

**SOBRE LOS ESTUDIOS Y LA PROFESIÓN DE
INGENIERÍA MECÁNICA**

Informe para la Asociación Española de Ingeniería Mecánica (AEIM)

Autores:

**Rafael Avilés
Juan Ignacio Cuadrado**

Mayo de 2011

Rafael Avilés

Catedrático de Universidad de Ingeniería Mecánica
Departamento de Ingeniería Mecánica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Bilbao
Universidad del País Vasco UPV/EHU
Alameda de Urquijo s/n, 48013 Bilbao

Juan Ignacio Cuadrado

Catedrático de Universidad de Ingeniería Mecánica
Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valencia
Universidad Politécnica de Valencia UPV
Camino de Vera, 46022 Valencia

INDICE:

-	<i>DESCRIPCIÓN E IDEAS GENERALES</i>	7
	○ <i>Descripción</i>	7
	○ <i>Una muy breve revisión histórica</i>	8
	○ <i>Asociaciones y Sociedades de Ingeniería Mecánica</i>	9
-	<i>INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y CIENCIA</i>	10
-	<i>INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO</i>	13
-	<i>LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA</i>	14
	○ <i>Aspectos generales</i>	14
	○ <i>Áreas de conocimiento</i>	15
	○ <i>La Ingeniería Mecánica como parte de la Ingeniería Industrial</i>	17
	○ <i>Situación actual de los estudios de Grado, Master y Doctorado</i>	19
	○ <i>Ideas sobre estudios de Master en Ingeniería Mecánica</i>	21
	○ <i>El Doctorado en Ingeniería Mecánica</i>	24
-	<i>LA PROFESIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA</i>	25
	○ <i>Especificaciones técnicas</i>	25
	○ <i>Diseño mecánico</i>	26
	○ <i>Análisis</i>	26
	○ <i>Ensayo de prototipos</i>	27
	○ <i>Fabricación</i>	28
	○ <i>Seguimiento del comportamiento en servicio</i>	29
	○ <i>Ejecución y control del montaje de maquinaria, instalaciones y obras de construcción industrial</i>	30
	○ <i>Mantenimiento Industrial</i>	31
	○ <i>Ingeniería y consultoría</i>	31
	○ <i>Investigación tecnológica y desarrollo</i>	32
	○ <i>Formación</i>	33
-	<i>REFERENCIAS</i>	34
	○ <i>Libros y revistas</i>	34
	○ <i>Boletines Oficiales del Estado</i>	34
	○ <i>Páginas web</i>	34

INGENIERÍA MECÁNICA

DESCRIPCIÓN E IDEAS GENERALES

Descripción:

La Ingeniería Mecánica es la rama del conocimiento y profesión que se ocupa de idear, diseñar, analizar, fabricar, construir y mantener máquinas, instalaciones y plantas industriales, o partes de ellas. Para ello utiliza principalmente los principios de la mecánica de sólidos y de fluidos, la termodinámica y las leyes del comportamiento de los materiales, así como formulaciones matemáticas, técnicas y conocimientos empíricos y criterios económicos.

Así pues, la Ingeniería Mecánica está relacionada con las máquinas y lo que las rodea en una industria, como las estructuras, construcciones e instalaciones industriales. El concepto “máquina” no tiene una definición inequívoca que comprenda a todas las máquinas y distinga claramente las de un tipo de las de otro. El ingeniero y profesor alemán Franz Reuleaux (1829-1905) da una definición que, pese tener más de un siglo de antigüedad, sigue recogiendo bien el concepto mecánico de máquina: “*máquina es un conjunto de elementos sólidos, dispuestos de forma que encaucen las fuerzas mecánicas de la naturaleza para realizar un trabajo como consecuencia de determinados movimientos prefijados*”. Hay otras definiciones similares, como por ejemplo: “*máquina es un sistema formado por partes fijas y móviles que se utiliza para modificar energía mecánica y transmitirla en una forma más útil*”. En estas definiciones aparecen movimientos, fuerzas y energías, que son los principales conceptos físicos con los que se trabaja en ingeniería mecánica.

La definición que se ha dado al comienzo de este apartado no pretende ser completa, ya que es imposible recoger todos los matices de lo que es la Ingeniería Mecánica en un único párrafo, pues como cualquier actividad humana, una profesión en este caso, está interrelacionada con todas las demás existentes en su época. Tampoco pretende ser rigurosa desde un punto lingüístico o entrar en aspectos etimológicos, sino que trata simplemente de describir el núcleo de esta ingeniería, dando a su vez da una idea general del ámbito que abarca. Es una ingeniería sólidamente establecida y reconocida en todo el mundo desde hace más de doscientos años, el nombre Ingeniería Mecánica es muy conocido y lo que se entiende por tal, recogido en la definición anterior, tiene muy pocas diferencias en los distintos países.

Existen otras ingenierías, entendidas como profesiones, con tradición y sólidamente establecidas en todo el mundo parte de cuyos campos de trabajo se solapan con los de la Ingeniería Mecánica y que comparten muchos aspectos comunes; tal es el caso de la Ingeniería Aeronáutica (*Aeronautical Engineering, Aerospace Engineering*), Ingeniería Naval (*Marine Engineering*), Ingeniería de Obras Públicas y la Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (*Civil Engineering, Structural Engineering, Architectural Engineering*), Ingeniería de Materiales (*Materials Engineering*), Ingeniería de Organización Industrial (*Industrial Engineering*), Ingeniería Eléctrica (*Electrical Engineering*), Ingeniería de Minas

(*Mining Engineering*) o las de Montes y Agronómica. A su vez otras como la Ingeniería de Fabricación (*Manufacturing Engineering*) o la Ingeniería de Automoción (*Automotive Engineering*) son ramas de la mecánica que a veces se contemplan en planes de estudio específicos con esos nombres diferenciados.

Una muy breve revisión histórica:

Queda fuera de la finalidad de este escrito realizar una exhaustiva revisión histórica de la Ingeniería Mecánica, pero como resumen se puede afirmar que tiene raíces muy antiguas ya que el ser humano ha construido herramientas desde sus orígenes, y máquinas más o menos complejas desde hace miles de años, aunque su nacimiento como profesión específica está muy vinculada a la invención y aplicación de la máquina de vapor que se produce con la Revolución Industrial. Su desarrollo posterior fue muy rápido, contribuyendo decisivamente a la aparición y extensión del uso de otros tipos de máquinas como máquinas herramienta, ferrocarriles, ascensores y elevadores, depósitos y conducciones, automóviles, electrodomésticos, aeronaves, vehículos militares de diferentes tipos, generadores, motores, turbinas y otros. Los avances en Ingeniería Mecánica han aprovechado también los de otras áreas como materiales, control, electrónica y computadores por citar algunos. Es sobre todo el computador y su extensión a todos los ámbitos de la actividad humana el que está impulsando el cambio que se ha producido en esta ingeniería en las últimas décadas y es previsible que esta tendencia continúe, a la vez que es también previsible que los avances en nuevos materiales puedan suponer a su vez un impulso adicional en el futuro.

Por enumerar brevemente algunos personajes conocidos que han contribuido especialmente al avance de esta área de actividad humana, y empezando por la antigüedad clásica, se puede citar al griego Arquímedes de Siracusa (*Αρχιμήδης*, 287-212 AC), científico e ingeniero, inventor de la bomba hidráulica de tornillo sin fin, la polea compuesta y diversas máquinas de guerra. El griego Herón de Alejandría (*Ηρώων*, primer siglo de nuestra era), matemático e ingeniero, ideó entre otras cosas la primera máquina de vapor de la que se tiene constancia, el “*Aeolipilo*”, aunque no le dio aplicación práctica. A veces se suele incluir en esta lista también al famoso florentino Leonardo da Vinci (1452-1519), aunque sus trabajos tuvieron muy escasa, si alguna, repercusión práctica. Es realmente a partir de la Revolución Industrial del siglo XVIII cuando se puede ya hablar con toda propiedad de Ingeniería Mecánica tal y como se entiende esta profesión hoy día, siendo el escocés James Watt (1736-1819), inventor de la máquina de vapor, el más conocido de esa época y considerado como el “padre” de la ingeniería mecánica moderna. El inglés George Stephenson (1781-1848), calificado a veces también como “padre de los ferrocarriles” y primer presidente de la *Institution of Mechanical Engineers* (IMechE hoy día). El serbio Nikola Tesla (1856-1943), ingeniero eléctrico y mecánico, muy conocido por sus contribuciones a la electricidad y magnetismo. El escocés William John Macquorn Rankine (1820-1872), físico e ingeniero, con importantes contribuciones en termodinámica, máquinas de vapor y estudios de fatiga de materiales. Osborne Reynolds (1842-1912), inglés, con muy importantes contribuciones a la mecánica de fluidos. Rudolf Diesel (1858-1913), alemán nacido en París, inventor del tipo de motor que lleva su nombre. Otros ingenieros mecánicos alemanes con mucha influencia en el desarrollo del automóvil son Gottlieb Daimler (1834-1900), Karl Benz (1844-1929), Ferdinand Porsche (1875-1951) y Felix Wankel (1902-1988). También hay que citar al norteamericano Henry Ford (1863-1947) que desarrolló el concepto de línea de montaje y producción en serie. El ruso-americano Igor Sikorsky (1880-1972), ingeniero aeronáutico y mecánico, inventor del concepto de helicóptero actual con un rotor principal y uno de cola.

En España, los antecedentes de la ingeniería mecánica de remontan al “Siglo de Oro” en el cual el descubrimiento de América supuso un impulso cultural y de actividad industrial muy importante, con desarrollos también en los campos de arquitectura, construcción naval, minería y metalurgia y construcción de armamento. Aunque son generalmente poco conocidos, de esa época destacan nombres como Jerónimo de Ayanz y Beaumont, Pedro Juan de Lastanosa y Juanelo Turriano. Posteriormente, ya a principios del siglo XIX, destaca Agustín de Betancourt quien ya en época tan temprana escribió junto con José María Lanz un libro titulado “*Essai sur la Composition des Machines*” (Ensayo sobre la Composición de las Máquinas).

Por supuesto, hay muchos más nombre notables, sobre todo en el ámbito académico, pero los aquí citados son los más conocidos y pueden dar una idea de la evolución de los resultados más tangibles de la ingeniería mecánica a lo largo del tiempo. En años recientes, el enorme desarrollo que ha experimentado la tecnología y la ingeniería en todos los ámbitos, con un crecimiento exponencial de la tecnología, de la industria y del número de ingenieros en el mundo, hace que no destaquen figuras individuales, lo que justifica la ausencia de nombres correspondientes a las últimas décadas en la lista anterior pese a ser en el período en el que las máquinas en general han experimentado su mayor crecimiento en prestaciones, campos de aplicación, asequibilidad y generalización de su uso.

Asociaciones y Sociedades de Ingeniería Mecánica:

Todos los países desarrollados tienen algún tipo de asociaciones relacionadas con la profesión de ingeniería mecánica. Se citan seguidamente aproximadamente por orden de antigüedad algunas Asociaciones y Sociedades que existen en el campo de la Ingeniería Mecánica; unas son nacionales y otras internacionales y con actividad e influencia diversas.

- IMechE (1847), the Institution of Mechanical Engineering, Gran Bretaña. <http://www.imeche.org/>
- ASME (1880), the American Society of Mechanical Engineering, USA; ASME International, internacional. <http://www.asme.org/>
- VDI (1884), Verein Deutscher Ingenieure, Alemania. <http://www.vdi.eu/>
- Colegios Oficiales de Ingenieros Industriales (origen hacia 1905), España. <http://www.iies.es/>
- SAE (1905), Society of Automotive Engineers, USA; SAE International, internacional. <http://www.sae.org/>
- SIMP (1926), Stowarzyszenie Inżynierów Mechaników Polskich (Asociación de Ingenieros Mecánicos Polacos), Polonia. <http://www.simp.pl/>
- AFM (1946), Asociación Española de Fabricantes de Máquina-Herramienta, España. <http://www.afm.es/>
- FISITA (1948), Fédération Internationale des Sociétés d'Ingénieurs des Techniques de l'Automobile/ International Federation of Automotive Engineering Societies, internacional. <http://www.fisita.com/>
- CIRP (1951), Collège International pour la Recherche en Productique (internacional). <http://www.cirp.net/>
- AIMETA (hacia 1960) Assoziacione Italiana di Meccanica Teorica e Applicata y GMA (hacia 1990) Grupo di Meccanica Applicata a le Machine, Italia. <http://www.aimeta.it/>

- IFToMM (1969), International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science (internacional). <http://www.iftomm.org/>
- CSME/SCGM (1970), the Canadian Society of Mechanical Engineering/ Société canadienne de génie mécanique, Canada. <http://www.csme-scgm.ca/>
- AEIM (1983), Asociación Española de Ingeniería Mecánica, España. <http://www.asoc-aeim.es/>
- AIP-PRIMECA (1984), Ateliers Inter-établissements de Productique- Pôles de Ressources Informatiques pour la Mécanique, Francia. <http://www.aip-primeca.net/>
- IFR (1987), International Federation of Robotics, internacional. <http://www.ifr.org/>
- FeIbIM (1995), Federación Iberoamericana de Ingeniería Mecánica. <http://www.feibim.org/>
- ASEPA (1996), Asociación Española de Profesionales de Automoción, España. <http://www.asepa.es/>
- AFM (1997), Association Française de Mécanique, Francia. <http://www.afm.asso.fr/>

Se puede decir que a fecha de hoy es ASME (American Society of Mechanical Engineering) la más conocida y con mayor influencia y difusión a nivel internacional, ya que pese a ser una asociación de los EEUU de América sin embargo tiene secciones y socios en todo el mundo a través de ASME International. También la asociación británica IMechE tiene una influencia directa y muy importante en la profesión de ingeniería mecánica en Gran Bretaña y en otros países de la Commonwealth. Otras de las citadas son de ámbito internacional o limitado a partes concretas de la ingeniería mecánica, como por ejemplo FISITA (automoción), IFToMM (teoría y ciencia de máquinas y mecanismos), IFR (robótica) o CIRP (fabricación). También se han incluido en la lista anterior los Colegios de Ingeniería Industrial en España, ya que la ingeniería mecánica está considerada desde un punto de vista profesional como una parte de la ingeniería industrial y dichos Colegios han tenido, hasta el momento, una considerable influencia por ser quienes tutelan las profesiones con atribuciones profesionales reguladas por ley.

INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y CIENCIA

A fin de situar la Ingeniería Mecánica en un contexto adecuado, conviene aclarar algunos conceptos que en ocasiones se utilizan de forma incorrecta. Esto sucede sobre todo en el uso coloquial y poco informado de las palabras *Ingeniería*, *Tecnología*, *Técnica* y *Ciencia*. Siguiendo con la idea de definiciones sencillas, se puede decir que la Ingeniería en general es la profesión que se ocupa de idear, construir y utilizar “cosas” (máquinas, artefactos, dispositivos, ingenios) previamente no existentes en la naturaleza, o de adaptar las ya existentes, a fin de facilitar la vida y el desarrollo del ser humano individual o colectivamente. La Ciencia busca descubrir e interpretar los principios y leyes que rigen el Universo y todo lo que contiene. La ingeniería es una profesión que, entre otros medios, utiliza los avances científicos cuando ello es posible, conveniente y rentable; pero ello no convierte a la Ciencia en Ingeniería ni viceversa. Por poner un ejemplo, Isaac Newton presentó en 1687 en su obra “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” la que denominó como Segunda Ley del Movimiento, los ingenieros la utilizan cotidianamente pero no se preocupan profesionalmente de por qué no se conoce aún una explicación del concepto inercia; ese es un tema que corresponde tratar de resolver a la ciencia, no a la ingeniería. Sin embargo, diseñar los álabes de una turbina, para lo cual se utiliza esa y otras leyes de la naturaleza, no es ciencia, es ingeniería. Por su parte, la Tecnología es el conjunto de

conocimientos existentes sobre la aplicación de las leyes de la naturaleza para beneficio del ser humano. Finalmente, una técnica es un conjunto de reglas y procedimientos utilizados para conseguir un fin en una determinada actividad humana.

A veces se simplifica el proceso lógico que conduce a la aparición de una invención o nuevo producto, pensando que la secuencia que se sigue es lineal: en primer lugar aparición del conocimiento científico, seguido por el desarrollo de una tecnología apropiada para pasar a continuación a un desarrollo de ingeniería y finalizar materializándolo mediante la aplicación de unas técnicas específicas. Sin embargo, como pasa en tantas otras cosas, esta visión lineal y simplificada no responde a la realidad en la mayoría de las ocasiones. En la práctica, todos esos aspectos del conocimiento humano se combinan y entrelazan entre sí de forma compleja e inseparable, las fronteras entre ellos son difusas y existen solapes, los avances en uno de ellos repercute en una mejora del resultado final obtenido y todos se necesitan mutuamente. Las ciencias experimentales necesitan equipos y aparatos técnicos para avanzar, la ciencia más teórica necesita datos experimentales de partida o como comparación de sus hipótesis y desarrollos y a su vez la ingeniería avanza más rápidamente y con mayor solidez si se apoya en un mejor conocimiento de la leyes de la naturaleza. No obstante, hay diferencias evidentes, por ejemplo la ciencia no se convierte en ingeniería por el mero hecho de utilizar tecnología, ni la ingeniería en ciencia por aplicar eventualmente el método científico; los ámbitos de cada una son necesarios y diferentes, las profesiones y sus misiones en la sociedad también deben serlo.

Utilizar las palabras ciencia e ingeniería como sinónimos, algo que sucede con frecuencia en los medios de comunicación y una parte de la clase política, conduce a opiniones erróneas y a esfuerzos y recursos mal dirigidos, ya que eso lleva a considerar todas las actividades de investigación, desarrollo tecnológico e incluso ingeniería avanzada dentro de un mismo grupo. Esta tendencia se observa en todo el mundo desarrollado, pero hay que recordar que un error no deja de serlo porque muchos lo cometan. La investigación científica es importante y tiene influencia sobre todo en el largo o muy largo plazo y debido a que es generalmente muy costosa y sus resultados inciertos, como no puede ser de otra manera, su rendimiento económico es muy bajo. Sin embargo, son los esfuerzos e inversiones en ingeniería los que resuelven los problemas del día a día y hacen avanzar a las sociedades y a los países.

Se ha comprobado a lo largo del tiempo que a la ingeniería no le es imprescindible el conocimiento científico para conseguir avances tecnológicos; por ejemplo la máquina de vapor se desarrolló más de cien años antes de que la termodinámica fuera una ciencia bien establecida. A veces la ciencia, o mejor dicho algunos científicos, tienden a tener opiniones muy dogmáticas en temas que no están aun resueltos de forma completa y eso ha podido incluso frenar avances tecnológicos en algún momento. Ese dogmatismo es mucho menor en ingeniería, ya que la validez de las opiniones se mide a través de los beneficios económicos que produce y eso es algo fácilmente medible, muy pragmático y poco subjetivo. Por ejemplo pese a estipularse en el siglo XIX que no sería posible enviar señales de radio de continente a continente debido a la curvatura de la tierra, Marconi demostró lo contrario con hechos. Otro caso fueron las opiniones de que el ferrocarril no sería posible, ya que por encima de una modesta velocidad los pasajeros morirían por asfixia, o la supuesta ineficacia de un sistema de transporte basado en el contacto entre ruedas y carriles de acero; predicciones erróneas que afortunadamente no fueron tenidas en cuenta en su momento. Por citar otro ejemplo, afortunadamente los hermanos Wright no hicieron caso (tal vez por no conocerlas) de la opinión de que los objetos más pesados que el aire que desplazan no podrían volar, pese al

hecho evidente de que las aves lo hacen. No hay ninguna pugna conceptual entre la ciencia y la ingeniería, ambas son partes imprescindibles del conocimiento y de la actividad humana y por supuesto la ingeniería aprovecha, siempre que es conveniente y posible, los avances científicos que se producen a lo largo del tiempo, pero no se queda parada esperando a que estos aparezcan.

Obsérvese que las consideraciones de tipo económico son de importancia creciente según se avanza en la secuencia ciencia-tecnología-ingeniería-técnica. Los aspectos económicos son indiferentes para juzgar la validez del conocimiento científico, pero finalmente cruciales para el éxito comercial de un producto y de una industria. La ingeniería sólo tiene sentido si sirve para producir progreso palpable y beneficios económicos (no necesariamente directos), a su vez la utilidad de la investigación tecnológica está relacionada con su viabilidad industrial, mientras que la validez de la investigación científica es independiente de la rentabilidad de sus resultados. Otra diferencia es que desde un punto de vista ético la ciencia es neutra pues busca entender la naturaleza, mientras que la tecnología y aun más la ingeniería no lo son ya que buscan idear y construir cosas cuya valoración, o el de algunas de sus aplicaciones, es subjetiva y puede ser cuestionable en ocasiones.

La ingeniería mecánica se incluye dentro de todo este entramado del conocimiento humano, siendo sin lugar a dudas una de las que más influencia directa ha tenido y tiene en la vida cotidiana de las personas. Es una característica innata del ser humano idear, fabricar y utilizar herramientas, el reconocimiento del mayor o menor grado de “humanidad” de unos restos fósiles depende muy directamente de que se encuentren presentes restos de útiles y herramientas: un raedor, un hacha, una punta de flecha. Sin necesidad de remontarse a épocas tan remotas, todos los productos que se utilizan cotidianamente dependen en alguna fase de su desarrollo o utilización, en mayor o menor grado, de la ingeniería mecánica; desde un alimento por sencillo que sea, pasando por un producto farmacéutico, ropa, un libro, un edificio de vivienda o servicios, un microchip, un computador, hasta un aparato de comunicación inalámbrico. En algún momento de su proceso se habrán utilizado herramientas y máquinas diversas para fabricarse: ahí la ingeniería mecánica ha estado presente.

De una forma más evidente, la forma de vida en los países desarrollados depende directamente de electrodomésticos y de máquinas de transporte como automóviles, ferrocarriles, aviones, barcos, sistemas de elevación, tanto para el movimiento de personas como de productos. En el diseño, fabricación y mantenimiento de todas esas máquinas y vehículos la ingeniería mecánica es imprescindible. Lo mismo sucede con los satélites de tipo diverso, como los de comunicaciones y sus antenas terrestres, los de vigilancia de la climatología, posicionamiento global, sondas y vehículos de exploración espacial y otros. La agricultura, ganadería, defensa, generación y transporte de energía también dependen de herramientas, máquinas, vehículos y estructuras. La medicina actual no se puede entender sin herramientas quirúrgicas, prótesis y máquinas diversas.

En resumen, la ingeniería mecánica está presente en todas las facetas de la vida del ser humano en las cuales éste interactúe con su entorno. No se pretende ni mucho menos afirmar que sea más o menos importante que otras ingenierías, o que otras actividades humanas, ya que para ello debería utilizarse algún criterio de medida de la importancia, que necesariamente será subjetivo. Por otra parte, la comparación relativa del interés de una ingeniería frente a otra es irrelevante; todas las ingenierías pueden tener su interés, pero algunas son imprescindibles y entre éstas se encuentra la ingeniería mecánica.

INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El desarrollo, fabricación y distribución de productos de alto valor añadido constituye el pilar central de la competitividad de cualquier empresa industrial en el mundo desarrollado y por ello de Europa y de España en concreto. Obsérvese que el término “país desarrollado” es sinónimo de país con economía fuerte y por ello con alto nivel medio de vida y bienestar de sus ciudadanos; a su vez, una economía fuerte depende de una industria fuerte y competitiva, capaz de exportar sus productos para incrementar la riqueza del país. Se puede argumentar que existen algunos países con buen nivel de vida, cuya actividad económica no está basada directamente en la actividad industrial. Pero se trata de unos pocos casos, con reducido número de habitantes, en los que sus economías dependen o bien de la existencia dentro de sus fronteras de recursos naturales muy demandados por países desarrollados o en actividades mercantiles y financieras con bienes procedentes de esos otros países, por tanto dependen también del desarrollo industrial, aunque ajeno en este caso. La actividad industrial, que implica exportación, es pues la que sostiene la base más sólida de la riqueza de los países desarrollados y es precisamente en la industria donde la ingeniería mecánica tiene su razón de ser, su expresión y su realización final.

El mundo es cambiante, por lo que es evidente que el mantenimiento a medio y largo plazo de una actividad industrial competitiva requiere de un esfuerzo investigador en el cual la ingeniería mecánica tiene una parte también fundamental. No es posible hoy día esperar una economía nacional sólida que se base fundamentalmente en fabricar productos diseñados en el extranjero, pues cada día hay más países que se incorporan al mundo industrializado, en la mayoría de los cuales los costes de producción son más reducidos que en el nuestro. La creciente automatización de la producción, a la cual la ingeniería mecánica ha contribuido muy significativamente, hace además que la calidad de los productos dependa cada vez menos de las habilidades artesanales de los operarios, por lo que algunas empresas que instalan factorías en esos otros países pueden producir productos de aceptable calidad y obtener una buena rentabilidad. Es por ello que actualmente el mayor valor añadido se alcanza mediante la posesión, desarrollo y aplicación de tecnología avanzada, que se apoya en un esfuerzo de investigación, desarrollo e ingeniería continuado y fuerte. Los países y las empresas líderes son los que poseen las claves de la tecnología más avanzada, y son precisamente los mismos que dedican más dinero y esfuerzo a la formación, investigación y al desarrollo tecnológico en todos sus niveles. Actualmente, la supervivencia de un entramado industrial sólido, a medio y largo plazo, es imposible sin un suficiente esfuerzo, acertadamente dirigido, en formación e investigación.

A veces se produce una cierta confusión entre tres facetas de la actividad industrial como son la *investigación*, en sus diferentes niveles, *desarrollo tecnológico* e *ingeniería* propiamente dicha. La *investigación científica* pretende descubrir e interpretar las leyes de la naturaleza, no encontrándose dentro del ámbito de competencia directa de la ingeniería, por eso aquí no se hará referencia a ella. A la ingeniería sin embargo sí le compete la *investigación tecnológica* en todos sus niveles, que van desde la *investigación básica* a la *aplicada*, pasando por el *desarrollo tecnológico* y la *ingeniería avanzada*. La investigación en ingeniería está encaminada hacia la resolución rentable de problemas relacionados con la actividad industrial, en su más amplia acepción. La diferencia fundamental entre la investigación básica y la aplicada es la mayor o menor cercanía temporal de su posible utilización rentable en la industria, y por ello implícitamente el grado de influencia de

criterios económicos en la evaluación de la utilidad de los resultados. El buen fin de los temas de investigación básica y aplicada se alcanza en el momento en que sus resultados se transforman en desarrollos de nueva tecnología y finalmente en ingeniería de uso común; cuanto antes suceda esto y cuanto más útiles y asequibles sean sus resultados tanto más exitosa habrá resultado ser esa investigación.

Las líneas de investigación básica no producen resultados útiles a corto plazo, y por ello se financian usualmente mediante programas de organismos públicos regionales, estatales o europeos, quienes marcan unas líneas orientativas a apoyar de manera preferente, pero que deberían tratar de no coartar la amplitud de conocimientos que se puedan llegar a generar. Así mismo es importante que se distinga entre investigación científica e investigación tecnológica a la hora de decidir las líneas preferentes a apoyar, así como el reparto de los fondos disponibles. Las líneas aplicadas por su parte, tanto en la universidad como en los centros de investigación y tecnológicos y en la empresa, deben ser financiadas mediante fondos públicos y privados.

Ahora bien, por regla general, las empresas en España dedican escasos recursos y esfuerzo a la investigación tecnológica. La preocupación por un acuciante día a día y por resolver problemas casi exclusivamente productivos, financieros, comerciales y laborales, hace que desafortunadamente los planteamientos a largo plazo queden relegados a un segundo plano. Hay empresas que hacen investigación, pero lo cierto es que en la mayor parte de ellas es suficiente con hacer ingeniería a un nivel adecuado a su finalidad empresarial, quedando establecido que la aplicación ingeniosa u original de tecnología ya existente no es investigación. Las empresas desarrollan su actividad dentro de un entramado económico y social, de tal modo que pueden colaborar con otras empresas, con centros de investigación, con centros tecnológicos y con universidades. Dependiendo del tipo de empresa de que se trate, sus necesidades de investigación, desarrollo e ingeniería a distintos niveles serán diferentes y podrán ser cubiertas por ella misma o contratando servicios ajenos, con acuerdos estables o puntuales.

En el campo de la ingeniería mecánica siempre ha existido un número incontable de temas de investigación tecnológica del máximo interés, con una gran influencia en la vida cotidiana de las personas, en el conjunto de la actividad industrial y económica y en el avance de las sociedades. Algunos de esos temas se enumeran posteriormente al hablar del Doctorado en Ingeniería Mecánica.

LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

Aspectos generales:

Investigación y formación son actividades inseparables, ya que el mantenimiento de la competencia investigadora y de la competitividad industrial exige la continua actualización de conocimientos y de formas de hacer. Ahora bien, el nivel de formación de los investigadores necesarios en cada escalón tecnológico presenta también sus diferencias, pudiéndose decir que el lugar natural de formación de más alto nivel es la universidad.

La universidad debe ocuparse fundamentalmente de la formación y de la investigación básica, científica y técnica, algo menos de la aplicada y tan sólo tangencialmente del desarrollo tecnológico. Desde luego debe huir de toda tentación de convertirse en ningún momento en una empresa de ingeniería; es decir, que en países desarrollados no debe ocuparse de resolver directamente problemas concretos mediante tecnologías ya bien establecidas, por muy complejos que estos problemas puedan llegar a ser. Por el contrario, en su labor docente, sí puede ocuparse de formar y reciclar profesionales a fin de que conozcan esas tecnologías con profundidad y las apliquen después en las empresas. Los centros de investigación y tecnológicos deben dedicar sus esfuerzos a la investigación aplicada y al desarrollo. Las empresas por su parte deben ocuparse fundamentalmente de aplicar tecnología de forma rentable, recurriendo para ello a una ingeniería fuerte y eficaz, apoyada en unas sólidas actividades de desarrollo tecnológico e investigación aplicada.

La capacidad de nuestras Escuelas de Ingeniería para formar profesionales preparados para la investigación industrial, el desarrollo tecnológico y la ingeniería en todos sus niveles es muy elevada. Acertadamente, los sucesivos planes de estudios relacionados con ingeniería mecánica han tenido tradicionalmente un elevado contenido teórico y por tanto son idóneos como sólida base de futuras tareas de investigación y desarrollo y de ingeniería del máximo nivel. La experiencia demuestra que cuando los nuevos titulados, con una formación actualizada, aunque con escasa práctica como es lógico, se incorporan a equipos sólidamente constituidos que se preocupan también de su formación como postgraduados, alcanzan rápidamente cotas de alto rendimiento, pues son capaces de absorber muy rápidamente las “habilidades” del oficio.

Obviamente no se puede esperar que unos pocos de esos recién titulados, pese a su supuesta buena formación, sean capaces por sí solos de poner en marcha o de mantener una actividad industrial que no cuente ya previamente con una sólida estructura preexistente. Esto puede conducir a un dilema para las empresas de mediano y pequeño tamaño que deseen aumentar su capacidad tecnológica, pero que no cuentan con experiencia previa. Sin embargo existe una solución viable, consistente en apoyarse inicialmente en los centros de investigación y tecnológicos y en la universidad, para una vez alcanzada la “velocidad de despegue” continuar acrecentando, ya de forma más autónoma, su propia capacidad.

Las empresas deben tener el convencimiento de que la única vía posible para su supervivencia a largo plazo es la apuesta decidida por su capitalización tecnológica, lo cual exige disponer de ingenieros con muy buena formación y dedicar una parte de sus beneficios económicos a la investigación, al desarrollo tecnológico y a optimizar su organización interna y proyección internacional.

Áreas de conocimiento:

Desde un punto de vista puramente académico y afectando sólo a la organización de las universidades en España, en 1984 (*Decreto 1888 de 26/09/1984, BOE de 26/10/1984*) se crearon las que se denominaron como Áreas de Conocimiento (unas ciento sesenta en total), sustituyendo al anterior sistema de Cátedras, de forma que desde entonces cada profesor de las universidades públicas está adscrito a un área. Existe una institución denominada Consejo de Universidades que, entre otras cosas, se encarga periódicamente de revisar y actualizar en su caso las áreas existentes.

Las áreas no son completamente disjuntas, por lo que existen materias que están contempladas en varias a la vez, pero en lo que se refiere a las áreas de ingeniería que por su temática tienen una relación más directa con el núcleo de la formación en ingeniería mecánica, se pueden citar las siguientes junto con sus correspondientes materias más típicas en los planes de estudio:

- Ingeniería Mecánica:
 - o Mecánica aplicada
 - o Teoría de mecanismos
 - o Vibraciones
 - o Elementos de máquinas
 - o Diseño y cálculo de máquinas
 - o Vehículos (automóviles y ferrocarriles)
 - o Transportes

- Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de las Estructuras:
 - o Elasticidad y resistencia de materiales
 - o Teoría de estructuras
 - o Estructuras metálicas y de hormigón armado

- Ingeniería de los Procesos de Fabricación:
 - o Tecnologías de fabricación

- Mecánica de Fluidos:
 - o Mecánica de fluidos
 - o Máquinas hidráulicas y de fluidos

- Máquinas y Motores Térmicos:
 - o Termodinámica
 - o Termotecnia
 - o Motores térmicos

- Ingeniería de la Construcción:
 - o Construcción y arquitectura industrial

Se puede ver que hay un área cuyo nombre coincide con el de la profesión de ingeniería mecánica, pudiendo dar lugar a que se confunda la parte con el todo cuando sin embargo los contenidos de esa área se refieren sólo a algunas materias dentro del ámbito de la ingeniería mecánica

Existen otras áreas que comparten campos comunes y que tienen un alto interés para la formación en la ingeniería mecánica, como por ejemplo:

- Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica
- Expresión Gráfica en la Ingeniería
- Ingeniería e Infraestructura de los Transportes
- Proyectos de Ingeniería
- Ingeniería de Sistemas y Automática

Otras áreas, ya no tan directamente relacionadas desde un punto de vista de influencia en la formación de ingeniería mecánica, pero cuyos contenidos y enfoque comparten aspectos comunes con ésta serían:

- Ingeniería Textil y Papelera
- Construcciones Navales
- Ingeniería Aeroespacial
- Ingeniería Minera

La Ingeniería Mecánica como parte de la Ingeniería Industrial:

Se puede afirmar que, en promedio, el grado de formación de nuestros recién titulados a nivel de Escuelas Técnicas o Superiores de Ingeniería Industrial, ha sido hasta ahora superior a lo que aparentemente la industria nacional ha requerido en cada época. A simple vista esto puede parecer un error por ser un derroche de recursos, pero si se analiza esta cuestión en más profundidad se ve fácilmente que ha sido un acierto. En efecto, esta situación de desfase positivo entre la formación de nuestros titulados en ingeniería y el nivel de nuestras empresas se produce desde hace más de cien años, pero en este tiempo se ha conseguido pasar de ser un país con muy escaso desarrollo a uno de los más industrializados y desarrollados; este paso es objetivamente muy positivo, aunque hay que recordar que mayor grado de desarrollo no equivale necesariamente a mayor felicidad individual o colectiva.

Este innegable avance desde fines del siglo XIX ha sido debido fundamentalmente a la industrialización del país, a la cual han contribuido diversas instancias, pero su materialización ha sido realizada fundamentalmente por los ingenieros formados en nuestras Escuelas. Es esa buena formación y base teórica de los ingenieros la que ha actuado como tractora para hacer avanzar el nivel tecnológico de nuestra industria. Sin embargo actualmente existe el riesgo de que la formación de los nuevos ingenieros sea insuficiente en el nivel de Master en el ámbito de la Ingeniería Mecánica, pues se ha cambiado recientemente y de forma radical un esquema formativo que había demostrado ser exitoso, sin que existan razones objetivas, medibles, que justifiquen dicho cambio. Como resultado puede quedar un vacío formativo a nivel de Master que será necesario completar mediante otros medios (esto se analizará en mayor detalle en un apartado posterior).

A nivel del Grado, la Ingeniería Mecánica está adecuadamente contemplada en cuanto a existencia de planes de estudio específicos. En este caso el riesgo que existe es el de tender hacia una formación en la que se potencie en demasía la parte práctica y de habilidades en detrimento de la base teórica. Los argumentos que se utilizan a veces para justificar esta alternativa no están basados en datos medibles, sino en razonamientos poco o nada rigurosos como por ejemplo el que eso se hace así en algún otro país. La debilidad de esta argumentación es evidente, ya que existen países con un nivel de desarrollo superior al nuestro en los que las estructuras formativas de las ingenierías tienen todos los matices posibles; desde los que tienen un elevado contenido práctico y de manejo de técnicas instrumentales, hasta otros en los que la formación básica y teórica es superior a la nuestra, o los que tienen ambos enfoques en diferentes tipos de centros y carreras. Pese a la globalización de datos, noticias y productos cada país continúa teniendo su Historia, sus intereses, sus circunstancias geográficas y geopolíticas, sus costumbres, tradiciones y su mentalidad, por lo que no se puede extrapolar o imitar directamente cualquier cosa, ni

siquiera de los países con más éxito económico, sino sólo lo conveniente y eso es algo muy difícil de definir, de decidir y de realizar.

Por supuesto que deben hacerse cambios en los planes de estudio a fin de adaptar paulatinamente las enseñanzas a los avances de la tecnología y a las circunstancias de la industria, pero esos cambios deben de hacerse de forma pausada y bien meditada. Muy raramente puede darse la circunstancia de que un cambio de plan de estudios que no haya sido meticulosamente planificado diera lugar a un avance industrial o económico, que esto suceda es algo estadísticamente muy improbable; un cambio arbitrario (y uno dudosamente justificado lo es) es equivalente a una mutación, y como tal la probabilidad de que sus consecuencias sean negativas es extremadamente alta.

Por otra parte, la Ingeniería Mecánica como profesión tiene unas bases muy sólidas, ancladas firmemente en pilares como la geometría y el álgebra, el cálculo diferencial e integral, las leyes de Newton, la mecánica de medios continuos, la termodinámica y la mecánica de fluidos. Esos nombres y esas bases pueden sonar a alguien mal informado a antiguo o a pasado de moda, pero no son antiguas sino intemporales. Las modas igual que aparecen pasan, los hechos permanecen y la realidad se acaba siempre imponiendo a las modas pasajeras. Precisamente por tener esas bases tan sólidas, la Ingeniería Mecánica se adapta y aprovecha más fácilmente que otras los cambios tecnológicos que se producen en otras áreas del saber, ya que aprovechar las ventajas de esos cambios supone sólo redireccionar una pequeña parte del conocimiento existente y en su caso integrar en la forma de trabajo esa nueva tecnología, técnica o descubrimiento. Sin duda esos cambios, una vez se constata objetivamente que son beneficiosos, deben irse integrando paulatinamente en los planes de estudio para la formación de los nuevos ingenieros.

Un caso clásico es el de la aparición y extensión del computador y posteriormente de Internet, que han supuesto un cambio de gran entidad en la forma de trabajar y un enorme avance en las aplicaciones de la ingeniería mecánica. Se considera como algo evidente que un ingeniero mecánico hoy día debe poseer conocimientos de informática, utilizar Internet, programas de cálculo matemático, de elementos finitos y otras técnicas numéricas, pero todo ello es para poder resolver más eficazmente problemas de ingeniería que ya existían como tales antes de la aparición de los computadores. Por ejemplo, hoy día es impensable plantearse resolver un problema resistente o térmico en una pieza no trivialmente simple sin la ayuda del computador, pero ese problema existe independientemente de la herramienta utilizada para estudiarlo. Ciertamente con la ayuda del computador es posible obtener soluciones con mucha mayor precisión y velocidad, e incluso abordar problemas en la fase de diseño que anteriormente sólo podían contemplarse en la fase de ensayos de prototipos, por lo que es posible diseñar máquinas más rentables, eficaces y con mejores prestaciones.

El computador y los avances en electrónica han influido fuertemente en todas las áreas de la ingeniería mecánica: diseño, análisis, fabricación, experimentación, pero no han afectado básicamente a la naturaleza de los problemas existentes ni a los principios físicos que los rigen. Sin embargo no es necesario siempre tratar de adaptarse precipitadamente a cualquier cambio, pues ha habido otros avances recientes del conocimiento que han tenido escasa repercusión hasta hoy en la ingeniería mecánica, como por ejemplo sucede con la genética y otros ya no tan recientes como la teoría de la relatividad o la física cuántica, que habiendo aparecido en la primera mitad del siglo XX sin embargo no han tenido apenas influencia directa hasta ahora. Por supuesto han influido indirectamente a través de la microelectrónica y, en menor medida, de los sistemas de comunicación y posicionamiento global y puede que

su influencia aumente en un futuro cercano si se extienden las aplicaciones de nanotecnología y nuevos materiales como los nano-tubos de carbono o el grafeno por ejemplo.

Actualmente las denominaciones de títulos que llevan el prefijo “Ingeniería” son atractivas para muchos alumnos, por lo que existe el riesgo de que se utilice de forma impropia en algunas titulaciones que no lo son como reclamo para captación de alumnos, o de que centros cuyo profesorado no tiene el necesario perfil ingenieril accedan a impartir títulos de ingeniería para los cuales no están capacitados. Ciertamente la necesidad y oportunidad de algunas otras ingenierías es más dependiente de la circunstancia tecnológica, sus bases cambian con mayor rapidez y por ello la necesidad de revisar sus principios formativos y planes de estudio. Sin embargo no todos los casos son iguales, la enseñanza en Ingeniería Mecánica tiene unas características específicas que es necesario entender y respetar para no cometer errores que pudieran ocasionar graves consecuencias económicas. Apostar por cambiar radicalmente la forma de enseñanza y los planes de estudio de Ingeniería Mecánica es crear un problema inexistente para el que cualquier solución será defectuosa.

Situación actual de los estudios de Grado, Master y Doctorado:

La Ingeniería como profesión regulada en España ha tenido tradicionalmente dos niveles, el de las Ingenierías Técnicas, que se impartían en las Escuelas Universitarias, y el de las Ingenierías Superiores, que se impartían en las Escuelas Técnicas Superiores. Los estudios de ingeniería técnica han venido siendo de tres o de cuatro años y los de ingeniería superior de cinco o de seis años según las épocas. Posteriormente se podían realizar los cursos de doctorado, uno o dos años, que tras la presentación de una Tesis Doctoral dan lugar a la obtención del título de Doctor en Ingeniería. El mínimo teórico de años de estudio para alcanzar el máximo nivel en ingeniería, el título de Doctor, se puede estimar de ocho a diez, que corresponden a los cinco o seis de Ingeniería Superior más tres o cuatro de Doctorado y Tesis Doctoral.

En la actualidad se ha producido un cambio de los planes de estudios que afecta sobre todo a las denominaciones más que a los contenidos, de forma que en ingenierías existen hoy día unos estudios de Grado con cuatro cursos de duración y unos de Master que oscilan entre uno y dos cursos dependiendo de las universidades. Las titulaciones de grado son en la práctica equivalentes a las anteriores de Ingeniería Técnica y, completadas con las de Master, a las de Ingeniería Superior.

En el nuestro como en la mayoría de países de la Unión Europea se ha optado básicamente por un esquema formativo muy similar al concepto existente en los países de origen cultural inglés; los estudios de grado de las ingenierías corresponden a lo que se entiende habitualmente por un *BE* (Bachelor Engineering) o un *BSc* (Bachelor of Science); teniendo en cuenta el nivel de los estudios en nuestras Escuelas y las atribuciones profesionales que van asociadas a los grados de ingeniería, la equivalencia con un *BSc* parece razonable. Los estudios de Master corresponden aproximadamente a un *ME* (Master of Engineering), a un *MSE* (Master of Science in Engineering) o a un *MSc* (Master of Science –Technology-) dependiendo de que el título de acceso a Doctorado o no. En general la denominación *MSc* puede ser adecuada ya que las condiciones de acceso a Doctorado son diferentes en cada universidad e incluso en cada departamento, programa o Escuela de Doctorado, por otra parte están las atribuciones profesionales a que da acceso el Master que exigen un alto nivel

teórico de los estudios. El grado de doctor en ingeniería en España puede equipararse sin duda a lo que se conoce como *PhD* (Doctor of Philosophy).

En el caso que nos ocupa, la Ingeniería Mecánica como titulación y profesión en España ha formado hasta ahora parte de la Ingeniería Industrial. En líneas generales se puede afirmar que las denominaciones de las titulaciones más tradicionales en ingeniería provienen de una época en las que estos estudios no dependían de una universidad sino de un Ministerio. Así, los estudios de Ingeniería Industrial (Ingeniería Técnica Industrial e Ingeniería Superior Industrial) correspondían a lo que el Ministerio de Industria requería.

La Ingeniería Industrial incluye por tanto varias ramas, que se contemplaban generalmente como especialidades o intensificaciones, siendo las más constantes a lo largo del tiempo las de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Química y Organización de Empresas. Actualmente, los grados derivados de la Ingeniería Técnica Industrial están regulados (*Resolución 15/01/2009* de *BOE 29/01/2009* “*profesiones reguladas de Ingeniero Técnico*” y *Orden CIN351/2009* de *BOE 20/02/2009* “*profesión de Ingeniero Técnico Industrial*”) de tal forma que, muy acertadamente, la denominación de la titulación de cuatro cursos que aquí se describe es en la mayoría de las universidades “Grado en Ingeniería Mecánica”, que se puede hacer corresponder directamente con un *BSc in Mechanical Engineering*.

Así pues los estudios de grado, por estar reglamentados debido a que tienen vinculadas atribuciones profesionales reguladas, tienen una razonable homogeneidad de contenidos en las diferentes universidades. Los contenidos del Grado en Ingeniería Mecánica se recogen en asignaturas que se imparten generalmente a lo largo de cuatro cursos y proporcionan una sólida base en matemáticas y en física, informática, dibujo técnico, mecánica, materiales, electricidad y electrónica, automática y control, mecánica de fluidos, tecnologías de fabricación, termodinámica, resistencia de materiales, teoría de mecanismos, vibraciones, estructuras, motores, elementos de máquinas, diseño mecánico, proyectos y aspectos económicos y de organización de empresas. Estar en posesión de este grado permite además la colegiación en un Colegio Oficial y la firma de proyectos, siempre dentro de los límites de las atribuciones profesionales legalmente establecidas y reguladas para el Grado de Ingeniería Mecánica en este caso. En un apartado posterior se presenta un análisis más detallado de los planes de estudio de grado actuales.

Sin embargo, los planes de estudio del Master en Ingeniería Industrial son considerablemente diferentes en cada universidad, aunque todos ellos deben cumplir la normativa exigida para tener las atribuciones profesionales correspondientes y ser reconocida como una “profesión regulada de ingeniería” (*Resolución 15/01/2009* de *BOE 29/01/2009* “*profesiones reguladas de Ingeniero*” y *Orden CIN311/2009* de *BOE 18/02/2009* “*profesión de Ingeniero Industrial*”), pero esa normativa no exige que existan especialidades o intensificaciones y sólo fija un mínimo de un año de duración. En unas universidades existen intensificaciones y en otras no y en cuanto a los nombres y contenidos de las mismas, caso de existir, existe una considerable falta de homogeneidad; por otra parte la duración del Master es de un curso, uno y medio o dos.

Esta situación es contradictoria, ya que supuestamente una de las razones fundamentales para justificar el cambio de los planes de estudio era la de facilitar el reconocimiento (que no la homologación profesional) de titulaciones entre los diferentes países europeos. En este sentido el nombre de “Master en Ingeniería Industrial” es directamente intraducible a otros

idiomas a menos que vaya acompañado de una larga serie de explicaciones y aclaraciones. La traducción directa como *MSc in Industrial Engineering* es incorrecta, pues con ese nombre se entiende internacionalmente lo que en España es un Master en Ingeniería de Organización Industrial. Queda pendiente pues cómo establecer una correspondencia de ese título con otros a nivel internacional, así como del Grado en Tecnologías Industriales que existe en numerosas universidades, también derivado de la Ingeniería Industrial Superior; pero esto es algo que cae fuera del ámbito de lo que así se trata.

Es importante observar sin embargo que, a mediados del año 2011, no existe aún ninguna regulación ni propuesta con amplio reconocimiento sobre la titulación de Master en Ingeniería Mecánica, que corresponde a lo que internacionalmente se conoce como *Master in Mechanical Engineering*. Sí existen actualmente diversos cursos Master muy relacionados con la Ingeniería Mecánica en varias universidades, pero son heterogéneos en contenidos y orientación y están enfocados en general como Master de Investigación, cuya finalidad fundamental es la preparación para la Tesis Doctoral y cuya principal vía de acceso es a través de la Ingeniería Industrial Superior u otras afines.

Hasta fechas recientes la Ingeniería Mecánica de nivel avanzado se suponía cubierta por especialidades o intensificaciones de la Ingeniería Industrial Superior, pero la situación ha cambiado a partir de la reciente creación e implantación de los títulos de Grado y Master según las normativas antes comentadas (*Resolución 15/01/2009 de BOE 29/01/2009 “profesiones reguladas de Ingeniero Técnico”, Orden CIN351/2009 de BOE 20/02/2009 “profesión de Ingeniero Técnico Industrial”, Resolución 15/01/2009 de BOE 29/01/2009 “profesiones reguladas de Ingeniero” y Orden CIN311/2009 de BOE 18/02/2009 “profesión de Ingeniero Industrial”*).

Ideas sobre estudios de Master en Ingeniería Mecánica:

Se puede demostrar que la evolución que han seguido los planes oficiales de estudio de Ingeniería Industrial Superior en lo que llevamos de siglo ha ido en dirección contraria de la evolución de la tecnología y de la industria. Por ejemplo, los planes de estudio de la Ingeniería Industrial Superior existentes hasta fines del siglo XX contemplaban obligatoriamente una Especialidad de Ingeniería Mecánica, entre otras, de dos o tres cursos completos de duración. Sin embargo, en los planes siguientes las especialidades desaparecieron oficialmente como tales y fueron reemplazadas en ocasiones por intensificaciones en una parte del último año de carrera. Se da pues la contradicción de que los ingenieros industriales superiores que estudiaron durante el último cuarto del siglo XX tienen una formación más especializada que los de principios del siglo XXI. La situación para el futuro cercano es aún peor, ya que hay planes de estudio de Master en Ingeniería Industrial que no contienen ninguna intensificación.

En contradicción con esa tendencia a la desaparición de especialidades, la tecnología es cada día más compleja por lo que la industria necesita precisamente de ingenieros especializados con alto nivel de formación. Un ingeniero generalista como el actual de Ingeniería Industrial tiene también su lugar en la industria, pero no puede suplir las necesidades de ingenieros que dominen tecnologías específicas. Ciertamente, habrá graduados en Ingeniería Mecánica que realicen el Master de Ingeniería Industrial, pero su incremento de conocimientos en temas de Ingeniería Mecánica va a ser muy escaso, por lo que la industria se va a encontrar en la

situación de que no dispone de ingenieros mecánicos con formación especializada en mecánica y de nivel Master.

Es un hecho que la industria requiere de más ingenieros con nivel de Grado que de Master, como sucede en todos los países desarrollados, pero ambos niveles son imprescindibles. Se puede pensar en suplir esa carencia de los planes de estudio facilitando la realización de cursos Master en el extranjero mediante programas de becas y ayudas, o contratando ingenieros de otros países; ambas soluciones son inaceptables para mantener y aumentar la actividad industrial de un país desarrollado.

Tal y como se ha expuesto anteriormente, de acuerdo con la legislación actual las atribuciones profesionales reguladas de la Ingeniería Técnica Industrial de especialidad Mecánica (en la *Orden CIN311/2009* de *BOE 18/02/2009* corresponde al “*Módulo de Tecnología Específica Mecánica*”) se encuentran claramente vinculadas al Grado en Ingeniería Mecánica. Sin embargo, todas las atribuciones profesionales de la Ingeniería Industrial (anteriormente denominada como Ingeniería Industrial Superior) están asociadas al Master en Ingeniería Industrial. Así pues, cualquiera que esté en posesión de ese título generalista, que no requiere estudios especializados, posee legalmente también las atribuciones profesionales reguladas de la Ingeniería Mecánica, al igual que de la Química, la Eléctrica y otras más. Ese título entre otras cosas permite pertenecer a Colegios Oficiales de Ingeniería Industrial y la presentación de proyectos de cualquier área de la Ingeniería Industrial para ser visados en dichos Colegios, pero desde luego no es un ingeniero con nivel Master en Ingeniería Mecánica, ni por contenidos de sus estudios ni por concepto.

La formación generalista que se imparte en el Master de Ingeniería Industrial, así como estar en posesión de un título que conlleva atribuciones profesionales reguladas es sin duda también interesante para la industria. Sin embargo, la creciente complejidad de las tecnologías y de la realidad industrial hace que no se pueda prescindir de ingenieros con nivel de Master y con formación específica en ingeniería mecánica. Se puede pensar en incluir intensificaciones dentro del Master de Ingeniería Industrial relacionadas con la ingeniería mecánica, como ya se ha propuesto en algunas universidades, pero aun cuando ello pueda ser útil no es más que una solución parcial. Queda en manos de cada universidad dar solución a este problema mediante la definición e implantación de títulos de Master en Ingeniería Mecánica. Por ello se hace necesario describir cuáles son los contenidos fundamentales y el nivel que deben tener estos estudios de Master, algo no muy difícil de hacer ya que sus líneas generales están bien claras en todo el mundo y además aquí se tiene el precedente exitoso de la Especialidad de Ingeniería Mecánica en los antiguos planes de estudio de la Ingeniería Industrial Superior.

Por otra parte, es muy aconsejable que un Master como éste se imparta en centros en los que se imparte también el Master de Ingeniería Industrial, ya que comparten un mismo origen y numerosas competencias y asignaturas comunes, así como el profesorado con formación y experiencia más idóneas. No se debe olvidar que los contenidos que se requieren en la *Orden CIN311/2009* de *BOE 18/02/2009* “*profesión de Ingeniero Industrial*” recogen una elevada proporción de aspectos mecánicos, que aunque no permiten una especialización en esta rama de la ingeniería sin embargo sí son claramente aprovechables.

En cualquier caso, e independientemente de lo que la normativa permita, los estudios de Master no se pueden desvincular de los de Grado en este caso. El Master de Ingeniería Mecánica es una continuación formativa del Grado en Ingeniería Mecánica y por tanto las

materias que en él se impartan deben partir de esa premisa. Existen otras ingenierías muy afines al Grado en Ingeniería Mecánica, como las citadas al comienzo de este escrito además del nuevo Grado en Tecnologías Industriales, cuyos titulados pueden tener también una formación suficiente como para poder acceder y cursar un Master en Ingeniería Mecánica, pero en cualquier caso siempre y cuando sus estudios de grado hayan cubierto suficientemente la mayor parte de los conocimientos que se contienen en las “*competencias de formación básica, comunes a la rama industrial y de tecnología específica: mecánica*” según se describen en la *Orden CIN351/2009 de BOE 20/02/2009 “profesión de Ingeniero Técnico Industrial”*.

Los conocimientos mínimos que se deben haber cursado finalmente a lo largo del Grado y Master en Ingeniería Mecánica se recogen en “materias básicas” como: álgebra, cálculo diferencial e integral, análisis numérico, estadística, dibujo técnico, mecánica aplicada, tecnología de materiales, informática, electricidad, electrónica, control, elasticidad, termodinámica, mecánica de fluidos. En “materias aplicadas” como: teoría de mecanismos, vibraciones, resistencia de materiales, elementos de máquinas, teoría de estructuras, construcciones e instalaciones industriales, ingeniería térmica, máquinas fluidomecánicas, tecnologías de fabricación, electrotecnia, motores térmicos, diseño de máquinas, transportes, vehículos. Otras se pueden denominar como “materias generales”: economía, organización de empresas, proyectos de ingeniería y finalmente un “trabajo fin de Master personal original” en forma de un proyecto, o un trabajo de desarrollo o investigación, desarrollado en la propia universidad como alumno interno de un departamento o en régimen de cooperación educativa en una empresa. Suponiendo que se ha cursado previamente un Grado de 240 créditos. Los estudios necesarios para un Master de estas características se pueden estimar entre unos 90 y 120 créditos, incluyendo el trabajo fin de Master, con una duración de uno y medio a dos cursos.

Lo que se ha comentado aquí son ideas muy generales sobre un Master de Ingeniería Mecánica, de tipo académico, pensado para formar profesionales de alto nivel tecnológico para la industria en general, aunque también se pueden buscar formas para que sirva como vía de inicio a una formación investigadora que prepare para una futura Tesis Doctoral para quienes estén interesados en proseguir su formación y completarla con un doctorado. Por supuesto, la capacidad de estudios de postgrado en el ámbito de la ingeniería mecánica no se agota con este tipo de Master, sino que existen otros planteamientos de interés para estudios de Master de tipo más específicos, como por ejemplo en robótica, métodos computacionales, mecatrónica, fabricación, automóviles, materiales, turbinas, etc. Diversos cursos Master de este tipo existen ya en las universidades españolas desde hace algunos años, su duración viene a ser de unos 60 créditos y parte de las materias que incluyen son también compatibles con los contenidos de un Master en Ingeniería Mecánica.

Hay que hacer constar que la Ingeniería Industrial, y parcialmente la especialidad de Mecánica en el caso de la Ingeniería Técnica, han tenido también tradicionalmente las atribuciones profesionales requeridas para el diseño y construcción de edificios e instalaciones industriales. Actualmente esas atribuciones reguladas siguen vinculadas a la Ingeniería Industrial en su conjunto y por ello en la parte que corresponde a la Ingeniería Técnica, siguen estando asociadas al grado de Ingeniería Mecánica. Las atribuciones plenas de este tipo de trabajos siguen correspondiendo al Master en Ingeniería Industrial, por lo que posiblemente no es necesario contemplar los temas de construcciones industriales dentro de un Master de Ingeniería Mecánica distinto del Industrial. No se trata en absoluto de diseñar

un Master que pretenda arrebatar competencias profesionales ya existentes en otras titulaciones, sino dar respuesta a necesidades objetivas que no están actualmente cubiertas.

El doctorado en Ingeniería Mecánica:

El título de doctor se obtiene una vez se está en posesión de un título de Master con acceso a doctorado (Master de investigación), o de un Master académico al que se añaden unas materias a cursar dentro de lo que se denomina como “Programa de Doctorado”, y la posterior presentación de una Tesis Doctoral, que es la materialización de un trabajo de investigación original, valorado por unos examinadores especialistas y contrastado y reconocido internacionalmente mediante la publicación en revistas internacionales de prestigio. El título de Doctor es el máximo nivel de titulación existente y la culminación de la formación reglada, dando capacidades para abordar temas de investigación. Estar en posesión del título de doctor es imprescindible para la carrera de profesor en la universidad y muy conveniente para la de investigador en un centro de investigación, por ello la mayor parte de quienes hacen la Tesis Doctoral son profesionales que trabajan en este tipo de instituciones. Sin embargo esta situación está cambiando poco a poco pero de forma apreciable, ya que cada vez son más los profesionales de la industria que quieren acceder al doctorado, o también otros que no se plantean el acceso al mercado laboral hasta haber obtenido el título de doctor.

Es un hecho que las empresas con más alto nivel tecnológico valoran cada día más el título de doctor. Las razones para ello son diversas, por una parte la tecnología cada vez es más compleja y requiere de profesionales con el máximo nivel de formación, por otra parte se sabe que la realización de una Tesis Doctoral es un proceso que requiere mucho esfuerzo, ingenio, constancia, tenacidad y rigor en el planteamiento; cualidades que se aprenden o acrecientan en el doctorado y que son muy interesantes para determinados puestos en las empresas. Por otra parte también está el que el título de doctor es muy valorado internacionalmente, sobre todo en países del ámbito germánico: Alemania, Austria y otros y esta tendencia se va extendiendo a otros países desarrollados. Los profesionales de las empresas se relacionan con los de otros países, tanto para colaborar en alianzas como para competir por contratos internacionales; en estos casos, estar en posesión de ese título es algo que da un estatus profesional de alto nivel, una buena imagen de la empresa y supone una ventaja en negociaciones, concursos, etc. Un buen ejemplo de esto son los grandes proyectos de I+D internacionales, como los de los Programas Marco de la UE. Al contrario, el no disponer de doctores puede ser un inconveniente para una empresa que quiera competir en régimen de igualdad con otras que sí disponen de ellos, ya que disponer o no de doctores en la plantilla es un indicador de su nivel tecnológico.

En los países con más tradición en este tema y que más valoran el doctorado, son numerosas las Tesis Doctorales que se realizan en el ámbito de un proyecto de investigación de colaboración entre una universidad y una empresa. Normalmente los estudiantes de doctorado que colaboran en este tema, una vez obtenido su título de doctor, son contratados por la misma empresa. Esto supone un doble beneficio, ya que por una parte ésta obtiene los resultados de la investigación, pero además incorpora personal con un nivel de formación muy alto y especializado en los temas específicos que le interesan a la empresa. Esto es todavía poco frecuente en España pues, como se ha comentado anteriormente, las empresas aún invierten poco en investigación, pero es una tendencia que ya existe y que muy

probablemente se irá acrecentando en el futuro, ya que ha demostrado dar muy buenos resultados y ser una inversión rentable.

La ingeniería mecánica, por su amplitud, interés para la industria y la complejidad de muchos de sus temas, es un campo en el que se desarrolla una muy activa investigación, pública y privada, en todo el mundo, dando lugar a un número muy elevado de Tesis Doctorales. Por citar algunos de los temas más tratados en la actualidad, están los métodos de simulación mediante computador; avances en CAD, elementos finitos, CAE, CFD y otras técnicas numéricas; métodos de análisis y síntesis de mecanismos y sistemas multi-cuerpo en general, incluyendo robótica; dinámica estructural teórica y experimental, vibraciones y ruido en máquinas; métodos teóricos y experimentales de análisis de fatiga y fractura; métodos de análisis para materiales especiales, por ejemplo composites; biomecánica; tribología: modelización de rozamiento y desgaste; dinámica de fluidos compresibles e incompresibles en régimen turbulento; técnicas de tratamiento de problemas acoplados mecánicos, térmicos y fluidos; mecatrónica; técnicas de diseño y fabricación para nanotecnología; mecanizado de materiales avanzados; técnicas no convencionales de fabricación, como por ejemplo aplicaciones del láser, electroerosión, y otras; modelización numérica de procesos de fabricación; técnicas de implantación de sistemas productivos y plantas industriales; etc.

El nivel tecnológico y la cantidad de publicaciones en revistas internacionales de los temas de la ingeniería mecánica es actualmente ya muy elevado y crece de forma muy acusada. Que este aumento del número de publicaciones sea algo que esté directamente relacionado con la utilidad de las investigaciones que se realizan es algo más que discutible, pero el hecho constatable es que el número crece continuamente.

LA PROFESIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA

En este apartado se van a recoger las principales tareas a que se dedican típicamente los ingenieros mecánicos en su vida profesional y laboral. Por supuesto existen otras muchas que no se citan aquí, pero éstas son un resumen de aquellas para las que la formación de ingeniería mecánica es idónea. También hay que señalar que estas tareas no son necesariamente exclusivas de los ingenieros mecánicos, sino que en muchas ocasiones trabajan en grupos multidisciplinares con otros ingenieros y otros tipos de titulados y profesionales.

Especificaciones técnicas:

Supóngase una empresa que diseña, fabrica, distribuye y mantiene sus propios productos y que desea poner en el mercado uno nuevo en una línea de su área comercial. Detectada una necesidad a cubrir mediante ese nuevo producto, y si los criterios de rentabilidad lo hacen viable, se definen las principales características generales que se van a exigir al nuevo producto, incluyendo consideraciones técnicas y económicas. En esta fase inicial se realiza una revisión del estado de la técnica disponible, tanto en la propia empresa como en el mercado. Para ello se recoge información de productos análogos anteriormente desarrollados y fabricados por la propia empresa o por otras y se realiza una búsqueda de información en el ámbito bibliográfico. Se define entonces de forma algo más concreta el

producto y se recoge esta definición en forma de una serie de especificaciones técnicas generales, en base a las cuales se comienza el proceso de desarrollo propiamente dicho.

Una vez decididas las líneas generales que definen el producto o sistema en su conjunto, se realiza la división del sistema en subsistemas, que son partes funcionales formadas por distintos componentes; esos subsistemas pueden ser de tipo electrónico, eléctrico, mecánico o de otra clase. La tarea de diseñar esos subsistemas se reparte entre distintos grupos o departamentos de ingeniería de la empresa, o se subcontrata a otras. Se puede hablar pues de desarrollo distribuido en el cual la comunicación, coordinación y el flujo de información en entre los diferentes grupos que se encuentran desarrollando los distintos subsistemas tienen una importancia trascendental.

Normalmente en estas tareas, además de ingenieros con una larga experiencia, colaboran otros profesionales de una amplia variedad ya que por tratarse de decisiones que a veces son estratégicas para la empresa involucran aspectos de economía, finanzas, mercados, recursos humanos, marketing y otras.

Diseño mecánico:

Es una tarea clásica de la ingeniería mecánica, consistente en idear un componente, conjunto, máquina o estructura en base a las especificaciones técnicas requeridas, utilizando para ello criterios generalmente cualitativos y subjetivos, basados en la experiencia propia y de la empresa. Los cálculos en esta fase, en caso de haberlos, como por ejemplo cinemáticos y dinámicos, resistentes, térmicos, etc., suelen ser relativamente simples y meramente orientativos, sin descender a nivel de detalle. La herramienta de trabajo habitual es un programa de diseño auxiliado por computador, CAD (*Computer Aided Design*), con unas capacidades de simulación y análisis limitados. En las tareas de diseño, aparte de la experiencia propia y de la empresa el ingeniero utiliza sobre todo sus conocimientos adquiridos al haber cursado materias como dibujo técnico, geometría, mecánica aplicada, elementos de máquinas, elementos constructivos, tecnologías de fabricación, normativas diversas y proyectos de ingeniería.

Por lo que se refiere a la formación habitual de los ingenieros que se dedican a estos temas en las empresas, suelen ser de nivel Grado y Master. En esta fase es importante hacer ya previsiones del proceso de fabricación y montaje que se utilizará posteriormente para fabricar los componentes y la máquina o estructura, transporte del producto desde la fábrica al cliente, así como sobre su montaje y desmontaje, accesibilidad para mantenimiento y otros aspectos similares.

Análisis:

Una vez que un componente, conjunto, máquina o estructura ha sido diseñado, las técnicas de análisis tratan de simular el comportamiento mecánico que tendrá en condiciones de servicio. Dependiendo de la importancia del producto que se esté desarrollando, los análisis serán más o menos profundos, pues téngase en cuenta que los costes de diseño y análisis deberán ser incluidos en el precio final del producto por lo que es importante tratar de maximizar el cociente de la precisión de los resultados frente al coste de su obtención. El ciclo de diseño es habitualmente iterativo, prueba-error: se hace un diseño inicial, se analiza,

en base a los resultados del análisis se modifica el diseño y así sucesivamente hasta que los resultados de la simulación satisfacen las condiciones que las especificaciones técnicas requieren. El número de ciclos o iteraciones puede ser muy elevado, por lo que es importante aquilatar los costes de los análisis.

Hoy día, en la fase de análisis se utiliza profusamente el computador, con programas basados fundamentalmente en técnicas de elementos finitos, FEA (*Finite Element Analysis*) y otras análogas, de análisis de mecanismos y sistemas multi-cuerpo, de dinámica de fluidos computacional, CFD (*Computational Fluid Dynamics*), y otros. Estos programas deben ser compatibles entre sí y con el programa de CAD que se utilice en la empresa a fin de optimizar el ciclo de diseño y análisis y reducir cuanto sea posible el esfuerzo de preparación de los modelos computacionales a analizar. A veces los sistemas de CAD y de análisis están integrados en uno único, denominándose entonces como programas de CAE (*Computer Aided Engineering*).

En esta fase de análisis, el ingeniero utiliza sus conocimientos especializados sobre cinemática y dinámica, elasticidad y resistencia de materiales, termodinámica, mecánica de fluidos, fatiga, métodos de análisis computacional, teoría de estructuras, así como conocimientos específicos sobre el tipo de máquina o estructura con la que trabaja y las correspondientes normas de cálculo y protocolo de la empresa en su caso. Cuando posteriormente se construyan prototipos, caso de ser necesario, los resultados de los ensayos de estos se pueden aprovechar al menos en parte para realimentar los datos de análisis con valores más precisos que los inicialmente estimados.

Es evidente que las tareas de diseño y análisis están muy estrechamente vinculadas, es por ello que dependiendo de la estructura organizativa de cada empresa, los departamentos o secciones de diseño y de análisis es frecuente sean conjuntos; normalmente estas actividades están juntas en las empresas de tamaño mediano y separadas en las más grandes. Los estudios idóneos para estas tareas son los de Master, y cada día más los de doctorado, aunque también aquí participan ingenieros de grado. A su vez las tareas de análisis en empresas con un nivel tecnológico elevado son a veces cercanas a lo que se conoce como Investigación y Desarrollo Tecnológico, I+DT, por lo que diseño, análisis e I+DT forman parte de la misma unidad de trabajo a efectos organizativos y de tareas de los ingenieros en numerosas empresas.

Ensayo de prototipos:

Los ensayos son imprescindibles en numerosas ocasiones en ingeniería, pero los hay de muy diversos tipo y no todos ellos corresponden estrictamente al ámbito de la ingeniería mecánica. Por ejemplo, para realizar un análisis es necesario siempre conocer las propiedades mecánicas, térmicas y de otro tipo de los materiales elegidos en la fase de diseño. Esas propiedades pueden requerir complejos y largos ensayos de caracterización sobre probetas, tarea que no siendo ajena o desconocida para ingenieros con formación mecánica sin embargo es más propia de una especialización en ingeniería de materiales. Pero dejando a un lado estos ensayos de laboratorio sobre probetas, a lo que en esta sección se hace referencia es a los ensayos de prototipos, generalmente a escala real y en menos casos a escala reducida.

Debe tenerse en cuenta que, a pesar de los grandes avances que ha habido en las técnicas de análisis desde la aparición del computador, sin embargo la realidad de un fenómeno mecánico, térmico o de fluidos no se puede reproducir exactamente en el computador. Existen siempre hipótesis simplificadoras en las teorías en que se basan las técnicas de análisis, aparte de que no todos los fenómenos naturales se saben modelizar de forma suficientemente precisa y de que otros tienen una elevada dispersión estadística debido a su propia naturaleza (fatiga, desgaste, corrosión, entre otros), por lo cual los resultados de los análisis contienen un cierto error, sobre todo en el caso de fenómenos de tipo dinámico ya que aquellos que son independientes del tiempo suelen ser más sencillos de tratar. La forma de asegurarse de que un diseño va a funcionar correctamente pasa por construir y ensayar prototipos, observando y midiendo su comportamiento a lo largo de un tiempo suficientemente largo. Los prototipos pueden ser de componentes aislados, de conjuntos o del producto completo. En caso de que se observen diferencias importantes entre los resultados de los análisis y el comportamiento de los prototipos, será preciso modificar nuevamente el diseño, volver a pasarlo por la fase de análisis, construir nuevos prototipos o modificar los existentes y volver a ensayar.

Este ciclo se superpone pues al de diseño-análisis anteriormente comentado. En el caso de productos especialmente complejos, como motores y vehículos automóviles y de ferrocarriles, en motores aeronáuticos, estructuras de aeronaves y otros, los ensayos de prototipos se realizan en primer lugar en laboratorio, simulando mediante actuadores y otros dispositivos las condiciones que tendrá el producto en servicio; una vez que el comportamiento en laboratorio ha sido satisfactorio, se ensayan prototipos en condiciones de servicio reales antes de fabricar el producto en serie y ponerlo a la venta. Se adivina fácilmente que la fase de ensayos de prototipos es costosa y larga y su influencia en el precio final del producto es muy importante. Cuanto mejores hayan sido los resultados de las fases previas de diseño y análisis, tanto menor será el esfuerzo que habrá que invertir en la de prototipos, reduciendo con ello costes y acortando el ciclo de desarrollo del producto.

Existen muchos tipos de ensayos y medidas a realizar: funcionamiento general, vibraciones, ruido, desgaste, fatiga, térmicos, fluidos, etc. las técnicas de ensayo son muy dependientes de tecnologías de instrumentación ya que se utilizan sensores, actuadores, electrónica y control mediante computador por lo que en esas tareas intervienen también profesionales de otras ramas de ingeniería.

A estas tareas se dedican generalmente ingenieros tanto de grado como Master, y los conocimientos del funcionamiento de máquinas, así como también de electrónica e instrumentación son muy importantes, junto con cuestiones de fabricación a fin de que las modificaciones que se propongan sean viables desde el punto de vista constructivo. También es importante señalar que muchos de los resultados y datos que se obtengan en el ensayo de prototipos pueden ser utilizados para “realimentar” y actualizar los modelos utilizados en la fase de análisis.

Fabricación:

Las tareas de fabricación se encuentran íntimamente ligadas a las de diseño mecánico. Desde la fase de diseño el ingeniero debe considerar que cada proceso de fabricación impone restricciones que pueden ser geométricas: incluyendo libertad de forma, precisión, tolerancias y otras, así como resistentes (relacionadas con la aparición de cambios locales

en el material que afecten a sus propiedades mecánicas). Los modelos numéricos de los procesos de fabricación, implementados en programas de computador, son fundamentales en esta etapa, puesto que permiten reducir el número de ensayos y prototipos específicamente desarrollados para puesta a punto del proceso de fabricación. Una vez que se ha elegido el proceso o combinación de procesos más adecuado para la fabricación del componente (teniendo presentes los aspectos de una producción económica, de calidad y adaptada a la normativa medioambiental), el ingeniero se enfrenta a los aspectos mecánicos relacionados con la interacción proceso-herramienta-máquina, o de modo más general, proceso-medios de fabricación.

En esta fase se incluye el tratamiento de problemas de tribología como por ejemplo, desgaste de herramientas, interacción chapa-troquel etc.; térmicos, como transmisión de calor en procesos de fundición y forja, variaciones dimensionales en componentes de las máquinas por efecto del calor generado en el proceso; dinámicos: generación y transmisión de vibraciones en estructuras de máquinas y en piezas de baja rigidez, etc.

El ingeniero de fabricación, grado o Master, trabaja en grupos multidisciplinares en los que confluyen expertos en software, técnicas de automatización, materiales y gestión de la producción, entre otros. Por último, al ingeniero de fabricación también se le exige una continua labor de actualización de conocimientos y de vigilancia tecnológica, dada la fuerte competencia entre los diferentes procesos que puede desplazar en poco tiempo la solución que era óptima para un determinado componente hacia otras tecnologías anteriormente descartadas. Debe también mantener una estrecha relación y compartir una formación común con los ingenieros de diseño, ya que en la puesta a punto de un proceso de fabricación pueden aparecer propuestas de cambios de diseño que mejorarían dicho proceso, estos cambios no deben introducirse sin más, sino que deben ser estudiados y analizados e incluso a veces su efecto comprobado experimentalmente nuevamente sobre prototipos.

Seguimiento del comportamiento en servicio:

Una vez que los productos están siendo ya utilizados por los clientes, la información de su comportamiento en servicio es muy importante para corregir problemas imprevistos que hayan podido aparecer así como para la mejora de las futuras series de ese producto. Normalmente, y atendiendo a aspectos de tipo económico, se establecen un niveles de fiabilidad del producto en el tiempo de modo que si se observan discrepancias importantes entre lo establecido y lo registrado se estudian las causas a fin de ajustar mejor la fiabilidad en servicio a la buscada. La recogida de información se realiza por ejemplo a través del departamento o grupo de mantenimiento de productos y analizando estadísticamente las peticiones de piezas de repuesto que se piden a la empresa.

En esta fase son importantes los conocimientos de matemáticas en general y de estadística en particular, a fin de poder aprovechar de forma óptima los datos que se van recogiendo. Una tarea típica de un ingeniero mecánico en esta fase es también la de diagnóstico; es decir, que la el estudio detallado de los fallos, por ejemplo de piezas rotas en servicio, es imprescindible para modificar el diseño o el proceso de fabricación para solucionarlos. Esta es una tarea que suele tener una considerable dificultad ya que en numerosas ocasiones las causas de fallo de piezas son múltiples y se combinan entre sí de forma variable a lo largo del tiempo (por ejemplo una pieza que vibra en exceso y como consecuencia se produce un desgaste excesivo en un apoyo, que se a su vez causa un deterioro superficial y en

consecuencia más vibración, además de fatiga que finalmente lleva a la rotura de la pieza), detectar cuál ha sido la causa desencadenante de las circunstancias del fallo suele ser costoso. Son importantes en esta fase los conocimientos profundos de comportamiento de materiales, de tribología, de vibraciones, corrosión, etc. por lo que la titulación idónea es la de Master y doctorado.

Una vez se conozcan las causas principales del fallo, se proponen modificaciones del producto que deben ser introducidas en el ciclo de desarrollo de productos aquí comentado: fases de diseño, análisis, ensayo, fabricación, para que las series sucesivas se ajusten mejor a la fiabilidad buscada. Hay que hacer notar que si la discrepancia de la fiabilidad buscada con la deseada va en el sentido contrario: es decir que el producto en la práctica es innecesariamente más fiable de lo necesario, se pueden estudiar modificaciones (generalmente algún aspecto del proceso de fabricación) a fin de incrementar la competitividad de las series siguientes al conseguir unos costes más reducidos manteniendo el nivel deseado de fiabilidad.

Ejecución y control del montaje de maquinaria, instalaciones y obras de construcción industrial:

En ocasiones, las máquinas o las estructuras son de tamaño y peso muy grande, lo que hace que el proceso de montaje deba realizarse in situ. Esta tarea puede ir acompañada de otras complementarias como la ejecución de la cimentación, estructuras de apoyo de máquinas e instalaciones y construcciones complementarias (tuberías, conducciones eléctricas, estructuras de acceso y soporte, etc.), que habrán sido previamente diseñadas y analizadas junto con el resto de la máquina. Este trabajo tiene unas características especiales debido a que requiere de la utilización de maquinaria pesada como grúas, camiones, excavadoras, etc.

El planteamiento y ejecución del montaje y obras auxiliares suele ser complejo y artesanal y exige una minuciosa planificación y seguimiento para garantizar que el montaje va a ser correcto y la máquina e instalaciones se suministren al cliente de acuerdo con las especificaciones estipuladas en el contrato. Téngase en cuenta que se trata de productos de mucha cuantía económica en los que una incorrecta planificación o ejecución puede dar lugar a cuantiosas pérdidas o reducción de beneficios. Se requiere entonces de buenos conocimientos de mecánica general, teoría de estructuras, materiales de construcción, elementos de transporte, planificación, técnicas de construcción y obra civil, gestión de recursos humanos y materiales, así como el cumplimiento de una amplia normativa de construcción, normativas medioambientales y urbanísticas, de seguridad en el trabajo, así como de don de gentes para el trato con operarios, clientes, suministradores y subcontratas y mucho ingenio para ir resolviendo en tiempo real y de forma óptima los problemas inesperados que inevitablemente aparecen en este tipo de trabajos.

En otras ocasiones se puede tratar de construcciones, edificios o urbanizaciones, como por ejemplo naves industriales, plantas industriales y áreas industriales, a los que se pueden aplicar las mismas ideas del párrafo anterior, teniendo en cuenta que las cuestiones de urbanismo, normativa medioambiental e instalaciones cobran ahora una importancia aún mayor. Respecto a las urbanizaciones de áreas industriales se encarga de la transformación del terreno para que posteriormente sirva de soporte a las futuras edificaciones industriales que se asienten en el mismo. En este caso es necesario un buen conocimiento de las tecnologías de infraestructuras de abastecimiento de energía, agua, gas o las redes de

saneamiento o telecomunicaciones. Por lo que respecta a los conocimientos necesarios, a los anteriormente citados hay que añadir los de topografía y unas ciertas capacidades sobre geotecnia, mecánica del suelo, arquitectura y urbanismo industrial, instalaciones y ergonomía. Es el Grado de Ingeniería Mecánica el idóneo en este caso, ya que al otro nivel es el Master de Ingeniería Industrial el adecuado, y no el de Ingeniería Mecánica en principio, por poseer actualmente las competencias profesionales reguladas en estos temas.

Mantenimiento industrial:

Tanto las máquinas como las instalaciones y los edificios industriales de la propia planta o empresa requieren tareas de mantenimiento y actualización para su correcto funcionamiento y actualización. Los ingenieros de grado, de diversas especializaciones, que se dedican a estas tareas en las empresas tienen que ser capaces del manejo práctico y con habilidad de una cantidad importante de conocimientos: mecánica, electricidad, electrónica, hidráulica y neumática, manejo de máquinas y herramientas, gestión de grupos de trabajo, etc. aparte de ingenio, capacidad de improvisación y de conocer a la perfección el funcionamiento de las máquinas, instalaciones y procesos de la planta industrial o empresa a cuyo buen funcionamiento y mantenimiento se dedica.

Se trata de una tarea de gran responsabilidad aunque no siempre suficientemente valorada, y que exige una disponibilidad de horarios muy amplia por parte de los técnicos que se dedican a esas labores, con una repercusión inmediata en el buen funcionamiento y resultados de la empresa.

Ingeniería y consultoría:

Existen empresas en todo el mundo cuya misión es la de dar soporte de ingeniería a otras empresas. Su mercado son por una parte pequeñas industrias que prefieren subcontratar las tareas de diseño y análisis que esporádicamente les surgen, de tal modo que no necesitan tener ingenieros dedicados a esas tareas. Pero en los países desarrollados ese mercado es relativamente reducido, por lo que es en la aplicación de tecnología e ingeniería de muy alto nivel donde estas empresas tienen su mercado natural. Los trabajos con un importante contenido de tipo mecánico son tradicionalmente uno de sus principales fuentes de ingresos.

El tipo de trabajo que desarrollan es de ingeniería avanzada y también entran directamente en el campo del desarrollo tecnológico, pero ya apenas en el de la investigación propiamente dicha. Sus clientes son otras empresas y consorcios de empresas, pero también y de forma muy importante, administraciones públicas que encargan sus proyectos de obras, instalaciones y servicios así como proyectos de tipo estratégico que se realizan entre grupos de países, como por ejemplo grandes instalaciones para investigación científica, plantas de pruebas de nuevas fuentes de energía, desarrollo de proyectos muy avanzados de tipo aeronáutico y del espacio, etc.

Se trata de trabajos que requieren mucha especialización y conocimientos avanzados y actualizados en una amplia variedad de temas como métodos de simulación mediante elementos finitos (EF) y otros, comportamiento resistente de materiales metálicos y no metálicos, análisis de sistemas multi-cuerpo, mecatrónica, dinámica de fluidos computacional (CFD), por lo que el nivel de ingeniero natural aquí es el de Master e incluso

doctorado, aunque por supuesto también son necesarios ingenieros de grado. A veces se ensayan prototipos, pero por definición estas empresas no fabrican productos ni se ocupan del mantenimiento de plantas y maquinaria, aunque sí de tareas de ejecución y control de montajes de grandes máquinas, instalaciones y obras de construcción.

Investigación tecnológica y desarrollo:

La investigación tecnológica, básica y aplicada, se lleva a cabo fundamentalmente en centros de investigación y universidades y, en menor medida, en empresas. Tal y como se ha comentado en un apartado anterior, la investigación tecnológica es un campo muy amplio en el cual la parte más directamente relacionada con los temas de ingeniería mecánica es de gran importancia. La investigación en tecnología e ingeniería tiene como objetivo obtener un conocimiento profundo de aspectos del mundo físico que tengan un potencial de aplicación práctica en la industria, por ello deben tenerse en cuenta aspectos de rentabilidad económica y de viabilidad práctica de lo que se estudia. Se puede tratar de trabajos de tipo experimental o teórico, en este último caso entendido como tal el desarrollo de métodos que permitan aplicar ese conocimiento a la solución de problemas de ingeniería. Normalmente los investigadores trabajan en grupos multidisciplinares, que incluyen titulados de origen diverso; actualmente la figura de un investigador aislado es muy poco frecuente en temas tecnológicos debido a la gran complejidad de los temas que se tratan, que hacen prácticamente imposible que una persona aislada pueda abarcar todos los conocimientos necesarios.

Quienes se dedican a estas tareas tienen que tener una formación del máximo nivel, doctorado fundamentalmente aunque también la de Master puede ser adecuada sobre todo en la fase formativa en la cual se compatibiliza el trabajo de investigación con la realización de su Tesis Doctoral. La forma ideal de trabajo es la de un grupo dirigido por un Doctor en Ingeniería con experiencia con el que colaboran otros doctores y titulados Master, parte de los cuales estarán aprovechando, siempre que sea posible, las tareas de investigación que realizan para llevar a cabo su futura Tesis Doctoral. Así pues, esta actividad profesional está muy cercana a tareas formativas, no necesariamente de docencia reglada, tanto porque hay doctorandos en formación como porque es necesario mantener los conocimientos del grupo actualizados, para lo que es necesario dedicar una importante parte del tiempo de la jornada de trabajo al estudio personal, y asistencia a cursos, congresos y reuniones.

La investigación tecnológica puede dar lugar a avances o descubrimientos que, en caso de no estar sujetos a cláusulas de confidencialidad en los contratos, se puedan difundir mediante su publicación en congresos, libros y revistas internacionales. Esta tarea de difusión del conocimiento tiene un interés no pequeño, ya que sirve para contrastar el nivel tecnológico del grupo investigador al someterse al escrutinio de la comunidad internacional. Sin embargo, desde hace unos años se está observando una tendencia preocupante que hace que existan numerosas investigaciones, sobre todo en las universidades, que se planifican de tal modo que su objetivo principal es la meramente la publicación. Investigar para publicar puede ser una técnica de publicidad que convenga utilizar esporádicamente a fin de dar a conocer un grupo investigador y facilitar la captación de futuros clientes y proyectos, pero si convierte en algo sistemático, se desenfoca y desvirtúa el sentido de la investigación tecnológica.

Las tareas de desarrollo tecnológico se llevan a cabo fundamentalmente en centros tecnológicos y en empresas con alto nivel tecnológico, a veces también incluyendo colaboración con la universidad. Se trata de generar nueva tecnología para ser directamente aplicada en la industria, por ejemplo para desarrollar una metodología que permita solucionar un tipo de problemas concretos, y por ello están más cercanas a la ingeniería propiamente dicha. Aquí los aspectos de rentabilidad económica son decisivos, pues un desarrollo tecnológico para ser válido debe posibilitar la solución rentable de problemas de la industria. El nivel de formación idóneo para dedicarse a estas actividades es el de doctorado y también el de Master.

Formación:

La finalidad de los estudios de ingeniería es formar profesionales para desarrollen su actividad profesional en la industria. Tradicionalmente, los titulados de grado y Master (asimilando el grado a la antigua Ingeniería Técnica y el Master a la Superior) en la rama o especialidad de Mecánica, han tenido muy buenas salidas laborales en España y en el resto del mundo. Se trata de una profesión muy demandada sobre cuya necesidad no existen dudas. Así pues, la mayor parte de los egresados de las universidades con este tipo de formación se dedican a trabajar en empresas, ya que ese es el lugar natural de desarrollo de la profesión de ingeniería. No obstante, también una parte relativamente pequeña de ellos se incorpora a la universidad para dedicarse a tareas de docencia e investigación.

Las misiones de la universidad son la docencia y la investigación, pero lo que es su origen y la da sentido y fundamento es la formación: la docencia; por definición una universidad debe tener estudiantes que acuden a ella para adquirir conocimientos que sean útiles a la sociedad. Sin embargo, existen algunas corrientes de opinión que sin negar expresamente lo que se acaba de comentar, sin embargo implícitamente asumen que la parte realmente fundamental e importante es la investigadora. En este caso se está produciendo una confusión de lo que puede ser más absorbente en tiempo o personalmente interesante para algunos, con lo que es el servicio que la universidad debe dar a la sociedad.

Los titulados con un Master en ingeniería que deciden dedicarse a la docencia universitaria e investigación, se integran actualmente en un Departamento en el que inician su carrera académica, en la cual la Tesis Doctoral es uno de los primeros objetivos, ya que estar en posesión del título de doctor es hoy día imprescindible para el profesorado universitario. Las principales tareas a que se dedica el profesorado universitario de ingeniería son por una parte las de formación de estudiantes: docencia, tutorización, la de estudio y formación propia para aumentar el nivel de sus conocimientos y las de investigación tecnológica básica y aplicada y el desarrollo tecnológico. Obsérvese también que la mayor parte de los libros técnicos que utilizan para consulta los ingenieros de las empresas en su vida profesional están escritos por profesores universitarios, siendo ésta una tarea muy importante de difusión del conocimiento a la que un profesor debe prestar atención, pero que a veces no se cuida ni valora suficientemente. La situación ideal, no siempre posible, es cuando el campo en el que un profesor universitario lleva a cabo su investigación tiene relación con el docente, ya que los contenidos formativos de sus clases y del resto de sus actividades docentes serán de mayor calidad al beneficiarse también de los resultados de su trabajo investigador.

REFERENCIAS

Libros y revistas:

- Lanz, J.M.; Betancourt, A.; *Essai sur la composition des machines*. M. Hachette, Imprimerie Impériale, Paris (Francia), 1808.
- Reuleaux, F.; *The Kinematics of Machinery. Outlines of a Theory of Machines*. MacMillan and Co. Londres (UK), 1876.
- Strandh, S.; *Máquinas, una Historia ilustrada*. Hermann Blume Ediciones, (España), 1982.
- ASME International History and Heritage; *Landmarks in Mechanical Engineering*. Purdue University Press, 1996.
- Lawton, B.; *The Early History of Mechanical Engineering. Vol. 1*. Ed. Brill, Boston (USA), 2004.
- Ceccarelli, M. (Editor); *Distinguished Figures in Mechanism and Machine Science: Their Contributions and Legacies*. Springer, 2007.
- Bautista, E.; Bernardos, R.; Ceccarelli, M.; Díaz Lantada, A.; Díaz López, V.; Echávarri, J.; Lafont, P.; Leal, P.; Lorenzo, H.; Muñoz García, J.; Muñoz Guijosa, J.; Muñoz Sanz, J.L.; *Breve historia ilustrada de las máquinas*. Sección de Publicaciones de la ETSII, Universidad Politécnica de Madrid (España), 2007.
- Kowal, J.; Juergensen, L.; *Engineering in Germany*. Machine Design (<http://machinedesign.com/article/engineering-in-germany-1107>), pp. 1-8, 7 de noviembre de 2007.
- Viadero, F.; Díaz, V.; Fernández, A.; Gauchía, A.; *The role of MMS and IFToMM influence in Spain*. Springer (pendiente de publicar)

Boletines Oficiales del Estado:

- *Decreto 1888 de 26/09/1984, BOE de 26/10/1984*
- *Resolución 15/01/2009 de BOE 29/01/2009 “profesiones reguladas de Ingeniero Técnico”*
- *Orden CIN351/2009 de BOE 20/02/2009 “profesión de Ingeniero Técnico Industrial”*
- *Resolución 15/01/2009 de BOE 29/01/2009 “profesiones reguladas de Ingeniero”*
- *Orden CIN311/2009 de BOE 18/02/2009 “profesión de Ingeniero Industrial”*

Páginas web:

- <http://www.imeche.org/>
- <http://www.asme.org/>
- <http://www.vdi.eu/>
- <http://www.iies.es/>
- <http://www.sae.org/>
- <http://www.simp.pl/>
- <http://www.afm.es/>
- <http://www.fisita.com/>
- <http://www.cirp.net/>
- <http://www.aimeta.it/>

- <http://www.iftomm.org/>
- <http://www.csme-scgm.ca/>
- <http://www.asoc-aeim.es/>
- <http://www.aip-primeca.net/>
- <http://www.ifr.org/>
- <http://www.feibim.org/>
- <http://www.asepa.es/>
- <http://www.afm.asso.fr/>

