

Línea de alta velocidad Figueras - Perpiñán, un proyecto donde SENER es responsable de la línea completa hasta su puesta en marcha.

SENER es una empresa de ingeniería, consultoría e integración de sistemas de carácter multidisciplinar, que se ha convertido en una referencia tanto en el mercado nacional como en el internacional. Fundada en 1956, tiene como señas de identidad el compromiso con la calidad, la innovación y la independencia. SENER acude a BCN Rail como una empresa de ingeniería integral, capaz de llevar a cabo proyectos en cualquier parte del mundo y con un prestigio reconocido por afrontar trabajos tecnológicamente complejos, donde aporta valor añadido, en cualquier área de la ingeniería civil, desde puertos y aeropuertos a transporte ferroviario, carreteras y edificación singular.

Línea de alta velocidad ferroviaria Figueras - Perpiñán

Uno de los ejemplos más recientes de ingeniería integral de SENER es el proyecto de la línea internacional de alta velocidad Figueras - Perpiñán. En este importante proyecto transfronterizo, SENER es responsable de una línea completa desde su concepción inicial hasta su puesta en marcha, algo al alcance de muy pocas empresas en el mundo.

SENER ha prestado su ayuda en trabajos que abarcan desde el desarrollo de los proyectos hasta las últimas fases de pruebas de la línea. Son trabajos en todas las especialidades técnicas: plataforma a cielo abierto, estructuras, túnel, electrificación de la línea, instalaciones de seguridad de la circulación y comunicaciones, seguridad en túneles y, además, la coordinación técnica y de interfaces entre todos los aspectos del diseño. En concreto, como empresa integrante del equipo de diseño de este importante proyecto, SENER desempeña la dirección y coordinación técnica del grupo en los proyectos básicos y de ejecución de los distintos tramos. Además, interviene en el proyecto de la 'Plataforma Lado España', en el proyecto del túnel del Pertús y en el proyecto de todas las instalaciones ferroviarias y no ferroviarias (electrificación, señalización y comunicaciones, puestos de mando, vía, instalaciones de seguridad, etc.) del túnel. Además, SENER ha sido la responsable de la supervisión de los trabajos del tramo de obras exteriores del lado español, que han incluido la Boca Sur del túnel, el túnel pro-

piamente dicho y, posteriormente, las instalaciones de la línea, tanto ferroviarias como no ferroviarias, de seguridad en el túnel.

Una obra histórica

Con una longitud total de 44,4 km, de los que casi la mitad transcurren por territorio español, la línea Figueras-Perpiñán franqueará los Pirineos por el túnel del Pertús, de 8,4 km. El proyecto supone una inversión en torno a los 1.125 millones de euros, de ellos 575 millones subvencionados al 50% por los Estados español y francés. Se trata de una obra histórica en la que se ha cuidado especialmente la integración en el entorno, protegiendo el medio ambiente (las poblaciones de flora y fauna, zonas de ribera, agua...) y minimizando el efecto barrera que pudiera ocasionar una infraestructura de estas características, mediante viaductos, pasos superiores e inferiores, cuatro falsos túneles, una ubicación estudiada de zonas de acceso y plataformas, etc. ■■

Ingeniería integral de proyectos internacionales

SENER lleva a cabo proyectos en cualquier parte del mundo, en un proceso de diversificación geográfica que ha sido una de las claves de su éxito. La empresa es hoy en día una de las primeras ingenierías civiles del mercado internacional, con proyectos en América Latina, América del Norte, Europa del Este, Norte de África y Oriente Medio, principalmente, además del mercado nacional, que sigue siendo su mercado prioritario.

En estos momentos, SENER consolida mercados que ahora mismo tienen un fuerte crecimiento y donde la empresa ha abierto divisiones, como Polonia, México, EE UU, Argentina, Portugal, Argelia y Emiratos Árabes Unidos. Desde todas estas oficinas se llevan a cabo proyectos de ingeniería ferroviaria para distintos puntos del planeta, como el metro de Lisboa, el metro de Oporto, la nueva red del Metro de Bogotá, el metro de Argel, el tranvía de Orán o el metro de Dublín, entre otros.

Ingeniería multidisciplinar en Argelia

En Argelia, SENER tiene una fuerte presencia en importantes proyectos de ingeniería ferroviaria. Entre los más importantes, la empresa ha llevado a cabo los estudios de ampliación de la línea 1 del metro de Argel, para la empresa pública del metro de Argel, EMA (Entreprise Metro d'Alger), que consisten en la redacción de los anteproyectos y proyectos básicos de las infraestructuras (túneles, viaductos y estaciones), así como de todos los sistemas necesarios para su funcionamiento (vía, energía, señalización, comunicaciones e instalaciones electromecánicas). Han sido más de 9 km de línea por todo el centro de la ciudad. SENER también ha sido responsable de la línea de tranvía de Orán, el proyecto más ambicioso que se acomete en esta ciudad, la segunda en importancia de Argelia, con una población de más de 1.200.000 habitantes. A estos trabajos se suman otras actuaciones en transporte urbano como el estudio de viabilidad del tranvía de Ouargla, una ciudad ubicada en el sur del país, en pleno desierto argelino. En ferrocarriles, SENER ha realizado el proyecto de diseño del corredor ferroviario Saida - Moulay Slissen, de 120 km de longitud, con cuatro estaciones de pasajeros y tres de mercancías, así como cinco viaductos. Se trata de uno de los principales proyectos ferroviarios del país, para la que Société Nationale des Transports Ferriviaries (SNTF) ha confiado en SENER. También ha sido responsable de un importante proyecto de duplicación y modernización de las instalaciones del tramo de la línea ferroviaria Annaba/Ramdane Djamel, una línea de 90 km de longitud, 40 km de duplicación y 50 km de nuevo trazado, que cuenta con dos túneles, cuatro estaciones y 14 viaductos, además de tres pasos inferiores y 18 pasos superiores. Es un proyecto de gran complejidad técnica



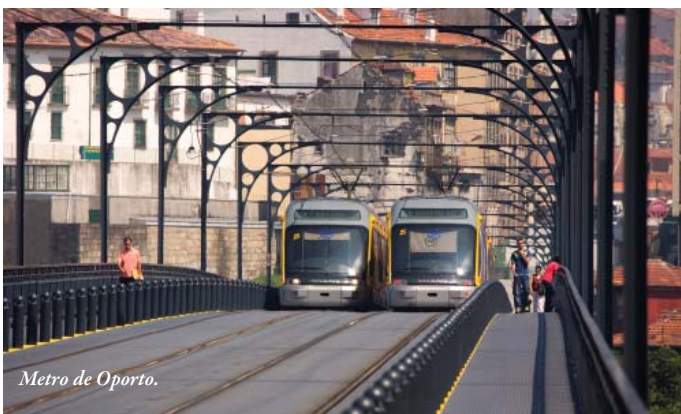
Infografía de la estación de Saida-Moulay Slissen.

en el que SENER lleva a cabo también el proyecto de plataforma preparada para posterior electrificación, el proyecto de superestructura de vía y el proyecto de situaciones provisionales con mantenimiento del tráfico existente. Estos trabajos se suman a otras actuaciones de SENER en Argel, como los estudios para la renovación de la catenaria y subestaciones a 3.000 VCC existentes en la Línea Minera del Este de Argelia, que representó 360 km de catenaria. Igualmente, SENER resultó seleccionada para integrar la nueva sociedad de explotación para la mejora del sistema de cercanías que conecta la ciudad de Argel y sus alrededores.

Ingeniería multidisciplinar en Portugal

También Portugal es otro mercado donde SENER ha llevado a cabo importantes obras ferroviarias, como el metro de Lisboa y el metro de Oporto. Este último proyecto recibió en 2008 el premio *Light Rail Award/2008-Best New System* de la UITP (Unión Internacional del Transporte Público). En metro de Oporto, SENER ha estado presente en todas las fases del proyecto, desde los estudios básicos hasta la puesta en marcha. Actualmente, SENER sigue trabajando en este proyecto, prestando asistencia técnica de la construcción de la segunda fase. En el metro de Lisboa, SENER llevó a cabo la gestión integral de la construcción de la Expansión de Metro de Lisboa (PER II), así como del Plan de Expansión I, y los anteproyectos de la primera Expansión de la Red del Metropolitano de Lisboa (PER I), además de varios proyectos constructivos, entre otros trabajos.

A estos proyectos se suman otros de la envergadura de la nueva red de Metro de Bogotá, que SENER ha desarrollado en consorcio con otras empresas, y que ha consistido en el diseño conceptual de la red de metro y el diseño operacional, así como el dimensionamiento legal y financiero de la primera línea de metro, en el marco del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP). Esta línea de metro supone la modernización de la ciudad de Bogotá. ■■



Metro de Oporto.

Arquitectura de estaciones: integración de líneas de alta velocidad y cercanías en centros urbanos

Las estaciones ferroviarias han contado tradicionalmente con una óptima ubicación en el centro de las ciudades, que garantizaba un acceso cómodo a los usuarios. La creciente expansión de las líneas de alta velocidad y de las líneas de cercanías en la red de transporte ferroviario ha supuesto una importante adaptación de las estaciones, mediante nuevos pasillos ferroviarios que llegan hasta el corazón de las ciudades. SENER cuenta con una amplia experiencia en numerosos estudios y proyectos de integración del ferrocarril de alta velocidad y cercanías en grandes ciudades, lo que le permite abordar con plena garantía de éxito las múltiples dificultades que deben afrontarse y resolverse a la hora de proyectar una nueva actuación urbana de estas características.

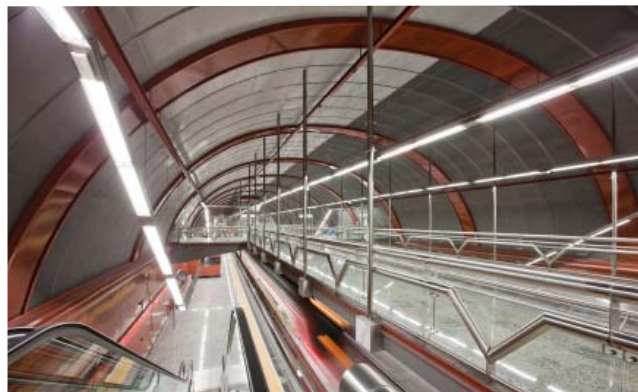
SENER ha sido responsable de algunas obras recientes de gran envergadura en España, como la Estación Central de Valencia, una obra de la línea de alta velocidad Madrid-Valencia, donde se adoptan soluciones enterradas frente a soluciones en superficie, lo que plantea complicaciones de tipo constructivo, que afectan no sólo al diseño estructural sino también a la definición de las fases de obra. La Estación Central de Valencia cuenta con dos niveles soterrados, uno para alta velocidad y otro para regionales y cercanías, de seis vías cada uno, y un túnel pasante bajo el casco histórico de la ciudad de aproximadamente 5 km de longitud. En este tipo de proyectos, la construcción debe desarrollarse con especial cuidado para que puedan mantenerse los servicios ferroviarios, al mismo tiempo que se tratan problemas de afecciones a bienes y servicios en superficie, accesos a viviendas, comercios y otros edificios, instalaciones o infraestructuras de diversos usos, etc.

Cabe destacar otros proyectos similares como el acceso de alta velocidad a Barcelona en la Estación de Sants, en el que la nueva línea de alta velocidad comparte corredor con las líneas ferroviarias de ancho ibérico y con las líneas 1 y 5 del metro. También de estas características es el acceso a la estación de Logroño y el acceso a la estación de Abando (Bilbao). La estación de Logroño es parte del proyecto de

integración del ferrocarril en la ciudad, que realiza SENER en UTE con otras empresas. La nueva estación está compuesta por una nave de andenes subterránea y un edificio vestíbulo en superficie, que se integrará con la futura estación de autobuses.



Interior de la Estación Central de Valencia.



Estación de Cercanías de Sol. © Ministerio de Fomento.

Un caso también singular lo encontramos en estaciones de líneas de cercanías en el corazón de las ciudades, como la estación de Cercanías de Sol. De gran complejidad técnica, ubicada en el corazón de Madrid, se ha resuelto satisfactoriamente con una caverna excavada en suelo que es la mayor del mundo y cuya arquitectura ha resultado en una estación extremadamente diáfana, muy clara y cómoda para los usuarios. Por último, SENER también ha sido responsable de la nueva estación ferroviaria de Burgos, que integra diferentes anchos de vía. En su configuración final, la estación dispondrá de cuatro vías de ancho internacional y dos vías de ancho ibérico y servirá tanto para tráficos de alta velocidad como para los de línea convencional. Estos son sólo varios ejemplos en una larga lista de proyectos de arquitectura de infraestructuras del transporte.

En este campo, la sinergia arquitectura – ingeniería ha sido uno de los elementos diferenciales de SENER, un valor añadido que es reconocido por los clientes. ■■



Estación de Burgos, vista general.

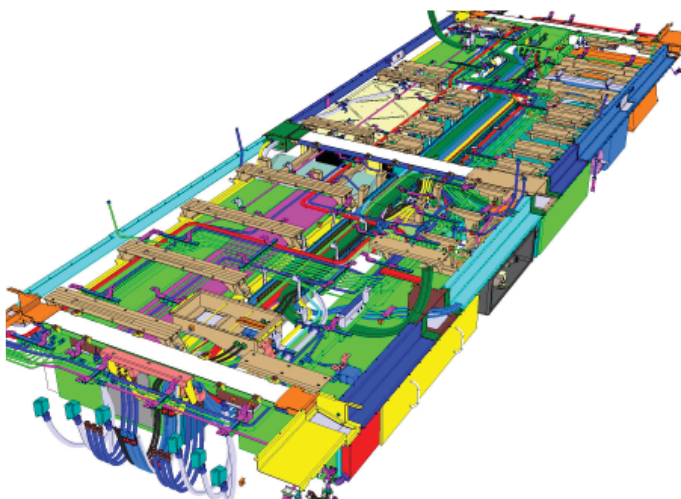
Diseño de material rodante e integración de sistemas

El diseño de material rodante ferroviario ha tomado mucha relevancia en el conjunto de actividades de diseño de vehículos que desarrolla la Sección Mecánica de SENER. En la actualidad, existen diversos proyectos en curso de cálculo, diseño, integración de instalaciones y sistemas y predicción acústica que ponen de manifiesto la calidad, el conocimiento y la flexibilidad de un grupo muy heterogéneo de profesionales, capaz de realizar la ingeniería conceptual y de detalle de prácticamente cualquier área de un tren, un metro o un tranvía.

Los grupos de trabajo se agrupan en las siguientes disciplinas: Instalaciones, Cálculo y diseño de estructuras, Interiorismo y Acústica. Cada grupo de trabajo cuenta con responsables técnicos que, coordinados por el director de proyecto, dirigen al equipo de profesionales de SENER e interactúan con el constructor en un proceso de ingeniería concurrente para cumplir los exigentes plazos establecidos de entrega de documentación. Los equipos se dimensionan en función del alcance del proyecto, lo que proporciona a los clientes una gran flexibilidad a la hora de afrontar los trabajos y cumplir con los objetivos de coste y planificación. El grupo de Instalaciones se encarga del desarrollo de las instalaciones de los diferentes sistemas del vehículo: sistemas eléctrico, neumático, ventilación, combustible, refrigeración y contra incendios, entre otros. En una primera fase de ingeniería básica, se estudia la disposición óptima de los aparatos principales, cumpliendo con los requisitos de distribución de pesos, operabilidad y mantenimiento; luego tiene lugar la fase de ingeniería de detalle, en la que se diseña la soportería, tubería y canalizaciones, y se definen todos los componentes mecánicos que formarán parte de los sistemas. Asimismo, el grupo de Instalaciones realiza el cálculo, el diseño, la construcción de maquetas a escala y la toma de datos en campaña de ensayos de las instalaciones de ventilación y refrigeración. El grupo de Cálculo y Diseño de Estructuras utiliza las herramientas informáticas como NASTRAN, PAMCRASH y ABAQUS Explicit para la realización de simulaciones y análisis de casos de carga estáticos, inerciales y de fatiga. Los resultados de dichas simulaciones permiten a los constructores cumplir con la normativa vigente de integridad estructural y resistencia al choque, así como realizar un diseño óptimo de la estructura en lo que se refiere a



Metro de Madrid: nuevas unidades de gálibo ancho. Cortesía de CAF.



Instalaciones bajo bastidor de una unidad de metro.

seguridad pasiva, reducción de peso, predicción del comportamiento a fatiga y reducción de uniones soldadas, atornilladas y remachadas.

El grupo de Interiorismo realiza el diseño conceptual y de detalle de los acabados interiores y exteriores de la sala de pasajeros y cabina, y materializa en ellos los diseños estéticos llevados a cabo por los gabinetes de estilo que han sido seleccionados por los constructores. Cada nueva serie se personaliza de acuerdo con los requerimientos estéticos de los operadores que adquieren el material rodante. Por ello, la armonización de componentes, la integración de sistemas y la selección de procesos y materiales es clave para conseguir un interior atractivo y que cumpla las nuevas exigencias en seguridad contra incendios dentro del marco europeo, tal y como se recoge en la especificación técnica CEN/TS 45545, de reciente aprobación.

El grupo de Acústica está a cargo del área de predicción acústica de ruido interior y exterior en material rodante, disciplinas que son de vital importancia para asegurar el confort del pasajero. Los ingenieros llevan a cabo su actividad en el transcurso del proyecto de desarrollo, asesorando y proponiendo mejoras para minimizar, desde el principio, el impacto acústico en la sala de pasajeros, así como la emisión de ruido al exterior. Para ello, se utilizan técnicas de simulación específicas, muchas de las cuales han sido desarrolladas por SENER, que se complementan con campañas de ensayo de las unidades en vía para la correlación numérica y la corroboración de los resultados.

SENER aúna en el equipo de proyecto las áreas tecnológicas que se han descrito anteriormente, con profesionales de distintas disciplinas que, bajo las directrices del director de proyecto, trabajan conjuntamente y de manera flexible para asegurar la consecución de los objetivos técnicos, económicos y de plazos acordados con el constructor. ■■

Utilización de materiales compuestos en el sector ferroviario

El mercado ferroviario muestra una tendencia creciente en la utilización de materiales compuestos. En este contexto, SENER está apostando por la inversión en investigación, desarrollo e innovación en tecnologías de fabricación de este tipo de material y en su aplicación a la industria ferroviaria.

El extenso abanico de posibilidades que SENER ofrece en el campo de los materiales compuestos se refleja en la apuesta por un amplio espectro de líneas de investigación y de actuación, que abarca desde el diseño, el cálculo y la simulación de elementos estructurales hasta el desarrollo de nuevos procesos de fabricación adecuados para su aplicación a la industria ferroviaria. En la aeronáutica, los 'composites' se han impuesto para fabricar piezas de estructura primaria, gracias a sus prestaciones, sus cualidades de ligereza y su flexibilidad de forma. La resistencia a las variaciones climáticas, el aislamiento térmico y acústico, y la resistencia al fuego



Máquina de conformado 'Hot Drape Forming'.

son también ventajas muy apreciables. En el sector ferroviario, el objetivo de los desarrollos de los futuros trenes de alta velocidad estriba, más que en aumentar la velocidad, en alcanzar mayores prestaciones. Una de las ventajas que ofrecen los materiales compuestos es el ahorro en peso, con la consiguiente disminución del consumo energético y, por lo tanto, del nivel de emisiones. Como ejemplo, en el proyecto AVI 2015 de CAF, un proyecto de investigación para desarrollar los ferrocarriles en el futuro, en el que SENER participa en el diseño de la estructura, se han investigado materiales compuestos para cabinas, suelos y motores. Asimismo, como parte de su estrategia empresarial, TALGO ha puesto en marcha el proyecto de unidad móvil AVRIL, capaz de circular a velocidades cercanas a los 360 km/h. Este objetivo, técnicamente muy ambicioso, precisará de la

adopción de todo tipo de soluciones innovadoras que permitan alcanzar las mencionadas velocidades, entre las que se incluye la aplicación de materiales compuestos. El Área de Ingeniería de Materiales Compuestos de SENER tiene a su disposición, desde el último trimestre de 2009, un conjunto de medios en el estado del arte para la investigación de los diferentes procesos de fabricación de piezas en material compuesto. En primera instancia, dispone de una prensa 'hot drape forming' o de conformado en caliente y de una máquina extrusora de tecnología de 'pultrusión'. El objetivo primario deberá ser el estudio de técnicas avanzadas de producción económicamente sostenibles para su utilización en el sector ferroviario, con foco en procesos fuera de autoclave. Una segunda vía de investigación es la mejora de las tecnologías de fabricación de preformas textiles secas con dos objetivos básicos: el primero, conseguir geometrías complejas y, el segundo, mejorar los procesos de apilado que actualmente tienen un alto número de operaciones manuales. Dichas preformas se utilizan como refuerzo y posteriormente son moldeadas mediante procesos de inyección o infusión de resina. SENER cuenta con el apoyo del CTAE (Centre de Tecnologia Aeroespacial) así como del INTEXTTER (Instituto de Investigación Textil y Cooperación), que se encuentra en el campus de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) en Terrassa, lugar en el que SENER ha inaugurado un laboratorio de materiales compuestos. Además, SENER dispone de una serie de áreas de apoyo necesarias para establecer tanto las características como la verificación de los procesos anteriores, como la caracterización de materiales, los métodos de análisis de diseño, cálculo y simulación, y los ensayos mecánicos. El Área de Ingeniería de Materiales Compuestos dispone de programas de modelización y cálculo estructural y realiza la simulación de impactos que, en materiales compuestos, es uno de los problemas más complejos que hay que resolver. ■■

Modelado y predicción acústica de ruido interior y exterior

El grupo de Acústica de SENER viene realizando con éxito diversos proyectos de modelado y predicción acústica de ruido interior y exterior en material rodante. Dichos programas se llevan a cabo en estrecha relación con el constructor, lo que permite tener en cuenta aspectos acústicos en la fase de desarrollo de las nuevas unidades. SENER ha realizado proyectos para todo tipo de material rodante: metro, tranvía, tren regional, alta velocidad...

SENER utiliza su propia metodología semi-empírica, que combina las herramientas de simulación avanzada de que dispone con la toma de datos durante la campaña de ensayos. Muchas de las herramientas informáticas que se utilizan fueron desarrolladas específicamente por el grupo de Acústica. En líneas generales, los trabajos realizados pueden agruparse en estudios acústicos de las nuevas unidades y pruebas acústicas preliminares en vía. El estudio acústico de las nuevas unidades comienza con el análisis de la configuración de partida y, seguidamente, se lleva a cabo la toma de datos sobre las unidades de referencia. Los datos de aislamiento y fuentes de ruido que se van a considerar, recabados durante la campaña de mediciones, servirán para el modelado y predicción acústica conceptual de las nuevas unidades. Las modificaciones acaecidas en el diseño se incorporan en los modelos acústicos, de manera que dichos modelos reflejen, en cada momento, el

estado actualizado del desarrollo. Los resultados de la predicción acústica realizada, basándose en los modelos actualizados, se ponen en conocimiento del constructor. En el caso de que SENER haya detectado que existe posibilidad de rebasar los niveles acústicos que se han fijado como objetivo, la empresa efectúa recomendaciones de actuación.

SENER lleva a cabo también el seguimiento de los proveedores implicados para comprobar el correcto cumplimiento de los requerimientos acústicos asociados a los elementos que se van a suministrar y advertir de las posibles desviaciones con la máxima antelación posible. Asimismo, se elaboran especificaciones acústicas que tendrán que respetar los proveedores de elementos y subsistemas. ■■



Identificación de fuentes sonoras mediante un array de micrófonos.

Cálculo estructural y seguridad pasiva

SENER desempeña un importante papel en el diseño y la ingeniería de vehículos, en proyectos con los principales constructores de los sectores ferroviario, del automóvil y de vehículos especiales. Sus principales áreas de conocimiento son el diseño, el cálculo y la simulación, y la ingeniería de fabricación.

En cálculo y simulación, gracias a la experiencia acumulada en los numerosos programas de desarrollo de automóviles en los que ha participado, SENER posee un extenso conocimiento en cálculo estructural, seguridad pasiva y protección de ocupantes. Dichas capacidades se aglutinan en el grupo de Cálculo de la empresa, que viene realizando en los últimos años un proceso de transferencia de conocimiento al sector ferroviario, entre otros. En particular, se utiliza el conocimiento tanto de las exigentes normas de seguridad del automóvil como de las de impacto frontal y lateral (Euro NCAP), protección de ocupantes (FMVSS 210U, ECER21...) y protección de peatones (Euro NCAP).

Existen dos campos de actividad en el área de cálculo para material rodante: cálculo estructural y seguridad pasiva. En el área de cálculo estructural se verifica que los vehículos diseñados soportan las cargas funcionales a las que serán sometidos durante su vida útil. Para ello, se calculan diversos casos estáticos e inerciales según la normativa vigente, principalmente EN 12663 y UIC. Asimismo, las avanzadas herramientas de cálculo empleadas permiten optimizar las estructuras atendiendo a criterios diversos, como son el peso, en vehículos de alta velocidad, o el número de puntos de soldadura, en el caso de vehículos de acero. En el área de seguridad pasiva, SENER analiza tanto la integridad estructural de la caja como la protección de los ocupantes. Desde este punto de vista, la estructura ha de ser capaz de disipar la mayor parte de la energía del impacto, de manera que el pulso de deceleración transmitido a los pasajeros y miembros de la tripulación sea reducido. Para ello, las estructuras han de poder colapsarse de forma controlada y progresiva, de modo que se asegure el espacio de supervivencia de los ocupantes. Existen varias normas internacionales como la británica GM/

RT2100 Railway Group Standard, la norma TSI (Technical Standards for Interoperability) y la norma europea EN 15227.

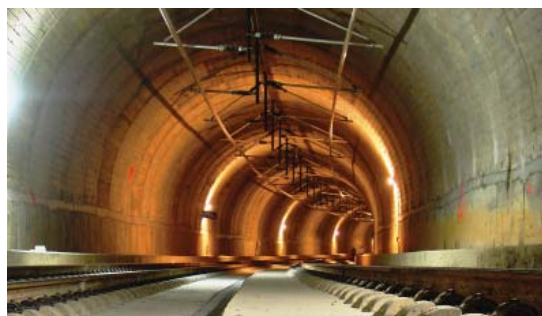
Una de las disciplinas con más proyección en el sector ferroviario dentro del área de la seguridad pasiva es la protección de los ocupantes. No existe aún ninguna normativa operativa, la única referencia es la AV/ST9001 del Reino Unido, creada por la Association of Train Operating Companies (ATOC), cuyo propósito es asegurar un cierto nivel de seguridad para los ocupantes. Pese a que esta norma, de momento, sólo es referencia en el Reino Unido, está sentando las bases para desarrollar una futura regulación europea que cubra este ámbito. Dicha normativa establecerá nuevos criterios de diseño estructural y de interiores que tendrán el fin último de minimizar los daños sufridos por los pasajeros. Estos nuevos criterios tendrán por objeto reducir la deceleración resultante del choque, reducir la distancia de vuelo libre del pasajero, minimizar los impactos sobre partes del cuerpo vitales y disipar la energía de tales choques. En el área de protección de los ocupantes, SENER realiza estudios y mejoras del 'layout' y cálculos de impacto, según las configuraciones más comunes, como son las colisiones contra asientos, contra mesas y contra pupitre. Además, lleva a cabo ensayos experimentales para la correlación numérica de las simulaciones, tanto de material como de componente o del propio escenario de choque. Fruto de estos análisis, SENER es capaz de diseñar una nueva generación de acabados interiores y nuevos conceptos. En materia de protección de pasajeros, el sector ferroviario debe seguir los pasos dados ya por el del automóvil, y llevar a cabo desarrollos que consideren las diferencias de tamaño de los ocupantes, su posición sobre el asiento y su edad. El objetivo debe ser encontrar el balance entre confort, seguridad y resistencia estructural al choque. ■■

Túneles, un reto de ingeniería

Una obra subterránea es siempre una obra singular, que requiere una prospección detallada del terreno durante la fase de proyecto, y aun así siempre depara sorpresas. SENER cuenta con equipos técnicos de túneles con gran experiencia en proyectos tanto dentro como fuera de España.

Entre los principales trabajos de SENER en este campo destacan el túnel del Pertús, de 8,5 km de longitud, dentro de la línea de alta velocidad Figueras-Perpiñán, donde ha sido responsable del diseño y la supervisión de los trabajos del tramo de obras exteriores del lado español, que han incluido la Boca Sur del túnel, el túnel propiamente dicho y, posteriormente, las instalaciones de la línea, tanto ferroviarias como no ferroviarias de seguridad en el túnel; el proyecto de los túneles de Pajares, un túnel bitubo de 25 km, que lo convierte en el segundo túnel ferroviario más largo de España y uno de los más largos del mundo. SENER es responsable del proyecto de detalle de las estructuras internas de los túneles: paseos laterales de evacuación y mantenimiento, sistemas de drenaje y sifones cortafuegos, cableado de energía, comunicaciones, etc., así como las obras de edificación y urbanización exterior en las bocas, además de llevar a cabo proyectos de seguridad y protección civil; el trazado del túnel de la

línea de alta velocidad Barcelona-Madrid comprendido entre La Torrassa y Sants, de XX km, encajado en el corredor ferroviario, muy constreñido



Túnel de la línea Madrid - Barcelona, en el tramo La Torrassa-Sans

por los condicionantes urbanos, lo que presenta un gran desafío a la ingeniería civil. En la ejecución de este túnel se plantean tres métodos constructivos (belga, austriaco y entre pantallas) en función de los condicionantes geotécnicos, estructurales, hidrológicos y de subsidencia del entorno edificado. Por último, cabe mencionar también el nuevo túnel que comprende el proyecto constructivo del nuevo eje pasante de la Red Arterial Ferroviaria de Valencia, de 9 km de extensión, que permitirá habilitar un extremo de entrada y

otro de salida en la futura Estación Central de Valencia. La actual Estación del Norte que dará paso a la nueva Estación Central funciona en fondo de saco, con un único acceso de entrada y salida. En todos estos proyectos, SENER trabaja sobre los principios de la calidad, el respeto al medio ambiente y la seguridad de los trabajadores. ■■

La innovación, presente en los proyectos de ingeniería civil de SENER

SENER es una empresa de ingeniería de referencia en proyectos complejos, con una importante carga tecnológica, donde puede aportar valor añadido. Su 'know-how' se beneficia de su carácter multidisciplinar, que trabaja en todos los campos de la ingeniería y puede transferir conocimiento de unas áreas a otras. En ingeniería ferroviaria, se establecen colaboraciones entre los equipos de arquitectura, los equipos de ingeniería civil y la División de Ingeniería Aeroespacial, que integra un Departamento de Aeronáutica y Vehículos. Además, SENER cuenta con sus propias secciones técnicas, de túneles, de instalaciones ferroviarias... Todo ello le permite ser una empresa líder en I+D+i.

La ingeniería civil requiere una inversión cada vez mayor en I+D para poder posicionarse en el mercado. SENER, que tiene como uno de sus valores fundacionales el compromiso con la innovación, invierte un 10% de sus horas de trabajo anuales en I+D+i, un esfuerzo que queda patente en los proyectos de innovación de ingeniería civil: SENER lleva a cabo la modelización de grandes obras de infraestructura y visualización en su entorno real; ha desarrollado programas internos, como un software de simulación de marcha de los trenes, que puede calcular el tiempo de circulación entre dos estaciones, la energía consumida, toda la genética del movimiento en cada momento, etc., y otro de cálculo de la red de tracción de un sistema ferroviario, capaz de dimensionar toda la red de tracción eléctrica de una línea. También lleva a cabo la vectorización semiautomática de mapas y la fusión de imágenes-generación de mosaicos. Además, se están llevando a cabo proyectos de innovación con el ADIF, como IF Zone, relacionado con las subestaciones eléctricas de nueva generación, y el proyecto Aurigidas, con el que se continúa estudiando el fenómeno de vuelo de balasto en las líneas de alta velocidad. Este último es un ejemplo de colaboración entre la División Aeroespacial y la de Ingeniería Civil: forma parte de una serie de estudios aerodinámicos relacionados con la alta velocidad ferroviaria, estudios de detección de viento lateral, efectos en túneles o vuelo de balasto, que desarrolla conjuntamente secciones de ambas divisiones, aplicados en varias líneas de alta velocidad en España, y en la internacional Figueras-Perpiñán.

Un ejemplo de ingeniería multidisciplinar

En 2008, el Premio a la Innovación de SENER, un galardón interno que reconoce cada año uno o varios proyectos destacados por su aportación y esfuerzo en I+D, recayó en el proyecto 'Estudio y simulación de los efectos aerodinámicos con influencia en la explotación de las líneas de alta velocidad ferroviaria'. El premio fue concedido por las innovaciones de un equipo multidisciplinar, integrado por profesionales de secciones de ingeniería civil y de ingeniería aeroespacial, en torno al estudio de los efectos aerodinámicos de la circulación ferroviaria en alta velocidad. Este trabajo analiza en profundidad las incidencias y posibles soluciones en cuatro aspectos que impactan en la seguridad del transporte ferroviario de pasajeros: los efectos del viento lateral, la modelización de la circulación en túnel, la estimación de los esfuerzos sobre las distintas instalaciones en el interior de un túnel y el fenómeno de despegue del balasto de las vías. El proyecto aporta soluciones para cada uno de los efectos aerodinámicos comentados. Así, hoy es una realidad el sistema de protección contra el viento lateral desarrollado por SENER, pionero en España, que ha sido implantado en el tramo Madrid-Lérida de la línea de alta ve-



Sistemas de predicción de vientos laterales.



Estudio del fenómeno de vuelo de balasto para ADIF, proyecto Aurigidas.

locidad Madrid-Barcelona. Los programas de SENER TRENSEN1 y TRENSEN2, aceptados por el ADIF, modelizan el comportamiento aerodinámico de la circulación de trenes en el interior de los túneles, mientras que los trabajos realizados acerca de las presiones a las que están sometidos los diferentes elementos dentro de un túnel permiten hacer estimaciones certeras. Finalmente, en cuanto al fenómeno del levantamiento del balasto, se ha empleado un sistema de anemometría neumática para la medición de los perfiles de velocidades sobre las vías, lo que facilitará la comprensión del proceso de movimiento del balasto y a partir de cuyos resultados se podrá identificar el problema y definir las medidas que hay que implementar para su solución.

Otro gran proyecto de innovación liderado por SENER ha sido el proyecto CATdBTren, que pretende reducir el exceso de vibraciones y de ruido que generan las infraestructuras ferroviarias en las ciudades y que afectan a un número creciente de habitantes. Para ello, se lleva a cabo una investigación sobre este problema que permita concebir un nuevo diseño de superestructura y sistema de fijación de bajo impacto vibratorio, así como desarrollar un software de predicción de vibraciones para infraestructuras ferroviarias. Además, recientemente la empresa ha comenzado a desarrollar estudios sobre el comportamiento estructural de los vehículos ferroviarios en caso de choque para CAF, conforme a la norma 'UNE-EN 15227:2008 Aplicaciones ferroviarias. Requisitos de resistencia a la colisión para cajas de vehículos ferroviarios'.

Todos estos trabajos son ejemplos de innovación de SENER en ingeniería civil. En el futuro, la empresa está convencida de que habrá que seguir invirtiendo en I+D; tanto en arquitectura, con edificios cada vez más inteligentes e integrados en su entorno, como en infraestructuras ferroviarias, pues las líneas serán cada vez más rápidas, conectarán más puntos del planeta y serán internacionales. Habrá que dimensionar líneas para velocidades superiores a las actuales para que, dentro de unos años, cuando sea posible alcanzar dichas velocidades, las infraestructuras estén preparadas. En SENER se trabaja en la actualidad para hacer de ese futuro una realidad. ■■

Alta velocidad ferroviaria, con la firma de SENER

La presencia de SENER en proyectos de alta velocidad ferroviaria ha sido constante desde el año 1991, cuando desarrolló el primer gran contrato, el estudio informativo de la línea Madrid-Barcelona. Hoy en día su presencia abarca todo el territorio nacional, con proyectos destacados como el tramo Minglanilla-Villargordo del Cabriel en la línea Madrid-Valencia, el tramo La Torrassa-Sants en la línea Madrid-Barcelona o el proyecto integral del tramo transfronterizo Figueras -Perpiñán, donde por primera vez SENER es responsable de una línea completa de alta velocidad hasta su puesta en marcha.

En estos proyectos, SENER es capaz de seguir todo el ciclo de vida, desde que comienza a ser una idea hasta la operación comercial. Al igual que en ferrocarril convencional y transporte urbano, en alta velocidad puede ofrecer servicios de planificación, como son estudios de demanda, estudios económicos y estudios preliminares; anteproyectos; servicios de ingeniería civil para trazado, túneles, viaductos, excavaciones; equipos ferroviarios para vía, catenaria, señalización, comunicaciones, subestaciones; estudios especiales, como estudios aerodinámicos, de ventilación, y sistemas de comunicación bidireccional vía satélite para trenes de alta velocidad; y también labores de apoyo a la puesta en servicio y a la explotación. Además, SENER realiza proyectos de arquitectura de estaciones y cuenta con capacidades en material rodante.

Entre las principales referencias de SENER en alta velocidad están: el proyecto, asistencia y control de las obras de ejecución del tramo Torrassa-Sants de la línea Barcelona-Madrid para ADIF; el proyecto y control de obra de la plataforma de alta velocidad del tramo Min-

glanilla – Villargordo del Cabriel del nuevo acceso ferroviario Madrid-Levante para ADIF; el estudio previo y proyecto constructivo de la línea Lisboa-Madrid, en el tramo Lisboa-Montemor-o-Novo; los proyectos básicos y constructivos de las bases de montaje y zonas asociadas de acopio intermedio de balasto en la línea Madrid-Castilla La Mancha-Comunidad Valenciana-Región de Murcia, en los tramos Madrid-Cuenca-Valencia y Motilla del Palancar-Albacete; el proyecto constructivo y dirección de obra para la construcción de la concesión de la nueva línea de alta velocidad entre Figueras y Perpiñán para TEP, así como el proyecto constructivo de las instalaciones de Telemando de Energía para el tramo Barcelona-Figueras de la línea Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa y el estudio informativo del proyecto; y el control y vigilancia de las obras en el Eje Atlántico de alta velocidad, tramo Vigo-Das Maceiras (Pontevedra).

Hoy en día, SENER tiene en su haber una experiencia en alta velocidad ferroviaria al alcance de muy pocas empresas en el mundo. ■

Línea de alta velocidad Madrid-Castilla La Mancha-Comunidad Valenciana-Región de Murcia, tramo Minglanilla-Villargordo del Cabriel, donde SENER ha sido responsable tanto del proyecto como de la asistencia técnica a obra.

