

Técnica Industrial 330

Ciudades sostenibles

ESTUDIO TÉCNICO Y CONTEXTUAL DE LAS PRENSAS DE HUSILLO

de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz de Riópar (Albacete)

PROTOTIPO DE LA MÁQUINA DE VAPOR CORNISH

Análisis, diseño y fabricación

AVANCES EN LA SIMULACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Mediante mecanismos de impacto de chorro

SISTEMA DE TRANSPORTE RÁPIDO PERSONAL

Compatible con infraestructura ferroviaria actual y evaluación de su potencial aplicación en el Metro de Madrid

DISEÑO DE UN ESTIMADOR BASADO EN REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Para caracterizar la frenada de un vehículo

REPORTAJE

Ciudades sostenibles: el futuro de las urbes verdes y tecnológicas

INNOVACIÓN

Virante, el vehículo eléctrico disruptivo que propone un cambio en la movilidad urbana

ENTREVISTA

Marifrán Carazo, consejera de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía habla sobre la "Revolución Verde"

Plan Ingenia el futuro

Ahora más que nunca, la unión hace la fuerza



FORMACIÓN online de COGITI



PORTAL DE LICITACIONES EUROPEAS



SOFTWARE TÉCNICO



NORMAS UNE PARA FABRICACIÓN EPIS (descarga gratuita)



REVISTA TÉCNICA INDUSTRIAL en abierto



CUESTIONARIO



INFORMACIÓN ACTUALIZADA



ACREDITACIÓN DPC Ingenieros



WEBINAR Y TV EDUCATIVA



ACTUACIONES SOLIDARIAS COLEGIOS



YOUNG ENGINEERS



CLUB COGITI



EN PORTADA Ciudades sostenibles

12 Ciudades sostenibles: el futuro de las urbes verdes y tecnológicas En las últimas décadas, el mundo ha experimentado un crecimiento urbano sin precedentes. Hace 50 años, solo un tercio de los habitantes residía en ciudades. Hoy en día esta cifra asciende al 55%, y está previsto que en los próximos 30 años suba hasta el 70%. Ante esta realidad, lograr que las ciudades sean lugares cada vez más eficientes, pero también más habitables y sostenibles, es clave para el planeta y la humanidad.

Mónica Ramírez

20 ENTREVISTA Francisco Morcillo Balboa Consultor, blogger y CEO de MB3 Gestión (desarrollo de ciudades y territorios inteligentes): "Hay que trabajar para que la ciudad del futuro sea inteligente, sostenible, y neutra en carbono". *M. R.*

24 ENTREVISTA Marifrán Carazo Villalonga Consejera de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía: "En Andalucía tenemos en marcha una Revolución Verde que se está aplicando en todos los ámbitos". *M. R.*

26 ENTREVISTA Joan Ribó Alcalde de Valencia: "Nuestra aspiración es hacer de València, en 2030, una ciudad resiliente ante el cambio climático". *M. R.*

Foto de portada: Shutterstock.

ACTUALIDAD

04 Virante, el vehículo eléctrico disruptivo que propone un cambio en la movilidad urbana El ámbito de la movilidad es un factor fundamental a la hora de abordar las actuaciones encaminadas a lograr una ciudad sostenible. Por ello, cada vez son más numerosas las iniciativas empresariales que ponen el foco en la movilidad sostenible, y en el desarrollo de innovaciones y tecnologías para adaptarse a las nuevas necesidades y desafíos.

Mónica Ramírez

08 Contribución del transporte ferroviario subterráneo a la sostenibilidad de las ciudades Diseñado como una infraestructura para liberar la congestión de tráfico y permitir una movilidad masiva de la población, el metro lleva recorriendo los subterráneos de los grandes núcleos urbanos desde la segunda mitad del siglo XIX. El proyecto europeo MyRailS, en el que participa Metro de Madrid, tiene como objetivo desarrollar la infraestructura metrológica para la implementación de una gestión energéticamente eficiente de los sistemas ferroviarios y subterráneos europeos.

Marita Morcillo

Técnica Industrial Revista cuatrimestral de ingeniería, industria e innovación revisada por pares. www.tecnicaindustrial.es

Directora: Mónica Ramírez Helbling

Secretario de redacción: Enrique Soriano Heras (Universidad Carlos III de Madrid). **Consejo de redacción:** Alessandro Ruggiero, Petr Valášek, Juan Antonio Monsoriu, Rubén Puche Panadero, Roberto D'Amato, Manuel Islán Marcos, Jesús Manuel García Alonso, Higinio Rubio Alonso y Fernando Blaya Haro. **Consejo asesor:** Jorge Arturo Ávila Rodríguez (México), Manuel Campo Vidal (España), Nuria Martín Chivelet (España), Sara Nauri (Reino Unido), Jerry Westerweel (Holanda).

Redacción, administración y publicidad: Avda. Pablo Iglesias, 2, 2º. 28003 Madrid. Tel: 915 541 806 / 809. revista@tecnicaindustrial.es

Impresión: Monterreina. C/ Cabo de Gata, 1-3, Área empresarial Andalucía 28320 Pinto, Madrid.

Depósito legal: M. 167-1958 **ISSN:** 0040-1838. **ISSN electrónico:** 2172-6957.

ARTÍCULOS

28 ORIGINAL
Estudio técnico y contextual de las prensas de husillo de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz de Riópar (Albacete)

Technical and contextual study of the screw presses in the Royal Factories of San Juan de Alcaraz de Riópar

Miguel A. Sebastián Pérez, Juan Claver Gil, Marta Vera Prieto, Lorenzo Sevilla Hurtado y Aurora Galán Carretero



36 ORIGINAL
Análisis, diseño y fabricación del prototipo de la máquina de vapor Cornish

Analysis, design and manufacture of the Cornish steam engine prototype

María Pérez Viedma, Rafael López García, Eloisa Torres Jiménez, Rubén Dorado Vicente, Alberto García-Collado



46 ORIGINAL
Avances en la simulación de la transferencia de calor mediante mecanismos de impacto de chorro

Advances in the simulation of heat transfer with impinging jet mechanism

Francisco-Javier Granados-Ortiz, Joaquín Ortega-Casanova

60 ORIGINAL
Sistema de transporte rápido personal compatible con infraestructura ferroviaria actual y evaluación de su potencial aplicación en el Metro de Madrid

Personal rapid transport system compatible with current railway infrastructure and evaluation of its potential application in Metro de Madrid

Rubén Oliva Domínguez, Miguel Fernández Muñoz, Ignacio Valiente Blanco, Efrén Díez-Jiménez



70 ORIGINAL
Diseño de un estimador basado en redes neuronales artificiales para caracterizar la frenada de un vehículo

Design of an estimator based on artificial neural networks to characterize the braking of a vehicle

María Garrosa, Ester Olmeda, Susana Sanz Sánchez, Vicente Díaz



INGENIERÍA Y HUMANIDADES

93 Publicaciones

94 INGENIEROS EN LA HISTORIA Gustave Eiffel, el ingeniero que dio luz a París

Rosa Lerma y Laura Álvaro



PROFESIÓN

03 Editorial Los ingenieros en el centro de los ODS

Ana Jáuregui Ramírez

82 ENTREVISTA Ángel Rodríguez Lagunilla Ingeniero

Técnico Industrial y Presidente de IVECO España: "El rol del ingeniero es esencial para mejorar la competitividad de nuestras fábricas".

Mónica Ramírez



84 ENTREVISTA Alfonso Guerra González Ex vicepresidente del Gobierno de España y perito industrial: "Los Ingenieros Técnicos han contribuido con sus conocimientos y trabajo a la modernización del país".

Mónica Ramírez



85 El INGITE critica que la reforma universitaria no responde a las necesidades de la sociedad

86 Estudiantes de ingeniería demuestran su talento en la gran cita universitaria del motor

Dar visibilidad al talento, las competencias y habilidades de los estudiantes de ingeniería, en un sector tan importante como el de la automoción, es el objetivo del gran proyecto que el Colegio Oficial de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales de Madrid (COGITIM) ha puesto en marcha. El pasado mes de junio arrancaba toda la maquinaria, con la presentación de los prototipos de los once equipos universitarios madrileños, que estaban listos para competir en Fórmula Student y Moto Student, las competiciones internacionales donde rivalizan las universidades más prestigiosas del mundo.



88 COGITI y CGE presentan el informe "Desarrollo sostenible de la pyme en España"

88 NetCOGITISE 2021 abrió la Semana Europea de la Movilidad en Sevilla

90 ENTREVISTA Marco Antonio Marcos Ingeniero Técnico Industrial en el Real Instituto y Observatorio Astronómico de Marina (San Fernando, Cádiz): "Los ingenieros somos indispensables para enfrentarnos a los retos de la humanidad".

M. R.



92 ENTREVISTA Sara García Álvarez Fundadora de empresa de diseño y fabricación de prototipos, y piloto profesional de motociclismo: "Emprender es durísimo, pero merece muchísimo la pena".

M. R.



96 Engineida, la plataforma participativa de la UAITIE



Técnica Industrial Fundada en 1952 como órgano oficial de la Asociación Nacional de Peritos Industriales, es editada por la Fundación Técnica Industrial, vinculada al Consejo General de la Ingeniería rama industrial e Ingenieros Técnicos Industriales de España (Cogiti).

Fundación Técnica Industrial

Comisión Permanente

Presidente José Antonio Galdón Ruiz

Vicepresidenta Ana M^a Jáuregui Ramírez

Secretario Jesús E. García Gutiérrez

Tesorero Fernando Blaya Haro

Interventor José Luis Hernández Merchán

Vocales Antonio Miguel Rodríguez Hernández y Angélica Gómez González

Gerente Santiago Crivillé Andreu

Patronos

Unión de Asociaciones de Ingenieros Técnicos Industriales de España (UAITIE), Cogiti y Colegios de Ingenieros Técnicos Industriales, representados por sus decanos:

A Coruña Macario Yebra Lemos

Álava Alberto Martínez Martínez

Albacete Emilio Antonio López Moreno

Alicante Antonio Martínez-Canales Murcia

Almería Francisco Lores Llamas

Aragón Enrique Zaro Giménez

Ávila Samuel Gavilán López

Badajoz Vicenta Gómez Garrido

Illes Balears Juan Ribas Cantero

Barcelona Miquel Darnés i Cirera

Bizkaia Alberto García Lizaranzu

Burgos Agapito Martínez Pérez

Cáceres Fernando Doncel Blázquez

Cádiz Domingo Villero Carro

Cantabria Enrique González Herbera

Castellón José Luis Ginés Porcar

Ciudad Real José Carlos Pardo García

Córdoba Francisco López Castillo

Gipuzkoa Santiago Beasain Biurrarena

Girona Jordi Fabrellas Payret

Granada Fernando Terrón Bote

Guadalajara Juan José Cruz García

Huelva Manuel León Gómez

Jaén Rafael Fernández Mesa

La Rioja Jesús Vellilla García

Las Palmas José Antonio Marrero Nieto

León Miguel Ferrero Fernández

Lleida Ramón Grau Lanau

Lugo Jorge Rivera Gómez

Madrid José Antonio Galdón Ruiz

Málaga José B. Zayas López

Manresa Àngel Vilasarau Soler

Región de Murcia César Nicolas Martínez

Navarra Luis Maestu Martínez

Ourense Santiago Gómez-Randulfe Álvarez

Palencia Jesús de la Fuente Valtierra

Principado de Asturias Enrique Pérez Rodríguez

Salamanca José Luis Martín Sánchez

S. C. Tenerife Antonio M. Rodríguez Hernández

Segovia Gabriel Vallejo Álvarez

Sevilla Ana M^a Jáuregui Ramírez

Soria Levy Garjo Tarancón

Tarragona Antón Escarré Paris

Toledo Ángel Carrero Romero

Valencia Angélica Gómez González

Valladolid Rafael Álvarez Palla

Vigo Jorge Cerqueiro Pequeño

Vilanova i la Geltrú Xavier Jiménez García

Zamora Jose Luis Hernández Merchán

Los ingenieros en el centro de los ODS

Estamos asistiendo a un cambio de paradigma. A una nueva realidad que pone en el centro de todas las conversaciones temas que antes estaban relegados a ámbitos técnicos. La sostenibilidad, la ciberseguridad, el consumo energético y la movilidad eléctrica, entre otros asuntos, ocupan titulares de periódicos de tirada nacional, televisión, conversaciones en puertas de colegios y preocupaciones en distintos ámbitos familiares y sociales.

El creciente interés por estos temas eleva a la ingeniería a profesión esencial y en el punto de mira. De pronto, y al fin, la gente empieza a saber qué hace un ingeniero. Empieza a ponerse nombre a la profesión y la formación que hay detrás de un tren, una industria o un nuevo avance de aparatología médica. La pandemia y la crisis sanitaria, así como los preocupantes datos de la crisis climática, han creado una situación de clímax de emergencia, pero también de comunidad, en la que problemas superiores a los personales son compartidos por la comunidad internacional, donde compartimos problemas y compartimos responsabilidad.

Vivimos en un mundo hiperconectado, en el que cada vez las profesiones y los profesionales tienen que estar no solo más formados, sino también más integrados en equipos multidisciplinares para poder dar respuesta de manera eficaz a los retos actuales. Los proyectos de carácter privado y empresarial han comenzado a tomar un matiz de interés común integrándose en cadenas de valor, en las que las empresas tienen que responder ante los alarmantes datos de emisión de gases de efecto invernadero. Lo tienen que hacer porque sin ellas no hay futuro y porque también así lo exigen las directrices europeas y, por lo tanto, los países miembros. Así, y ante esta nueva realidad que nos acompaña desde hace unos años y que ya veníamos anunciando desde nuestro Consejo General, Cogiti, en cualquier tejido empresarial tiene cabida un ingeniero. Su figura es crucial durante los procesos de mitigación y adaptación frente al cambio climático. Estos asuntos han sido abordados recientemente en la Cumbre del Clima de Glasgow, en la que se ha puesto de manifiesto que es 'la última oportunidad para salvar el planeta'.

El mundo, tal y como lo conocemos ahora, va a cambiar. Ya está cambiando. A todo esto, se le une la Quinta Revolución industrial que tenemos por delante, y que, junto a las dificultades de conservación del medio ambiente, la crisis energética y los problemas de seguridad, que plantea la hiperconectividad, conforman una extensa batería de retos a los que hay que hacer frente de manera decidida y directa, sin fisuras. En este punto, cabe destacar la importancia no solo de nuestro colectivo para liderar esta transición, sino la de nuestro país. En España hay talento. Tenemos que aprovecharlo. Los políticos tienen que dar un paso adelante facilitando herramientas que permitan aprovechar nuestro potencial humano, y no permitir que nos quedemos a la cola de Europa. La formación y calidad de nuestros ingenieros es reconocida internacionalmente, y es ahí donde reside la clave para afincarnos en la vanguardia.

Los Colegios Profesionales por nuestra parte asumimos la responsabilidad de ser eje de distintos colectivos profesionales en continua transformación y crecimiento, que precisan de



Ana Jáuregui Ramírez

nosotros ser guía, respaldo y referencia, ante un mundo laboral con normativas, legislaciones y objetivos que cambian a un ritmo vertiginoso. Nuestras funciones también se han multiplicado. Estar colegiado cada vez se aleja más de ser un simple trámite administrativo, para convertirse en una herramienta indispensable de trabajo, en un sello de calidad y en una garantía de formación continua y excelencia.

A su vez, los Colegios Profesionales también trabajamos entre nosotros para plantear acciones conjuntas entre colectivos necesarias para el progreso. Valga como ejemplo, el barómetro industrial que cada año nuestro Consejo General (COGITI) presenta junto al Consejo General de Economistas de España. El pasado año se centró en el impacto económico de la COVID-19 en las empresas. Ante nuevas situaciones, nuevas acciones y nuevas líneas de trabajo; contribuyendo así a mostrar cuál es la situación real de nuestro país de la mano de los profesionales.

Es cierto que nos encontramos ante una era convulsa, en cambio y con la suficiente dosis de incertidumbre como para no dejarnos descansar del todo ni un minuto. Pero también estamos viviendo un momento de oportunidad y de reconfiguración. Como dijo el presidente de COGITI, José Antonio Galdón, en el acto de entrega de Insignias a los nuevos colegiados de COGITISE: "Estamos de moda. Para todo se necesita un ingeniero. Los ingenieros estamos de moda y no podemos desaprovechar esta oportunidad".

Pues precisamente ahí es donde decidimos qué papel jugamos, cuando estamos en el ojo del huracán. Decidir si estás ante una crisis o una oportunidad te definirá como persona, como profesional y como ingeniero. Y hoy, en este texto, como representante de los ingenieros técnicos industriales sevillanos y como vicepresidenta de nuestro Consejo General, os emplazo a todos los lectores de este editorial a empoderarnos y disfrutar de estar en la profesión en el momento oportuno: este.

Ana Jáuregui Ramírez

Vicepresidenta del Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España y de la Fundación Técnica Industrial, y decana de COGITISE

Virante, el vehículo eléctrico disruptivo que propone un cambio en la movilidad urbana

El ámbito de la movilidad es un factor fundamental a la hora de abordar las actuaciones encaminadas a lograr una ciudad sostenible. Por ello, cada vez son más numerosas las iniciativas empresariales que ponen el foco en la movilidad sostenible, y en el desarrollo de innovaciones y tecnologías para adaptarse a las nuevas necesidades y desafíos

Mónica Ramírez

En España destacan interesantes proyectos, como el que han puesto en marcha el fabricante automovilístico Tecnovelero y Arcamo Controls S.A. Se trata de un proyecto conjunto para el desarrollo de Virante, el primer vehículo eléctrico de Tecnovelero, y estará propulsado por hidrógeno. El trabajo de ambas compañías es desarrollar una pila de combustible y un depósito de hidrógeno para poder impulsar el vehículo Virante.

Los máximos responsables de Tecnovelero y Arcamo Controls S.A. (compañía especialista en tecnologías relacionadas con el hidrógeno, con sede en Madrid), Javier Lavernia y Gerard Aragonés, respectivamente, coinciden en la necesidad de "alinearse todos los proyectos desarrollados hacia una orientación 100% sostenible y capaz de cubrir, ya actualmente, las necesidades de un país donde las energías verdes serán clave". Con esta colaboración, ambas compañías pretenden que el hidrógeno sea un vector energético que, sumado a la electricidad, facilite una movilidad sostenible.

Javier Lavernia, CEO de Tecnovelero, es el fundador e impulsor de este proyecto, como profesional que cuenta con décadas de experiencia en las principales marcas del sector del automóvil, entre las que se encuentran Ford, Mazda, Jaguar, Volvo, Land-Rover, Volkswagen, Seat, Peugeot, Citroën o Vauxall. Este ingeniero apasionado por la automoción, la electrificación de la movilidad y el desarrollo de soluciones para la movilidad urbana, lidera este proyecto innovador desde la ciudad de Tarragona.

Tecnovelero es una empresa tecnológica orientada a actividades de I+D+i y al desarrollo de proyectos tecnológicos de alto valor añadido. Creada a finales de 2018 en un vivero de empresas, con un capital inicial de 20.000€ que permitiera establecer la empresa como star



Equipo de Tecnovelero.

tup tecnológica y acceder a los diversos programas tecnológicos del Ministerio de Ciencia y Tecnología, actualmente se ha especializado en el campo de la automoción y la movilidad urbana sostenible, segura y conectada.

"Nosotros apostamos por un nuevo paradigma de la movilidad, con el fin de ofrecer soluciones y alternativas que encajen con las nuevas necesidades de los ciudadanos, y con las demandas sociales de un entorno más sostenible, ofreciéndoles más espacio, con un modelo de circulación más inteligente, fluido, seguro y conectado. Nuestro principal proyecto, el coche eléctrico y de hidrógeno Virante, nace para vivir en un tiempo de cambios como el actual", explica Javier Lavernia.

Tecnovelero cuenta en la actualidad con más de una decena de empleados, entre los que se encuentran ingenieros mecánicos, mecatrónicos, electrónicos y eléctricos, y de diseño, así como per-

sonal de gestión y dirección. Sin embargo, la empresa seguirá creciendo en los próximos años, y el escalado de personal directo pasa por 19 posiciones en 2022, 51 en 2023 y 80 en 2024.

La empresa se caracteriza por desarrollar proyectos y tecnología que promuevan una nueva movilidad urbana más sostenible, eficiente, inteligente, segura y conectada. "Esto no solamente se consigue a través del desarrollo de productos que faciliten dicha meta, como vehículos para el transporte de personas o mercancías. Hay que ir más allá, y encontrar las fórmulas que permitan objetivos más ambiciosos. El *carsharing*, por ejemplo, lleva tiempo en esa línea", indica.

El vehículo Virante, y las fórmulas asociadas a su uso, representan un nuevo modelo de movilidad sostenible. "Su objetivo es generar valor y desarrollo entre los ciudadanos y organizaciones donde se implante, durante todo su



Proyecto del vehículo Virante.

ciclo de vida (desde su fabricación hasta su reciclaje), siendo los principales beneficiados las personas que habitan en el entorno urbano y reduciendo la huella de carbono en la logística asociada”, señala Lavernia.

Innovación made in Tarragona

El proyecto ha comenzado su andadura en Tarragona, y como asegura el CEO de Tecnovelero a *Técnica Industrial*, la voluntad de la empresa es apostar por el talento humano y los recursos del entorno. “En este sentido, más allá de tener la sede laboral en la ciudad de Tarragona, las colaboraciones de la compañía se extienden por el territorio más próximo. Y lo hacen a través de entidades como la Universitat Rovira i Virgili o el Eurecat (Centro Tecnológico de Catalunya), o la empresa IDIADA, entre otros, y en diferentes etapas aseguran la correcta consecución de los proyectos”, afirma.

Además, el proyecto Virante, en línea con las iniciativas relacionadas con el hidrógeno verde que han de transformar la economía española en los próximos años, cuenta con diferentes colaboraciones de organismos públicos de investigación (OPI), que ayudarán a impulsar el proyecto. Por ejemplo, en él participará el Centro Nacional del Hidrógeno, ubicado en Puertollano (Ciudad Real), organismo impulsado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Este centro está plenamente dedicado al desarrollo de tecnologías relacionadas con el hidrógeno, y colaborará en el proyecto aportando apoyo, equipo técnico e investigador cualificado, así como laboratorios y un centro de experimentación.

El marco de desarrollo para el primer prototipo está fijado para 2024, y a continuación se desarrollará su industrialización

También tendrán una participación destacada organismos como Eurecat, el Centro Tecnológico de Cataluña, aportando conocimiento en el sector de la automoción, y el ente participado por el CSIC Liftec (Laboratorio de Investigación en Fluidodinámica y Tecnologías de la Combustión), especialista en mecánica de fluidos, como el hidrógeno. En una fase final del proyecto, también colaborará la empresa Applus Idiada, para la homologación de los vehículos resultantes.

Tecnologías únicas de Virante

Virante pretende incorporar tecnologías únicas en el sector automovilístico, que están en proceso de protección y patente. Se trata de una propuesta de valor en un contenido vehículo de 2,5 metros, capaz de alojar cómodamente a 2 usuarios de talla alta (1.95m), desde 300 hasta 1.000 litros de maletero, peso ultrarreducido, potencias entre 4 y 40 kW, y una autonomía sobre 300 Km.

Los desarrollos tecnológicos para crear la pila de combustible, alimentada por hidrógeno que impulsará los diferentes motores eléctricos del nuevo Virante, permitirá que el vehículo pueda configurarse con potencias que van desde los 4 a los 25 kilovatios. Además, se produciría una versión de altas capacidades con un

motor de 40 kilovatios pensada para tareas pesadas o para el ámbito rural. Esta versión contaría con un alto volumen de carga de hasta 1.000 litros de capacidad, y se equiparía con llantas y neumáticos *all track*, además de soluciones técnicas para utilizar el vehículo en el ámbito del trabajo. Con ello, la nueva tecnología permitiría llenar el depósito de hidrógeno en pocos minutos a través de una red de abastecimiento.

El vehículo ha sido validado e impulsado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) con una financiación por valor de proyecto de 315.192 euros. Unos recursos que se destinarán a continuar con la I+D+i de la empresa, a través de la contratación del personal para las siguientes fases de desarrollo del proyecto, desde la proyección a escala 1:1 del vehículo eléctrico hasta la industrialización del mismo.

Fase final de desarrollo

El proyecto se encuentra en la fase final de desarrollo. “Ya presentada la versión a escala 1:5, totalmente funcional, estamos desarrollando el primer vehículo a escala 1:1 en nuestra sede de Tarragona. A partir de ahí, nuestro objetivo es fabricar una serie Beta de 30 unidades máximo, gracias al apoyo e interés de empresas como Mail Boxes, que aboga por la descarbonización de su parque móvil, a la cual esperamos que se unan más organismos e instituciones. Dichas unidades ayudarán a apalancar el proyecto hacia la fabricación en serie de Virante, y hacia el desarrollo de fórmulas de movilidad asociadas al uso de vehículo, con el objetivo final de aportar nuestro granito de arena hacia la electrificación e hidrogenización de la movilidad”, explica Javier Lavernia.

En cuanto a la proyección de Virante, según comenta el CEO de Tecnovelero, actualmente está focalizado en el mercado de la península ibérica, “desarrollando inicialmente el *Business to Public Administration* (B2PA), en nuestro afán de otorgar mayor protagonismo a los ciudadanos, empoderándolos con vehículos más lógicos a su definición de uso: más pequeños que para faciliten el tránsito y aparcamiento, con versatilidad de uso... Virante ha sido directamente conceptualizado, diseñado y desarrollado para ello”.

Los siguientes mercados que abordarán son el B2B Flotas, “que también requiere de descarbonización debido a la legislación municipal y a la implantación de zonas de bajas emisiones, y a la ne-



Javier Lavernia, CEO de Tecnovelero.

cesidad de incorporar vehículos lógicos e inteligentes en el reparto de última milla, por ejemplo. B2B Custom, adecuado a las necesidades de cada negocio y B2B Retail, llegando al cliente final. B2C, el cliente final que desee tener un medio de transporte seguro, polivalente y económico que cumpla con sus expectativas de uso”, asegura Lavernia.

En este sentido, desde Tecnovelero explican que han realizado estimaciones aproximadas en base a hechos contextuales. “Por un lado, creemos que los actuales vehículos de 4 metros no cumplen con el compromiso de la nueva movilidad urbana: son pesados, ineficientes, con motores desmesurados, de adquisición costosa y normalmente solo los ocupa un usuario la mayor parte del tiempo. También creemos que los clientes finales tenderán a la movilidad compartida como uso referente, y con la propia adquisición de un vehículo de precio reducido que cumpla con sus necesidades. Para ello, Tecnovelero debe crecer en su división de servicios de movilidad con la incorporación de inversores que aporten valor y sinergias al proyecto, y nos permita poder ofrecer hasta 25.000 unidades/año en el 2024”, destaca.

De este modo, el marco de desarrollo para el primer prototipo está fijado para

Tecnovelero buscará la colaboración con las administraciones y otros entes para la creación de hidrogeneras e hidrolineras

2024, y a continuación se desarrollará la industrialización del mismo: “Cada día es un reto diferente, ya que afrontamos la coyuntura actual del mercado de la inmediatez; pero en todo caso, seguimos la planificación inicial de Tecnovelero: ser una empresa de carácter tecnológico que desarrolla productos y servicios para los ciudadanos”.

Y añade que los retos que están abordando actualmente son la profesionalización del equipo tecnológico de desarrollo, el crecimiento del equipo de movilidad, la capacidad de adaptación a un entorno cambiante y la búsqueda de financiación futura, que asegure su crecimiento e implantación de las soluciones que ofrecen, tras la homologación, en sus diferentes etapas, distribución, fuerza de ventas y *Customer Service* principalmente.

“Afrontamos 2021-2022 con el reto de consolidar la plantilla, de hasta 14

empleados, y crecer ordenadamente hasta los 80 planificados para 2024. Más allá de los desarrollos tecnológicos necesarios para la creación de un vehículo impulsado por una pila de hidrógeno, otro de los objetivos del proyecto, y en base a la versión todoterreno de Virante, es llevar la movilidad sostenible y limpia a todas las comunidades del Estado español”, subraya el CEO de Tecnovelero. Por ello, se buscará la colaboración con las administraciones y otros entes para la creación de estaciones de producción de hidrógeno (las llamadas hidrogeneras), asociadas a la generación de energía verde, y estaciones de abastecimiento de hidrógeno (hidrolineras), en primer lugar, en el ámbito rural de diferentes comarcas de la provincia de Tarragona.

Por último, los CEO de ambas compañías, Lavernia y Aragonés, señalan que “relacionado con el conjunto del proyecto Virante, iniciado en el año 2018 como vehículo 100% eléctrico, algunas empresas y administraciones del territorio ya han mostrado interés por el vehículo, con el fin de estudiar la integración de éste en algunas de sus flotas. Hay acuerdos y acuerdos que llevamos con discreción y que, de dar sus frutos, serán un gran paso hacia una movilidad sostenible en España”.



DRIVEN BY POSSIBILITY™

GATES POWERGRIP™ GT4™ ELEVA SU CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN A UN NIVEL SUPERIOR



Si funciona, podemos ayudarle a que funcione todavía mejor. PowerGrip™ GT4™ de Gates se ha diseñado con lo último en avanzada tecnología y ciencia de materiales. Esta nueva correa de **elastómero de etileno** aporta la **mayor capacidad de transmisión de potencia** ofrecida por una correa de su clase.

VENTAJAS:

- **MAYOR CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA:** para una amplia gama de usos
- **MAYOR RANGO DE TEMPERATURA DE USO:** entre -40°C y +120°C
- **SIN MANTENIMIENTO:** no requiere lubricación ni retensado

PowerGrip™ GT4™ es ideal cuando se requiere **durabilidad y poco mantenimiento**. Las soluciones de Gates mejoran el tiempo de actividad, la eficiencia, la productividad, la fiabilidad y la seguridad en industrias de todo el mundo.

MÁS INFORMACIÓN



[GATES.COM](https://www.gates.com)

© GATES 2021 - Todos los derechos reservados.



Contribución del transporte ferroviario subterráneo a la sostenibilidad de las ciudades

Diseñado como una infraestructura para liberar la congestión de tráfico y permitir una movilidad masiva de la población, el metro lleva recorriendo los subterráneos de los grandes núcleos urbanos desde la segunda mitad del siglo XIX. El proyecto europeo MyRailS, en el que participa Metro de Madrid, tiene como objetivo desarrollar la infraestructura metrológica para la implementación de una gestión energéticamente eficiente de los sistemas ferroviarios y subterráneos europeos



Tren estacionado en una estación de Metro de Madrid. Foto: Shutterstock.

Marita Morcillo

En la actualidad, con más de doscientas redes de metro en todo el mundo, este medio de transporte se ha convertido en una pieza clave para abordar los grandes desafíos de las ciudades sostenibles: reduce el tráfico rodado, conecta a las personas y contribuye a que en las calles respiremos un aire de mejor calidad, en línea con los objetivos medioambientales para luchar contra la crisis climática.

El metro y la Agenda 2030

En 2015, la Asamblea General de la ONU adoptó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un plan de acción que contempla 17 objetivos y 169 metas a favor de las personas, el planeta y la prosperidad.

Aunque todos los ODS están interconectados, son dos, el 3 y el 11, los que están íntimamente ligados con la sostenibilidad de las ciudades.

En concreto, el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 3 se refiere a Salud y Bienestar y, dentro de este, la Meta 3.9 pretende reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo. Otra de sus metas es garantizar que todos los ciudadanos tengan acceso a sistemas de transportes seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos.

Por su parte, el ODS número 11 "Ciudades y Comunidades Sostenibles", tiene entre sus finalidades la de "reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo".

El pasado 7 de septiembre, en su mensaje con motivo del Día Internacional del Aire Limpio por un Cielo Azul, el se-

cretario de Naciones Unidas, António Guterres, explicó que nueve de cada diez personas respiran aire contaminado, situación que provoca anualmente siete millones de muertes prematuras, e indicó que esta cifra de fallecidos podría duplicarse de aquí a 2050 si no se tomaban las medidas necesarias para evitarlo.

Además, según datos de la ONU, más del 50% de la población mundial vive actualmente en zonas urbanas y, de seguir con el actual ritmo de crecimiento, en 2050 esta cifra habrá aumentado a 6.500 millones de personas, o lo que es lo mismo, dos tercios de la humanidad vivirá en ciudades.

En este contexto, la calidad del aire y la salud de la sociedad suponen un reto para las ciudades sostenibles. Es en este punto, donde el ODS 3 "Salud y bienestar" entronca con el ODS 11 "Ciudades y Comunidades Sostenibles".



Las instalaciones de ventilación pueden llegar a suponer el 40% del consumo energético del metro. Gracias al sistema de gestión inteligente, el ahorro energético es del 25% y se evita la emisión de 93 toneladas de CO₂ al año.

La superpoblación de los núcleos urbanos incrementa el número de desplazamientos por carretera, necesita mayor cantidad de edificios para vivir, trabajar o descansar y, como consecuencia, aumentan los consumos energéticos, una combinación de factores que merma la calidad del aire y la salud de las personas, especialmente en zonas urbanas que se encuentran en países en desarrollo, donde, según la ONU, se superan los niveles de contaminación atmosférica establecidos en las directrices sobre calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud.

En este escenario, el transporte público se presenta como una alternativa para afrontar los retos de las ciudades sostenibles y, entre todos los tipos, es el metro el que mejor cumple los ODS de la Agenda 2030. Un medio de desplazamiento rápido, asequible y seguro que, propulsado por la electricidad, recorre el subsuelo de las grandes poblaciones trasladando cada día a millones de viajeros, todo ello con bajas emisiones contaminantes.

Inversión eficaz a largo plazo

Según la Unión Internacional de Transportes Públicos (UITP), en 2017, los metros transportaron aproximadamente 53 mil millones de pasajeros en 178 ciudades. Considerando una ocupación promedio de 1,3 pasajeros por automóvil privado, los metros eliminan el equivalente a 133 millones de automóviles de las calles de las ciudades todos los días. Atendiendo a estos conceptos, el metro es un compromiso y una inversión eficaz a largo plazo para ofrecer ciudades sostenibles, resilientes e inteligentes.

Ingenierías subterráneas

Universidades, centros tecnológicos y empresas de ingeniería han creado todo un ecosistema multidisciplinar de investigación y desarrollo encaminado a superar los desafíos que plantea el cumplimiento de los ODS en el sector ferroviario subterráneo. En concreto, la previsión y la audacia en el campo de la ingeniería han encontrado su plasmación en este medio de transporte. Este esfuerzo investigador y tecnológico ha impulsado grandes avances que han entrado a formar parte

de las estrategias de sostenibilidad implantadas en el metro de muchas urbes en todo el mundo.

En 2013, el National Research Council (NRC), a solicitud de la National Science Foundation (NSF), llevó a cabo un estudio para identificar la investigación necesaria en el desarrollo de un metro sostenible en entornos urbanos y destacar el papel de la ingeniería subterránea.

El estudio, titulado "Ingeniería subterránea para el desarrollo urbano sostenible", concluyó que la construcción de las redes de metro y la necesidad de maximizar aspectos como su seguridad, la resiliencia, la escalabilidad o la eficiencia energética, entre otros, han puesto en alza el papel de los distintos campos de la ingeniería que intervienen en todo el ciclo de vida del subterráneo, desde la planificación y el diseño hasta el mantenimiento de las instalaciones.

Desde la electrificación de las locomotoras en las primeras décadas del siglo XX, eliminando los humos provocados por las primeras máquinas propulsadas por carbón o diésel, hasta la



En 2015 se implementó un sistema de recuperación de energía eléctrica, que permite un ahorro equivalente al consumo de, aproximadamente, 1.000 personas al año en la Comunidad de Madrid.

implementación de la digitalización o la inteligencia artificial, la ingeniería ha sido crucial para que las líneas de metro, ya de por sí sostenibles, se hayan convertido en esenciales a la hora de planificar y diseñar ciudades respetuosas con la salud de la sociedad y del medio ambiente.

Viajando por el planeta encontramos 219 ciudades que cuentan con un sistema de transporte ferroviario subterráneo, según los datos de la UITP correspondientes a julio de 2020, y en todos ellos podemos encontrar avances tecnológicos para reducir el impacto medioambiental. Sin irnos muy lejos, en España encontramos modelos que se han convertido en referentes de sostenibilidad a nivel internacional, como el Metro de Madrid, donde desde 2012 se está llevando a cabo una serie de actuaciones de ahorro y eficiencia energética que han contribuido en gran medida a mejorar la salud ambiental no sólo de la capital sino de toda la Comunidad de Madrid.

Metro de Madrid, referente de sostenibilidad

Obra de los ingenieros Otamendi, Echarte y Mendoza, Metro de Madrid nació en 1919 con la misión de establecer comunicaciones económicas y rápidas en una ciudad creciente, objetivos que siguen estando presentes un siglo después. Sin saberlo entonces, Metro de Madrid nació con la sostenibilidad en su ADN, llegando a nuestros días como una com-

pañía firmemente comprometida con su entorno, con la sociedad y con el medio ambiente.

Como firmante del Pacto Mundial de Naciones Unidas, la compañía pública Metro de Madrid ha diseñado una política de Responsabilidad Corporativa articulada en torno a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenibles establecidos por la ONU para cumplir los retos de la Agenda 2030.

En un marco de prestación de servicio público de viajeros, Metro de Madrid asume su política de Responsabilidad Corporativa apostando por el progreso económico y el desarrollo social y medioambiental, de ahí que desarrolle numerosos proyectos que contribuyen a mejorar la sostenibilidad no sólo de la compañía, sino también de Madrid y de los municipios a los que da servicio.

Planes de Ahorro y Eficiencia Energética

El Metro de Madrid ocupa el noveno puesto en el ranking mundial de longitud, con 294 kilómetros de vías que llegan hasta 12 municipios. Cada día lo utilizan 1,74 millones de pasajeros, lo que supone 626 millones de viajes al año. Dispone de 301 estaciones, 352 vestíbulos, 1.699 escaleras mecánicas, 515 ascensores y 30 pasillos y rampas rodantes. Con esta infraestructura, el consumo energético alcanzó 713.218.827 kWh/año en 2012, año en el que se implantó

el Plan de Ahorro Energético 2012-2017, con el que se consiguió en cinco años una reducción del 25%.

El PAE 2012-2017 permitió intervenir de forma global sobre todos los elementos del sistema ferroviario y crear sinergias entre el material móvil, las instalaciones, la distribución y la regeneración de energía para conseguir mayores beneficios.

Desde entonces, se han llevado a cabo numerosas iniciativas innovadoras para convertirse en uno de los metros más sostenibles del mundo, con un consumo energético un 50% inferior a la media de otros grandes metros.

Además de adaptar el 100% de su sistema de iluminación a la tecnología LED o de apostar por el uso de energías renovables, ya sea instalando paneles solares o adquiriendo electricidad con origen renovable certificado por la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, Metro de Madrid ha implantado avanzadas tecnologías que permiten recuperar el calor del subsuelo o aprovechar la energía producida por el frenado de los trenes. Hay que destacar que también ha impulsado y ha servido como entorno de experimentación para iniciativas de investigación, entre las que cabe destacar un proyecto para convertir el viento de los túneles en energía eólica.

Celdas reversibles o energía de frenado

Las celdas reversibles son unos equipos eléctricos que permiten extraer la energía generada en el frenado de los trenes y reutilizarla en servicios auxiliares de estaciones o en otro tipo de instalaciones, como máquinas expendedoras, luminarias, escaleras mecánicas o ventiladores.

Esta tecnología fue implantada de forma experimental en la estación Campo de las Naciones (Línea 8) durante un año, entre 2015 y 2016. Con una celda de 2 MW, la energía recuperada durante ese periodo se situó en torno a 1 GWh.

Los resultados fueron tan satisfactorios, que la empresa pública contrató en 2018 el suministro y la instalación de cuatro nuevos equipos recuperadores de energía, actuación que supuso una inversión de 1,2 millones de euros.

Dos años después, el suburbano ya cuenta con tres instalaciones operativas en las estaciones de La Peseta (línea 11), La Moraleja (línea 10B) y Hospital de Móstoles (línea 12). En agosto de 2021 ya estaba trabajando para que la



Prototipo de aerogenerador que, instalado en los conductos de ventilación, convierte los flujos de aire en energía eléctrica.

cuarta, en la estación de Barrio del Puerto (línea 7B), comenzara el periodo de pruebas con el objetivo de ajustar la instalación y proceder a su puesta en marcha definitiva.

El uso de las celdas reversibles implica un mayor ahorro, así como una menor contaminación y emisiones de CO₂, mejorando la calidad del medio ambiente. Por otra parte, la recuperación de energía de frenado evita que se incremente la temperatura ambiente en túneles y estaciones, aumentando el confort para los usuarios y reduciendo los recursos destinados a ventilación y climatización.

El proyecto de las celdas reversibles en Metro de Madrid está sirviendo como banco de pruebas a la iniciativa de europea de investigación MyRailS, que significa "Metrología para la gestión inteligente de la energía en los sistemas ferroviarios eléctricos", financiada por el programa Horizon 2020. Con un presupuesto de 2,5 millones de euros, el objetivo de MyRailS es desarrollar un marco metrológico y una infraestructura de medición para respaldar la adopción de tecnologías energéticamente eficientes en el sistema ferroviario y subterráneo europeo. Metro de Madrid, que participa en el proyecto, está brindando la oportunidad de realizar mediciones para evaluar costos y beneficios en términos de acciones futuras.

Ventilación inteligente

Las instalaciones de ventilación pueden llegar a suponer el 40% del consumo

energético de las estaciones. Dentro del Plan de Ahorro Energético 2012-2017, Metro de Madrid puso en marcha en 2013 un nuevo sistema de ventilación basado en la técnica del free-cooling o enfriamiento gratuito, consistente en la reprogramación informática de los equipos en el interior de los túneles para se pusieran en marcha cuando la temperatura fuera más adecuada, y el consumo energético más económico, manteniendo la salubridad y la calidad del aire en túneles y estaciones.

Previamente, la temperatura de los túneles había ascendido un promedio de 3 °C debido a las instalaciones de aire acondicionado en los trenes que, con un aire ya caliente, necesitaban consumir todavía más energía para refrigerar, agravando el problema.

Esta técnica extrae y filtra el aire del exterior para enfriar el metro, evitando la recirculación del aire caliente de retorno en los túneles. Al disminuir la temperatura de estos mediante el free-cooling, los trenes necesitan menos cantidad de energía para su refrigeración.

Como complemento a esta medida, en 2017 entró en funcionamiento un sistema de gestión inteligente de ventilación (GIV), que proporcionó un ahorro de entre el 15% y el 20% en el consumo energético de las estaciones.

El GIV es un sistema de inteligencia artificial basado en un algoritmo adaptativo que permite controlar de forma individualizada cada ventilador, teniendo en cuenta diversos criterios y variables,

como las características técnicas de los trenes que circulan por la red, el número de viajeros, la temperatura del aire o las tarifas eléctricas.

La monitorización y el control remoto del sistema permiten automatizar los procesos y facilitan el mantenimiento de las máquinas, optimizando el funcionamiento de los equipos de ventilación. De esta forma, aumenta el confort de los viajeros, con un menor coste energético y con un impacto medioambiental inferior, ya que se reducen las emisiones de CO₂ en 93 toneladas al año.

Proyecto de flujos de aire para generar energía eléctrica

En 2016, la empresa pública que gestiona el metro madrileño firmó un acuerdo de colaboración con una start up española para llevar a cabo un proyecto de investigación cuyo objetivo era desarrollar un prototipo de aerogeneradores que, instalados en conductos de ventilación, estaciones y túneles, pudieran producir energía eléctrica aprovechando las corrientes de aire generadas en el suburbano.

Se trataba de una tecnología escalable, flexible y adaptable a cualquier superficie, que no necesitaba estudios de impacto medioambiental ni grandes infraestructuras para su implantación. Los responsables del proyecto calcularon que con 100.000 aerogeneradores se podrían producir 250 kW al día.

La idea fue tan disruptiva, que en 2016 fue galardonada en los premios de la asociación Madrid Subterra, junto con otros 11 proyectos innovadores para la exploración y explotación del subsuelo urbano. En 2018, la start up recibió una subvención estatal para desarrollar un segundo prototipo más avanzado y ligero que el anterior, y recibió varias ofertas para implantar su tecnología en el metro de otras ciudades del mundo.

No están aquí todas las innovaciones tecnológicas que Metro de Madrid ha implantado en su siglo de historia, pero sí las más recientes para reducir los consumos energéticos y reducir las emisiones contaminantes. Los ejemplos se suceden en casi todas las subterráneos del mundo, desde los más antiguos, como el de Londres, que fue inaugurado en 1863, hasta los más recientes. Todos ellos demuestran que los servicios urbanos bajo tierra pueden ser diseñados para maximizar su contribución a las ciudades sostenibles.

Ciudades sostenibles: el futuro de las urbes verdes y tecnológicas

En las últimas décadas, el mundo ha experimentado un crecimiento urbano sin precedentes. Hace 50 años, solo un tercio de los habitantes residía en ciudades. Hoy en día esta cifra asciende al 55%, y está previsto que en los próximos 30 años suba hasta el 70%. Ante esta realidad, lograr que las ciudades sean lugares cada vez más eficientes, pero también más habitables y sostenibles, es clave para el planeta y la humanidad



Paisaje urbano del distrito comercial de la ciudad de Songdo (Corea del Sur), considerada como "la ciudad más inteligente del mundo". Foto: Shutterstock.

Mónica Ramírez

Las ciudades atraen a las personas como un imán, y es que las áreas metropolitanas son centros neurálgicos del crecimiento económico, ya que contribuyen al 60 % aproximadamente del PIB mundial. Sin embargo, también representan alrededor del 70 % de las emisiones de carbono mundiales y más del 60 % del uso de recursos.

Ya sea por las oportunidades laborales y profesionales que ofrecen, por la gran cantidad de servicios de toda índole accesibles de manera inmediata, por su amplia oferta de ocio y cultura, o por la gran actividad que se "respira" en sus calles, lo cierto es que las ciudades son verdaderos centros de vida que acogen en la actualidad a

cerca de 3.500 millones de personas, algo más de la mitad de la población mundial, según los datos aportados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Y esta cifra, lejos de decrecer, irá en aumento en las próximas décadas, ya que, en apenas 30 años, la ONU estima que las ciudades lleguen a albergar al 80% de la población mundial. Una cifra que no sorprende en absoluto, si tenemos en cuenta que en la actualidad ya hay países que han alcanzado ese porcentaje dentro de su territorio, como es el caso de España.

Desde 1950, nuestro país ha crecido en 27,7 puntos en población urbana, 6 puntos por encima de la media europea y más de 26 de la mundial, según el in-

forme *World Urbanization Prospects. The 2018 Revision*, de la ONU.

Ahora bien, a pesar de todas las ventajas que conlleva la vida en las ciudades, de sobra conocidas, esta intensa concentración de personas y el crecimiento desorbitado de las grandes urbes, también puede suponer una importante merma en la calidad de vida y un perjuicio para el medioambiente, si no se realiza una planificación urbanística sostenible al mismo nivel del gran desafío que las mega ciudades tienen por delante.

En este sentido, la ONU recuerda en su informe *Ciudades y cambio climático*, que las ciudades, a pesar de ocupar tan solo el 3% de la superficie terrestre, representan de media el 70% del con-



Madrid Río es un enorme pasillo verde construido con motivo del soterramiento de la M-30 a su paso por la zona del río Manzanares, en Madrid. Foto: Shutterstock.

sumo de energía global y son responsables de emitir el 75% de las emisiones de carbono.

Lograr un alto desarrollo sostenible es, por tanto, una meta fundamental en el presente y futuro de las metrópolis. Uno de los principales desafíos a los que se enfrentan es la contaminación. La Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) señala, en un reciente estudio, que las consecuencias para la salud que acarrea la contaminación, que producen principalmente los motores de combustión interna de los vehículos, acaba con la vida de 400.000 personas al año en los 28 países que componen la Unión Europea (UE), mayoritariamente por enfermedades como el cáncer o los problemas cardiovasculares.

Por ello, las ciudades desempeñan un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático, ya que pueden liderar la transición energética hacia un desarrollo bajo en carbono basado en la eficiencia y las energías renovables. Una ciudad sostenible es, en resumen, aquella que ha sabido integrar una serie de elementos: un paisaje urbano más verde, una reducción de las emisiones

de CO₂ para mejorar la calidad del aire, el impulso de las energías renovables para conservar y proteger los recursos naturales, la implementación con éxito de la movilidad sostenible y el uso del transporte público, y la apuesta por la economía circular, que incluye la gestión de los residuos y el reciclaje.

Sin embargo, una ciudad sostenible no es algo estático, sino que está en permanente construcción y adaptación. Por ello, no existe un solo modelo y cada ciudad ha de implementar sus propias soluciones, aunque las medidas que se adopten deben tener como punto de partida el equilibrio entre desarrollo y bienestar.

Elementos esenciales de una ciudad sostenible

En líneas generales, las ciudades sostenibles, para ser consideradas como tal, han de tener unos elementos esenciales en común:

- Acceso a recursos públicos básicos

De este modo, una ciudad sostenible ha de tener en cuenta el bienestar de los ciudadanos, y garantizar a sus habitan-

tes una red de servicios adecuados, que comprenden desde una educación de calidad, a unos centros de salud apropiados, un transporte público funcional y accesible para todos, un eficiente sistema de recogida de basuras y residuos, unos buenos niveles de seguridad y una buena calidad de aire, entre otros aspectos.

- Acciones de renovación urbana

La renovación del espacio público es fundamental, ya que la ciudad sostenible ha de tener como premisa la integración, no el aislamiento o la jerarquización. Esto implica la adecuación de calles, plazas, parques y del espacio urbano, en general. Asimismo, supone la conservación del patrimonio histórico-cultural y su incorporación a la ciudad moderna.

- Reducción de emisiones de CO₂

La reducción de CO₂ y de otros gases perjudiciales para la capa de ozono, tan nocivos para la salud de las personas como para el medioambiente, es uno de los indicadores más significativos a la hora de valorar el compromiso medioambiental de una ciudad. Para ello, es ne-



Las ciudades apuestan cada vez más por la sostenibilidad y por los corredores verdes urbanos, con una importante presencia de vegetación que une zonas naturales destacadas de la ciudad. Fuente: Iberdrola.

cesario implementar el uso de energías renovables, y promover una buena oferta de medios alternativos al transporte automovilístico en las ciudades, como bicicletas, trenes y autobuses eléctricos, etc. Y en el ámbito urbanístico, la adaptación de viviendas que promuevan el ahorro de agua y de energía.

- Reducir, reutilizar y reciclar

Sin duda, los programas de gestión de residuos basados en el reciclaje son fundamentales para la sostenibilidad de las ciudades. El objetivo no es sólo que sus habitantes clasifiquen las basuras y den una segunda oportunidad a algunos productos y enseres, sino que además se establezcan metas de producción de residuos, unido a una concienciación sobre la necesidad de llevar a cabo un consumo responsable que evite a su vez el uso desmedido de los recursos naturales.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Dada la importancia de las ciudades en todo el mundo, no es de extrañar que de las 169 metas que plantean en su conjunto los distintos Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) de la Agenda 2030, aprobada por la ONU en 2015, unas 110 están enfocadas a resolver desafíos en los entornos urbanos. Se trata de una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos.

La rápida urbanización trae implícitas numerosas dificultades y está ejerciendo presión sobre los suministros

de agua dulce, las aguas residuales, el entorno de vida y la salud pública. También se ha demostrado que repercute en el incremento de la contaminación atmosférica. Datos correspondientes al año 2016 revelan que el 90% de los habitantes de las ciudades respiraba aire que no cumplía las normas de seguridad establecidas por la Organización Mundial de la Salud, lo que provocó un total de 4,2 millones de muertes debido a la contaminación atmosférica; y más de la mitad de la población urbana mundial estuvo expuesta a niveles de contaminación del aire al menos 2,5 veces más altos que el estándar de seguridad.

En el nuevo visualizador de la calidad del aire urbano de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), las ciudades aparecen ordenadas de la menos a la más contaminada, según los niveles medios de partículas finas, o PM2,5, durante los dos últimos años naturales.

En 2019 y 2020, las tres ciudades de Europa con menor contaminación atmosférica fueron Umeå (Suecia), Tampere (Finlandia) y Funchal (Portugal), mientras que las tres más contaminadas fueron Nowy Sacz (Polonia), Cremona (Italia) y Slavonski Brod (Croacia).

De las 323 ciudades que recoge el citado visualizador, en 127 la calidad del aire se clasifica como buena (por debajo del valor guía de protección de la salud para exposición a largo plazo a PM2,5), que la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece en 10 microgramos por metro cúbico de aire (10 µg/m³).

En el marco de las políticas para conseguir un aire limpio en Europa, la Unión Europea ha fijado un valor límite anual

para PM2,5 de 25 µg/m³. El visualizador clasifica la calidad del aire a largo plazo como muy desfavorable si los niveles de PM2,5 alcanzan o superan este límite, y cinco ciudades, en Polonia, Croacia e Italia, se encuentran dentro de esta categoría.

Se necesita, por tanto, mejorar la planificación y la gestión urbanas para que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles, tal y como reclama el objetivo 11 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La Red Española para el Desarrollo Sostenible (REDS), capítulo español de la red de Naciones Unidas SDSN (*Sustainable Development Solutions Network*), ha publicado la primera edición del informe “Mirando hacia el futuro: ciudades sostenibles. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en 100 ciudades españolas”, una herramienta clave para las administraciones locales en la evaluación de los avances en la aplicación de la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible.

El informe, con datos relativos a 2018, está disponible en la página web del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, y proporciona un estado de la cuestión sobre el desarrollo sostenible a escala local para todas las capitales de provincia de España, las ciudades de más de 80.000 habitantes y las doce principales áreas metropolitanas en nuestro país. En su conjunto, las 100 ciudades analizadas que suponen casi un 50% de la población española.

Para poder medir los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se han identificado 85 indicadores adaptados al contexto español y a las fuentes estadísticas oficiales disponibles para obtener datos robustos. Siguiendo la metodología de los otros informes internacionales, el estudio presenta datos cuantitativos a través de una representación muy visual y fácil de entender, utilizando el código del semáforo: verde, amarillo, naranja y rojo, en función del grado de cumplimiento de los indicadores. Los resultados no se presentan en forma de ranking, sino por paneles y fichas individualizadas para cada ciudad.

Los datos y las conclusiones dan muestra de un panorama en el que predomina un rendimiento intermedio (en naranja y amarillo). Aunque hay ciudades en las que se han dado grandes avances, son pocas las que han alcanza-



Programa de reforestación urbana en Milán: rascacielos de Il Bosco Verticale (El Bosque Vertical), que cuenta con más de 2.000 especies vegetales distribuidas en las fachadas de dos edificios residenciales. Foto: Pexels.

do los Objetivos (codificado con el color verde) en varias de las metas. Las ciudades españolas logran sus mejores resultados en los ODS 3 (salud y bienestar) y ODS 16 (paz, justicia e instituciones sólidas), seguidos del nº 6 (agua limpia y saneamiento) y nº 7 (energía asequible y no contaminante). El objetivo nº 14 (vida submarina) aparece también entre los mejor situados en aquellas ciudades donde ha sido medido, los municipios costeros o situados en riberas fluviales navegables.

Por su parte, el ODS con peores resultados en los municipios es el nº 8, relativo al “trabajo decente” y crecimiento económico, que presenta grandes retos, puesto que hay un total de 16 ciudades con este objetivo en rojo.

Este informe pretende servir de herramienta para que las ciudades españolas puedan hacer un seguimiento del progreso en la implementación de la Agenda 2030 con relación a estándares internacionales. También aspira a ser de utilidad a los gestores municipales, para que puedan identificar a otras ciudades con situaciones y retos similares, facilitando el diálogo a escala nacional sobre cómo acelerar el progreso. “Se trata de un recurso técnico, pero también de una herramienta para apoyar la participación y el compromiso social, que promueva el interés en la Agenda 2030 entre los

responsables políticos y técnicos en las administraciones locales”, señalan desde el Ministerio.

Las ciudades del futuro: el ejemplo de la ciudad coreana de Songdo

La tecnología y la sostenibilidad marcarán el futuro de las ciudades inteligentes, que contarán con mejores infraestructuras y avanzadas conexiones para un mayor desarrollo social, medioambiental y económico. Al menos, esa es la tendencia actual y la intención de las Administraciones.

Utopía o no, lo cierto es que ya existen urbes en el mundo que pueden ser consideradas como verdaderas “ciudades sostenibles”. Songdo, situada a 65 kilómetros de Seúl, en Corea del Sur, está considerada como “la ciudad más inteligente del mundo”. Es uno de los proyectos de desarrollo inmobiliario público-privado más grandes a escala mundial, y actualmente la población ya supera los 180.000 residentes. Se ha construido enteramente partiendo de cero y está inspirada en Nueva York y Venecia, salvando las distancias. Las obras duraron 12 años.

En 2003, empezó la construcción de dicha ciudad en una isla artificial que iba a suponer el coste de 40.000 millones de dólares. El diseño estuvo a manos del famoso arquitecto Kohn Pedersen Fox, mientras que las empresas Gale International y POSCO E&C, con la colaboración de la entidad pública de la ciudad metropolitana de Incheon, fueron las encargadas de implementar la infraestructura avanzada y el desarrollo de la construcción. Finalmente, la obra se completó en 2015, aunque en 2009 ya entraron a vivir los primeros habitantes de la ciudad.

Parques y campos de golf cubren como una gran alfombra el paisaje urbano. Los rascacielos “inteligentes” obtienen toda la energía del sol, y en las viviendas no hay ningún interruptor ni grifo al modo tradicional, ya que todo funciona con sensores para ahorrar. Los residuos de la ciudad se absorben a través de tuberías subterráneas, desde donde llegan al centro de procesamiento; allí se separan, se reciclan y aquellos que son apropiados, se queman para obtener combustible. A todas horas y en todas partes hay bicicletas estacionadas ordenadamente esperando un conductor, y las escaleras mecánicas y

los semáforos se activan solo al detectar peatones cerca.

Otros avances tecnológicos destacados: las casas reflejan en un panel el consumo eléctrico al minuto, existen cientos de cámaras que permiten saber cuántos coches han cruzado el puente que conduce a la ciudad, y el tráfico se ordena a través de un centro de control. El sistema es capaz de avisar a cada habitante de cuándo debería salir para que no se provoquen atascos o si hay inconvenientes, que hagan la ruta más larga. De hecho, hasta deja el ascensor preparado cuando detecta que el coche de un residente llega a su edificio.

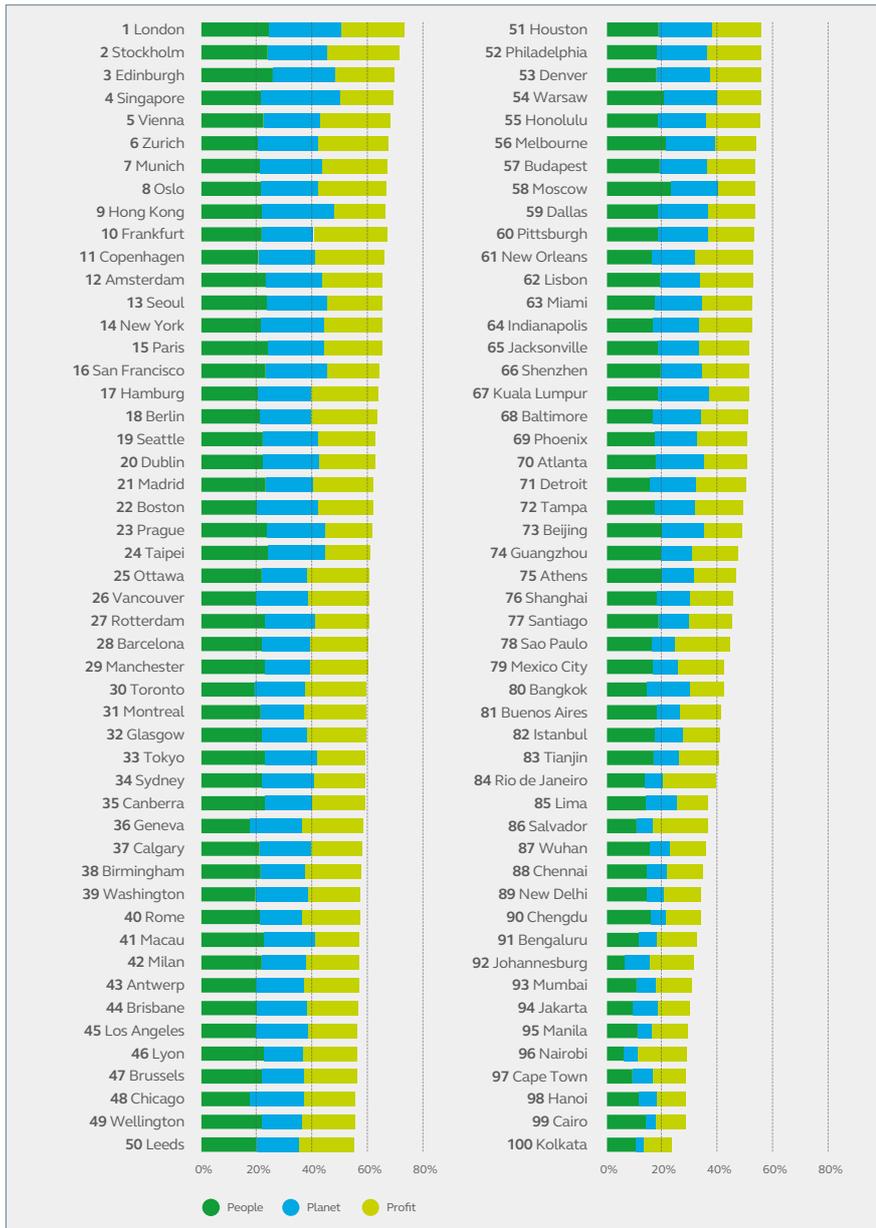
Toda la ciudad, incluyendo el metro, cuenta con wifi de alta velocidad y cada hogar está equipado con un sistema de telepresencia, que permite controlar sistemas como el de calefacción y seguridad, además de ofrecer video conferencias que brindan cuidado médico, educación y servicios gubernamentales.

Además, la ciudad está construida alrededor de un parque central que utiliza plantas autóctonas. Sus diseñadores se inspiraron en varias ciudades y buscaron reproducir lo que consideran características urbanas exitosas, como el Central Park de Nueva York y los sistemas de canales de Venecia.

Sin embargo, a pesar de todas estas ventajas tecnológicas, uno de los principales problemas a los que se enfrenta la ciudad de Songdo es que los costes de mudarse a una smart city son muy altos para las empresas, lo que hace que todavía quede mucho espacio disponible para ellas.

Además de “inteligentes”, lo cierto es que el futuro de las ciudades pasa por hacer que sean también lo más ecológicas posible. En el continente americano se vislumbra un ejemplo: The Orbit, una ciudad completamente verde que ha proyectado el estudio de arquitectura Partisans, en colaboración con la ciudad de Innisfil en Canadá.

La idea es transformar una ciudad canadiense, principalmente agraria y residencial a 60 kilómetros al norte de Toronto, en una comunidad inteligente, combinando fibra óptica, vehículos autónomos y puertos para drones en un entorno rural. La propuesta tiene como objetivo convertirse en «la ciudad del futuro» con una serie de nuevas tecnologías, manteniendo al mismo tiempo la agricultura existente y el entorno exuberante.



Las 100 ciudades más sostenibles del mundo. Fuente: Índice de Ciudades sostenibles 2018, de Arcadis (compañía internacional de ingeniería y consultoría).

Ciudades y corredores verdes

Una alternativa a las ciudades tradicionales son las ciudades verdes que han surgido en los últimos años. Se trata de centros urbanos que buscan una gestión más amigable con el medio ambiente y de mayor eficiencia energética. Para ello suelen apoyarse en las nuevas tecnologías.

Las nuevas formas de organizar las ciudades utilizan la ecología urbana para detectar qué decisiones tomar con el fin de ser más respetuosas y sostenibles. Algunos de los factores que tienen en cuenta están relacionados con la buena calidad del aire del medio urbano, la no alteración del ciclo hídrico, la conserva-

ción y protección de la biodiversidad, el fomento de las energías renovables en la trama urbana, así como del reciclaje y la reutilización de residuos, o la promoción de la movilidad sostenible, entre otros. Se trata, en definitiva, de garantizar la calidad de vida de todos sus residentes, en un entorno urbano eficiente y que al mismo tiempo trate de cuidar el medioambiente.

Para ello, es necesario organizar y construir ciudades eficaces que resuelvan los problemas de las personas que las habitan. También que sean eficientes, ya que en un momento de emergencia climática hay que tratar de conseguir esta eficacia consumiendo la menor

cantidad de recursos y contaminando lo menos posible. En este sentido, los equipos de planificación suelen estar formados por arquitectos, ingenieros, economistas, sociólogos, biólogos, juristas, etc.

Las ciudades apuestan cada vez más por la sostenibilidad y, en ese proceso, tienen mucho que decir los corredores verdes urbanos, que constituyen una franja con una importante presencia de vegetación que une zonas naturales destacadas de la ciudad. Además, aportan numerosas ventajas: aumento y protección de la biodiversidad, mitigación del efecto isla de calor, reducción de la contaminación atmosférica y acústica, etc.

Según Jack Ahern, uno de los precursores de la corriente internacional de corredores verdes, éstos son elementos lineales del paisaje, planificados o no, que permiten desempeñar múltiples usos de carácter ecológico, social, cultural y cualquier otro compatible con un uso sostenible del territorio. Las propuestas de Ahern plantean la posibilidad de que “se transformen en corredores componentes del paisaje natural”, como cursos naturales de agua o vías de tren en desuso, entre otras, a través de procesos de restauración o construcción.

Al margen de cuál sea el punto de partida, la finalidad de un corredor verde es unir zonas naturales importantes de una ciudad mediante una franja o pasillo caracterizado por tener una amplia vegetación. De esta manera, se crea un espacio lineal capaz de articular ciudades más verdes y saludables. En su interior, pueden desarrollarse zonas de recreo, espacios culturales, instalaciones deportivas o incluso huertos urbanos.

Entre los corredores verdes más conocidos del mundo, destacan los de Manhattan Waterfront Greenway (Nueva York), con 51,4 kilómetros de longitud alrededor de la isla de Manhattan; el Parque Lineal Ferrocarril de Cuernavaca (Ciudad de México), que combina aspectos prácticos y estéticos a lo largo de 4,5 kilómetros de una línea histórica de ferrocarril en desuso; Cheonggyecheon (Seúl), donde una autopista elevada sobre un canal de agua en una de las zonas más céntricas de la capital surcoreana fue demolida a causa de la enorme cantidad de emisiones y ruido que generaba, y en su lugar se construyó un enorme parque lineal de más de 400 hectáreas; y Madrid Río (Madrid), un enorme pasillo verde construido con

motivo del soterramiento de la M-30 (autopista de circunvalación) a su paso por la zona del río Manzanares. Se extiende a lo largo de varios kilómetros, desde El Pardo hasta Getafe, y a la finalización de su construcción en 2011 se habían plantado ya 33.623 árboles. Además, sirvió para incorporar un pulmón verde natural, como es la Casa de Campo, al centro de la ciudad y mejorar la biodiversidad de la zona.

Pero estas no son las únicas urbes que han llevado a cabo iniciativas relacionadas con los corredores verdes. Junto a Madrid, en España se encuentran otras ciudades que también han puesto en marcha proyectos similares. En 2018, el proyecto del corredor verde de la ciudad de León ganó el Premio Nacional de Parques y Jardines, concedido por la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos. En 2021, el galardón ha sido para Salamanca, por su Plan Especial de Protección de la Infraestructura Verde y Biodiversidad (PE-PIVB). Por su parte, Bilbao, Santa Cruz de Tenerife o Valencia, entre otras, ya han apostado también por estos corredores verdes para implementar en sus ciudades. Y es que los ayuntamientos están cada vez más concienciados con el “mundo verde” y con la vegetación en las ciudades.

Ciudad del peatón

La opinión de los urbanistas sobre este cambio en el modelo de ciudad lleva a un consenso generalizado, tanto desde el punto de aquellos que centran su prioridad en la sostenibilidad como de aquellos que ponen el acento en la salud de las personas. Y uno de los objetivos primordiales para todos ellos es que el peatón vaya ganando cada vez más protagonismo frente al uso masivo del automóvil, para lograr una mayor eficiencia del sistema y que la mayor parte de los desplazamientos puedan realizarse andando o en bicicleta.

Sin embargo, conseguir esta “ciudad del peatón” no es nada sencillo, ya que las ciudades fueron planificadas de otra forma y tienen un casco urbano plenamente consolidado, a excepción de los nuevos barrios y urbanizaciones que se han ido construyendo en la periferia.

Tema diferente es el de las ciudades más pequeñas y “manejables”, como es el caso de Pontevedra o Vitoria-Gasteiz. Algunas grandes urbes, como Barcelo-

na, van por el buen camino en esta línea, a través de la creación de “supermanzanas” que, en determinadas calles, priorizan al peatón y recuperan espacio de calzada.

El objetivo es conseguir una “ciudad de proximidad”, o lo que el catedrático de La Sorbona de París, Carlos Moreno, ha acuñado con el nombre de “ciudad de los quince minutos”. Aunque para ello, hay que tener en cuenta la densidad de población y las discontinuidades geográficas, además de otras complejidades propias de cada ciudad.

Otro de los factores del nuevo concepto de ciudad más habitable es la integración de la naturaleza en la ciudad, que haya una amplia zona verde a menos de cuatrocientos metros de cualquier vivienda, y que además estos espacios verdes estén unidos entre sí, tanto desde el punto de vista ecológico como funcional.

Uno de los factores del nuevo concepto de ciudad más habitable es la integración de la naturaleza en la urbe

En este sentido, la ciudad española que lleva más la delantera es Vitoria-Gasteiz, galardonada en 2012 con el título de European Green Capital (Capital Verde Europea), por sus más de treinta años de propuestas e iniciativas respetuosas con el medio ambiente. De hecho, la capital de Álava es la urbe que mayor número de metros cuadrados de zonas verdes tiene por habitante de España, concretamente, 39,2 metros. A Vitoria-Gasteiz le siguen Pamplona, con 26 metros cuadrados; Girona con 24,3; San Sebastián con 22,5; Logroño con 19,9; Cádiz con 17,6 y Madrid con 17.

La capital de España, además, según el último inventario realizado por el Ayuntamiento, es la segunda ciudad del mundo, tras Tokio, en número de árboles en las vías públicas, ya que cuenta con un total de dos millones de árboles, de los que 300.000 están dispuestos en las calles.

Un bosque vertical

En relación a todo lo mencionado hasta ahora, hace varios años surgió otro

nuevo concepto, el de “bosque vertical”, que ya se ha popularizado en algunos países, como China. En 2017, nació un proyecto que tenía como objetivo convertir una zona de Liuzhou, una ciudad de más de un millón de habitantes al sur del país asiático, en la primera urbe forestal del mundo, con 40.000 árboles y más de un millón de plantas cubriendo unos edificios que, además, estarían dotados de paneles solares. El arquitecto italiano de este proyecto, Stefano Boeri Architetti, estimaba que cuando la nueva ciudad verde estuviera lista, absorbería 10.000 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) al año y produciría 900 toneladas de oxígeno. Cada uno de sus bosques verticales absorberían hasta 15 toneladas de dióxido de carbono cada año.

En Pekín, el Gobierno ya requiere que el 50% de los nuevos edificios urbanos sean certificados como sostenibles. El futuro está en las nuevas ciudades ecológicas, lugares en los que se combine la industria y la tecnología con vegetación que cubra los techos de los edificios y las fachadas.

Estos proyectos ya están en marcha. Uno de ellos es el de Xiongan, que se está construyendo a 100 kilómetros al suroeste de Pekín. La idea es levantar una ciudad verde y tecnológica en un entorno tradicionalmente industrial, donde se puedan mudar hasta 2,5 millones de vecinos de la capital.

Xiongan formaría parte de las nuevas áreas de desarrollo que actúan como ciudades satélites de grandes urbes, como Pekín o Shanghai, para aliviar la presión poblacional que sufren. Al sur de otra gran ciudad, Chengdu, hace diez años empezaron a desarrollarse varios centros tecnológicos rodeados de espacios verdes. En Shenzhen, colindante con Hong Kong, ya está en marcha el proyecto de la Net City, una ciudad del tamaño de Mónaco construida por el conglomerado tecnológico Tencent. Se trataría de dos millones de metros cuadrados, rodeados de rascacielos con bosques verticales, donde únicamente podrán circular vehículos autónomos.

Las nuevas ciudades que China está construyendo forman parte de la denominada “revolución verde” de la que habló el presidente chino, Xi Jinping, en septiembre de 2020 durante la Asamblea General de la ONU, en la que se comprometió a lograr la neutralidad de carbono antes de 2060. No hemos de olvidar que China es la mayor fuente de

CO₂ del mundo, responsable de alrededor del 28% de las emisiones globales.

Pero no solo en China se puede encontrar este tipo de edificación. Desde 2014, en el límite del barrio Isola, en Milán (Italia), se localiza Il Bosco Verticale (El Bosque Vertical), obra del mismo arquitecto, Stefano Boeri Architetti. Consiste en dos torres de 110 y 76 metros de altura respectivamente, en las que crecen 800 árboles y diversas variedades de arbustos y plantas florales.

Las 10 ciudades más sostenibles del mundo

En 2019, la compañía internacional de ingeniería y consultoría Arcadis publicó su Índice de Ciudades sostenibles 2018, que pretende ser un medidor de sostenibilidad que en esta edición analiza las ciudades desde el punto de vista del ciudadano.

Los resultados del informe se sustentan en tres pilares fundamentales, estrechamente alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) promovidos por las Naciones Unidas: Personas (calidad de vida y oportunidades sociales), Planeta (uso energético, contaminación y emisiones) y Beneficio (entorno empresarial y desempeño económico).

La investigación concluye también en cuatro arquetipos de ciudades, basados en el análisis de la experiencia ciudadana y los propios resultados del Índice, dividiendo las ciudades en oportunistas post-industriales, innovadoras equilibradas, ciudades en evolución y mega ciudades de rápido crecimiento.

Londres ocupa el primer puesto, pues es la que mejor puntúa en los tres apartados y consigue un buen equilibrio entre todos ellos, seguida de Estocolmo y en el tercer lugar Edimburgo.

En nuestro país, Madrid y Barcelona se encuentran entre las 30 ciudades más sostenibles del mundo. En el cómputo Global, Madrid ocupa el puesto 21° y Barcelona el 28°, según el citado estudio. Si se centran únicamente en factores medioambientales, ambas ciudades mejoran sus posiciones, estando Madrid en el puesto 15° y Barcelona en el puesto 22°. En términos medioambientales, los aspectos mejor evaluados de ambas ciudades serían las emisiones de CO₂, el uso energético y los incentivos al coche eléctrico. Sin embargo, el Índice determina una

baja puntuación general en la disponibilidad de espacios verdes, dentro de la ciudad, más acusada en el caso de Barcelona.

Los dos aspectos mejor valorados serían las infraestructuras de transportes y la conectividad desde el punto de vista de red de internet y móvil, donde ambas ciudades se encuentran entre las 20 primeras posiciones. Barcelona destaca también en el desempeño universitario en tecnología e ingeniería.

Las ciudades son poderosos motores que unen a las personas y permiten compartir recursos para satisfacer las necesidades colectivas

Las ciudades europeas dominan la parte superior del Índice, ocupando ocho de las diez primeras posiciones. Por su parte, Singapur (4°) y Hong Kong (9°) complementan los diez primeros puestos del ranking como representantes asiáticos, mientras otras grandes urbes como Seúl y Tokio ocupan las posiciones 13ª y 33ª respectivamente.

Nueva York (14°), San Francisco (16°) y Seattle (19°) son las únicas ciudades de Estados Unidos entre las 20 primeras. En América del Sur, las urbes encuentran grandes desafíos para dirigir un crecimiento en torno a los ciudadanos y controlar aspectos medioambientales como la alta contaminación. Santiago de Chile, por ejemplo, ocupa el puesto 77° y Buenos Aires el 81°.

En el lado opuesto, debido a las bajas puntuaciones en sostenibilidad económica, algunas de las principales ciudades de África y Asia se encuentran en el extremo inferior de la clasificación.

Las ciudades que encabezan el informe han logrado alcanzar un cierto grado de equilibrio sostenible, no sólo debido a su legado económico, sino también a las decisiones con visión de futuro adoptadas para gestionar los efectos del crecimiento. En este sentido, Londres es una de las pocas ciudades de mayor rendimiento del Índice con puntuaciones relativamente similares en los tres pilares de sostenibilidad, a pesar de que todavía se enfrenta a enormes retos

relacionados con el coste de vida y los atascos.

John Batten, Director Global de Ciudades de Arcadis, afirma que “en muchas ciudades, desarrolladas o en proceso, los ciudadanos se enfrentan a enormes desafíos para satisfacer sus necesidades básicas, como la vivienda, la alimentación, el agua o las relaciones personales. Por tanto, es fundamental que se tengan en cuenta las necesidades actuales, así como garantizar que se atienden los requisitos futuros. Las ciudades son poderosos motores que unen a las personas y permiten compartir recursos para satisfacer las necesidades colectivas. Los responsables políticos de la ciudad desempeñarán un papel clave ayudando a crear políticas sostenibles a largo plazo que aborden específicamente estos temas”.

El Índice sobre Ciudades Sostenibles de Arcadis 2018 pone de relieve el rápido impacto que las tecnologías digitales están teniendo en la vida en la ciudad. Existen algunos ejemplos de éxito de herramientas digitales urbanas, como las aplicaciones de movilidad o el pago digital de determinados servicios públicos. Sin embargo, según dicho estudio, la tecnología todavía no es capaz de mitigar algunas de las dificultades habituales de las ciudades, como los atascos, las escasas opciones de transporte accesible, la falta de espacios verdes o el envejecimiento de las infraestructuras, entre otras.

Una de las principales conclusiones de la investigación realizada por Arcadis, es que las ciudades deben centrarse en un desarrollo a largo plazo bien planificado, incluso si están sujetas a cambios y tendencias más inmediatas. Los datos del Índice destacan que los cimientos en materia de sostenibilidad de las ciudades se basan en una población cultivada y saludable, una infraestructura eficaz con bajas emisiones de carbono y una mayor facilidad para llevar a cabo actividades comerciales.

En definitiva, la viabilidad económica, el acceso al transporte público y la desigualdad de ingresos son las grandes variables que impulsan o rompen el éxito sostenible de una ciudad. Está en la mano de todos los que hacen posible la vida en las grandes ciudades apostar por un entorno más habitable, que sin duda agradecerán también las próximas generaciones.

COGITI TOOLBOX

El portal de gestión de licencias de software para colegiados

www.toolbox.cogiti.es



Desde el Consejo General y los Colegios Oficiales de Graduados en Ingeniería rama industrial e Ingenieros Técnicos Industriales de España presentamos el renovado PORTAL COGITI TOOLBOX donde encontrarás el mejor Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción.

PROMOCION
especial



dmELECT
Software de Instalaciones

PACK COMPLETO
dmELECT

77%

Descuento

Instalaciones

- en Edificación
- en Urbanización
- Térmicas

~~P.V. 2.100€ + IVA~~

495€ + IVA



ALP

CMAT

AIRECOMP

RSF



CT

ABAST

CATE

REFRIGERANTE



SOLTE

CIEBT

ALCAN

REDBT



GASCOMB

IPCI

RENOVABLES

CONDUCTOS



REDAT

SANEA

FONTA

CMBT



VIVI



Francisco Morcillo Balboa

Consultor, blogger y CEO de MB3 Gestión (desarrollo de ciudades y territorios inteligentes)

“Hay que trabajar para que la ciudad del futuro sea inteligente, sostenible, y neutra en carbono”

Mónica Ramírez

Con el objetivo de crear ciudades sostenibles en el ámbito económico, social y medioambiental nacen las denominadas smart cities o ciudades inteligentes. En ellas, se aplican las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) con el fin de proveerlas de infraestructuras que garanticen un desarrollo sostenible, una mejor calidad de vida de los ciudadanos, una mayor eficacia de los recursos disponibles, y todo ello articulado, al mismo tiempo, con una participación ciudadana activa. La smart city surge, por tanto, de la necesidad de mantener una armonía entre todos estos aspectos.

Francisco José Morcillo, consultor especializado y director de proyectos de Innovación y Transformación Digital, cuenta con más de veinte años de experiencia en los ámbitos público y privado, donde ha desarrollado su actividad profesional orientada al desarrollo urbano y la planificación e innovación para la transformación digital de territorios y ciudades. A título personal, publica en el influyente blog www.franciscomorciillo.com, con más de 100.000 visitas en España y Latinoamérica. Además, participa como ponente en foros nacionales e internacionales, y como consultor estratégico, dirige un equipo de profesionales que acometen el desarrollo de Planes de transformación de ciudades y territorios. A lo largo de esta entrevista nos ofrece su interesante punto de vista sobre la transformación de las ciudades inteligentes.

¿Cuáles son las claves para que una ciudad sea sostenible?

La sostenibilidad tiene como objetivo preservar los recursos para no comprometer a nuestras generaciones futuras. Por ello, es necesario plantear cómo abordamos la gestión los recursos naturales y protegemos el medioambiente, cómo potenciamos una adecuada calidad de vida y cómo se permite el ac-



Francisco Morcillo Balboa

ceso adecuado a todos los servicios. Con ello se puede crear un ecosistema que posibilite el acceso a los recursos, dando respuesta a los tres pilares de la sostenibilidad: medioambiental, social y económico. También me gusta sumar un cuarto, el cultural, que no es otro que preservar tradiciones y hábitos de los territorios.

En su opinión, en líneas generales, ¿qué valor aporta la tecnología e innovación en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas (ONU)?

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible son una llamada de atención ante el terrible riesgo que tenemos en el planeta. De entrada, aporta el compromiso y unas metas que deben abordarse de forma local para el beneficio global. Son ambiciosos y amplios, y la tecnología nos permitirá disponer de datos, de información, y nos posibilitará el acceso a los recursos. Las tecnologías habilitadoras y la conectividad son aliados necesarios para conseguir afrontar con garantías, con objetividad y transparencia, los compromisos adquiridos.

Muchas de las ciudades europeas son cada vez más dependientes de sistemas y datos automatizados y digitalizados para lograr su buen funcionamiento y la eficiencia de todos los servicios que se ofrecen. ¿Cuál es la tendencia actual en esta materia?

Con el binomio sostenibilidad-digitalización, se trata de abordar, a través del uso de las tecnologías habilitadoras, el desarrollo de sistemas y subsistemas que nos facilitarán la información y nos aportarán datos para medir y potenciar la eficiencia y la eficacia en el uso de los recursos.

No se trata de realizar un proceso de automatización y sensorización de todos los procesos y todos los activos de una ciudad, sino poder realizar un equilibrio entre el uso de la tecnología para un fin determinado y su resultado. Respetando siempre la privacidad, es la mejor manera de poder realizar un control y seguimiento de las acciones y estrategias, desarrollar medidas de seguridad, controlar los recursos y garantizar el acceso a los datos abiertos y a la transparencia. Indudablemente no quiero dejar atrás a las indudables mejoras productivas, tanto en el ámbito empresarial como en los servicios públicos, que permiten mejorar la relación con el cliente o con el ciudadano.

En este sentido, ¿qué papel va a jugar la conectividad 5G en los sistemas de gestión de las ciudades?

El desarrollo integrado de 5G y AIoT (inteligencia artificial + Internet de cosas), el Edge Computing y los IOC (centro de operaciones inteligentes) potenciarán la inteligencia de la ciudades y de los territorios. Curiosamente, en la reciente edición virtual del Congreso Internacional Smart City Expo, una compañía multinacional presentaba su modelo de ciudad inteligente y citaba que “al construir las smart cities, lo importante no era tanto hablar de la recogida de datos de las urbanizaciones ni de la inteligencia arti-

ficial, sino de cómo se almacenan esos datos y cómo se relacionan entre ellos”.

Con el 5G + AloT, la inteligencia de las cosas cobra vida, y se cubre todos los terminales con nodos de percepción (es decir, cámaras inteligentes, luminarias dispositivos de vigilancia, etc.). Con el aumento de la conectividad 5G se cumple con la máxima de que los dispositivos tengan la posibilidad de cumplir con el alto requisito de capacidad de respuesta en la red y recopilar datos masivos en dominios y entornos urbanos o territorios conectados, en tiempo real, generando así la captación el procesamiento y la acción como “terminaciones nerviosas”.

Al mismo tiempo, con todos estos avances en la interconectividad, nos enfrentamos a un escenario incierto en materia de seguridad. La proliferación de dispositivos IoT, que vendrán de la mano de la conectividad 5G, y el aumento de los servicios, se convertirá en foco de atención en la búsqueda de las brechas digitales. ¿Qué papel desempeña la ciberseguridad en este panorama?

El desarrollo de las redes 5G, que se incorporan a las soluciones de sistemas Big data y de Inteligencia Artificial, apoyando a la conectividad de los objetos IoT, y gracias a la computación en la nube, nos abre un abanico de posibilidades y, por lo tanto, genera un proceso incremental en la inteligencia de las ciudades frente a la tradicionales soluciones verticales de los ecosistemas inteligentes en las smart cities.

Pero nos encontramos ante una seguridad descentralizada, un mayor ancho de banda que pondrá a prueba la seguridad actual y, además, muchos dispositivos IoT estarán en el punto de mira de los hackers, sin olvidar a las vulnerabilidades por la falta de cifrado en la conexión. Esto nos obligará a mejorar la seguridad; en primer lugar, en las propias redes 5G, los fabricantes tendrán que ser más celosos, aumentando sus esfuerzos de seguridad en dispositivos, y la pedagogía y la educación digital debe ser una constante.

Las grandes urbes se exponen a importantes desafíos para ofrecer un crecimiento demográfico y económico que al mismo tiempo respete el planeta, mitigando los posibles impactos que puedan generar. ¿Cuáles son y serán en un futuro próximo los principales retos a los que tendrán que enfrentarse?

La pandemia ha abierto un debate, ciudades (grandes urbes) o retorno a zonas más despobladas. Este movimiento demográfico ha levantado también muchas alertas derivadas de la escasez de los recursos naturales y el impacto que se produce sobre ellos. Antes de la pandemia, nos preparábamos para una sobrepoblación en las grandes ciudades, pero a su vez se alertaba del crecimiento poblacional de continentes como África o Asia. Ahora creo que el principal reto será el medioambiental, sin olvidar a los retos sociales.

Más de la mitad de la población mundial vive actualmente en áreas urbanas, y se espera que alcance el 80% en 2050. No cabe duda de que la estructura y la movilidad en las ciudades influyen en la calidad de vida de los ciudadanos que viven o trabajan en ellas. ¿Las denominadas smart cities o ciudades inteligentes contribuirán a hacer unas ciudades más sostenibles y habitables? ¿En qué aspectos se puede influir para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos?

Sobre este concepto teórico podemos profundizar algo más y evidentemente el cometido de las tecnologías pueden ayudar a favorecer la gestión de los recursos, a superar brechas sociales (eliminando barreras físicas) y dotar de oportunidades económicas; pero para ello es necesario garantizar la reducción de la brecha digital y la mejora de la conectividad en todos los territorios.

Quiero destacar que en estos últimos años, se ha abierto el foco hacia el desarrollo de modelos territoriales (territorios inteligentes) frente al modelo ideal de finales de siglo XX, más orientado a urbes inteligentes. Es una necesidad, porque a medida que mejora la conectividad podemos resolver problemas en entornos más periféricos y dar respuesta a las estructuras geográficas diversas; por ejemplo, Europa tiene un territorio donde más del 80% es conceptualmente rural.

En relación al impacto sobre la calidad de vida, por definición, las smart cities son aquellas ciudades que ponen en uso las tecnologías habilitadoras para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, la gestión y a su vez dotar al ecosistema de mejores oportunidades empresariales.

¿Cómo contribuyen las smart cities a la descarbonización de la sociedad y de la economía?

Las smart cities se integran con el compromiso con el medioambiente, con infraestructuras tecnológicas avanzadas para facilitar la interacción del ciudadano con su entorno y con los elementos urbanos. Las smart cities pueden ayudar a conseguir algunos objetivos: reducción de gases efecto invernadero (GEI), que el consumo de energía se reduzca mediante mejoras en la eficiencia energética o que la generación eléctrica sea con energías renovables. Pero también puede ayudar a resolver algunos problemas de los núcleos urbanos: el abastecimiento energético, la planificación del tráfico automovilístico, la provisión de bienes y materias primas o la prestación de servicios sanitarios y de seguridad a todos los que residan en estos enormes y masificados centros de población.

La sostenibilidad es un principio básico en el desarrollo de la ciudad o territorio inteligente. Preservar y garantizar los recursos son retos de nuestra sociedad, pero la tecnología no es la solución, es el medio que sólo puede acompañar a “habilitar” el proceso, en forma de datos, información para mejorar la eficacia y eficiencia.

¿Por dónde se podría empezar a construir un proyecto de ciudad inteligente?

Hace unos años hablábamos de que el liderazgo público era muy necesario, pero quizás comenzaría por decir que el proyecto comienza cuando se entiende que para la sostenibilidad de una ciudad o un territorio es necesario poder actuar ya, y se precisa tener información. Es ahí donde aparecen las soluciones tecnológicas, los datos, el análisis, la predicción y poder saber cómo actuamos ante las adversidades. La resiliencia tiene como gran aliado a los datos, que nos pueden ilustrar escenarios futuros a partir de la experiencia del presente. Quedan aún algunos años para que el humanoide o los robots sustituyan totalmente a la inteligencia de las personas.

A partir de este proceso se abren líneas de trabajo diseñando redes inteligentes (smart grids), gestión eficiente del agua (smart metering), desarrollo de la movilidad eléctrica y conectada (smart mobility), implementación de soluciones de turismo inteligente y potenciar los destinos turísticos inteligentes (smart tourism), favorecer el acceso de la ciudadanía a los servicios facilitando el uso y potenciando el acercamiento (smart government), establecer un sistema de gestión medioambiental (smart environment) o potenciar el desarrollo económico local

favoreciendo el impulso de las pequeñas y medianas empresas (smart economy).

¿Cómo piensa que ha afectado la situación actual de pandemia en la movilidad de las ciudades?

Diría que la movilidad ha sido la causante del rápido impacto de la pandemia y su globalización. La reflexión a partir de ahora es cómo incluimos el parámetro de la seguridad (no solo física, sino también sanitaria) en el desarrollo de nuestros modelos de negocio o en la gestión de las ciudades. El turismo ha sufrido un impacto importante en primera instancia porque estaba basado en un modelo de alta movilidad; quizás tanto en este sector como en otros hay que incluir procesos que permitan anticiparnos, y aquí la tecnología puede jugar un gran papel. No estamos exentos de futuras pandemias en el futuro.

¿Cómo se imagina las ciudades del futuro?

Me las imagino inteligentes y climáticamente neutras. Donde los ciudadanos, gestores y visitantes deben jugar un papel activo en el cambio de comportamiento, en la introducción de innovación y en el desarrollo de nuevas formas de gober-

nanza. La salud, el bienestar y la calidad de vida deben incorporar recursos adicionales, alineado con el medioambiente, la mejora económica y la equidad.

Aquí la tecnología será un actor de reparto que puede ayudar a conseguir muchos de los retos y compromisos que tenemos a corto plazo los habitantes del planeta. Las ciudades inteligentes y sus ciudadanos van a tener un papel fundamental en el compromiso medioambiental, especialmente en la lucha contra el cambio climático. Por ello, hay que trabajar para que la ciudad del futuro sea inteligente, sostenible, saludable y neutra en carbono.

Y por último, en relación a su experiencia profesional, ayudando a la transformación digital urbana y territorial, y como divulgador de ciudades y territorios inteligentes, ¿cuáles son los principales proyectos que ha llevado a cabo y cómo se imagina la “ciudad ideal”?

He participado y participo en la estrategia o la integración y explotación de datos en diferentes ciudades, así como en el desarrollo de territorios inteligentes; pero también he tenido la oportunidad de conocer proyectos de ciudades como Bogotá, Santiago de Chile o Nueva York. No hay

una ciudad ideal y al igual que se define el modelo Smart Village (Pueblos-Teritorios Inteligentes por parte de la Comisión Europea), donde se cita incluso que en un mismo ámbito territorial no tiene por qué existir regiones iguales, ocurre lo mismo en las ciudades. Como principales proyectos en los que he participado, destacaría el poder diseñar cuál es modelo territorial inteligente de una provincia, ser parte del Plan Digital de una gran ciudad o poder participar en la configuración de los nuevos servicios públicos a partir de la experiencia y la explotación de datos.

Me imagino a la ciudad ideal como tecnológica y neutra, que transforma la gestión de lo público, se acerca a ser más un facilitador que un prestador de servicios administrativos. Veo una mayor autonomía y acceso a los recursos de los ciudadanos y, sobre todo, veo posibilidades de innovación. En este último aspecto considero que se producirán cada vez ciclos más cortos en los procesos productivos y de consumo, con posibilidad de participar activamente por parte de las pequeñas empresas. Pero existen dos riesgos, que son el acceso y la pedagogía de la digitalización, y la monopolización energética y tecnológica.

Iniciativa citiES 2030: “Las ciudades españolas ante el reto de la neutralidad climática”

El pasado mes de septiembre se presentaba, en el Palacio del Senado, la iniciativa citiES 2030: “Las ciudades españolas ante el reto de la neutralidad climática”, para reducir las emisiones y combatir el cambio climático. La vicepresidenta y ministra para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Teresa Ribera, fue la encargada de dar a conocer esta iniciativa, que pretende situar a España en la vanguardia de la acción climática, dando un papel protagonista a las ciudades como principales agentes de cambio en el proceso de transformación hacia un modelo de desarrollo respetuoso con los límites ambientales.

En el acto participaron también el presidente del Senado, Ander Gil; las ministras de Transportes, Movilidad Urbana, Raquel Sánchez; de Ciencia e Innovación, Diana Morant, y de Derechos Sociales y Agenda 2030, Ione Belarra; así como alcaldes de distintos municipios, entre ellos los regidores de las cuatro mayores ciudades de España: Madrid, Barcelona, Valencia y Sevilla.

La iniciativa citiES 2030 tiene como finalidad acelerar el cumplimiento del Acuerdo de París y la Agenda 2030. Con este objetivo, las principales capitales españolas se han comprometido a avanzar en la neutralidad en las emisiones de aquí a 2030, para lo que cada uno de estos Ayuntamientos ha firmado un precontrato climático con el

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, con el fin de acelerar la implementación de soluciones con impacto social, económico y medioambiental, aglutinando el esfuerzo público y privado para la transformación urbana.

La vicepresidenta apuntó algunas de las actuaciones en las que centrar esa acción, como el impulso a los techos solares; recuperar las calles centrales de las ciudades en beneficio de los vecinos; el beneficio social y el ahorro en la economía familiar que supone la rehabilitación energética de viviendas, o pueblos con comunidades energéticas locales que pueden ofrecer soluciones beneficiosas. Por ello, señaló que “queremos hacer confluir en nuestra visión del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia esa participación de las ciudades para construir un futuro diferente”.

El objetivo del Gobierno es que en 2023 se consiga tener, gracias al Plan de Recuperación, al menos 30.000 viviendas rehabilitadas en municipios pequeños para fomentar la repoblación, 250.000 techos solares y 3.500 pueblos con comunidades energéticas. Para ello, el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), dependiente del MITECO, habilitará 200 millones de euros para rehabilitación en pequeños municipios, 900 M€ para autoconsumo y 100M€ para comunidades energéticas.

COGITI TOOLBOX

El portal de gestión de licencias de software para colegiados

www.toolbox.cogiti.es



Desde el Consejo General y los Colegios Oficiales de Graduados en Ingeniería rama industrial e Ingenieros Técnicos Industriales de España presentamos el renovado PORTAL COGITI TOOLBOX donde encontrarás el mejor Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción.

PROMOCIÓN
especial

cype
SOFTWARE

PACK COMPLETO SOFTWARE CYPE

87%
Descuento

ARQUÍMEDES

- + GENERADOR PRECIOS
- + MEDICIÓN AUTOMÁTICA

CYPELEC REBT

- + IMPLANTACIÓN

CYPECAD BASE LT30

CYPECAD MEP CTE

CYPECAD MEP CLIMATIZACIÓN

P.V. ~~7.812€~~ + IVA

990€ + IVA



Arquímedes
Mediciones
Presupuestos



CYPECAD BASE LT30
Estructuras Hormigón
Pilares



CYPELEC REBT
Baja tensión Rebt



CYPECAD MEP CTE
Cad BIM



CYPECAD Climatización
Climatización RITE

Marifrán Carazo Villalonga

Consejera de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía

“En Andalucía tenemos en marcha una Revolución Verde que se está aplicando en todos los ámbitos”

Mónica Ramírez

El nuevo marco financiero plurianual de la Unión Europea orienta las nuevas líneas de actuación en materias relacionadas con la innovación, las infraestructuras verdes, la lucha contra el cambio climático y la descarbonización de la economía, que constituyen las principales preocupaciones de la UE en esta nueva etapa.

Estos objetivos requieren, además de los cambios tecnológicos que permitan una economía de bajo consumo en CO₂, recurrir a líneas de actuación ya conocidas, pero que necesitan una mayor implantación, tendentes a la desincentivación del crecimiento urbano difuso, la reducción de la movilidad “obligada” y la potenciación de la movilidad “activa”, y el fomento del transporte público.

En nuestro país, el Plan de Infraestructuras de Transporte y Movilidad de Andalucía 2021-2030 (PITMA) constituye el instrumento para concretar las políticas en materia de Infraestructuras y sistemas de transporte, con la inclusión de los objetivos que se pretenden conseguir para los distintos modos de transporte relacionados con la sostenibilidad del sistema productivo andaluz, y con el nuevo papel que deberá desempeñar la movilidad en Andalucía. Hablamos sobre esta iniciativa y las “ciudades sostenibles” con Marifrán Carazo Villalonga, Consejera de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía.

El pasado 16 de septiembre, el Colegio de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales de Sevilla (COGITISE) abría la Semana Europea de la Movilidad, en el marco de la tercera edición del encuentro profesional Net-COGITISE 2021, que contó con la participación y el apoyo de la Consejería de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía. En este contexto, se desarrolló una mesa redonda bajo el título “La administración pública como impulso-



Marifrán Carazo Villalonga

“Las administraciones públicas debemos desarrollar iniciativas que nos permitan llegar a una movilidad más respetuosa con el medio ambiente”

ra del cambio en las ciudades”. ¿Cómo pueden facilitar las administraciones públicas el camino hacia la transición para una movilidad más sostenible?

Las administraciones públicas debemos desarrollar iniciativas que nos permitan llegar a una movilidad más sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Ello supone: poner en marcha iniciativas que incentiven el uso del transporte público con el desarrollo de infraestructuras de transportes menos contaminantes y que se adecúen a la demanda; potenciar los paseos peatonales y el uso de la bicicleta en los trayectos cortos y también impulsar un urbanismo más medido, que no propicie el uso del vehículo privado.

Tenemos que conseguir reducir el uso del coche porque su protagonismo está generando un impacto ambiental con importantes efectos negativos sobre la salud, la calidad de vida y la economía. Para ello, el Gobierno andaluz ha puesto en marcha la Estrategia Andaluza de Movilidad y Transportes Sostenibles 2030, en la que buscamos implicar a todas las administraciones, ayuntamientos, Junta y también al Gobierno de España. Debemos trabajar juntos para hacer el transporte público más atractivo, ejecutando las infraestructuras necesarias para la movilidad obligada, ampliando servicios y facilitando la información que haga más fácil su uso. Solo así conseguiremos captar a quienes ahora solo recurren al coche para desplazarse, y contar con una movilidad más sostenible.

En este sentido, la Junta de Andalucía, a través de su Consejería, ha presentado un ambicioso Plan de Infraestructuras de Transporte y Movilidad de Andalucía, PITMA, ¿Cuáles son las principales claves de dicho Plan? ¿En qué ámbitos se mejorará la movilidad? El PITMA apuesta por reducir la movi-

lidad obligada, potenciar la movilidad activa y mejorar el transporte público, potenciando la intermodalidad. Para ello, vamos a fomentar la inversión en investigación e innovación y aumentar el uso de las nuevas tecnologías, para mejorar los servicios de movilidad y permitir que el usuario pueda planificar mejor sus desplazamientos. También promoveremos la eficiencia energética y el desarrollo de una red de infraestructuras para el transporte de personas y mercancías que responda adecuadamente a la demanda, una red sostenible, segura e intermodal. Nuestro objetivo es avanzar en una movilidad regional sostenible y ello implica no depender tanto del transporte por carretera, fomentar el transporte por ferrocarril y el uso del transporte público, especialmente en las grandes aglomeraciones, pero también ayudar a vertebrar nuestro territorio ofreciendo soluciones de movilidad tanto a la Andalucía rural como litoral.

Uno de los principales objetivos es lograr una mayor eficiencia energética en los sistemas de transporte público, ¿qué medidas e iniciativas está previsto llevar a cabo para lograrlo?

La digitalización del transporte va a ser uno de nuestros grandes aliados para conseguir ese objetivo, porque nos permitirá adaptar la oferta a las necesidades reales, y hará que el transporte público sea más eficaz. A ello vamos a destinar en los próximos años 28 millones de euros. Además, estamos potenciando la investigación y la colaboración público-privada para el desarrollo de sistemas de transportes con energías sostenibles en el transporte público. Así, por ejemplo, estamos desarrollando pruebas con un autobús eléctrico en varias rutas del Consorcio de Transporte del área Metropolitana de Sevilla, pruebas en las que comprobaremos el ahorro de CO₂, el consumo de energía, el tiempo de carga y recarga de las baterías o la velocidad que nos permitirá conocer la forma de expandir este tipo de vehículos de cero emisiones. Y estamos avanzando en un proyecto, Electromove, que busca contar con una tecnología que permita que los autobuses circulen gracias a la electricidad que les llegará desde un sistema de inducción instalado en el pavimento.

En el ámbito del vehículo privado, en España se venden todavía pocos coches eléctricos, debido principalmente

a su elevado precio y a la necesidad de un mayor despliegue de infraestructura de recarga, ¿es fundamental que las administraciones contribuyan, en la medida de sus posibilidades, a impulsar el uso del vehículo eléctrico? ¿Cómo pueden hacerlo?

“La digitalización del transporte va a ser uno de nuestros grandes aliados para lograr una mayor eficiencia energética”

Claro que es fundamental impulsar el uso de estos vehículos como los de todos aquellos medios de transporte que usen energías limpias y poco contaminantes. Cada administración debe hacerlo dentro de su ámbito y competencia. En el caso de la Consejería de Fomento, nuestro objetivo es fomentar la creación de corredores viarios dotados de estaciones de carga y repostaje de energías alternativas, tanto en la red de carreteras de alta capacidad como convencional.

¿Cómo valora el papel de la ingeniería para implementar las tecnologías necesarias con el fin de que esta transformación energética se desarrolle generando mayor valor y competitividad en la economía?

La ingeniería juega un papel clave a la hora de abordar cualquier proyecto, tanto en la fase de diagnóstico y análisis de la viabilidad de la idea, como en la del diseño de la solución más adecuada y en su ejecución. Y si hablamos de promover la transformación energética, mucho más. Contar con la iniciativa y el conocimiento técnico que tienen los ingenieros, las empresas de ingeniería, es clave para impulsar ese proceso y nos puede abrir un campo de desarrollo enorme. De ahí el empeño que tenemos en el Gobierno andaluz de promover iniciativas a través de procesos como la Compra Pública de Innovación, el mismo Electromove que he citado antes, para fomentar el desarrollo de proyectos que nos hagan más competitivos en un campo que tiene un futuro prometedor y puede generar muchos empleos.

¿Qué otras iniciativas y medidas respetuosas con el medio ambiente, que

contribuyan a la reducción de las emisiones y la protección del paisaje, han puesto en marcha?

En Andalucía tenemos en marcha una Revolución Verde que se está aplicando en todos los ámbitos, y en el caso de la Consejería de Fomento todas las iniciativas que se desarrollan deben tener el “Sello Verde”. Ello implica que todas nuestras actuaciones se ejecutan con medidas respetuosas con el medio ambiente y que contribuyan a la reducción de las emisiones contaminantes, así como la protección del paisaje. Eso incluye desde las actuaciones dirigidas a potenciar el transporte público, como las ampliaciones de los tres metros andaluces -Granada, Málaga y Sevilla-; el impulso a los tranvías -Bahía de Cádiz, Jaén y Alcalá de Guadaíra-; la construcción de plataformas reservadas al transporte público o las carreteras paisajísticas. Además, hemos puesto en marcha iniciativas novedosas para avanzar en nuestro objetivo de tener una red de carreteras autonómicas más sostenibles y menos contaminantes. Por ejemplo, en colaboración con la iniciativa privada y la Universidad de Granada, pusimos en marcha un proyecto que nos ha permitido contar con un material nuevo para pavimentar nuestras carreteras, hecha con una mezcla de material de fresado y polvo de caucho procedente de neumáticos usados. Con esta mezcla, que ya estamos utilizando en nuestras obras, fomentamos la economía circular, con un mejor aprovechamiento de nuestros recursos, reduciendo los residuos y los efectos en el medio ambiente.

¿Cómo se imagina las ciudades del futuro, teniendo en cuenta los retos y desafíos a los que se enfrentan en materia de medioambiente y cambio climático?

Me gusta imaginar las ciudades del futuro como espacios donde sea fácil pasear, con espacios públicos accesibles e importantes áreas verdes, y con una movilidad basada en el uso del transporte público y una intermodalidad real que permita reducir el actual predominio del coche privado. Con ello nuestras ciudades contarán con un aire más limpio y nuestro planeta también respirará mejor. Confío en que ese objetivo podamos conseguirlo pronto, pero nos queda mucha tarea por delante.

Joan Ribó

Alcalde de Valencia

“Nuestra aspiración es hacer de València, en 2030, una ciudad resiliente ante el cambio climático”

Mónica Ramírez

En 2020, Valencia era reconocida como una de las seis ciudades más innovadoras de Europa por la Comisión Europea. La estrategia Missions València 2030, que tiene como principal bastión a la innovación para mejorar la calidad de vida de las personas y trabajar por la sostenibilidad de la ciudad, era la principal valedora para lograr este destacado pódium.

A través de esta iniciativa, el trabajo que desarrolla el Ayuntamiento se centra en la consecución de misiones de innovación, que es precisamente lo que Europa reclama en estos momentos. En este contexto, la ciudad ha presentado su primera misión: València Ciudad Neutra. Una misión que aspira a conseguir que la capital del Turia sea climáticamente neutra para el 2030, de acuerdo con los planteamientos de la Comisión Europea.

El proyecto cuenta, además, con el apoyo del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Valencia (COGITI Valencia), que también forma parte de Missions València 2030 -impulsado por el Ayuntamiento de València y el centro de innovación Las Naves-, al convertirse en embajador de esta iniciativa.

Joan Ribó, alcalde de Valencia, habla en *Técnica Industrial* de esta importante estrategia, que busca convertir la ciudad en un espacio más saludable, sostenible, compartido y emprendedor, a través de la innovación y la investigación.

En líneas generales, ¿cuáles son los principales objetivos de Missions València 2030?

Missions València 2030 nació con el objetivo principal de conseguir que València sea una ciudad más saludable, sostenible, compartida y emprendedora. Estamos en un contexto donde la sociedad mira constantemente a la ciencia y a la innovación para que nos dé esas soluciones y respuestas a los grandes retos y a las emergencias que la humanidad debe enfrentar. A través del programa Mis-



Joan Ribó

“Fuimos reconocidos en 2020 por la Comisión Europea como una de las seis ciudades más innovadoras de Europa”

sions, la ciudad de València se convertirá en una ciudad donde poder experimentar y desarrollar una investigación e innovación que mejore la vida de las personas.

¿Cómo se va desarrollar?

La estrategia Missions València 2030 nació en junio de 2020 y desde entonces ha tenido un corto pero fructífero recorrido. Fuimos reconocidos en 2020 por la Comisión Europea como una de las seis ciudades más innovadoras y este año hemos presentado nuestra primera misión: València Ciudad Neutra. Una misión que aspira a conseguir que nuestra ciudad sea climáticamente neutra para el 2030 de acuerdo con los planteamientos de la Comisión Europea. Avanzar hacia esa neutralidad climática nos hará avanzar hacia esa ciudad más sostenible pero también más saluda-

ble. No debemos olvidar que el entorno que nos rodea influye en nuestra salud. Y esto es la base para un sistema económico más verde y digitalizado en la ciudad que resulte atractivo. Es la gran apuesta de Europa y nosotros creemos y vamos a trabajar en ella. El Green Deal ya habla de empleos verdes y de calidad. Sin duda contribuirán a que haya menos desigualdades entre la ciudadanía, porque debemos recordar que las clases más desfavorecidas son las que más se ven afectadas cuando hablamos de Cambio Climático.

Y en relación a ello, el Ayuntamiento de València ha lanzado una convocatoria internacional para proyectos orientados a la misión València Ciudad Neutra, a la que se destinarán los 100.000 euros que en 2020 ganó por quedar entre las 6 ciudades finalistas en los citados premios. La presentación de candidaturas se lanzaron desde el Consistorio se realizó del 1 de julio al 15 de septiembre pasado. ¿Cómo ha sido la participación en la convocatoria? ¿Qué cualidades e innovaciones ha de tener el proyecto ganador?

Estamos muy contentos con todas las propuestas presentadas. Y estamos contentos porque hay de diferentes disciplinas: de movilidad, de energía... De todas ellas, hemos seleccionado 9 propuestas que pasan a la siguiente fase. El 15 de noviembre damos a conocer ese proyecto ganador alineado con la misión València Ciutat Neutra. Los proyectos propuestos tienen un claro carácter innovador, promoviendo cambios de modelo y de hábitos hacia otros más sostenibles, saludables, productivos, eficientes y socialmente justos en el reto planteado por la misión València Ciudad Neutra.

Un comité técnico está evaluando los proyectos propuestos con 3 grandes criterios: el impacto potencial sobre la descarbonización de la ciudad, la inversión adicional que moviliza y su impacto en el

empleo, y la implicación social y movilización del ecosistema innovador.

Además, en septiembre, València ha firmado un acuerdo, junto a Madrid, Barcelona y Sevilla, para acelerar el avance hacia la neutralidad climática, un acuerdo que se inscribe dentro de la iniciativa citiES 2030, ¿en qué consiste exactamente este acuerdo?

El acuerdo forma parte de la Misión de Ciudades que la Comisión Europea lanzó en 2020, dentro del programa Horizonte Europa, con el objetivo de conseguir 100 ciudades climáticamente neutras en 2030 por y para la ciudadanía. València se ha dotado de una estrategia de ciudad que combina la Agenda Urbana –con un marco de objetivos para avanzar en nuestro modelo mediterráneo de ciudad sostenible, saludable, próspera y compartida- y la innovación orientada a misiones.

Las cuatro ciudades firmantes nos hemos comprometido a poner en marcha soluciones que promuevan la equidad y produzcan beneficios sociales, económicos y ambientales, así como diseñar una hoja de ruta para lograr la descarbonización y la transición ecológica. En este contexto, es fundamental movilizar a todos los actores públicos y privados en la consecución de la misión. Para ello, hemos creado la figura de las entidades embajadoras de la misión, para articular un amplio pacto social en la ciudad para su descarbonización.

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan las grandes ciudades es lograr un equilibrio entre el modo de vida urbano y la preservación del medio ambiente y el entorno natural, ¿qué medidas se pueden tomar desde el Ayuntamiento para lograr

“Hemos creado la figura de las entidades embajadoras de la misión, para articular un amplio pacto social en la descarbonización”

una ciudad realmente sostenible, teniendo en cuenta las dificultades que se puede encontrar?

Nosotros aspiramos a hacer de València en 2030 una ciudad resiliente ante el cambio climático, que desarrolle todo un sistema de infraestructura verde y apuesta por la biodiversidad a través de la huerta, el litoral, los lechos del río Turia y la Albufera. Una ciudad que sea capaz de reducir la emisión de gases de efecto invernadero para mejorar la calidad del aire, que utilice energías renovables, que sea eficiente energéticamente y que ha descarbonizado la movilidad metropolitana promoviendo el uso del transporte público y la movilidad activa. Una ciudad que practica un urbanismo respetuoso con el territorio, fomenta la producción local y sostenible de alimentos. Una ciudad que hace una gestión sostenible del ciclo integral del agua y apuesta por la economía circular para reutilizar, reparar, reciclar y reducir los residuos que genera.

¿Cómo se imagina las ciudades del futuro? ¿Sobre qué pilares tendrían que apoyarse para ser ciudades sostenibles e inteligentes?

Para imaginar esa València del futuro nosotros utilizamos diferentes miradas. Esas miradas son un punto de partida abierto para repensar la ciudad y perfilar colectivamente qué València queremos para el 2030. Elaboramos esas miradas

a partir de los retos identificados y su función es orientar la definición de las misiones, líneas y objetivos estratégicos, que serán los que expresen un nivel más específico de compromiso que se tiene que conseguir a medio y largo plazo. La mirada pretende ir más allá de los tradicionales ámbitos o ejes temáticos de la planificación estratégica para orientar el pensamiento estratégico hacia un propósito que se puede conseguir desde diferentes políticas o sectores, anticipando ya así, de alguna manera, la lógica conceptual de las misiones. Y las miradas que hemos previsto desde la Estrategia Urbana es la de la ciudad saludable, sostenible, compartida, próspera y emprendedora, creativa y mediterránea.

Por último, el pasado mes de julio, el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Valencia (COGITI Valencia), se incorporó a la estrategia de innovación de la ciudad para la próxima década, como organización embajadora de Missions València 2030. ¿Cómo pueden contribuir los ingenieros en el desarrollo del tejido productivo y tecnológico de la ciudad?

Los ingenieros y las ingenieras son fundamentales para poder hacer realidad nuestra aspiración compartida. Dentro del acuerdo que comentábamos de la iniciativa citiES 2030 tenemos como objetivo promover formas innovadoras de colaboración entre ciudades, entidades públicas y privadas, universidades y centros de investigación y organizaciones de la sociedad civil que aceleren la transformación necesaria para alcanzar ciudades sostenibles, saludables y resilientes. El reto es poner el conocimiento técnico propio de la ingeniería al servicio de una ciudad descarbonizada y resiliente donde las personas puedan vivir mejor.

**ELIGE TU GRADO DE INGENIERÍA
CON TODA LA INFORMACIÓN**

<https://cogiti.es/guia-de-titulaciones>

**ATRIBUCIONES PROFESIONALES
PROFESIÓN REGULADA
EUROINGENIERO
EMPLEABILIDAD
COLEGIACIÓN...**

Estudio técnico y contextual de las prensas de husillo de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz de Riópar (Albacete)

Technical and contextual study of the screw presses in the Royal Factories of San Juan de Alcaraz de Riópar

Miguel A. Sebastián Pérez¹, Juan Claver Gil¹, Marta Vera Prieto², Lorenzo Sevilla Hurtado³ y Aurora Galán Carretero⁴

Resumen

Las prensas de husillo fueron, a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, unas de las máquinas herramienta más punteras e imprescindibles para algunas operaciones de forja, estampación y de corte y punzonado de chapa gruesa. En el presente trabajo se consideran las prensas de este tipo existentes en el entorno museístico de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz de Riópar (Albacete). Estas instalaciones productivas disponen de siete ejemplares correspondientes a dos tipologías de prensas de esta familia, a saber: prensas de volante y prensas de husillo a fricción. Ambos tipos de máquinas-herramienta se basan en el mecanismo tornillo-tuerca y son prensas del grupo denominado “de energía limitada”. Dentro de las prensas disponibles destaca, por sus especiales características y antigüedad, una prensa de husillo a fricción marca Delalande, fabricada en París a comienzos del siglo XIX. Por su estructura y características parece que su accionamiento ha sido modificado en, al menos, dos ocasiones, pasando de un diseño inicial de prensa de volante con accionamiento manual por varios operarios al tipo de husillo a fricción con accionamiento por rueda hidráulica, para, a partir de 1940, estar operada por motor eléctrico, como corresponde a su actual configuración. En el presente trabajo se va a proceder a la presentación y clasificación de los tipos de prensas de husillo disponibles en el Museo de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz de Riópar. También se estudiarán las principales características de los modelos disponibles y se realizará un análisis más riguroso sobre el ejemplar de prensa Delalande, justificando las modificaciones de su accionamiento ya indicadas. También se presentarán otras prensas de husillo disponibles en espacios expositivos españoles.

Palabras clave

Patrimonio industrial, prensa de husillo, historia tecnología, ingeniería de fabricación, Reales Fábricas de Riópar, Riópar

Abstract

Screw presses were, at the end of the 18th century and the beginning of the 19th century, one of the most advanced and essential machine tools for some forging, stamping and cutting and punching operations of thick sheet metal. In the present work the presses of this type existing in the museum of the Royal Factories of San Juan de Alcaraz de Riópar (Albacete) are considered. These production facilities have seven copies corresponding to two types of presses in this family. Among the available presses, due to its special characteristics and age, a Delalande friction screw press, manufactured in Paris at the beginning of the 19th century, stands out. Due to its structure and characteristics, it seems that its drive has been modified on at least two occasions, going from an initial design of a flywheel press with manual operation by several operators to the type of friction spindle with hydraulic wheel drive. From 1940, it was operated by an electric motor, as corresponds to its current configuration. In this work we will proceed to the presentation and classification of the types of screw presses available in the museum of the Royal Factories of San Juan de Alcaraz de Riópar. The main characteristics of the available models will also be studied and a more rigorous analysis will be carried out on the Delalande press piece, justifying the modifications of its drive already indicated. Other screw presses available in Spanish exhibition spaces will also be presented.

Keywords

Industrial heritage, screw press, history of technology, manufacturing engineering, Riópar Royal Factories, Riópar

Recibido / received: 03/06/2021. Aceptado / accepted: 02/10/2021.

¹ Departamento de Ingeniería de Construcción y Fabricación, UNED, msebastian@ind.uned.es, jclaver@ind.uned.es

² Asociación de Amigos de las Reales Fábricas de Riópar, mveraprieto@gmail.com

³ Departamento de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación, Universidad de Málaga, lsevilla@uma.es

⁴ Departamento de Sociología, Universidad de Castilla-La Mancha, aurora.galan@uclm.es



Vista parcial del Museo de las Reales Fábricas de Riópar, donde se expone un conjunto de siete prensas de husillo de diferentes tipologías. Foto cedida por los autores del artículo.

Introducción

Las comúnmente conocidas como Reales Fábricas de Riópar (RFR), Reales Fábricas de Latones de Riópar o Fábricas de Metales de Riópar, se encuentran situadas en la localidad de Riópar, en la provincia castellano-manchega de Albacete. Fueron establecidas en 1773, mediante Real Cédula de 19 de febrero de Carlos III, con la denominación de *Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz* [21][22][23]. El responsable de su creación y primeros años de funcionamiento fue el técnico austriaco, nacionalizado español, Johann Georg Graubner (Viena, 1736; Alcaraz, 1801). Graubner, experto en la construcción de bombas hidráulicas y de otras máquinas con componentes de latón, tuvo conocimiento de las reservas de calamina existentes en la zona de Riópar y obtuvo en 1773 la autorización real para la explotación de las minas, el procesado de la calamina y el establecimiento de fábricas para la construcción de piezas, objetos y máquinas de latón, así como de cobre y bronce, en las proximidades de dichas minas. A partir de la obtención de la concesión real, Graubner impulsó la construcción de varias instalaciones fabriles, de diversas obras hidráulicas

y de un importante asentamiento poblacional anexo, en las cercanías de la localidad original de Riópar. La zona actualmente perteneciente al municipio de Riópar, provincia de Albacete, resultó idónea por su cercanía a las minas de calamina y por los recursos energéticos disponibles, principalmente hidráulicos, debidos a los ríos de la Vega y Mundo y a los arroyos Gollizo y Salado.

Estas fábricas, tras incontables vicisitudes y cambios en la propiedad, estructura, instalaciones y tipos de producción, perduraron en funcionamiento hasta 1996, con lo que su existencia como tales ha sido de 223 años. Con fecha 7 de noviembre de 2008, estas fábricas fueron declaradas Bien de Interés Cultural (BIC) [9] con la categoría de *conjunto histórico* y bajo la denominación de *Fábricas de Metales de Riópar*.

En la actualidad se encuentra abierto al público el espacio expositivo Museo de las Reales Fábricas de Riópar (MRFR) en los locales de la antigua Factoría de San Carlos del conjunto de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz, en Riópar. En dicho museo se expone un amplio parque de máquinas-herramienta [11][22][17] y entre

ellos se encuentra un conjunto de siete prensas de husillo (*screw presses*) de diferentes tipologías [17] que constituyen una muestra significativa para el estudio de este tipo de máquinas y de su evolución a lo largo de los últimos dos siglos.

Contextualización histórica de las Reales Fábricas de Riópar

El fundador de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz, Johann Georg Graubner, llegó a España en 1758, se instaló en Madrid para trabajar como constructor de máquinas, adquirió la nacionalidad española y cambió su nombre original por el de Juan Jorge. Anteriormente se había formado y trabajado como técnico en la ciudad de Goslar (Baja Sajonia), donde se encontraban las minas de cobre, plomo y cinc de Rammelsberg, las principales factorías de latón existentes en Europa y un singular sistema de gestión hidráulica para fines mineros y metalúrgicos que fue declarado Patrimonio de la Humanidad en 1992 [20]. Muy posiblemente dichas instalaciones de Goslar constituyeron su principal fuente de inspiración para su proyecto en Riópar.

En diciembre de 1767, Graubner fue requerido para diseñar y mantener

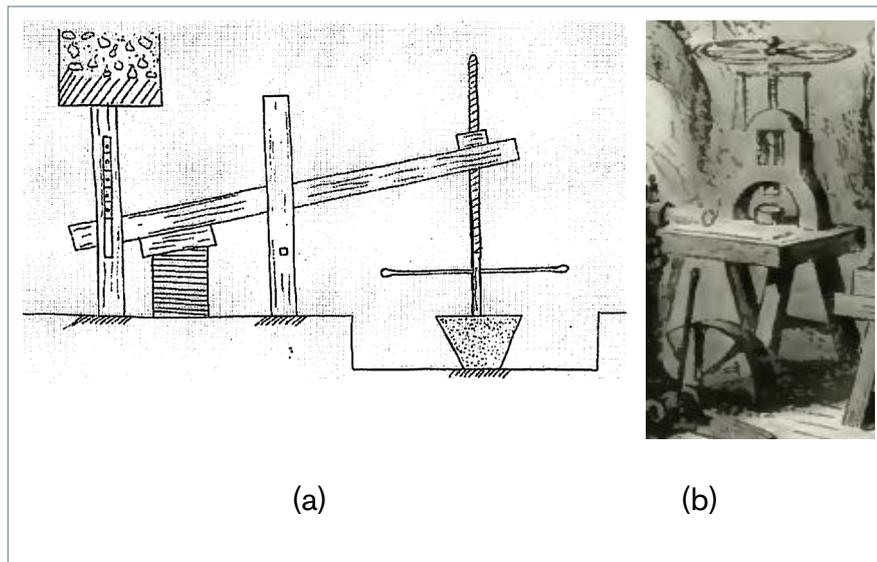


Figura 1. (a) Prensa de viga y tornillo para el prensado de aceitunas [15]. (b) Prensa de husillo manual para la fabricación de jabón (dibujo de J. Gaildrau) [4].

las bombas hidráulicas de la unidad de bomberos de Madrid, de reciente creación, dada su experiencia en la construcción de máquinas hidráulicas y en la utilización de materiales esenciales para las mismas, como el cobre y sus aleaciones de latón y bronce. Tras un viaje a la comarca de Alcaraz y la visita a la mina de calamina (mineral de cinc) que había en las proximidades de la localidad de Riópar, Graubner solicitó a Carlos III la concesión de autorización para fundar una factoría de productos de latón. Graubner era conocedor del complejo mineroindustrial e hidráulico existente en la ciudad alemana de Goslar y, posiblemente, se inspiró en él para su proyecto en Riópar. A partir de la obtención de la concesión real, Graubner impulsó la construcción de varias instalaciones fabriles, de diversas obras hidráulicas y de un importante asentamiento anexo en las cercanías de la localidad original de Riópar. Este nuevo complejo tuvo los nombres de Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz y, más adelante, Fábricas de San Juan de Alcaraz hasta 1991 en que este núcleo poblacional pasó a denominarse “Riópar”, mientras que el pueblo antiguo adquirió el nombre actual de Riópar Viejo [8]. Por todo ello, estas Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz constituyen, en origen, un ejemplo singular y muy interesante del amplio movimiento habido durante el siglo XVIII en torno a la industrialización española de la Ilustración.

Estas fábricas estuvieron activas hasta el año 1996, al no prosperar el intento habido para mantener en funcionamiento estas instalaciones industriales y, tras 223 años de actividad, tuvo lugar el cierre definitivo de este conjunto fabril. En estas instalaciones industriales se han llevado a cabo, a lo largo de su historia, diversos procesos de fabricación, principalmente de productos de latón, bronce y cobre, entre los que destacan los siguientes: fundición, laminación, trefilado, estampación, calderería ligera, repulsado y mecanizado. Un mayor detalle de los diferentes tipos de productos y acerca de las distintas fases productivas habidas en estas fábricas puede consultarse en trabajos previos de los autores del presente trabajo [21][22][17][18].

En relación con los diferentes modelos productivos de las RFR, estas dispusieron de multitud de maquinaria, parte de la cual se conserva y se expone en el Museo de las Reales Fábricas de Riópar (MRFR), entre ellas un buen número de máquinas-herramienta [11][17]. En el presente trabajo se consideran únicamente las prensas de husillo (*screw presses*) existentes en el MRFR, lo que comprende un conjunto de siete unidades de modelos y características diferentes.

Contextualización tecnológica de las prensas de husillo

La utilización del mecanismo tornillo-tuerca para la realización de pro-

cesos de compresión es muy antigua. Se han encontrado documentados varios tipos de prensas basadas en este mecanismo para diversos usos, como la producción de aceite [15]. Téngase en cuenta que para este tipo de mecanismos, la denominación más común en el ámbito técnico para el elemento tornillo es el término *husillo*, cuya definición en el vigente Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia Española es: “Tornillo de hierro o madera que se usa para el movimiento de las prensas y otras máquinas” [14].

En estas prensas, el desplazamiento del tornillo accionado mediante una palanca provocaba una compresión directa del material en proceso hasta el momento en que se equilibraba la fuerza de desplazamiento del tornillo con la de resistencia de dicho material objeto del proceso de compresión. Este proceso, aunque perfectamente válido para multitud de procesos, como en la obtención de aceite de oliva desde la antigüedad (Fig. 1a) y en la fabricación de jabón a mediados del siglo XIX (Fig. 1b) no era de validez para trabajos con materiales de alta resistencia, como para el conformado de metales, por lo que se recurría en estos casos a técnicas de golpeado localizado, como la forja de espadas en talleres de tipo fragua.

El empleo de husillos de “paso largo”, accionados por una manivela con contrapesos (volante) –que se pone en movimiento a una velocidad rotacional alta para que, en el momento del contacto con la pieza, lo que se transmite sea la energía acumulada por el volante– es una técnica que combina, con ventaja mecánica, los efectos de la prensa directa de husillo con la técnica del martillado. En el caso de prensas manuales de este tipo, como la de la figura 2, una única persona consigue una capacidad mecánica muy superior a la que tendría con un sistema de prensa manual de acción directa o con un martillo manual.

Desde el punto de vista de las características mecánicas de las prensas, las del tipo de las consideradas en la figura 1 son de la categoría de “prensas de fuerza limitada” [16] o “prensas controladas por fuerza” [13], mientras que las del tipo de la figura 2 lo son de la categoría de “prensas de energía limitada” [16] o “prensas controladas por capacidad energética [13]. En la pri-



Figura 2. Prensa manual de husillo con manubrio y contrapeso del Museo de las Reales Fábricas de Riópar (fotografía de los autores).

mera de las categorías presenta ventaja mecánica el empleo de husillos de paso pequeño, mientras que en la segunda se tiende a la utilización de pasos de mayor longitud, a fin de no frenar el conjunto de husillo-volante en la fase de lanzamiento de dicho conjunto y, en la anterior, al golpe conformador.

Como se aprecia en la figura 2, el cabezal de la prensa actúa en dirección vertical y sentido descendente y la palanca de accionamiento (en cuyo extremo izquierdo lleva el manubrio y en el derecho, el contrapeso) está asociada al husillo, mientras que la tuerca es fija y está vinculada a la estructura (bastidor) de la máquina.

El empleo de este tipo de prensas para el conformado de metales se suele atribuir al escultor, fundidor y orfebre florentino Benvenuto Cellini (1500-1571), que empezó a utilizarlas en el grabado de medallas, si bien la generalización de su uso se asocia a la acuñación de monedas en Francia y a técnicos franceses como Aubrin Olivier y a Antoine Brulier, hacia 1553.

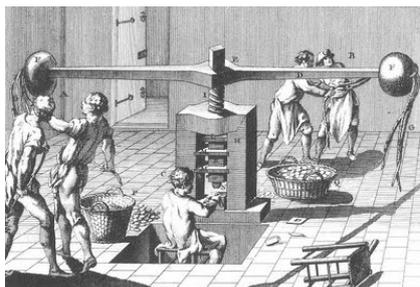


Figura 3. Dibujo de prensa de husillo para acuñación de moneda de la plancha XI del tomo 25 de la edición de Ginebra, de 1771, de *L'Encyclopédie* de Diderot y D'Alembert [5].

Una referencia universal para este tipo de máquinas en su empleo en la acuñación de moneda. La brinda la conocida figura de la plancha XI del tomo 25 de *La Enciclopedia* de Diderot y D'Alembert (Fig. 3). En dicho dibujo se aprecia que su funcionamiento requiere de 5 operarios, 4 para el accionamiento de la prensa y uno para la alimentación de los cóspeles y la evacuación de las monedas obtenidas por la misma.

Este tipo de prensas de volante fue empleado en las cecas de los principales países y Estados europeos durante más de dos siglos, como es el caso de las prensas de la Real Casa de la Moneda de Segovia [6] (Fig. 4a) y del Museo Casa de la Moneda de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre de Madrid (Fig. 4b).

La utilización de estas máquinas, para procesos de carácter repetitivo en la producción masiva de piezas, tenía el inconveniente del tiempo que se tardaba en rearmar la prensa de cara al siguiente impacto. Por ello, se pensó en mecanismos que automatizaran tanto la carrera de trabajo como la de vacío. En la bibliografía técnica de la época se disponía de mecanismos que

convertían el movimiento rotativo continuo en movimiento rotativo alternativo.

El caso quizás más conocido es el correspondiente al mecanismo R 9 del libro de Lanz y Betancourt *Essai sur la composition des machines*, publicado originalmente en francés en 1808 para servir de texto en la École Polytechnique de París. Dicho mecanismo se basa en un sistema de ruedas de cajales, dentada solo en la mitad de su circunferencia (Fig. 5) y, según engrane con la rueda de la izquierda o de la derecha del árbol horizontal superior, provoca en el árbol vertical el giro en uno u otro sentido. Este mecanismo que cinemáticamente parece cumplir con los requisitos necesarios para el accionamiento de prensas de husillo no puede ser empleado al efecto porque presenta incompatibilidades estructurales y dinámicas obvias.

Sin embargo, los avances tecnológicos habidos en el siglo XIX [3] y, en particular, gracias a la generalización del empleo del hierro y de sus aleaciones en la construcción de máquinas-herramienta, tanto a nivel de bastidor como de sus elemento móviles, se consiguió la rigidez suficiente para hacer operativo un mecanismo basado en el fenómeno del rozamiento (o fricción). Esto dio lugar a la prensa de husillo a fricción con una configuración como la que ha llegado hasta nuestros días (Fig. 6). En efecto, esta tipología de prensas puede encontrarse en internet, tanto en el mercado de segunda mano como en catálogos *online* de fabricantes y distribuidores de estas prensas. Advértase que en el croquis de la figura 6, realizado a partir del dibujo de un mecanismo del libro de Lanz y Betancourt [10], se indentifican los diferentes componentes de las prensas de husillo a fricción e incluso se incluyen indicaciones acerca de los dos sentidos de movimiento posibles.

Resulta conveniente indicar que, aunque anteriormente al siglo XIX se tuviera la idea de diseño de accionamientos basados en el empleo de ruedas a fricción, con estructuras de madera reforzadas de manera esporádica con elementos y zunchos metálicos, no resultaba posible la construcción y puesta en operación efectiva de este tipo de sistemas. De ahí que, entre otras fuentes y consideraciones, el mecanismo de accionamiento de las

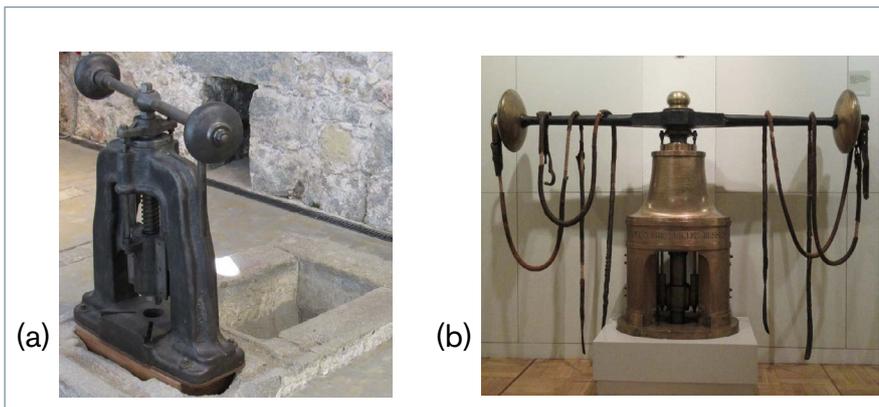


Figura 4. (a) Prensa de volante de finales del siglo XVIII del Museo de la Real Casa de la Moneda de Segovia; (b) Prensa de volante de 1803 del Museo Casa de la Moneda de Madrid (fotografías de los autores).

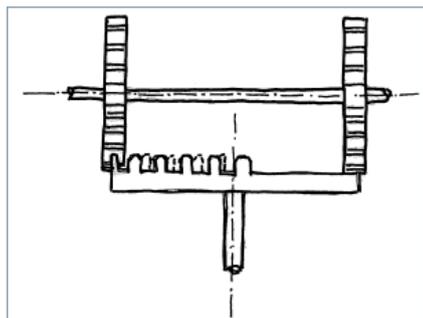


Figura 5. Croquis del mecanismo R 9 del libro de *Ensayo sobre la composición de las máquinas* de Lanz y Bethancourt [10].

prensas de husillo a fricción no se viera recogido en ya citado libro de Lanz y Bethancourt, publicado inicialmente en francés en 1808 [10].

Prensas de husillo del Museo de las Reales Fábricas de Riópar

Dentro del conjunto de maquinaria disponible en el Museo de las Reales Fábricas de Riópar (MRFR), las prensas de husillo constituyen una de las máquinas-herramienta con mayor número de elementos disponibles [22] [17]. En concreto, se encuentran expuestos en el museo siete ejemplares de prensas de husillo, y se pueden considerar tres tipos de prensas de esta familia, a saber:

- Prensas de husillo manuales de volante o de manivela y contrapeso.
- Prensa de volante/de husillo a fricción Delalande.
- Prensas de husillo a fricción.

También se aprecian las dos tipologías de bastidor siguientes:

Con bastidor en “C” (*C-frame*) con un único montante, también llamado “en cuello de cisne” o “con escote”.

- Con bastidor en “H” (*H-frame*) o bastidor de doble montante.

La designación dada para la identificación de estas siete prensas es la siguiente [18]:

- Prensa manual de volante con bastidor en “C” (PH1, Fig. 7a).
- Prensa manual de volante con bastidor en “H” (PH2, Fig. 7b).
- Prensa de volante Delalande transformada a de husillo a fricción (PH3, Fig. 8).
- Prensa de husillo a fricción Weingarten con bastidor en “C” (PH4, Fig. 9a).
- Prensa de husillo a fricción nº 7 sobre banco (PH5, Fig. 9b).
- Prensa de husillo a fricción Weingarten H-70, con bastidor en “H” (PH6, Fig. 9c).
- Prensa de husillo a fricción Weingarten H-140, con bastidor en “H” (PH7, Fig. 9d).

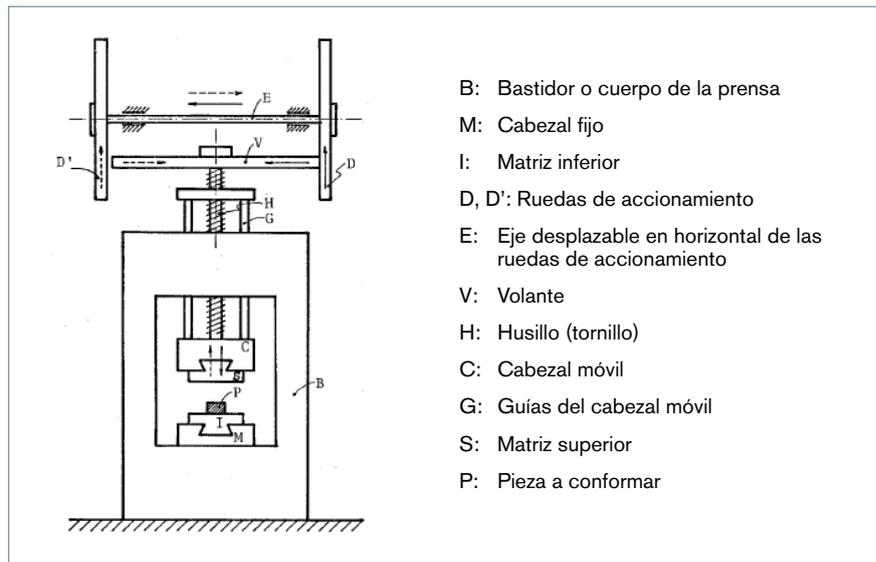


Figura 6. Esquema de prensa de husillo a fricción [16].

- B: Bastidor o cuerpo de la prensa
- M: Cabezal fijo
- I: Matriz inferior
- D, D': Ruedas de accionamiento
- E: Eje desplazable en horizontal de las ruedas de accionamiento
- V: Volante
- H: Husillo (tornillo)
- C: Cabezal móvil
- G: Guías del cabezal móvil
- S: Matriz superior
- P: Pieza a conformar

garten H-70, con bastidor en “H” (PH6, Fig. 9c).

- Prensa de husillo a fricción Weingarten H-140, con bastidor en “H” (PH7, Fig. 9d).

Como puede apreciarse, la tipología que cuenta con mayor número de máquinas es la de prensas de husillo a fricción con bastidor de doble montante sobre bancada en suelo, que, por otra parte, se corresponde con la de las prensas de husillo más comunes en la producción industrial general desde finales del siglo XIX hasta la actualidad. Los campos de utilización más comunes de este tipo de prensas son la estampación en caliente y el punzonado y estampado en frío de chapa.

Prensas de husillo manuales de manivela y contrapeso

Dentro de este tipo de prensas de husillo, se encuentran expuestas al público en la nave de fabricación del Museo de las Reales Fábricas de Riópar (MRFR) los dos ejemplares presentados en la figura 7. La primera de ellas (Fig. 7a), corresponde a una máquina manual de sobremesa con bastidor en “C” y susceptible de ser manejada por un único operario.

Por su parte, la segunda prensa (Fig. 7b), con bastidor de doble montante, tiene un carácter industrial más acusado y mayor tamaño, por lo que se considera que su modo más común de funcionamiento es con dos operarios, uno responsable del accionamiento y otro del proceso de conformado

de chapa (punzonado o estampado de chapa, principalmente).

En la figura 7a se aprecia la falta del contrapeso, que debería estar en el extremo derecho de la palanca-manivela. Estas prensas manuales carecen de marca y se desconoce su constructor.

Ambas prensas pueden ser fechadas en la segunda mitad del siglo XIX y su utilización en las Reales Fábricas de Riópar podría estar asociada a la realización de operaciones complementarias y auxiliares a los procesos productivos comunes de la fábrica, así como a la fabricación de piezas de pequeño tamaño.

Prensa de volante Delalande

La prensa de husillo de Delalande (Fig. 8), de la que se dispone de un único ejemplar en Museo de las Reales Fábricas de Riópar, presenta un carácter muy especial, ya que, por sus características técnicas, fecha de construcción y las evoluciones experimentadas en su accionamiento, constituye un “ejemplar único” y, por tanto, atesora (a juicio de los autores) un valor de carácter tecnológico, histórico y patrimonial importante. De hecho, de las siete prensas disponibles en el MRFR (v. Figs. 7, 8 y 9) es la que tiene un bastidor de forma y características únicas, muy similar al de prensas de volante de construcción más antigua, como son los casos de la prensa de acuñar de *L'Encyclopédie* (v. Fig. 3) y de las expuestas en el Museo de la Real Casa de Moneda de Segovia [6] (Fig. 4a) y en el de la Casa de la Moneda de Madrid (Fig. 4b).

Se trata de una prensa de estructura muy robusta y bastidor en “H”, con unas dimensiones exteriores de, aproximadamente, 2.500 × 3.300 × 1.600 mm; aunque con un área de trabajo relativamente pequeña, de unos 450 milímetros de ancho. Por ello, esta prensa está indicada para procesos de forja y estampación de piezas tridimensionales de tamaño medio, de barras de cierta sección y en el punzonado y estampación de pletinas de cierto grosor.

Prensas de husillo a fricción

De esta familia de prensas de husillo a fricción se dispone de cuatro ejemplares en el MRFR (Fig. 9), que se distribuyen según las dos tipologías constructivas de bastidor en “C” y de doble montante (en “H”):

Con bastidor en “C” se tiene un único ejemplar (Fig. 9a), mientras que con bastidor en “H” hay una prensa de husillo de menor tamaño que lo habitual y que, por tanto, precisa de intalación sobre banco (bancada elevada de tipo mesa) (Fig. 9b) y dos prensas con bastidor en “H” de tamaño y estructura comunes para esta tipología (Figs. 9c y 9d).

Análisis y resultados

A lo largo de los apartados anteriores, ya se han realizado algunas aportaciones al conocimiento sobre estos ejemplares de máquinas-herramienta disponibles en el Museo de las Reales Fábricas de Riópar (MRFR), si bien en el presente apartado se van a reunir los principales elementos del análisis y de sus resultados en lo relativo a la tipología predominante, esto es, a las prensas de husillo a fricción. Al efecto, la tabla 1 recoge alguna información y características de los cinco ejemplares de prensas de husillo a fricción

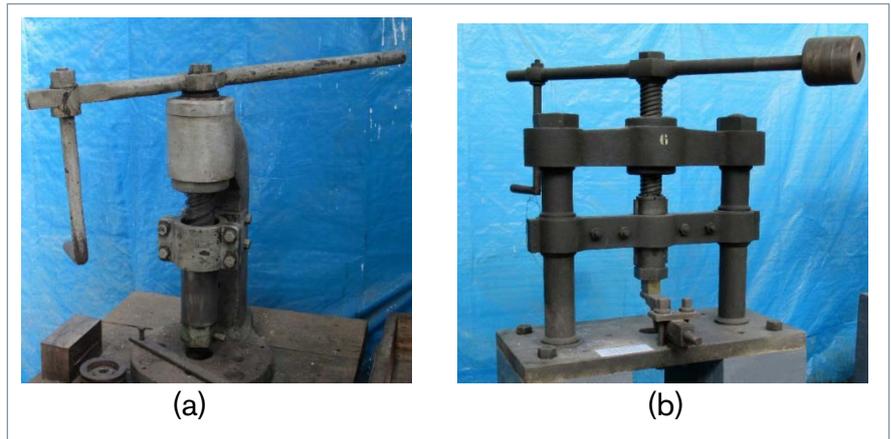


Figura 7. Prensas manuales de husillo del Museo de las Reales Fábricas de Riópar: (a) con bastidor en “C” a la que falta el contrapeso; (b) con bastidor en “H” (fotografías de los autores).



Figura 8. Prensa manual de husillo con manubrio y contrapeso del Museo de las Reales Fábricas de Riópar (fotografía de los autores).

del MRFR. En dicha tabla se han ordenado las máquinas por antigüedad, teniendo en cuenta que las fechas en cursiva corresponden a valores estimados y no directamente apoyados en documentación.

Uno de los elementos constructivos más importantes para este tipo de prensas es, precisamente, el husillo, cuyo diámetro está relacionado con los esfuerzos en servicio y el paso con las

características dinámicas de la prensa. A este respecto, cabe considerar la información presentada en la tabla 2, en la que se facilita información acerca de estas dos características geométricas de los husillos de las cinco prensas de husillo a fricción aquí tratadas.

Se aprecia que el tamaño de los diámetros de los husillos es coherente con la capacidad de las prensas en los casos de los ejemplares PH7, PH6 y PH5. Sin embargo, la prensa PH4 presenta, frente a la PH6, un mayor diámetro del husillo (lo cual es aún más ilustrativo al tratarse de dos máquinas del mismo fabricante), si bien es plenamente justificable al tratarse la PH4 de una prensa de un solo montante (bastidor en “C”) y, por ello, el constructor ha querido mejorar la rigidez del conjunto mediante la utilización de un husillo más robusto. También puede llamar la atención el escaso diámetro de la prensa Delalande frente a las prensas de la marca Weingarten, pero ello se explica porque el diseño originario de la máquina Delalande es el de una prensa de volante y, por eso, la energía y las sollicitaciones en servicio eran menores a los de las más modernas prensas de husillo a fricción Weingarten.

Por otra parte, se advierte de que las prensas aquí estudiadas (salvo la más pequeña sobre bancada PH5) tienen pasos grandes, entre 25 y 32 (de 1” a 1¼”), como por otra parte se aprecia visualmente en la figura 10. Recuérdese que en el roscado métrico ISO para usos generales [19], en diámetros de estos tamaños el paso de rosca es de 8 mm. También en la figura 10 puede

Marca/modelo/ (designación)	Año de adquisición	Dimensiones externas (mm)	Observaciones
Delalande (PH3)	1826	3.300 × 2.500 × 1.600	Inicialmente prensa de volante
Weingarten H-140 (PH7)	1830	1.600 × 3.000 × 1.100	Inicialmente con accionamiento hidráulico
Weingarten H-70 (PH6)	1850	2.000 × 3.000 × 900	Inicialmente con accionamiento hidráulico
Weingarten C (PH4)	1910	1.100 × 3.000 × 900	-
Prensa nº 7 en H (PH5)	1940	900 × 1.250 × 400	Posiblemente construida por encargo

Tabla 1. Prensas de husillo en el MRFR (por orden de antigüedad)

Marca/modelo/ (designación)	Diámetro (mm)	Paso (mm)	Ángulo de hélice (°)
Delalande (PH3)	140	32	12,9
Weingarten H-140 (PH7)	180	30	9,5
Weingarten H-70 (PH6)	115	22	11
Weingarten C (PH4)	120	25	11,9
Presna nº 7 en H (PH5)	60	15	14,3

Tabla 2. Dimensiones de los husillos (por orden de antigüedad de las prensas)

verse el excelente estado de conservación de los husillos de las prensas Delalande (PH3) y Weingarten H-70 (PH6).

Como se ha venido indicando, la prensa Delalande (Fig. 8) es un ejemplar muy singular, cuya fisonomía difiere en gran medida del resto de las prensas de husillo a fricción (Fig. 9) existentes en el MRFR; de hecho, se asemeja constructivamente más a las prensas de volante expuestas en Museo de la Real Casa de la Moneda de Segovia y en el Museo Casa de la Moneda de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre de Madrid (FNMT) de Madrid (v. Fig. 4) y, en especial, con la prensa de 1803 (Fig. 4b) de este último museo. Ello es explicable por el hecho de que cuando se construyó la prensa Delalande la tipología de prensas de husillo dominante era precisamente el correspondiente al sector de la fabricación de monedas. No obstante, la prensa Delalande del MRFR es de mayor tamaño y robustez que las prensas de volante de empleo en acuñación de moneda e, incluso, de la prensa del grabado de *L'Encyclopedie* (v. Fig. 3) [5] que, a su vez, parece de unas dimensiones bastante superiores a las de la prensa del Museo de la FNMT de Madrid.

Por otra parte, destaca el interés de disponer de tres prensas de la marca Weingarten que cubren un periodo temporal de unos 80 años. Efectivamente, la más antigua de ellas, que es la H-140 (PH7), forma parte de las primeras realizaciones de este tipo de prensas de husillo a fricción, pero observando la figura 9d y comparándola con la figura 9c, e incluso con la 9d (más moderna y de bastidor con un único montante), se aprecia que sus características generales de diseño son prácticamente las mismas. Ello es un reconocimiento implícito del acierto del diseño original de estas máquinas en la empresa Maschinen-

fabrik Weingarten, del Estado alemán de Württemberg.

Conclusiones

En el Museo de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz de Riópar se encuentran disponibles siete ejempla-

res de prensas de husillo de distintas tipologías y épocas. Dos de ellas son manuales y de menor tamaño y capacidad mecánica, y cinco del tipo de husillo a fricción, una con estructura de un solo montante y cuatro de doble montante. Esto viene a constituir una colección importante de este tipo de máquinas-herramienta, quizás la más completa e interesante del país de este tipo de prensas de husillo, y posibilita la observación y estudio de esta tipología de prensas, así como de sus principales características estructurales, constructivas y de accionamiento. A excepción de las prensas Delalande y PH5, que tienen ciertas singularidades, el resto de los modelos aún se siguen utilizando en la industria actual

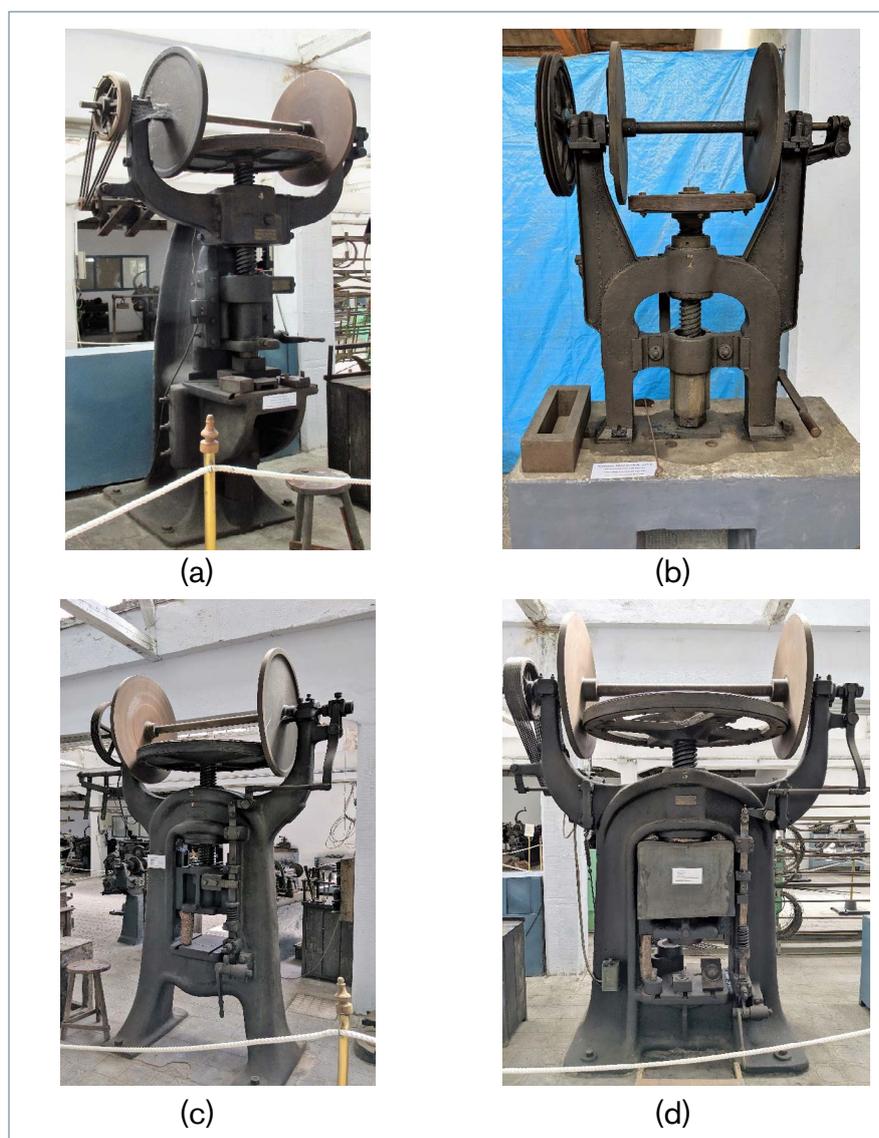


Figura 9. Prensas de husillo a fricción del Museo de las Reales Fábricas de Riópar: (a) PH4 con bastidor en "C"; (b) PH5 de doble montante sobre banco; (c) PH6 con bastidor en "H"; (d) PH7 con bastidor en "H" (fotografías de los autores).

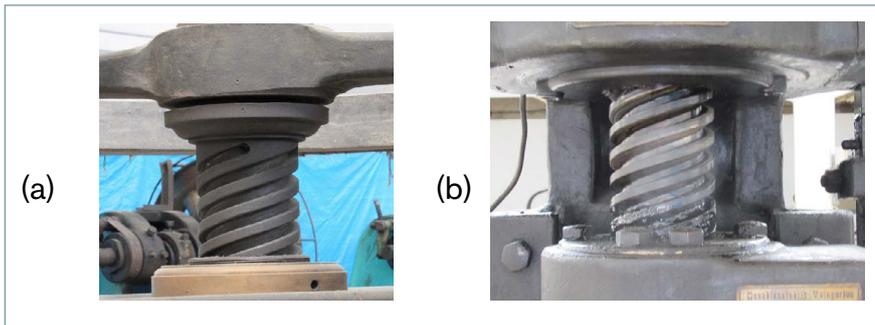


Figura 10. Detalle del roscado del husillo: (a) husillo de la prensa Delalande (PH3); (b) husillo de la prensa Weingarten H-70 (PH6) (fotografías de los autores).

y pueden encontrarse en el mercado de segunda mano e incluso en algunos catálogos de fabricantes actuales. Estas prensas de husillo de la categoría de “energía limitada” han sido, durante más de cuatro siglos, la base de importantes sistemas productivos, principalmente ligados a procesos de forja, estampación, acuñación de monedas y punzonado.

Dado el interés patrimonial, tanto del conjunto de estas siete prensas como los valores individuales de algunas de ellas, principalmente en el caso de las prensas Delalande y Weingarten H-140 y la singularidad de la prensa de doble montante sobre banco, se considera que su conservación y la mejora de sus condiciones de musealización son esenciales para el mantenimiento y transmisión a las generaciones futuras de estos elementos patrimoniales muebles. También se considera que sería interesante la identificación y el estudio de otras posibles prensas de volante y de husillo a fricción existentes en museos y espacios tecnológicos españoles y foráneos para la realización de trabajos de investigación de mayor envergadura y alcance.

También se hace un llamamiento a la mayor información a la ciudadanía de los valores patrimoniales existentes y la formación de técnicos y expertos en el conocimiento, identificación, análisis, preparación de documentación y desarrollo de proyectos en el ámbito del patrimonio industrial y campos afines [3].

Como última consideración, se indica que el presente trabajo se alinea con los dos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas [12] siguientes: educación de calidad e industria, innovación e infraestructura.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Museo de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz de Riópar [2] la colaboración prestada para el acceso a sus instalaciones, equipos y documentación y, en especial, a Cristina Muñoz Galdón por la información suministrada. También manifiestan su reconocimiento a la Asociación de Amigos de las Reales Fábricas de Riópar [1] y al Grupo de Trabajo sobre Patrimonio Industrial en Fabricación de la Sociedad de Ingeniería de Fabricación [7] por su apoyo constante en este campo de trabajo.

Referencias

- [1] Asociación de Amigos de las Reales Fábricas de Riópar (ARFR). Enlace en internet: <http://www.fabricasderiopar.com/>
- [2] Ayuntamiento de Riópar, Museo de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz. Enlace en internet: <https://riopar.es/programs/museo-fabricas-de-san-juan-de-alcaraz>
- [3] Claver, J. et al., “Materiales de la 3ª edición del Máster en Análisis, Gestión y Proyectos en Patrimonio Industrial”. Programa de Formación Permanente, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid (2020).
- [4] Chirac, A., “VIII Les petits métiers. La fabrique de savon parfumé”. *Exposition Universelle de 1867 Illustrée*, Dentu, E., Petit, P. (Eds.), tomo II, entrega 46, pág. 253. Paris (1867).
- [5] Diderot, L., D’Alembert, J.I.R., “L’Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers”, Nueva edición-Pellet, Ginebra (1778).
- [6] García-Ahumada, F., González-Gaya, C., “The contribution of the Segovia Mint Factory to the History of Manufacturing as an example of mass production in the 16th century”, *Applied Sciences* 2019 (9), 5349 (2019).
- [7] Grupo de Trabajo en Patrimonio Industrial de la Sociedad de Ingeniería de Fabricación (PATRIF), <http://www.sif-mes.org/patrif/>
- [8] Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCM), “Orden de 28 de febrero de 1991, de la Consejería de Presidencia por el que se altera la denominación actual del núcleo de fábricas de ‘San Juan de Alcaraz’ por el de ‘Riópar’ y el de ‘Riópar’ por el de ‘Riópar Viejo’, ambos del término municipal de Riópar (Albacete)”, Boletín Oficial del Estado, n° 121, de 21 de mayo, p 16226, Madrid (1991).
- [9] Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCM), “Resolución de 7 de noviembre de 2008,

de la Dirección General de Patrimonio Cultural por la que se incoa expediente para declarar bien de interés cultural, con categoría de conjunto histórico, las ‘Fábricas de Metales de Riópar’, en Riópar (Albacete)”, Boletín Oficial del Estado, n° 298, de 11 de diciembre, p 49809-49814, Madrid (2008).

- [10] Lanz, J.M., Betancourt, A., “Essai sur la composition des machines”, L’Imprimerie Impériale, Paris (1808).
- [11] López del Castillo, G.: “Maquinaria de San Juan de Alcaraz” (en Vera Prieto, M. “Mirar lo propio con ojos propios”. Amigos de las Reales Fábricas de Riópar, Riópar (Albacete), 2013), pp: 249-265.
- [12] Naciones Unidas (ONU): Objetivos de desarrollo Sostenible (ODS), Agenda 2030 sobre Desarrollo Sostenible, New York (2015). Enlace en internet: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- [13] Raghupathi, P.S., “Machine Tools for metal Forming”, Capítulo 8 de *Handbook of Metal Forming* (Lange, K., ed.), McGraw-Hill, New York (1985).
- [14] Real Academia Española, “Diccionario de la Lengua Española” (DLE), 23ª edición, Edición del Tricentenario, Real Academia Española (RAE), Madrid (2014), <https://dle.rae.es/>
- [15] Rojas-Sola, J.I. et al., “Aproximación al conocimiento tecnológico de los sistemas de prensado en las antiguasalmazaras”, *Actas del VIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica “Devenir gráfico” sobre patrimonio Geológico y Minero*, vol. II, 51-66, Publicaciones de la Universidad de Jaén, Jaén (1996).
- [16] Sebastián, M.A., “Guiones de Prácticas de Tecnología Mecánica. Guión n° 14.- Martillos y prensas para conformado por deformación”, *E.T.S. de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM)*, Madrid (1982).
- [17] Sebastián, M.A., Vera, M., Galán, A., Claver, J., “Identificación, clasificación y aproximación al análisis de las máquinas-herramienta de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz (Riópar, Albacete)”, *Actas del XVIII Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero*, 10 p, SEDPGYM y Centro Asociado de la UNED en Ponferrada, Ponferrada (León) (2019).
- [18] Sebastián, M.A., Claver, J. Vera, M.; Galán, A., Sevilla, L., “Análisis técnico-patrimonial de las prensas de husillo de las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz de Riópar”, 22 International Conference on Industrial Heritage, INCUNA, Gijón (Asturias) (2020).
- [19] UNE 17702:2002, “Rosca métrica ISO para usos generales. Serie general de diámetros y pasos”, Asociación Española de Normalización UNE, Madrid (2002).
- [20] UNESCO, “Sistema de gestión hidráulica del Alto Harz”, Incripción 623 en la Lista de la UNESCO (1992).
- [21] Vera, M. (coord.), “Mirar lo propio con ojos propios”, Amigos de las Reales Fábricas de Riópar, Riópar (Albacete) (2013).
- [22] Vera, M., “Patrimonio industrial y musealización: Fábricas de San Juan de Alcaraz (Riópar, Albacete)”, Tesis Doctoral, Universidad de Castilla-La Mancha, Cuenca (2015).
- [23] Vera, M., “El conjunto histórico de las Fábricas de Metales de Riópar”, *Video-clase del Máster en Análisis, Gestión y Proyectos en Patrimonio Industrial, Universidad Nacional de Educación a Distancia*, Madrid (2020). En YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=8kgDabRk8ZQ&feature=youtu.be>

Análisis, diseño y fabricación del prototipo de la máquina de vapor Cornish

Analysis, design and manufacture of the Cornish steam engine prototype

María Pérez Viedma¹, Rafael López García², Eloisa Torres Jiménez³, Rubén Dorado Vicente⁴, Alberto García-Collado⁵

Resumen

Este trabajo enmarcado en el ámbito de la historia de la ingeniería mecánica y de las máquinas y mecanismos trata de ahondar en el principio de funcionamiento de la máquina de vapor tipo Cornish con una descripción de la misma, los componentes implicados y sus peculiaridades. Dicho principio de funcionamiento incluye el análisis termodinámico teórico que describe su ciclo de vapor. Así mismo, se ha llevado a cabo un análisis mecánico en uno de los elementos con la finalidad de conocer más en profundidad algunos parámetros y las fuerzas a las que estaba sometido dicho elemento. Por otra parte, se ha reconstruido un prototipo de la maquinaria a escala mediante diferentes tipos de tecnologías y materiales. Para esta reconstrucción, el modelo ha sido diseñado con un programa CAD para una mejor visualización del resultado final.

Palabras clave

Máquina de vapor, ciclo termodinámico, CAD, impresión 3D, prototipado rápido

Abstract

This work in the field of the history of mechanical engineering and of machines and mechanisms tries to delve into the principle of operation of the Cornish type steam engine with a description of it, the components involved in it and their peculiarities. This principle of operation includes the theoretical thermodynamic analysis that describes its vapor cycle. Likewise, a mechanical analysis has been carried out in one of the elements in order to know more in depth some parameters and the forces to which said element was subjected. On the other hand, a prototype of the machinery has been rebuilt to scale using different types of technologies and materials. For this reconstruction, the model has been designed with CAD program for a better visualization of the final result.

Keywords

Steam engine, thermodynamic cycle, CAD, 3D printing, rapid prototyping

Recibido / received: 05/06/2021. Aceptado / accepted: 06/10/2021.

1 Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Jaén, Jaén, España
2-5 Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera, Universidad Jaén, Jaén, España
Autor para correspondencia: Eloisa Torres Jiménez; e-mail: etorres@ujaen.es



Prototipo de la máquina de vapor Cornish. Fotografía cedida por los autores del artículo.

Introducción

Este artículo se centrará en la primera máquina de vapor que fue instalada en la provincia de Jaén con óptimos resultados, empleada principalmente en el desagüe de las minas y que contribuyó al inicio de la revolución industrial de la comarca [1].

La actividad industrial más productiva de la provincia de Jaén era la extracción de plomo de las minas ubicadas principalmente en Linares, La Carolina y El Centenillo. El verdadero problema de las minas siempre había residido en los elevados costes de producción, que eran muy superiores a los grandes productores internacionales. Los costes de producción, por razones tecnológicas, se iban incrementando proporcionalmente a la profundidad de excavación y, por consiguiente, también aumentaba el problema de desagüe de la mina. Por tanto, para solucionar ese problema, se instaló en 1849 la primera máquina de vapor, que dio óptimos resultados. Su destino fue las minas de Pozo Ancho. Esta máquina era de cilindro vertical y balancín tipo Cornish.

Las máquinas de vapor tipo Cornish surgieron en Cornwall (Inglaterra) de donde proviene su nombre. Su mi-

sión principal era la de bombear agua de las minas de la zona. Este tipo de máquina surgió a partir del año 1800, cuando la patente de James Watt acababa y también surgió debido al alto precio del carbón de la zona. Estos hechos propiciaron los cambios realizados en las primeras máquinas de vapor de Watt para aumentar su rendimiento y así reducir la cantidad de carbón necesaria para el desagüe de las minas [2].

La principal característica de este motor es el uso de vapor de alta presión, así como la disminución de la pérdida de calor al aislar las tuberías, cilindros y calderas de estas máquinas. Sin embargo, lo que produjo un aumento en el rendimiento del motor fue el cierre de la válvula de admisión de vapor a mitad de carrera, lo que permitía la expansión del vapor hasta una presión más baja, mientras que en los motores diseñados por Watt el vapor era admitido a lo largo de toda la carrera con una presión no muy superior a una atmósfera o dos. Hay otras modificaciones significativas como la disposición del condensador y las calderas [3][4].

Las diversas modificaciones descritas anteriormente que se hicieron en la máquina de vapor en Cornwall produ-

jeron una potencia a un coste menor debido al ahorro en carbón que dichas modificaciones suponían, lo que convirtió esta máquina en una gran revolución debido a su economía.

Elementos principales

Los diferentes elementos que componen la máquina de vapor Cornish se pueden ver en la figura 1:

A: Pieza de retención fijada a la parte superior de la viga por medio de soportes.

B: Bloques; la pieza de retención toca estos bloques y se detiene el pistón. Previene, así, cualquier daño hacia el cilindro por una carrera más larga.

C: Viga principal; el extremo interno es de 16 pies 6 pulgadas y el externo, de 13 pies y 3 pulgadas de largo.

D: Boquilla superior.

E: Cilindro.

G: Gobernador de la catarata.

H: Tubería conectada al cilindro desde las calderas, que se ubicaban en otra casa.

J: Tubo de educación, la palabra educación proviene de educir, que significa sacar una cosa de otra. Es decir, sacar el vapor del cilindro para, posteriormente, ser vertido en el condensador.

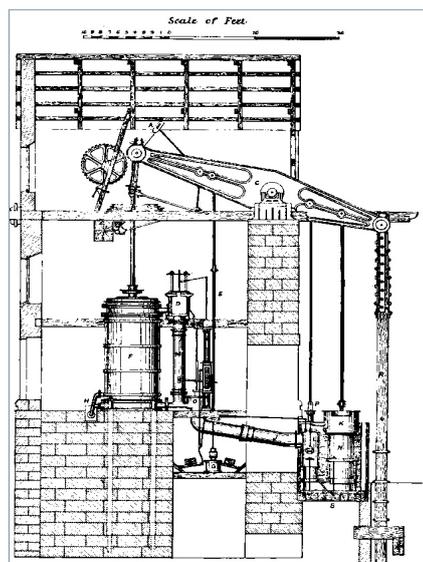


Figura 1. Esquema de la máquina de vapor Cornish (*The Colliery Manager's Handbook*).

- L:** Condensador.
- M:** Tubería de equilibrio.
- N:** Bomba de aire.
- P:** Bomba de alimentación del émbolo.
- R:** Vástago.

Y en relación con la zona ampliada D de la figura 2:

B: Cubierta (no separa la cámara E-E como puede pensarse del dibujo; se proporciona un paso ininterrumpido del vapor hacia la cámara).

E: Tapón o varilla de empuje que permiten el funcionamiento de las válvulas y la catarata.

D: Boquilla superior.

F: Válvula de vapor. El vapor llega desde la válvula de regulación atravesando la cámara E-E. El vapor pasa hacia el cilindro a través de esta válvula.

G: Válvula de regulación que regula la admisión de vapor en la cámara E-E.

H: Paso (el vapor atraviesa este paso cuando la válvula de vapor (F) y la de regulación (G) están abiertas).

J: Puerto de vapor.

K: Válvula de equilibrio, situada en la mitad de la boquilla.

M: Tubería de equilibrio.

Principio de funcionamiento

Se supone la maquinaria en el punto de comienzo de su carrera descendente, es decir, con el pistón en reposo en la parte superior del cilindro y con la generación de vacío por debajo del mismo.

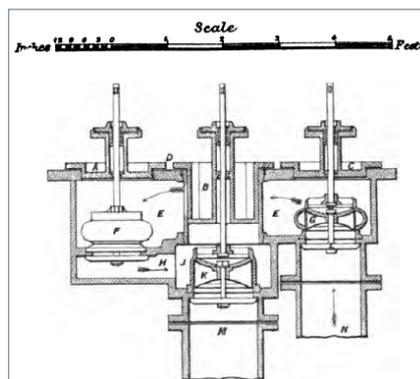


Figura 2. Ampliación de la zona D (*The Colliery Manager's Handbook*).

Estando la válvula de regulación abierta con una apertura fija, regulada manualmente por la su manivela por los operarios, el puerto superior comienza a llenarse con vapor elástico procedente de las calderas.

A partir de las suposiciones anteriores, la válvula de vapor se abre y el vapor atraviesa el puerto superior hasta alcanzar la parte superior del cilindro. En consecuencia, el pistón comienza lentamente su descenso y el vapor continúa fluyendo hacia el cilindro mientras la válvula de vapor permanezca abierta.

Una vez que ha entrado la cantidad de vapor suficiente, que dependerá de la presión a la que este se encuentre y su poder de expansión, la válvula se cierra para evitar cualquier entrada de vapor adicional en el cilindro. De esta forma, la comunicación entre el cilindro y la caldera se corta. El vapor continúa ejerciendo presión sobre el pistón por su propia fuerza y comienza a expandirse, por lo que aumenta su volumen y disminuye su presión. A medida que esto ocurre, la fuerza ejercida por el pistón comienza a asemejarse a la resistencia al movimiento de este ejercida por el vástago principal y el conjunto de bombas asociadas al mismo. En este punto, el pistón puede vencer la resistencia al movimiento debido a la energía cinética que en este punto tiene el pistón. Esta energía se gasta, por tanto, en vencer la resistencia y, por ello, comienza a frenar su velocidad descendente hasta llegar al final de la carrera. La energía cinética acumulada se debe al excedente de la misma al comienzo de la carrera. El cierre de la válvula de vapor está accionado por la catarata, de esta forma,

se regula la cantidad de vapor que se introduce en el cilindro.

Cuando la carrera descendente está llegando a su final y el pistón ha descendido casi hasta el fondo de su recorrido, un empujador presiona una empuñadura inferior, conectada a los puertos de las válvulas, y realiza así tres operaciones. En primer lugar, ejecuta el cierre de la válvula de agotamiento que se ha mantenido abierta durante todo el recorrido del pistón. En segundo lugar, cierra la válvula de inyección y detiene la entrada de agua en el condensador. Y, en tercer y último lugar, abre la válvula de equilibrio. En algunas ocasiones la válvula de equilibrio se abre mediante la adición de una nueva catarata, como ejemplo la maquina Cornish en Old Ford. Este hecho, sin embargo, no era algo común.

La abertura de la válvula de equilibrio pone en comunicación la parte superior e inferior del cilindro y, en consecuencia, la presión a cada lado del pistón tiende a igualarse y entrar en equilibrio; de ahí el nombre de dicha válvula y de la tubería de equilibrio. Debido, por tanto, al cambio de presión en la parte superior al cilindro, esta presión ya no puede vencer la resistencia ejercida por el vástago y las bombas y, por ello, el pistón se desplaza en dirección ascendente.

Durante el ascenso del pistón, el vapor pasa gradualmente de la parte superior a la parte inferior del cilindro, a través de la válvula de equilibrio, y llena el vacío que deja el pistón tras él. Cerca del final de esta carrera ascendente, una varilla acciona de nuevo la válvula de equilibrio y esta se cierra para el comienzo de una nueva carrera descendente.

En el mismo periodo mencionado anteriormente, el vapor se precipita al condensador, lo que genera un vacío debajo del pistón. La precipitación del vapor hacia el condensador se consigue con la ayuda de la bomba de aire situada contiguamente al condensador, ya que esta propicia el vacío necesario.

Por otra parte, esta carrera descendente del pistón produce la carrera ascendente del vástago principal de la maquinaria que lleva acopladas una serie de bombas para ejecutar la principal misión de la maquinaria, la extracción de agua de la mina.

Estas bombas llevan acoplados una serie de émbolos que, en la carrera as-

cedente del vástago, son capaces de succionar agua de la mina. Para que la extracción de esta cantidad de agua sea completa, hay unas válvulas antirretorno que imposibilitan la devolución de agua a la mina. En la carrera descendente del vástago, el émbolo presiona el agua succionada y, al encontrarse con las válvulas antirretorno, esta agua encuentra su camino en una tubería que también tiene una válvula que la deriva de forma ascendente hacia un depósito superior. Este conjunto de embolo, válvulas y tuberías se denomina bomba aspirante e impelente [4][5].

Los depósitos solían estar separados entre 30 y 40 metros, aunque era muy común encontrarlos separados de 70 a 80 metros. En el fondo del pozo se excavaba un foso de 5 a 10 metros donde se acumulaba el agua [3].

Ciclo termodinámico de la máquina

Debido a las peculiares características de admisión de vapor en la máquina de vapor Cornish, se puede determinar que se producen dos ciclos termodinámicos simultáneamente, uno en la cara superior del pistón y otro en la cara inferior del mismo, como se refleja en la figura 3.

Comenzaremos la descripción del ciclo termodinámico en el punto A para la cavidad superior y simultáneamente en el punto E para la cavidad inferior con la ayuda del esquema simplificado del sistema de válvulas de la figura 4. En estos puntos del ciclo termodinámico la válvula de admisión de vapor VA está abierta, la válvula de equilibrio VB, cerrada y la válvula de

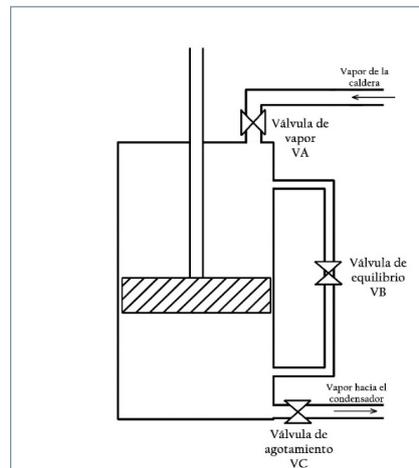


Figura 4. Esquema simplificado del sistema de válvulas.

agotamiento VC, abierta. En la cámara superior del cilindro tiene lugar, por tanto, la transformación A-B, en la que se admite vapor proveniente de las calderas al cilindro a presión constante ($P_{caldera}$). Sin embargo, en la cámara inferior el vapor está saliendo del cilindro hacia el condensador a presión constante ($P_{condensador}$) siendo esta la transformación E-G.

Al llegar al punto B del ciclo termodinámico, la válvula de admisión de vapor VA se cierra y origina la expansión del vapor de la cámara superior de forma adiabática mientras el pistón continúa su carrera descendente, transformación B-C. El resto de válvulas permanecen en la misma posición (VB cerrada y VC abierta). En la parte inferior del cilindro sigue saliendo vapor a $P_{condensador}$, ya que

la válvula de agotamiento sigue abierta, transformación G-F.

Una vez que el pistón ha descendido por completo, se abre la válvula de equilibrio VB y se cierra la válvula de agotamiento VC mientras la válvula VA se mantiene cerrada. Esto sucede en los puntos C y F, respectivamente. Se equilibran las presiones de ambas cámaras por el cambio de posición de estas válvulas, lo que causa una subida instantánea de la presión en la parte inferior del cilindro hasta alcanzar la presión de la cámara superior P_{media} ; en la cámara superior la presión se mantiene, ya que esta es mucho mayor, transformación F-D' del ciclo de la cavidad inferior y punto C en el ciclo de la cavidad superior.

Cuando ambas cámaras se encuentran conectadas por la abertura de la válvula de equilibrio, la subida de presión en la cámara inferior hace que el pistón comience a subir mientras VA y VC se mantienen cerradas, transformación C-D y D'-C'. El pistón se eleva durante su carrera ascendente y la cámara superior va disminuyendo su volumen a presión constante, desalojando el vapor de la cámara superior que pasa hacia la cámara inferior del cilindro. En la cámara inferior, el volumen aumenta hasta V2.

Al llegar a los puntos D y C', se cierra la válvula de equilibrio VB y se abre la admisión de vapor a través de la válvula VA y, simultáneamente, la válvula de agotamiento VC, lo que origina un aumento instantáneo de la presión del vapor de la parte superior del cilindro hasta la $P_{caldera}$, transformación D-A. En la parte inferior del cilindro, al abrir VC la presión cae instantáneamente hasta la $P_{condensador}$ (transformación C'-E).

Análisis del ciclo

Con la comprensión del ciclo descrito, se ha procedido a un análisis termodinámico a partir de los datos iniciales de la tabla 1. En primer lugar, se calculan los volúmenes principales del ciclo, descritos anteriormente teniendo en cuenta el valor V_0 aportado como dato, así como el diámetro del cilindro, la longitud de carrera del pistón y la longitud que recorre antes del cierre de la válvula de admisión, todo ello extraído de la bibliografía y de la máquina tomada como referencia. También se tiene en cuenta que

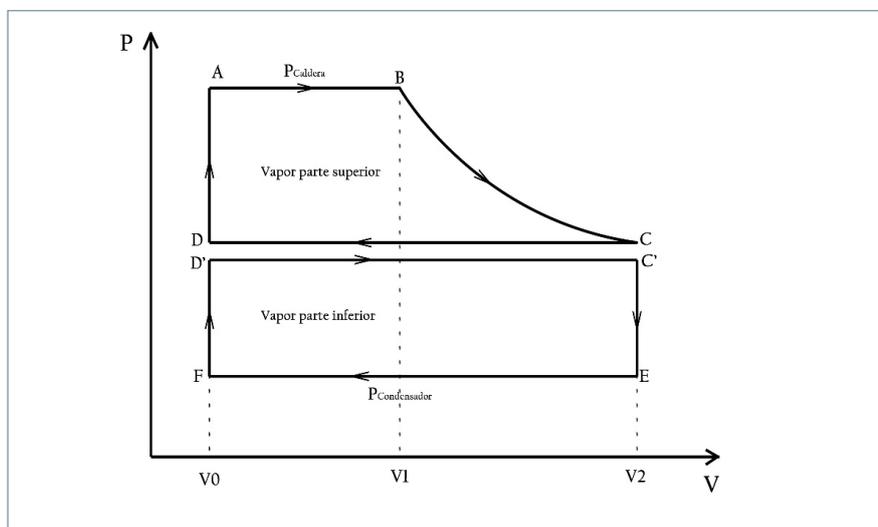


Figura 3. Ciclo teórico de la máquina Cornish.

Datos	V0 (ft ³)	D _{cilindro} (inch)	L _{carrera} (ft)	L _{cierre} (ft)
	18	80,25	10	3,13
Datos SI	V0 (m ³)	D _{cilindro} (m)	L _{carrera} (m)	L _{cierre} (m)
	0,5097	2,038	3,048	0,954

Tabla 1. Datos iniciales.

la presión del vapor procedente de la caldera se va a tomar como 45 libras por pulgada cuadrada que equivale a 3,1 bares [4].

Se ha realizado un cálculo de propiedades de todos los puntos del ciclo termodinámico para el que se ha usado la herramienta TermoGraf, simulador termodinámico, y se han obtenido los datos reflejados en la tabla 2.

Tras la obtención de estos datos, se han calculado una serie de parámetros bastantes importantes (tabla 3) como el flujo másico del vapor a partir de la duración de una carrera completa del

pistón (8 segundos), el flujo calorífico que llega desde la caldera y el calor aportado por el combustible teniendo en cuenta el rendimiento de la caldera. A partir de este dato se puede extraer el flujo de masa de combustible necesaria y, tras ello, y teniendo en cuenta la duración de una carrera, se obtiene la cantidad de masa necesaria para la misma.

A continuación, se ha calculado el trabajo efectivo que proporciona la máquina térmica, que depende del rendimiento mecánico de la maquinaria y del trabajo proporcionado por la

máquina térmica. A este último se le denominará indicado, que, multiplicado por el rendimiento mecánico y de calidad que se han establecido como 0,6 y 0,9, respectivamente, se obtendrá el trabajo efectivo y también la potencia efectiva del conjunto. Finalmente, se puede calcular el rendimiento global del motor térmico con los datos ya calculados. Este rendimiento global será la relación entre la potencia efectiva desarrollada por la máquina y el flujo de calor aportado por el combustible en las calderas. Se establece, por tanto, que el rendimiento global del motor térmico con las suposiciones realizadas es del 32,28%, dato estimado.

Modelado tridimensional de la máquina y análisis mecánico

El modelado tridimensional se ha realizado a partir del desarrollado en trabajos anteriores [1], modificando y creando algunos mecanismos y piezas del conjunto para adaptarlo a los nuevos

	Estado A	Estado B	Estado C	Estado D	Estado E	Estado F
P	3,1 bar	3,1 bar	0,92862 bar	0,92862 bar	0,05 bar	0,05 bar
v	0,5874 m ³ /kg	0,5874 m ³ /kg	1,695345 m ³ /kg	0,5874 m ³ /kg	1,695345 m ³ /kg	0,5874 m ³ /kg
T	407,773 K	407,773 K	370,673 K	370,673 K	305,985 K	305,985 K
u	2543,77 kJ/kg	2543,77 kJ/kg	2364,33 kJ/kg	1085,86 kJ/kg	274,418 kJ/kg	184,707 kJ/kg
h	2725,87 kJ/kg	2725,87 kJ/kg	2521,76 kJ/kg	1140,41 kJ/kg	282,894 kJ/kg	187,644 kJ/kg
s	6,98003 kJ/(kg·K)	6,98003 kJ/(kg·K)	6,98003 kJ/(kg·K)	3,25341 kJ/(kg·K)	0,95057 kJ/(kg·K)	0,63928 kJ/(kg·K)
X	1	1	0,9339	0,3232	0,060109	0,020803
m	0,8677 kg	6,1673 kg	6,1673 kg	0,8677 kg	6,1673 kg	0,8677 kg

Tabla 2. Propiedades de los puntos del ciclo.

	Fórmula	Resultado
Flujo másico de vapor	$\dot{m} = \frac{m_B - m_A}{t_{carrera}}$	0,66245 k g/s
Flujo calorífico de vapor	$\dot{Q}_{vapor} = \dot{m} \cdot (h_{AB} - h_0)$	269,07 kJ/s
Calor aportado por el combustible	$\dot{Q}_{aportado} = \frac{\dot{Q}_{vapor}}{\eta_{caldera}}$	422,82 kJ/s
Flujo másico de combustible	$\dot{m}_c = \frac{\dot{Q}_{aportado}}{PCI}$	0,0146 k g/s
Masa de combustible para una carrera	$m_c = \dot{m}_c \cdot t_{carrera}$	0,1166 kg
Potencia efectiva	$\dot{W}_e = \dot{W}_i \cdot \eta_m \cdot \eta_q$	136,48 kJ/s
Rendimiento global	$\eta_g = \frac{\dot{W}_e}{\dot{Q}_{aportado}}$	0,3228

Tabla 3. Cálculos realizados.

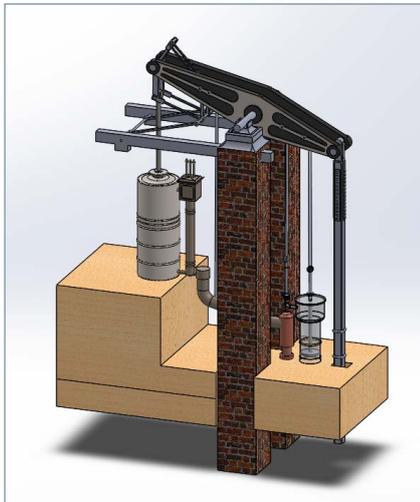


Figura 5. Modelado tridimensional.

datos que se han obtenido durante la investigación de la máquina. Para se ha utilizado ello el *software* tridimensional SolidWorks. La modificación más importante se ha hecho sobre las barras del movimiento paralelo de Watt. Este conjunto de piezas ha sido estudiado con detenimiento, ya que la posición de las mismas y sus medidas determina la eficacia y verticalidad del movimiento del mismo, y se obtiene el modelado que se puede ver en la figura 5.

A continuación, se realiza un estudio mecánico, mediante SolidWorks, en algunos de los elementos tridimensionales diseñados más significativos de la maquinaria, para comprender cómo se comportaban con las fuerzas que soportaban.

Se considerará el análisis estático más desfavorable. Este es al final de la carrera descendente del pistón, cuando el balancín se encuentra momentáneamente en equilibrio y haciendo uso de la presión obtenida al final de la carrera descendente del pistón, ya que en este punto el momento ejercido por la fuerza del vapor se puede igualar al momento que produce la fuerza opositora, y calculando el área del cilindro, se puede calcular la fuerza ejercida por el vapor y, a partir de esta y haciendo uso de la igualdad de momentos, se puede extraer la fuerza opositora.

$$F = P \cdot A = 92.860 \text{ Pa} \cdot 3,2621 \text{ m}^2 = 302.918,606 \text{ N}$$

$$F_{\text{opositora}} = \frac{F_{\text{vapor}} \cdot d_{\text{interna}}}{d_{\text{externa}}} = \frac{302918,606 \text{ N} \cdot 16,6\text{pies}}{13,3\text{pies}} = 378.078,86 \text{ N}$$

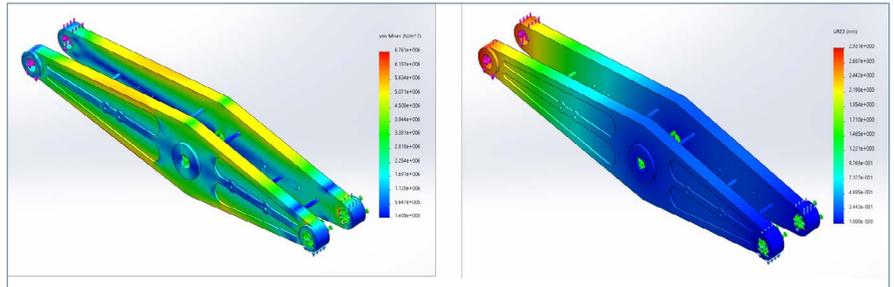


Figura 6. Tensión de Von Mises y desplazamientos resultantes.

A partir de estas fuerzas se ha hecho un estudio estático de esfuerzos sobre el balancín y se han obtenido propiedades del sólido, tensión de Von Mises, desplazamientos resultantes y deformación unitaria equivalente. Los resultados se pueden ver en la figura 6.

Modelo real a escala

A continuación, se detallan algunos aspectos importantes tenidos en cuenta para llevar a cabo la fabricación del prototipo, así como los elementos que se han adquirido para ello.

La escala elegida para la fabricación del modelo es de 1:25. Se eligió esta por adaptarse a las dimensiones requeridas por el pistón, del cual se hablará más adelante. Con el uso de esta escala también se consigue que el tamaño del modelo sea el adecuado para poder visualizar con mayor detalle la maquinaria. La tecnología usada para su creación ha sido la fabricación aditiva, y se ha usado la deposición de hilo fundido, así como la estereolitografía. También se han usado métodos convencionales de fabricación como el mecanizado por abrasión o por arranque de viruta.

Materiales y tecnología

Para la deposición de hilo fundido se han usado dos materiales distintos, PLA y fibra ONYX (compuesto por nailon y reforzado con fibra de carbono). Por tanto, para la impresión de piezas también se han usado dos máquinas distintas. Con fibra Onyx® se ha fabricado el balancín, en dos partes, ya que las dimensiones de la pieza im-

pidieron hacerlo en una sola. Se han diseñado dos pestañas para asegurar la sujeción de ambas partes tras ser pegadas y evitar posibles problemas derivados de este corte. El hecho de que esta pieza posea diferente material reside en la rotura de una parte de otra pieza igual pero impresa con PLA. A partir de esta segunda fabricación se ha observado que el cambio de material conlleva un cambio en la contracción del mismo, así como del acabado



Figura 7. Impresión de piezas con diferentes técnicas (deposición de hilo fundido y estereolitografía).

superficial, y este es mucho mejor en la pieza fabricada con fibra Onyx® y su correspondiente impresora [6].

Por otra parte, con la técnica de fabricación mediante estereolitografía (SLA) se ha fabricado la bomba de aire. El material utilizado, una resina fotopolimérica, al ser translúcido, permite visualizar el pistón que alberga en su interior. Ejemplos de resultados de estas técnicas se pueden ver en la figura 7.

También se han usado métodos convencionales de fabricación como el mecanizado por abrasión o por arranque de viruta. Para la fabricación de piezas como las barras del movimiento paralelo y el eje principal del balancín se han utilizado distintos materiales como aluminio y acero entre otros. Y se han usado técnicas de torneado, fresado y taladrado.

Montaje neumático

Los elementos cilindro y pistón de la máquina Cornish para el prototipo han sido adquiridos en vez de fabricados. Se ha optado por adquirir un sistema de pistón neumático accionado con aire a presión para ser automatizado y que ejecute el movimiento de vaivén que tenía la maquinaria. La selección de este elemento se ha hecho en función de la escala que ha sido elegida. Se ha escogido el pistón con 125 mm de carrera atendiendo a criterios de similitud con la medida original.

La idea original del montaje del sistema para la recreación del movimiento fue hacerlo de forma totalmente mecánica, sin el uso de la electricidad ni otra tecnología para evitar en la medida de lo posible el uso de dichas tecnologías que no se usaban en la época para tales maquinarias. Por ello, se consideró la posibilidad de usar finales de carrera mecánicos, así como una válvula distribuidora mecánica, que desviase el flujo de aire comprimido cada vez que se accionasen dichos finales de carrera. Sin embargo, la posición del cilindro haría necesaria la colocación de estos finales de carrera por encima del pistón, lo que obligaría a la colocación de un soporte para ellos que debido al balancín que se encontraría en la parte superior y a otras piezas del mecanismo, así como el par que sufriría el final de carrera y su soporte. Este sistema es inviable para la recreación de la maquinaria, ya que su uso daría muchos problemas y obliga-

ría a hacer una gran estructura pesada. Debido a lo anteriormente mencionado, se ha optado por el uso de una electroválvula y unos finales de carrera electromagnéticos. La principal misión de la electroválvula es la desviación del flujo de aire comprimido a las cámaras superior e inferior del cilindro para accionar, de esta forma, el movimiento del mismo. Esta desviación se ejecuta por impulsos eléctricos que le llegan a la válvula por medio de los finales de carrera o detectores magnéticos que detectan la posición del cilindro. Para el correcto funcionamiento del circuito neumático se han adquirido otras piezas fundamentales como una fuente de alimentación, reguladores de caudal y accesorios como racores o silenciadores.

El movimiento de vaivén continuo que se produce con el esquema anterior de la figura 8 funciona de la siguiente manera: una vez que se pone el conjunto en funcionamiento mediante la admisión de aire comprimido, este pasa por la válvula distribuidora, para después pasar por el regulador de caudal. Este elemento es el encargado de la velocidad a la que el pistón cambiará de posición. Una vez que pasa el aire al pistón, este se desplaza hasta llegar a uno de los finales de carrera, en el esquema A0 y A1. Estos sensores mandan un impulso eléctrico que conecta con la electroválvula y que hacen que esta cambie de posición, lo que supone la modificación de la entrada y salida de aire al pistón. De este modo, se origina el movimiento del mismo en sentido opuesto al movimiento anterior. Esto se produce de forma continua y así se realiza el movimiento de vaivén del pistón. Para la simulación y obtención del esquema de la figura 8, se ha utilizado el programa Festo FluidSim.

Montaje mecánico

Tras el montaje neumático y con el resto de piezas fabricadas y listas, se ha procedido al montaje mecánico.

Para realizar el montaje de las partes mecánicas del prototipo, se ha comenzado con la construcción de los pilares que son sujeción del balancín, así como de una base principal donde estos pilares están anclados. Como base se ha utilizado aglomerado, cortado a las medidas necesarias para todo el montaje del prototipo. Para los pilares, se han reutilizado vigas de madera de pallets. A estos pilares se le han

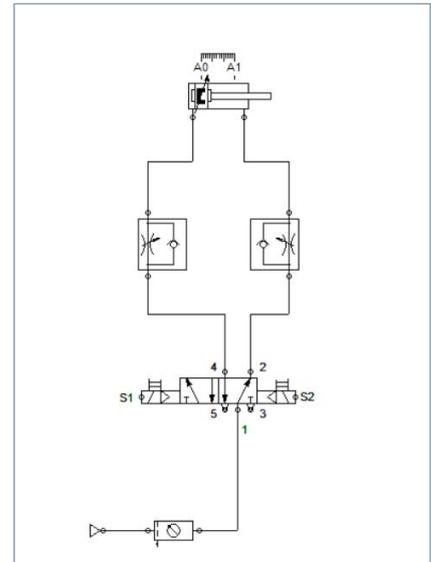


Figura 8. Esquema del montaje neumático.

hecho una cavidad para anclar las vigas de la máquina Cornish. Para conferirle mayor estabilidad a la estructura, se han atornillado dos tacos pequeños de madera como separadores entre las dos columnas. Posteriormente, se atornilla esta estructura a la base.

Tras esto, se ha procedido a la colocación de las piezas que son sujeción del eje principal en el que se encuentra el balancín. Fueron diseñadas con las medidas adecuadas para su colocación sobre los pilares de madera. Se han fijado con silicona y, además, estas piezas se han atornillado a la madera haciendo uso de las cavidades diseñadas previamente en dichas piezas. Con posterioridad se coloca el eje principal y el balancín; luego se instalan las vigas en las cavidades creadas para ello.

El siguiente paso que se ha dado es la colocación de las barras encargadas del movimiento paralelo. Para la unión de estas entre sí y con el propio balancín, se han usado varillas roscadas de 5 mm de diámetro. Para separar todos los elementos entre sí y que estos no cambien de posición durante el funcionamiento de la maquinaria, se han colocado pequeñas piezas a modo de separador que han sido cortadas de un tubo cuyo diámetro interior es lo suficientemente grande como para que las varillas roscadas puedan atravesarlo. A continuación, se ha colocado el pistón, ya que parte de las barras están conectadas a él. Para la colocación de este elemento sobre la base principal, se ha optado por la fabricación de una

estructura metálica que proporcione la correcta estabilidad y fijación sobre dicha base. Esta estructura está formada por un perfil rectangular de acero. Para cerrarlo, se han soldado dos chapas en ambos lados del perfil. A continuación, se rosca el pistón a la estructura metálica y se aprieta haciendo uso de la tuerca incorporada con la compra del pistón que ejerce de contratuerca.

La siguiente fase del montaje pasa por la fabricación de una bomba de agua que realice las mismas funciones que las bombas impelentes que se hallaban en las minas donde la máquina Cornish extraía el agua, y se ha optado por una fabricación a partir de un amortiguador hidráulico de coche usado. Dicho amortiguador consta de un cilindro y un pistón, construido de tal forma que la succión de agua es posible. Para ello, ha sido necesaria la fabricación de una pieza que haga de unión de todos los elementos necesarios. Dicha bomba constará del pistón para succionar y expulsar agua, una válvula antirretorno conectada con el depósito que solo permita la succión y otra válvula antirretorno que solo permita la expulsión de agua. Para conectar todos estos elementos, se ha fabricado una nueva pieza que, para una unión más estanca, se ha colocado una junta tórica entre esta última pieza y el depósito. El siguiente elemento que se ha fabricado ha sido el depósito de agua. Este se ha fabricado a partir de un perfil de chapa. A este perfil se le han soldado dos chapas en los laterales para que se convierta en depósito estanco y pueda albergar líquido en su interior. El ensamblaje del pistón de la bomba de agua con el balancín se hace por medio de una varilla conectada con el mismo. Aunque en las máquinas originales no se realizaban articulaciones, o no hay constancia de ello, en esta ocasión se ha optado por realizar una articulación entre la varilla y el vástago del pistón con objeto de no crear fuerzas que pudiesen perjudicar a ningún elemento de la maqueta.

Finalmente, se ha creado un pequeño circuito por el que el líquido aspirado pasará para volver al mismo depósito y, de esta forma, evitar tener que ir rellenándolo. Una vez que se ha terminado el montaje mecánico, se ha procedido a embellecer la maqueta para un buen acabado estético.

El resultado final del prototipo se puede ver en la figura 9.



Figura 9. Prototipo final.

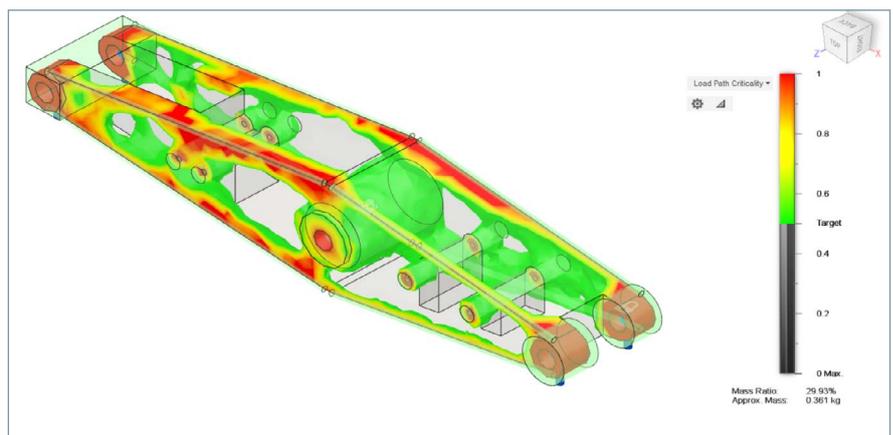


Figura 10. Resultado de la optimización.



Figura 11. Pieza optimizada.

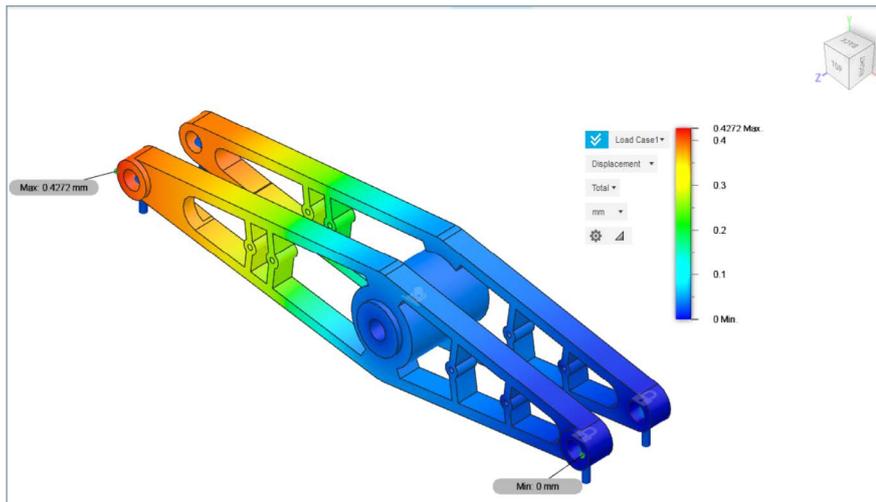


Figura 12. Desplazamiento.

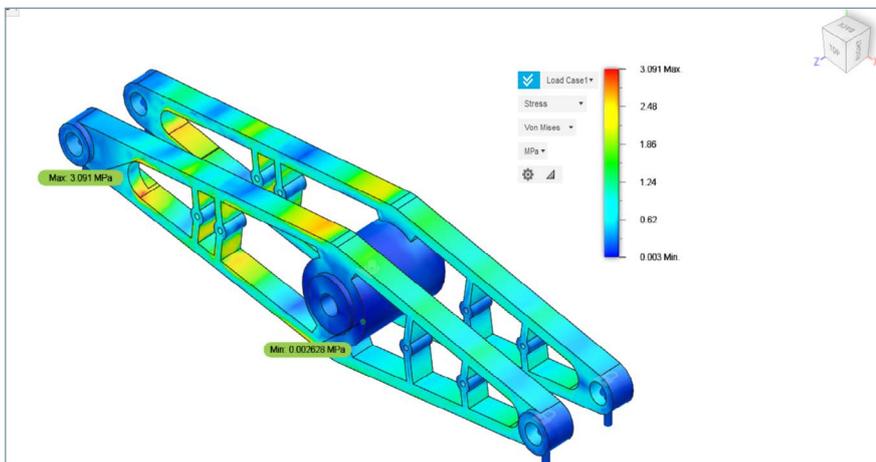


Figura 13. Tensión.

Optimización de piezas impresas

Al finalizar el montaje del prototipo y obtenerse los datos de fuerza ejercidos por el pistón sobre el balancín, se puede estimar un ahorro de material de impresión sobre algunas de las piezas con la optimización que se lleva a cabo sobre el mismo haciendo uso del programa Autodesk Fusion 360. El principal elemento al que se le ha aplicado esta simulación de optimización es el balancín, ya que se trata de la pieza con mayores dimensiones del conjunto. Para esta simulación importamos la pieza maciza, le asignamos el material y las fuerzas que soportará el balancín. La presión mínima que requiere la maqueta para su funcionamiento es de 1,5 bares, por lo que las fuerzas que soportan el balancín se estimarán a partir de este valor y teniendo en cuenta el área del pistón donde se ejerce la fuerza. Se obtienen

los resultados que se pueden ver grafados en la figura 10 [7].

Estos resultados nos indican qué zonas del modelo se deben conservar de la forma más óptima atendiendo a los parámetros introducidos, así como la criticidad de la ruta de carga a través de un mapa de colores. Así mismo, se muestra el peso aproximado del modelo y el porcentaje de material conservado.

Con dichos resultados se procede a realizar los cortes necesarios para la eliminación de material. El resultado final es el que se muestra en la siguiente figura 11.

Por último, y para asegurarnos de que la pieza ya creada soportará las cargas a la que será sometida, se ha procedido a un estudio de tensión estática con este mismo programa. Este estudio analiza la deformación y la tensión en el modelo a partir de cargas

estructurales y restricciones. Según los resultados obtenidos (figuras 12 y 13), se pueden analizar e investigar diferentes parámetros como las tensiones y los criterios comunes de falla.

Se comprueba de esta forma que la optimización de la pieza no presentaría problema alguno y que se obtendría un ahorro de material total del 64,42%, ya que la pieza inicial tendría un peso de 1,158 kg y la final de 0,412 kg.

Debido a la falta de información de datos, en un primer momento no fue posible la fabricación de esta pieza de forma optimizada, ya que tras el montaje completo se pudo extraer la presión mínima a la que esta pieza funciona. Por tanto, este estudio es objeto de una posible futura mejora de la maqueta para una optimización de la misma.

Conclusiones

Este trabajo se ha desarrollado aplicando los conocimientos de diferentes áreas de la ingeniería, adquiridos durante el estudio del grado y máster universitario y, especialmente, en las áreas de fabricación, mecánica y máquinas y motores térmicos, así como del área de automática.

Los conocimientos de la ingeniería mecánica aplicados han sido muy diversos entre sí, ya que en el trabajo se ha llevado a cabo tareas de diseño y análisis de diferentes técnicas de fabricación del prototipo y de análisis termodinámico.

Con este trabajo también se ha podido profundizar en aspectos técnicos y de funcionamiento de la máquina de vapor Cornish, máquina muy importante en su fecha y que trajo con su instalación en la provincia de Jaén grandes cambios e impulsó la revolución industrial de la provincia.

Referencias

- [1] M. Pérez-Viedma. Inicio de la revolución industrial en Jaén. Máquina de vapor Cornish y aplicaciones. Universidad de Jaén, 2017.
- [2] R. Polwhele. The History of Cornwall, vol II, Londres, 1834.
- [3] A. C. P. Arrayanes, «Proyecto Arrayanes» [online]. Disponible en: https://www.proyectoarrayanes.org/revolucion_tecnologica.php.
- [4] W. Pole. A Treatise On the Cornish Pumping Engine. Londres, 1844.
- [5] C. Pamey. The Colliery Manager's Handbook. Londres: Crosby Lockwood and Son, 1891.
- [6] «Filament2Print» [online]. Disponible en: <https://filament2print.com>.
- [7] «Autodesk» [online]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>.

Técnica Industrial, fundada en 1952 y editada por la Fundación Técnica Industrial, se define como una publicación técnica de periodicidad cuatrimestral en el ámbito de la ingeniería industrial. Publica tres números al año (marzo, julio y noviembre) y tiene una versión digital accesible en www.tecnicaindustrial.es. Los contenidos de la revista se estructuran en torno a un núcleo principal de artículos técnicos relacionados con la ingeniería, la industria y la innovación, que se complementa con información de la actualidad científica y tecnológica y otros contenidos de carácter profesional y humanístico.

Técnica Industrial. Revista de Ingeniería, Industria e Innovación pretende ser eco y proyección del progreso de la ingeniería industrial en España y Latinoamérica, y, para ello, impulsa la excelencia editorial tanto en su versión impresa como en la digital. Para garantizar la calidad de los artículos técnicos, su publicación está sometida a un riguroso sistema de revisión por pares (*peer review*). La revista asume las directrices para la edición de revistas científicas de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (Fecyt) y las del International Council of Scientific Unions (ICSU), con el fin de facilitar su indización en las principales bases de datos y ofrecer así la máxima visibilidad y el mayor impacto científico de los artículos y sus autores.

Técnica Industrial considerará preferentemente para su publicación los trabajos más innovadores relacionados con la ingeniería industrial. Todos los artículos técnicos remitidos deben ser originales, inéditos y rigurosos, y no deben haber sido enviados simultáneamente a otras publicaciones. Sus autores son los únicos responsables de las afirmaciones vertidas en los artículos. Todos los originales aceptados quedan como propiedad permanente de *Técnica Industrial*, y no podrán ser reproducidos en parte o totalmente sin su permiso. El autor cede, en el supuesto de publicación de su trabajo, de forma exclusiva a la Fundación Técnica Industrial, los derechos de reproducción, distribución, traducción y comunicación pública (por cualquier medio o soporte sonoro, audiovisual o electrónico) de su trabajo.

Tipos de artículos La revista publica artículos originales (artículos de investigación que hagan alguna aportación teórica o práctica en el ámbito de la revista), de revisión (artículos que divulguen las principales aportaciones sobre un tema determinado), de innovación (artículos que expongan nuevos procesos, métodos o aplicaciones o bien aporten nuevos datos técnicos en el ámbito de la ingeniería industrial) y de opinión (comentarios e ideas sobre algún asunto relacionado con la ingeniería industrial). Además, publica un quinto tipo de artículos, el dossier, un trabajo de revisión sobre un tema de interés encargado por la revista a expertos en la materia.

Redacción y estilo El texto debe ser claro y ajustarse a las normas convencionales de redacción y estilo de textos técnicos y científicos. Se recomienda la redacción en impersonal. Los autores evitarán el abuso de expresiones matemáticas y el lenguaje muy especializado, para así facilitar la comprensión de los no expertos en la materia. Las mayúsculas, negritas, cursivas, comillas y demás recursos tipográficos se usarán con moderación, así como las siglas (para evitar la repetición excesiva de un término de varias palabras se podrá utilizar una sigla a modo de abreviatura, poniendo entre paréntesis la abreviatura la primera vez que aparezca en el texto). Las unidades de medida utilizadas y sus abreviaturas serán siempre las del sistema internacional (SI).

Estructura Los trabajos constarán de tres partes diferenciadas:

1. Presentación y datos de los autores. El envío de artículos debe hacerse con una carta (o correo electrónico) de presentación que contenga lo siguiente: 1.1 Título del artículo; 1.2 Tipo de artículo (original, revisión, innovación y opinión); 1.3 Breve explicación del interés del mismo; 1.4 Código Unesco de cuatro dígitos del área de conocimiento en la que se incluye el artículo para facilitar su revisión (en la página web de la revista figuran estos códigos); 1.5 Nombre completo, correo electrónico y breve perfil profesional de todos los autores (titulación y posición laboral actual, en una extensión máxima de 300 caracteres con espacios); 1.6 Datos de contacto del autor principal o de correspondencia (nombre completo, dirección postal, correo electrónico, teléfonos y otros datos que se consideren necesarios). 1.7 La cesión de los derechos al editor de la revista. 1.8 La aceptación de estas normas de publicación por parte de los autores.

2. Texto. En la primera página se incluirá el título (máximo 60 caracteres con espacios), resumen (máximo 250 palabras) y 4-8 palabras clave. Se recomienda que el título, el resumen y las palabras clave vayan también en inglés. Los artículos originales deberán ajustarse en lo posible a esta es-

tructura: introducción, material y métodos, resultados, discusión y/o conclusiones, que puede reproducirse también en el resumen. En los artículos de revisión, innovación y opinión se pueden definir los apartados como mejor convenga, procurando distribuir la información entre ellos de forma coherente y proporcionada. Se recomienda numerar los apartados y subapartados (máximo tres niveles: 1, 1.2, 1.2.3) y denominarlos de forma breve.

1.1 Introducción. No debe ser muy extensa pero debe proporcionar la información necesaria para que el lector pueda comprender el texto que sigue a continuación. En la introducción no son necesarias tablas ni figuras.

1.2 Métodos. Debe proporcionar los detalles suficientes para que una experiencia determinada pueda repetirse.

1.3 Resultados. Es el relato objetivo (no la interpretación) de las observaciones efectuadas con el método empleado. Estos datos se expondrán en el texto con el complemento de las tablas y las figuras.

1.4 Discusión y/o conclusiones. Los autores exponen aquí sus propias reflexiones sobre el tema y el trabajo, sus aplicaciones, limitaciones del estudio, líneas futuras de investigación, etcétera.

1.5 Agradecimientos. Cuando se considere necesario se citará a las personas o instituciones que hayan colaborado o apoyado la realización de este trabajo. Si existen implicaciones comerciales también deben figurar en este apartado.

1.6 Bibliografía. Las referencias bibliográficas deben comprobarse con los documentos originales, indicando siempre las páginas inicial y final. La exactitud de estas referencias es responsabilidad exclusiva de los autores. La revista adopta el sistema autor-año o estilo Harvard de citas para referenciar una fuente dentro del texto, indicando entre paréntesis el apellido del autor y el año (Apple, 2000); si se menciona más de una obra publicada en el mismo año por los mismos autores, se añade una letra minúscula al año como ordinal (2000a, 2000b, etcétera). La relación de todas las referencias bibliográficas se hará por orden alfabético al final del artículo de acuerdo con estas normas y ejemplos:

1.6.1 Artículo de revista: García Arenilla I, Aguayo González F, Lama Ruiz JR, Soltero Sánchez VM (2010). Diseño y desarrollo de interfaz multifuncional holónica para audioguía de ciudades. *Técnica Industrial* 289: 34-45.

1.6.2 Libro: Roldán Vilorio J (2010). *Motores trifásicos. Características, cálculos y aplicaciones*. Paraninfo, Madrid. ISBN 978-84-283-3202-6.

1.6.3 Material electrónico: Anglia Ruskin University (2008). University Library. Guide to the Harvard Style of Referencing. Disponible en: http://libweb.anglia.ac.uk/referencing/files/Harvard_referencing.pdf. (Consultado el 1 de diciembre de 2010).

3. Tablas y figuras. Deben incluirse solo las tablas y figuras imprescindibles (se recomienda que no sean más de una docena). Las fotografías, gráficas e ilustraciones se consideran figuras y se referenciarán como tales. El autor garantiza, bajo su responsabilidad, que las tablas y figuras son originales y de su propiedad. Todas deben ir numeradas, referenciadas en el artículo (ejemplo: tabla 1, figura 1, etc.) y acompañadas de un título explicativo. Las figuras deben ser de alta resolución (300 ppp), y sus números y leyendas de un tamaño adecuado para su lectura e interpretación. Con independencia de que vayan insertas en el documento del texto, cada figura debe remitirse, además, en un fichero aparte con la figura en su formato original para que puedan ser editados los textos y otros elementos.

Extensión Para los artículos originales, de revisión y de innovación, se recomienda que la extensión del texto no exceda las 15 páginas de 30 líneas a doble espacio (letra Times de 12 puntos; unas 5.500 palabras, 32.000 caracteres con espacios). No se publicarán artículos por entregas.

Entrega Los autores remitirán sus artículos a través del enlace *Envío de artículos* de la página web de la revista (utilizando el formulario de envío de artículos técnicos), en el que figuran todos los requisitos y campos que se deben rellenar; de forma alternativa, se pueden enviar al correo electrónico cogiti@cogiti.es. Los autores deben conservar los originales de sus trabajos, pues el material remitido para su publicación no será devuelto. La revista acusará recibo de los trabajos remitidos e informará de su posterior aceptación o rechazo, y se reserva el derecho de acortar y editar los artículos.

Técnica Industrial no asume necesariamente las opiniones de los textos firmados y se reserva el derecho de publicar cualquiera de los trabajos y textos remitidos (informes técnicos, tribunas, información de colegios y cartas al director), así como el de resumirlos o extraerlos cuando lo considere oportuno. Los autores de las colaboraciones garantizan, bajo su responsabilidad, que las fotos, tablas y figuras son originales y de su propiedad.

Avances en la simulación de la transferencia de calor mediante mecanismos de impacto de chorro

Advances in the simulation of heat transfer with impinging jet mechanism

Francisco-Javier Granados-Ortiz¹, Joaquín Ortega-Casanova¹

Resumen

El uso de chorros para transferencia de calor es un mecanismo con multitud de aplicaciones en ámbitos industriales, como templado de cristales, enfriamiento de dispositivos electrónicos y procesos de mecanizado, entre otras muchas. A pesar de la vasta literatura existente y de ser un problema estudiado desde hace décadas, la gran complejidad de este mecanismo de transferencia de calor aún deja incógnitas no resueltas, como el origen de picos secundarios en la distribución de la transferencia de calor a ciertas separaciones entre chorro y placa y las enormes dificultades para modelar la turbulencia de este tipo de chorros en estudios numéricos. Tanto es así que a veces es más exacto el modelado con simulaciones RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) que las normalmente más precisas LES (Large Eddy Simulations). En el presente estudio se muestran los últimos avances logrados en este tipo de simulaciones por parte de los autores para diversas aplicaciones, desde el empleo de simulaciones acopladas hasta técnicas de modelado probabilístico de cuantificación de incertidumbre para obtener márgenes de fiabilidad de las simulaciones computacionales.

Palabras clave

Transferencia de calor, mecanismos de impacto de chorro, simulación numérica, CFD, turbulencia.

Abstract

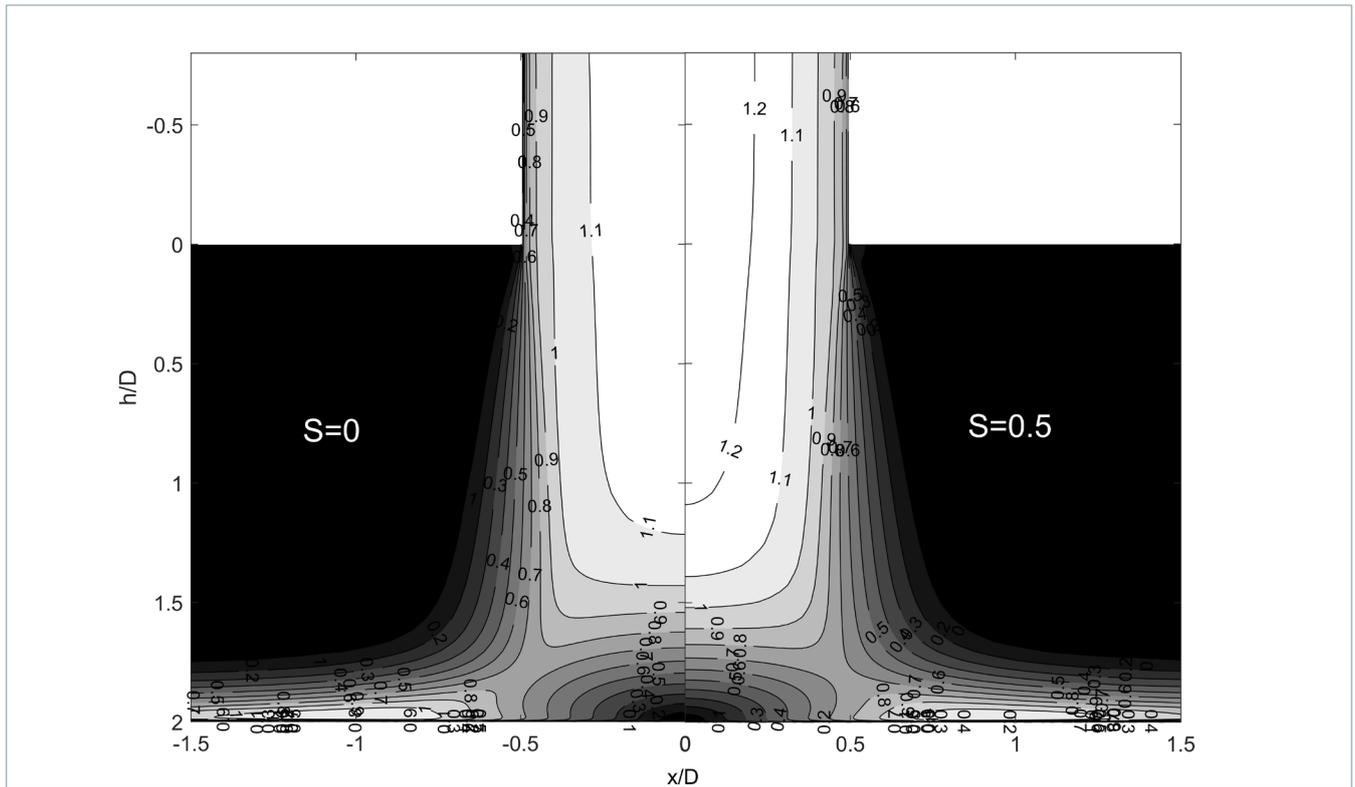
The use of jets for heat transfer is a mechanism with plenty of applications in industrial areas, such as glass tempering, cooling of electronic devices and machining processes, among many others. Despite the vast existing literature and being a problem studied for decades, the great complexity of this heat transfer mechanism still leaves unresolved questions, such as the origin of secondary peaks in the distribution of heat transfer at certain separations between jet and plate, and the enormous difficulties in modeling the turbulence of this type of jets in numerical studies. Therefore, modeling with RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) simulations is sometimes more precise than the usually more accurate LES (Large Eddy Simulations). The present study shows the latest advances made in this type of simulation by the authors for various applications, from the use of coupled simulations to probabilistic uncertainty quantification modeling techniques to obtain reliability margins for computational simulations.

Keywords

Heat transfer, impinging jet mechanics, numerical simulation, CFD, turbulence

Recibido / received: 07/06/2021. Aceptado / accepted: 09/10/2021.

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Málaga, e-mail: fjgranados@uma.es, jortega@uma.es



Introducción

Hay infinidad de problemas de ámbito industrial en los que la transferencia de calor es de extrema necesidad, como puede ser el templado de cristales, el enfriamiento de dispositivos electrónicos, procesos de mecanizado, turbinas de gas, intercambiadores de calor y sistemas antivaho de vehículos, entre otros muchos. Para todas estas aplicaciones existe la posibilidad de emplear un método muy eficiente de transferencia de calor: el uso de chorros para convección forzada. El análisis numérico de la transferencia de calor desde una superficie hacia un chorro no es algo nuevo. En numerosos artículos, como en Sagot et al [1], se estudia la incidencia de un chorro sin giro sobre una pared con temperatura constante y se obtienen similitudes entre experimento y simulación numérica mediante unos números de Reynolds turbulentos. Sus resultados numéricos corresponden estrechamente con los resultados experimentales obtenidos en Fenot et al [2], Lee D et al [3] y Baughn et al [4], lo cual le da validez a los modelos numéricos que Sagot et al [1] utilizan para su estudio, y que serán similares a los que se mostrarán en este trabajo. En el presente artículo,

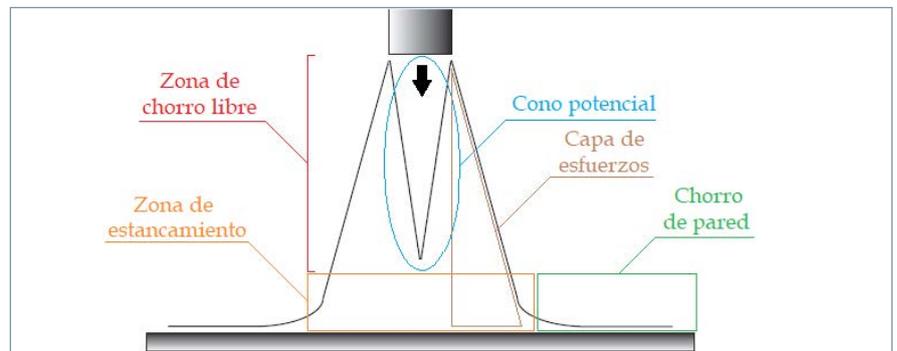


Figura 1. Partes de un chorro impactando sobre una superficie.

además, se discutirán ciertas mejoras realizadas en simulaciones de trabajos anteriores, tanto para aumentar la fiabilidad de la simulación como para mejorar el proceso de transferencia de calor mediante elementos mecánicos, eléctricos o usando fluidos con propiedades termofísicas especiales.

Un ejemplo de chorro de impacto se muestra en la figura 1. La mecánica de este tipo de chorros permite diferenciar varias zonas en su comportamiento. Cuando el chorro sale de la boquilla, se produce en su parte exterior el desarrollo de una capa denominada capa de esfuerzos (*shear layer*), alrededor de una región de velocidad

casi uniforme que se denomina como o núcleo potencial (*potential core*), debido a la diferencia entre las velocidades relativas del chorro y el fluido ambiente. La zona inmediatamente debajo de la boquilla y donde incide perpendicularmente el chorro se denomina región de estancamiento. Esta zona se caracteriza por tener el fluido una velocidad nula (realmente ocurre en el punto central de la región), debido al impacto. A partir de ese punto, el flujo cambia su dirección y empieza a moverse perpendicular a la placa. Este flujo es el que se conoce como chorro de pared (*wall jet*).

Este tipo de mecanismo es óptimo

para lograr un enfriado/calentamiento rápido y a un coste relativamente bajo, pues en principio no necesita de mecanismos sofisticados, se pueden utilizar fluidos económicos y no suele necesitar elevadas potencias de trabajo. Dependiendo del problema, nos interesarán unas características concretas. Por ejemplo, si se quiere enfriar un punto muy localizado, nos interesará que se produzca un alto intercambio de calor entre chorro y superficie en el punto o región de estancamiento (punto de impacto). Esta situación puede darse, por ejemplo, en procesos de mecanizado en los que el láser o herramienta de trabajo está aumentando la temperatura en una región muy localizada. Si, además, nos interesa que la transferencia de calor sea global, a lo largo de la superficie sobre la que fluye el fluido, estaríamos buscando un alto valor de la transferencia de calor en valor promedio. Finalmente, hay procesos en los que nuestro interés se halla mucho más enfocado a que la transferencia de calor sea uniforme a lo largo de toda la superficie. Esto es de vital importancia en procesos como el templado de cristales para evitar imperfecciones en su proceso de fabricación.

La geometría del problema varía en función de cada aplicación. En la figura 2 se muestran los tipos de chorro que pueden encontrarse en aplicaciones industriales. Cuando no hay ningún tipo de restricción en el dominio más que la superficie de impacto, se denomina chorro de impacto libre. En esta situación, el fluido ambiente, diferente del del chorro, interactúa con total libertad y a presión atmosférica en la mayoría de los casos. Por el contrario, cuando el chorro es de tipo confinado, hay una pared sólida en la parte superior que delimita el dominio (aunque los laterales pueden seguir libres de restricción). Esta situación cambia en cierta medida la distribución de la presión en el dominio. A estos dos tipos de chorro se les puede añadir otro matiz interesante, que es rellenar el dominio a través del que se desarrolla el chorro con el mismo fluido empleado como fluido de trabajo. Un ejemplo sencillo de esta situación sería utilizar un chorro de agua a presión incidiendo sobre una superficie sumergida en un estanque de agua. También existe la opción de utilizar el denominado chorro de

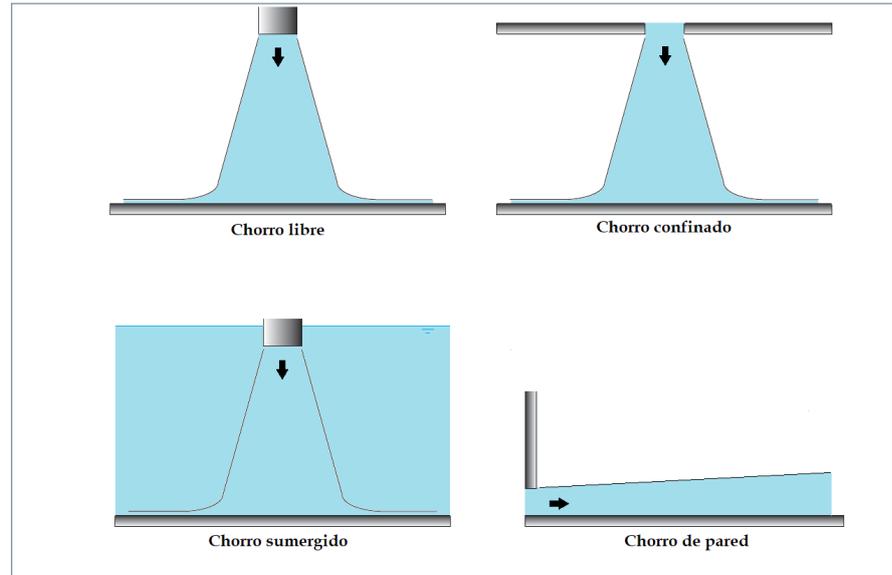


Figura 2. Tipos de chorros.

pared (*wall jet*), que consiste en un flujo paralelo a la superficie. Este tipo de chorro se desarrolla también en la lejanía de la zona de impacto para el chorro perpendicular. Aunque no son motivo del presente estudio, el cual se va a centrar en chorros a una velocidad relativamente alta, está la posibilidad de experimentar fenómenos de compresibilidad como ondas de choque, para chorros cuya velocidad sea superior a la del sonido [5]. También es interesante puntualizar que se puede utilizar más de un chorro a la vez, lo que da lugar a los denominados *arrays* de chorros.

El modelado numérico de chorros incidiendo sobre superficies es un desafío aún abierto. A todo lo añadido anteriormente a la morfología y tipos de chorro habrá que añadir el efecto de la turbulencia. El flujo de un chorro puede ser laminar o turbulento; dicho estado viene determinado por su número de Reynolds. A partir de un determinado valor, el flujo laminar pasa a ser turbulento y aparecen regiones caóticas con fluctuaciones en la velocidad del fluido, a diferencia del comportamiento laminar, en el que todo el flujo se comporta de la misma forma. El modelado de la turbulencia es, a día de hoy, uno de los grandes retos de la física y de las matemáticas, pues aún no se ha logrado resolver analíticamente las ecuaciones de Navier-Stokes, las cuales rigen el movimiento de los fluidos.

Aunque las ecuaciones de Navier-Stokes se pueden resolver numé-

ricamente (v. epígrafe siguiente) con alta precisión para flujos laminares, la turbulencia sigue siendo un problema difícil de simular. Para ello, se utilizan normalmente modelos turbulentos [6]. A pesar de que las simulaciones LES (*Large Eddy Simulations*) son, tras las prohibitivas computacionalmente pero muy precisas DNS (*Direct Numerical Simulations*), el método más empleado en el entorno académico para simular con alta precisión el movimiento de flujos turbulentos, existen varios trabajos en los que su predicción en chorros por impacto no es del todo fiable [7-9]. Por otra parte, las simulaciones RANS (*Reynolds-Averaged Navier Stokes*) representan una opción normalmente menos precisa para modelar la turbulencia, debido a las grandes asunciones que hacen sobre el movimiento turbulento y el uso de modelos configurados en una fuerte base empírica. A pesar de su supuesta menor precisión a la hora de modelar flujos turbulentos, este tipo de simulación ha demostrado en diversos trabajos una muy buena predicción, y ha llegado a capturar el controvertido pico secundario que aparece en ciertas configuraciones de transferencia de calor mediante chorros [10, 11].

Las simulaciones RANS son las más utilizadas en el mundo académico y, sobre todo, industrial. El motivo es que tienen una relativamente alta precisión a la hora de predecir el comportamiento de un amplio rango de aplicaciones en fluidomecánica, a la vez que sus tiempos de simulación

son muchísimo menores que con las técnicas LES y DNS, las cuales son más precisas generalmente. Por tanto, es de una suma importancia lograr proporcionar más información sobre la fiabilidad de las RANS. Esto tiene mucha relevancia en entornos industriales, donde se pretende lograr un prototipo en el menor tiempo posible, pero, a la vez, con una técnica que permita tener fiabilidad o confianza en el comportamiento del diseño final. Por este motivo, las técnicas de cuantificación de incertidumbre (UQ, del inglés *Uncertainty Quantification*) [12] están tomando un papel relevante en el campo de la fluidomecánica computacional (abreviada habitualmente como CFD, de *Computational Fluid Dynamics*) desde principios de este siglo XXI, aunque el número de aplicaciones de esta técnica es aún demasiado bajo y no muy desarrollado en CFD.

La UQ hace referencia a una cuantificación de cómo la variabilidad de unos parámetros de entrada afecta a la variabilidad de la salida [13]. Esta variabilidad es inherente, por ejemplo, a situaciones físicas reales en las que vibraciones, perturbaciones o defectos geométricos en un diseño tienden a aparecer. La utilización de unas técnicas concretas nos permite reproducir el comportamiento estocástico de un sistema bajo incertidumbre, y así lograr en una simulación una reproducción más fiable del comportamiento del diseño en el mundo real. Estas técnicas pueden tratarse de métodos no probabilísticos o probabilísticos (estos últimos son más exactos y detallados al contener un análisis estadístico), así como intrusivos (requieren modificar el código CFD) o no intrusivos (utilizan como entrada simulaciones deterministas). La importancia de incluir una cuantificación de incertidumbre en la simulación CFD es importante desde dos puntos de vista: el aleatorio y el epistémico. Por una parte, esta permite incluir los efectos de aleatoriedad inherente al comportamiento físico real del sistema (incertidumbre aleatoria o estadística). Esto sucede, por ejemplo, cuando se pretende simular el viento alrededor de las palas de un aerogenerador, el cual puede tener ciertas variaciones debido a condiciones atmosféricas, las cuales seguirán una función probabi-

lística. Otro tipo de incertidumbre es la epistémica. Este tipo de inexactitud se debe a una falta de conocimiento dentro del modelo en sí. Este tipo de incertidumbre se considera reducible, ya que puede aumentarse el conocimiento o sofisticación dentro de un modelo numérico y disminuir esa incertidumbre. Un ejemplo es el uso de modelos para modelar la turbulencia. Cada modelo posee unas características concretas que hacen que haya una incertidumbre epistémica asociada a dicho modelado.

Ambos tipos de incertidumbre se han estudiado clásicamente por separado. Sin embargo, muy recientemente los autores del presente artículo han llevado a cabo un estudio que permite relacionar el impacto de ambos tipos de incertidumbre en simulaciones CFD con turbulencia [14]. Es importante destacar que la interacción de ambas no tiene por qué ser aditiva o lineal, y las interacciones no lineales pueden determinar una cuantificación mucho más realista. La inclusión de técnicas de UQ en simulaciones numéricas de chorros por impacto ha sido ignorada hasta hace poco. Debido a la gran complejidad de la mecánica detrás de este tipo de aplicación, es importante llegar a cuantificar los márgenes de fiabilidad de dichas simulaciones, para así determinar en qué rangos se puede esperar que varíe el comportamiento final de la aplicación en ingeniería. Esto se verá en detalle a continuación.

En esta investigación se muestran los últimos avances logrados en la

simulación de chorros para diversas aplicaciones. Destaca desde el uso de simulaciones acopladas hasta técnicas de modelado probabilístico de cuantificación de incertidumbre, para obtener márgenes de fiabilidad realistas que permitan aumentar la confianza en estas simulaciones computacionales.

El presente artículo se divide en varias secciones. En primer lugar, en el siguiente epígrafe se dan los detalles teóricos y numéricos de la simulación numérica del chorro por impacto. En dicha sección se discute también la precisión esperada con cada método numérico empleado, así como de qué manera se han obtenido márgenes de fiabilidad con las RANS. En el siguiente epígrafe se comentan los últimos avances llevados a cabo para mejorar la transferencia de calor mediante elementos mecánicos, eléctricos o uso de fluidos con características termofísicas especiales utilizando simulaciones numéricas. Finalmente, el último epígrafe se dedica a las conclusiones de este artículo.

Ecuaciones, geometría y problema numérico

En primer lugar, se va a mostrar la geometría que se empleará en los resultados mostrados en este artículo. El dominio será como se muestra en la figura 3. En dicho dominio se puede encontrar la boquilla del chorro de diámetro D , la cual está separada una distancia H de la placa. El chorro es libre (no confinado) en esta representación. Así quedaría, por ejemplo, rodeado por

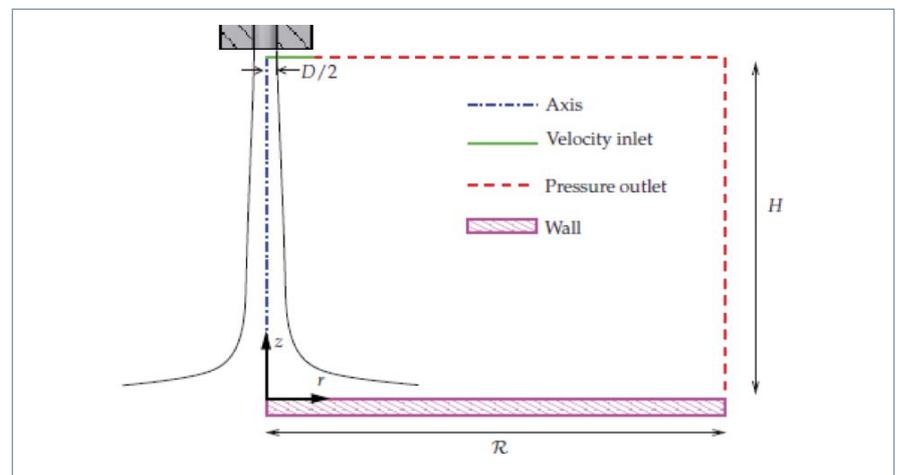


Figura 3. Dominio de simulación del chorro con las condiciones de contorno utilizadas para resolver el problema numérico.

el mismo fluido a temperatura y presión atmosféricas si se tratase de aire. Cabe destacar que, bajo los números de Reynolds considerados, el fluido de trabajo se comportará siempre como un flujo incompresible. Siempre que el número de Reynolds y Prandtl sean los mismos (se definen estos números más adelante), dará igual si se considera, por ejemplo, agua o aire. El problema se abarcará bidimensionalmente y, al tratarse de un problema totalmente simétrico, esta geometría bidimensional puede revolucionarse 360 grados alrededor de su eje de simetría y considerarse, por tanto, axilsimétrico. *Axis*, *Velocity inlet*, *Pressure outlet* y *Wall* son las condiciones de contorno impuestas en FLUENT para resolver el problema numérico, las cuales se explicarán a continuación junto con la descripción teórica del problema.

Para estudiar el régimen del chorro se utilizará el número adimensional de Reynolds, que se define como

$$Re = \frac{\rho UD}{\mu}, \quad (1)$$

donde ρ es la densidad del fluido, U es la velocidad media del chorro al salir de la boquilla, el diámetro D se ha tomado como longitud característica para este número adimensional por ser lo más común en la literatura y es la viscosidad dinámica.

En primer lugar, se va a describir la transferencia de calor por **convección** y **conducción**. Respecto a la convección, esta se rige mediante la ley de enfriamiento de Newton junto con las ecuaciones de Navier-Stokes. La ley de enfriamiento de Newton establece que el flujo de calor entre un fluido y un sólido o entre dos fluidos se puede obtener como

$$\frac{dQ}{dA} = h \cdot (T_s - T_\infty), \quad (2)$$

donde

h = Coeficiente de película (W/m^2K);

T_s = Temperatura del sólido (K);

T_∞ = Temperatura del fluido (K); y

Q = Calor intercambiado solido-fluido (W).

En cambio, la mecánica de fluidos se rige por las ecuaciones de Navier-Stokes, las cuales permiten resolver los campos de velocidad v , temperatura T , presión p y densidad ρ . Las ecuaciones para el caso de un fluido newtoniano son:

Ecuación de continuidad:

$$\frac{D\rho}{Dt} + \nabla \cdot \rho \vec{v} = 0. \quad (3)$$

Ecuación de cantidad de movimiento

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = -\nabla p + \nabla \cdot \vec{\tau} + \rho \vec{f}_m \quad (4)$$

donde $\vec{\tau}$ es el tensor de esfuerzos de Reynolds y $\rho \vec{f}_m$ son las fuerzas másicas.

Ecuación de energía:

$$\rho \frac{De}{Dt} = -p\nabla \cdot \vec{v} + \Phi + \nabla \cdot (K\nabla T) + Q_r, \quad (5)$$

donde Φ es la función de disipación viscosa de Rayleigh y Q_r es el calor aportado al fluido por unidad de tiempo y volumen. La relevancia de $(K\nabla T)$ se comenta a continuación. Se han utilizado las derivadas sustanciales D/Dt para considerar que las magnitudes fluidas varían con el tiempo no solo por el movimiento no estacionario, sino porque también cambiará al pasar de un punto espacial a otro.

La transferencia de calor por conducción se rige por la ley de Fourier, la cual indica que existe una relación lineal entre el vector flujo de calor y el gradiente de temperatura tal que:

$$\vec{q} = -K\nabla T, \quad (6)$$

siendo K la conductividad térmica del fluido. Una vez descrita la transferencia de calor por conducción y convección, se va a proceder a cuantificar la transferencia de calor adimensionalmente. Para ello se va a utilizar el número de Nusselt. Este número cuantifica la transferencia de calor por convección frente la transferencia de calor por conducción. De forma general, el número de Nusselt se define como:

$$Nu = \frac{h \Delta T}{\frac{k}{D} \Delta T} = \frac{hD}{k}. \quad (7)$$

Este número se obtiene de adimensionalizar la temperatura en las ecuaciones de Navier-Stokes, y permite cuantificar de manera adimensional la evolución de la transferencia de calor a lo largo de las placas sobre las que incide el chorro mediante el Nusselt local (Nu) y, globalmente, entre todas las placas mediante el Nusselt promedio (\overline{Nu}), siendo ambos $Nu = f(r, Re, Pr)$ y $\overline{Nu} = f(Re, Pr)$. Pr es el número de Prandtl, el cual es una propiedad física del fluido (no depende de geometría ni velocidad) y nos sirve para cuantificar la difusión de la cantidad de movimiento frente a la difusión del calor:

$$Pr = \frac{\vartheta}{\alpha} = \frac{\mu c_p}{K}, \quad (8)$$

donde α es la difusividad térmica y ϑ la viscosidad cinemática. Por tanto, hablar del aumento del número de Nusselt, equivaldrá a hablar de aumento de la transferencia de calor. A nivel práctico, el número de Nusselt proporciona una idea de si predomina la transferencia de calor por conducción o por convección; pero como se ha dicho, la conductividad térmica del fluido es una propiedad únicamente de dicho fluido y, por tanto, lo único que variará es el coeficiente de película del numerador del número de Nusselt de la ecuación (7)

Modelado de la turbulencia: El problema del pico secundario en la distribución del Nusselt

Por un lado, como utilizamos un fluido incompresible y $Re \gg 1$, se puede despreciar la variación de la densidad y la disipación viscosa, ya que las fuerzas viscosas son despreciables frente a la convección de la cantidad de movimiento. Por otro lado, en nuestra simulación el régimen del fluido va a ser considerado turbulento y estacionario. Por ello, las ecuaciones RANS de continuidad y cantidad de movimiento escritas en notación tensorial compacta quedarán de la forma:

Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0, \tag{9}$$

Ecuación de cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial(V_i V_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \vartheta \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial v_l}{\partial x_l} \right] + \frac{\partial(-\overline{v_i v_j})}{\partial x_j}, \tag{10}$$

Ecuación de la energía:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [V_i (\rho e + p)] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[K_{ef} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right], \tag{11}$$

donde

$$e = h_e - \frac{p}{\rho} + \frac{\vec{v} \cdot \vec{v}}{2}, \tag{12}$$

donde V_k es la velocidad promedio en la coordenada k (siendo k una notación generalista para cualquiera de las coordenadas en cuestión), V'_k las fluctuaciones de la velocidad, e la energía interna, h_e la entalpía y K_{ef} es la conductividad térmica efectiva, la cual tiene en cuenta la conductividad térmica y la conductividad térmica turbulenta:

$$K_{ef} = K + K_t, \tag{13}$$

siendo

$$K_t = \frac{c_p \mu_t}{Pr_t}, \tag{14}$$

y donde c_p representa el calor específico, μ_t la viscosidad dinámica turbulenta y Pr_t el número de Prandtl turbulento. Para resolver las ecuaciones numéricamente, debemos indicar también las condiciones de contorno del problema. Estas se han mostrado anteriormente en la figura 3, de acuerdo con las opciones que aparecen en FLUENT. Las condiciones son:

- *Wall* (pared) para la superficie plana de impacto. La placa tiene un flujo constante de calor (de valor arbitrario) y condición de no deslizamiento (*no-slip condition*).
- *Axis* (simetría). Como han demostrado varios autores (véase, por ejemplo Petera et al [15], donde simulan el flujo 2D y 3D sin apenas diferencias entre ambos) este tipo de chorro tiene simetría axial. La condición *axis* impone que los flujos a lo largo del eje sean nulos para todas las variables.
- *Inlet* para la boquilla eyectora. Esta condición consiste en imponer la velocidad y la turbulencia del flujo que entrará en el dominio y se desarrollará como un chorro.
- *Pressure outlet* para el dominio libre. Esta condición impone la presión en los límites del dominio y controla la dirección de salida del flujo del dominio.

Para más detalles numéricos sobre estas condiciones, se recomienda ver la documentación de FLUENT [16].

En la ecuación (10), V'_k representa, como se ha dicho con anterioridad, las fluctuaciones de la velocidad, las cuales hacen referencia a la turbulencia y son, *a priori*, desconocidas. Esto hace necesario utilizar modelos turbulentos en las ecuaciones RANS. Respecto al modelo turbulento empleado, se describirá el modelo $k-\omega$ y en particular, su versión SST (*Shear-Stress Transport*). Se pondrá mayor énfasis en este modelo turbulento en el presente artículo por ser el utilizado en la mayoría de los trabajos RANS de la literatura y ser, por tanto, el método más recomendado [10, 11, 14]. El modelo SST $k-\omega$ fue desarrollado aunando de manera efectiva la formulación sólida y precisa del modelo $k-\omega$ en la región próxima a la pared con la independencia de libre flujo del modelo $k-\epsilon$ [16]. Para lograr esto, el modelo $k-\epsilon$ se convierte en una formulación del modelo $k-\omega$. El modelo SST $k-\omega$ es similar al modelo $k-\omega$, pero incluyendo las ciertas mejoras, como dependencias con el es-

fuerzo cortante turbulento o términos para la amortiguación de la difusión en la ecuación de ω [16]. Estas características hacen al modelo SST $k-\omega$ más preciso y fiable para una clase más amplia de flujos (en especial para nuestro caso, el cual posee una zona de estancamiento) que el modelo $k-\omega$ estándar. Por tanto, en el estudio de CFD que se aborda aquí se va a tener que resolver, además de las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía, dos ecuaciones adicionales para modelar la turbulencia con $k-\omega$. Las ecuaciones del modelo $k-\omega$ que gobiernan el modelo son, para estado estacionario y fluido incompresible, las que exponemos a continuación. Para la energía cinética turbulenta (k):

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_i} (k V_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k, \tag{15}$$

y para la disipación específica turbulenta (ω):

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_i} (\omega V_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega, \tag{16}$$

donde Γ_ω y Γ_k son las difusividades efectivas de k y ω ; G_k y G_ω son la generación de k y ω , debido a los gradientes de velocidad media, e Y_k y Y_ω son la disipación de k y ω . Estos parámetros tienen un tratamiento especial para transformar el modelo $k-\omega$ en SST $k-\omega$, de acuerdo a lo comentado anteriormente. Para no sobrecargar esta sección de fórmulas se recomienda consultar estos detalles en ANSYS [16].

Finalmente, hay que destacar que el impacto de chorros produce un cambio de velocidad brusco en el flujo, el cual conlleva valores altos en la tasa de esfuerzos de cizalladura (*shear strain rate*, S_{ij}), y que deriva en una sobreproducción de energía cinética turbulenta que aleja los resultados de la realidad. Para solventar esto, se debe controlar la producción de k . Kato [17] sugiere recurrir a la vorticidad Ω_{ij} en el término de producción de la energía cinética turbulenta, pasando de modelarlo como $P_k = \mu_t S_{ij} S_{ij}$ a $P_k = \mu_t S_{ij} \Omega_{ij}$. Como el flujo en torno a un punto de estancamiento (zona de impacto) es casi irrotacional ($\Omega_{ij} \approx 0$), la producción de energía cinética turbulenta

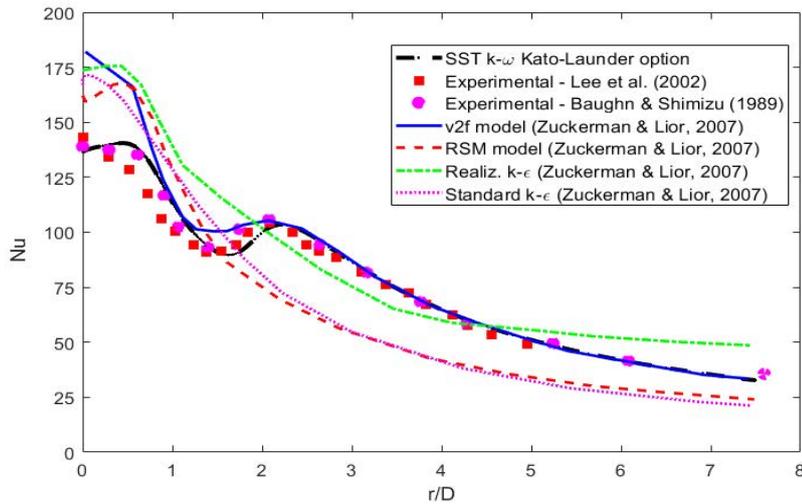


Figura 4. Comparación de resultados numéricos, para γ y β , entre Zuckerman & Lior, 2007 [18] y la simulación realizada en este artículo usando SST $k-\omega$ con la opción de corrección Kato-Launder.

queda muy controlada. La utilización de esta corrección (*Kato-Launder option* o *Kato-Launder modification*) ha demostrado en la literatura un aumento considerable en la precisión de las simulaciones RANS [11, 15] (Fig. 4).

Uno de los hechos más remarcables del uso de un correcto modelo turbulento, como se ha observado con SST $k-\omega$, es que se puede lograr reproducir un aspecto importante de la mecánica de la transferencia de calor de este tipo de chorros: el pico secundario de la distribución del número de Nusselt. En la figura 4 se puede observar dicho pico localizado a una distancia de, aproximadamente, $2D$ del punto de estancamiento, $r/D = 0$. Este fenómeno no tiene lugar para cualquier configuración geométrica del chorro, sino que aparece cuando la distancia entre boquilla y superficie de impacto es relativamente cercana. Hoogendoorn [19] ratifica esta característica, y se encuentra que no solo β es relevante en la aparición del pico secundario, sino que el nivel de turbulencia que presenta el chorro también. Respecto a esta característica tan peculiar, a pesar de que el enfriamiento mediante chorros en aplicaciones ingenieriles ha sido estudiado desde hace varias décadas, tanto experimental como numéricamente, no existe aún un consenso científico común sobre el origen físico de este pico. A pesar de esto, un gran número de autores lo achacan a una transición de laminar a turbulenta de la placa lí-

mite [20, 21] o a un aumento repentino de la intensidad turbulenta [22, 23]. Hay también ciertos autores [24] que relacionan que el núcleo o cono potencial (*potential core*) interactúa con la superficie de impacto y genera esa forma del Nusselt si la distancia es lo suficientemente cercana como para que la placa llegue a modificar el libre desarrollo del cono potencial. Kataoka et al. [25] sugieren que el impacto de los vórtices de mayor tamaño contra la placa produce una variación en las capas adyacentes a la superficie debido al efecto de “renovación” por ese continuo impacto. Finalmente, otros autores atribuyen este fenómeno a la desaparición del gradiente de presión producido en la región de impacto y que afecta a la estabilidad del flujo del chorro, así como a un aumento repentino de la intensidad turbulenta [26].

Si la naturaleza física del pico secundario no está aún clara, conseguir capturarlo numéricamente entraña aún más incógnitas. Una serie de trabajos utilizan simulaciones LES para modelar computacionalmente el comportamiento de la transferencia de calor por impacto de chorro. Sin embargo, a pesar de la amplia literatura científica que respalda la mayor precisión de las simulaciones LES en comparación con las RANS, en la gran mayoría de estos trabajos el pico secundario del Nusselt no ha sido capturado correctamente en estas simulaciones, bien por reproducirlo pero no reproducir fielmente la

distribución global del Nusselt [8], bien por simularlo a una localización alejada de la real [7] o bien directamente por no ser reproducido en absoluto [9]. Recientemente, algunos autores han logrado reproducir la distribución del Nusselt y su pico secundario mediante simulaciones LES con cierta precisión [27], aunque con mucha menor semejanza que las RANS mostradas en el presente artículo (v. Fig. 4). Uno de los motivos que se dan en el trabajo numérico en [27] acerca de la presencia del pico secundario es que la aceleración del flujo en la zona de desarrollo de la capa límite está íntimamente ligada al pico secundario, así como una extraordinaria sensibilidad de la simulación respecto al refinamiento del malla. Esto podría indicar que, al existir una menor sensibilidad de las simulaciones RANS al malla, al no llegar a simular vórtices a tan pequeña escala, podría contener menor “ruido” numérico (turbulencia de pequeña escala) y permitir capturar mejor el impacto de los vórtices de mayor escala en la transferencia de calor.

Esta enorme sensibilidad de la evolución del Nusselt respecto a la geometría y régimen del chorro refleja una incertidumbre considerable respecto a la fiabilidad de las simulaciones de este tipo. Hay que recordar que si la simulación no nos parece fiable, no tiene mucho sentido su utilización para diseño de mecanismos eficientes de transferencia de calor en aplicaciones reales en ingeniería mecánica. Esto nos lleva a intentar dotar a estas simulaciones de ciertos márgenes de confianza que nos garanticen, al menos, una franja de actuación realista del prototipo. Aquí entra la cuantificación de incertidumbre, UQ (*Uncertainty Quantification*).

Inclusión de márgenes de fiabilidad para simulaciones de alta complejidad: cuantificación de incertidumbre (UQ)

Como se ha comentado en el epígrafe anterior, la simulación numérica de este tipo de problemas que presentan pico secundario da lugar a resultados cuya fiabilidad puede ser reducida. En términos generales, la fiabilidad en una simulación tiene un gran impacto en las decisiones en ingeniería, pues la imprecisión de un resultado numérico puede traducirse en encontrar un diseño óptimo computacionalmente que no corresponda con el diseño óptimo real,

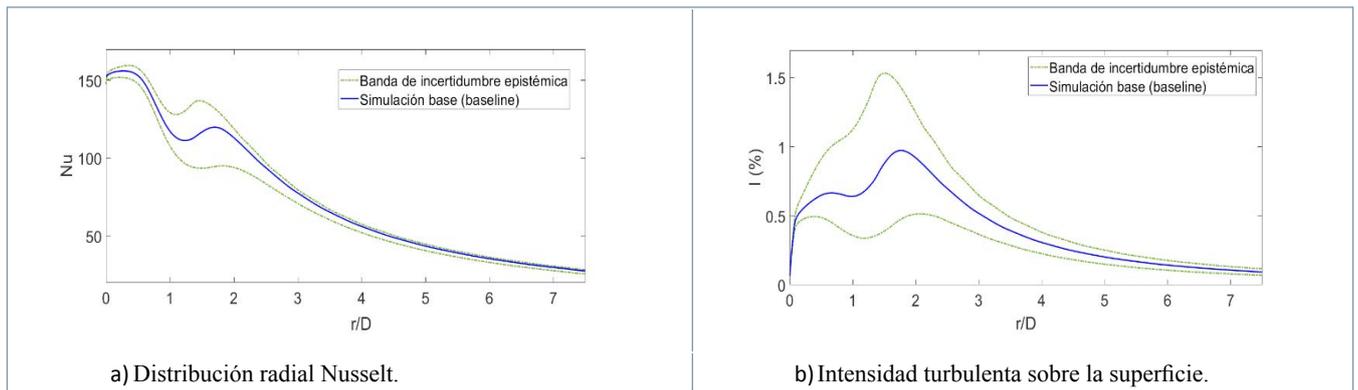


Figura 5. Cuantificación de incertidumbre epistémica en la simulación de un chorro a $Re = 23.000$, $H/D = 2$ y $S = 0,5$.

así como el no detectar situaciones de riesgo para un prototipo (por ejemplo, generación de vibraciones que limiten la vida útil del elemento). Por este motivo, proporcionar márgenes de fiabilidad es de gran importancia.

Para el caso de la simulación de transferencia de calor mediante un chorro, el aspecto que genera más incertidumbre es la presencia del pico secundario. Como se ha visto, no hay aún consenso en la comunidad científica acerca de su origen, pero en lo que sí está de acuerdo la mayoría es en que la turbulencia desempeña un papel importante. Por tanto, el comprobar cómo la incertidumbre en el modelo turbulento afecta al comportamiento de la simulación nos puede dar una referencia acerca de la fiabilidad muy útil. Este tipo de incertidumbre entraría dentro de la de tipo epistémico. Como se ha comentado en el primer epígrafe, la incertidumbre epistémica se asocia a una falta de conocimiento de un modelo, en este caso turbulento, la cual podría eliminarse si se lograra un modelo matemático para la turbulencia más completo, pero que podría suponer recursos computacionales prohibitivos. A pesar de no haber ningún estudio de este tipo de incertidumbre en chorros de impacto, los hay sobre chorros libres que indican la enorme importancia de cuantificar estas imprecisiones [28, 29]. Al dar lugar el impacto a cambios bruscos en velocidad y líneas de corriente, se espera un papel aún más relevante en la presente aplicación.

En la figura 5 se muestra un ejemplo de cuantificación de incertidumbre epistémica sobre la simulación de un chorro sumergido a $Re=23000$, $H/D=2$, y con intensidad de giro $S=\Omega D/$

$(2U)=0.5$, con la velocidad angular del tubo que genera ese giro en el chorro (estudiado computacionalmente en [11]). El método que se ha empleado para generar las bandas de incertidumbre epistémica es el *Eigenspace Perturbation Method* [29], método pionero desarrollado por la Universidad de Stanford (EE UU). Este método permite simular los casos más extremos mediante variaciones en el tensor de esfuerzos de Reynolds, el cual contiene las fluctuaciones de velocidad que modelan la turbulencia, por lo que se logra computar una banda con la situaciones más extremas, pero físicamente realistas. Se puede observar en la figura 5 que, a pesar de que la intensidad turbulenta posee un margen bastante amplio en el pico secundario (una variación, ni más ni menos que del 50%, aproximadamente) y el Nusselt también posee una importante incertidumbre, el modelo turbulento elegido (SST $k-\omega$) sería bastante preciso incluso en caso extremo. Como era de esperar, la zona de mayor incertidumbre era el pico secundario, lo cual refleja lo adecuado que resulta simular estas bandas de incertidumbre para conseguir unos márgenes de confianza en la simulación.

Además de la incertidumbre epistémica, de índole principalmente computacional, un mecanismo empleado para una aplicación en ingeniería está sometido a efectos de variabilidad de su entorno. Estos factores pueden ser vibraciones, pequeños errores en la velocidad real de rotación del motor que hace girar al tubo, pérdidas de carga no predichas, deformaciones debidas a montaje-desmontaje de equipos, deterioro en la sensibilidad de las válvulas por su uso continuado, etc. Incluso la tolerancia del aparato con el que se

mide está introduciendo incertidumbre a nuestro conocimiento de la situación real. Estos factores normalmente están presentes y se intentan reflejar en los estudios experimentales, por ejemplo, mediante barras de error. Sin embargo, prácticamente nunca se encuentra un estudio de incertidumbre en la simulación computacional en industria. Esto es así porque las técnicas que permiten reconstruir los datos probabilísticos, clásicamente las simulaciones de Monte-Carlo, son extremadamente costosas (puede requerir en torno a miles de simulaciones CFD, lo cual no es permisible en simulaciones de aplicaciones reales). No obstante, la situación ha empezado a cambiar recientemente y técnicas de colocación o de respuesta de superficie [12] han sido utilizadas en algunas simulaciones CFD de chorros libres por los autores con resultados muy precisos y a mucho menor coste. En cuanto a simulaciones de transferencia de calor por impacto de chorros, no hay ningún resultado en la bibliografía, aparte de los realizados por los autores de este artículo [30].

Un hecho, por consiguiente de relevancia, será el tener en consideración también el impacto de la incertidumbre aleatoria. Los autores [30] sugerimos un procedimiento a seguir para poder cuantificar la incertidumbre experimental, que consiste en usar el Método de Colocación Estocástica. La aplicación del método propuesto en ese trabajo es muy adecuada, pues con muy pocas simulaciones CFD se logran reconstruir los momentos estadísticos de interés. En la figura 6 se muestra cómo quedarían esos resultados aplicados de nuevo en la simulación del chorro a $Re=23000$, $H/D=2$ y $S=0,5$, cuando los parámetros de incertidumbre de

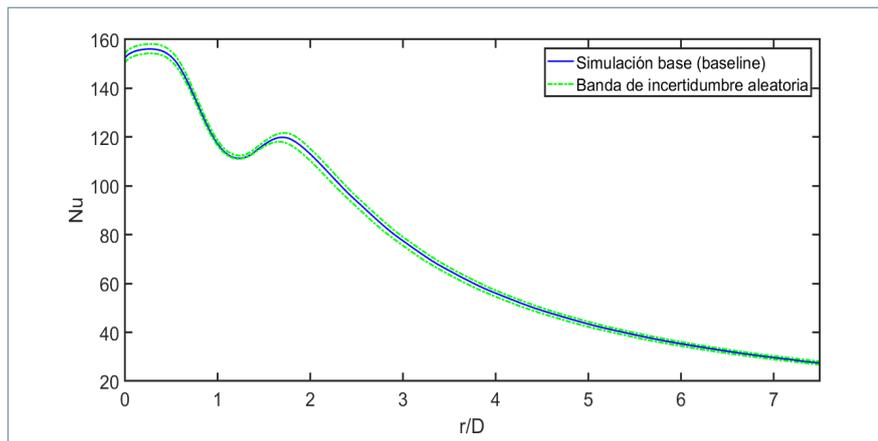


Figura 6. Cuantificación de incertidumbre aleatoria en la simulación de un chorro a $Re=23000$, $H/D=2$ y $S=0.5$.

entrada son el caudal con un 5% de varianza y la velocidad de giro con un 0,5% de varianza. Estas varianzas se han basado en estudios experimentales del laboratorio de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Málaga, una revisión de valores experimentales de la literatura y conversaciones con experimentalistas del Von Kármán Institute for Fluid Dynamics (Bélgica). La gráfica de la distribución del Nusselt muestra que, de nuevo, la parte más sensible a la incertidumbre es el pico secundario. La otra región sensible sería la región de estancamiento, con un impacto muy similar. Esto no ocurriría para el caso epistémico. Se concluye, por tanto, que globalmente el pico secundario es la zona más afectada y que incluir márgenes de confianza es necesario para tener una visión más realista sobre el comportamiento del dispositivo en la aplicación en el mundo real.

Estudio de mecanismos de mejora en la transferencia de calor con chorros de impacto mediante simulaciones computacionales

Como se ha comentado a lo largo del presente artículo, el uso de chorros para transferencia de calor por impacto ha sido estudiado durante décadas. No obstante, debido a la alta complejidad en la mecánica de este tipo de chorros, aún hoy se avanza consiguiendo mejorar el proceso en ciertas aplicaciones industriales gracias al uso de CFD. De acuerdo con los resultados que se presentan en este artículo y la revisión bibliográfica que se mostrará en este epígrafe, se podría decir que la inmensa mayoría de estas mejoras se han producido en los últimos

15-20 años, mayormente gracias a los avances en potencia de computación y conocimiento físico del problema. En este apartado se van a clasificar las mejoras en tres partes en función de la naturaleza de los elementos empleados, quedando diferenciadas en mejora mediante *i)* uso de elementos mecánicos, *ii)* uso de elementos eléctricos/electrónicos y *iii)* uso de fluidos con características especiales. Se va a obviar la naturaleza de la clasificación del chorro (libre, confinado, sumergido, en *array*, etc.) al ser independiente del mecanismo de mejora; y no se van a considerar chorros paralelos a la superficie, pues este tipo de chorro tiene unas características diferentes y está, a su vez, presente en los chorros por impacto una vez que se desarrolla el flujo aguas abajo.

Uso de elementos mecánicos para aumentar la transferencia de calor mediante chorros

Una de las opciones que existen y que gozan de gran popularidad para aumentar la transferencia de calor mediante impacto de chorros es la generación de giro. Hay numerosos trabajos que demuestran que, para configuraciones concretas (normalmente cuando la boquilla está relativamente cerca de la placa), aumentar el giro aumenta la transferencia de calor [11, 31]. Aunque esto ha sido estudiado desde hace bastante tiempo, la novedad radica en la forma en la que se genera el giro. Dicho giro se puede inducir mediante conductos con guías longitudinales espirales [3], chorros tangenciales [32], boquillas con guías orientadas [10] o tubos sometidos a rotación [11] (Fig.

7), entre otras. Cuando se pretende simular numéricamente uno de estos fluidos, se suele imponer en la condición de contorno de entrada (*inlet*, en el ejemplo de FLUENT mostrado en la figura 3), el perfil de velocidades. Esto ha permitido a Ortega-Casanova et al [33] el poder simular el comportamiento que tendría un chorro con giro modelado mediante el vórtice de Burger (*Burger's vortex*), el cual posee cierta dificultad en el montaje para su generación experimental [34, 35], por lo que la computación numérica es una ventaja en su estudio. En dicho estudio se observó que si el tamaño del núcleo del vórtice (*potential core*) y la intensidad de giro son pequeñas, se puede lograr una mejora en la transferencia de calor del punto de estancamiento.

Según el mecanismo empleado para proporcionar rotación al chorro, debido a que cada método produce una estructura diferente en él, la distribución del Nusselt a lo largo de la placa es diferente. Se recomienda ver Granados-Ortiz et al. [11], donde se discute esta cuestión y se comparan resultados de diferentes mecanismos de giro. Debido a que en la simulación ha de imponerse un perfil para la velocidad axial, radial y acimutal, una opción sería usar datos experimentales, si existen. Por ejemplo, en Ortega-Casanova et al [10] los autores del presente artículo han caracterizado experimentalmente los perfiles de velocidad a la salida de un chorro con giro inducido mediante guías orientadas y han impuesto esos perfiles en la condición de contorno *inlet* de la simulación de un chorro sobre diversas superficies. Sin embargo, esto no siempre es posible, pues podría buscarse probar diferentes condiciones (variar el Reynolds o añadir giro si no hubiese, por ejemplo) o fluidos. En esta situación, habría que generar una simulación del flujo que saldría por la boquilla. Por este motivo, en Granados-Ortiz et al. [11] se ha realizado un acoplamiento entre las dos simulaciones (tubo con rotación para generar el flujo con giro y simulación del chorro por impacto). El motivo de acoplar estas dos simulaciones es que: *i)* para que el flujo esté completamente desarrollado el tubo debe ser muy largo, y *ii)* los modelos turbulentos óptimos para el tubo y para el chorro impactando no son los mismos. Por tanto, usar simulaciones acopladas dota de enorme

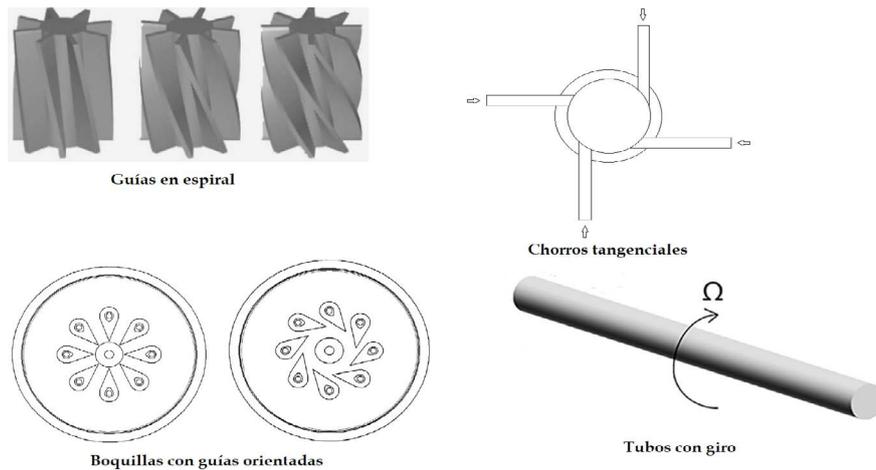


Figura 7. Elementos empleados para inducir giro a un chorro. Imágenes adaptadas de: guías longitudinales espirales [3], chorros tangenciales [32], boquillas con guías orientadas [10] y tubos sometidos a rotación [11].

En las simulaciones realizadas por Granados-Ortiz et al. [11] también se observa que usando un tubo con rotación la expansión es mucho menor que cuando se usa otro tipo de generador de giro.

Otra forma de lograr aumentar el intercambio de calor entre placa y flujo sería modificar la geometría de la superficie de impacto. Esto se puede lograr, por ejemplo, pasando de una placa plana a una con hoyuelos, protuberancias o ambas. Estas modificaciones de la geometría tienen dos efectos claramente diferenciados: por un lado, el aumento de la superficie aumenta la transferencia de calor (efecto aleta) y, por otro, el impacto contra los obstáculos de un chorro desarrollado sobre

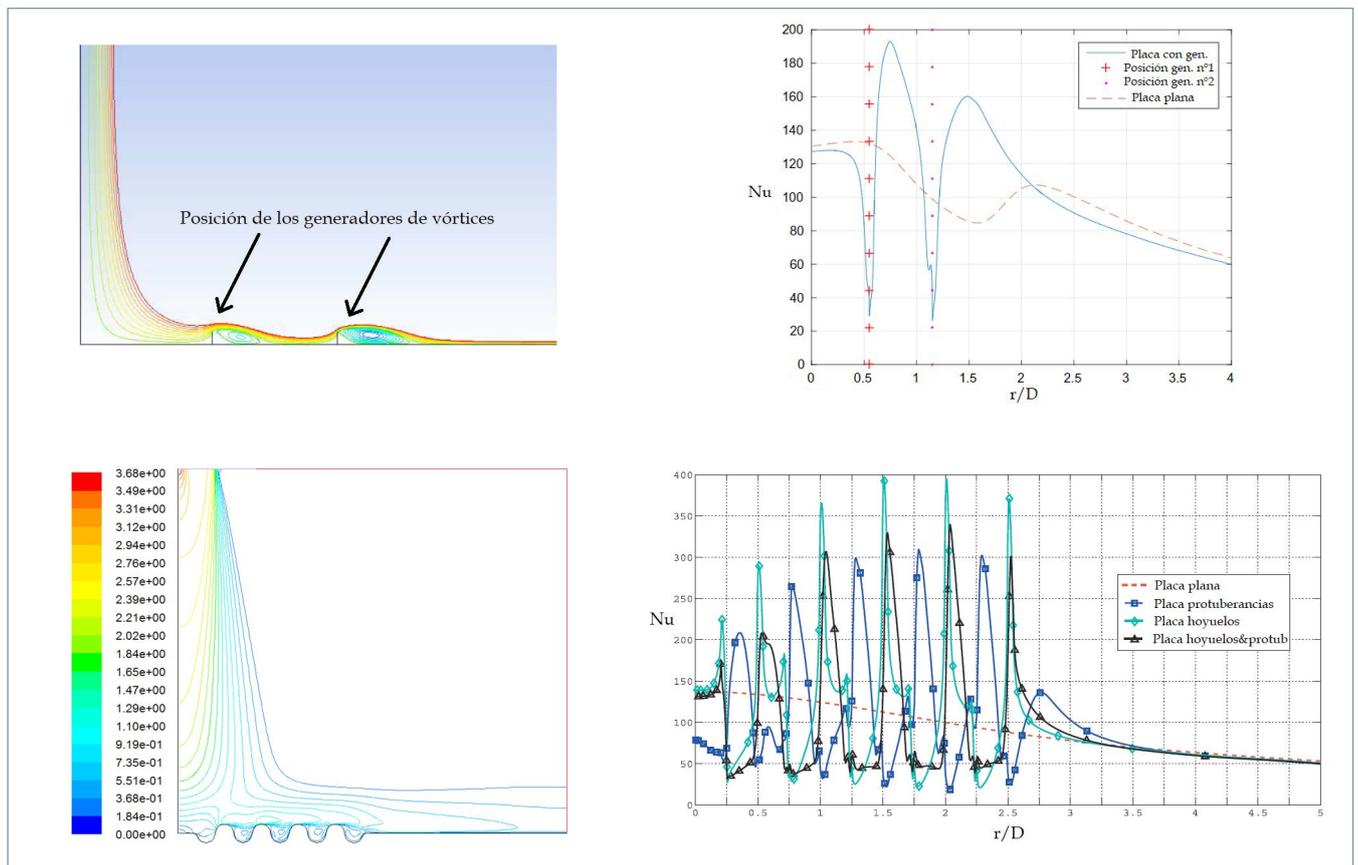


Figura 8. Generadores de vorticidad y hoyuelos/protuberancias. La primera fila corresponde a los resultados adaptados de [37], donde $Re=23000$, $H/D=2$ y d_1 es la distancia del primer generador de vórtice al eje de simetría y d_2 la del segundo. En a) se muestran las líneas de corriente para $d_1=0.36$ y $d_2=0.7$; en b) el Nusselt radial para $d_1=0.36$ y $d_2=0.7$. En la segunda fila se muestran los resultados adaptados de [10]. En c) se muestran los isocontornos del módulo de la velocidad (m/s) del chorro sobre la placa con hoyuelos y protuberancias para $H/D=10$ y $Re=1,5E4$. En d) se muestra su Nusselt radial.

flexibilidad: la simulación del tubo con giro se puede reducir a una porción pequeña con condiciones de contorno periódicas y se puede usar un modelo turbulento más preciso, por ser una geometría pequeña y simple.

Respecto al mecanismo de generación de giro, una mención especial merece el hecho de la expansión del chorro a la salida de la boquilla. Para mejorar la transferencia de calor en la zona de estancamiento se prefiere

un mecanismo que reduzca la expansión. Por este motivo, Bakirci et al [36] añaden al elemento helicoidal de generación de giro una punta cónica (*conical tip*), la cual reduce la expansión (probablemente debido al efecto Coanda).

la pared (*wall jet*) a una velocidad determinada produce un aumento de la vorticidad y creación de recirculaciones que mejoran el fenómeno de intercambio de calor. Por este motivo, en algunos trabajos también se ha optado por simular numéricamente el efecto de la colocación de generadores de vorticidad consistentes en pequeñas aletas verticales [37], cuyo comportamiento se encontró relativamente similar al de las protuberancias, ya que en síntesis ambos son generadores de vorticidad. La ventaja de usar estos elementos es que se producen importantes picos en el Nusselt al pasar estas geometrías, que aumentan así la transferencia de calor localmente, pero también en valor promedio en ciertas configuraciones. En la figura 8 se muestra el comportamiento del chorro para ambas situaciones.

Uso de elementos alimentados por energía eléctrica para aumentar la transferencia de calor mediante chorros

Respecto al uso de elementos eléctricos o electrónicos en el impacto de chorros sobre superficies, en la bibliografía se han encontrado muy pocas novedades al respecto, tanto en resultados experimentales como numéricos. Actualmente no tienen un papel muy relevante en ingeniería térmica ni mecánica. La opción que está tomando más relevancia en la actualidad es el uso de chorros sintéticos o pulsados (*synthetic o pulsed jets*). Este tipo de chorro se genera de manera discontinua, mediante un pistón o diafragma, que lanza “balas de aire” de mayor proporción que si se usara un ventilador o bomba [38] (Fig. 9). Este tipo de chorros tienen la característica de que conforme se aumenta la separación boquilla-placa pierde compacidad, debido a los vórtices en anillo que se producen por la interacción brusca con el fluido de ambiente y que expanden el flujo [38]. Para más detalles sobre el criterio de formación de este tipo de chorros y su descripción teórica, se recomienda ver Holman et al. [39].

Aunque este tipo de chorros se generan de manera más compleja que los continuos, su modelado computacional es posible, aplicando como condición de contorno una velocidad periódica. Poh et al. [40] simulan en FLUENT un chorro laminar pulsado ($Re \leq 1000$) para la transferencia de calor. Para las distancias entre boquilla y placa anali-

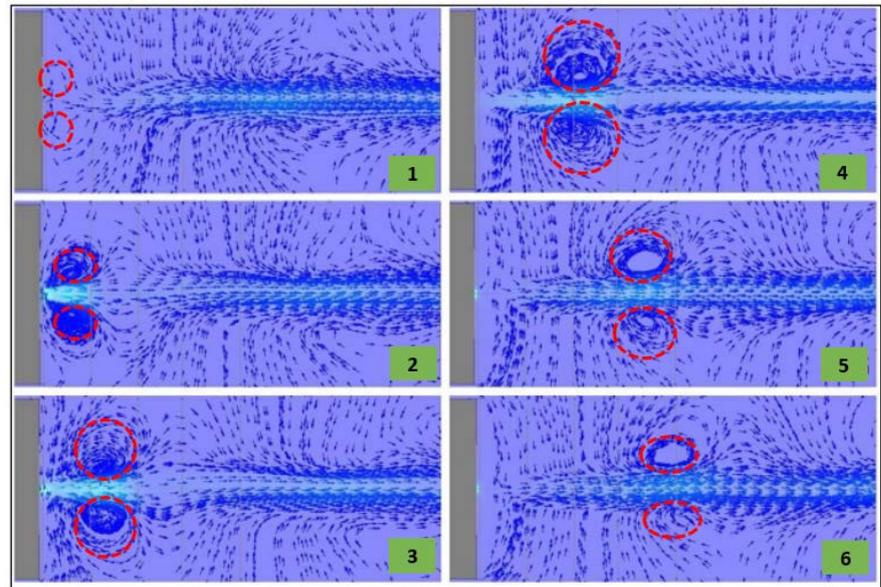


Figura 9. Vorticidad de chorro pulsado viajando a lo largo de su eje central. Imagen adaptada de [38] con leves modificaciones.

zadas ($H/D=4,5,7,9$) para la mayor de ellas se logra, sorprendentemente, un Nusselt local mayor relativamente cerca de la zona de impacto. Sin embargo, se produce una caída muy pronunciada al alejarnos de dicha zona, lo que no pasa con otras distancias. Este estudio, no obstante, carece de comparación con datos experimentales o teóricos para su validación. Alimohammadi et al. [41] demuestran que un diseño con un chorro sintético de impacto pulsado a $Re=6000$ logra mejorar significativamente la transferencia de calor de un chorro continuo de manera muy significativa si dicho chorro posee una frecuencia elevada y se coloca lejos de la placa. Xu et al. [42] simulan un chorro turbulento confinado cuya generación se produce mediante encendido-apagado intermitente. De nuevo, una elevada frecuencia beneficia y se observa que este pulsado intermitente puede producir un aumento de turbulencia, tamaño de vórtice e inestabilidades en la capa de esfuerzos, así como disminuir la capa límite térmica e hidrodinámica.

Uso de fluidos con características especiales para aumentar la transferencia de calor mediante chorros

Por último, se van a describir aplicaciones de éxito recientes en la simulación de chorros con fluidos de características especiales. Un claro ejemplo de aplicación cada vez más popular en transferencia de calor en termodinámica industrial es el uso de

nanofluidos. Como comentan Sheikholeslami et al [43], “los nanofluidos son un nuevo tipo de fluido para transferencia de calor que contiene un número pequeño de partículas de nanotamaño, uniforme y establemente suspendidas en un líquido”. Este tipo de fluidos posee unas características termofísicas muy particulares, ya que el uso de nanopartículas logra aumentar la conductividad térmica de un fluido base y, por consiguiente, mejora la disipación de calor. Sin embargo, el uso de este tipo de fluidos presenta dos problemas: *i*) a nivel experimental puede no resultar sencillo lograr un nanofluido de trabajo totalmente homogéneo (sin *clustering* de nanopartículas, propiedades termofísicas constantes, etc.), y *ii*) a nivel computacional su modelado puede resultar extremadamente complejo. Aún hoy no existe consenso acerca de la mejor manera de simular nanofluidos en CFD. La dificultad en la simulación de nanofluidos radica en que las partículas en el seno del fluido tienen un movimiento complejo, siguiendo un movimiento browniano, cuyo coste de computación es altísimo. A modo de simplificación, muchos investigadores han recurrido a simular el nanofluido como un fluido monofase [44]. Esto permite estimar los valores termofísicos promedio. Sin embargo, varios estudios claman que usar simulaciones multifase es más acertado para ciertas aplicaciones [45]. El problema de las simulaciones multifase es que

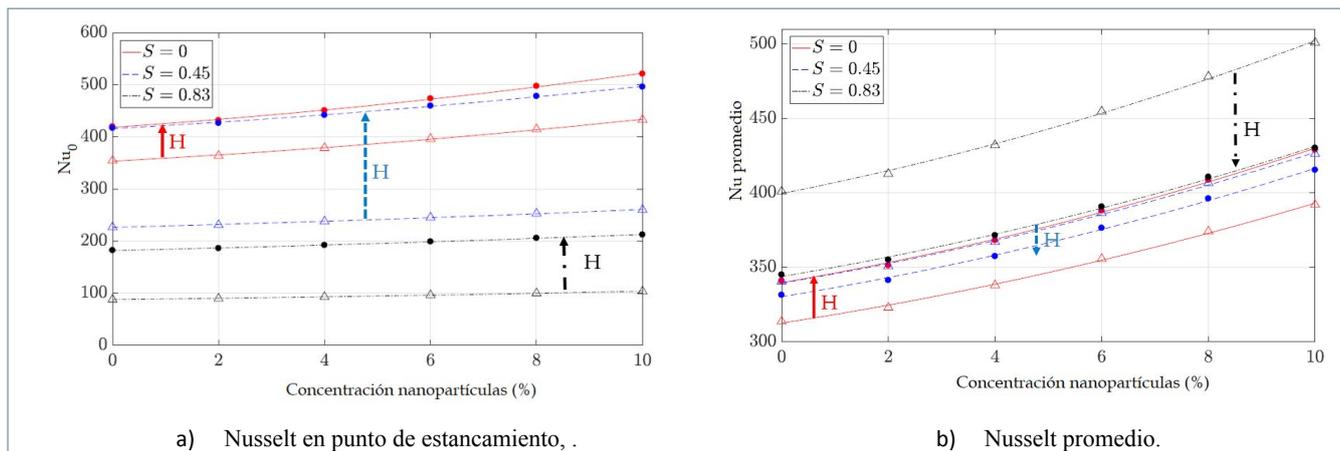


Figura 10. Comportamiento de la transferencia de calor al variar la concentración de nanopartículas para $Re=35000$ chorro con giro generado según la boquilla de [34]. Los datos con el marcador triángulo son los casos $H=2D$ y los marcadores con círculo negro corresponden a $H=4D$. Las flechas marcan el efecto de la variación de la distancia boquilla-placa (de menor a mayor distanciamiento).

este tipo de simulación es mucho más costosa computacionalmente hablando. Para lograr reducir los costes, hay una solución intermedia: el modelado mixto (*mixture model*) [46]. Este tipo de modelado combina las bondades de monofase y del multifase, de manera que se considera que tanto las nanopartículas como el fluido siguen el mismo camino en el flujo. Además, se estima una fracción másica en cada volumen de control asociada a cada fase, y el flujo se resuelve mediante las ecuaciones de continuidad, momento y energía utilizando los valores termofísicos de la mezcla, en lugar de los de cada fase de manera independiente. También hay aplicaciones en las que el nanofluido se ha modelado como fluido no newtoniano, con resultados muy satisfactorios [47].

En cuanto a su aplicación en transferencia de calor con chorros, hay bastantes aplicaciones en la literatura, tanto experimentales como numéricas. Sin embargo, la gran mayoría de estos trabajos versan sobre chorros laminares. En la tesis de León-Prieto [48] dirigida por los autores se ha simulado por primera vez en la literatura un chorro turbulento (con y sin giro) para mejorar la transferencia de calor. El modelo utilizado es monofásico, ya que como indican Kilic et al. [49], cuando se trata de un flujo muy turbulento, el movimiento browniano deja de ser significativo, y es más notable en flujos a bajo Reynolds. Los resultados computacionales reflejan que cuantas más partículas de Al_2O_3 contenga el chorro, mejores resultados de transferencia de calor se logran, como se

muestra en la figura 10. Aunque esto parezca una obviedad, en ciertos trabajos se ha detectado que el aumento de la concentración de las nanopartículas a partir de un determinado valor pueden causar un empeoramiento [50].

Un tipo de fluido menos popular en la literatura ingenieril es el no newtoniano. Este fluido posee unas propiedades reológicas muy interesantes, ya que al aumentar los esfuerzos que se le aplican, varía su viscosidad. Esto da lugar a fluidos con un comportamiento *shear-thinning* (disminuyen su viscosidad) o *shear-thickening* (aumentan su viscosidad). Ejemplos de este tipo de fluidos son la maicena, el *ketchup* e incluso la sangre. La ventaja que poseen estos fluidos en su simulación, a diferencia de los nanofluidos, es que esa viscosidad dependiente de los esfuerzos y la temperatura puede modelarse con relativa sencillez, e incluso algunos códigos CFD ya llevan incorporada esa opción. Los modelos más típicos en la literatura son el *power-law* [48], Carreau [51] y Cross-Power [52], aunque hay más posibilidades [52]. De entre estos, el más común en aplicaciones en ingeniería es posiblemente el *power-law*, dada su simplicidad y comportamiento preciso para un gran rango de fluidos.

El uso de fluidos no newtonianos para transferencia de calor mediante chorros es un campo no muy investigado en ingeniería mecánica. Todos los artículos en la literatura, tanto en el ámbito experimental como en el computacional, hacen referencia a estudios de chorros laminares (véase, por ejemplo, Chatterjee et al. [51]), a excepción

del trabajo [53], que se comentará más adelante. Por tanto, los chorros analizados en la literatura de transferencia de calor están a Reynolds bastante bajos. Ejemplos de aplicaciones de éxito de los modelos de fluido no newtoniano en este tipo de problema a régimen laminar serían Chatterjee et al. [51], que utilizan el modelo de Carreau para chorros confinados cerca de la placa, o Poh et al. [54], que usan la *power-law* para distancias chorro-placa mayores. Qiang et al. [55] también utilizan el modelo *power-law*, estudiando un chorro laminar confinado, al cual se le varía el índice de comportamiento del *power-law* y la conductividad térmica del fluido, por lo que se logra una importante mejora en la transferencia de calor entre chorro y placa. Ortega-Casanova et al. [56] simulan un chorro laminar a bajo Reynolds (entre 50 y 200), a diferentes distancias boquilla-superficie e índices del modelo *power-law*. En este trabajo se observó que el aumento en la distancia boquilla-superficie perjudica a la transferencia de calor y momento, tanto para fluidos *shear thickening* como *shear thinning*. Finalmente, en la tesis de Jiménez-Salas [53] dirigida por los autores se ha desarrollado recientemente el primer estudio de chorros turbulentos con fluidos no newtonianos para transferencia de calor, simulando dichos chorros a un Reynolds de 35000 (muy superior a los existentes en la literatura), así como modelarlo también con giro (hasta una intensidad de giro $S=0.45$). En dicho estudio se observaron varios hechos interesantes. Como se comentó anteriormente, para $H/D=2$ los chorros a alto número de Rey-

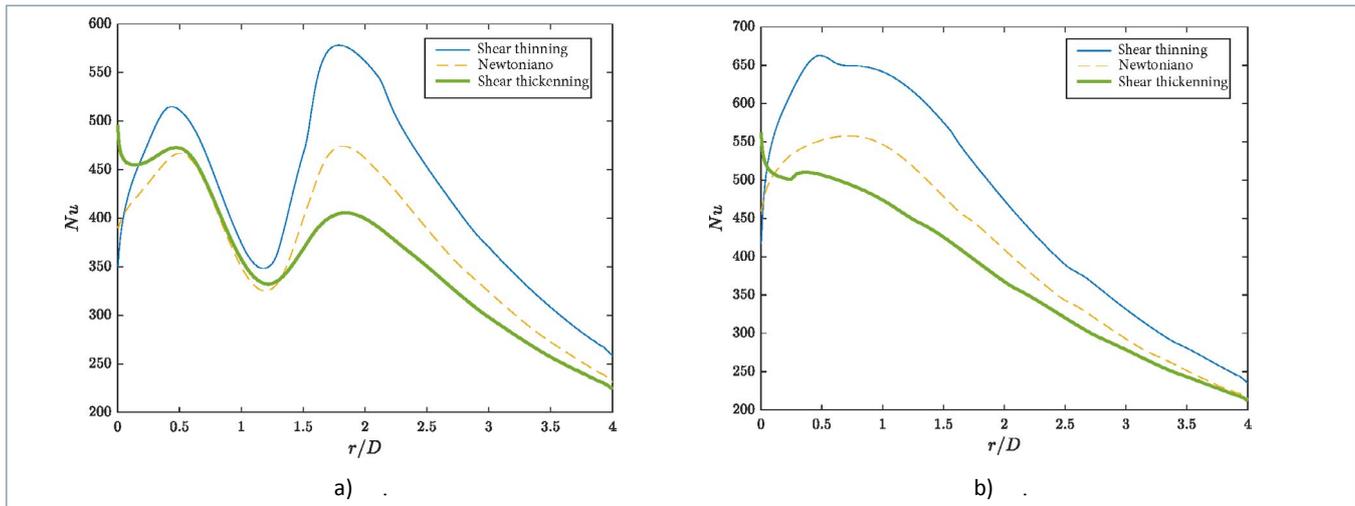


Figura 11. Comportamiento de la transferencia de calor para flujos *shear thinning* ($n=0.8$) y *shear thickening* ($n=1.2$) para $Re=35000$ y $H/D=2$. Chorro con giro generado según la boquilla de [34].

nolds daban lugar a un pico secundario en la distribución del Nusselt sobre la placa. Al utilizar fluidos no newtonianos en la simulación, cuando los fluidos eran *shear thinning*, se observó que el pico secundario lograba un valor más alto que la transferencia de calor producida en la zona de impacto (zona de estancamiento). Por otro lado, los fluidos *shear thickening* presentaban, justo en el punto de estancamiento, un repunte significativo que le daba una estructura inusual a la distribución del Nusselt. En dicho artículo se corroboró que ese repunte se debía a la estrecha relación con la velocidad axial, como ya observaron otros autores en casos de bajo Reynolds [51]. Cuando se le aplica giro al chorro, se observa un cambio radical en la estructura del Nusselt, con la aparición de pequeños picos irrelevantes en los flujos no newtonianos. Se muestra un ejemplo de este comportamiento en la figura 11, para la *power-law* con índices de comportamiento $n=0.8$ y $n=1.2$. Se observa claramente que usar fluidos de tipo *shear thinning* aumentan significativamente la transferencia de calor global sobre la superficie de impacto.

Conclusiones

La transferencia de calor mediante chorros por impacto es un problema de gran complejidad física que hace que los estudios numéricos sean de gran complejidad. En el presente artículo se han detallado los últimos avances más significativos en la simulación computacional de transferencia de calor mediante este mecanismo, especialmente por parte de los autores del presente artícu-

lo, así como algunas discusiones y aplicaciones presentes en la literatura más reciente. Los avances mencionados incluyen un procedimiento a seguir para lograr capturar el pico secundario de la distribución de la transferencia de calor sobre una placa mediante simulaciones RANS, el uso de técnicas de cuantificación de incertidumbre experimental en modelos numéricos, cuantificación de incertidumbre epistémica debido a modelos turbulentos, generación de giro por imposición de velocidad o acoplamiento de simulaciones, aumento de vorticidad, uso de chorros pulsados, nanofluidos y fluidos no newtonianos. Todas estas características se han analizado desde un punto de vista numérico.

Los resultados mostrados permiten lograr un importante aumento en la fiabilidad de estas simulaciones por diversos motivos. Las simulaciones RANS han demostrado ser más precisas que las LES si se utilizan ciertas correcciones, como la modificación de Kato-Launder. Asimismo, se recomienda complementar este tipo de simulación con técnicas de cuantificación de incertidumbre aleatoria, pues se ha logrado replicar el comportamiento probabilístico del sistema en simulaciones CFD gracias a técnicas de colocación estocástica. Por último, se recomienda el complementar el estudio CFD con una cuantificación de la incertidumbre epistémica mediante técnicas como el *Eigenspace Perturbation Method*. Idealmente, la cuantificación de incertidumbre aleatoria y epistémica debe ser combinada, para lograr simular las interacciones existentes entre ambas,

pues se ha demostrado que no son totalmente independientes.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida a través de los fondos UMA18-FEDERJA-184 y las ayudas para contratación de personal investigador doctor del Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Junta de Andalucía. Asimismo, agradecen el código UDF para cuantificación de incertidumbre epistémica proporcionado por el Centre of Turbulent Research de la Universidad de Stanford (EE UU).

Los autores también agradecen la supervisión en la consecución de algunos de los resultados por parte del Prof. C. H. Lai de la University of Greenwich (Reino Unido) y al Dr. D. Guariglia & Prof. C. Schram del Von Karman Institute for Fluid Dynamics (Bélgica) por las sugerencias en las incertidumbres experimentales en instalaciones de chorros, así como el trabajo realizado por Manuel Jiménez y Lucía León en sus respectivas tesis de fin de grado.

Referencias

- [1] Sagot B., Antonini G., Christgen A., Buron F. "Jet impingement heat transfer on a flat plate at a constant wall temperature", *International Journal of Thermal Sciences* 47, 1610-1619 (2008).
- [2] Fenot M., Vullierme J. J., Dorignac E. "Local heat transfer due to several configurations of circular air jets impinging on a flat plate with and without semi-confinement", *International Journal of Thermal Sciences* 44, 665-675 (2005).
- [3] Lee D. H., Won S. Y., Kim Y. T., Chung Y.S. "Turbulent heat transfer from a flat surface to a swirling round impinging jet", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 45, 223-227 (2002).

- [4] Baughn J.W., Hechanova A. E., Yan X. "An experimental study of entrainment effect on the heat transfer from a flat surface to a heated circular impinging jet", *Journal of Heat Transfer* 113, 1023-1025 (1991).
- [5] Chin C., et al. "Investigation of the flow structures in supersonic free and impinging jet flows", *Journal of Fluids Engineering* 135 (3), (2013).
- [6] Celik I. "RANS/LES/DES/DNS: The future prospects of turbulence modeling", *Journal of Fluids Engineering* 127 (5), 829-830 (2005).
- [7] Shum-Kivan F., Duchaine F., Gicquel L. "Large-eddy simulation and conjugate heat transfer in a round impinging jet", *ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition* (2014).
- [8] Uddin, N. "Turbulence modeling of complex flows in CFD", Tesis Doctoral, University of Stuttgart, Stuttgart (2008).
- [9] Hällqvist, T. "Large eddy simulation of impinging jets with heat transfer", Tesis Doctoral, Royal Institute of Technology, Stockholm (2006).
- [10] Ortega-Casanova J., Granados-Ortiz F.-J. "Numerical simulation of the heat transfer from a heated plate with surface variations to an impinging jet", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 76, 128-143 (2014).
- [11] Granados-Ortiz F.-J., Ortega-Casanova J., Lai C.-H. "Two-step numerical simulation of the heat transfer from a flat plate to a swirling jet flow from a rotating pipe", *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow* 30 (1), 143-175 (2019).
- [12] Granados-Ortiz F.-J., et al. "On the influence of uncertainty in computational simulations of a high-speed jet flow from an aircraft exhaust", *Computers & Fluids* 180, 139-158 (2019).
- [13] Saltelli A., Tarantola S., Campolongo F., Ratto M., Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models, John Wiley & Sons Ltd. (2004).
- [14] Granados-Ortiz F.-J., Ortega-Casanova J. "Quantifying & Analysing Mixed Aleatoric and Structural Uncertainty in Complex Turbulent Flow Simulations", *International Journal of Mechanical Sciences* 188, 105953 (2020).
- [15] Petera K., Dostál M. "Heat transfer measurements and CFD simulations of an impinging jet", *EPJ web of conferences* 114, 02091 EDP Sciences (2016).
- [16] ANSYS. "Fluent 6.3 User's Guide", Fluent Incorporated, Lebanon (2005).
- [17] Kato, M. "The modelling of turbulent flow around stationary and vibrating square cylinders", *Turbulent Shear Flow* 1, 10-4 (1993).
- [18] Zuckerman N., Lior N. "Radial slot jet impingement flow and heat transfer on a cylindrical target", *Journal of Thermophysics and Heat Transfer* 21 (3), 548-561 (2007).
- [19] Hoogendoorn C. J. "The effect of turbulence on heat transfer at a stagnation point", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 20 (12), 1333-1338 (1977).
- [20] Gardon R., Akfirat J.C. "The role of turbulence in determining the heat-transfer characteristics of impinging jets", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 8 (10), 1261-1272 (1965).
- [21] Lee J. and Lee S.-J. "The effect of nozzle configuration on stagnation region heat transfer enhancement of axisymmetric jet impingement", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 43 (18), 3497-3509 (2000).
- [22] Ahmed Z. U., Al-Abdeli Y. M., Guzzomi F. G. "Flow field and thermal behaviour in swirling and non-swirling turbulent impinging jets", *International Journal of Thermal Sciences* 114, 241-256 (2017).
- [23] O'Donovan T. S., Murray D. B. "Jet impingement heat transfer. Part II: A temporal investigation of heat transfer and local fluid velocities", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 50 (17-18), 3302-3314 (2007).
- [24] Ashforth-Frost S., Jambunathan K., Whitney C. "Velocity and turbulence characteristics of a semiconfined orthogonally impinging slot jet", *Experimental Thermal and Fluid Science* 14 (1), 60-67 (1997).
- [25] Kataoka K., Suguro M., Degawa H., Maruo K., Mihata I. "The effect of surface renewal due to large-scale eddies on jet impingement heat transfer", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 30 (3), 559-567 (1987).
- [26] Kestin J., Maeder P. F., Wang H. E. "Influence of turbulence on the transfer of heat from plates with and without a pressure gradient", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 3 (2), 133-154 (1961).
- [27] Uddin N., Neumann S. O., Weigand B. "LES simulations of an impinging jet: On the origin of the second peak in the Nusselt number distribution", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 57 (1), 356-368 (2013).
- [28] Mishra A., Iaccarino G. "Uncertainty estimation for Reynolds-Averaged Navier-Stokes predictions of high-speed aircraft nozzle jets", *AIAA Journal*, 3999-4004 (2017).
- [29] Mishra A., Mukhopadhyaya J., Iaccarino G., Alonso J. "Uncertainty estimation module for turbulence model predictions in SU2", *AIAA Journal* 57 (3), 1066-1077 (2019).
- [30] Granados-Ortiz F. J., Ortega-Casanova J., Lai, C. H. "Propagation of Uncertainty in a Rotating Pipe Mechanism to Generate an Impinging Swirling Jet Flow for Heat Transfer from a Flat Plate", *Engineering with Computers* 1-30 (2020).
- [31] Rose W. "A swirling round turbulent jet: Part 1. mean-flow measurements", *Journal of Applied Mechanics* 29 (4), 615-625 (1962).
- [32] Yan, X., Saniei, N. "Heat transfer measurements from a flat plate to a swirling impinging jet", *International Heat Transfer Conference August 23-28 5*, 497-502, Kyongju (1998).
- [33] Ortega-Casanova J., Castillo-Sanchez S. I. "On using axisymmetric turbulent impinging jets swirling as Burger's vortex for heat transfer applications. Single and multi-objective vortex parameters optimization", *Applied Thermal Engineering* 121, 103-114 (2017).
- [34] Ahmed Z. U., Al-Abdeli Y. M., Guzzomi F. G. "Impingement pressure characteristics of swirling and non-swirling turbulent jets", *Experimental Thermal and Fluid Science* 68, 722-732 (2015).
- [35] Ahmed Z. U., Al-Abdeli Y. M., Guzzomi F. G. "Heat transfer characteristics of swirling and non-swirling impinging turbulent jets", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 102, 991-1003 (2016).
- [36] Bakirci K., Bilen K. "Visualization of heat transfer for impinging swirl flow", *Experimental thermal and fluid science* 32 (1), 182-191 (2007).
- [37] Ortega-Casanova J., Molina-Gonzalez F. "Axisymmetric numerical investigation of the heat transfer enhancement from a heated plate to an impinging turbulent axial jet via small vortex generators", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 106, 183-194 (2017).
- [38] Remsburg R., Lucas T., Binstok R. J. "Practical CFD modeling of synthetic air jets for thermal management of electronics", *26th Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM)*, February 18-28 (2010).
- [39] Holman, R., et al. "Formation criterion for synthetic jets", *AIAA journal* 43 (10), 2110-2116 (2005).
- [40] Poh, H. J., Kumar, K., Mujumdar, A. S. "Heat transfer from a pulsed laminar impinging jet", *International Communications in Heat and Mass Transfer* 32 (10), 1317-1324 (2005).
- [41] Alimohammadi, S., Persoons, T., Murray, D. B. "A numerical-experimental study of heat transfer enhancement using unconfined steady and pulsating turbulent air jet impingement", *International Heat Transfer Conference Digital Library*, Begel House Inc. (2014).
- [42] Xu P., Yu B., Qiu S., Poh H. J., Mujumdar A. S. "Turbulent impinging jet heat transfer enhancement due to intermittent pulsation", *International Journal of Thermal Sciences* 49 (7), 1247-1252 (2010).
- [43] Sheikholeslami, M., Ganji, D. D. "Chapter 3-Nanofluid Flow and Heat Transfer in an Enclosure", *Hydrotherm. Anal. Eng. Control Volume Finite Elem. Method* 1, 31-76 (2015).
- [44] Islami S. B., Dastvareh B., Gharraei R. "Numerical study of hydrodynamic and heat transfer of nano fluid flow in microchannels containing micromixer", *International Communications in Heat and Mass Transfer* 43, 146-154 (2013).
- [45] Peng W., Jizu L., Minli B., Yuyan W., Chengzhi H. "A numerical investigation of impinging jet cooling with nanofluids", *Nanoscale and Microscale Thermophysical Engineering* 18 (4), 329-353 (2014).
- [46] Saberi M., Kalbasi M., Alipourzade A. "Numerical study of forced convective heat transfer of nanofluids inside a vertical tube", *International Journal of Thermal Technology* 3 (1), 10-15 (2013).
- [47] Kamali R., Binesh A. R. "Numerical investigation of heat transfer enhancement using carbon nanotube-based non-Newtonian nanofluids", *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37 (8), 1153-1157 (2010).
- [48] León-Prieto L. "Estudio numérico axisimétrico a alto número de Reynolds de la transferencia de calor entre una placa plana y un chorro de un nanofluido que impacta sobre ella", Tesis de Fin de Grado, Universidad de Málaga, Málaga (2019).
- [49] Kilic M., Ali H. M. "Numerical investigation of combined effect of nanofluids and multiple impinging jets on heat transfer", *Thermal Science* 23 (5 Part B), 3165-3173 (2019).
- [50] Nguyen C. T., Galanis N., Polidori G., Fohanno S., Popa C. V., Le Bechech, A., "An experimental study of a confined and submerged impinging jet heat transfer using Al₂O₃-water nanofluid", *International Journal of Thermal Sciences* 48 (2), 401-411 (2009).
- [51] Chatterjee A., Dhinra S., Kapur S. S. "Laminar impinging jet heat transfer with a purely viscous inelastic fluid", *Numerical Heat Transfer: Part A: Applications* 42 (1-2), 193-213 (2002).
- [52] Karimi S., Dabagh M., Vasava P., Dadvar M., Dabir B., Jalali P. "Effect of rheological models on the hemodynamics within human aorta: CFD study on CT image-based geometry", *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 207, 42-52 (2014).
- [53] Jiménez-Salas M. "Estudio CFD axisimétrico a alto número de Reynolds de la transferencia de calor entre una placa plana y un chorro de fluido newtoniano y no-newtoniano que impacta sobre ella", Tesis de Fin de Grado, Universidad de Málaga, Málaga (2019).
- [54] Poh H. J., Kumar K., Chiang H. S., Mujumdar A. S. "Heat transfer from a laminar impinging jet of a power law fluid", *International Communications in Heat and Mass Transfer* 31 (2), 241-249 (2004).
- [55] Qiang Y., Wei L., Luo X., Jian H., Wang W., Li F. "Heat Transfer and Flow Structures of Laminar Confined Slot Impingement Jet with Power-Law Non-Newtonian Fluid", *Entropy* 20 (10), 800 (2018).
- [56] Ortega-Casanova J., Jimenez-Canet M., Galindo-Rosales F. J. "Numerical study of the heat and momentum transfer between a flat plate and an impinging jet of power law fluids", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 141, 102-111 (2019).

Sistema de transporte rápido personal compatible con infraestructura ferroviaria actual y evaluación de su potencial aplicación en el Metro de Madrid

Personal rapid transport system compatible with current railway infrastructure and evaluation of its potential application in Metro de Madrid

Rubén Oliva Domínguez¹, Miguel Fernández Muñoz¹, Ignacio Valiente Blanco¹, Efrén Díez-Jiménez¹

Resumen

El Metro de Madrid es uno de los mejores sistemas de metro en Europa en términos de velocidad de viaje, frecuencia de trenes y seguridad. A pesar de ello, la velocidad de viaje de los pasajeros está limitada por las continuas paradas necesarias en las estaciones. La velocidad media de circulación tiene un valor medido de $35,8 \pm 3,6$ km/h, excluyendo el tiempo de parada. La velocidad media de circulación, incluyendo tiempos de parada, es de $26,1 \pm 2,6$ km/h. El porcentaje de tiempo que el tren se mantiene parado puede llegar a ser del 27,27% del tiempo total de viaje. En este artículo se presenta una tecnología de transporte rápido personal novedosa, llamada OPTIMOTUSS, que podría multiplicar la velocidad de viaje total por un factor de más de 4 si se aplica a redes de metro subterráneo como el Metro de Madrid. Esta tecnología innovadora muestra un gran potencial para mejorar los tiempos de viaje en los sistemas de metro mundiales y su coste de implementación es relativamente bajo, pues los vehículos son compatibles con las infraestructuras de metro actuales.

Palabras clave

Sistema de transporte rápido personal, TRP, transporte urbano ferroviario, Metro de Madrid

Abstract

Metro de Madrid is one of the best metro systems in Europe in terms of travel speed, train frequency and safety. Despite this, the travel speed of passengers is limited by the continuous stops needed at the stations. The average driving speed has a measured value of 35.8 ± 3.6 km / h, excluding stopping time. The average driving speed, including stopping times, is 26.1 ± 2.6 km / h. The percentage of time that the train remains stopped can be 27.27% of the total travel time. This article presents a novel personal rapid transport technology, called OPTIMOTUSS, which could multiply the total travel speed by a factor of more than 4 if applied to underground metro networks such as the Metro de Madrid. This innovative technology shows great potential to improve travel times in global metro systems and its implementation cost is relatively low, as the vehicles are compatible with current metro infrastructures.

Keywords

Personal rapid transport, PRT, urban rail transport, Metro de Madrid

Recibido / received: 10/06/2021. Aceptado / accepted: 14/10/2021.

¹Área de Ingeniería Mecánica, Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad de Alcalá.
E-mails: efrén.diez@uah.es, miguel.fernandezmunoz@uah.es, ruben.oliva.89@gmail.com, ignacio.valiente@uah.es



Foto: Shutterstock.

Introducción

Las redes de metro han aumentado su calidad, han mejorado su servicio y han extendido su rango en ciudades significativamente durante los últimos años, por lo que han contribuido con los objetivos medioambientales mundiales y han optimizado los sistemas de transporte públicos.

Aunque las capacidades tecnológicas ferroviarias se encuentran en mejora continua, el concepto de sistema ferroviario no ha cambiado demasiado desde los primeros viajes en ferrocarril en el siglo XIX, a pesar de las limitaciones significativas. Una desventaja principal está asociada con los tiempos de espera y los destinos predeterminados, por ejemplo, en una línea única de metro. Se puede acceder a otros destinos, pero únicamente con uno o más transbordos de una línea a otra. Dado el uso masivo y el principio de “el que llega primero se sienta”, los pasajeros pueden no encontrar un asiento ni un espacio personal para trabajar o relajarse. Además, los trenes de metro suelen circular parcialmente vacíos fuera de las horas punta, lo cual es muy ineficiente en términos de operación, energía y coste.

Para superar las limitaciones convencionales de los trenes, se han propuesto otros sistemas de transporte como los sistemas de transporte rápido personal (TRP). El TRP se define como un sistema de transporte automático en el que los vehículos se usan para transportar un grupo de personas a los destinos demandados sin paradas ni transbordos [1-3]. Estos sistemas de transporte se basan en vehículos autopropulsados, generalmente con conducción autónoma y capacidad para una o varias personas.

Entre los años 1960 y 1990, se llevaron a cabo muchos proyectos TRP [4] en Estados Unidos, Japón, Australia y Europa. Desde 2001, se ha revisado el concepto de transporte a demanda, incluyendo los TPR, a través de varios proyectos europeos como CityMobil (2009) [5] y Cybercars2 (2006) [6]. En términos de aplicaciones comerciales, los sistemas más desarrollados son SkyWeb Express (2009) [7], Vectus (2009) [8] y Mister (2009) [9], que son soluciones completas para los sistemas TRP. Además, RANA (2009), Skytran (2013) [10], JPODS (2014) [11] y Shweeb (2010) [12] presentan ideas para TRP, pero la mayoría de ellas permanecieron en la fase experimental, debido a dificultades técnicas o costos de im-

plementación excesivos. En lo que a los investigadores respecta, solo hay dos sistemas TRP en funcionamiento real: el sistema TRP de Morgantown diseñado por la Universidad de West Virginia [13], operativo desde 1975, y el aeropuerto de Londres Heathrow PRT ULTRA [14], operativo desde 2009 y utilizado para el transporte de personas desde un estacionamiento remoto hasta la terminal central.

Los TRP enumerados anteriormente poseen beneficios comunes con respecto a los sistemas de metro. Sin embargo, hay un escollo principal para su implementación final: todos necesitan infraestructuras separadas y personalizadas. Esto requiere una inversión muy elevada y la necesidad de espacio adicional, ambas dificultades significativas en las grandes ciudades de hoy en día. Por eso, la mayoría de los TRP propuestos no se han implementado más allá de un nivel experimental y únicamente dos de ellos están operativos para distancias de viaje cortas y con un impacto muy limitado en la vida de los ciudadanos. Así, se puede decir que no hay un transporte bajo demanda ni ventajas de operación en infraestructura separada y compatible con las existentes.

Recientemente, se ha propuesto un sistema TRP con características únicas, llamado OPTIMOTUSS, que actualmente está patentado [15]. OPTIMOTUSS posee la versatilidad y la alta velocidad de desplazamiento de un TRP a la vez que es compatible con las infraestructuras actuales. Si una red de metro adoptara la tecnología vehicular OPTIMOTUSS, podría reducir los tiempos de viaje de trenes urbanos en un factor de más de cuatro. Además, la implementación final sería más factible, ya que no necesita una nueva y costosa infraestructura.

En este artículo se presenta la descripción de esta tecnología vehicular emergente, el diseño mecánico preliminar de los vehículos y la estimación del desempeño del vehículo. Además, se realiza un estudio de campo para obtener, con precisión, la velocidad de circulación y velocidad de desplazamiento en la red de Metro de Madrid. A continuación, se calcula la mejora en la velocidad de desplazamiento que supondría un sistema como OPTIMOTUSS para la red de Metro de Madrid.

Estudio de campo de la red de Metro de Madrid

Se han estudiado las velocidades de viaje promedio para algunas redes subterráneas estadounidenses y asiáticas [16-18]. Sin embargo, ninguna publicación anterior presenta mediciones ni análisis sistemáticos de la red y solo proporcionan aproximaciones generales. No se encuentran estudios detallados de aceleración, desaceleración, velocidad constante y tiempos de parada, ni velocidades de circulación y desplazamiento de las diferentes redes ferroviarias. Más concretamente, para Metro de Madrid, se pueden extraer datos generales de las webs, o de las publicaciones oficiales, pero no hay estudios de campo abiertos y detallados. Por tanto, para poder determinar con precisión la mejora potencial del sistema OPTIMOTUSS, es necesario recoger datos reales de las líneas de Metro de Madrid en diferentes condiciones operativas.

Metodología experimental

Las líneas de Metro de Madrid se recorren en ambos sentidos y en dos intervalos de tiempo: en hora valle (10-12 h) y en hora punta (18-20 h). La línea 12 se ha excluido del análisis debido a

Estaciones	T. aceleración (s)	T. vel. crucero (s)	T. desaceleración (s)	T. de parada (s)
Pinar de Chamartín	14,48	66,34	13,65	71,90
Bambú	15,20	33,73	16,06	23,80
Chamartín	15,75	75,94	25,86	25,90
Valdeacederas	14,26	33,24	12,86	25,00
Tetuán	14,54	28,99	27,37	22,79
...				
...				
Villa de Vallecas	17,38	56,54	11,35	27,10
Congosto	12,13	19,83	34,24	28,90
La Gavia	13,08	70,63	18,26	37,90
Las Suertes	14,64	41,03	23,56	34,20
Valdecarros	-	-	-	-

Tabla 1. Tiempos medidos de una estación a la estación consecutiva de la línea 1

problemas técnicos durante las mediciones. Durante los viajes, se miden las aceleraciones, desaceleraciones, velocidades constantes y tiempos de parada.

Las distancias entre estaciones se calculan utilizando las herramientas de Google Maps y su error de distancia se estima en ± 10%. A partir de estos datos, se puede calcular la velocidad de viaje (incluidos los tiempos de parada), la velocidad de circulación (excluidos los tiempos de parada), el porcentaje de tiempo de parada frente al tiempo total de viaje y los tiempos de viaje totales entre estaciones. Las expresiones utilizadas en estos cálculos son:

$$Velocidad\ de\ viaje = \frac{Distancia\ entre\ estaciones}{t_{aceleración} + t_{velocidad\ crucero} + t_{desaceleración} + t_{parada}}$$

$$Velocidad\ de\ circulación = \frac{Distancia\ entre\ estaciones}{t_{aceleración} + t_{velocidad\ crucero} + t_{desaceleración}}$$

$$\% \text{ del tiempo de parada} = \frac{t_{parada}}{t_{aceleración} + t_{velocidad\ crucero} + t_{desaceleración} + t_{parada}} \cdot 100$$

$$Tiempo\ de\ viaje = t_{aceleración} + t_{velocidad\ crucero} + t_{desaceleración} + t_{parada}$$

Aunque la mayoría de las líneas del Metro de Madrid tienen conducción semiautomática, puede haber intervenciones por parte de los conductores. Esto puede generar tiempos de aceleración, desaceleración y parada ligeramente diferentes. En consecuencia, se realizan promedios entre las mediciones realizadas en diferentes días, líneas y direcciones, y se estima el error final en alrededor de ± 10%. Se registran las incidencias inesperadas y se aceptan o rechazan los datos correspondientes según el evento. Todas las mediciones se realizan en el mes de noviembre de 2017, correspondiente al periodo normal de operación subterránea.

A modo de ejemplo, la base de datos para la línea 1, una dirección, en periodo valle se detalla en la tabla 1. Presenta los tiempos medidos desde una estación a la estación consecutiva. La regresión cuadrática y los valores promediados se obtienen para los cálculos acumulativos y se representan en las figuras 1, 2 y 3.

Resultados y discusión

Los primeros resultados presentados en la figura 1 son las velocidades de circulación acumuladas. Esa es la velocidad promedio entre estaciones, excluyendo los tiempos de parada en dichas estaciones.

Se obtiene una velocidad media de circulación de 35,8 ± 3,6 km/h entre todas las líneas y periodos. Así mismo, se observa que hay demasiada diferencia entre los dos periodos de operación, y esa diferencia no es mayor del 4% dentro de la mis-

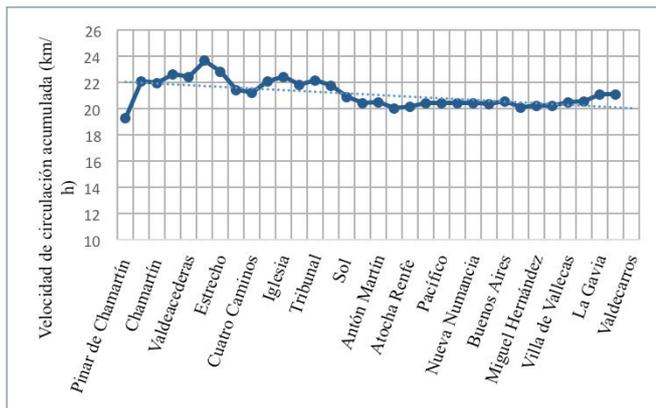


Figura 1. Velocidad de circulación acumulada para la línea 1, período de valle y una dirección.

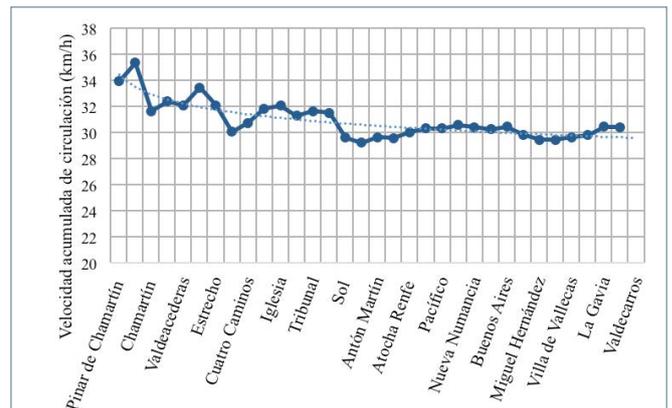


Figura 2. Velocidad de viaje acumulada para la línea 1, período de valle y una dirección.

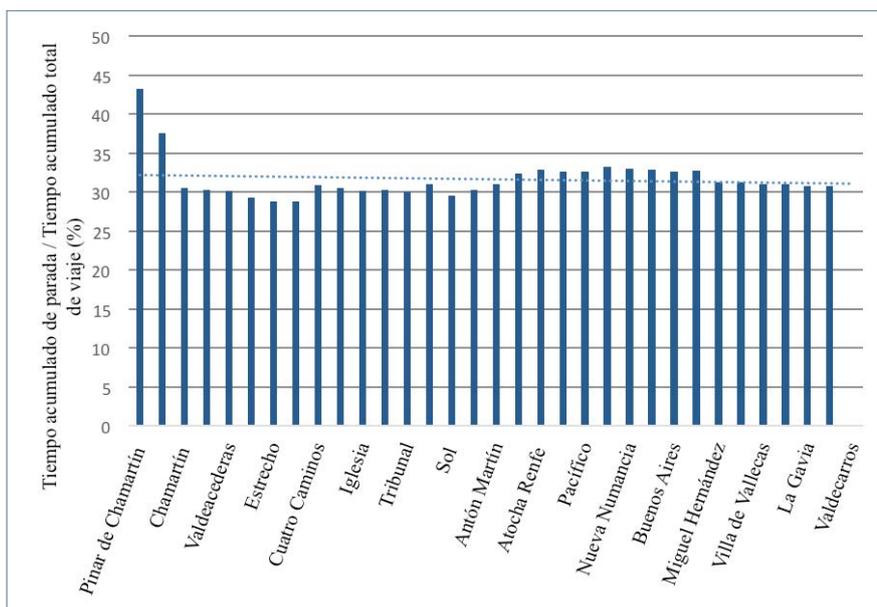


Figura 3. Porcentaje de tiempo de parada acumulado para la línea 1, período de valle y una dirección.

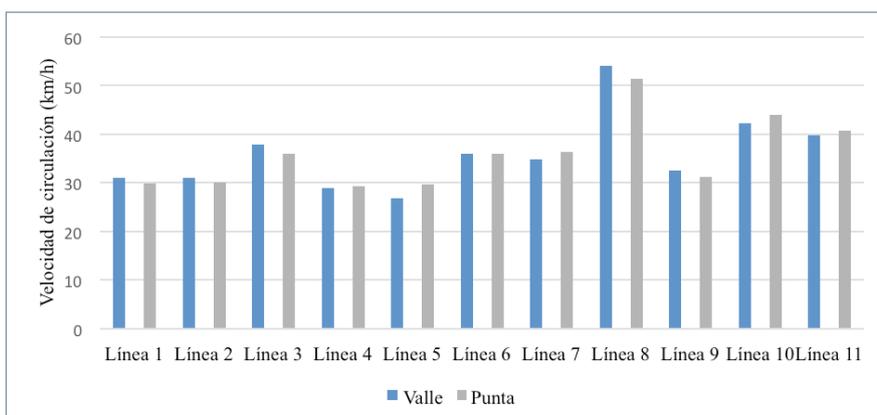


Figura 4. Velocidad de circulación de las diferentes líneas en periodos punta y valle.

ma línea. Se aprecia que la velocidad de circulación es mayor en aquellas líneas que tienen estaciones más distantes. Por ejemplo, la línea 8, con una distan-

cia promedio de 2 km entre estaciones, presenta una velocidad de circulación de 53 km/h, mientras que otras líneas como la 1 y la 5, con 645 metros y 720

metros de distancia entre estaciones, presentan una velocidad de circulación promedio en torno a 30 km/h. Esto se explica por el hecho de que los trenes pueden alcanzar una mayor velocidad de crucero y tiempos de crucero más largos en líneas con menos estaciones y separadas por más distancia.

El segundo resultado interesante es la velocidad de viaje, es decir, la velocidad entre estaciones, incluyendo los tiempos de parada necesarios para el embarque y desembarque de los pasajeros. El tiempo de espera inicial en las plataformas se excluye del cálculo. Se observa en la figura 2.

Por último, en la figura 3, se observa el tiempo acumulado de parada respecto al tiempo acumulado total de viaje. Se puede observar que las paradas conllevan más del 30% en casi todas las estaciones.

Los resultados para cada línea en los periodos valle y punta se presentan en las figuras 4 (velocidad de circulación) y 5 (velocidad de viaje).

Se obtiene una velocidad media de circulación de $26,1 \pm 2,6$ km/h entre todas las líneas y periodos. En este caso, las velocidades de circulación disminuyen el 27,2% con respecto a las de circulación en promedio. Esta disminución es mayor en aquellas líneas con distancias más cortas entre estaciones que en las más separadas.

Al analizar, directamente, las mediciones de tiempo en la tabla 1, se observa que los tiempos de parada son, de promedio, el 15% más extensos en el periodo del valle que en el periodo punta. Esto se puede explicar de la siguiente manera: durante el periodo valle hay menos pasajeros, por lo que

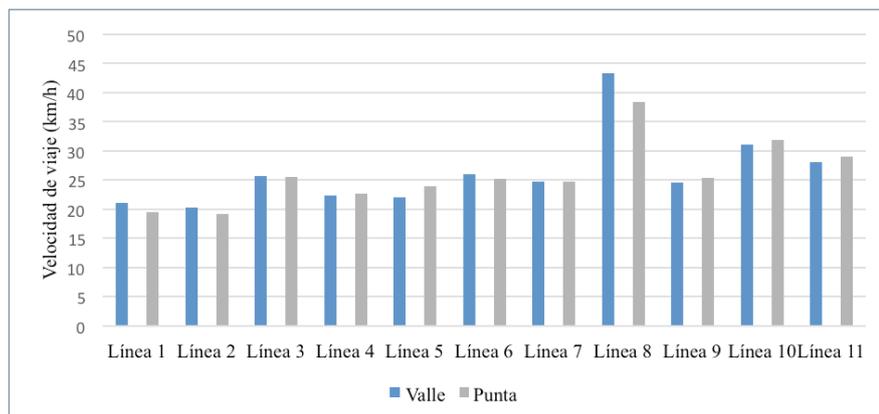


Figura 5. Velocidad de viaje de las diferentes líneas en periodos punta y valle.

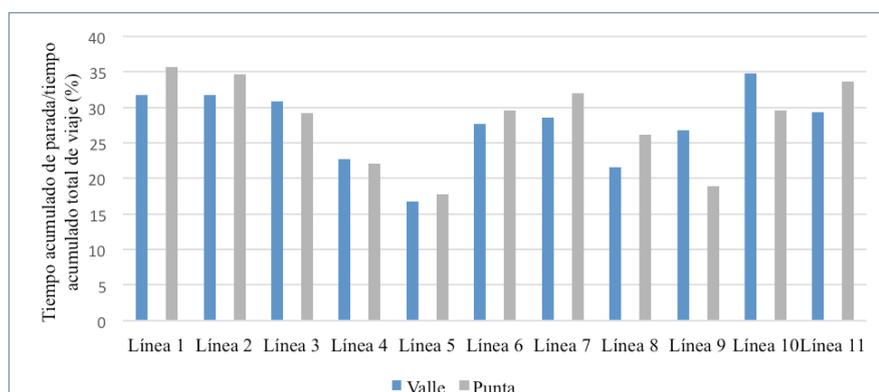


Figura 6. Porcentaje del tiempo de parada acumulado frente al tiempo total de viaje de las diferentes líneas en periodos punta y valle.

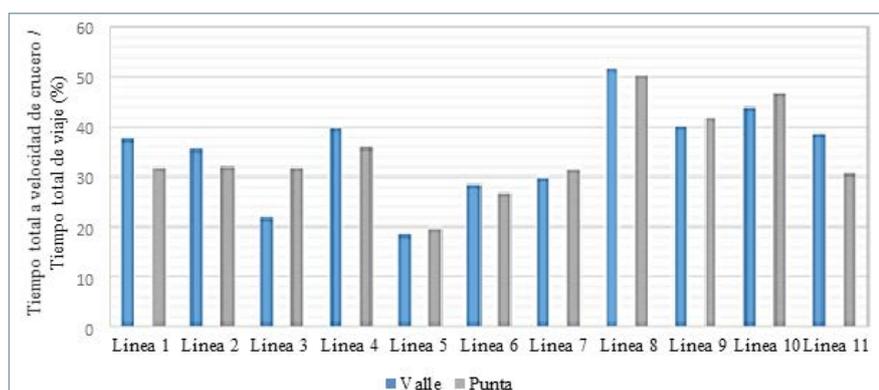


Figura 7. Porcentaje del tiempo de cruceo frente al tiempo total de viaje de las diferentes líneas en periodos punta y valle.

se asume que los conductores esperan más en cada estación para transportar un mayor número de personas. Dado que los tiempos de permanencia son más cortos en las horas punta, la velocidad de viaje debería ser mayor que en el periodo valle. Por otro lado, la velocidad de circulación es mayor en horas valle. Esto puede deberse a que los conductores quieren compensar

los tiempos de permanencia más largos. También se observa que los trenes tardan más en acelerar y frenar durante las horas punta. Esto es porque, al transportar más personas, el peso total es mayor, por lo que el tren necesita más tiempo para alcanzar la velocidad de cruceo.

Además, es útil analizar el porcentaje de tiempo que los trenes permane-

cen en la estación, tiempo de parada, en comparación con el tiempo total de viaje. Los resultados se presentan en la figura 6.

El porcentaje de tiempo que los trenes permanecen detenidos alcanza el 27,3% de media para toda la red de Metro de Madrid. Este porcentaje suele ser más largo en los periodos punta que en los valle. Esto se explica porque la afluencia de pasajeros es mayor en las horas punta. En algunas líneas, el porcentaje medio de tiempo detenido es superior al 35%. En algunas estaciones principales como Atocha y Sol, los tiempos de parada pueden llegar hasta el 50% con respecto al tiempo total de viaje entre estaciones consecutivas, especialmente en horas punta.

No solo el tiempo de parada es significativo, sino que también los tiempos de aceleración y desaceleración duran una parte significativa del tiempo total de viaje. El porcentaje del tiempo de cruceo frente al tiempo total de viaje se presenta en la figura 7.

Como era de esperar, las líneas con distancias más largas entre estaciones tienen tiempos de cruceo mayores, y los tiempos de aceleración y desaceleración son relativamente cortos. En cambio, en líneas como la número 5, con estaciones muy consecutivas, el tren acelera o frena constantemente incluso sin un periodo significativo de circulación de cruceo.

Los trenes de Metro de Madrid pueden, técnicamente, alcanzar velocidades de cruceo de unos 100 km/h. Sin embargo, la proximidad de las estaciones hace que esto no pueda suceder. Es significativo que el tiempo a velocidad de cruceo no supere el 34,7% del tiempo total de viaje, en promedio, para la red de Metro de Madrid. Si los trenes pudieran estar el mayor tiempo posible a su velocidad de cruceo, la velocidad total de viaje sería mucho mayor. Sin embargo, esto es imposible en los sistemas de metro actuales basados en trenes y esta es una limitación común para la mayoría de las redes de metro en todo el mundo. Los sistemas OPTIMOTUSS descritos en la siguiente sección proponen una solución para esto.

Descripción de la tecnología vehicular OPTIMOTUSS

OPTIMOTUSS es un sistema de transporte rápido inteligente bajo demanda para pasajeros, basado en una

flota de vehículos autónomos auto-propulsados, apoyados y estabilizados lateralmente en un solo carril. Los vehículos tienen capacidad para una o varias personas. Su diseño es compatible con la circulación de, al menos, dos flujos paralelos de vehículos en una misma vía (dos carriles) (Fig. 8). El material rodante es compatible con las infraestructuras actuales de dos carriles por sentido, y pueden duplicar el total de vehículos que circulan simultáneamente por una vía férrea. El beneficio de tener dos flujos de vehículos paralelos es que un riel se puede usar como riel de velocidad de cruceo continuo y el otro se puede usar como un carril de aceleración y desaceleración para los vehículos que entran o salen de una estación en particular. Esto permite un flujo continuo de vehículos entre la estación de origen y destino en velocidad de cruceo, sin necesidad de realizar paradas intermedias y, por tanto, multiplicando la velocidad efectiva real de desplazamiento de los pasajeros y optimizando el tiempo de viaje entre origen y destino. Potencialmente, el impacto socioeconómico de este enfoque es enorme.

La figura 9 muestra una vista superior de los andenes de una estación de metro con vehículos OPTIMOTUSS. Se indican las áreas de entrada (2.1) y salida (2.2) de pasajeros de las plataformas. Las estaciones de metro actuales suelen tener dos vías férreas, una por cada sentido. Luego, hay cuatro rieles disponibles en total. En OPTIMOTUSS, los dos carriles exteriores (2.3), los más cercanos a las plataformas, sirven como carril de aceleración o desaceleración de los vehículos (2.4), lo que permite la entrada y salida de pasajeros del vehículo. Los dos rieles interiores (2.5) sirven como carriles de



Figura 8. Vistas representativas de una estación de metro con el sistema OPTIMOTUSS.

velocidad de cruceo. Esto facilita el flujo ininterrumpido de vehículos. Los cambios de aguja (2.6), que realizan el cambio de riel, también se representan conceptualmente.

Los vehículos deben diseñarse para permitir al menos dos flujos paralelos de vehículos en la misma vía férrea. Un vehículo de ancho entre 1 metro y 0,8 metros es una buena opción para la mayoría de los anchos de vía ferroviarios actuales (ancho estándar/internacional de 1.435 mm). También podrían entrar vehículos más anchos o más largos para necesidades especiales (sillas de ruedas, carritos de bebé, personas grandes, etc.). Además, el vehículo tiene que incluir un sistema de conducción autónoma, así

como los sensores necesarios para su funcionamiento, junto con sistemas de comunicación para la gestión del tráfico. Además, cada vehículo debe incluir panel de botones, *software* de reconocimiento automático de voz y conexión de aplicaciones móviles para configurar la estación de destino del pasajero.

Diseño preliminar del vehículo

La figura 10 muestra a la izquierda una vista de *renderizado* isométrica de este diseño preliminar. Esta imagen incluye material rodante (4.1), cabina (4.2) y pantógrafo (4.3). Todo el vehículo está apoyado verticalmente sobre un riel Vignole convencional.

El material rodante, que se muestra aislado en la figura 10 derecha, está compuesto por un chasis (4.4) y los elementos mecánicos que hacen posible el movimiento del vehículo: motor (4.5), ruedas delanteras y traseras (4.6), ruedas estabilizadoras laterales (4.7) (tres a cada lado del riel). Prevenir el descarrilamiento es fundamental para el correcto funcionamiento de cualquier vehículo, aún más en curvas. Además, los sistemas de transmisión (4.8), las cajas de grasa (4.9) y las suspensiones (4.10) están prediseñados. La suspensión del vehículo incluye un mecanismo de dirección (4.11) en la rueda delantera para autoguiar el vehículo a lo largo del riel. Dentro de la cabina, hay un asiento para dos personas de tamaño medio, espacio para un equipaje y una pantalla interactiva para la selección de la estación de destino, información general y/o aplicaciones de entretenimiento.

Las dimensiones principales de un vehículo OPTIMOTUSS se muestran en figura 11. El tamaño volumétrico es de 1.500 x 950 x 3.230 mm, excluido el pantógrafo. Las estimaciones de peso se han realizado de una manera muy conservadora. Se deben realizar más análisis estructurales, de fatiga y de fabricación en un diseño final. El peso total en vacío del vehículo se ha estimado en 500 ± 50 kg. La distribución longitudinal del peso es el 25% del peso total en la rueda delantera y el 75% del peso soportado por la rueda trasera. Lateralmente, la distribución del peso debe ser lo más simétrica posible para mantener el centro de gravedad en la sección media.

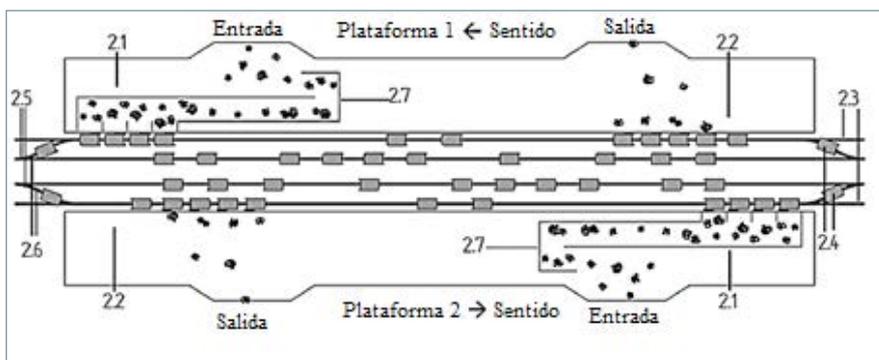


Figura 9. Descripción del esquema de la estación de Metro OPTIMOTUSS.

Los vehículos deben ser ágiles, con una respuesta dinámica rápida como una motocicleta. Por eso, es importante reducir el peso. La reducción de peso también contribuye a un menor desgaste en el sistema de riel y rueda. Por otro lado, un bajo peso puede significar una falta de adherencia entre las ruedas y el raíl, dependiendo de los materiales de las ruedas o un comportamiento dinámico muy dependiente de la masa de pasajeros o del comportamiento dentro de la cabina. Por tanto, se debe hacer un compromiso entre la reducción de peso y un comportamiento dinámico adecuado.

Se puede realizar una estimación de la velocidad de cruceo máxima igualando la resistencia al movimiento a una cierta velocidad con la fuerza de tracción máxima proporcionada por el motor, teniendo en cuenta la limitación de la adherencia. Si se considera un motor eléctrico de $P_{motor} = 54 \text{ kW}$ [22], se calcula la velocidad de cruceo:

$$P_{movimiento} = (0,737 \cdot v^2 + 324,2) \cdot v = 54.000 \text{ W}$$

$$v_{cruceo} \cong 140 \text{ km/h}$$

Esta velocidad de cruceo se utiliza para calcular el factor de mejora de la velocidad de desplazamiento.

El tiempo de aceleración de 0 a 100 km/h es un segundo parámetro importante del rendimiento cinemático del vehículo [23].

El vehículo OPTIMOTUSS requiere, en primera estimación, una potencia de 24 kW para mover a una persona que viaja a 100 km/h. Esto conduce a 0,96 MJ/pkm. En comparación con el transporte ferroviario regional de pasajeros en Alemania, necesita 0,90 MJ/pkm. Así, el consumo específico de OPTIMOTUSS es, al menos, del mismo orden de magnitud, incluso inferior al de otros sistemas ferroviarios [24,25].

Cálculo de la mejora de la velocidad de desplazamiento

Utilizando los valores para la velocidad de cruceo y la aceleración y desaceleración de los vehículos, se puede estimar la mejora de la velocidad de viaje que, potencialmente, proporciona OPTIMOTUSS. Se realiza una estimación para cada línea de la red de Metro de Madrid.

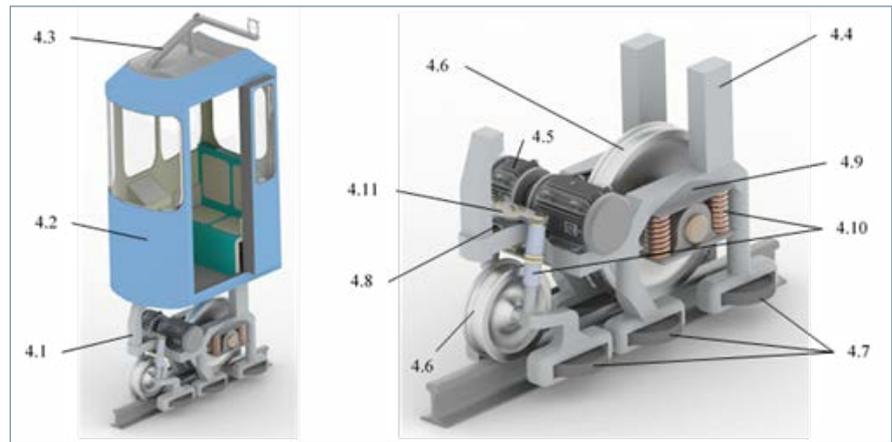


Figura 10. Diseño preliminar de un solo vehículo del sistema OPTIMOTUSS. Izquierda: vista completa isométrica. Derecha: material rodante.

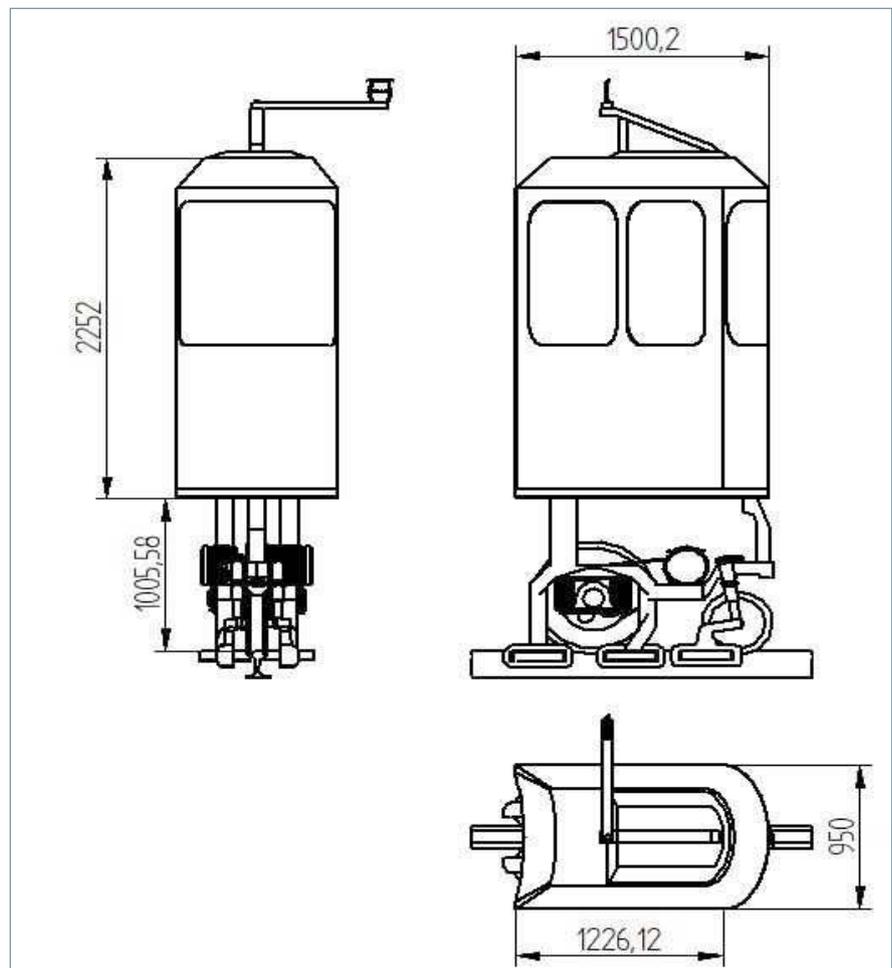


Figura 11. Vista frontal, lateral y superior del diseño preliminar.

Cálculos de la velocidad efectiva de OPTIMOTUSS

La expresión de la velocidad de desplazamiento total en OPTIMOTUSS es:

$$v_{viaje \text{ en } OPTIMOTUSS} = \frac{n \cdot s}{(t_{acel} + t_{dec}) + t_{cruceo}} = \frac{n \cdot s}{2 \frac{v_{cruceo}}{a_{media \text{ de } 0 \text{ a } 100}} + t_{cruceo}}$$

Donde n el número de estaciones y s es la distancia entre estaciones, t_{acel} es el tiempo en aceleración, t_{dec} el tiempo de frenado y t_{cruceo} es el tiempo a velocidad

de cruce. Este tiempo de cruce se puede expresar en función de n , v_{cruce} $a_{media\ de\ 0\ a\ 100}$ como:

$$t_{cruce} = \frac{S\ a\ velocidad\ cruce}{v_{cruce}} = \frac{n \cdot s - 2 \cdot S_{acelerando}}{v_{cruce}} = \frac{n \cdot s - \frac{v_{cruce}^2}{a_{media\ de\ 0\ a\ 100}}}{v_{cruce}}$$

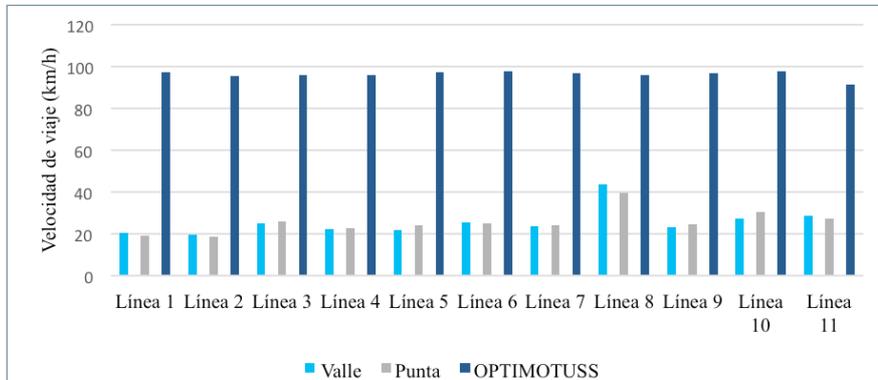


Figura 12. Comparación de la velocidad de desplazamiento de la línea completa con los trenes de Metro de Madrid y OPTIMOTUSS.

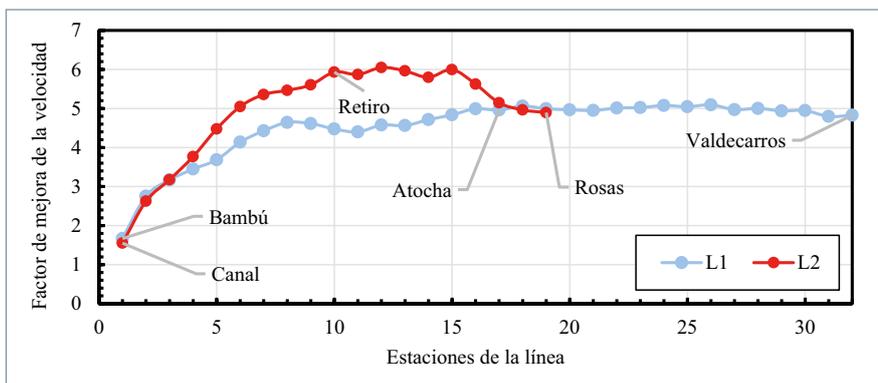


Figura 13. Factor de mejora de la velocidad de desplazamiento para las líneas 1 y 2.

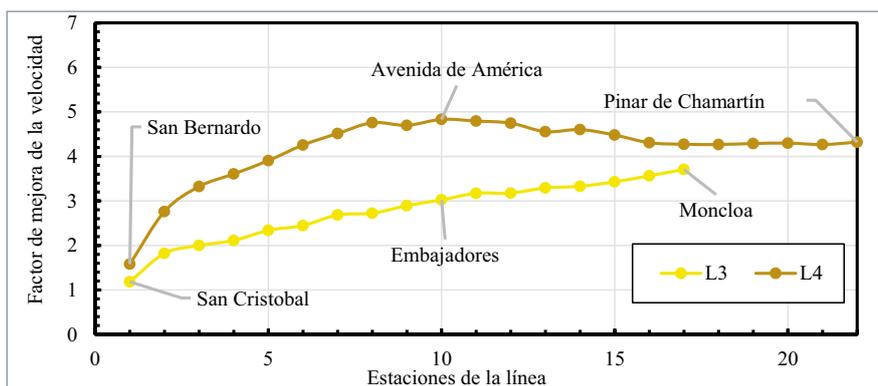


Figura 14. Factor de mejora de la velocidad de desplazamiento para las líneas 3 y 4.

Todos los cálculos se realizan utilizando 100 km/h como velocidad de cruce conservadora para vehículos OPTIMOTUSS y una aceleración/desaceleración constante de 1,3 m/s². Se calcula la velocidad de desplazamiento que tendría OPTIMOTUSS

en la línea de Metro de Madrid. Los resultados se presentan en la figura 12. La velocidad de desplazamiento media proporcionada por OPTIMOTUSS es de unos 95 km/h, cercana a la velocidad de cruce. Con los trenes convencionales, la velocidad de viaje

no supera los 30 km/h para la mayoría de las líneas. Los tiempos de viaje se reducen en el 64,2% de media. Es, aproximadamente, una tercera parte del tiempo que se utiliza actualmente para recorrer toda la línea.

Factor de mejora de la velocidad de desplazamiento dentro de una línea

La mejora introducida por el sistema OPTIMOTUSS depende del número de estaciones recorridas. El factor de mejora de la velocidad de desplazamiento se calcula en función de las estaciones viajadas. Todos los cálculos se realizan considerando un viaje dentro de la misma línea, sin transbordos. Las figuras 13-17 presentan los resultados de estos cálculos.

Las líneas 1 y 2 son las más antiguas. En estas líneas se reduce la separación entre estaciones, en promedio 600 metros. La mejora que potencialmente proporciona un sistema de omisión de paradas como OPTIMOTUSS es sobresaliente. Para estos casos, el factor de mejora es superior a cinco en viajes de más de cinco estaciones.

El factor de mejora de la línea 4 es mayor que cuatro para viajes de más de cinco estaciones. Para la línea 3, el factor de mejora es mayor que 2,5.

Las líneas 5 y 6 se construyeron en el mismo periodo de tiempo y la separación entre estaciones es bastante similar. Para estas líneas, se obtiene un factor superior a 4 en viajes de más de 10 estaciones.

El factor de mejora de la línea 7 es mayor de tres para viajes de dos estaciones o más. La línea 8 es un caso especial porque la separación entre líneas es muy grande, más de 2.000 metros en promedio. Para esta línea, el factor de mejora es menor, de 1,5-2, pero sigue siendo significativo y valioso.

Factor de mejora de la velocidad de viaje considerando transbordos

OPTIMOTUSS también puede significar la eliminación del tiempo de transbordo entre líneas, ya que un vehículo puede pasar de una línea a otra con la infraestructura de túneles adi-

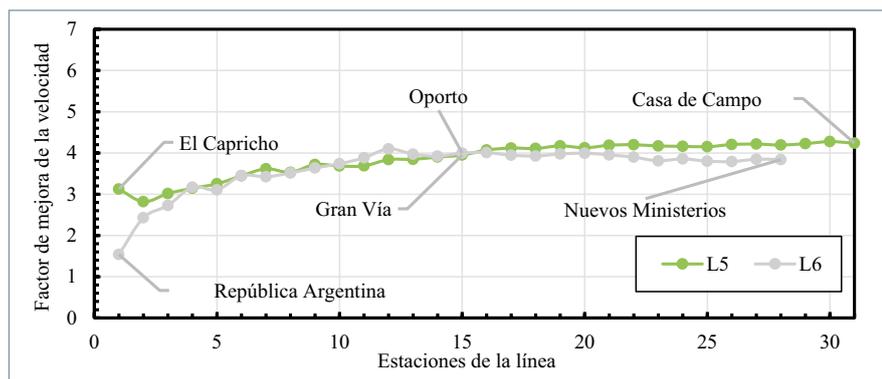


Figura 15. Factor de mejora de la velocidad de desplazamiento para las líneas 5 y 6.

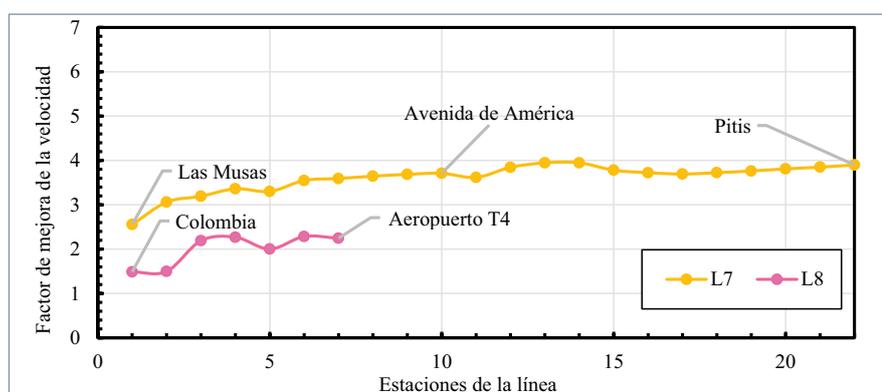


Figura 16. Factor de mejora de la velocidad de desplazamiento para las líneas 7 y 8.

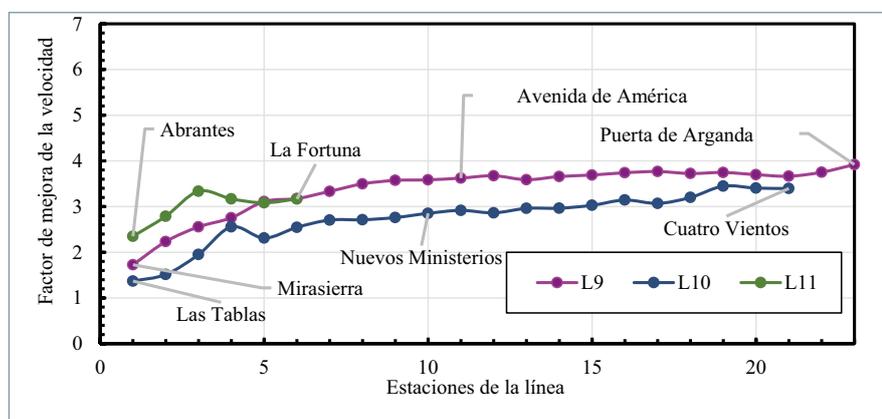


Figura 17. Factor de mejora de la velocidad de desplazamiento para las líneas 9, 10 y 11.

cional adecuada. El tiempo de transbordo y el de espera para el siguiente tren de la línea desaparecen, por lo que aumenta la mejora introducida por el nuevo sistema.

En esta sección se analizan tres casos específicos.

- Un viaje de dos transbordos desde Casa de Campo a Alameda. Este comienza en la línea 5, requiere un transbordo en la estación de

Oporto de la línea 5 a la línea 6 y otro en la estación de Legazpi de la línea 6 a la línea 3.

- Un viaje de un transbordo desde Casa de Campo a Méndez-Álvarez, que es una estación muy relevante de la red de metro debido a la conectividad con múltiples líneas y otros sistemas de transporte (bus y tren). A partir de la línea 5, requiere un transbordo en la estación de

Oporto de la línea 5 a la línea 6.

- Por último, un viaje simple sin transbordo a lo largo de una línea 5, desde Casa de Campo a la estación de El Capricho.

De manera optimista, se considera un tiempo de transbordo y espera de 3 minutos para los cálculos.

Los tiempos de viaje con el sistema de metro actual y con OPTIMOTUSS se muestran en la figura 18.

La reducción del tiempo de viaje es mayor en los viajes con dos traslados. En este recorrido, la velocidad media de desplazamiento acumulada desciende por debajo de los 20 km/h, mientras que con el sistema OPTIMOTUSS se acerca a los 100 km/h.

La innovadora tecnología emergente OPTIMOTUSS presentada en este artículo muestra un gran potencial para mejorar los tiempos de viaje en los sistemas de metro, así como la comodidad y la seguridad para todos los pasajeros. Sin embargo, hay muchas preguntas abiertas que deben investigarse profundamente antes de que podamos reclamar la viabilidad total del sistema, por ejemplo: equilibrio en carriles con 1/20 de inclinación, velocidad límite en curvas, tiempo de cambio de carril, fatiga, desgaste de los rieles, cambio de ferrocarril y administración del tráfico en las horas punta, ubicación de vehículos y administración de pasajeros.

Conclusiones

Metro de Madrid es uno de los mejores sistemas de metro de Europa en términos de velocidad de viaje, frecuencia de trenes y seguridad. Sin embargo, la velocidad de desplazamiento efectiva de los pasajeros está limitada por las continuas paradas necesarias. En este trabajo se realiza un estudio de campo de tiempos de viaje, tiempos de parada y velocidades para toda la red de Metro de Madrid.

La velocidad media de circulación se calcula a partir de datos experimentales en $36,9 \pm 3,6$ km/h, excluyendo el tiempo de parada. La velocidad media total de viaje, incluido el tiempo de parada, es de $26,1 \pm 2,6$ km/h. El porcentaje medio de tiempo que los trenes permanecen detenidos suma el 27% del tiempo total de viaje.

Se presenta un nuevo concepto de tecnología vehicular de transporte rápido personal, denominado OPTIMOTUSS. Este nuevo sistema de transpor-

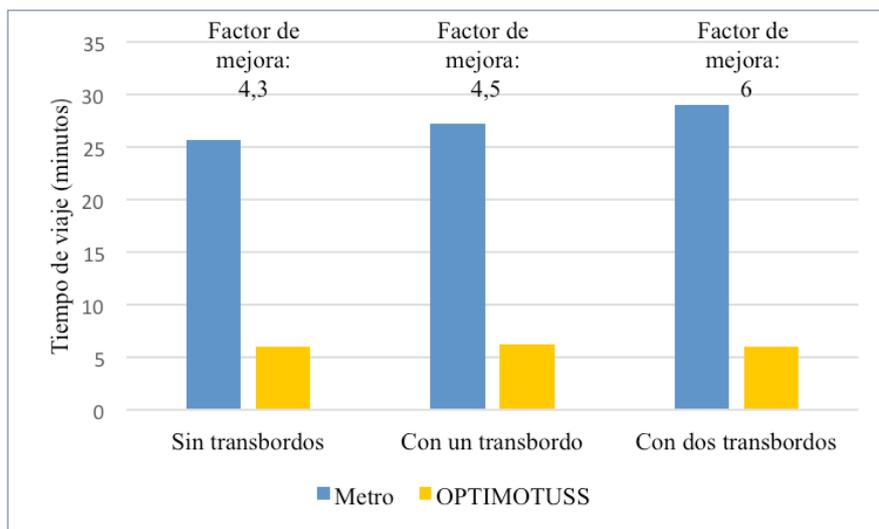


Figura 18. Comparación de tiempos de viaje entre el metro convencional y OPTIMOTUSS considerando transbordos.

te masivo es un sistema de transporte rápido inteligente bajo demanda para pasajeros basado en una flota de vehículos autónomos autopropulsados, apoyados y estabilizados lateralmente en un solo carril. Los vehículos tienen capacidad para una o dos personas. Su diseño es compatible con la circulación de, al menos, dos flujos paralelos de vehículos en la misma vía férrea en la infraestructura subterránea actual. Los vehículos OPTIMOTUSS pueden alcanzar una velocidad de crucero estimada de al menos 100 km/h y un tiempo de aceleración para alcanzar una velocidad de crucero de unos 21 segundos. La mejora de tiempo potencial de OPTIMOTUSS (en comparación con el sistema de metro actual) es siempre mayor a 1,5 veces, y alcanza viajes hasta 6 veces más rápidos en líneas con un número muy elevado de estaciones.

Esta innovadora tecnología vehicular muestra un gran potencial para la optimización de los tiempos de viaje en los sistemas de metro de todo el mundo. También presenta ventajas desde el punto de vista de la comodidad de los pasajeros y la optimización del sistema de transporte masivo. Sin embargo, todavía quedan muchas preguntas abiertas que deben ser tratadas en profundidad antes de poder reclamar la viabilidad total del sistema.

Agradecimientos

Los autores de este artículo quieren agradecer la labor desarrollada por un

grupo de alumnos del curso Ingeniería Transporte 2017-2018 del Máster en Ingeniería Industrial de la Universidad de Alcalá en la recogida de algunos de los datos. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Beca de Investigación Ramón y Cajal 2017 del Ministerio de Ciencia e Innovación y Universidades. Además, la presentación de estos resultados de investigación recibió financiación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del Gobierno de España dentro del marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020 bajo convenio de subvención con referencia EIN2019-103093.

Referencias

- [1] H. Zheng and S. Peeta. Network design for personal rapid transit under transit-oriented development. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 55, pp. 351-362, 2015.
- [2] G. Malavasi, P. Palleschi, and S. Ricci, "Driving and operation strategies for traction-energy saving in mass rapid transit systems," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 225, no. 5, pp. 475-482, Sep. 2011.
- [3] K. Sohn. An investigation into the station capacities for personal rapid transit systems. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 226, no. 5, pp. 457-468, Sep. 2012.
- [4] PRT Simulators (2009). Innovative transport design, planning and operational simulation software packages.
- [5] J. P. van Dijke and M. van Schijndel. CityMobil, Advanced Transport for the Urban Environment. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2324, no. 1, pp. 29-36, Jan. 2012.

- [6] 2015 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES).
- [7] C. A. Brebbia, L. C. (Lal C. Wadhwa, and Wessex Institute of Technology., Urban transport XI : urban transport and the environment in the 21st century. WIT Press, 2005.
- [8] J. Gustafsson. Vectus-Intelligent Transport. *Proc. IEEE*, vol. 97, no. 11, pp. 1856-1863, Nov. 2009.
- [9] Mister (2009). [Online]. Disponible en: <http://www.mist-er.com>.
- [10] Skytran (2013). [Online]. Disponible en: <https://www.skytran.com/>.
- [11] JPODS (2014). [Online]. Disponible en: <http://www.jpods.com/>.
- [12] Shweeb (2010). [Online]. Disponible en: <https://www.shweeb.co.nz/>.
- [13] IEEE Aerospace and Electronic Systems Society and Institute of Electrical and Electronics Engineers. Aerospace and Electronic Systems Group. *IEEE transactions on aerospace and electronic systems*. [Institute of Electrical and Electronics Engineers].
- [14] M. Lawson, Personal Rapid Transit for Airport Applications. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 1930, pp. 99-106, Jan. 2005.
- [15] E. Díez-Jiménez, M. Fernández-Muñoz, and R. Oliva-Domínguez, "Sistema de transporte rápido de personas sobre un rail compatible con dos flujos paralelos de tráfico en una única vía", *ES 2752750 B2*, fecha de prioridad: 04/10/2018, fecha de publicación: 17/06/2021
- [16] Average schedule speed: How does Metro compare? - Greater Greater Washington.
- [17] Speed vs coverage: How do metro systems decide how to space their stops? CityMetric.
- [18] S.-L. Chen, S.-C. Hsu, C.-T. Tseng, K.-H. Yan, H.-Y. Chou, and T.-M. Too. Analysis of Rail Potential and Stray Current for Taipei Metro. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 67-75, Jan. 2006.
- [19] WORLD'S BEST DRIVERLESS METRO LINES 2017, 2017.
- [20] F. Aparicio Izquierdo, Ingeniería del transporte. Madrid, 2008.
- [21] B. W. McCormick, Aerodynamics, Aeronautics and Flight Mechanics. 1994.
- [22] Parker Hannifin Corporation Catalogue, 2018.
- [23] E. Díez-Jiménez, M. Fernández-Muñoz, R. Oliva-Domínguez, D. Fernández-Llorca, and M. A. Sotelo. Personal Rapid Transport System Compatible With Current Railways and Metros Infrastructure. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, pp. 1-11, Mar. 2020.
- [24] M. Domínguez, A. Fernández, A. P. Cucala, and P. Lukaszewicz. Optimal design of metro automatic train operation speed profiles for reducing energy consumption. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 225, no. 5, pp. 463-473, Sep. 2011.
- [25] M. C. Falvo, D. Sbordone, A. Fernández-Cardador, A. P. Cucala, R. R. Pecharrómán, and A. López-López. Energy savings in metro-transit systems: A comparison between operational Italian and Spanish lines. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 230, no. 2, pp. 345-359, Feb. 2016.

Diseño de un estimador basado en redes neuronales artificiales para caracterizar la frenada de un vehículo

Design of an estimator based on artificial neural networks to characterize the braking of a vehicle

María Garrosa¹, Ester Olmeda¹, Susana Sanz Sánchez¹, Vicente Díaz¹

Resumen

Hoy en día, los vehículos inteligentes están equipados con interfaces de usuario muy avanzadas que pueden reaccionar ante las decisiones y necesidades del conductor. De esta manera mejora la dinámica vehicular según la situación de conducción evitando posibles colisiones fortuitas. Esta tecnología permite tomar decisiones sobre la conducción con un nivel de resolución superior al humano a la hora de, por ejemplo, realizar una frenada de emergencia ante un imprevisto. Con este trabajo se pretende que, en un futuro, se pueda gobernar el sistema de frenado de manera automática y que el vehículo pueda reproducir los hábitos y las formas de actuación de los conductores durante la maniobra de frenada de un vehículo, pero corrigiendo los posibles fallos humanos ligados a distracciones, falta de visibilidad y tiempos de reacción. Un sistema de frenado inteligente ha de ser capaz de obtener información de los diferentes sensores embarcados en el vehículo, procesar los datos obtenidos a través de los mismos y transformarlos en información útil para el control activo del automóvil. Con el vehículo instrumentado con los sensores capaces de proporcionar en tiempo real información sobre el sistema de frenado se llevan a cabo una serie de ensayos. Los datos obtenidos experimentalmente durante la realización de los ensayos se utilizan para el diseño de un estimador mediante la técnica de redes neuronales artificiales. Se estimarán las variables medidas por los sensores con el fin de caracterizar una frenada.

Palabras clave

Sensor de presión, redes neuronales artificiales, estimación de la presión del sistema de frenado

Abstract

Today, smart vehicles are equipped with highly advanced user interfaces that can react to the driver's decisions and needs. In this way, it improves vehicle dynamics according to the driving situation and avoiding possible accidental collisions. This technology makes it possible to make decisions about driving with a level of resolution higher than human, for example, carrying out an emergency braking in the event of an unforeseen event. With this work it is intended that, in the future, the braking system can be governed automatically and that the vehicle can reproduce drivers' habits and forms of action during the braking maneuver of a vehicle, but correcting the possible human failures linked to distractions, lack of visibility and reaction times. An intelligent braking system must be able to obtain information from the different sensors on board the vehicle, process the data obtained through them and transform them into useful information for the active control of the car. With the vehicle instrumented with sensors capable of providing real-time information about the braking system, a series of tests are carried out. The data obtained experimentally during the tests are used to design an estimator using the artificial neural network technique. The variables measured by the sensors will be estimated in order to characterize a braking.

Keywords

Pressure sensor, artificial neural network, brake pressure estimation

Recibido / received: 16/06/2021. Aceptado / accepted: 24/10/2021.

¹ Instituto de Seguridad de los Vehículos Automóviles Duque de Santomauro (ISVA), Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid. Correspondencia: mgarrosa@ing.uc3m.es, eolmeda@ing.uc3m.es, ssanz@ing.uc3m.es, vdiaz@ing.uc3m.es

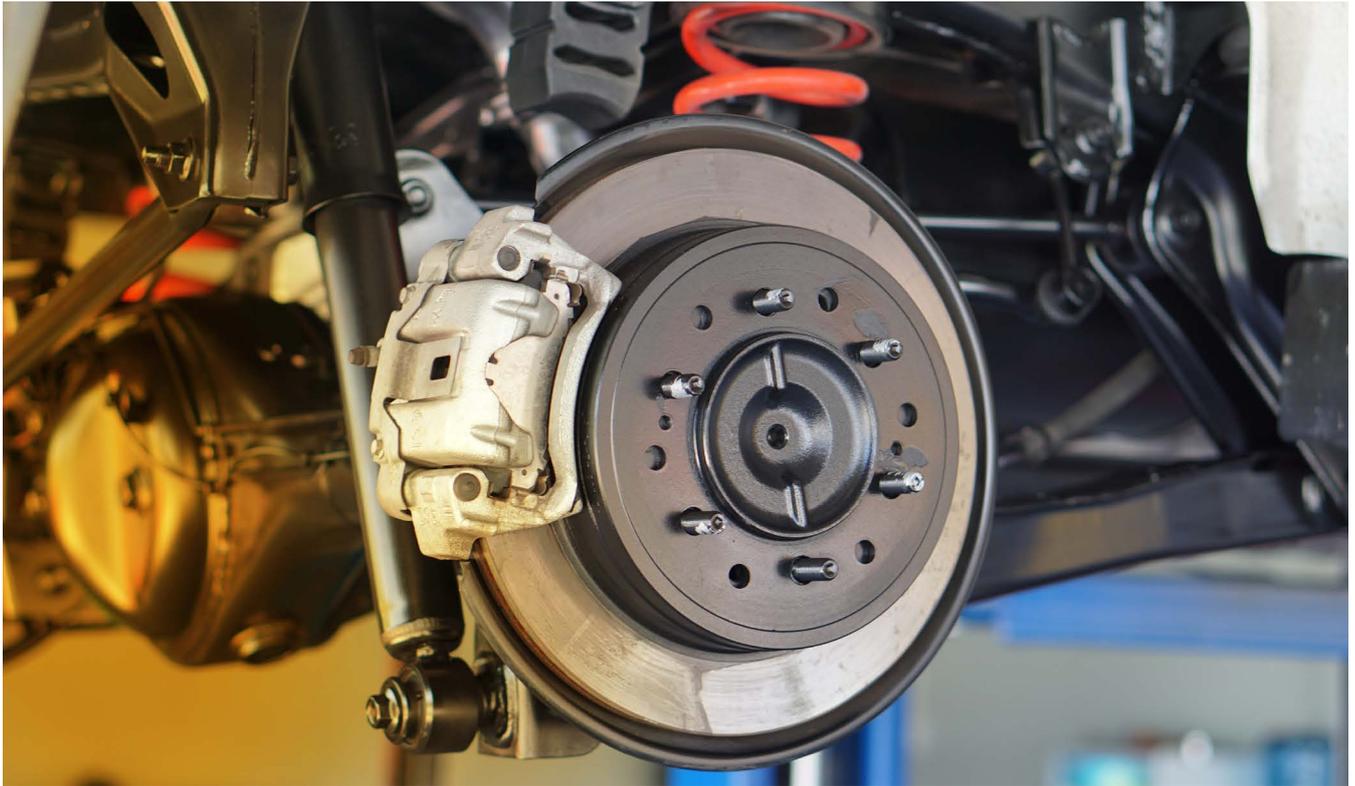


Foto: Shutterstock.

Introducción

A lo largo de las últimas décadas se han sucedido avances de gran importancia en los sistemas de seguridad de los automóviles, tanto activa como pasiva. A partir de que apareciera, a comienzos de la década de 1970, el sistema antibloqueo de frenos (ABS – *Antilock Brake System*), que fue el primer sistema de asistencia al conductor, han surgido nuevos medios que ayudan a disminuir la probabilidad de tener un accidente o disminuyen sus consecuencias en caso de que se produzca. Dentro de estos mecanismos de ayuda se engloban las técnicas de control de estabilidad, frenado automático, control de crucero adaptativo, control de descenso en pendientes y los sistemas de tracción. En todos estos ejemplos se requiere de sensores embarcados en el vehículo, procedimientos para estimar las variables, algoritmos de control y componentes que actúen en función de la salida de los mismos, para que puedan llevarse a cabo las tareas para las cuales han sido concebidos.

El equipo de seguridad activa más importante en los automóviles es el sistema de frenado, y es un aspecto fundamental en la dinámica de los mismos. Hay multitud de investiga-

ciones orientadas a mejorar el sistema de frenado de un vehículo. En Park *et al.* [1] se implementa un controlador de deslizamiento de rueda en un sistema de frenos magnetoreológico. El sistema de frenos propuesto basa su funcionamiento en dos discos giratorios sumergidos en un fluido magnetoreológico y rodeados por un electroimán. En este sistema de frenos la tensión de fluencia del fluido, que es la que produce la fricción en las superficies de los discos giratorios, varía en función del campo magnético aplicado por el electroimán. En base a esto, en este estudio se controla el par de frenado con precisión cambiando la corriente que se aplica al electroimán. D'alfio *et al.* [2] proponen un sistema de frenado inteligente utilizando discos de freno denominados “de contacto total” y servoválvulas. Se busca con ello conseguir el máximo rendimiento reemplazando las pastilla por discos completos, controlando así los frenos de manera continua y no cíclicamente como ocurre en los sistemas clásicos de ABS. Para proporcionar un mejor control, el regulador utiliza información de retroalimentación no solo del deslizamiento, sino también del par de frenado. Castillo *et al.* [3] desarrollan

una arquitectura de frenado basada en el control continuo de la presión de frenado haciendo uso de servoválvulas proporcionales. El algoritmo de control emplea las técnicas de filtro de Kalman extendido para la estimación de los parámetros de frenado: esfuerzos en el neumático, coeficientes de adherencia y velocidad, gracias a los valores obtenidos con los sensores embarcados en el vehículo automóvil. Mediante el uso de redes neuronales artificiales se estima el deslizamiento óptimo y, por último, se utilizan bloques difusos optimizados con la ayuda de algoritmos genéticos para poder establecer la presión apropiada en el sistema de frenado. Doumiati *et al.* [4] proponen, para el cálculo de las fuerzas laterales de los neumáticos y el ángulo de deslizamiento lateral, algoritmos de estimación basados en filtros de Kalman extendido y “*unscented*”. Doumiati *et al.* [5] estiman las fuerzas que aparecen en el contacto neumático-calzada por medio de observadores que se basan en filtros de Kalman. Shraim *et al.* [6] calculan las fuerzas en el contacto neumático-calzada, velocidad angular de las ruedas, velocidad del vehículo y el ángulo de deslizamiento lateral del vehículo con la ayuda de observadores

en modo deslizante a partir de las medidas de: ángulo de dirección, ángulo de deriva, par aplicado en cada rueda y velocidad de guiñada.

En el presente artículo se instrumenta un vehículo automóvil con distintos sensores capaces de proporcionar información útil del sistema de frenado en tiempo real. Para la adquisición de los datos que proporcionan los distintos sensores se ha llevado a cabo una serie de ensayos experimentales. Estos consisten en frenar un vehículo a distintas velocidades sobre una pista de suelo plano siguiendo una trayectoria recta. La investigación se centra en el diseño de un sistema de estimación basado en redes neuronales artificiales (RNA) que pronostique el comportamiento de los sensores de presión incorporados en el circuito hidráulico de frenos en función de las condiciones de contorno presentes en la maniobra de frenada. El sistema ha de ser capaz de simular los valores reales recogidos por los sensores con el fin de caracterizar la frenada de un vehículo y ser utilizado en condiciones reales de circulación. El estimador utilizará como datos de entrada la velocidad del vehículo y el espacio de frenado y buscará, como respuesta del sistema estimador, la presión que debe sufrir el sistema de frenado.

Metodología de ensayo

En este apartado se explica la metodología que se ha seguido para el adecuado desarrollo de la fase experimental, así como la instrumentación utilizada en ella. Se va a detallar el procedimiento seguido en la ejecución de los ensayos dinámicos y las condiciones de contorno de estos.

Vehículo instrumentado

El vehículo que se ha utilizado para la realización de los ensayos experimentales es un turismo comercial Peugeot 207 1.6 HDI 16 v (Fig. 1). El dispositivo de frenado de servicio es hidráulico a las cuatro ruedas con dos circuitos independientes (tipo X). Utiliza freno de disco en ambos ejes y cuenta con sistemas de asistencia ABS y ESP.

Se describen a continuación los sensores embarcados en el vehículo a fin de obtener los parámetros dinámicos requeridos:

- **Sensores de presión incorporados en el circuito de frenos.** Para determinar la capacidad de frenada



Figura 1. Vehículo instrumentado Peugeot 207 1.6 HDI 16 v.



Figura 2. Ubicación del sensor de presión en el circuito hidráulico del lado derecho.

del sistema se estudia la presión en el circuito de frenos, tomando esta como indicativo de la misma. Con el objetivo de conocer la presión instantánea durante los ensayos, se ha equipado el sistema de frenos con dos transductores de presión extensométricos. Los sensores son de tipo PDCR 911, de la marca DRUCK LIMITED y poseen un rango de operación de 0 a 135 bares. El control de la presión en el circuito de frenos es un indicador para determinar en qué momento se debe limitar la presión del circuito, como medio de alteración de la capacidad de frenada del vehículo. Con objeto de medir la presión lo más cerca posible al sistema pinza-disco, se instalan los sensores de presión entre la entrada de la pinza de freno y el último tramo del cir-

cuito hidráulico de frenos (Fig. 2).

- **Célula de carga incorporada en el pedal de freno.** Se ha empleado una célula de carga ubicada sobre el propio pedal de freno para conocer con exactitud el momento en el que el conductor empieza a frenar. En la figura 3 se muestra el montaje del sensor HKM PK 2.0 sobre el pedal de freno.
- **Equipo de adquisición de datos.** El equipo de adquisición de datos utilizado en la fase experimental es el VBOX 3i Dual Antenna. Conectadas al módulo principal se incorporan dos antenas gemelas orientadas longitudinalmente sobre el techo del vehículo (Fig. 4). La antena principal proporciona los valores de tiempo, velocidad y posición a través del efecto Doppler en la señal portadora de GPS.



Figura 3. Ubicación de la célula de carga sobre el pedal de freno.



Figura 4. Antenas gemelas situadas en el techo del vehículo.

Una conexión de bus CAN se conecta a DATA 1 del módulo externo VBOX Mini Input. En las entradas analógicas del módulo externo se conecta la célula de carga instalada sobre el pedal de freno y los sensores de presión (Fig. 5).

Metodología de la fase experimental

Todos los ensayos se han realizado en las mismas condiciones de pista y ade-

cuación del vehículo. Sobre suelo plano, uniforme y seco el conductor ha efectuado, siguiendo una trayectoria rectilínea, una serie de frenadas con el vehículo hasta detenerlo. El rango de velocidades estudiado está comprendido entre 20 y 80 km/h, incrementando la velocidad en intervalos de 10 km/h.

En la realización de los ensayos experimentales han participado 14 con-

ductores, todos hombres con una edad comprendida entre 22 y 30 años.

Una vez alcanzada la velocidad de ensayo, el conductor ejecuta la frenada de manera progresiva, es decir, en un primer momento se aplica una presión suave sobre el pedal de freno y, progresivamente, se aumenta la presión hasta que el vehículo se detiene. Este es el tipo de frenada que se realiza habitualmente en la conducción de un vehículo.

En la figura 6 se muestra de manera esquemática el diagrama de flujo para la adquisición de los datos de la fase experimental.

Variables analizadas en los ensayos en pista

En los siguientes puntos se enumeran y explican de manera concisa las variables que se han medido durante la realización de los ensayos experimentales en pista:

- Tiempo de frenado. El tiempo de frenado que se ha considerado en este trabajo es el comprendido desde que el conductor presiona el pedal de freno hasta que el vehículo se detiene completamente. No se ha evaluado el tiempo de reacción del conductor ni el tiempo que emplea para levantar el pie del pedal de freno, ya que la realización de la frenada es premeditada y pueden obviarse dichos términos.

La célula de carga instalada en el pedal de freno es el *trigger* de inicio del tiempo de frenado. De esta manera permite conocer con exactitud el momento en el que el conductor empieza a aplicar la fuerza sobre el pedal de freno. El GPS será el en-

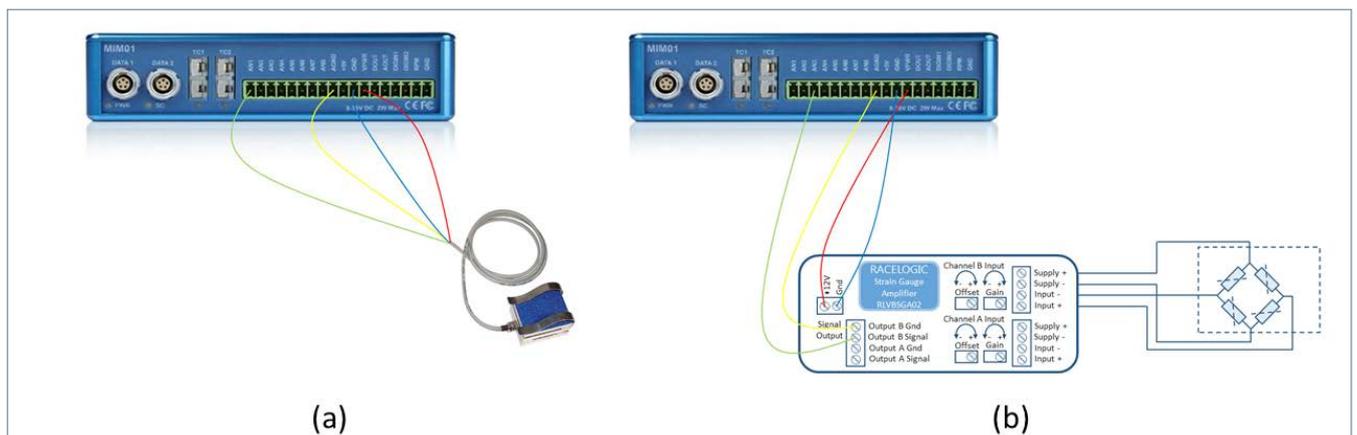


Figura 5. Conexión a las entradas analógicas del VBOX Mini Input de (a) la célula de carga y de (b) uno de los sensores de presión utilizando un amplificador para puente de Wheatstone completo.

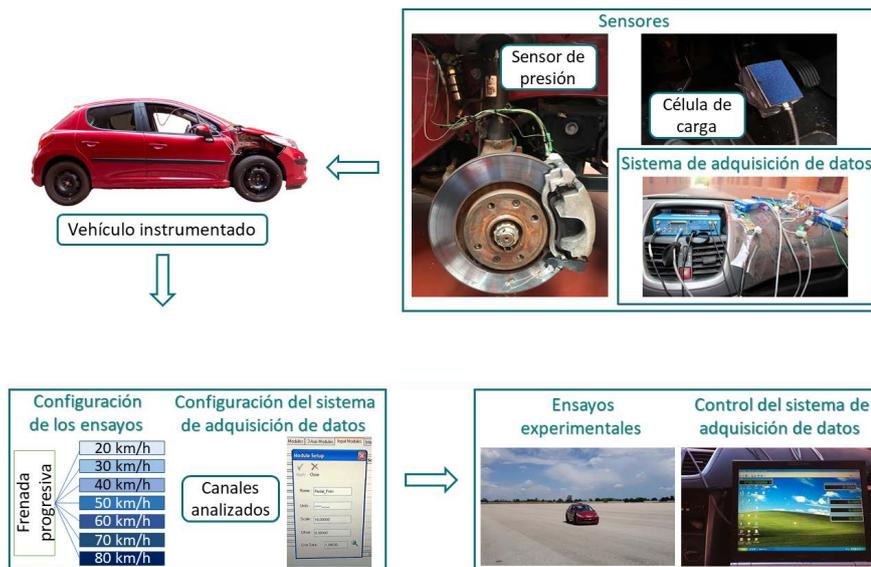


Figura 6. Metodología de la fase experimental.

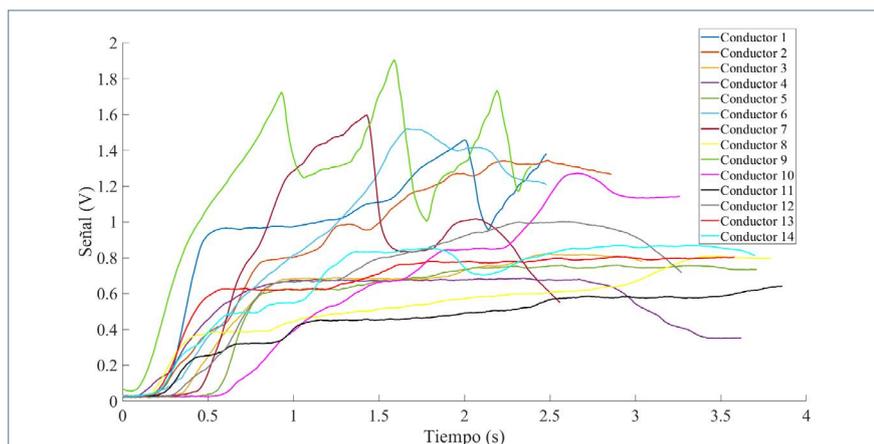


Figura 7. Curvas obtenidas mediante el sensor de presión derecha en una frenada a velocidad de 60 km/h para los diferentes conductores.

cargado de poner fin al tiempo de frenado en el momento en el que se registre una velocidad igual a cero.

- **Distancia de frenado.** La distancia de frenado será la distancia total recorrida durante el tiempo de frenado, es decir, desde que el conductor presiona el pedal de freno hasta que el vehículo se detiene completamente. Este valor se deduce gracias al posicionamiento GPS del vehículo.
- **Presión en el circuito hidráulico de frenos.** Mediante los sensores de presión incorporados en el último tramo del circuito hidráulico, cerca de la pinza de freno, se consigue medir la presión en el sistema hidráulico.

Condiciones de ensayo

Para asegurar la repetitividad de los ensayos realizados, se han tenido en cuenta las siguientes condiciones de contorno:

- Los ensayos se han realizado con los neumáticos fríos y se ha controlado mediante un manómetro que la presión de inflado sea la óptima según las prescripciones del fabricante.
- La temperatura en el disco de freno, al inicio de un conjunto de ensayos para todo el rango de velocidades estudiado, ha de estar comprendida en el intervalo 18-31 °C. Una vez finalizadas las siete frenadas consecutivas se ha esperado a que el disco se enfríe a temperatura ambiente. Para conocer la temperatura en el disco de freno se ha utilizado un termo-

par tipo K.

- Además del conductor, en todos los ensayos, ha habido una segunda persona en el asiento del copiloto encargada de controlar el sistema de adquisición de datos y supervisar las condiciones de ensayo.
- Todos los ensayos se han realizado con el motor desembragado para que los conductores no se apoyen en el freno motor y así evitar que la fuerza de retención del motor se sume a la capacidad de frenada.

Análisis de resultados

Lectura directa de los sensores

A continuación, se van a mostrar las curvas de las lecturas obtenidas directamente por cada uno de los sensores de presión para los 14 conductores. A modo de ejemplo, se muestran las curvas correspondientes a ensayos realizados partiendo de una velocidad de 60 km/h.

En la figura 7 se muestra una comparativa de las curvas correspondientes a los valores medidos mediante el sensor de presión derecha para los distintos conductores. El conductor 9 registra el valor máximo de 1,9 V y realiza la frenada más rápida (2,39 s).

En la figura 8 se muestra una comparativa de las curvas correspondientes a los valores obtenidos a través del sensor de presión izquierda para los distintos conductores. El conductor 9 registra el valor máximo de valor 1,86 V.

Metodología de análisis de los resultados

Para estudiar los 98 ensayos experimentales realizados para este trabajo y poder utilizar los datos registrados durante estos en los sistemas de RNA que se van a proponer en el siguiente punto, se han de definir nuevos conceptos, a modo de indicadores, que ayudarán a la caracterización de una frenada.

Lo primero que se hace es ajustar a un polinomio las curvas que representan la evolución temporal de las medidas reales obtenidas por los sensores de presión durante cada frenada.

Conocida la función de ajuste es posible calcular el área encerrada bajo la curva. Aquí aparece el indicador “ q_t ”, que se define como la integral de la función ajustada desde el inicio de la frenada hasta el final de esta. El indicador “ q_t ” proporciona información

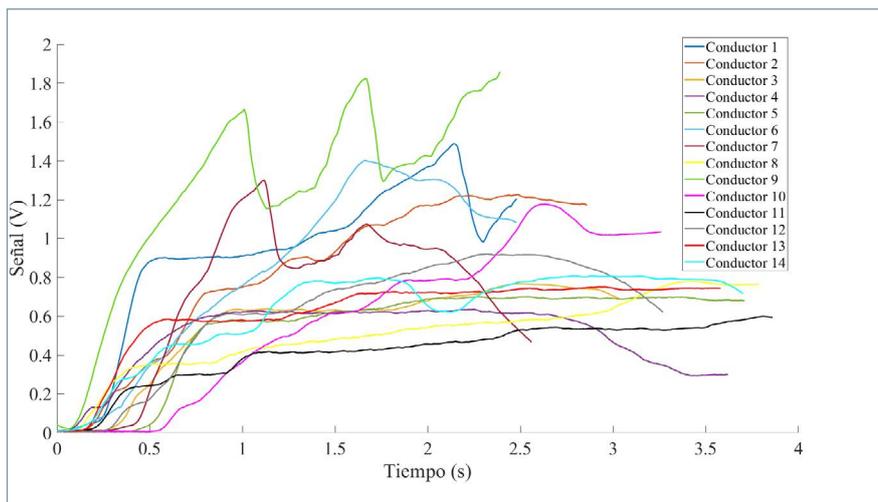


Figura 8. Curvas obtenidas mediante el sensor de presión izquierda en una frenada a velocidad de 60 km/h para los diferentes conductores.

significativa en cuanto a la magnitud de la frenada, pero también resulta importante conocer cómo se distribuye temporalmente la frenada.

Por tanto, para conocer cómo se distribuye temporalmente la frenada se divide el tiempo total de la frenada en una cantidad fija de divisiones. Calculando el área bajo la curva de ajuste para cada división efectuada es posible tener una representación de la manera en la que se distribuye la medida total de magnitud medida. El vector que almacena esta información recibe el nombre de “ q_v ”.

Si se divide “ q_v ” entre el tiempo que tarda en ejecutarse la frenada, se obtiene el indicador denominado “ $vfill_v$ ”.

Igual que antes, si “ $vfill_v$ ” se integra por divisiones en función del tiempo, se obtiene la representación temporal de la evolución de la frenada. Este concepto se denomina “ $vfill_v$ ”.

Arquitectura de los modelos de RNA diseñados

En este apartado se justifican las decisiones tomadas durante la implementación de los modelos de RNA que se presentan en este trabajo.

Se ha elegido la arquitectura de RNA Perceptrón Multicapa con entrenamiento mediante algoritmo *back-propagation* debido a su capacidad para interpretar e interpolar datos, crear relaciones entre parámetros de entrada y de salida y su facilidad de uso y versatilidad [7, 8].

Un aspecto fundamental en el diseño de la arquitectura de un Perceptrón Multicapa es decidir las capas en

las que se disponen las neuronas. Las características de las capas de entrada y salida dependen del problema que se pretenda resolver, dado que la cantidad de neuronas necesarias en cada una de estas capas se determina atendiendo a la naturaleza de los patrones de entrada y de la salida que se pretende estimar. La capa oculta alberga las neuronas responsables de aproximar funciones no lineales, relacionando de esta manera las capas de entrada y salida. A la hora de elegir el número adecuado de capas y neuronas ocultas que conforman el sistema se tendrá en cuenta que, para el caso de Perceptrón Multicapa, basta con solo una capa oculta para aproximar con alto grado de eficacia cualquier función compleja [9, 10]. Por otro lado, el número de neuronas ocultas ha de ser el adecuado para lograr una correcta convergencia del modelo, por lo que es importante estudiar también la sensibilidad de este parámetro en lo que a resultados obtenidos se refiere.

En este estudio, la capa de entrada estará compuesta por dos neuronas que se corresponden con las variables de entrada del sistema diseñado: velocidad longitudinal y distancia de frenado. El motivo que justifica tal decisión está amparado en el equipamiento de los vehículos que se comercializan actualmente y que dan soporte a los sistemas de seguridad que incorporan los mismos, evitando de esta manera la instalación de nuevos sensores. La velocidad es un dato fácil de conocer en todo momento para cualquier vehí-

culo; del mismo modo, y gracias a los sistemas de detección que montan los automóviles actuales, es posible obtener información de la distancia frontal del mismo hasta un punto (objeto en la calzada, otro vehículo, etc.). Este segundo valor sería el espacio del que dispone el vehículo para detenerse.

El objetivo de la RNA planteada es obtener el valor de la presión en el circuito de frenos; esta será la variable de salida del sistema.

Dentro del modelo de RNA utilizado se plantean distintas variaciones a fin de optimizar el rendimiento de la misma. De este modo, se prueban capas de salida con diferente número de neuronas. Los casos planteados recogen 36, 56, 96, 136, 156 y 176 neuronas. A cada una de estas neuronas se le asigna, de manera individual, un determinado valor numérico.

Los datos con los que se trabaja en la RNA han sido redefinidos de cara a poder operar con ellos de forma homogénea a partir de la lectura de los sensores embarcados en el vehículo. De este modo, se relaciona la lectura de cada uno de los sensores utilizados con el tiempo que ha tardado en producirse la frenada para, así, discretizar dicha lectura y hacerla extrapolable a cualquier caso estudiado. Se ha analizado la influencia del número de divisiones en las que se discretizan estos valores y la regresión ofrecida por la RNA. Se plantean sistemas de 5, 10, 20, 30, 35 y 40 divisiones que coinciden con 36, 56, 96, 136, 156 y 176 neuronas en la capa de salida, respectivamente.

Las neuronas de la capa de salida se corresponden con la capacidad de frenada (q_v) y la intensidad puesta en juego para desarrollar la capacidad de frenada ($vfill_v$), valores estadísticos que permiten caracterizar la frenada de un vehículo automóvil, q_v , $vfill_v$, q_v y $vfill_v$, todo esto para los dos sensores de presión (derecha e izquierda). Además, se trabaja con las medias y desviaciones estándar de los datos leídos a fin de respaldar el entrenamiento de la RNA. El valor de q_v se discretiza para las configuraciones planteadas de 5, 10, 20, 30, 35 y 40 divisiones y los valores discretizados se agrupan en el vector q_v . De la misma forma, se discretiza $vfill_v$ para 5, 10, 20, 30, 35 y 40 divisiones y los valores discretizados se acumulan en el vector denominado $vfill_v$.

De igual manera, se plantean sis-

temas cuyo elemento diferenciador es la cantidad de neuronas que alberga la capa oculta (5, 10, 15, 20, 25, 50 y 75).

El tipo de entrenamiento al que se somete la RNA también es una importante elección. Se plantean, en combinación con el número de divisiones y la cantidad de neuronas que alberga la capa oculta, tres tipos distintos de entrenamiento: Levenberg-Marquardt (LM), regularización bayesiana (BR) y gradiente conjugado escalado (SCG) (Fig. 9).

La función de activación asociada a la capa oculta es de tipo sigmoideal, mientras que la capa de salida estará gobernada por funciones de tipo lineal. La capa de entrada es función directa a la capa oculta, por lo que se puede considerar que su función es escalón, proporcionando directamente los valores de entrada a la capa oculta.

La función de salida que se ha tomado para todas las neuronas es la identidad, de tal manera que la señal de salida de cada neurona coincide con su propio estado de activación.

El último paso será definir la interacción entre las neuronas que conforman la RNA. En este caso, y de manera extensiva para todas las capas y neuronas, se ha utilizado una conexión hacia delante (*feedforward*) en las relaciones entre las distintas neuronas del sistema.

Con el conjunto de variables comentadas, en combinación con el número de divisiones de los datos discretizados, el tipo de entrenamiento utilizado y el número de neuronas de la capa oculta del sistema, se ha procedido a simular un abanico de sistemas distintos con el fin de conocer cuál de ellos genera un mejor resultado. En las figuras 10, 11 y 12 se muestra la influencia de los distintos parámetros comentados en la sensibilidad de la RNA atendiendo al grado de regresión de los valores de entrada con los devueltos por el sistema en su proceso de prueba.

Todos los modelos tienen un elevado grado de regresión. No obstante, y dado que el coste computacional es despreciable (el entrenamiento de la red no se realiza en tiempo real, solo el proceso de simulación y estimación de parámetros se produce en tiempo real), se ha elegido una RNA con los siguientes parámetros (Fig. 13).

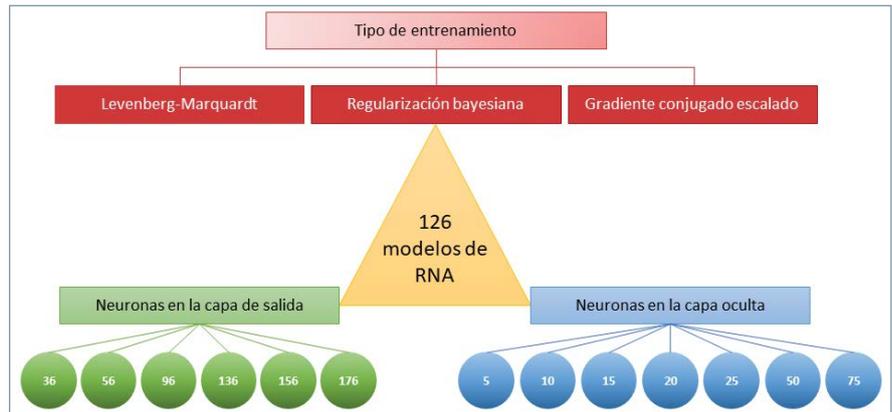


Figura 9. Arquitectura de los modelos de RNA diseñados.

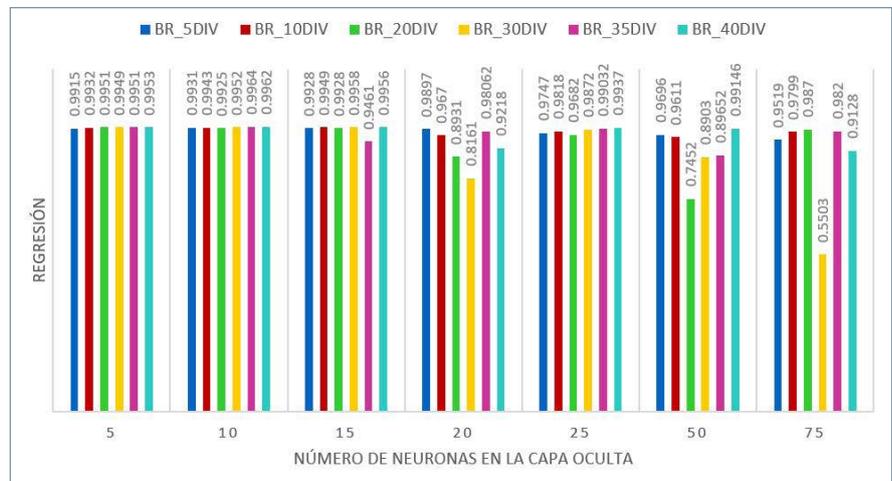


Figura 10. Sensibilidad de la RNA de los distintos modelos diseñados para tipo de entrenamiento BR.

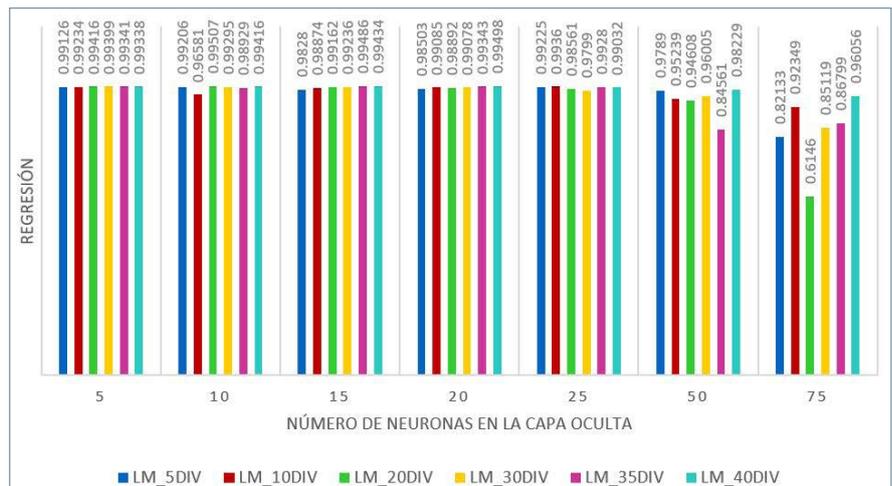


Figura 11. Sensibilidad de la RNA de los distintos modelos diseñados para tipo de entrenamiento LM.

- Número de neuronas en la capa de entrada: 2.
 - Número de neuronas en la capa oculta: 10.
 - Número de neuronas en la capa de salida: 156.
 - Tipo de entrenamiento: regularización bayesiana.
 - Divisiones de los vectores de datos: 35.
- Las 156 neuronas que componen la capa de salida se corresponden con:

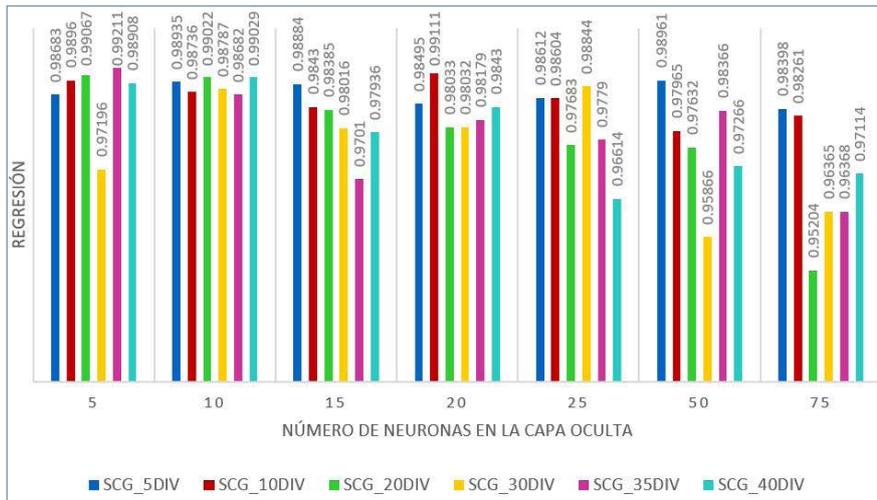


Figura 12. Sensibilidad de la RNA de los distintos modelos diseñados para tipo de entrenamiento SCG.

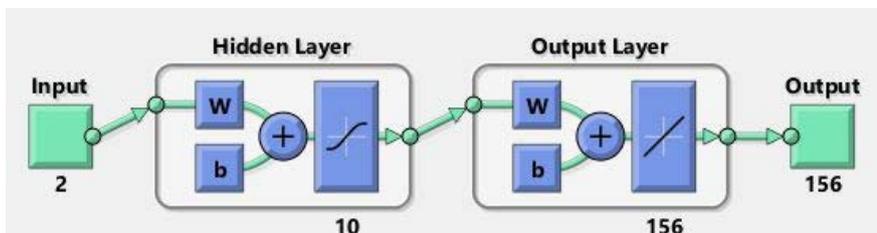


Figura 13. Arquitectura de la RNA elegida.

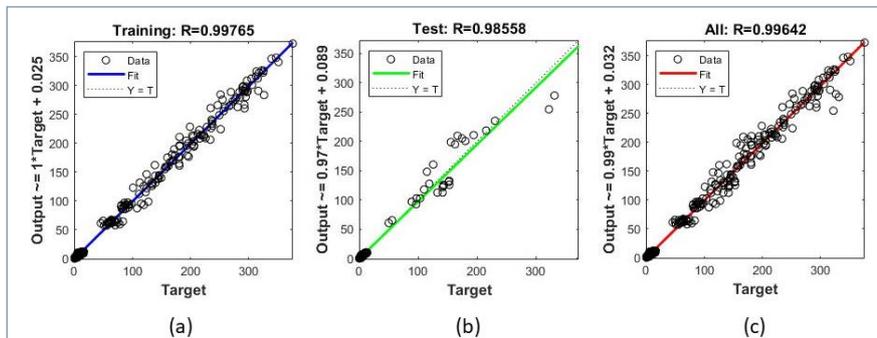


Figura 14. Regresión obtenida en (a) fase de entrenamiento, (b) fase de prueba y (c) total del sistema.

- Posición 1: representa el valor de la capacidad de frenada medido por el sensor de presión derecha (q_r).
- Posición de 2 a 36: vector que divide en 35 el valor de la capacidad de frenada medido por el sensor de presión derecha atendiendo al tiempo que tarda el vehículo en detenerse (q_t).
- Posición 37: representa la manera en la que el sensor de presión derecha alcanza la capacidad de frenada total, proporcionando información de “cómo se produce la frenada en el tiempo” ($vfill_r$).
- Posición de 38 a 72: vector que divide en 35 el valor de $vfill_r$ relativo al sensor de presión derecha.
- Posición 73 a 78: valores estadísticos para la caracterización de la frenada en lo que se refiere al sensor de presión derecha.
- Posición 79: representa el valor de la capacidad de frenada medido por el sensor de presión izquierda (q_l).
- Posición de 80 a 114: vector que divide en 35 el valor de la capacidad de frenada medido por el sensor de presión izquierda atendiendo al tiempo que tarda el vehículo en detenerse (q_t).
- Posición 115: representa la manera en la que el sensor de presión izquierda alcanza la capacidad de frenada total, proporcionando in-

formación de “cómo se produce la frenada en el tiempo” ($vfill_l$).

- Posición de 116 a 150: vector que divide en 35 el valor de $vfill_l$ relativo al sensor de presión izquierda.
- Posición de 151 a 156: valores estadísticos para la caracterización de la frenada en lo que se refiere al sensor de presión izquierda.

Los valores de regresión (R), parámetro que mide la correlación entre las salidas de la red y los datos objetivo, obtenidos para la fase de entrenamiento y de prueba, se muestran en la figura 14. Como combinación de estas fases se puede concretar el valor de regresión obtenido para el total del sistema de valor 0,99642.

Resultados de la estimación de parámetros de frenado

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras las distintas simulaciones de la RNA elegida. Estos valores son cotejados con los parámetros con los que se ha entrenado el sistema a fin de comprobar la correlación entre los valores objetivo y los valores simulados. Se han llevado a cabo simulaciones aleatorias cubriendo todo el rango de velocidades ensayadas.

Para una mejor comprensión de los resultados, se muestran a modo de ejemplo los relativos a una frenada realizada partiendo de una velocidad de 60 km/h.

En la figura 15 se muestra la comparativa entre la simulación de los valores totales estimados por la RNA y la totalidad de los datos objetivo. Los valores totales coinciden con los parámetros, q_r , $vfill_r$, q_l , $vfill_l$ y valores estadísticos de los dos sensores de presión.

Como se observa en la figura 15, las líneas que representan las simulaciones realizadas a partir de los valores estimados y los datos objetivo prácticamente se solapan, señal de una RNA con un alto grado de ajuste y convergencia. Es importante comentar que, por la naturaleza de los datos utilizados en el sistema, la capa de salida está formada por un vector de variables que toman distintos valores numéricos. Debido a esto, a la hora de tratar los resultados no se han tenido en cuenta las unidades de medida, y se ha dado importancia al valor numérico de los datos e interpretando cada uno por su posición.

Seguidamente, se divide la figura 15 para estudiar los resultados de cada parámetro de manera independiente. En la figura 16 se compara la simulación de los valores estimados por la RNA con los datos objetivo relativos a la capacidad de frenada (q_v) para los dos sensores de presión.

El valor del dato objetivo del parámetro q_v relativo al sensor de presión del lado derecho es 256,85 y el valor estimado por la red 255,78. Por tanto, el error es del 0,41%. El valor del dato objetivo de q_v para el sensor de presión del lado izquierdo es 237,60 y la red estima un valor de 238,41, por ende, el error es del 0,34%. Se constata que el porcentaje de error alcanzado para los dos casos es muy reducido con una media del 0,38%.

En la figura 17 se presenta la comparativa entre los datos simulados y los datos objetivo relativos a cómo evoluciona, en las 35 divisiones efectuadas, la capacidad de frenada en función del tiempo que tarda el vehículo en detenerse (q_t), para el sensor de presión derecha.

El error medio que se obtiene en las 35 divisiones es del 10,79%. Los errores máximos se dan en la división 4 y 5 del 31,38% y del 30,5%, respectivamente, y el mínimo es del 0,34% en la división 10.

En la figura 18 se presenta la comparativa entre los datos simulados y los datos objetivo referentes a la evolución de q_t , en las 35 divisiones efectuadas, para el sensor de presión izquierda.

El error medio que se obtiene en las 35 divisiones es del 10,62%. Los errores máximos se vuelven a registrar en la división 4 y 5 del 24,31% y del 25,69%, respectivamente, y el mínimo es del 0,72% en la división 10.

En la figura 19 se muestra la comparativa entre los valores estimados por la RNA y los datos objetivo para $vfill_t$. La diferencia menor se obtiene para el sensor de presión izquierda, siendo el valor del dato objetivo de 0,828 y el valor estimado por la red 0,826 y para el sensor de presión derecha el objetivo es 0,895 y el valor estimado por la red 0,889. Esto se traduce en unos errores propiciados por el sistema de 0,15% y 0,64%, respectivamente.

En la figura 20 se presenta la comparativa entre los datos simulados y los datos objetivo relativos a la manera en que el sensor de presión derecha

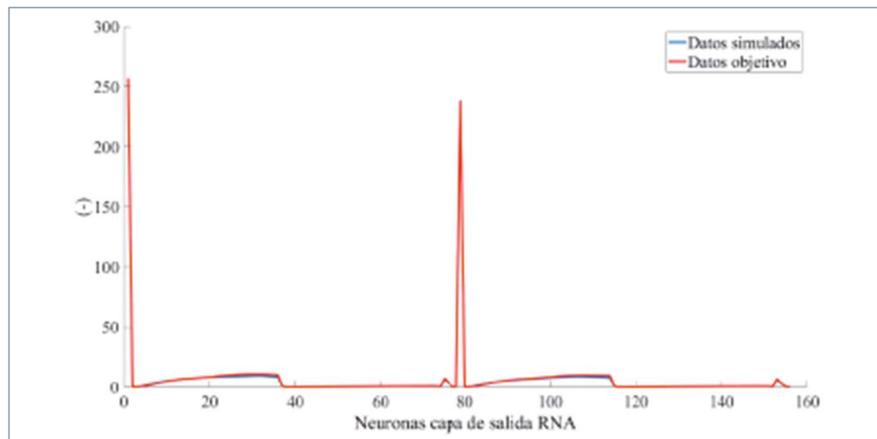


Figura 15. Comparativa entre los datos completos simulados por la RNA y los datos objetivo en una frenada a velocidad de 60 km/h.

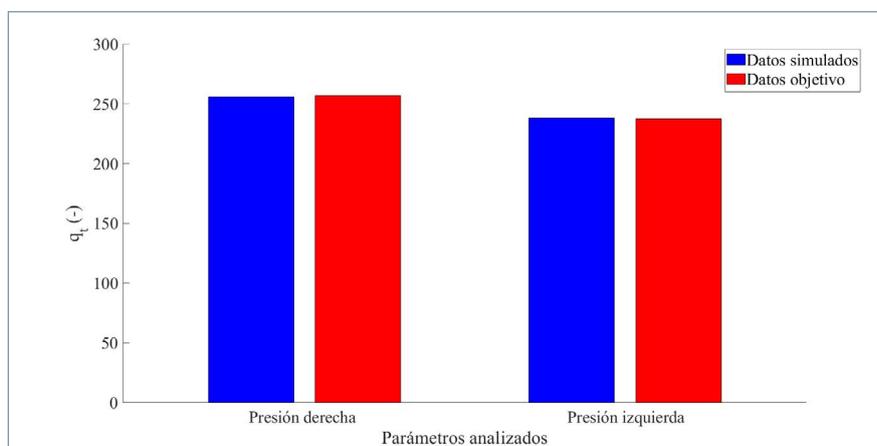


Figura 16. Comparativa entre los datos simulados por la RNA y los datos objetivo de q_v para los dos sensores en una frenada a velocidad de 60 km/h.

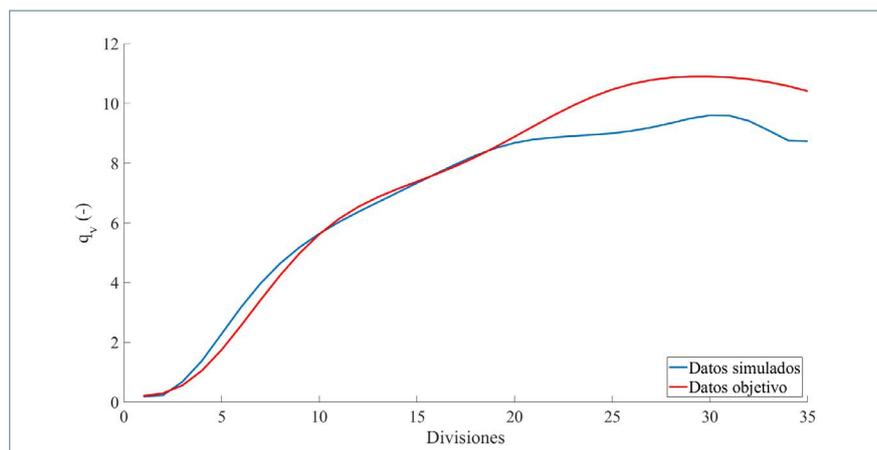


Figura 17. Comparativa entre los datos simulados por la RNA y los datos objetivo de q_t para el sensor de presión derecha en una frenada a velocidad de 60 km/h.

alcanza la capacidad de frenada en función del tiempo que tarda el vehículo en detenerse ($vfill_v$).

En la figura 21 se presenta la comparativa entre los datos simulados y los datos objetivo relativos al parámetro $vfill_v$ para el sensor de presión izquierda.

Para el parámetro $vfill_v$ el error medio que se obtiene en las 35 divisiones es del 25,53% para el sensor de presión derecha y del 25,96% para el sensor de presión izquierda.

Como se ha comentado anteriormente, se han realizado simulaciones

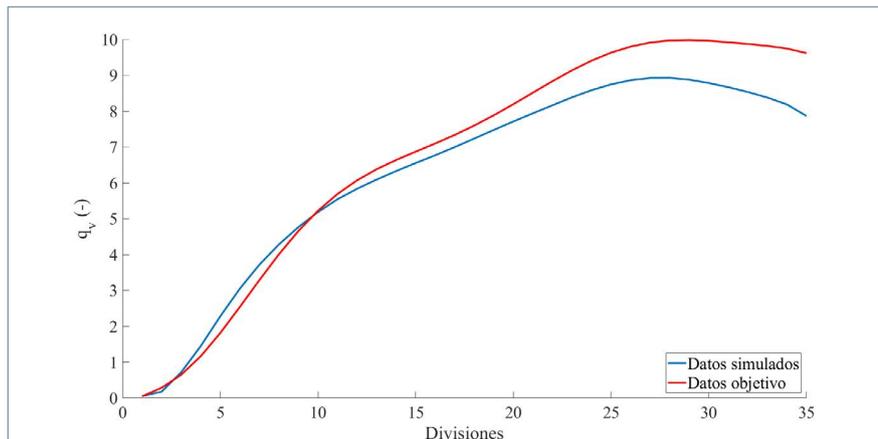


Figura 18. Comparativa entre los datos simulados por la RNA y los datos objetivo de q_v para el sensor de presión izquierda en una frenada a velocidad de 60 km/h.

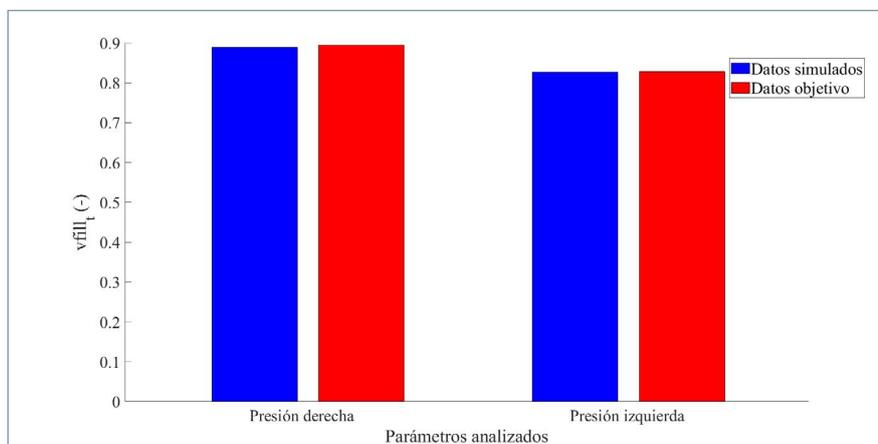


Figura 19. Comparativa entre los datos simulados por la RNA y los datos objetivo de $vfill_t$ para los dos sensores en una frenada a velocidad de 60 km/h.

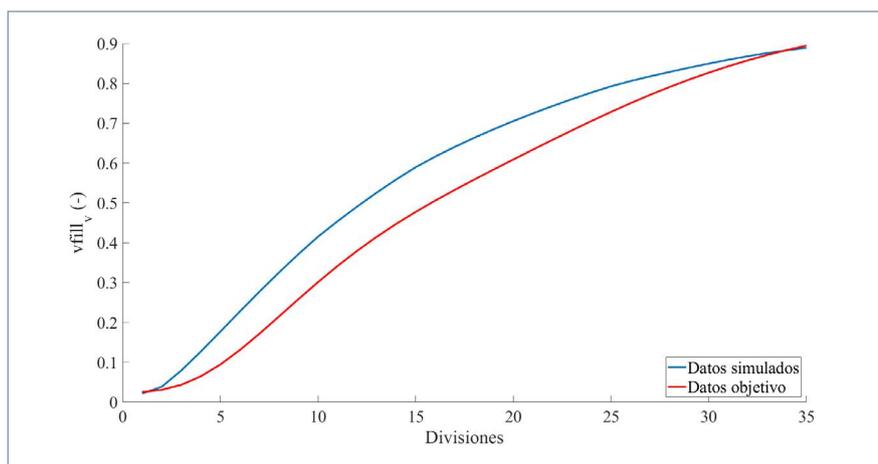


Figura 20. Comparativa entre los datos simulados por la RNA y los datos objetivo de $vfill_v$ para el sensor de presión derecha en una frenada a velocidad de 60 km/h.

de forma aleatoria para todo el rango de velocidades de ensayo. A continuación, se muestran los errores derivados de los parámetros q_t y $vfill_t$ en comparación con los datos empíricos.

En la tabla 1 se muestran los valores objetivo y simulados de q_t de los sensores de presión y su error.

El error medio de la capacidad de frenada de todas las simulaciones es del 0,48% y del 1,32% para el sensor

de presión derecha y el sensor de presión izquierda, respectivamente. La desviación estándar de la capacidad de frenada de todas las simulaciones es del 0,32% para el sensor de presión derecha y del 0,64% para el sensor de presión izquierda.

En la tabla 2 se muestran los valores objetivo y simulados de $vfill_t$ y su error.

El error medio de $vfill_t$ de todas las simulaciones es del 1,37% para el sensor de presión derecha y del 1,73% para el sensor de presión izquierda. La desviación estándar de todas las simulaciones es del 1,58% y del 1,63% para el sensor de presión derecha e izquierda, respectivamente.

Validación de los resultados frente a la lectura directa de los sensores

En este punto se va a mostrar la comparativa entre los valores de las simulaciones realizadas por la RNA y los valores empíricos recogidos por los sensores durante los ensayos experimentales.

Los valores estimados por la RNA están representados en el tiempo en el cual el sistema estima que se producirá la frenada.

En la figura 22 se observa la comparativa entre los datos ofrecidos por la RNA al simular una frenada a una velocidad de 60 km/h y los datos recogidos por el sensor de presión derecha durante la realización de este ensayo.

En la figura 23 se muestran las diferencias relativas al sensor de presión izquierda y la estimación de su comportamiento para el mismo ensayo.

Conclusiones

Las contribuciones del trabajo que se ha realizado, las conclusiones y las líneas futuras de investigación del mismo se resumen a continuación.

Se ha instrumentado un vehículo automóvil mediante el empleo de sensores de presión incorporados en los circuitos hidráulicos independientes de las ruedas delanteras y una célula de carga instalada sobre el pedal de freno. Se ha demostrado que los sensores de presión son adecuados para medir con precisión bajo condiciones dinámicas y han proporcionado información relevante para poder caracterizar una frenada. Igualmente, se ha embarcado un receptor GPS en el vehículo.

Velocidad de ensayo (km/h)	q_t sensor de presión derecha objetivo (-)	q_t sensor de presión izquierda objetivo (-)	q_t sensor de presión derecha RNA (-)	q_t sensor de presión izquierda RNA (-)	Error q_t sensor de presión derecha (%)	Error q_t sensor de presión izquierda (%)
20	64,12	58,04	64,16	59,42	0,068	2,373
30	94,13	87,63	93,40	86,16	0,778	1,678
40	132,47	124,11	131,22	122,26	0,948	1,491
50	170,16	156,74	170,93	158,81	0,453	1,317
60	256,85	237,60	255,79	238,41	0,415	0,340
70	278,86	259,44	279,23	261,68	0,135	0,865
80	292,52	270,01	290,93	266,83	0,544	1,176

Tabla 1. Valores objetivo y simulados de q_t de los sensores de presión y su error.

Velocidad de ensayo (km/h)	$vfill_t$ sensor de presión derecha objetivo (-)	$vfill_t$ sensor de presión izquierda objetivo (-)	$vfill_t$ sensor de presión derecha RNA (-)	$vfill_t$ sensor de presión izquierda RNA (-)	Error $vfill_t$ sensor de presión derecha (%)	Error $vfill_t$ sensor de presión izquierda (%)
20	0,397	0,374	0,400	0,375	0,863	0,104
30	0,423	0,398	0,422	0,393	0,141	1,251
40	0,481	0,446	0,460	0,425	4,364	4,619
50	0,554	0,511	0,558	0,522	0,773	2,206
60	0,895	0,828	0,889	0,827	0,644	0,149
70	1,044	0,945	1,016	0,937	2,723	0,924
80	1,143	1,027	1,142	1,057	0,114	2,888

Tabla 2. Valores objetivo y simulados de $vfill_t$ de los sensores de presión y su error.

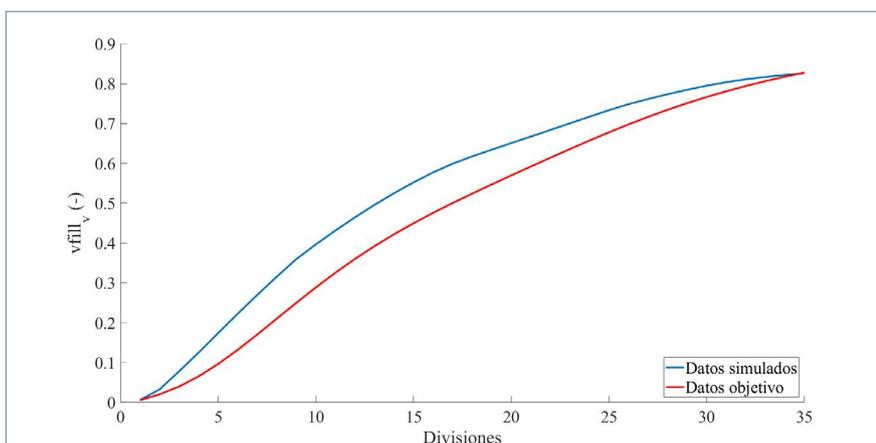


Figura 21. Comparativa entre los datos simulados por la RNA y los datos objetivo de $vfill_v$ para el sensor de presión izquierda en una frenada a velocidad de 60 km/h.

Se han realizado ensayos experimentales en condiciones controladas tanto para la pista como para el vehículo. El conductor realiza, siguiendo una trayectoria rectilínea, una serie de frenadas con el vehículo hasta detenerlo. Las frenadas se realizan partiendo de velocidades de 20, 30, 40, 50, 60, 70 y 80 km/h.

Para el análisis de los datos, se han definido los parámetros q_t , $vfill_t$, q_v y $vfill_v$ con objeto de operar con los datos recogidos por los sensores de forma homogénea en el diseño del estimador.

Se ha diseñado un sistema capaz de caracterizar la frenada de un vehículo automóvil. En todos los casos, las

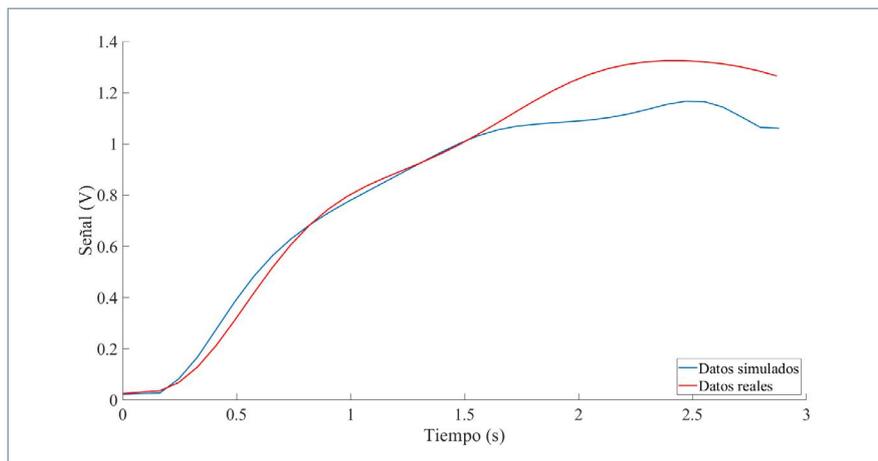


Figura 22. Comparativa entre los datos simulados por la RNA y los reales relativos al sensor de presión derecha en una frenada a velocidad de 60 km/h.

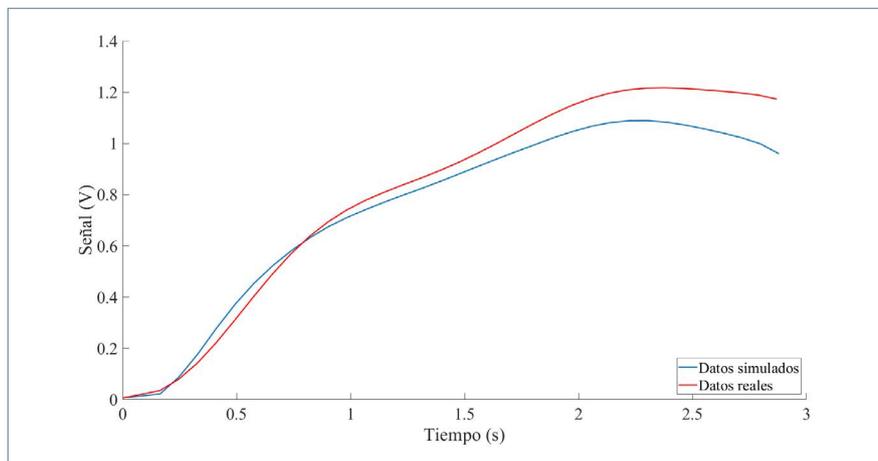


Figura 23. Comparativa entre los datos simulados por la RNA y los reales relativos al sensor de presión izquierda en una frenada a velocidad de 60 km/h.

curvas comparativas entre los datos obtenidos de las simulaciones y los datos objetivo de los sensores de presión derecha e izquierda prácticamente se solapan y muestran que ambas siguen iguales patrones de comportamiento. Las simulaciones de v_{fill_v} son las que presentan mayores diferencias al comparlas con los datos objetivo. No obstante, las tendencias son similares.

A la vista de los resultados obtenidos se puede garantizar que la técnica

propuesta basada en redes neuronales artificiales permite estimar la capacidad de frenada con un mínimo grado de error. El sistema estima la capacidad de frenada con un error medio del 0,48% y del 1,32% para el sensor de presión derecha y el sensor de presión izquierda, respectivamente.

Para trabajos futuros se pueden diseñar nuevos ensayos en los que se propongan sensores distintos y con diferentes maniobras que simulen la con-

ducción real, distintas superficies de rodadura, condiciones meteorológicas determinantes, múltiples trayectorias, etc. Se pueden emplear otros métodos de estimación como pueden ser Fuzzy Logic, filtro de Kalman o filtro H-Infinity. Con una gran batería de datos es posible realizar mayor cantidad de parametrizaciones a la hora de diseñar la RNA que gobierne el sistema sobre el que se está trabajando. Es interesante optimizar el método propuesto de estimación orientado al trabajo para el cual es requerido, analizando la sensibilidad a las ponderaciones de datos.

Referencias

- [1] Park E. J., Stoikov D. "A performance evaluation of an automotive magnetorheological brake design with a sliding mode controller", *Mechatronics* 16, 405-416 (2006).
- [2] D'alfio N., Morgando A., Sornioti A. "Electrohydraulic brake systems: design and test through hardware-in-the-loop simulation", *Veh. Syst. Dyn.* 44, 378-392 (2006).
- [3] Castillo J. J., Cabrera J. A., Carabias E., Simón A. "Estimación de parámetros en sistema de frenado", *Actas del XIX Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica*, Castellón (2012).
- [4] Doumiati M., Victorino A., Charara A., Lechner D. "Estimation of vehicle lateral tire-road forces: a comparison between extended and unscented Kalman filtering", en *Proceedings of the European Control Conference*, Budapest, 2009.
- [5] Doumiati M., Victorino A., Lechner D., Baffet G., Charara A. "Observers for vehicle tyre/road forces estimation: experimental validation", *Veh. Syst. Dyn.* 48, 1345-1378 (2010).
- [6] Shraim H., Ouladsine M., Fridman L., Romero M. "Vehicle parameter estimation and stability enhancement using sliding modes techniques", *Int. J. Veh. Des.* 48, 230-254 (2008).
- [7] Zhang L., Subbarayan G. "An evaluation of back-propagation neural networks for the optimal design of structural systems: Part I. Training procedures", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 191, 2873-2886 (2002).
- [8] Ince R. "Prediction of fracture parameters of concrete by Artificial Neural Networks", *Eng. Fract. Mech.* 71, 2143-2159 (2004).
- [9] Hornik K., Stinchcombe M., White H. "Multilayer feedforward networks are universal approximators", *Neural Networks* 2, 359-366 (1989).
- [10] Cybenko G. "Approximation by superpositions of a sigmoidal function", *Mathematics of Control, Signals, and Systems* 2, 303-314 (1989).

Ángel Rodríguez Lagunilla

Ingeniero Técnico Industrial y Presidente de IVECO España

“El rol del ingeniero es esencial para mejorar la competitividad de nuestras fábricas”

Mónica Ramírez

El pasado mes de septiembre, Ángel Rodríguez Lagunilla, presidente de Iveco España, recibía la distinción de Colegiado de Honor por parte de IngenierosVA (Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Valladolid). Un reconocimiento con el que la institución quería distinguir a este ilustre vallisoletano, que ha llegado a lo más alto en la compañía, en nuestro país.

Ingeniero Técnico Industrial por la Universidad de Valladolid, cuenta con una amplia experiencia en la multinacional, pues en 1998 comenzó su carrera profesional en Iveco, donde poco tiempo después desempeñó diferentes cargos de responsabilidad, como director de las plantas españolas de la marca en Valladolid y Madrid. En 2008 asumió la dirección de montaje de la factoría de Brescia (Italia), y en enero de 2010 regresó a España como director de la planta de Valladolid.

Posteriormente, en 2015, fue nombrado responsable de producción de vehículos industriales y autobuses para la región EMEA (Europa, Oriente Medio y África), y finalmente, en 2020, fue nombrado nuevo presidente y consejero delegado de la filial en España del fabricante de vehículos industriales Iveco.

Ingeniero Técnico Industrial por la Universidad de Valladolid, comenzó su carrera profesional en IVECO en 1998, ¿cómo recuerda los comienzos de su carrera profesional?

Ha sido toda una vida profesional dedicada a IVECO, y le tengo que agradecer que me haya formado en muchos aspectos. Todavía recuerdo con alegría el primer día que crucé las puertas de la fábrica de Valladolid. Si aquel día alguien me hubiera preguntado a qué aspiraba dentro de la empresa, no creo que hubiera imaginado ninguno de los puestos que he tenido la oportunidad de asumir.



Ángel Rodríguez Lagunilla

El trabajo, la suerte y el esfuerzo, me ha llevado a donde estoy en esta compañía.

Y llegamos al momento actual. El pasado año, CNH industrial anunciaba su nombramiento como nuevo presidente de IVECO España, cargo que ostenta desde octubre de 2020, ¿Qué significó para usted afrontar esta nueva responsabilidad?

Desde luego afronté este nuevo cargo muy agradecido, se trata de una labor que desempeño con mucho gusto y una experiencia que disfruto cada día. Además, tomar el testigo de Jaime Revilla, fue todo un honor porque ha sido uno de mis referentes dentro de IVECO en cuanto a la gestión de personas, la toma de decisiones, cómo hacer frente a los problemas, y cómo empatizar con la gente.

¿Qué valores y aptitudes le han aportado sus estudios de Ingeniería Técni-

ca Industrial en el desempeño de sus responsabilidades?

Profesionalmente diría que ha influido en mi modelo de gestión, el cual baso mucho en el equipo. Creo que la fuerza y el éxito de las personas están basados en el equipo, en la habilidad que uno tenga de rodearse de gente válida y también de saber gestionar, motivar e involucrar a ese equipo. Al final, es el éxito del equipo el que da el éxito o no a un gestor. Desde mi punto de vista, creo que las claves para ello son escuchar, motivarles para que tengan la libertad de expresar sus comentarios y opiniones, y que se tomen las decisiones que en ese momento pueden parecer las más adecuadas.

¿Cómo ve la profesión de ingeniero en la actualidad?

Nos encontramos en un momento de transición y de cambios, especialmente en el sector de la automoción e industria. Un ingeniero, como su propia palabra indica, es alguien que usa el

ingenio y la capacidad del pensamiento para crear nuevas soluciones, por lo que ahora más que nunca, su rol es esencial para mejorar la competitividad de nuestras fábricas y poder desarrollar y aplicar nuevas tecnologías, innovadoras y sostenibles, que hagan de esta transición una realidad.

¿Qué les diría a las nuevas generaciones de estudiantes para animarles a estudiar una ingeniería?

Les diría que han escogido una de las carreras más interesantes y más importantes que hay, pero sobre todo, querría trasladarles que no teman en innovar, porque precisamente ahí se encuentra el motor de esta industria. Asimismo, desde el mundo de la ingeniería tenemos que preparar y hacer frente a los estudiantes e ingenieros del futuro en aquellas áreas que ahora mismo se están desarrollando.

En su sector, en concreto, ¿cuáles son las principales innovaciones que se han llevado a cabo?

La innovación tecnológica que estamos viviendo es muy importante y seguramente lo que viviremos en los próximos años lo será aún más. En los próximos años vamos a ver más cambios en el sector que los vividos en los últimos 50 años. Nuestras Plantas de IVECO en Madrid y Valladolid llevan años enfocadas en ámbitos como la Industria 4.0, a través de la digitalización y conectividad de nuestros procesos, y en una mayor sensorización dentro de las fábricas, con el objetivo de mejorar la eficiencia de nuestros procesos productivos. También estamos trabajando en conceptos como Smart Factory, cyber-physical systems, robots colaborativos que, a día de hoy, algunos de estas innovaciones son ya una realidad en muchas de nuestras industrias.

Ambas factorías españolas son referentes dentro del Grupo a nivel mundial y su éxito reside, además del compromiso e involucración del gran equipo que las forman, en adelantarnos al futuro, en la medida de lo posible, y ser cada vez más competitivos. Nuestro camino ahora es seguir apostando por la automatización y digitalización de los procesos y, en paralelo, por la formación tanto técnica como de *softskill* de nuestras personas.

En la actualidad, un tema que preocupa considerablemente es la preservación del medioambiente y el gran desafío que supone el cambio climático.

En este sentido, se habla del futuro de los vehículos industriales y pesados, y del desarrollo de nuevas tecnologías sostenibles para lograr la descarbonización del sector, ¿cómo ven los fabricantes esta transición para alcanzar las cero emisiones previstas para el año 2030?

Siempre hablamos de la descarbonización en los productos y en la sostenibilidad de los mismos, en la transición a vehículos con energías alternativas y renovables, digitalización y conectividad de los vehículos; pero todo esto lo tenemos que trasladar también a nuestros procesos productivos. No podemos hablar sólo de descarbonización y sostenibilidad cuando nos referimos al producto final, tenemos que incluir toda la cadena de valor, todo el proceso productivo.

Un producto sostenible y con cero emisiones debe ser producido y fabricado en un proceso sostenible. Los fabricantes estamos esforzándonos para cumplir todos los objetivos establecidos por la Unión Europea, y de hecho, en IVECO, la sostenibilidad es uno de nuestros principales pilares, también en la fabricación, en nuestro sistema de auditoría World Class Manufacturing.

¿Cuáles son las principales dificultades a las que se enfrentan en dicha transición?

Sin duda, a la hora de implementar una nueva tecnología, la confianza del consumidor es esencial. Para ello, el primer paso es que los fabricantes pongamos en el mercado el producto. Otro factor clave son las infraestructuras; es necesario que haya una red de suministro disponible y capaz de dar solución a la demanda de los clientes. El apoyo de las Administraciones será fundamental en su implantación, con un plan de ayudas que fomente la adquisición de estos vehículos.

Una vez que todo este entorno se dé, la labor informativa de cara a los clientes será necesaria para que comprendan los beneficios, tanto en materia de sostenibilidad como de rentabilidad. Además, no podemos olvidar que nuestros clientes son empresas de transporte y, por tanto, además de tener la obligación de cumplir con las normativas medioambientales, estos vehículos tienen que dar solución a sus necesidades y misiones, un elemento muy importante que los fabricantes debemos tener en cuenta en el desarrollo de nuevas tecnologías.

¿Cómo se imagina el sector del mercado de camiones, vehículos industriales y pesados dentro de diez o veinte años?

Nos encontramos inmersos en una revolución industrial y el principal reto es mantener y mejorar la competitividad de nuestras fábricas. Desde IVECO, nuestros objetivos son seguir aumentando el valor añadido en nuestros vehículos, seguir posicionándonos como pioneros y propulsores del transporte por carretera hacia las cero emisiones. En esta transición energética, nosotros llevamos apostando, desde hace más de 25 años, por el gas natural y biometano como energías alternativas, las cuales son una realidad en el presente, que servirán de puente hacia la electrificación y la pila de hidrógeno, y que seguro cohabitarán dentro de diez años.

Otro punto clave son nuestras plantas, donde se debe seguir invirtiendo en tecnología, incrementando el valor de lo producido. La formación de las personas será clave para el futuro, con todas las necesidades que surgirán con la llegada de estas nuevas tecnologías. En este aspecto también me gustaría resaltar que en IVECO hemos sido pioneros en la formación dual, la cual empezamos a impulsar hace ya casi 10 años.

¿Cuáles son sus proyectos más inmediatos?

En la actualidad, IVECO, como fabricante líder, está inmerso en varios proyectos de *platooning* en colaboración con otras marcas y organizaciones, que permitirá desarrollar avances en esta materia. También acabamos de dar un paso más hacia la descarbonización del transporte, con la inauguración de la fábrica conjunta de IVECO y Nikola en Ulm, Alemania, que estará lista para empezar a producir el Nikola Tre, el vehículo 100 % eléctrico (BEV), a finales de año, y donde se fabricará posteriormente el prototipo del Nikola Tre de pila de combustible (FCEV) a finales de 2023.

Por último, queremos destacar que el Colegio de Ingenieros Técnicos Industriales de Valladolid, ingenierosVA, le ha nombrado Colegio de Honor, ¿qué supone para usted este reconocimiento por parte de la profesión?

Para mí, que el Colegio de Ingenieros de Valladolid haya pensado en mí es todo un honor, y lo recibo con mucha ilusión y sobre todo, con orgullo, como vallisoletano que soy.

Alfonso Guerra González

Ex vicepresidente del Gobierno de España y perito industrial

“Los Ingenieros Técnicos han contribuido con sus conocimientos y trabajo a la modernización del país”

Mónica Ramírez

“El gran salto en infraestructura y tecnología que se ha producido en España en los últimos cuarenta años no hubiera sido posible sin el trabajo de los Ingenieros Técnicos Industriales”. Son las palabras de Alfonso Guerra González, ex vicepresidente del Gobierno de España (entre 1982 y 1991), que además es perito industrial por la Escuela de Peritos de Sevilla y Licenciado en Filosofía y Letras por la Universidad de Sevilla. Por su dilatada trayectoria política y su contribución a la democracia española, ha sido merecedor de numerosas distinciones; entre ellas, el doctorado Honoris Causa por la Universidad Nacional Federico Villa Real de Lima, la Medalla de Oro de la Universidad de Roma, e Hijo Predilecto de Andalucía y de Sevilla. Además, en 2018, el Colegio de Ingenieros Técnicos Industriales de Huelva le otorgó la Medalla de Oro, por su compromiso con la profesión.

Pero no quedan ahí los reconocimientos y homenajes, ya que en un acto previsto para el 11 de diciembre de 2021, el Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España (COGITI) le concederá la “Insignia de Oro y Brillantes”, el máximo galardón que otorga la institución colegial, con motivo de su importante contribución a la profesión.

¿Cómo valora este reconocimiento?

Es una muestra de la generosidad del Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España, que ha considerado que mis modestos esfuerzos por la profesión merecen tan importante distinción.

En el ámbito de la Ingeniería Técnica, por todos es conocido el importante papel que desempeñó en la aprobación de la Ley 12/1986, de 1 de abril, sobre regulación de las atribuciones profesionales de los Arquitectos e Ingenieros Técnicos; una ley, por cierto, muy esperada y necesaria para todos estos profesionales, ¿qué supuso



Alfonso Guerra González

esta Ley para los Ingenieros Técnicos, a nivel de reconocimiento y valoración? ¿Por qué era necesario aprobar dicha ley?

Creo que la ley de regulación de las atribuciones era un acto de justicia, que además dinamizó el papel de los Ingenieros Técnicos en nuestro país, delimitó las competencias y dio un gran impulso a lo que en la industria desempeñan los profesionales.

Precisamente, cuando llegó el momento de continuar en la educación superior, se inclinó por estudiar Ingeniería Técnica Industrial en la Escuela de Peritos de Sevilla, ¿qué le llevó a cursar estos estudios?

Mi padre era maestro de taller de fundición y tenía la ilusión de que su hijo - número once de los hermanos y primero en causar el bachillerato - pudiera estudiar ingeniería. En Sevilla entonces estaba la Escuela de Peritos Industriales, y a ella me encaminé para dar satisfacción a los

sueños de un padre que quería a su hijo formado en la técnica.

Posteriormente, ejerció como profesor en la Universidad Laboral de Sevilla y en la entonces denominada Escuela de Aparejadores, también de Sevilla, en la década de los 60 y 70, ¿qué recuerdos tiene de aquella época?

Recuerdos magníficos, el rigor en el trabajo, horarios intensos, profesores cumplidores, un ejemplo para quien ama el trabajo bien hecho.

A su modo de ver, ¿piensa que ha cambiado mucho la situación de la educación en todos estos años que han transcurrido desde entonces?

Ha cambiado mucho en cuanto a los instrumentos que se utilizan, los medios digitales, el uso de pantallas que permite la enseñanza a distancia, pero creo que en lo esencial no tanto: la necesidad del profesor que estimule al alumno, la necesidad del esfuerzo, del sacrificio al estudiar, siguen siendo pilares en la transmisión del conocimiento.

A pesar de la gran demanda de las denominadas profesiones STEM (acrónimo de los términos en inglés Science, Technology, Engineering and Mathematics), hay una falta de vocaciones para cursar estos estudios. En su opinión, ¿qué se podría hacer al respecto?

Todos los involucrados en la industria, en la técnica, escuelas, colegios profesionales, empresas, deberían acometer una gran campaña de sensibilización mostrando el lugar principal que ocupa la técnica en el funcionamiento de la sociedad.

¿Cómo valora la profesión de ingeniero en la actualidad?

Todos tienen mi más alta consideración. Son necesarios, útiles, ayudan a la nación con su trabajo.

A tenor de la transformación y digitalización de la industria, y de la sociedad, en general, ¿cuáles son los principales retos a los que se enfrentan los ingenieros?

El desafío principal es no quedarse atrás en las grandes transformaciones que se están produciendo en el mundo. Los Ingenieros Técnicos son imprescindibles en el mundo que llega, por lo que ellos deben estar preparados para responder a esas expectativas.

¿Cuál es su opinión sobre la contribución de los Ingenieros Técnicos Industriales a la modernización y la mejora del bienestar de los ciudadanos?

Los Ingenieros Técnicos han contribuido con sus conocimientos, con su trabajo a la modernización del país. El gran salto en infraestructura y tecnología que se ha producido en España en los últimos cuarenta años no hubiera sido posible sin el concurso de los Ingenieros Técnicos Industriales.

El pasado mes de junio, se puso en marcha la Red de Ingenieros Europeos en Política (NEEP-EYE), tras su lanzamiento como proyecto piloto en España, y con el respaldo de COGITI e

INGITE (Instituto de Graduados en Ingeniería e Ingenieros Técnicos de España). Desde su punto de vista como ingeniero técnico y político, ¿qué papel pueden desempeñar y qué pueden aportar como valor añadido los ingenieros en la política y en el servicio público a la sociedad?

Son dos actividades separadas pero paralelas. Cada ciudadano puede contribuir al avance de la "polis" cumpliendo su tarea con coherencia y honradez. Los técnicos pueden, además, aportar una visión desde el conocimiento industrial que posibilite nuevas oportunidades de progreso para la sociedad.

Declarado amante de la literatura, en general, y de la poesía, en particular, es autor de poemas, artículos y un buen número de libros de memorias y de teorías políticas, por lo que su compromiso humanístico ha sido reconocido en numerosas ocasiones. Al contrario de lo que se pudiera pensar, en su caso, se puede afirmar que "las letras no están reñidas con las ciencias".

¿Siempre le ha gustado escribir?

Hasta el Renacimiento las enseñanzas humanísticas y técnicas no estaban separadas. Mi punto de vista es que cien-

cias y humanidades son complementarias y necesarias en la formación cultural de la persona.

¿Cuáles diría que han sido los momentos clave de su vida?

El momento en que ingresé en el bachillerato - todos mis hermanos entraban a trabajar desde niños, por lo que supuso para mí una enorme responsabilidad-, el nacimiento de mis hijos Alfonso y Alma, y mi aportación al debate de la Constitución Española de 1978.

Y por último, después de todo lo vivido, nos gustaría que hiciera una reflexión para el momento actual.

Vivimos momentos de incertidumbre en todo el mundo. El avance tecnológico avanza a una velocidad impresionante; han desaparecido los límites al progreso, la información en tiempo real hace que todos conozcan cómo se vive en cada lugar, lo que ha provocado un movimiento migratorio colosal. Todas estas incertidumbres deben ser contrarrestadas con una vida muy cercana a donde se vive y a las personas del entorno. Las desigualdades, la destrucción del medio natural, obligan a un futuro en el que todos seamos más solidarios y respetuosos.

El INGITE critica que la reforma universitaria no responde a las necesidades de la sociedad

El INGITE (Instituto de Graduados en Ingeniería e Ingenieros Técnicos de España), que representa a más de 350.000 profesionales de las distintas ramas de la ingeniería española, ha analizado el recientemente aprobado Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad, y critica ciertos aspectos recogidos en esta reforma, dado que no han sido escuchadas las observaciones y alegaciones planteadas por este instituto ni por otros sectores de la sociedad.

En opinión del INGITE, la reforma se hace de espaldas a la sociedad y obedeciendo a intereses propios de las universidades, tratando de desvirtuar el modelo natural

de desarrollo de los ciclos universitarios (grado, máster y doctorado), fomentando los programas integrados, única y exclusivamente en el ámbito de la Ingeniería y Arquitectura (creando desigualdades) y provocando por tanto una disminución de vocaciones, una pérdida de oportunidad para los titulados (a los que se les atrapa 2 años más), y un enorme coste económico y social, que nos sitúa en desventaja con otros países.

Se trata de una reforma, que además de ser extemporánea, dado que se ha aprobado antes el decreto de desarrollo que la nueva Ley Orgánica del Sistema Universitario, no solo no mejora la situación actual, sino que burla una Sentencia del Tribunal Supremo que en base al anterior Real Decreto 1393/2007 impedía acceder al máster sin tener totalmente

aprobado el título de Grado, algo que ahora se ha modificado para satisfacer las aspiraciones de las cuatro Universidades Politécnicas, que lejos de emular a las mejores universidades, pretenden distanciarse de las mismas con el único propósito de mantener estructuras pre-Bolonia, y de paso retener por más tiempo a los estudiantes y por tanto obtener más matriculaciones.

"Todas estas medidas van justo en el sentido contrario de los objetivos globales que pretendemos alcanzar como sociedad, donde no solo podamos competir en igualdad de condiciones con los mejores, sino que además podamos conseguir más vocaciones en el ámbito de la Ingeniería", señalan desde el INGITE. Más información en www.cogiti.es.

Estudiantes de ingeniería demuestran su talento en la gran cita universitaria del motor

Dar visibilidad al talento, las competencias y habilidades de los estudiantes de ingeniería, en un sector tan importante como el de la automoción, es el objetivo del gran proyecto que el Colegio Oficial de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales de Madrid (COGITIM) ha puesto en marcha. El pasado mes de junio arrancaba toda la maquinaria, con la presentación de los prototipos de los once equipos universitarios madrileños, que estaban listos para competir en Fórmula Student y Moto Student, las competiciones internacionales donde rivalizan las universidades más prestigiosas del mundo.

Nació así el proyecto MadridMotorStudent, la gran cita universitaria del motor, con la que se pretende contribuir a potenciar los avances en el ámbito profesional de la automoción, poniendo en valor a la industria española en las exigencias que supone una competición de tan alto nivel competitivo, auspiciado todo ello por el COGITIM.

Un total de 11 equipos, pertenecientes a 7 universidades madrileñas, presentaron en la sede del MSi Sport Institute los prototipos con los que competirían en la temporada 2021 de ambas competiciones automovilísticas, donde participan también los equipos de las universidades de toda España, con el apoyo y patrocinio, en muchos de los casos, de los Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos Industriales.

Las siete universidades madrileñas que participan en MadridMotorStudent son la Universidad Politécnica de Madrid, Carlos III, Francisco de Vitoria, Antonio de Nebrija, Alcalá de Henares, Europea de Madrid y Rey Juan Carlos. Cuatrocientos estudiantes de diferentes ramas de Ingeniería y otras carreras universitarias forman parte de los equipos que participaron en la presentación oficial de MadridMotorStudent, en la que se dieron cita la tecnología, la innovación, y el compromiso por la sostenibilidad.

De los once prototipos presentados, cinco son de propulsión eléctrica, lo que supone un gran avance en la apuesta por la movilidad sostenible. Otro de los aspectos destacados de este tipo de competiciones es que son los propios estudiantes los que buscan los recursos, aplican los conocimientos adquiridos durante sus estudios universitarios en el diseño, desarrollo y fabricación de un prototipo para la competición real, pilotan el vehículo y se encargan de su puesta a punto.



Presentación, en la sede de COGITIM, del proyecto MadridMotorStudent, en el que participan los "equipos de motor" de las universidades madrileñas.

Once equipos, de siete universidades madrileñas, presentaron los prototipos con los que competirían en la temporada 2021

Fórmula Student es una competición internacional de ingeniería que reúne anualmente a estudiantes de universidades de todo el mundo, con el reto de diseñar, fabricar, defender ante un jurado y pilotar un vehículo tipo fórmula, capaz de acelerar de 0 a 100 km/h en menos de 4 segundos. Este reto deportivo es evaluado por profesionales del mundo del *motorsport* y de la automoción, y permite a los estudiantes poner a prueba sus conocimientos en un proyecto real de ingeniería, en el que deben manejar presupuestos, tiempos de entrega y trabajar en equipo. De esta forma, los alumnos tienen la oportunidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos, y al mismo tiempo coger experiencia para ejercer en el futuro una profesión en la que deberán enfrentarse al desafío que

exige el desarrollo de tecnologías punteras y una movilidad sostenible.

Esta competición tiene también su reflejo en Fórmula Student Spain, que desafía a equipos de estudiantes universitarios a concebir, diseñar, fabricar, desarrollar y competir con autos de carrera pequeños, estilo fórmula. Está organizado por STA (Sociedad Española de Ingenieros de Automoción), con el apoyo de instituciones españolas y empresas relevantes del sector de la automoción.

Por su parte, MotoStudent es una competición internacional, promovida por la Fundación Moto Engineering Foundation, entre universidades de todo el mundo. Los equipos de estudiantes se enfrentan al desafío de diseñar y desarrollar un prototipo de motocicleta de competición similar a la categoría mundialista de Moto3.

El acto de presentación del citado proyecto, al que asistieron representantes del ámbito universitario y empresarial de la Comunidad de Madrid, contó con la presencia de Francisco de Borja Carabante Muntada, delegado del Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad del Ayuntamiento de Madrid, e Irene



Presentación de prototipos en el MSi Sport Institute, el pasado mes de junio.

Delgado Sotillos, directora general de Universidades y Enseñanzas Artísticas Superiores de la Consejería de Ciencia, Universidades e Innovación, quienes junto a José Antonio Galdón Ruiz, decano del COGITIM, participaron en el acto de bienvenida e inauguración.

Tras el acto de presentación, los asistentes pudieron hacer un recorrido por la exposición para ver de cerca los prototipos fabricados por las diferentes universidades, e intercambiar impresiones con los estudiantes que los han diseñado y fabricado.

Alguna de las agrupaciones, participantes en este evento, cuentan con un destacado palmarés a sus espaldas en esta competición, como es el caso de UPM Moto Student, que consiguió la 2ª posición en carrera en la competición de MotoStudent, y que tiene entre sus logros el haber conseguido un consumo por vuelta un 20% inferior al establecido por la organización.

Otros de los equipos participantes, cuentan con una dilatada trayectoria a sus espaldas en esta competición, como es el caso de UPM Racing, equipo fundado en 2003, que a lo largo de su historia ha desarrollado tres prototipos eléctricos y 14 prototipos de combustión, y que actualmente está desarrollando un monoplaza eléctrico y el software del monoplaza autónomo, o el conjunto Fórmula UEM, creado en 2007 y que desde entonces viene desarrollando un mono-

plaza de Fórmula Student cada año.

Por su parte, la escuadra de Û Motorsport, fundada en 2015, presentó el que es su quinto monoplaza de combustión (en el futuro DV) y eléctrico, con el que participaría por primera vez en el Circuito de Assen (Holanda), del 4 al 8 de julio. Carrera en la que también estaría presente UFV Racing Team, con su vehículo de combustión en el que sus creadores destacan su "motor KTM 690 cc adaptado para usar E85, lo que le convierte en un prototipo ligero y eficiente, en el que prima la sencillez sobre la complejidad".

La Universidad de Alcalá, por su parte, presentó su coche en el que destaca la "propulsión eléctrica mediante máquinas de imanes permanentes". Una apuesta por la propulsión eléctrica que también se pudo comprobar en los prototipos presentados por el conjunto ISC de la Universidad Pontificia de Comillas.

Por su parte, el equipo Maqlab-UC3M, que presentó su moto de combustión, había participado ya en tres ediciones de Motor Student, y destaca por generar las piezas del prototipo a través de equipos de impresión 3D.

Función canalizadora de COGITIM

Con este proyecto, el COGITIM adquiere un papel canalizador, para facilitar la relación entre la Administración, el sector público y las universidades, con el fin de que puedan alcanzar un mayor grado de

cooperación. José Antonio Galdón destacó, el día de la presentación del proyecto, que iniciativas como esta "son un gran escaparate para que las empresas puedan ver además de los proyectos, el talento de los futuros ingenieros y puedan captarlo. El Colegio de Madrid siempre estará a su lado para ayudarles, no sólo en el apartado económico, sino en todo lo que sea necesario para que puedan desarrollar su trabajo y competir en las mejores condiciones posibles".

El Colegio también quiere poner en valor el "capital humano" de estos equipos, y que la cualificación, las competencias y las habilidades de los jóvenes ingenieros resulten "más visibles y accesibles" a las empresas en su búsqueda de talento, todo ello en un entorno altamente competitivo.

De esta manera, el COGITIM se convierte en un nexo de unión entre el mundo empresarial y el ámbito universitario, con el fin de facilitar la cooperación y el intercambio de ideas entre ambos, que propicien a su vez las inversiones en la Comunidad de Madrid en un sector tan estratégico como es la movilidad. Además, todos coincidieron en que Madrid-MotorStudent es un proyecto en el que los alumnos universitarios que participan en él pueden experimentar y poner en práctica la parte teórica que han estudiado.

Desde la puesta en marcha de este ambicioso proyecto, COGITIM ha seguido muy de cerca los avances que han ido realizando los diferentes equipos que competirían en Moto Student y Fórmula Student. El pasado mes de septiembre, el Colegio de Madrid estuvo representado por María Gómez Herrero, secretaria general, en la presentación de la temporada 2021/2022 de MotoStudent y Fórmula Student de ICI, así como la presentación de ISC Racing Team, el equipo de estudiantes de Ingeniería de la Universidad Pontificia de Comillas, que han desarrollado desde cero un coche y una moto de competición 100% eléctricos y los han probado con éxito sobre el asfalto.

Por otra parte, el pasado mes de julio se presentaba en la INSIA, adscrito a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, el nuevo monoplaza del UPM Racing (UPM 04E). En esta ocasión, el Colegio, que es uno de los patrocinadores del equipo, estuvo representado por su vicedecano, Fernando Blaya.

COGITI y CGE presentan el informe “Desarrollo sostenible de la pyme en España”

El Consejo General de Economistas de España (CGE) y el Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España (COGITI) presentaron, el pasado 14 de octubre, en una rueda de prensa telemática, el estudio titulado *Desarrollo sostenible de la pyme en España*, que han elaborado ambas organizaciones, y que consiste en un estudio empírico a partir de la información proveniente de una encuesta realizada a directivos de 685 empresas españolas, fundamentalmente pymes, de diferentes sectores y de todas las comunidades autónomas, lo que le aporta un nivel de confianza del 95%.

El objeto principal de este trabajo es analizar el grado de desarrollo sostenible de las pymes en España y las prácticas realizadas por las mismas en este sentido. Entre otras, permite conocer las motivaciones y barreras a la hora de seguir estrategias de desarrollo sostenible; analizar la relación entre desarrollo sostenible y rendimiento de la organización; valorar la importancia de la RSC; las prácticas ambientales realizadas, y conocer el grado de revelación de información no financiera o de sostenibilidad en las pymes.

En la presentación, participaron Valentín Pich, presidente del Consejo General de Economistas de España



José Antonio Galdón, Valentín Pich y Salvador Marín (de izda. a dcha.), en la presentación del informe *Desarrollo sostenible de la pyme en España*.

(CGE); José Antonio Galdón, presidente del Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España (COGITI); Salvador Marín, presidente EFAA for SMEs, director Cátedra EC-CGE y coordinador del Informe; Domingo García, catedrático UPTC y miembro del Equipo de Investigación del Informe, y José Manuel Santos, miembro también de dicho equipo.

José Antonio Galdón Ruiz, presidente de COGITI, señaló que “el objeto de este estudio es poder dotarnos de herramientas, sobre todo también a las administraciones públicas. Hay conclusiones que son muy reveladoras de cuál debería ser la participación de la Administración para impulsar iniciativas de este tipo, adónde

tienen que ir destinadas las ayudas, y cuáles son las preocupaciones más importantes de las empresas a la hora de implantar políticas social y medioambientalmente responsables”.

El 98,9% de las empresas españolas son pymes y representan el 62% del PIB. “Sin la participación de las pymes es prácticamente imposible realizar esa transición ecológica, energética, y la descarbonización de la economía, esa mejora de la competitividad. Hemos ido al núcleo de lo que tiene que ser el desarrollo”, afirmó Galdón.

La principal barrera para la sostenibilidad empresarial de las pymes es la falta de ayudas públicas. www.cogiti.es.

NetCOGITISE 2021 abrió la Semana Europea de la Movilidad en Sevilla

Bajo el lema Ecomobility Solution, la tercera edición del encuentro profesional NetCOGITISE congregó, el pasado mes de septiembre a los profesionales de la Ingeniería Técnica Industrial de Sevilla, a representantes de la Administración pública y a especialistas de las principales y más innovadoras empresas de movilidad sostenible, a fin de plantear líneas de acción que hagan crecer a un sector estratégico en el desarrollo tecnológico de la región.

El encuentro fue inaugurado por Mario Muñoz-Atanet, viceconsejero de Fomento e Infraestructura y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía.

Asimismo, Juan Carlos Cabrera, delegado de Gobernación y Fiestas Mayores del Ayuntamiento de Sevilla, puso de manifiesto la importancia de la capital hispalense en el desarrollo de la movilidad sostenible.

Por su parte, Ana Jáuregui, decana del Colegio de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales de Sevilla (COGITISE) y vicepresidenta de COGITI, puso especial énfasis en la incuestionable presencia del colectivo en todas las áreas que rodean a la transición energética, y por ende a la movilidad sostenible, señalando que “el papel de la ingeniería

es fundamental para implementar las tecnologías necesarias para que esta transformación energética se desarrolle generando mayor valor y competitividad en nuestra economía”.

El encuentro contó con cuatro mesas redondas para la puesta en común de impresiones, datos y perspectivas que han ayudado a establecer diálogos y líneas de acción comunes para que todo el colectivo de la Ingeniería Técnica Industrial pueda trabajar de forma organizada en el reto de doblegar el cambio climático y la contaminación. Más información en www.cogiti.es.

Incluye un acceso durante un año a **CISSLAB (Prevención de Riesgos Laborales)**, Base de Datos que incluye especialización en PRL valorada en 779€.

Formación

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

PLAZAS LIMITADAS

La Prevención de Riesgos Laborales continúa siendo una materia imprescindible en todas las empresas. Por este motivo la demanda de profesionales orientados y formados en PRL es cada vez mayor en el mercado.

Consigue el título máster y obtén tu gran ventaja competitiva.

Metodología

Una metodología didáctica online cuyo objetivo es que dispongas de tu propio ritmo de estudio, decidiendo cuándo y cómo estudiar y, por tanto, totalmente compatible con tu actividad profesional.

Podrás acceder desde cualquier lugar al aula virtual, donde encontrarás el temario del máster y la documentación de soporte.

Contarás con un seguimiento y atención personalizados proporcionados por los tutores en la misma plataforma y también por correo electrónico y vía telefónica.

Tendrás un aprendizaje activo y colectivo, a través del intercambio de conocimiento y experiencias en los foros.

Contarás además, con el apoyo de sesiones síncronas.

La evaluación será continua y formativa y se adaptará al carácter de las asignaturas y las competencias a evaluar. La nota final será la media, según la ponderación establecida de la calificación de las distintas actividades de cada asignatura: test de evaluación, casos prácticos, cuestionarios de preguntas cortas, test de seguimiento y participación en las diferentes actividades del aula virtual.

Programa

Permite cursar el **Título de Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales**, adaptado al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), nivel 3 del MECES y nivel 7 del EQF.

Incluye las 3 especialidades:

- Seguridad
- Higiene
- Ergonomía

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales por la Universidad Francisco de Victoria con **3 especialidades:** Seguridad, Higiene y Ergonomía.

Precio del Máster Completo

2.950€

Descuento por inscripción anticipada del 10% sobre honorarios de matrícula

2.704€
Antes del 14 de Enero

 Créditos: 60 ECTS

 Modalidad: e-learning

 Fecha inicio: **24/02/2022**
Fecha final plazo admisión: Enero/2022
Fecha fin: **Diciembre/2022**

 Con el apoyo docente de reconocidos **expertos en la materia**

 Precio total del Máster: 2.950€ (Posibilidad de pago fraccionado)
Precio por inscripción anticipada: 2.704€
(Antes de 14 de Enero de 2022 supeditado a plazas disponibles)

 Programa **bonificable** en los seguros sociales (Fundación Estatal para la Formación en el Empleo- FUNDAE).

 Acceso a la base de datos **CISS Prevención Riesgos Laborales**

 Potencia tu Networking

 Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales por la **Universidad Francisco de Vitoria**. Verificado por la ANECA.

Infórmate ahora

Para más información así como para formalizar la matrícula, pueden ponerse en contacto con **Luís Antonio Durán**, en el teléfono **699 49 77 51**, o por e-mail **aduran@wke.es**

Marco Antonio Marcos

Ingeniero Técnico Industrial en el Real Instituto y Observatorio Astronómico de Marina (San Fernando, Cádiz)

“Los ingenieros somos indispensables para enfrentarnos a los retos de la humanidad”

Mónica Ramírez

De nuevo, el conocido concurso de televisión “Pasapalabra”, que se emite por las tardes en Antena 3, ha lanzado a la popularidad a un ingeniero, que durante todo el verano de 2021 ha mantenido en vilo a los telespectadores, fieles seguidores del programa, en su duelo con la bilbaina Sofía Álvarez. Ambos concursantes demostraron su pericia y gran manejo del diccionario y empataron en aciertos, a tan solo una letra del ansiado premio. El apellido de un famoso compositor norteamericano, Hermann, dio a la psiquiatra el bote de 466.000 euros que dejó a su compañero de concurso, con 24 aciertos, a una letra de la recompensa final. Marco Antonio Marcos no pudo lograr el anhelado premio, pero su paso por el concurso ha dejado huella y nos ha permitido conocer a una persona realmente polifacética, al demostrar una vez más que la cultura no es una disciplina exclusiva ni de letras ni de ciencias: además de ingeniero, tiene un Máster en Estudios Hispánicos y un doctorado en Filología.

Tras su paso por el citado programa, Marco Antonio visitó el Colegio de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales de Cádiz, donde fue recibido por el decano, Domingo Villero Carro. *Técnica Industrial* tampoco ha querido perder la oportunidad de conocer un poco más a este Ingeniero Técnico Industrial y escritor gaditano, al que además no le importaría trabajar en el medio televisivo, donde cómo él mismo afirma, se siente “como pez en el agua”.

Ingeniero Técnico Industrial Electrónico e Ingeniero en Organización Industrial, ¿por qué decidió estudiar una Ingeniería?

La verdad es que, ante esta pregunta, quedaría muy bien responder que “por vocación”. En realidad, no fue así. Cuando yo empecé a estudiar ingeniería, las únicas cosas que me gustaban de este mundo eran ligar en los bares (o al me-



Marco Antonio Marcos

nos, intentarlo), jugar al billar y leer historias de terror y de ciencia ficción. Resulta difícil ganarse la vida con tales aficiones, y como mis padres me aconsejaron que estudiara alguna carrera de ciencias porque con las letras seguramente me quedaría parado, yo, que era un hijo obediente (al menos, en esto lo fui) les hice caso y estudié la Ingeniería Técnica, especializándome en Electrónica. Luego vino la Organización Industrial, que me pareció interesantísima: una ingeniería enfocada hacia la economía y la racionalización de los sistemas de producción. A continuación, di un giro en mi carrera universitaria y seguí con las letras, cursando un Máster en Estudios Hispánicos; y, por

último, me doctoré en Filología. La gente se suele encuadrar en ciencias o en letras como si fueran mundos estancos, aislados e impermeables, lo que me parece erróneo. Al menos, a mí me gusta pertenecer a ambos campos.

¿Cómo fueron sus comienzos en el mundo profesional?

Muy bien. Comencé a trabajar pocos meses después de haber terminado aquellos primeros estudios, por lo que me considero muy afortunado. Fue en octubre de 1992 y aún no había comenzado la ola de paro subsiguiente a la resaca de la Expo de Sevilla. Vi a compañeros míos haciendo de todo: sirviendo copas en los pubs, vendiendo libros en una librería... Cualquier cosa (decente) para sobrevivir excepto la que hubiera sido lógica, es decir, poner en práctica sus estudios de ingeniería para servir con ellos a la sociedad. Yo me salvé por los pelos.

En la actualidad trabaja en el Observatorio Astronómico de San Fernando (Cádiz), ¿cuáles son las principales funciones que desempeña?

Dentro del Real Instituto y Observatorio Astronómico de Marina, estoy destinado en la Sección de Hora. Nuestro centro es patrón nacional de tiempo y frecuencia y, dentro de ese contexto, recibimos equipos electrónicos de laboratorios y centros de investigación de toda España, y mi cometido es examinarlos y comprobar que se comportan de acuerdo a las especificaciones facilitadas por cada fabricante de los mismos, para emitir a continuación un certificado que garantice su funcionamiento. Considero que he tenido mucha suerte, yendo a parar al centro en el que trabajo y haciendo lo que hago.

¿Cómo ve la profesión de ingeniero en la actualidad?

Bueno, creo que los ingenieros somos indispensables a la hora de enfrentarnos a los retos que la humanidad tiene



Marco Antonio Marcos durante su participación como concursante en el programa Pasapalabra. Foto: Antena 3.

por delante en cuanto a superpoblación, energías renovables, emisiones de CO₂ y un largo etcétera. Nuestras soluciones, por desgracia, no se aplican inmediatamente cuando chocan con los grandes intereses económicos, como la sustitución de los automóviles que funcionan mediante combustible por los eléctricos. El ingeniero es, en cualquier caso, uno de los pilares sobre los que se sustenta cualquier sociedad moderna.

¿Cómo pueden contribuir los ingenieros a mejorar el bienestar de las personas?

En nuestro mundo actual está muy extendido el problema de la soledad. Cada vez hay más personas solas y cada vez vivimos más tiempo. Los ingenieros podemos contribuir con nuestras soluciones a mitigar dicha soledad, aunque todavía parezca algo propio de la ciencia ficción. Llámenme loco o fantasioso, pero en poco tiempo se extenderá el uso de los robots como forma de compañía: hace poco hemos visto a *Spot*, un perro cibernético de la compañía *Boston Dynamics*, paseándose por las calles de León. El uso intensivo de los robots en nuestra sociedad aún está por llegar, y si no se ha producido todavía es por los costes de producción. Somos los ingenieros, por supuesto, los que encontraremos la forma de producirlos de forma económica.

¿Y las instituciones, como los colegios profesionales?

Nuestra contribución a la sociedad está aquí principalmente en la transmisión, a las generaciones que nos sucederán, del conocimiento y la experiencia.

Su perfil es realmente polifacético: ha impartido clases de castellano en el Instituto Cervantes de Moscú y en la Universidad Estatal Lingüística de esta ciudad, es articulista del Diario Bahía de Cádiz, además de Finalista del Premio Planeta en el año 1994, y Finalista también del XIX Certamen de Letras Hispánicas Universidad de Sevilla en 2013, entre otros premios recibidos. ¿Desde cuándo le viene la afición por la literatura?

Desde pequeño. Siempre me gustaron mucho las historias de terror y de ciencia ficción. Comencé dibujando cómics. Cuando me di cuenta de que no destacaría nunca en ese medio, me puse a escribir. En la época de mi infancia las videocámaras domésticas estaban en sus inicios; no era como ahora, que cualquiera tiene una en su teléfono móvil. De otra forma, me hubiera convertido en director de cine amateur. Así que si quería contar mis historias no me quedaba más remedio que ponerme a escribir. Y desde entonces hasta ahora, en que he hecho un pequeño receso para dedicarme al estudio de los diccionarios, he publicado bastantes libros: *El interrogatorio* (editorial Palabras de Agua, 2014), novela con la que quedé entre los finalistas del Premio Planeta; *Luz Mala* (Dalya, 2015), *Baphomet* (Egarbook, 2015), *La tostadora de Hitler y otros relatos fantásticos* (Dalya, 2015), *Fenia* (Dalya, 2015); mi tesis doctoral *La ciencia ficción en Cádiz* (Dalya, 2015), *La casa automática* (Premium, 2015), novela ganadora del III Premio de Novela de Terror Ciudad de Utrera; *Te ves como te ven* (Atlantis, 2017), *El hombre obsoleto* (Dalya, 2018) y *Amanecer Ver-*

de (Premium, 2018), novela que ganó el I Premio de Novela de Ciencia Ficción Isaac Asimov, convocado por el Ayuntamiento de Puerto Real. Por otro lado, realmente me gustó dar clases de castellano en el Instituto Cervantes de Moscú y en la MGLU. También disfruté mucho aprendiendo el idioma ruso, que practico siempre que puedo.

¿Cómo surge la inspiración para escribir?

Supongo que hay una oscura fuerza interior que te obliga a hacerlo. Las musas. En las presentaciones que hago de mis libros suelo decir que un escritor es como un asesino en serie de las películas. El asesino en serie comete crímenes y el escritor "comete" libros, pero ambos notan algo misterioso dentro de sí que les obliga a hacer lo que hacen. Afortunadamente, el escritor tiene más difícil acabar en la cárcel por seguir sus tendencias.

¿Tiene algún otro proyecto literario en mente?

Siempre ando sobrado de ideas, la verdad. Espero publicar muy pronto una antología de historias de terror y también una novela, a medias entre los géneros negro e histórico, titulada "La Habana a quemarropa": una historia de guerras entre bandas mafiosas situada en el ambiente de los casinos de juego de la ciudad de La Habana, a finales de los años 50, con la dictadura de Fulgencio Batista y la revolución de Fidel Castro como telón de fondo.

Además de su trabajo habitual, se ha hecho muy popular por su faceta televisiva, ya que ha sido concursante del programa "Pasapalabra" en varias ocasiones, ¿cómo fue la experiencia? ¿Y el hecho de convertirse en una persona conocida gracias a la popularidad que proporciona la televisión?

Muy bien, me he divertido mucho participando en el programa. Tanto Christian Gálvez como Roberto Leal son dos presentadores estupendos y magníficas personas, y los concursantes igual que los invitados nos lo pasamos muy bien con ellos. Así que la experiencia ha sido genial y espero que no se haya terminado del todo. Me gustaría volver algún día y, si fuera posible, luchar de nuevo por completar el rosco y conseguir el bote de "Pasapalabra". He estado a punto de lograrlo varias veces y la verdad es que resulta muy emocionante. La "fama", y la pongo entre comillas, la llevo bien.

Sara García Álvarez

Fundadora de empresa de diseño y fabricación de prototipos, y piloto profesional de motociclismo

“Emprender es durísimo, pero merece muchísimo la pena”

Mónica Ramírez

La trayectoria de Sara Álvarez es una historia de superación. Primero, no dejó de luchar hasta ser ingeniera (es Ingeniero Técnico Industrial, especialidad mecánica, y Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Carlos III de Madrid), y después, puso todo su empeño y esfuerzo en convertirse en piloto profesional de motociclismo, logrando un extenso palmarés, además de ser la primera mujer que ha competido en el Rally Dakar sin asistencias. Natural de Zamora, la tierra que vio nacer a uno de los mejores pilotos de motociclismo de la historia, como fue Ángel Nieto, también ha visto crecer a otro ejemplo de superación.

Este año 2021, ha recibido además el Premio Pódium al mejor deportista absoluto de Castilla y León, que convoca la Consejería de Cultura y Turismo del Gobierno castellano leonés. Y es que su palmarés no pasa inadvertido: vencedora absoluta del Vespa Raid Maroc en 2015, campeona del mundo de Bajas en 2017, campeona de España de Rally TT en 2016 y 2017, primera mujer en participar en el Rally Dakar en la categoría Original, es decir, sin asistencia mecánica (2019), y primera mujer europea y segunda del mundo en completar el Rally Dakar sin asistencia mecánica (2020), 2ª en la categoría de mujeres, sin asistencia, en el Rally Dakar 2021, subcampeona del mundo en la especialidad de Bajas y 4ª clasificada en la general de féminas en 2020.

Ingeniería y deporte, unidos en esta ocasión, han ayudado a Sara García a desarrollar su faceta de dirección y coordinación, donde la gestión del tiempo es primordial, tal y como ella misma afirma.

Sara García forma parte del elenco de ingenieras que han sido elegidas para participar en el proyecto “Mujeres ingenieras de éxito y su impacto en el desarrollo industrial”, el programa que ha puesto en marcha la Unión de Asociaciones de Ingenieros Técnicos Indus-



Sara García en plena competición del Rally Dakar. Foto: Unlimited Dakar, Victor Cuervo y Kiko Moncada.

triales y Graduados en Ingeniería de la rama industrial de España (UAITIE), y que incluye la exposición itinerante “Mujeres ingenieras de éxito”. Gracias a esta entrevista, hemos podido conocer un poco más a esta campeona.

¿Qué le llevó a decidirse por una carrera técnica?

Las salidas profesionales.

Una vez terminados los estudios, ¿cómo recuerda sus inicios en el ámbito de la Ingeniería?

Fue muy duro, ya que finalicé mis estudios en 2012, en plena crisis, y el plano laboral había cambiado radicalmente.

Técnico de laboratorio de homologación de vehículos, Ingeniera de Diseño de I+D en el sector de Defensa y directora de uno de los centros tecnológicos punteros de Europa figuran entre los puestos que ha desempeñado en el ámbito profesional, ¿con cuál de ellos se identifica más?

Cada uno me ha aportado mucho a nivel profesional, pero creo que en el que he estado más cómoda y me he sentido más realizada ha sido dirigiendo el parque tecnológico. Creo que las labores de dirección y coordinación encajan perfectamente con mi perfil.

- También fundó su propia empresa de diseño y fabricación de prototipos en Zamora, ¿cómo fue la experiencia? ¿A qué se dedicaba exactamente?

Emprender es muy duro pero merece muchísimo la pena. Siempre digo que fue mi máster, mi posgrado. Durante esos años aprendí a aplicar todo lo que había visto en la carrera, ya que mi empresa abarcaba desde el contacto con el cliente, el diseño de la solución que necesitaba y la fabricación de la misma.

¿Qué opinión le merece la profesión de ingeniero/a hoy en día?

Creo que ingeniero de la rama industrial es una de las profesiones que más campos abarca, por lo que puedes desa-



Sara García muestra su trofeo como 2ª clasificada en la categoría de mujeres, sin asistencia, en el Rally Dakar 2021. Foto: Unlimited Dakar, Victor Cuervo y Kiko Moncada.

rollarte en muchísimos ámbitos y lo veo muy positivo.

¿Qué es lo que más le gusta de su profesión?

La capacidad de crear.

Además de ingeniera emprendedora es conocida su faceta deportiva, como piloto profesional de motociclismo en la categoría de Rally/Raid, ¿cómo se conjugan ambas cosas?

Es realmente difícil llevar las dos facetas de forma paralela, pero si gestionas bien las 24 horas del día, da tiempo a todo. Creo que ello me ha ayudado a desarrollar mi faceta de dirección y coordinación, donde la gestión del tiempo es primordial.

Este año, 2021, ha recibido además el Premio Pódium al mejor deportista absoluto de Castilla y León, que convoca la Consejería de Cultura y Turismo del Gobierno castellano leonés, ¿cómo se siente al recibir este reconocimiento a

su esfuerzo y méritos deportivos?

Me enorgullece que se le haya otorgado un premio de tanto prestigio tanto a mi deporte, el motociclismo, como al deporte femenino.

¿Cómo es la experiencia de participar en el Rally Dakar?

Como los grandes retos en la vida laboral, es muy sacrificado, pero cuando consigues tu objetivo tienes una satisfacción plena, y si no logras conseguirlo, todo lo que has aprendido en el camino vale su peso en oro.

¿Cómo se gestiona una carrera tan larga a nivel mental? ¿Es necesaria una preparación psicológica además de física?

Hoy en día está muy de moda la salud mental en los deportistas, pero cuando yo comencé a competir era un tema prácticamente tabú, y es uno de los pilares del rendimiento. Gracias a mi psicóloga deportiva Bea Escartín, pude acceder a

herramientas que me ayudaron a gestionar el Dakar, pero también pude implementarlas en mi día a día.

¿Piensa que sus conocimientos y aptitudes conseguidas en la Ingeniería también han podido ser de ayuda en el ámbito deportivo?

Por supuesto, y viceversa.

¿De dónde saca esa fuerza y tesón?

Creo que es algo que tiene una parte innata, está marcado en tu forma de ser, pero que también puede trabajarse y mejorarse.

¿Cuáles son sus próximos retos deportivos?

Tenemos la mira puesta en el inminente Dakar 2022.

¿Le ha costado mucho abrirse camino en un deporte donde los hombres tienen una mayor presencia?

Me ha costado y me sigue costando, pero creo que el mayor problema es que mi deporte es un deporte minoritario y, además, para seguir avanzando, necesitamos grandes presupuestos, es decir, grandes empresas que apuesten e inviertan en nosotros; pero estas suelen escoger otros deportes con más repercusión.

¿Y en el ámbito de la Ingeniería? ¿También ha notado en algún momento estas diferencias?

Pienso que cuando eres mujer, siempre tienes que demostrar que puedes desempeñar ciertos trabajos que en un hombre se da por supuesto que va a saber desarrollar.

¿Qué les diría a las jóvenes estudiantes que están dudando si estudiar una Ingeniería?

Les diría que traten de hablar con gente que está trabajando en los puestos que ellas querían desarrollar, que escuchen sus experiencias y que valoren si eso es lo que desean realizar.

PUBLICACIONES

Fuentes y estanques ornamentales

Carlos de la Fuente Borreguero

Editorial Aula Magna. 638 págs.

ISBN 9788417979492



“Fuentes y estanques ornamentales” es el primer libro publicado que trata, con amplitud y profundidad, un tema tan original como poco común: las fuentes y estanques ornamentales. Lo que lo hace único y valioso es la manera en la que el autor proporciona

las directrices y especificaciones para el proyecto, construcción, mantenimiento y explotación de estas instalaciones. Al público objetivo de esta obra, que no es otro que todos los profesionales relacionados con dichas actividades, les será de gran utilidad para resolver los distintos problemas que se les puedan plantear al afrontar las mismas.

El autor ha plasmado los conocimientos adquiridos a través de las investigaciones realizadas sobre la eficiencia energética en alumbrado público.

Gustave Eiffel, el ingeniero que dio luz a París

A lo largo de la historia de la Torre Eiffel, esta “Dama de Hierro” se ha vestido con diferentes atuendos de luz originales y siempre llamativos, para iluminar la noche parisina. No obstante, aunque esta gran torre de luz es una de sus creaciones más importantes, el ingeniero Alexandre Gustave Eiffel también llevó a cabo otras destacadas construcciones, principalmente en los continentes europeo y americano, que merece la pena recordar

Rosa Lerma y Laura Álvaro

Con cuatro pilares, 18.038 piezas de hierro, 10.100 toneladas y 324 metros de altura, la Torre Eiffel corona con elegancia el paisaje del centro de París desde hace más de 132 años. Durante todo este tiempo, su magia y su luz han servido de inspiración a artistas y poetas, convirtiéndose en el monumento más visitado del mundo, albergando en su estructura a más de 7 millones de visitantes anualmente.

Sin embargo, como toda obra de arte, nunca estuvo libre de críticas, como fue el caso del escritor Guy de Maupassant, que abandonó París para demostrar su disgusto al finalizar las obras de construcción. Aunque la mayoría de sus detractores tardaron poco tiempo en caer seducidos por la belleza de la estructura. Construida con motivo de la Exposición Universal de 1889, que conmemoraba el primer centenario de la Revolución Francesa, su estructura estaba diseñada para permanecer tan solo 20 años en pie, pero su creador, Gustave Eiffel, planificó y logró que ese tiempo se alargara hasta la actualidad.

Para Alexandre Gustave Eiffel (Dijon, 1832 - París, 1923), ingeniero de profesión, la construcción de la *Tour Eiffel* no fue más que la demostración pública de los avances tecnológicos, industriales y arquitectónicos que se habían logrado en su país, en los que él llevaba años participando y ayudando al crecimiento. Quizá lo más curioso sea que Eiffel no era el verdadero apellido de Gustave, sino Bönickhausen, pero su familia lo tomó prestado como apodo usando de base el nombre de la región alemana de la que procedía su abuelo. Es más, no fue hasta los 48 años cuando Gustave se cambió su nombre por el que le llevaría a la fama.



Retrato de Gustave Eiffel, en 1888.

En 1867, Gustave Eiffel se lanzó en solitario y creó su propia compañía, que denominó Eiffel et Cía

Fue criado por su abuela materna en Dijon, ciudad en la que cursó sus estudios primarios, aunque poco se conoce de su infancia. Tras graduarse de su formación de bachillerato, en 1850, decidió dejar la ciudad de Dijon para trasladarse a París y matricularse en el Centre Sainte-Barbe, aunque pronto cambiaría de opinión y lo haría en la École Centrale. Su objetivo siempre fue ser ingeniero, algo que logró en el año 1855, en la rama de química, aunque su camino profesional se encaminaría a especializarse en el mundo de la metalurgia, en el que su madre tenía contactos.

Su carrera comenzó cuando fue contratado por Charles Nepveu, ingeniero constructor de máquinas a vapor, que

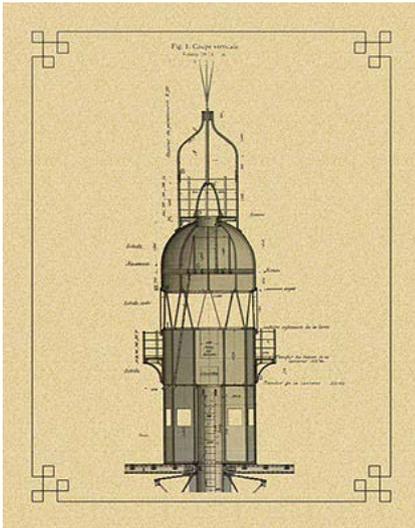
se encargaba también de la creación y fabricación de equipos ferroviarios, con quien trabajó durante un año. Su primer gran proyecto lo llevaría a cabo en 1857, con tan solo 25 años, siendo jefe del gabinete de estudios de Pauwels y Cía. Sería la construcción del Puente pasarela de Burdeos.

La actualmente denominada Pasarela Eiffel, con más de 500 metros de longitud, fue concebida por el ingeniero de puentes Stanislas de la Roche-Tolay, junto a Paul Régnauld y el joven Gustave como ingenieros jefes. La construcción, todavía en pie, se trataba de un puente metálico ferroviario ubicado sobre el río Garona. La pasarela permitió conectar las redes de dos compañías ferroviarias: la Compañía de los Ferrocarriles del Mediodía y la Compañía del Ferrocarril de París a Orleans. Pero lo más reseñable de la creación de esta pasarela fue la técnica empleada para llevarla a cabo, denominada “Procedimiento Triger”, basada en la perforación con aire comprimido durante la ejecución de los pilares tubulares.

Gustave aprovechó la construcción de la pasarela para elaborar un estudio titulado “La perforación por presión hidráulica de los pilares con relación a esta nueva técnica”, gracias al cual recibió el primer reconocimiento dentro del mundo de la metalurgia. Tanto es así, que sería posteriormente utilizada para la construcción de su obra más reconocida, la *Tour Eiffel*.

Creación de su propia compañía

Durante varios años, Gustave vivió y trabajó en obras metalúrgicas en el sur y en el oeste de Francia dentro de la empresa Pauwels and Company. No sería hasta el año 1867 cuando decidiera lanzarse en solitario creando su propia compañía, la cual denominó *Ei-*



Detalle de la linterna superior de la Torre Eiffel, recogido en el libro "La Torre de 300 metros", de Bertrand Lemoine (1900). Fuente: Wikimedia Commons.

ffel et Cie. Durante sus primeros años de andadura profesional la compañía se especializó en viaductos ferroviarios, tanto dentro del territorio francés (como es el caso de la construcción que realizó entre Commentry y Gannat), como fuera de este (España, Rumanía, Portugal, Egipto y América Latina).

De todos ellos, la construcción más importante sin duda sería la del Puente de María Pía, inaugurado en 1877, en Oporto (Portugal). Se trata del primer puente ferroviario en arco que unió las dos riberas del Duero, aunque actualmente no sigue en pie, ya que en 1991 fue sustituido por el Puente de São João. A pesar de que la construcción fue anterior, el mismo año también fue inaugurada otra construcción que también cuenta con el sello de la compañía de Gustave, la Estación Oeste de Budapest.

La compañía de Eiffel continuaría en la línea de la construcción de viaductos durante los primeros años de la década de los 80, ejemplo de ello es el viaducto de Garabit, para cuya construcción se valió de la experiencia adquirida durante la creación del Puente de María Pía. Con un peso aproximado de 3.300 toneladas y una altura de 120 metros sobre el nivel del río Truyère, fue considerado una obra maestra, dado que en el momento de la inauguración (1886) era el puente en arco más largo y alto del mundo.

Sin embargo, *Eiffel et Cie* fue poco a poco abriéndose a otro tipo de proyectos, que auguraron a Gustave un inmejorable éxito profesional, como fue la participación indispensable en la cons-

trucción de la famosa Estatua de la Libertad. Inaugurado el 28 de octubre de 1886 y situado en *Liberty Island*, este monumento, obsequio del pueblo francés al estadounidense para conmemorar el centenario de la Declaración de Independencia de los Estados Unidos, debe el diseño de su estructura interna a Alexandre Gustave Eiffel y a su compañía. Pero esta no fue la primera vez que Eiffel trabajó en el continente americano, ya que el diseño de construcciones como la estación de Ferrocarril de La Paz (Bolivia), de la Estación Central de Santiago (Chile) o de la catedral de Chiclayo (Perú), llevan su firma.

Exposición Universal de 1889

Fruto del éxito tanto nacional como internacional, así como de la experiencia conseguida, sería lograr que su proyecto para la Exposición Universal de 1889 fuese el seleccionado entre los 107 que se presentaron. La apuesta era estudiar la posibilidad de levantar sobre el Campo de Marte una torre de hierro, con una base cuadrada, con 125 metros de lado y 300 metros de alto. El resultado fue esta torre de luz que a día de hoy sigue estremeciendo corazones. Las primeras excavaciones se realizaron el día 26 enero 1887 y 2 años, 2 meses y 5 días después, el 31 marzo 1889, finalizó la construcción de la torre, en tiempo récord, lo que supuso toda una hazaña técnica.

A pesar de las innumerables críticas recibidas por parte de grandes nombres del mundo de las letras y las artes, Eiffel siempre defendió su trabajo y la belleza de la torre respondiendo con una simple pregunta: *"porque nosotros seamos ingenieros, ¿creen ustedes que la belleza no nos preocupa en nuestras construcciones y que incluso, al mismo tiempo que hacemos algo sólido y perdurable, no nos esforzamos por hacerlo elegante?"*.

Sin embargo, el mismo año que comenzó la construcción de su obra maestra, Gustave firmó el contrato para la construcción del Canal de Panamá que destruiría su reputación y pondría fin a su carrera como constructor. Se trató de un escándalo de corrupción en el que inicialmente fue declarado culpable, aunque posteriormente fue absuelto y no llegó a ser encarcelado.

Estudios sobre aerodinámica

En los últimos años de su vida y dejando a un lado el mundo de la ingeniería, Eiffel

dedicó gran parte de su tiempo a cuestiones que versaban sobre la meteorología y la aerodinámica, y como venía siendo habitual, dejó importantes contribuciones en estos ámbitos. Mientras finalizaba sus estudios sobre aerodinámica, Eiffel se dedicó a recoger datos meteorológicos en las instalaciones que tenía ubicadas en sus diferentes propiedades.

En lo que a aerodinámica se refiere, quiso investigar el comportamiento de las diferentes formas y perfiles dentro de una corriente de aire, por lo que construyó una máquina en el segundo piso de la torre Eiffel, realizando un primer ensayo el 30 de julio de 1903, pruebas que continuaron hasta el año 1906. Fue en 1909 cuando Eiffel instaló su primer túnel de viento en el Campo Marte, cerca de su grandiosa torre. De igual forma, continuó con las pruebas del túnel del viento, llegó a realizar hasta 4.000, y pudo construir uno mayor, de segunda generación, que vería la luz en 1912 y que alcanzaba velocidades de aire más altas, y cuyo diseño fue patentado en ese mismo año. La contribución de Gustave al desarrollo de la aerodinámica fue reconocida por numerosas y aclamadas instituciones.

La obra de Eiffel ha sido y sigue siendo muy ensalzada por todos los turistas que viajan a París. Sin duda es un emblema de la ciudad francesa, convertida en la Ciudad de la Luz por semejante monumento. En palabras del propio Eiffel, simboliza el siglo de la industria y la ciencia en la que se vivía. Una carrera, la de Eiffel, marcada por las grandes construcciones e importantes distinciones que hacen de este ingeniero una mente brillante que hizo de París la Ciudad de la Luz con una esencia que da la vuelta al mundo.

La larga carrera industrial de Eiffel le ha supuesto distinciones de muy diverso tipo, entre las que destacan la de presidente de la Sociedad de Ingenieros Civiles en 1880, presidente del Congreso Internacional de Procesos de Construcción en la Exposición de 1889, presidente de la Asociación de Alumnos de la Escuela Central, o miembro del Consejo de Desarrollo de esta Escuela, entre otras muchas. De igual forma, a nivel internacional, las empresas de ingeniería más reconocidas le han otorgado el título de miembro honorario. A todo ello, se suma el concedido en las exposiciones de 1878 y 1889, donde Eiffel obtuvo el más alto de los premios, un Gran Premio.

Engineidea, la plataforma participativa de la UAITIE

Engineidea.es es la plataforma de innovación abierta de la UAITIE que permite a las empresas, instituciones y administraciones públicas presentar desafíos asociados a la innovación y la sostenibilidad.

Los retos son planteados a la comunidad en línea de Ingenieros, quienes plantean propuestas, ideas y soluciones creativas, motivados por incentivos económicos y/o laborales. Esta plataforma basa su método de trabajo en el *crowdsourcing*, una fórmula de colaboración abierta participativa, que consiste en externalizar tareas y realizar proyectos a través de comunidades masivas profesionales.

Concurso de ideas de innovación social: "soluciones para Madrid"

Ante las consecuencias ocasionadas por la pandemia del COVID-19 en Madrid, y apostando por el futuro de una ciudad más sostenible, inteligente y tecnológica, nace esta iniciativa que, además, ha recibido apoyo por el Ayuntamiento de la capital.

El proyecto consta de dos fases principales: la primera "Ideas para Madrid", ya finalizada; y la segunda "Soluciones para Madrid", que se encuentra abierta y que consiste en el lanzamiento de una serie de desafíos bajo los criterios y especificaciones de la sociedad madrileña, en la que la actuación de nuestra comunidad de ingenieros tendrá un papel fundamental. Este sistema de participación fomentará activamente la creación de numerosos equipos de ingeniería, promoviendo activamente el asociacionismo entre asociadas y asociados.

Los dos retos que han tenido mayor acogida por la ciudadanía madrileña, y que se han lanzado en la plataforma de Engineidea son "Diseño de una mascarilla inteligente" del área 1. *Proyectos para hacer frente a las consecuencias de la pandemia por el COVID-19*, e "Ideas para integrar las energías renovables en Madrid" del área 2. *Proyectos para la evolución inteligente y sostenible de Madrid*. Para participar, los ingenieros han de inscribirse en la plataforma de retos de Ingeniería, Engineidea.es, y presentar su proyecto antes del 2 de diciembre. El usuario participante que entregue la mejor idea y proyecto, se le adjudicará un premio de 2.000 €.

Premio Nacional de Iniciación a la Investigación Tecnológica

Los alumnos de 3º y 4º cursos de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y de



Imagen de los dos retos que se han lanzado en la plataforma Engineidea.



Cartel del VII Premio Nacional UAITIE.

1º y 2º de Bachillerato que estén cursando las asignaturas de Tecnología o Tecnología Industrial de toda España, están llamados un año más a participar en un concurso de referencia nacional.

La Unión de Asociaciones de Ingenieros Técnicos Industriales y Graduados en Ingeniería de la Rama Industrial de España (UAITIE) organiza la séptima edición de este certamen y mantiene la esencia y espíritu de sus inicios, en la búsqueda de medidas que contribuyan a reducir la carencia de las vocaciones científico-tecnológicas y de fomentar los estudios de ingenierías de la rama industrial en el entorno educativo español.

El ingenio y la creación de los proyectos en esta edición deben estar basados en las siguientes temáticas: "Diseño Industrial, Ahorro Energético, Gestión de Residuos, Atención a la Discapacidad, Energías Renovables, Urbanismo Inteligente, Robótica, e Inteligencia Artificial", de posible aplicación a su entorno doméstico, urbano o escolar.

Todas las inscripciones al Concurso (alumnos, coordinadores y centros colaboradores) deberán realizarse a través del correo electrónico: premionacional@uaitie.es, y tendrán reconocida su participación por parte de la UAITIE, mediante un diploma acreditativo.



COGITI

Formación
e-learning



➤ *Campus Virtual: Oferta formativa - Selección de cursos*

Gestión de la Producción

Diseño y mantenimiento de instalaciones de energía solar fotovoltaica

Certificación energética de edificios nuevos y existentes

Formas Jurídicas y Fiscalidad

REVIT 2018 + MEP instalaciones on-line

Fundamentos de la gestión de proyectos (Project Management Basics)

Cálculo de la Huella de Carbono Corporativa

Mediciones y presupuestos con Arquímedes y Generador de Precios de CYPE

Cálculo y diseño de instalaciones eléctricas de Baja Tensión

Proyectos de adaptación de locales con CYPECAD MEP

Auditor de sistemas integrados de gestión

Inglés

Alemán

Instalaciones Térmicas en Edificios: calefacción y Agua Caliente Sanitaria

Mediciones y presupuestos con Arquímedes y Generador de Precios de CYPE

Esto es tan sólo una muestra del catálogo de cursos técnicos que encontrará en nuestra Plataforma online. Los cursos son constantemente renovados y adaptados a las necesidades actuales.

www.cogitiformacion.es



COGITI

Consejo General de Colegios Oficiales
de Graduados e Ingenieros Técnicos
Industriales de España

Mupiti Vida

FLEXIBLE

El seguro de vida
con el que puedes
contratar el

DOBLE

o el

TRIPLE

del capital

DOBLE

- capital por fallecimiento por accidente
- capital por incapacidad permanente absoluta por accidente

x2

TRIPLE

- capital por fallecimiento por accidente de circulación
- capital por incapacidad permanente absoluta por accidente de circulación

x3

El Seguro Mupiti Vida Flexible es un seguro cuya cobertura básica es el fallecimiento por cualquier causa, además de la flexibilidad de contratar otras coberturas, como la incapacidad permanente absoluta o el doble o triple capital asegurado.

Algunas posibles opciones son:

- Fallecimiento
- Fallecimiento + doble
- Fallecimiento + doble + triple
- Fallecimiento + IPA
- Fallecimiento + IPA doble
- Fallecimiento + IPA + IPA doble + IPA triple
- Fallecimiento + todas las garantías complementarias

Más información en:
900 820 720
virginia@mupiti.com
www.mupiti.com

