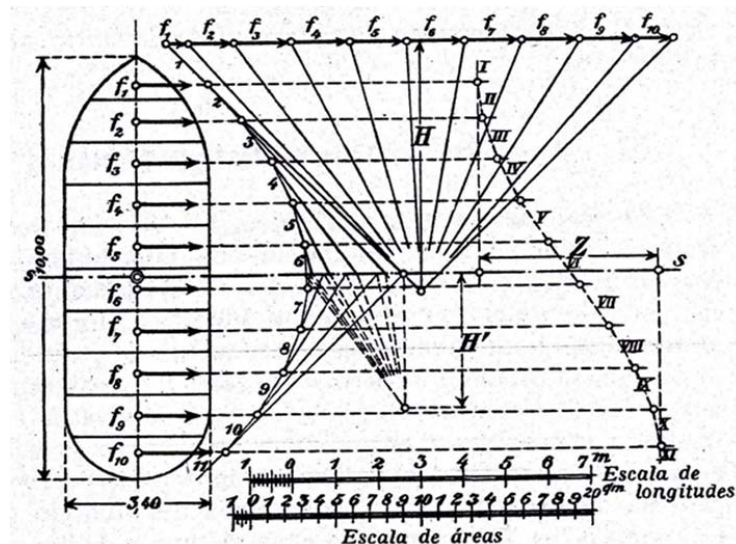


Figura 6: Determinación gráfica de momento de inercia de figura plana [10].



Figura 7: Esquema de prototipo de *kit mola estructural*.

La segunda parte del proyecto pretende fortalecer el proceso enseñanza-aprendizaje de cursos de vibraciones y dinámica de estructuras mediante la implementación de sistemas oscilatorios armables (*kit mola estructural*). Tales sistemas permitirían concebir de forma clara y didáctica los conceptos de masa, rigidez, frecuencia natural, período natural, modos o formas modales de vibración, etc. Un esquema de estos prototipos se señala en la figura 7. En lo que respecta a esta segunda parte del curso, aquello concerniente al área de vibraciones y dinámica de estructuras, se iniciaría impartiendo sesiones acerca de establecer distintas configuraciones estructurales. Luego, destacando las ecuaciones de movimiento que rijan el problema en cuestión, se identifican y determinan parámetros asociados al movimiento vibratorio. Finalmente, se avocaría a montar y ensayar distintas configuraciones de sistemas mecánicos mediante armado de masas y resortes, con tal de inducirles movimiento y visualizar la forma en

que varían los distintos parámetros de interés, a partir de la apreciación visual del movimiento generado.

CONSIDERACIONES FINALES

Debido a que el curso se encuentra en plena etapa de planificación de cada módulo o semanas, en lugar de conclusiones se plantea una propuesta de contenidos a considerar en la disciplina o asignatura mediante un planteamiento de diseño metodológico del curso (figura 8).

Actividad	Año 1												Año 2											
	Semestre 1						Semestre 2						Semestre 1						Semestre 2					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Etapas 1: Planificación general del curso.																								
Etapas 2 : Teórico y aplicativo: Clase teórica de geometría y determinación de lugar geométrico, más clase práctica de AutoCAD																								
Clase estática gráfica; representación de fuerzas y resultantes, polígonos de fuerzas y funicular, reacciones de apoyo, fuerzas internas, clase práctica de AutoCAD aplicando conceptos de trazado de diagramas de fuerza cortante y momento flector en vigas.																								
Clase teórica describiendo metodología de análisis para estructuras reticuladas. Clase práctica resolviendo estructuras reticuladas mediante ambos métodos.																								
Clase teórica: tópicos adicionales aplicados a la mecánica de sólidos, determinación del centro de gravedad de figuras planas y de momentos de inercia de sección. Clase práctica de ejercitación.																								
Clase teórica describiendo propiedades de osciladores de 1 y varios grados de libertad, sometidos a excitaciones cíclicas. Clase práctica visualizando sistemas mecánicos armables y analizando diversas posibilidades de armado.																								
Clase teórica describiendo propiedades de osciladores de 1 y varios grados de libertad. Clase práctica visualizando sistemas mecánicos armables y analizando diversas posibilidades de armado																								
Etapas 3: Análisis y evaluación del proyecto, en conjunto con alumnos y equipo de profesores. Aplicación de acciones correctivas, preventivas y Mejora de proceso.																								

Figura 8: Plan trabajo del Proyecto.

Módulo teórico y aplicativo acerca de geometría, trazados y determinación de lugar geométrico. Posteriormente, sesiones en AutoCAD que permitan llevar a la práctica el problema en la computadora, iniciando al estudiante en el trabajo en dicha plataforma con tal que conozca las opciones fundamentales para el trazado y modificación de objetos, así como también la medición de distancias y ángulos.

Módulo incorporando nociones de estática gráfica, con las correspondientes sesiones en AutoCAD, de forma que el estudiante conozca y utilice opciones avanzadas en el software, tales como el uso de capas y diversas herramientas modificadoras en cuanto al trazado de objetos.

Etapa del curso referida al propio análisis estructural; descripción, comportamiento y modelación de diversas configuraciones estructurales. Métodos analíticos versus métodos gráficos para obtener la fuerza interna que solicita a cada elemento de la configuración.

Etapa o módulo concerniente a fundamentos de dinámica de estructuras, tanto para un como para varios grados de libertad; identificación de parámetros dinámicos para los distintos

modelos, ecuaciones que rigen el movimiento, respuesta ante carga solicitante o ante un movimiento en la base, concepto de transmisibilidad.

Conocimiento de los elementos y de opciones de montaje para la construcción de modelos utilizando pequeñas masas y resortes.

RESULTADOS ESPERABLES

Dentro de las consecuencias esperables, luego de ser implementado el curso, se consideran aquellas que a continuación se especifican.

- Reforzar conceptos y ampliar la visión de cómo enfocar la geometría, tanto analítica como descriptiva, en la resolución de problemas de ingeniería.
- Impulsar la utilización de software de dibujo asistido por computadora, de modo de facilitar el aprendizaje mediante una inducción gradual en las diversas herramientas que el software presenta; más aún al tratarse de problemas prácticos relacionados directamente con la especialidad de ingeniería a la cual les corresponderá desempeñarse en el futuro.
- Por otra parte, se espera que el trabajo desarrollado en el software de dibujo asistido por computadora permita al estudiante desenvolverse de mejor forma al momento de requerir realizar otras tareas en disciplinas futuras, como lo es la confección de planos de arquitectura o estructurales de una obra civil.

REFERENCIAS

- [1] SPIEGEL, M., LIPSCHUTZ, S., SPELLMAN, D. (2004), "Análisis Vectorial", McGraw-Hill / Interamericana de México.
- [2] CRISFIELD, M.A. (1991), Non-linear finite element analysis of solids and structures. Vol. 1: Essencials, John Wiley & Sons, Chichester.
- [3] ZIENKIEWICZ, O.C., TAYLOR, R.L. (2005), The finite element method set, 6 ed., Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [4] BREBBIA, C.A., TELLES, J.C.F., WROBEL, L.C. (1983), Boundary element techniques – Theory and applications in engineering, Springer-Verlag, Berlin and New York.
- [5] GAUL, L., KÖGL, M., WAGNER, M., Boundary element methods for engineering and scientists – An introductory course with advanced topics, Springer-Verlag, Berlin and New York, 2003.
- [6] HOUBOLT, J. C. (1950), "A recurrence matrix solution for the dynamic response of elastic aircraft". Journal of Aeronautical Science; v. 17, pp. 540-550.
- [7] NEWMARK, N.M. (1959), "A method of computation for structural dynamics", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, v. 85 EM3, pp. 67-94.
- [8] CHUNG, J., HULBERT, J.M. (1993), "A time integration algorithm for structural dynamics with improved numerical dissipation: the generalized- α method", Journal of Applied Mechanics, v. 60, n. 2, pp. 371-375, Jun.
- [9] FUNG, T.C. (1997), "Unconditionally stable higher-order Newmark methods by sub-stepping procedure", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, v. 147, n. 1-2, pp. 61-84, Jul.
- [10] HENKEL, O., GAY, J., FIZIA, K. (1949), "Estática Gráfica", Editora Nacional, 3° Edición, México, D.F.
- [11] IZQUIERDO, F. (1995), "Geometría Descriptiva", Fernández Ciudad, S.L., 22° Edición, Madrid.

- [12] IZQUIERDO, F. (1981), "Ejercicios de Geometría Descriptiva", Editorial Dossat, 8° Edición, Madrid.
- [13] ROSENMAN, R. (1981), "Geometría Descriptiva Diédrica", Instituto de Investigaciones Geológicas, Escuela de Geología, Universidad Austral de Chile, 2° Edición.
- [14] SLABY, S. (1966), "Fundamentals of Three-dimensional Descriptive Geometry", Harcourt, Brace & World Inc., Princeton University.
- [15] MEIROVITCH, L. (1986), "Elements of Vibration Analysis", McGraw-Hill Science / Engineering / Math, 2ND Edition.
- [16] PAZ, M. (1997), "Structural Dynamics, Theory and Computation", Chapman & Hall, International Thompson Publishing, 4TH Edition.