

Eslabonamiento conceptual en la enseñanza de teoría de máquinas a través de proyectos de construcción

Marcelo T. Piovan y Andrés E. Romero

Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bahía Blanca
11 de Abril 461, B8000LMI Bahía Blanca, Argentina
e-mail: mpiovan@frbb.utn.edu.ar.

RESUMEN

En este trabajo los autores presentan experiencias y casos de estudio basados en una metodología para la enseñanza del diseño de máquinas y de la teoría de elementos de máquinas. En los cursos universitarios el diseño de máquinas y la teoría de elementos de máquinas comúnmente se enseñan empleando esquemas tradicionales en los cuales se combinan clases teóricas, prácticas de laboratorio, ejercicios y distintos tipos de exámenes, en formas tan amplias como sean los criterios de los docentes a cargo. Históricamente se ha observado que los alumnos tienen una recurrente dificultad en efectuar abstracciones para poder reducir aspectos de realidad y ajustarlos a esquemas analíticos sencillos. Esto es, interpretar la teoría para resolver problemas prácticos. Por otro lado, el desarrollo de un pequeño proyecto de construcción fomentaría en el estudiante las alternativas de investigación, creación y descubrimiento de distintos aspectos de la práctica profesional, en la que no solo deben abordarse cuestiones netamente ingenieriles, sino también otras de índole humana y/o económica, haciendo uso del pensamiento creativo.

Así pues, los contenidos que se exponen en este trabajo muestran las experiencias de instrucción-aprendizaje por medio de pequeños proyectos constructivos en la asignatura Elementos de Máquina de Ingeniería Mecánica de la Facultad Regional Bahía Blanca.

Palabras Claves: Elementos de Máquinas, Metodología de enseñanza.

1. INTRODUCCIÓN

Las asignaturas “Elementos de Máquinas” o cualquiera sea el nombre que reciban bajo la actividad de “Cálculo y diseño de componentes mecánicos”, por lo general se encuentran en las etapas finales de una carrera de las ingenierías mecánica, industrial o aeronáutica, entre otras. Como otras asignaturas consideradas del tronco “Tecnologías Básicas” [1], tradicionalmente se imparten empleando cierta secuencia de exposiciones, ejercicios, trabajos prácticos de laboratorio y exámenes. Un curso cualquiera en cualquier universidad argentina o del mundo puede tener tantas variantes de dificultad y de simpleza que oscilan entre sesudos desarrollos analíticos para fundamentar comportamientos mecánicos, hasta un típico instructivo paso a paso, como en la selección de componentes de un fabricante, tales como rodamientos, cadenas, correas o acoplamientos por citar unos pocos ejemplos.

La gran mayoría de la bibliografía afín [2,3,4] a la asignatura “Elementos de Máquinas” contiene casi todos los tópicos usuales que suelen impartirse en las escuelas de ingeniería del mundo. Aún así, los aspectos teóricos más complejos pueden variar de acuerdo a la visión particular de los docentes a cargo, quienes se permiten emplear desde enfoques tradicionales de análisis hasta los más modernos pero ya casi indispensables enfoques computacionales. Es importante mencionar que están comenzando a aparecer libros de texto para cursos de elementos de máquina basados en el método de Elementos Finitos [5].

Ahora bien, es en el diseño integral de conjunto de componentes donde se pueden observar cierto tipo de falencias y limitaciones en la respuesta de los alumnos. Los mayores conflictos que se observan y que son manifestados por los alumnos, se centran en la dificultad que hallan en asociar los “problemas académicos” con los problemas o situaciones reales. Es decir la reducción por abstracción de entidades reales a patrones geométrico-matemáticos simples de manipular. Esto suele observarse no solamente en los claustros universitarios argentinos sino también en otros países, aún entre los más desarrollados [6]. Por otro lado, las formulaciones analíticas de los problemas de mecanismos y piezas, son cada vez más complejas y los estudiantes necesitan de herramientas de cálculo y visualización apropiadas. Por más que muchos de los actuales libros suministren material informático variado como programas de cálculo, análisis y simulación en discos compactos o con referencias a páginas WEB, éstos no conjugan la necesidad de tener actividades prácticas de desarrollo de un proyecto donde los alumnos desarmen, diseñen o construyan máquinas y/o sus componentes.

En el presente trabajo se exponen los resultados de una metodología basada en las experiencias de los autores en las actividades puestas en práctica durante el dictado de clases y que han conducido al empleo de recursos que la enseñanza convencional (pizarrón-exposición-trabajos prácticos) no ofrece para los tópicos de “Desarrollo de Problemas Reales” expuestos en el párrafo anterior. Si bien los estudiantes de ingeniería de la actualidad cuentan con innumerables accesos a literatura (bibliotecas físicas, bibliotecas virtuales en internet, etc.) se hace imperioso el permanente estímulo de la creatividad constructiva, ya que la misma no

se estudia ni se dicta, pero si se estimula, despierta y desarrolla. De esta manera se adjuntan a las actividades académicas típicas, otras de carácter creativo y constructivo en las que el alumno debe poner en práctica conocimientos adquiridos, investigar y sumergirse en otros mundos, lo que conlleva a la mejor de las experiencias, que es el “desafío creativo ingenieril”.

2. CONTEXTO DE LA ASIGNATURA ELEMENTOS DE MÁQUINAS

En la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica Nacional, la asignatura Elementos de Máquinas, se halla contenida dentro del denominado “Tronco Integrador” el cual está conformado por cinco asignaturas, una en cada nivel de los cinco años que nominalmente demora la carrera. En la Figura 1, se muestran las asignaturas del tronco integrador. Estas asignaturas, también denominadas “Materias Integradoras”, tienen la misión de Integrar y efectuar articulaciones de los contenidos propios con los correspondientes a las asignaturas del mismo nivel y de los niveles previos poniendo en evidencia las competencias y habilidades profesionales en forma evolutiva. En este sentido el objetivo central del tronco integrador es el de acercar tempranamente al alumno en sus quehaceres profesionales. Mayores precisiones sobre la función y los roles del tronco integrador y sus correspondientes “Materias Integradoras” pueden hallarse en los trabajos de base para el Nuevo Diseño Curricular de la Universidad Tecnológica Nacional [7]. Téngase presente que integrar conocimientos y/o conceptos implica gestar la posibilidad para la comprensión de las relaciones existentes entre el quehacer profesional y los contenidos científicos-técnicos que se imparten desde el comienzo de la carrera. En esta tarea se evidencia una interrelación muy nítida entre los aspectos eminentemente teóricos de las asignaturas con los aspectos más pragmáticos de la profesión, tendiendo a gestar un mejor y mayor entendimiento de las realidades profesionales sustentadas por firmes conceptos científicos.

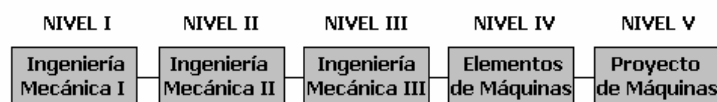


Figura 1 Descripción del tronco integrador para Ingeniería Mecánica de la U.T.N.

Cada asignatura del tronco integrador tiene, por sí misma, contenidos específicos y lineamientos definidos. Para la asignatura “Elementos de Máquinas” uno de los lineamientos neurálgicos puede caracterizarse en dotar al alumno con la “Capacidad Intermedia para el análisis y desarrollo de un proyecto básico de ingeniería Mecánica” [7,8]. Esto es viable en tanto que para en el cuarto nivel, el alumno ya ha visto mecánica racional, elasticidad, cálculo diferencial e integral, termodinámica, entre otras. Así pues, teniendo en cuenta este lineamiento de la asignatura, los autores han decidido desarrollar y ejecutar una experiencia metodológica de instrucción basada en que un alumno, en el cuarto año de su carrera, tiene adquiridas

capacidades y conocimientos más que suficientes como para cristalizar un pequeño proyecto de máquinas desde su fase de diseño hasta el cálculo y construcción.

3. ESLABONAMIENTO CONCEPTUAL BASADO EN PROYECTOS

Bajo la premisa de que “un alumno olvida más fácilmente lo que está obligado a memorizar que lo que construye con su propio intelecto y/o manos”, los autores introdujeron desde 2002 en su cátedra de Elementos de Máquina, una metodología de eslabonamiento conceptual de contenidos a partir del seguimiento de un proyecto a ejecutar durante el año lectivo. En un trabajo previo de los autores [8] se ha explicado con detalles los aspectos de la metodología basada en proyectos y se han mostrado los resultados preliminares de su empleo.

El espíritu de la metodología se basa en plantear un proyecto de diseño y/o construcción de un pequeño dispositivo. El proyecto es el eje conductor, junto con actividades académicas típicas de cursado (ejercicios, trabajos prácticos de laboratorio, y exámenes parciales), entre todas ellas se deben reunir determinados créditos para la promoción y aprobación definitiva de la asignatura. En la Figura 2 se puede apreciar el enlace entre las actividades de proyecto, el dictado de los contenidos típicos y la articulación con otras asignaturas afines para favorecer el eslabonamiento de los temas de una manera gradual y sostenida.

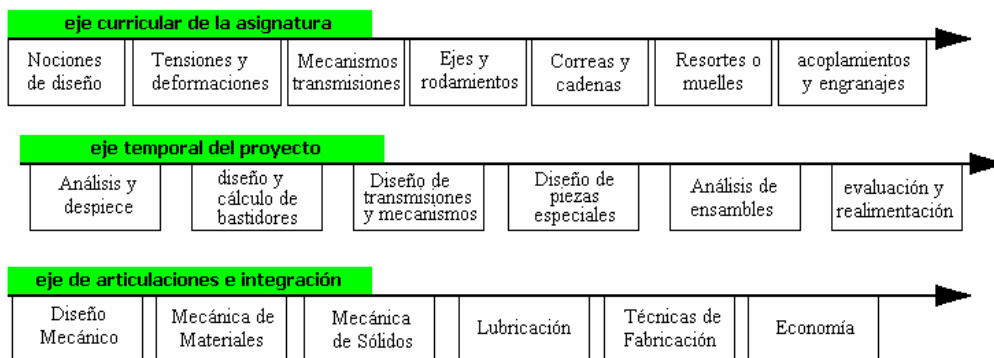


Figura 2 Ejes de Eslabonamiento de contenidos, proyecto y articulación con otras asignaturas.

Ahora bien, el proyecto se plantea por cada grupo de 1 a 4 alumnos. La consigna del eje central del curso es desarrollar el proyecto de diseño, cálculo y/o construcción de una pequeña máquina o dispositivo mecánico, siguiendo uno de los esquemas de desarrollo para diseños presentado por la cátedra [8,9]. A los grupos se les ofrece elegir entre dos posibilidades:

- (A) Ejecutar un proyecto propio que plantean a la cátedra
- (B) Ejecutar un proyecto que propone la cátedra

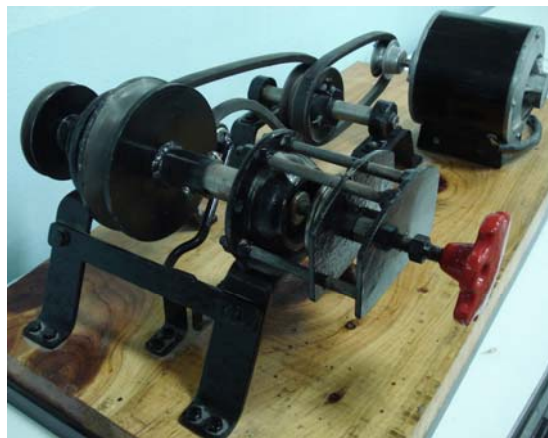
En ambos casos los alumnos deben efectuar un análisis de las piezas y componentes a emplear, para poder establecer la estrategia de diseño y posteriormente dimensionar y verificar cada componente, en la medida que se suministran los distintos contenidos de la asignatura a

lo largo del año. En el caso (A) se podrían suscitar inconvenientes – y de hecho sucedió - por no contar con adecuados conocimientos o por perderse en un laberinto de bifurcaciones en cierta etapa del proyecto, sin embargo este aspecto se discute con la cátedra, planteando la estrategia de diseño apropiada para evitar tales inconvenientes. Por otro lado, los integrantes de la cátedra han puesto límites a las pretensiones de los grupos que eligieron la opción (A) en tanto que los proyectos sean apropiados para el alcance de desarrollo temporal y el nivel de conocimientos actualizados que tengan los alumnos.

La selección de ideas para los proyectos impone una ardua tarea a la cátedra pues en ello se debe tener vislumbrada y acotada “a priori” una posible secuencia de análisis, estudios y cálculos que deberán hacer los alumnos para no entorpecer su fase de conexión de conceptos teóricos con praxis y el respectivo proceso de realimentación. Se debe tener en claro que esta actividad es un desafío tanto para el alumno como para la cátedra, especialmente cuando se trate de construir un dispositivo y erogar dinero personal de los alumnos. En este aspecto la cátedra marca fuertemente desde el punto de vista de economización de recursos (fundamental para su futura práctica profesional), forzando a tomar conciencia de no gastar inútilmente dinero si existen alternativas constructivas.



(a)



(b)

Figura 3 Ejemplos de Máquinas construidas por los alumnos.

(a) Máquina de ensayo de resortes (b) Sistema de poleas para transmisión de velocidad variable

Con esto, algunos grupos han logrado costos ínfimos economizando en mano de obra (propia y mecanizado propio o en equipos de la facultad) y en materiales e insumos (propios o conseguidos en corralones de chatarra). Véase en la Figura 3, a modo de ejemplo, dos casos donde los alumnos han recurrido a materiales de descarte, aun los motores.

4. ANALISIS DE RESULTADOS EN LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA

En el análisis de los logros de los alumnos mediante la aplicación de la metodología basada en proyectos de construcción se deben fijar tres períodos: (a) año 2002, (b) bienio 2003-2004 y (c) bienio 2006-2007. El período embrionario ocupó el año lectivo 2002 cuando se iniciaron las actividades con la metodología, y como tal se trataba de un año particular donde se pretendía establecer las primeras experiencias para poder fijar un rumbo definitivo.

En un trabajo previo de los autores [8] se han expuesto algunos resultados parciales de las primeras experiencias en el empleo de la metodología de proyectos durante los primeros tres años, es decir 2002-2004. En tal informe no se efectuaron ponderaciones detalladas por no tener completado los ciclos 2003 y 2004 con su respectiva realimentación.

Durante el periodo 2002, la opción preferencial de los proyectos fue la posibilidad (A), es decir, permitir que los alumnos decidan que idea propia proseguir. Si bien como tentativa parecía riesgosa por dejar liberados a los alumnos a ciertas incertidumbres, con el correr de los años se reveló como una de las experiencias que mejores resultados deparó tanto en términos de la calidad de los proyectos cuanto en la profundidad de formación de los alumnos. En los periodos 2003-2004 y 2006-2007 se empleo la posibilidad (B), es decir que los alumnos elijan uno de los proyectos que la cátedra les propuso. Con esto se pretendía focalizar al alumno en su problema sin que se manifiesten divergencias ni pérdidas de tiempo en proseguir ideas que pueden no tener asidero. En la Tabla 1 se muestran los guarismos característicos de cada período en cuanto a la conformación de los grupos, cantidad y tipo de formación y actividad laboral de los alumnos, etc.

Tabla 1 Caracterización de cada Período.

Parámetro	2002	2003-04	2006-07
Cantidad de Proyectos	11	12	18
Proyectos concluidos en término	2	1	1
Proyectos concluidos fuera de término	6	7	1
Proyectos pendientes de conclusión	0	0	13
Proyectos desafectados/desaprobados	3	4	2
Relación Alumnos/Grupo	1.82	4.17	3.11
Relación Técnicos/Bachilleres	13/7	37/13	35/21
Relación Trabajadores/No trabajadores	12/8	24/26	18/38
Aprobación cursado [%]	90.00	96.00	96.43
Materia Aprobada ([%] relativo a Cursados)	73.68	73.91	---
Validez Cursado Fenecido ([%] relativo a Cursados)	26.32	23.91	---
Desgranamiento ([%] relativo a Aprobados)	14.28	38.21	---
Reprobación del final [%]	0.00	3.57	---

En la Tabla 1 se puede apreciar que no se han indicado guarismos completos para el bienio 2006-2007, la razón de ello estriba, en que son muy pocos los alumnos que han completado el proyecto y que al mismo tiempo se hayan presentado al examen final. Es pues que la estimación de los resultados obtenidos con la metodología de proyectos se efectuará, en consecuencia sobre los períodos 2002, 2003-2004, con mayor énfasis y aventurándose una proyección estimada, por su condición prematura, para el bienio 2006-2007.

Así pues podrá notarse de la Tabla 1, que entre 2002 y 2004, unos 70 alumnos han participado del curso de Elementos de Máquinas, de los cuales han efectivizado su cursado unos 66 alumnos, de ellos no más del 74% han aprobado la asignatura hasta el momento, los restantes (unos 16 alumnos) por diversas razones han perdido la validez del cursado y/o de los trabajos prácticos. Estos guarismos pueden considerarse de tipo estándar para muchas de las asignaturas consideradas como de "Tecnologías Básicas" [1] en la Facultad Regional Bahía Blanca de la U.T.N. Por otro lado en el período 2006-07, un 96.43% de los alumnos han podido cursar la asignatura, cumplimentando la primera etapa del proyecto (ver la referencia [8] para los detalles de la metodología). Para poder discriminar como la metodología basada en proyectos constructivos puede tener un efecto instructivo importante, se hace necesario identificar los patrones de cualidad de los alumnos en cada ciclo lectivo. Es decir, identificar como los alumnos comienzan y concluyen el cursado.

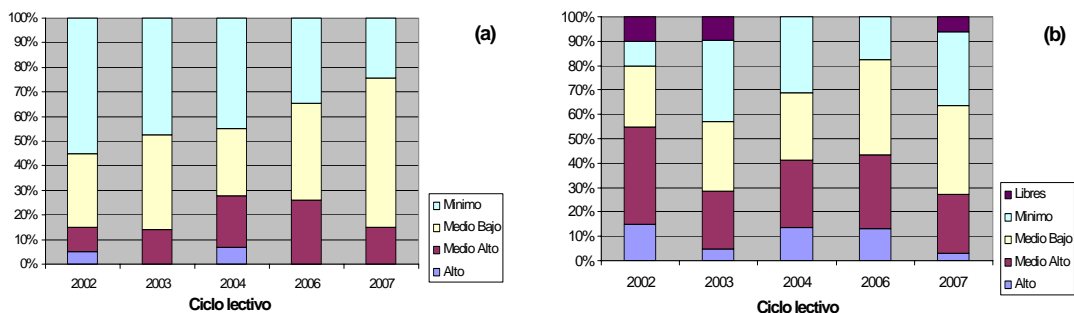


Figura 4 Ejemplos de Máquinas construidas por los alumnos.

(a) Estado de Evaluaciones diagnósticas (b) Estado a la conclusión del cursado

En el ámbito de la Facultad Regional Bahía Blanca de la U.T.N., desde 2001, se viene empleando una forma de detección temprana del estado académico de los alumnos en lo que se ha denominado "Evaluación Diagnóstica". La misma consiste en efectuar a todo el grupo de alumnos del ciclo, en las primeras clases, una evaluación para determinar la real capacidad de los alumnos. Así pues, en la Figura 4(a) se puede apreciar la evolución del estado académico de cada cohorte sobre la cual se ha empleado la metodología de eslabonamiento conceptual a partir de seguimiento de proyectos. Nótese que en tal figura se han discriminado las calificaciones (ergo estado de conocimiento) en cuatro grupos: los de perfil alto, mediano alto, mediano bajo y mínimos. En este aspecto se puede observar que la subclase con conocimientos mínimos ha ido decreciendo al igual que la subclase de conocimientos

sobresalientes, incrementándose la de conocimientos medio bajos. Ahora bien, en la situación de cursado de la asignatura, los alumnos han manifestado distintas respuestas de acuerdo con las variantes que se han ido disponiendo en metodología, especialmente en lo atinente a validación de conocimientos en exámenes parciales y su interrelación con el estado de avance del proyecto, ya que existe puntuación para cada actividad (proyecto, parciales, trabajos de laboratorio, etc.). Así en 2002, los alumnos tenían un examen parcial escrito todas las semanas que para aprobarlos debían superar el 80% de los tópicos bajo examen. Esta fuerte exigencia (a la que están muy desacostumbrados la mayoría de los alumnos de cualquier institución, y de cualquier nivel) resultó ser opresiva para muchos, trayendo aparejados conflictos, sin embargo dejó un resultado muy bueno tanto en calificaciones cuanto en calidad de los proyectos, basta para ello ver la Figura 4(b). Desde 2003 hasta el presente se mantuvo la línea conductora de construcción de minimáquinas pero los exámenes fueron más esporádicos, a razón de uno o dos por cuatrimestre. Sin embargo, no se mantuvo el mismo estándar de la primera experiencia en el 2002. Se ha observado que esto se halla conectado con la cantidad de alumnos que participan de un proyecto, es decir a mayor número de participantes, mayor riesgo de no concluir bien el proyecto.

En términos generales, luego del empleo de esta metodología de impartir clases de diseño de elementos de máquinas a partir de proyectos constructivos, se ha observado que:

- A mayor cantidad de alumnos participando de un proyecto, mayor es el riesgo de fracaso. En esto, se ha observado solo un grupo formado por cuatro alumnos que ha dado resultados sobresalientes en todos los aspectos. Los resultados sobresalientes han sido más frecuentes en grupos de dos alumnos.
- Los grupos conformados por alumnos con formación secundaria técnica, y que se hallan trabajando en áreas muy relacionadas con la carrera muestra el mayor grado de creatividad.
- Los grupos conformados por bachilleres y por técnicos han tenido una excelente realimentación, con mayor provecho para los bachilleres.
- Los grupos conformados exclusivamente por bachilleres suelen tener éxito sobresaliente, solo cuando están conformados por dos o menos integrantes. Los grupos con más de tres bachilleres suelen disgregarse por falta de resultados (en el caso de la Opción (A): proponer a la cátedra el tipo de proyecto a seguir) y solo se orientan cuando tienen una dirección fija (como en la Opción (B)).

Por otro lado, se desea destacar que, cuando se efectúan balances con respecto a la aplicación de una metodología educativa, muchas veces se emplea una forma global para evaluar los datos que se tienen a disposición en virtud de discernir y cuantificar los resultados en términos de valores absolutos: promedios, desvíos estándar entre otros, y cotejar tales

valores con lo que se presume aceptable. Aunque esto es típico de cualquier análisis sobre cualquier aspecto, tópico, objeto o sujeto que tenga un comportamiento disperso, cuando se trata de logros o fracasos de seres humanos frente a un desafío educativo, tales ponderadores estadísticos no siempre pueden mostrar una efectiva correlación con la realidad. Para ello se deben tener presente aspectos que, desgraciadamente, no son simples de ponderar y que tienen de suyo una importante carga subjetiva por parte de quienes efectúan el estudio. Estos aspectos subjetivos están ligados con los contextos socioeconómicos, limitaciones de la educación secundaria y las expectativas profesionales que tienen los alumnos de ingeniería de una determinada carrera de una determinada facultad, en un país como Argentina y como ello puede extrapolarse a otros contextos. Esta discusión escapa en parte los objetivos de este artículo, sin embargo debe ser efectuada en pos de una educación competitiva.

5. CONCLUSIONES

La respuesta de los estudiantes al tipo de metodología planteada en este trabajo es en general favorable. Si bien no todo alumno se beneficia con los ejercicios del pizarrón o de las prácticas académicas o de laboratorio, se ha observado que casi todos, aunque con diferentes grados de profundidad, se benefician de las actividades afines al desarrollo y construcción de una minimáquina o dispositivo. Esta clase de proyectos enseñan, más que nada, lecciones de práctica profesional y lecciones de vida que no son asequibles por medio de la lectura o transmisión oral. Aun cuando los autores son conscientes que varios pormenores de esta metodología son perfectibles, el espíritu de la misma es un excelente instrumento para formación de ingenieros.

6. REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Educación de la República Argentina, *Resolución Ministerial 1232/01*, Boletín Oficial, 2001.
- [2] M.F. Spotts y T.E. Shoup, *Elementos de Máquinas*, Ed. Prentice-Hall, 1999.
- [3] J.E. Shigley y C.R. Mischke, *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Ed. McGraw-Hill, México, 2002.
- [4] B.J. Hamrock, B. Jacobson y S.R. Schmid, *Elementos de Máquinas*, Ed. McGraw-Hill, México, 2000
- [5] J.R. Steffen, *Analysis of Machine Elements using COSMOSWorks Professional 2007*, SDC Publications, ISBN: 978-1-58503-346-1, 2007.
- [6] C.J. Egelhoff y E.M. Odom, *29th Proceedings of ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Machine Design: Where the action should be*. Nov 10-13, San Juan de Puerto Rico, 1999.
- [7] H.D. Butigliero y colaboradores, *Materias Integradoras: Observaciones y recomendaciones para 1997*. Nuevo Diseño Curricular. Universidad Tecnológica Nacional, 1997.

- [8] M.T. Piovan y A.E. Romero, Actas del Cuarto Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería, *La enseñanza y aprendizaje de elementos de máquinas a través de metodologías basadas en proyectos: Ventajas y límites*. Buenos Aires, Argentina, 2004.
- [9] M.T. Piovan, *Curso de Elementos de Máquina*, <http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/elementosdemquinas/index.html>, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, 2008.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la SGCyT y al departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional por el apoyo recibido.