

Análisis de rigidez de un sistema de interior de automóvil. Experiencia docente en el marco EEES

Josep M. Puigoriol-Forcada, Andrés-Amador García-Granada, Mercedes Peña-Aguilar y Guillermo Reyes-Pozo
Universidad Ramon Llull (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7662>

1. INTRODUCCIÓN

Desde la creación del Espacio Europeo de Educación Superior, las universidades han ido incorporando modificaciones en sus programas de estudios para una mayor coherencia e integración europea, potenciando de esta forma la movilidad de personas y competitividad dentro del marco de la Unión [1][2]. Estos cambios resultan coherentes con soluciones frente a la preocupación presentada durante décadas, por parte de la industria con respecto a las universidades y centros de investigación: aprendizaje poco práctico. La formación de los ingenieros es una pieza clave para la competitividad, especialmente en época de crisis, y desde la universidad se debe seguir apostando por sostener el nivel de ingeniería (que ha resultado destacable, en España, a lo largo de los años) pero enfatizando el carácter práctico del aprendizaje para una mayor transferencia del conocimiento a fin de impulsar la innovación [3].

En esta línea, desde el Área de Resistencia de Materiales y Estructuras de la *IQS School of Engineering*, se ha planteado el desarrollo de unas sesiones que recojan aquello más importante de un ejercicio real de cálculo estructural en el diseño de ingeniería de producto, pensando en el aprendizaje orientado a proyectos y en el basado en proyectos (*Project Oriented, POL/Project Based Learning, PBL*). Como avalan numerosas investigaciones, las ventajas que presenta este enfoque superan los inconvenientes surgidos en su aplicación [4]–[19].

Estas sesiones se desarrollan en la asignatura Mecánica de Materiales, de tercer curso del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales, siendo esta asignatura de carácter común. La asigna-

natura aporta al estudiante una base de conocimiento del estudio detallado de los campos tensión y deformación en sólidos elásticos, logrando una visión completa del Problema General Elástico, para su posterior solución mediante distintas técnicas. En este caso concreto, la técnica usada es el método de los elementos finitos MEF. El análisis elastoplástico permite ir más allá del entorno elástico, tal y como sucede actualmente en los ensayos de rigidez estática sobre componentes internos, donde se acepta un pequeño valor de deformación remanente una vez retirada la carga aplicada. Se espera que los alumnos de la titulación adquieran parte de las competencias presentadas en este grado, contemplando a su vez las denominadas competencias transversales.

Se es consciente de la importancia de realizar ejercicios que se asemejen lo máximo posible a la ejecución real de la ingeniería, y en este caso concreto, a la praxis de la compresión del diseño estructural de un conjunto Consola Central de un automóvil. Se pretende que el alumno utilice los conceptos de frecuencias y modos naturales de vibración así como la curva elastoplástica de un material, presentado de forma teórica en varias asignaturas, para entender, evaluar y mejorar la rigidez global de un producto o estructura. Este desarrollo de cálculo de rigidez se enmarca dentro del Laboratorio SEAT-IQS, inaugurado en el 2007.

La planificación de este aprendizaje se ha estructurado en 4 fases, siguiendo la ficha según modalidad de aprendizaje (*Project Oriented, POL/Project-Based Learning, PBL*) resumida en el PROYECTO EA2005-0118[20]: Información, Planificación, Realización y Evaluación. Estas 4 fases se han agrupado en dos bloques de trabajo: Bloque 1 (Información y Planificación), Bloque 2 (Realización y Evaluación).

Se ha seleccionado un vehículo que actualmente se encuentra fuera de producción, para preservar al máximo la confidencialidad industrial que un proyecto real de este tipo siempre requiere. Todas aquellas acciones reales que se realizaron

por motivos de integridad estructural en cada una de las piezas que conforman el ensamblaje se discuten y se excusan para un mayor aprendizaje, dentro del tiempo establecido.

En la mayoría de situaciones, un proyecto de ingeniería abarca una gran cantidad de problemas interrelacionados que el ingeniero debe resolver de forma efectiva. La formación del ingeniero debe contemplar este nivel de complejidad [21]. El uso de un componente de sistema de interior de automóvil suficientemente limitado (en cuanto a número de piezas funcionales) pero suficientemente complejo (en cuanto a requerimientos de ensayo y su relación con el entorno dentro del automóvil) se cree adecuado, por la dificultad tecnológica que presenta sin que el ensamblaje ralentice la comprensión.

El uso de los análisis llevados a cabo, análisis modal de frecuencias y modos propios de vibración (en adelante Análisis Modal) y análisis no lineal elastoplástico (en adelante, Análisis No-lineal), resulta importante en desarrollo de producto, pues estas simulaciones gobiernan la evolución de las distintas propuestas de solución que conducen al diseño final, óptimo para superar el cuaderno de cargas que se le exige al ensamblaje que se está desarrollando. Conjuntamente con los análisis explícitos, estos dos tipos de cálculo resultan fundamentales para una evolución estructural adecuada, siendo de los más importantes dentro del CAE. Desde el *Grup d'Enginyeria de Productes Industrials* se quiere impulsar la comprensión de estos tipos de análisis por el importante rol que juegan dentro de la denominada ingeniería concurrente.

Algunos de los miembros de este grupo de investigación poseen amplia experiencia en el sector de la automoción, dentro de departamentos de Simulación, habiendo liderado una larga lista de proyectos de cálculo para muchas firmas de constructores de automóviles. Este *background* se considera importante desde el punto de vista de la propuesta, siendo un elemento fundamental por lo que se refiere a motivación, a la vez que ayuda a situar perfectamente esta función de cálculo con las diversas áreas interrelacionadas en el desarrollo completo de la Consola Central.

El objetivo principal de estas sesiones es la comprensión del comportamiento

estructural del ensamblaje seleccionado, a partir del aprendizaje de estos dos tipos de análisis, mediante el uso del *software* ANSYS. De esta forma, se acerca el entorno real de un departamento competitivo de simulación CAE a la universidad. Se ha escogido esta herramienta de trabajo por ser uno de los códigos numéricos de altas prestaciones más importantes del mercado. No obstante, no se pretende una formación exhaustiva de esta herramienta, tan solo adquirir los conocimientos necesarios y suficientes para el seguimiento correcto de la filosofía de diseño estructural que hay detrás de este aprendizaje.

2. METODOLOGÍA. EXPERIENCIA DOCENTE

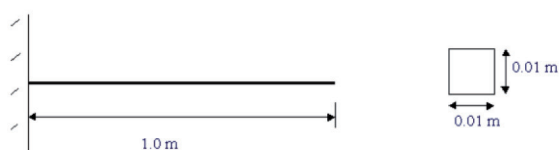
La metodología docente planteada se basa el aprendizaje basado en un ejercicio real de proyecto. Aunque estas sesiones se llevan a cabo por parejas de alumnos, y de forma grupal (10 alumnos) cuando se ponen en discusión las soluciones propuestas así como los resultados (Bloque 2), el desarrollo de las mismas también infiere directamente sobre competencias individuales y personales, pues buena parte de las acciones se realizan de forma individual. De esta forma se logra, mediante cooperación grupal, mayor creatividad en la aportación de soluciones, mientras que el trabajo individual potencia la responsabilidad.

La distribución de horas se ha realizado teniendo en cuenta la necesidad de disponer de un conocimiento básico para este tipo de cálculo antes de poder desarrollar el seguimiento del conjunto Consola Central, por lo que se han establecido dos bloques de trabajo. Se ha destinado un tiempo suficientemente amplio de 20 horas para poder salvar las dificultades pero sin caer en la penalización de una carga de trabajo elevada.

Las modalidades organizativas para llevar a cabo este proceso de enseñanza-aprendizaje se establecen en cuatro escenarios presenciales (Clases Teóricas, Seminarios, Prácticas y Tutorías), más otros dos no presenciales (Trabajo en Grupo y Trabajo Autónomo) [20].

2.1. BLOQUE 1. ETAPA DE INVESTIGACIÓN

Paso 1: se parte de una exposición teórica (grupo total, 5 parejas) como análisis del escenario o situación del proyecto



a resolver (situación de inicio del ciclo de exploración como marco de contextualización). Se muestra la necesidad de lograr un grado de rigidez significativo en los conjuntos Consola Central para satisfacer las necesidades del usuario. Se consigue, de esta forma, una sensación de producto estable en el tiempo (desgaste mecánico bajo) y robusto frente a acciones estáticas y dinámicas (rigidez estática e impactos), distintivos de calidad para este tipo de desarrollo. Se presentan los parámetros de validación de control para garantizar dicha rigidez (flecha, acompañado de tensiones equivalentes de Von Mises). Se identifica, de forma grupal, el objetivo principal de aprendizaje mediante esta metodología: lograr un nivel adecuado de seguridad por parte del alumno para llevar a cabo análisis CAE. De la misma forma hay una puesta en común de los dos objetivos que persigue el proyecto dentro de la asignatura: uso del cálculo modal y no lineal como herramientas de desarrollo de producto, y el aprendizaje de la estrategia de modelización de barras dentro de un análisis modal para una mayor convergencia hacia una solución racional efectiva (mejora de rigidez en el diseño de piezas en proceso de producción). Se toma consciencia de que se parte de un nivel básico de uso de ANSYS, y de la lección teórica de análisis de modos y frecuencias propias de vibración de un modelo mecánico simple presentado en una asignatura.

Paso 2: posteriormente, se pasa a un trabajo cooperativo en Grupo pequeño (por parejas) y autónomo, en esta primera fase de búsqueda de información, mediante la recopilación y autoaprendizaje. Se desarrolla un estudio, por parte de cada pareja, del Análisis Modal y del Análisis No-lineal. Cada uno de los estudiantes investiga uno de estos análisis. Se establece la planificación para este autoaprendizaje, por parte de la pareja. Se formulan las siguientes preguntas guía: ¿Qué aprender del cálculo que sea relevante? ¿Cuándo se usa este tipo de cálculo en industria? ¿Qué estrategias se usan para aumentar rigidez mediante CAE? La búsqueda de estos cálculos abarca desde el libro clásico (mecánica, resistencia de materiales, etc.) hasta el artículo técnico

publicado en revista indexada, pasando por toda aquella información donde se realizan análisis con ANSYS y que suele presentarse en Workbooks del mismo software (alguno de ellos disponibles en internet). Para este bloque, resulta tan importante entender el tipo de análisis, de forma genérica, como los comandos particulares de ANSYS. Esta etapa tiene un papel relevante para asegurar el éxito del buen seguimiento del alumno cuando realice el segundo bloque. Dicho estudio previo conlleva un grado significativo de autoformación por parte del equipo (pareja de alumnos) a través de la búsqueda, gestión y comprensión de la información hallada.

Los recursos implementados para este primer bloque corresponden a un aula de trabajo con conexión a internet junto al ordenador portátil de cada alumno (ordenador que se entrega a cada estudiante cuando se inician los estudios en la *IQS School of Engineering*). Se utiliza, también, la versión estudiantil de ANSYS instalada en cada ordenador personal, restringida en cuanto a número de nodos del modelo, pero completa por lo se refiere a la suite de cálculo. Por otro lado, los alumnos disponen de la posibilidad de consulta al profesor docente experto en la materia (Tutoría) como relación personalizada de optimización del aprendizaje, aun siendo conscientes que el ejercicio debería realizarse con la mayor autonomía posible por parte de la pareja.

Una de las estrategias aplicada de avance en el autoaprendizaje consiste en la ejecución de ejercicios simples que se puedan abordar mediante dos vías de trabajo, llegando a establecer una correlación entre los resultados obtenidos. Una correlación correcta no garantiza al 100% la buena praxis en las dos vías, pero una mala correlación indica que algo se está realizando de forma errónea. La estrategia y el diseño de estos ejercicios corren a cargo de la pareja de alumnos, y suelen ser piezas prismáticas sometidas a esfuerzos axiales, a flexión simple o a torsión, así como vigas sin carga bien condicionadas para la extracción de los modos y frecuencias propias de vibración.

En la figura anterior se muestra uno de los ejercicios presentados por una pareja

	Teórico	M. Subespacios	M. Block Lanczos	M. Reducido
Modo 1	8,35517	8,355	8,355	8,355
Modo 2	52,36093	52,354	52,354	52,356
Modo 3	146,61212	146,570	146,570	146,580
Modo 4	287,30125	287,130	287,130	287,350
Modo 5	474,92955	474,490	474,490	474,580

Fig. 1: Extracto ejemplo de un informe entregado, Análisis Modal. Viga en voladizo. Correlación de frecuencias en Hz

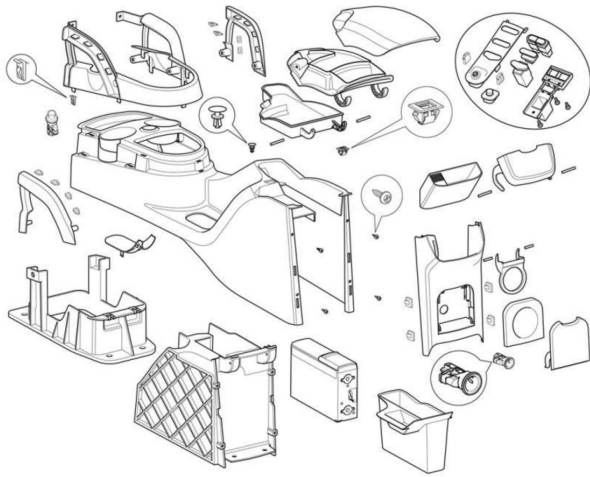


Fig. 2: Conjunto explosionado Consola Central

de alumnos para el Análisis Modal. La estructura estudiada es una viga *cantilever* modelizada en ANSYS con elementos tipo viga. Se presenta la correlación establecida del valor analítico obtenido mediante ecuación versus las simulaciones, según el método de extracción de raíces utilizado en cada cálculo. Se procede a la puesta en común (Grupo pequeño, pareja) de aquello aprendido de forma individual, sus fuentes de información y los problemas encontrados en la búsqueda.

Paso 3: se finaliza este primer bloque mediante un monográfico introductorio a la Consola Central por parte del profesor, a lo largo de dos horas (Clase Magistral). Esta presentación muestra el dominio de estudio explosionado (Figura 2), la interacción con su entorno en vehículo montado, los materiales y procesos de fabricación, la descripción del pliego de condiciones y su cuaderno de cargas (ensayos experimentales), así como la discusión de algunos límites condicionantes sobre el desarrollo. Se persigue que los alumnos tengan una visión más global de la ejecución del proyecto aun estando centrados en la resolución estructural del conjunto.

En esta presentación previa se muestra y se discute la planificación real de los análisis completos que se realizarían y qué influencia tendría cada uno de ellos en la evolución del desarrollo. A continuación se delimita el alcance de los dos casos de ensayo escogidos para el aprendizaje, que representan una selección inteligente para lograr situar los requerimientos estructurales exigidos. Se establece la planificación del proyecto de cálculo estructural que se llevará a cabo.

2.2. BLOQUE 2. ETAPA MODELO CONSOLA CENTRAL

El Segundo bloque (Realización y Evaluación) se estructura diferenciando las

acciones mediante simulación, a ejecutar en el *Laboratori d'Enginyeria de Productes Industrials (LEPI)*, y las que se efectúan en el laboratorio físico (*Laboratori SEAT-IQS*).

2.2.1. Modelo CAE. Análisis Modal y No-Linear

Por lo que se refiere al laboratorio virtual, se parte del modelo Consola Central mallado y ensamblado, teniendo en cuenta la interacción real entre piezas del conjunto. El modelo

mallado fue creado y ensamblado por el investigador principal de este artículo, conjuntamente con un antiguo profesor colaborador de cátedra del Área de Resistencia de Materiales y Estructuras de la *IQS School of Engineer*, en aquel entonces también miembros del departamento de CAE de *Faurecia Interior System*, plataforma Abrera. El hecho de entregar directamente la malla al alumno en lugar de su creación responde directamente a dos

trabajo resulta productivo, siendo el modelo recibido de alta calidad debido a que se sigue rigurosamente los patrones de control de calidad de malla dictados por los constructores de vehículos. En el caso de *Faurecia*, como otras multinacionales, se realiza esta etapa en las ingenierías ubicadas en la India. En este caso concreto, en la misma empresa *Faurecia*, en la plataforma de *Pune*, donde se da respuesta a casi todo el volumen de malla que se requiere diariamente para todas las plataformas a nivel mundial. Tan solo se realizan tareas de mallado para refinamientos y modificaciones a nivel local, acciones que implican poco volumen de trabajo e inmediatez.

Por otro lado, la creación de modelos de malla mediante elementos tipo placa requiere de cierta habilidad, y sería necesario dedicar muchas horas de formación para una correcta ejecución. De las tareas que conforman un análisis completo mediante FEM, la etapa de pre-proceso es la que menos valor añadido tiene asociado, por lo que si es necesario prescindir de alguna de ellas ésta es la que suele subcontratarse (o en este caso obviarse). Sin embargo, con el fin de dar visión al ejercicio completo, se realiza una exposición sobre los problemas

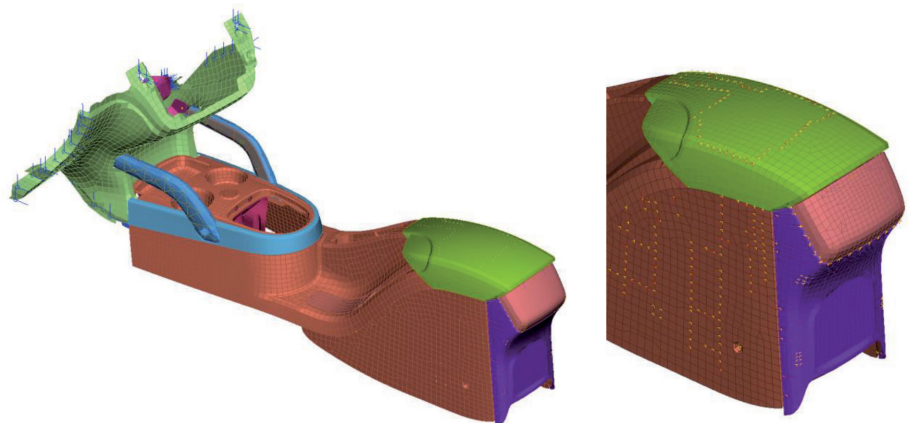


Fig. 3: Modelo FEM del conjunto Consola Central. Detalle de algunos de los elementos de unión entre piezas

cuestiones: optimización del tiempo de ejecución del ejercicio, y búsqueda de similitud con el proyecto real.

Actualmente, las grandes empresas desarrolladoras de producto con alto contenido tecnológico subcontratan la creación del mallado de modelos a ingenierías ubicadas en países *low cost*. Al tratarse de volúmenes muy grandes de

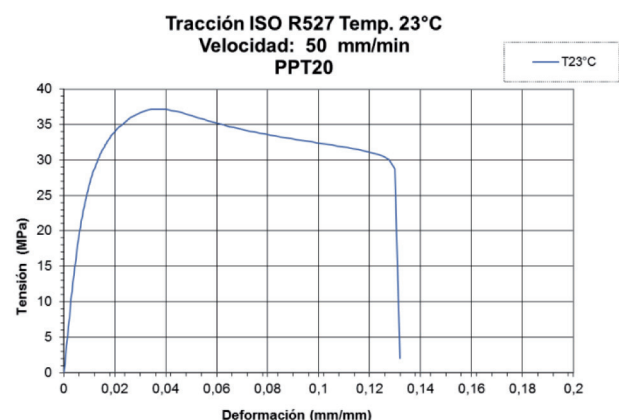


Fig. 4: Curva elastoplástica ensayo tracción material PPT20

principales que deben salvarse cuando se está creando malla tipo *Shell* (Clase Teórica en el mismo laboratorio). Se explica un procedimiento de ejecución de malla a partir de la importación de las distintas piezas recibidas de un *software* CAD. También la estrategia llevada a cabo para la modelización de las uniones (clips, soldaduras plásticas, buterolas, etc.), aceptando simplificaciones habituales propias de un modelo de escala global.

Paso 4: a partir del modelo recibido se realiza la primera función de revisión de entidades, tal y como suele hacerse en proyecto real. Para este escenario práctico, los alumnos trabajan de forma individual, disponiendo de dos estaciones de trabajo por pareja con la versión de ANSYS universitaria instalada, la cual permite trabajar con modelos grandes (gran número de elementos), ocupando el laboratorio un grupo total de 5 parejas. Se muestra al estudiante como debe actuar (Clases Prácticas), con posibilidad de consulta al otro miembro de su pareja. Se revisan y modelizan los materiales, los tipos de elemento y las propiedades asignadas a los elementos (propiedades de sección en elementos tipo *Beam*, espesores en el caso tipo *Shell*). Se exponen y discuten las modelizaciones de las condiciones de enlace con el grupo total (Seminario).

Para el Análisis No-Lineal, se ha seleccionado, de los múltiples ensayos que debe superar la Consola Central, el ensayo de rigidez puntual debido a pisada lateral en la zona alta del conjunto, por ser uno de los más críticos para este componente.

En la etapa de post-proceso, para el Cálculo Modal, se efectúa:

- Obtención del listado de frecuencias propias. Validación de éstas respecto a la referencia objetivo de 40 Hz (Trabajo Autónomo).
- Visualización de los modos propios de vibración. Interpretación el com-

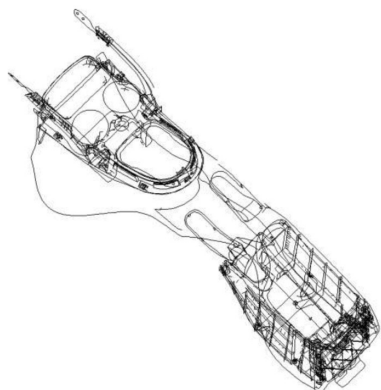


Fig. 5: Modo propio de vibración correspondiente a la quinta frecuencia

portamiento resistencial (Trabajo Autónomo).

- Propuesta de mejoras para un aumento de rigidez global del conjunto. Pruebas de tanteo mediante elementos *Beam* de posibles acciones a implementar (para posterior transformación a detalle constructivo) para lograr el aumento del valor de alguna de las frecuencias, especialmente la primera (Grupo pequeño, pareja). Posterior puesta en común con el grupo total y discusión de soluciones óptimas (Seminario).

2.2.2. Test físico. Ensayo de rigidez puntual pisada lateral

Paso 5: el ensayo físico se lleva a cabo con el conjunto montado sobre un útil, respetando los puntos de fijación del montaje sobre vehículo.

Se utiliza un pisador acoplado a un dinamómetro para la aplicación y control de la fuerza. Se registra el desplazamiento mediante un medidor laser (HBM Spider8), conectado a un ordenador para el registro de datos a lo largo del tiempo (Grupo pequeño, pareja). La pareja anota y estudia las zonas de fijación, para establecer una comparativa con las fijaciones del modelo FEM.

Se efectúan 3 ensayos por punto, para una lectura más precisa (uso de la media como valor final). Se habilitan 3 puntos de acción, siendo los valores de carga graduales de 50N a 250N, para cada punto. El valor máximo de carga corresponde a una situación de no linealidad debido a grandes desplazamientos, pero sin entrar en plasticidad, para poder realizar repetición de ensayos. Se remarca la importancia de registrar las coordenadas de aplicación del pisador y lectura para la correlación con el laboratorio virtual (simulación No-Lineal, punto 1).

2.2.2. Presentación de resultados. Correlación

Paso 6: las parejas de alumnos presentan, como exposición oral, los resultados obtenidos en cada uno de los laboratorios. Se efectúa un ejercicio de correlación

de los datos obtenidos para el punto 1 (P1). También se discute el desarrollo del aprendizaje (grupo total).

2.2.3. Evaluación

El profesor realiza la evaluación, de forma individual, teniendo en cuenta todos los pasos realizados a lo largo del proyecto. Se puntúa la estrategia desarrollada en la fase de búsqueda de información, así como la documentación y fuentes obtenidas (bloque 1). Para el bloque 2, se valora las soluciones aportadas de mejora de rigidez encontradas (que son las que se implementarían en proyecto real), así como el desarrollo del test físico. La puntuación final se cierra con la exposición y debate, frente a los profesores, de las soluciones encontradas viables y del método de aprendizaje.

3. DISCUSIÓN. CONCLUSIONES

Las puntuaciones obtenidas mediante la evaluación de competencias relacionadas con estas sesiones, a lo largo de estos tres cursos de vida de la asignatura, son

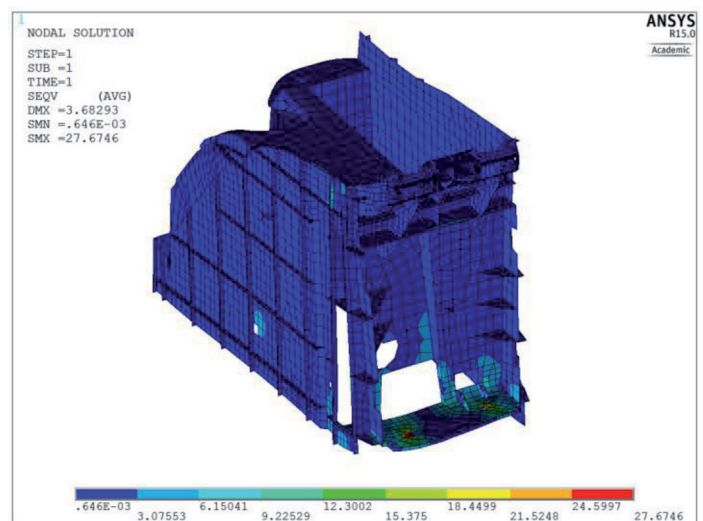


Fig. 6: Mapa de tensiones equivalentes de Von Mises, pieza Armazón interno

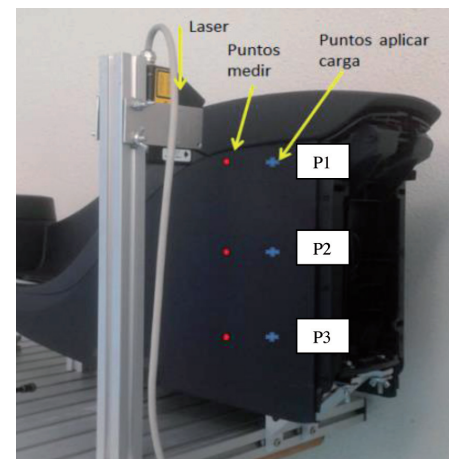


Fig. 7: Conjunto Consola Central sobre útil de ensayo. Detalle de puntos de carga y medición

altas, por lo que desde docencia se está satisfecho con la implementación de este aprendizaje basado en un proyecto. Añadir la motivación que muestran los alumnos cuando el planteamiento ingenieril aborda conjuntos que les son familiares y atractivos, como son aquellos relacionados con el mundo de la automoción. El traspaso de la enseñanza de los análisis preparada inicialmente (cursos anteriores a la implementación de esta metodología) como clases teóricas hacia estas sesiones mediante PBL se cree muy satisfactorio.

Tareas como la búsqueda bibliográfica (aprendizaje activo), el uso de un modelo real bien contextualizado y las exposiciones orales se creen muy adecuadas dentro del nuevo marco del EEES. La etapa de autoformación resulta muy efectiva para lograr el objetivo principal de esta metodología de aprendizaje: adquirir seguridad en la implementación de análisis CAE, para obtener una respuesta autonómica cuando se encuentren es situaciones parecidas en su vida profesional. Se logra, a su vez, la comprensión de un problema real y se aplica conocimiento (adquirido en el primer bloque y en otras disciplinas) para su resolución, finalidad básica del aprendizaje orientado a proyectos. Se proporcionan oportunidades para ser creativos, en la propuesta de soluciones, especialmente en la fase que se parte de la implementación de elementos tipo barra sobre el modelo CAE. De forma dinámica se hallan las tendencias estructurales de manera muy efectiva (puesta común mediante Seminario). Es cierto que este tipo de escenario conduce a un desarrollo y a unas conclusiones en función del grado de reflexión, intercambio y discusión por parte de los alumnos (implicación), pero se enfatiza el descubrimiento y el contraste teórico-práctico. También se consigue cierta responsabilidad, aunque limitada, en el gobierno de los modelos. Se ha logrado, en general, que parte de la función del profesor se transforme en facilitador del proceso de aprendizaje. Se concluye que la estrategia pedagógica PBL resulta de utilidad: los alumnos adquieren habilidades en el diseño estructural, la resolución de situaciones, la búsqueda de información y la formulación de preguntas inteligentes, el pensamiento ingenieril, las técnicas de laboratorio y la interrelación de las piezas del producto objeto de estudio entre ellas y con los elementos fuera del dominio de trabajo. Se cree que el PBL resulta un muy buen complemento a las clases teóricas y prácticas.

Como aspecto de mejora se propone no condicionar la búsqueda de la infor-

mación, abriéndola a cualquier tipo de análisis CAE (el tutor orienta inicialmente la búsqueda hacia el análisis modal y el no-lineal). Este punto mejoraría la etapa de autoformación, aunque lo dilataría en el tiempo. También, sería interesante implementar una evaluación compartida (autoevaluación, la de sus pares y la del tutor, establecida en varias etapas), para obtener un resultado más objetivo sobre el aprendizaje de cada alumno.

Finalmente, se plantea aumentar la cantidad de horas dedicada por los alumnos al proyecto. Con ello se conseguiría aprovechar mejor la etapa post-proceso, una de las partes más creativa de este proyecto. Remarcar que todo aprendizaje que tienda a una faceta más práctica conlleva más horas de dedicación del profesorado, especialmente si se desea exprimir la experiencia todo lo posible. Por lo que se refiere a la voz del alumno, el planteamiento de 20 horas se les presenta generalmente ameno, incluso corto, y muestran la sensación de haber comprendido muchos detalles que relacionan distintas disciplinas de forma práctica (motivación intrínseca, aprendizaje activo). El esfuerzo inicial que supone la búsqueda de forma autónoma se ve recompensada por los resultados obtenidos y su comprensión en los laboratorios.

PARA SABER MÁS

- [1] European Ministers Responsible for Higher Education, "The Bologna Process 2020. The European Higher Education Area in the new decade," in Conference of European Ministers Responsible for Higher Education, 2009, no. April, pp. 1-6.
- [2] I. López-Paniagua, R. Nieto-Carlier, J. Rodríguez-Martín, C. González-Fernández, and A. Jiménez-Álvarez, "Clases prácticas: Una herramienta esencial en la enseñanza de las ingenierías en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior," *Dyna*, vol. 86, no. 5, pp. 523-530, 2011. <http://dx.doi.org/10.6036/4058>
- [3] J. M. Puigoriol, "¿Alumbran los faros el final del túnel?," *el Periódico (suplemento +valor)*, 25-Mar-2014.
- [4] M. D. Bernabeu Tamayo, "Estudio sobre innovación educativa en universidades catalanas mediante el aprendizaje basado en problemas y en proyectos," *Facultat de Ciències de l'Educació. Universitat Autònoma de Barcelona*, 2009.
- [5] P. Goodhew and T. Bullough, "Active Learning in Materials Science and Engineering," in 1st CDIO Conference, 2005, pp. 1-9.
- [6] J. M. Agudo Valiente, I. López Fornies, A. Pardiña Carrera, B. Sánchez-Valverde García, and J. Sierra Perez, "Docencia por módulos de asignaturas del grado de ingeniería de diseño industrial y desarrollo de producto. Seguimiento y mejora," in 15th International Congress on Project Engineering, 2011, pp. 2435-2449.
- [7] A. Patton and J. Robin, *Work that matters: The teacher's guide to project-based learning*. London: Paul Hamlyn Foundation, 2012.
- [8] P. J. Goodhew, "Engineering Education: how can we do it better in future?," in 7th European Convention of Engineering Deans. Engineering in a Global Context 26-27 March 2015.
- [9] E. Márquez Lepe and M. L. Jiménez-Rodrigo, "Project-based learning in virtual environments: a case study of a university teaching experience," *RUSC. Univ. Knowl. Soc. J.*, vol. 11, no. 1, pp. 76-90, 2014. <http://dx.doi.org/10.7238/rusc.v11i1.1762>
- [10] A. Petrescu, C. Gabriela, M. Gorghiu, and G. Gorghiu, "Application of Problem-Based Learning Strategy in Science lessons - Examples of Good Practice," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 149, pp. 297-301, 2014. doi:10.1016/j.sbspro.2014.08.245
- [11] K. Y. Kapsuz and S. Can, "A Survey on Lifelong Learning and Project-based Learning among Engineering Students," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 116, pp. 4187-4192, 2014. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.914
- [12] D. Efstratia, "Experiential education through project based learning," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 152, pp. 1256- 1260, 2014. doi:10.1016/j.sbspro.2014.09.362
- [13] N. R. Ergül and E. K. Kargin, "The Effect of Project based Learning on Students' Science Success," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 136, pp. 537-541, 2014. doi:10.1016/j.sbspro.2014.05.371
- [14] S. R. Tamim and M. M. Grant, "Definitions and uses: Case study of teachers implementing project-based learning," *Interdiscip. J. Probl. Learn.*, vol. 7, pp. 71-101, 2013. <http://dx.doi.org/10.7771/1541-5015.1323>
- [15] F. Özdamli, "The experiences of teacher candidates in developing instructional multimedia materials in project based learning," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 15, pp. 3810-3820, 2011. doi:10.1016/j.sbspro.2011.04.378
- [16] M. M. Grant, "Learning, Beliefs, and Products: Students' Perspectives with Project-based Learning," *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, vol. 5, no. 2, 2011. <http://dx.doi.org/10.7771/1541-5015.1254>
- [17] R. Pucher and M. Lehner, "Project Based Learning in Computer Science - A review of more than 500 projects," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 29, pp. 1561-1566, 2011. doi:10.1016/j.sbspro.2011.11.398
- [18] R. Eskrootchi and G. R. Oskrochi, "A Study of the Efficacy of Project-based Learning Integrated with Computer- based Simulation - STELLA," *Educ. Technol. Soc.*, vol. 13, no. 1, pp. 236-245, 2010.
- [19] I. D. L. Ríos, A. Cazorla, J. M. Díaz-Puente, and J. L. Yagüe, "Project-based learning in engineering higher education: Two decades of teaching competences in real environments," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 1368-1378, 2010. doi:10.1016/j.sbspro.2010.03.202
- [20] M. De Miguel Díaz, I. J. Alfaro Rocher, P. Apodaca Urquijo, J. M. Arias Blanco, E. García Jiménez, C. Lobato Fraile, and A. Pérez Boullosa, *Modalidades de Enseñanza centradas en el desarrollo de competencias. Orientaciones para promover el cambio metodológico en el EEES. PROYECTO EA2005-0118*. Oviedo, 2005.
- [21] J. A. Gómez Cristóbal, J. Ordieres Meré, and M. M. Ruiz de Arana Santiago, "Metodología PBLE como guía del proceso de aprendizaje en Ingeniería. Primeros Pasos En La UR," *Contextos educativos*, vol. 6-7, pp. 277-294, 2004. <http://dx.doi.org/10.18172/con.540>

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la empresa SEAT y a *Faurecia Interior Systems SALC España* por la información a disposición para poder llevar a cabo la implementación de este proyecto docente.