



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI

Innovación en las facultades de ingeniería:
el cambio para la competitividad y la sostenibilidad

Centro de Convenciones Cartagena de Indias

4 al 7 de octubre de 2016



ESTUDIO COMPARATIVO DE 4 TENDENCIAS CURRICULARES EN TORNO A LA FÍSICA, EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN MÉXICO: EL CASO INSTITUTOS TECNOLÓGICOS, FI-UNAM, IPN, UAM-A

Luis G. Cabral Rosetti, Adriana Castillo Rosas, Marco Antonio Muñoz Vargas

Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica
Querétaro, México

Resumen

El aprendizaje de la Mecánica Clásica es fundamental en el proceso formativo de la ingeniería mecánica. Desde esta perspectiva los autores de la siguiente ponencia realizaron el análisis comparativo de los planes de estudio propuestos por cuatro Instituciones de educación superior públicas mexicanas. El método empleado fue la contrastación curricular básica, centrándose en los objetivos de aprendizaje esperados, los temas tratados, la trazabilidad curricular, y la bibliografía empleada en cada caso. El objetivo del estudio fue realizar una primera aproximación analítica sobre el peso específico que ocupa la Mecánica Clásica en los planes de estudio oficiales.

Palabras clave: formación de ingenieros; enseñanza de la física; currículum

Abstract

Learning of classical mechanics is essential in the training process of mechanical engineering. From this perspective, the authors of the following paper made a comparative analysis of the curriculum proposed by four institutions of Mexican public higher education. The method used was comparative curriculum, focusing on expected learning objectives, topics, curriculum traceability, and the literature used in each case. The aim of the study was to conduct a first analytical approach on the specific weight that occupies Classical Mechanics in the official curriculum.

Keywords: *engineering education; physics education; curriculum*

1. Introducción

La ponencia que ahora se presenta tuvo como intención primera comparar las retículas de mecánica clásica en las licenciaturas de *Ingeniería Mecánica* de cuatro instituciones educativas públicas de educación superior en México. Las preguntas que detonaron el estudio fueron ¿Qué temas se abordan? ¿Cómo lo hacen? y ¿Con qué profundidad?

Desde esta perspectiva, en una revisión preliminar dio la impresión de que los planes de estudio de Mecánica Clásica Básica de las cuatro instituciones analizadas, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (FI-UNAM), el Instituto Tecnológico de Celaya del Tecnológico Nacional de México (ITC-TecNM), la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional (ESIME-IPN) y la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A) eran prácticamente lo mismo. Sin embargo, esto no fue así, ya que existen claras y acentuadas diferencias para *enseñar la ciencia del movimiento* en cada una de ellas, independientemente del contexto, se observaron diferencias fundamentales a la hora de abordar, entender, desarrollar y enseñar la Mecánica de Newton.

Con la finalidad de resumir las evidencias obtenidas, este documento está conformado por cuatro apartados que ofrecen una visión analítica estructurada.

2. Denominación de la asignatura

Comenzaremos por los nombres dados a cada asignatura que a nuestro entender son significativos:

- En la FI-UNAM la asignatura de tercer semestre y de carácter obligatoria se titula *Cinemática y Dinámica*, nombre genérico para el estudio del movimiento de cuerpos extensos y de partículas.
- En cambio en el ITC-TecNM se titula simplemente *Dinámica* y es una asignatura obligatoria del cuarto semestre de la malla curricular. Su programa contempla el estudio tanto la Cinemática de cuerpos y partículas, así como la Cinética (Dinámica) de los mismos.
- En la ESIME-IPN la asignatura se ofrece en el tercer semestre y también es obligatoria. Con un nombre más conveniente, *Dinámica de la Partícula*, su programa incluye los primeros temas del movimiento de partículas y cuerpos rígidos. Éste curso, a diferencia de las otras instituciones, es complementado con otro curso más, llamado *Dinámica del Cuerpo Rígido*, donde se finaliza el estudio completo y pormenorizado del movimiento de partículas y cuerpos rígidos en el plano y en el espacio. Es decir, es continuación del anterior. Por tanto, el Curso de Cinemática y Dinámica lo realizan en dos semestres.
- Por su parte, los alumnos de la UAM-A estudian la *Cinemática y Dinámica de Partículas*, curso obligatorio del 1er. trimestre del plan estudios. Como su nombre indica (tomar en cuenta que en la UAM-A el sistema

de estudios es trimestral y modular), únicamente se estudia en esta asignatura el *movimiento traslacional de partículas*.

3. Relaciones curriculares

Respecto a los antecedentes académicos que deben cubrir los estudiantes para ingresar a las asignaturas mencionadas en el inciso anterior, así como las que dan soporte a los cursos antes mencionados, tenemos que:

- En la FI-UNAM el antecedente de la asignatura de *Cinemática y Dinámica* es Estática, y las asignaturas de la misma línea longitudinal en la malla curricular en el 3er semestre son: Ecuaciones Diferenciales, Cálculo Vectorial y Termodinámica. Las asignaturas que sirven de soporte en semestres previos son: Álgebra Lineal, Cálculo Integral y Estática del 2do. Semestre, así como Álgebra, Cálculo Diferencial y Geometría Analítica del 1er. Semestre.
- En el ITC-TecNM, el antecedente es Cálculo Vectorial y Estática y las asignaturas relacionadas con Dinámica en el 4o Semestre son: Ecuaciones Diferenciales, Electromagnetismo y Mecánica de Materiales I. Y las asignaturas que sirven de soporte en semestres previos son: Estática, Cálculo Vectorial y Métodos Numéricos del 3er. Semestre, Cálculo Integral y Álgebra Lineal del 2do. Semestre, así como Cálculo Diferencial del 1er. Semestre.
- Por su parte, en la ESIME-IPN el antecedente es Estática y las asignaturas que cruzan con Dinámica en el 4o Semestre son: Mecánica de Materiales. Las asignaturas que sirven de soporte en semestres previos son: Estática, Cálculo Vectorial y Ecuaciones Diferenciales del 3er. Semestre, Cálculo Vectorial y Métodos Numéricos del 2do. Semestre, así como Cálculo Diferencial e Integral, Fundamentos de Álgebra, Fundamentos de Programación y Física Clásica del 1er. Semestre.
- Para la UAM-A el antecedente directo es Introducción a la Física y Taller de Matemáticas del *Trimestre Cero* (la UAM-A es la única de las instituciones analizadas que cuenta con un propedéutico *oficial y obligatorio* en su plan de estudios). Las asignaturas con relación curricular directa a Cinemática y Dinámica en el 1er trimestre son: Complementos de Matemáticas e Introducción al Cálculo. Y las asignaturas que sirven de soporte en el trimestre previo son: Taller de Matemáticas e Introducción a la Física del Trimestre Cero.

Con base en la descripción anterior, las relaciones curriculares de la asignatura de Mecánica en las cuatro instituciones estudiadas son aparentemente similares.

4. Objetivos de las asignaturas

Otro elemento fundamental del diseño curricular son los objetivos de las asignaturas, dado que en principio son el reflejo del objetivo general de la carrera, mismo que manifiesta el perfil de egreso enmarcado por el modelo educativo de cada institución. Así, en éste siguiente apartado se describen los objetivos de la asignatura, así como el número de créditos asignados y por tanto el número de horas de trabajo áulico.

En la FI-UNAM, la asignatura de Cinemática y Dinámica es una asignatura teórica, (es decir, sin laboratorio de prácticas) que persigue como objetivo que:

El alumno será capaz de comprender los diferentes estados mecánicos de movimiento de partículas y de cuerpos rígidos considerando la geometría del movimiento, así como las causas que lo modifican. Asimismo, será capaz de analizar y resolver ejercicios de cinemática y dinámica clásicas. (Facultad de Ingeniería, 2008: 1). La asignatura es de 9 créditos y destina un total de 4.5 hrs. a la semana, es decir 72 hrs. al semestre.

Por otro lado, en el ITC-TecNM la asignatura de Dinámica es una asignatura teórica (sin laboratorio de prácticas), que persigue como objetivo: "El alumno comprenda, modele y aplique las leyes y teorías del movimiento de partículas y cuerpos rígidos. Para su posterior aplicación a las asignaturas de la carrera de Ingeniería Mecánica" (DGEST, 2010: 7)

La asignatura es de 2-3-5 créditos SATCA y que destina un total de 5 hrs. a la semana, es decir 80 hrs. de clases frente a grupo en total del curso.

El ESIME-IPN, la asignatura de Dinámica de la Partícula, por el contrario, si tienen explícitamente sus prácticas de laboratorio asignadas como parte de la materia, y que son complementarias a las horas teóricas, por tanto es una asignatura eminentemente teórico-práctica. Este diseño marca la diferencia fundamente en la formación del futuro Ingeniero Mecánico. El objetivo general que persigue es:

El alumno solucionará problemas que impliquen la diferenciación entre partícula y cuerpo rígido, la determinación de las fuerzas generadoras y sus efectos durante el movimiento, todo por medio de la segunda ley de Newton. Identificará los parámetros cinemáticos, lineales y angulares que se presentan en el plano y el espacio, así como los conceptos de energía mecánica, impulso y momentum, tanto de cuerpos como de partículas. (ESIME, 2007: 4)

Es una asignatura que destina 4.5 hrs. a la teoría por semana y 1.5 hrs. al laboratorio en los días correspondientes. Es decir, los alumnos de la ESIME-IPN toman 81 hrs. de Teoría en clase y 27 hrs. de práctica en el laboratorio, dando un total de 108 hrs. para el curso completo. Es por tanto, la asignatura que más horas de teoría y prácticas destinan los estudiantes al cursarla.

Finalmente, la asignatura de Cinemática y Dinámica de Partículas de la UAM-A, es una asignatura teórica cuyo objetivo es que:

Al finalizar el curso el alumno será capaz de: Describir, analizar y resolver problemas relativos al movimiento de una partícula y de un cuerpo rígido, así como a la dinámica de una partícula y la de un sistema de partículas. (División de Ciencias Básicas en Ingeniería, s.f.: 1)

Es una asignatura de 4 créditos y que asigna 4.5 horas teóricas por semana, sin ninguna hora de laboratorio oficial pues son, de acuerdo con el programa de estudios de la materia “a consideración del profesor podrá incorporar actividades de índole práctica” (División de Ciencias Básicas en Ingeniería, s.f.: 1), destinando un total 48 hrs. en total del curso durante 12 semanas que dura el curso trimestral.

5. Temarios

Dado el análisis anterior, se pueden percibir algunas diferencias en el tratamiento e intención curricular entre los cuatro planes de estudio. Para ello, haremos de manera general un primer análisis de las semejanzas y diferencias de los planes de estudio considerados.

En la FI-UNAM podemos decir que los alumnos de Cinemática y Dinámica estudian en un semestre el movimiento de partículas y cuerpos extensos, bajo la óptica de la Mecánica de Newton en 5 grandes temas. En los dos primeros se aborda el movimiento traslacional de los cuerpos materiales puntuales (partículas) sin atender a sus causas (Cinemática traslacional), así como atendiendo a sus causas (Cinética o Dinámica traslacional); en el tercer tema, centran la atención en el Teorema del trabajo-energía y su conservación, y el Teorema del impulso y la cantidad de movimiento. Todo lo anterior referido únicamente al movimiento traslacional de los cuerpos puntuales. En los dos últimos temas del programa, centran su atención en el estudio del movimiento rotacional de los cuerpos materiales puntuales y extensos sin atender a sus causas (Cinemática rotacional), así como atendiendo a sus causas (Cinética o Dinámica rotacional).

Los libros utilizados en el curso, son los típicos de un curso de ingeniería (Ingeniería Mecánica, Dinámica. Riley F. William, Editorial Reverte, S.A., 2004., Mecánica para Ingeniería. Dinámica, Bedford Anthony y Fowler, Wallace, L, Pearson Education, 2008., Ingeniería Mecánica, Dinámica Borelli, P. Arthur y Schmidt, J. Richard, Thomson, 2001.), en donde se presupone un conocimiento previo de Física Básica, pues los libros sugeridos en la bibliografía son de naturaleza práctica y con un enfoque tendiente a construir una Mecánica Intermedia, propias de los estudios Universitarios de la Mecánica Clásica.

Por su parte, los alumnos del ITC-TecNM estudian el movimiento de los cuerpos materiales en 4 grandes temas. Dos de ellos dedicados al movimiento traslacional de partículas (Cinemática y Cinética Traslacional) y los dos últimos dedicados al movimiento rotacional de Cuerpos Rígidos (Cinemática y Cinética Rotacional). Como parte del estudio de Dinámica Traslacional, el plan de estudios del ITC-TecNM incluye los temas de Trabajo-Energía, Conservación de la Energía, Impulso y Momento lineal al final del estudio de la Dinámica traslacional, pero excluyen la Conservación del momento lineal y sus aplicaciones. Incluyen al final del tema dedicado a la Dinámica rotacional, el Teorema de trabajo y energía rotacional.

Los libros recomendados a los alumnos y profesores del ITC-TecNM para el curso de Dinámica, también son los típicos de los cursos de ingeniería, y similares a los de la FI-UNAM (Beer y Johnston. Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica. McGraw-Hill, Hibbeler. Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica. Pearson, Prentice

Hall, etc.). En ambos casos, la bibliografía sugerida implica un conocimiento previo de Física Básica, supuestamente adquirido por el estudiante durante el bachillerato, hecho que no coincide con la realidad.

El caso del ESIME-IPN es claramente diferente a los demás, pues su curso de Dinámica es más extenso y profundo. Los alumnos del Politécnico asisten durante un año al curso completo de Dinámica, comprendiendo dos semestres lectivos que se complementan. El primer semestre está dedicado a la Dinámica de Partículas y el segundo a la Dinámica del Cuerpo Rígido.

En la ESIME-IPN se ve durante un semestre la Cinemática y Dinámica de Partículas y la iniciación a la Cinemática y Dinámica del Cuerpo rígido, así como los Teoremas de trabajo y energía para partículas y cuerpos rígidos y los temas de Impulso y Momento lineal (también llamado Cantidad de Movimiento) para partículas y cuerpos rígidos. Todos estos temas son estudiados experimentalmente en las prácticas de laboratorio.

En un segundo semestre se concluye el estudio de la Cinemática y Dinámica del Cuerpo Rígido que servirán de base para las siguientes asignaturas del plan de estudios, tales como: Mecanismos, Diseño de Elementos Mecánicos, Dinámica de Maquinaria y Proyecto Terminal. Las cuales descansan en la buena comprensión de la Mecánica de Cuerpos Rígidos. De hecho, la forma como está estructurado el programa, sirve de base para una formulación más elevada de la Dinámica Clásica; es decir, ambos cursos son la base para un curso de Mecánica Analítica, tales como el estudio de la Mecánica Lagrangiana y Hamiltoniana de los sistemas mecánicos.

Respecto a la bibliografía sugerida, es como en los casos anteriores, la típica de un curso de mecánica intermedia para ingenieros, pero en su aplicación teórico-práctica con una clara diferencia en su uso, abordaje, intención, y relación con otras materias.

Los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la ESIME-IPN, cursan desde el primer semestre la asignatura de Física Clásica, que sirve de soporte teórico a la asignatura de Dinámica de la partícula, en donde "El alumno explicará y aplicará algunos conceptos y modelos físico matemáticos básicos de la mecánica clásica newtoniana, en el análisis de fenómenos que ocurren en los sistemas físicos, estableciendo las bases de una actitud crítica, racional y científica".

Los temas tratados son de Física Básica de un curso universitario (con uso explícito del Calculo Diferencial e Integral) en donde se abordan: Sistemas de Unidades, Vectores, Estática, Cinemática, Dinámica de una Partícula, Trabajo-Energía, Dinámica de un Sistema de Partículas, Dinámica del Cuerpo Rígido, Movimiento Oscilatorio y Gravitación, en un lapso total de 108 hrs., mismas que se distribuyen en 90 hrs. teóricas y 18 hrs. de prácticas de laboratorio. Es claro que llevar previamente este curso es requisito indispensable para poder comprender bien un curso de Mecánica Intermedia, tal como la Mecánica Vectorial para Ingenieros.

La bibliografía propia de este curso incluye títulos como: Resnick, Halliday and Krane, Física Vol. 1, CECSA, México, 2002; M. Alonso & E. Finn, Física Volumen I, Addison Wesles, México, 1976; Raymond A. Serway, Física Tomo I, McGraw-Hill Interamericana, México 2001; y Harris Benso, Física Universitaria, Vol. 1, CECSA, México

1997. Todos ellos son libros de nivel Universitario que serán la base para poder entender posteriormente los libros propios de la Mecánica Vectorial para ingenieros. Esto marca una diferencia fundamental entre los demás cursos analizados.

Finalmente, los estudiantes de la UAM-A comienzan sus estudios teóricos de la Mecánica de Newton con Introducción a la Física en el Trimestre Cero, que en realidad funge como filtro para la completa aceptación del estudiante dentro del programa de Ingeniería. En dicho curso se realiza un repaso de Física de Bachillerato, en donde se abordan los temas de: Unidades Físicas, Nociones Cinemática Traslacional en una y dos dimensiones, Nociones de Dinámica (Fuerza) y Nociones de Vectores en el plano.

La bibliografía de este curso es la propia del bachillerato, es decir: Hewitt P.H., "Física conceptual", Pearson, 10ma. ed. 2007; Miller A., "Física para poetas", Siglo XXI, 1998; Guillen M., "Cinco ecuaciones que cambiaron al mundo" De bolsillo, 2007; Braun E., "El movimiento en Zigzag", La Ciencia desde México, 1996; Perelman Y., "Física recreativa", Prentice Hall, 1996; Córdoba J. L., "Química en la cocina", La Ciencia desde México, 2000; Walker E., "La feria ambulante de la física", Limusa, 1989; Braun E., "Electromagnetismo: de la Ciencia a la Tecnología", La Ciencia desde México, 1992; Verne J., "De la tierra a la luna".

Después de llevar el curso trimestral de Introducción a la Física (o de haber aprobado el examen correspondiente), los estudiantes de la UAM-A ingresan al curso de Cinemática y Dinámica de Partículas propiamente dicho en donde ven los temas: 1. Vectores; 2. Cinemática; 3. Leyes del movimiento; 4. Sistema de partículas.

Con un nivel de entendimiento de un curso universitario básico (tal y como ocurre con el curso de Física Básica de la ESIME-IPN), pero con menos temas por desarrollar. La bibliografía sugerida para este curso es similar a la usada en el Politécnico.

Para completar el estudio de Mecánica Clásica en la UAM-A, los estudiantes de Ingeniería Mecánica llevan el curso de Dinámica del Cuerpo Rígido, en donde estudian los temas de: 1. Dinámica del cuerpo rígido, 2. Trabajo y energía, y 3. Oscilaciones. Con la misma bibliografía que se usó en el curso anterior, es decir a un nivel de entendimiento de Física Básica. Es de llamar la atención que aquí no se recomienda ninguno de los típicos libros de Ingeniería Mecánica (Beer & Johnston, Meriam & Kraige, o el Hibbeler).

6. Conclusiones

Nos parece evidente con base en los documentos oficiales que revisamos, que los mejores planes de estudio son los de la ESIME-IPN. Decimos lo anterior, pues ello se refleja en los objetivos particulares planteados en cada una de las unidades temáticas a cubrir tanto teóricas como experimentales. Tienen bien claro que necesitan formar un estudiante con un perfil robusto en Física y Matemáticas Básicas para que puedan "desarrollar su creatividad y su capacidad de innovación en donde la Dinámica es parte fundamental".

El tener un curso obligatorio de Física Clásica con el nivel requerido en el primer semestre es un acierto, pues de ello dependen los éxitos o fracasos posteriores. Notemos que este no es un curso propedéutico (como en el caso de la UAM-A), sino más bien es un curso de *Física Básica Universitaria* que servirá de base y sustento para posteriormente poder asistir a un curso de Mecánica Racional o Analítica. Para ello, es necesario, en primer lugar, el curso de Dinámica de la Partícula y posteriormente el de Dinámica del Cuerpo Rígido, y éste a nuestro parecer es un segundo acierto del plan de estudios.

En ese sentido, que el curso de Dinámica este repartido en dos semestres creemos que es conveniente, pues el primer semestre se encuentra consagrado a la Cinemática y Dinámica de la Partícula, y a los Teoremas de Trabajo-Energía, Conservación de la Energía y del Momento Lineal, aunque se inician algunos temas de Cuerpo Rígido. Todo ello con las Prácticas de Laboratorio correspondientes como parte integra del plan de la asignatura, y esto es el tercer acierto de su plan de estudios.

También nos parece acertado que el segundo semestre de Dinámica este consagrado al estudio del Cuerpo Rígido en el Plano y en el Espacio, así como al estudio del Momento Angular y su conservación. Todo ello con sus correspondientes prácticas de Laboratorio.

Haber diseñado las dos asignaturas de Dinámica de la Partícula y Dinámica del Cuerpo Rígido como una sola unidad teórico-práctica, permiten al estudiante profundizar en la comprensión de la Mecánica Clásica como un solo cuerpo de conocimientos, es decir, la Mecánica Clásica de Partículas y Cuerpos Extensos y los correspondientes Teoremas de Conservación. Por tanto, creemos que los planes de estudio de Dinámica de la Partícula y Dinámica del Cuerpo Rígido del ESIME-IPN poseen una visión integradora congruente como parte del plan de estudios del Ingeniero Mecánico.

En el caso del plan de estudios de Cinemática y Dinámica de la FI-UNAM creemos que en términos generales es aceptable, pues cubre en un semestre básicamente los mismos temas que en la ESIME-IPN, con el inconveniente de la premura temporal, que imposibilita a nuestro entender, la profundización de los contenidos (72 hrs. en total contra 81 hrs. del ESIME-IPN, sin tomar en cuenta las 27 hrs. de laboratorio, que dan en total 108 hrs. teórico-prácticas efectivas de estudio presencial).

En el caso de la UAM-A y los ITC-TecNM, tenemos poca información para poder dar un fallo definitivo sobre sus planes de estudio, pero de la información que poseemos sobre los planes de estudio, éstos nos parecen escasos en cuanto a contenido, profundidad y metodologías pedagógicas para el aprendizaje de los futuros Ingenieros Mecánicos.

7. Referencias

- DGEST (2010) Dinámica. Programa de estudios. México: SNEST - SEP

- División de Ciencias Básicas e Ingeniería (s.f.) Cinemática y dinámica de partículas. Programa de Estudios. México: UAM Azcapotzalco
- ESIME (2007). Dinámica. Programa de estudios. México: IPN
- Facultad de Ingeniería (2005) Plan y programas de Estudios de la Licenciatura de Ingeniería Mecánica. México: UNAM. Consultado en 2015 en http://www.ingenieria.unam.mx/paginas/Carreras/fundamentaciones/fund_mecanica.pdf
- Facultad de Ingeniería (2008) Cinemática y dinámica. Programa de estudios México: UNAM.

Sobre los autores

- **Luis G. Cabral Rosetti**, Licenciado en Física, Maestro en Ciencias (Física), Doctor en Ciencias Físicas Universitat de Valencia, España. Profesor-Investigador del Depto. de Posgrado del CIIDET. cabralrosetti@gmail.com
- **Adriana Castillo Rosas**, Doctorado en Ciencias de la Educación. Profesor T.C. del Depto. de Posgrado del CIIDET. adriana.ciidet@gmail.com
- **Marco Antonio Muñiz Vargas**, Ingeniero Industrial Mecánico, Maestría en Educación Superior, CIIDET. Profesor T.C. del Depto. de Posgrado. marco.mmunis@gmail.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2016 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)