

premio internacional
A LA INNOVACIÓN EN CARRETERAS

JUAN ANTONIO FERNÁNDEZ DEL CAMPO

SIMEVIA

SISTEMA INTEGRADO DE
MANTENIMIENTO Y
EJECUCIÓN EFICIENTE
DE INFRAESTRUCTURAS
VIALES CON
TECNOLOGÍAS DE
INTELIGENCIA ARTIFICIAL

DÉCIMA EDICIÓN

2023 • 2024

Trabajo premiado

DÉCIMA EDICIÓN

2023 • 2024



premio internacional

A LA INNOVACIÓN EN CARRETERAS

JUAN ANTONIO FERNÁNDEZ DEL CAMPO

SIMEVIA

SISTEMA INTEGRADO DE
MANTENIMIENTO Y EJECUCIÓN
EFICIENTE DE INFRAESTRUCTURAS
VIALES CON TECNOLOGÍAS DE
INTELIGENCIA ARTIFICIAL

JOSÉ RAMÓN ALBERT GARCÍA

JOSÉ RAMÓN LÓPEZ MARCO

JESÚS FELIPO SANJUAN

AITOR GUTIÉRREZ BASAURI

JON ANDER RUIZ MARTÍNEZ

ANDER ANSUATEGUI COBO

IÑAKI MAURTUA ORMAECHEA

Presidente



D. MIGUEL ÁNGEL DEL VAL MELÚS

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, con Premio Extraordinario, por la Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático (Full Professor) de Ingeniería de Carreteras en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. Medalla de Plata de la Carretera en 1991 (AEC).

Miembro del Consejo Directivo de la Asociación Española de la Carretera desde 2014.

Vocales (relacionados alfabéticamente)



Dª ROSA MARÍA ARCE RUIZ

Doctora Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos (UPM). Catedrática del Departamento de Ingeniería del Transporte, Territorio y Urbanismo. Directora del Centro de Investigación del Transporte (TRANSyT, UPM). Medalla de Honor de la Carretera con Mención Especial (2023). Medalla de Honor del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (2021).



D. ENRIQUE BELDA ESPLUGUES

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director General de la Autoridad Portuaria de Valencia. ExSubdirector General de Sistemas de Información y Comunicaciones para la Seguridad de la Secretaría de Estado de Seguridad del Ministerio del Interior. Medalla de Honor de la Carretera con Mención Especial (AEC).

IV Premio Internacional a la Innovación en Carreteras "Juan Antonio Fernández del Campo".



D. ALEJANDRO ALFREDO BISIO

Ingeniero en Construcciones por la Universidad Nacional de La Plata. Consultor Independiente en Ingeniería Vial. ExCoordinador de Calidad, Investigación y Desarrollo en la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina. Docente en la Maestría de Ingeniería de Transporte, Orientación Vial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

Docente de Grado en la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

Secretario



D. JACOBO DÍAZ PINEDA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Secretario de la Fundación de la Asociación Española de la Carretera (FAEC). Director General de la Asociación Española de la Carretera (AEC). Presidente del Instituto Vial Ibero-Americano (IVIA).



D. ESTEBAN DIEZ ROUX

Ingeniero Civil. Doctor en Filosofía y Maestro en Ciencias en Ingeniería. Asesor Senior de Operaciones en la Oficina del Vicepresidente Ejecutivo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Asesor de los Gobiernos de Latinoamérica y el Caribe en Política de Transportes.



D. ALFREDO GARCÍA GARCÍA

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Catedrático de Ingeniería de Carreteras del Departamento de Ingeniería de los Transportes y del Terreno, Universitat Politècnica de València. Director del Instituto del Transporte y Territorio, Universitat Politècnica de València.

Director de la Cátedra Torrescámar. VI Premio Internacional a la Innovación en Carreteras "Juan Antonio Fernández del Campo" y sendos Accésits en las ediciones II y IX.



D. FELIPE JIMÉNEZ ALONSO

Doctor Ingeniero Industrial y Máster en Ingeniería de la Automoción. Licenciado en Ciencias Físicas. Catedrático en el Área de Vehículos y Transportes de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.

Subdirector de Investigación y Responsable del Área de Sistemas Inteligentes del Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA).



D. HERNÁN OTONIEL FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ

Ingeniero Civil, Especialista en Vías Terrestres. Maestro en Ingeniería. Magister en Dirección Universitaria. ExRector y Profesor Emérito de la Universidad del Cauca. Profesor Honorario de la Universidad de Arkansas. Consultor de organismos internacionales en países latinoamericanos.



D. CLEMENTE POON HUNG

Ingeniero Civil por la Universidad Autónoma de Guadalajara. Maestría en Administración de la Construcción en el Instituto Tecnológico de la Construcción. ExDirector General de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México. Presidente de la XIX Mesa Directiva de la Asociación Mexicana

de Ingeniería de Vías Terrestres. Vicepresidente del XXXIII Consejo Directivo del Colegio de Ingenieros Civiles de México. Académico Titular de la Academia de Ingeniería México.



Dª MARÍA DEL CARMEN RUBIO GÁMEZ

Doctora Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos (Universidad de Granada). Catedrática de Ingeniería la Construcción en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Granada. Directora del Grupo de Investigación LabIC.UGR.

Medalla de Honor de la Carretera con Mención Especial (2022). IX Premio Internacional a la Innovación en Carreteras "Juan Antonio Fernández del Campo".



D. HERNÁN EDUARDO DE SOLMINIHAC TAPIER

Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Máster y PhD en Ingeniería Civil por la Universidad de Texas. Profesor Titular de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

ExMinistro de Obras Públicas y ExMinistro de Minería de Chile. Presidente del Colegio de Ingenieros de Chile y miembro del Comité Ejecutivo del Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales de la Universidad Católica de Chile.



D. GERMÁN EDUARDO VALVERDE GONZÁLEZ

Licenciado en Ingeniería Civil por la Universidad de Costa Rica. Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Ingeniería de Transportes, por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Maestría en Administración de Negocios por FUNDEPOS-Universidad de Costa Rica. ExMinistro de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica y

ExDirector Ejecutivo del Consejo Nacional de Vialidad. ExCoordinador del Programa de Infraestructura de Transporte del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) de la Universidad de Costa Rica. Consultor Nacional e Internacional.

Comisión de Valoración

Dª MARÍA DEL MAR COLÁS VICTORIA

Responsable del Departamento Técnico de Asfaltos • MOEVE

D. GABRIEL CUERVO LEICACH

Grupo de Trabajo de Vehículo Autónomo y Conectado • COLEGIO DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

Dª ELENA DE LA PEÑA GONZÁLEZ

Subdirectora General Técnica • ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA (AEC)

D. JESÚS DÍAZ CUEVAS

Director Técnico • LANTANIA

D. ÁLVARO DÍAZ DÍEZ DE BALDEÓN

Gerente de Asistencia Técnica y Desarrollo de Asfaltos • REPSOL LUBRICANTES Y ESPECIALIDADES, S.A.

Dª ELENA HIDALGO PÉREZ

Directora de Calidad, Medio Ambiente e I+D+i • EIFFAGE CONSTRUCCIÓN

Dª MARTA RODRIGO PÉREZ

Secretaria de la Comisión de Valoración • FUNDACIÓN DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA (FAEC)

Dª PILAR SEGURA PÉREZ

Jefa del Servicio de Materiales. Dirección Técnica • DRAGADOS

D. IÑAKI ZABALA ZUAZO

Director del Área Norte • IECA-OFCEMEN

Fallo del Jurado de la X Edición del Premio Internacional a la Innovación en Carreteras Juan Antonio Fernández del Campo”, adoptado en reunión celebrada en Madrid, el día 5 de noviembre de 2024

El martes 5 de noviembre de 2024, a las 16:00 horas, se reunían en sesión híbrida (presencial + telemática) los miembros del Jurado de la “X Edición del Premio Internacional a la Innovación en Carreteras *Juan Antonio Fernández del Campo*”, actuando como Presidente D. Miguel Ángel del Val Melús, y como Secretario, D. Jacobo Díaz Pineda.

(...)

Tras una intensa deliberación, el Jurado acuerda otorgar el galardón como mejor trabajo de innovación en carreteras presentado a la “X Edición del Premio Internacional a la Innovación en Carreteras *Juan Antonio Fernández del Campo*” al original que lleva por título **“SIMEVIA: Sistema Integrado de Mantenimiento y Ejecución Eficiente de Infraestructuras Viales con Tecnologías de Inteligencia Artificial”**, del que son autores D. José Ramón Albert García, D. José Ramón López Marco, D. Jesús Felipe Sanjuan, D. Aitor Gutiérrez Basauri, D. Jon Ander Ruiz Martínez, D. Ander Ansuategui Cobo y D. Iñaki Maurtua Ormaechea.

Asimismo, el Jurado acuerda reconocer con un Accésit el trabajo titulado **“Hacia la Modernización del Análisis del Estado Superficial de Pavimentos en Argentina”**, del que son autores D. Gustavo Mezzelani, D. Franco A. Piazza, D. Lucas A. Bresciani, D^a Diana S. Cainelli, D. Horacio P. Terráneo, D. Julián Matter, D^a Juana Rubiolo, D^a Giuliana Seifer, D. Lucas Chiabrando y D. Ilán Salomón.

PRESENTACIÓN



Miguel Ángel del Val Melús

Presidente del Jurado de la X Edición del “Premio Internacional a la Innovación en Carreteras *Juan Antonio Fernández del Campo*”

A la X edición del Premio Internacional a la Innovación en Carreteras *Juan Antonio Fernández del Campo* han concurrido diecinueve trabajos, dos más que en la precedente. No son demasiados si se tiene en cuenta que, aunque haya quienes pretendan ignorarlo, la carretera vive una época de numerosas y llamativas innovaciones como consecuencia de tener que enfrentarse a retos de muy diversa naturaleza: la digitalización, la conectividad, la descarbonización, la seguridad de la circulación, la contribución a la economía circular, etc. Estos retos imponen profundas transformaciones en los países con redes viarias maduras, a la vez que, en aquellos otros en los que las carencias en materia de vialidad son aún muchas, condicionan los modelos de desarrollo, que tienen que ser diferentes de los tradicionales.

Los trabajos presentados han procedido de seis países: Argentina, Chile, España, México, Perú y Portugal. Teniendo en cuenta que una de las características del Premio es que los originales deben estar escritos en español y que, por tanto, se dirige a la comunidad iberoamericana, el número de países representados en esta ocasión es escaso. Las razones no son fáciles de dilucidar, pero una de ellas radica, probablemente, en la difusión de la convocatoria, que quizás tendría que ser revisada, puesto que no cabe duda de que en los países que no han concurrido también se está innovando en materia de carreteras. Esa revisión debería ser considerada en el lanzamiento de la próxima edición.

Como es lógico, los temas abordados en esos diecinueve trabajos son variados, relacionados tanto con los materiales de construcción, una constante en todas las ediciones del galardón, como con la explotación viaria, la gestión de la conservación, las mejoras ambientales, etc. En comparación con las ediciones precedentes ha habido una disminución del número de propuestas relacionadas con la seguridad de la circulación, mientras que han surgido con fuerza las que tienen que ver con el aprovechamiento de la inteligencia artificial para la mejora de procesos de variada índole.

Este es el panorama que se le ofrecía el Jurado del Premio cuando se reunió el 5 de noviembre de 2024 para emitir su fallo. Dada la variedad de los temas y, así mismo, considerando la diversidad de perfiles profesionales de los trece miembros del Jurado, el proceso de análisis conducente a dicho fallo no solo se ha basado en la calidad objetiva, sino también en el contraste entre las preferencias de unos y otros. En todo caso, las bases del certamen establecen qué aspectos deben ser tenidos en cuenta para valorar cada trabajo: aportación al desarrollo de la tecnología de carreteras, originalidad, carácter innovador, calidad, excelencia de las soluciones que aporta, posibilidades de aplicación práctica, relevancia de las conclusiones y esfuerzo investigador. Como Presidente del Jurado no puedo sino manifestar mi plena satisfacción por cómo se llevaron a cabo las discusiones y las subsiguientes votaciones, algo que era predecible dado el prestigio de los colegas a los que he tenido el honor de coordinar. Es obligado que deje constancia de mi agradecimiento al patronato de la Fundación de la Asociación Española de la Carretera por haberme brindado la oportunidad de poder desarrollar una tarea tan gratificante.

También resulta muy estimulante tener la ocasión de sumergirse en unos trabajos que muestran hacia dónde avanza hoy día la tecnología de carreteras y cuáles son las preocupaciones de quienes se dedican a ella en diferentes

ámbitos. En este momento el lector tiene entre manos solo el trabajo premiado, pero, si desea ampliar su visión, estará disponible a lo largo de 2025 un número extraordinario de la revista Carreteras en el cual se incluirán los resúmenes de seis o siete de los trabajos que han concurrido a esta convocatoria del Premio.

El trabajo premiado tiene por título el de *Sistema integrado de mantenimiento y ejecución eficiente de infraestructuras viales con tecnologías de inteligencia artificial (SIMEVIA)*. Ha sido desarrollado en España y sus autores son José Ramón Albert García, José Ramón López Marco, Jesús Felipe Sanjuán, Aitor Gutiérrez Basauri, Jon Ander Ruiz Martínez, Ander Ansuátegui Cobo e Iñaki Maurtua Ormaechea. Los tres primeros se formaron en su día en la Universidad de Valencia y los cuatro últimos en la del País Vasco; mientras aquellos desarrollan su labor profesional en Pavasal, acreditada empresa constructora radicada en Valencia, estos pertenecen a Tekniker, un centro tecnológico del País Vasco. Estamos pues ante una muestra señera de la tendencia actual de estrecha colaboración entre empresas dedicadas a una actividad industrial tradicional y otras basadas en una actividad de I+D+i.

Es el lector quien tendrá que juzgar por sí mismo la calidad y el interés del trabajo galardonado, pero de lo que está seguro quien esto escribe es que hace honor al espíritu con el que fue creado el Premio, así como a la memoria del insigne ingeniero, investigador, profesor y empresario que le da nombre. Precisamente en 2024 se han cumplido veinte años de la desaparición del inolvidable maestro, que lo fue de muchos de los que nos dedicamos a la carretera, Juan Antonio Fernández del Campo.

En Madrid, a 3 de diciembre de 2024

EL FACTOR DEL ÉXITO



**Juan Francisco Lazcano
Acedo**

Presidente de la Fundación
de la Asociación Española
de la Carretera

Si hay algo que caracteriza a las sociedades es su evolución constante, su cambio, su ruptura, su resurgimiento... De manera cíclica o espontánea, la innovación determina el devenir de los tiempos y solo a través de sus claves es posible adelantar e interpretar el futuro.

La innovación crea valor y es un factor de éxito. Incluso se podría afirmar que es el “factor del éxito”.

En un escenario en el que el conservadurismo ha perdido toda su impronta, se abre paso con una fuerza arrolladora aquello que suene a diferente, a nuevo.

Durante el siglo XX, cuando el progreso global de las infraestructuras viarias experimentaba sus cotas más altas, las carreteras eran concebidas para una vida útil de, al menos, cien años, una característica asociada a sus elevados costes de diseño y construcción que, en algunos casos, ha podido lastrar su conversión en el soporte imprescindible para los desarrollos e innovaciones que, a un ritmo casi vertiginoso, experimentan los vehículos.

Sin olvidar el aspecto sociológico, fundamental a mi entender. Porque hoy tenemos necesidades distintas a las de antaño que los avances tecnológicos han contribuido en buena medida a generar; demandamos otros productos y

prestaciones vinculados a valores que han llegado para quedarse y que van a desembocar en nuevos modelos sociales, económicos, culturales y, también, en nuevos y revolucionarios modelos de movilidad.

Hacer frente a esta encrucijada conceptual, que nos instala en la incertidumbre como sector y como industria, exige de profesionales multidisciplinares, capaces de crear vínculos y establecer interrelaciones más allá de su campo de estudio. Y es a ellos a quienes se dirige el “Premio Internacional a la Innovación en Carreteras Juan Antonio Fernández del Campo”, a hombres y mujeres que buscan soluciones recurriendo a procedimientos disruptivos, que destacan en su afán por hallar nichos allá donde nunca se pensó que pudiera haberlos, que asumen riesgos y cuyo pensamiento sortea con extraordinaria valentía los obstáculos que lo desconocido pone ante ellos.

Me enorgullece comprobar que esta forma de ver el mundo, ese mundo que en muy poco se parece al de ayer y que, probablemente, nada tenga que ver con el de mañana, se ha instalado en la comunidad científica y técnica del sector viario, siempre dispuesto a fortalecer la musculatura económica y social, insuflando vigor para seguir afrontando con audacia los retos de nuestro tiempo, sea cual fuere su naturaleza y dificultad.

Por todo ello, es una enorme satisfacción ser testigo de cómo la ingeniería civil en lengua española ha cosechado gran prestigio en la escena internacional, algo que puede apreciarse también en los países latinoamericanos.

Desde 2005, año de su creación, el “Premio Internacional a la Innovación en Carreteras Juan Antonio Fernández del Campo” de la Fundación de la Asociación Española de la Carretera (FAEC) constituye la reivindicación de esta realidad. Y además de poner en valor la investigación viaria en lengua española alrededor del mundo, este Premio es también el reconocimiento y home-

naje a una figura que fue un visionario en su tiempo, un hombre de pensamiento creativo que aportó altas dosis de innovación al campo viario de ibero-Latinoamérica. Me estoy refiriendo a quien da nombre a este galardón, el Doctor Ingeniero Juan Antonio Fernández del Campo y Cuevas, de cuya desaparición se han cumplido, en abril de 2024, dos décadas.

La investigación ganadora de la presente Edición del Premio, la décima, lleva por título *“SIMEVIA: Sistema Integrado de Mantenimiento y Ejecución Eficiente de Infraestructuras Viales con Tecnologías de Inteligencia Artificial”*, y se reproduce íntegramente en estas páginas.

Desde aquí transmito a sus audaces y brillantes autores mi más sincera enhorabuena por el gran trabajo que han presentado a concurso y que, finalmente, se ha alzado con el Premio.

Además, el Jurado de la X Edición del certamen ha concedido un *Accésit* al trabajo que lleva por título *“Hacia la Modernización del Análisis del Estado Superficial de Pavimentos en Argentina”*, del que son autores los argentinos Gustavo Mezzelani, Franco A. Piazza, Lucas A. Bresciani, Diana S. Cainelli, Horacio P. Terráneo, Julián Matter, Juana Rubiolo, Giuliana Seifer, Lucas Chiabrando y Ilán Salomón, a quienes también traslado mis felicitaciones.

Presidido por el prestigioso profesor Miguel Ángel del Val Melús, Catedrático (*Full Professor*) de Ingeniería de Carreteras en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, el Jurado de esta convocatoria ha tenido que sortear importantes dificultades asociadas a la calidad y nivel de los originales que han concursado. Pero, sin duda, haciendo gala de una loable ecuanimidad y gracias a los vastos

conocimientos de todos sus integrantes, he de afirmar que el Jurado ha realizado una magnífica labor, que no puedo por menos que poner de manifiesto y agradecer en nombre del Patronato de la FAEC.

Deseo finalizar estas líneas dejando constancia, asimismo, de mi gratitud y reconocimiento a todas las empresas e instituciones que patrocinan y apoyan esta iniciativa: CBNK, Moeve y Repsol, la Dirección General de Carreteras e Infraestructuras de la Consejería de Transportes e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid, Oficemen (Agrupación de Fabricantes de Cemento de España) y Dragados, Acciona Infraestructuras, Eiffage Construcción, Euroconsult, FCC Construcción, Ferrovial Construcción, Lantania, OHLA y Sacyr.

Y, por supuesto, gracias también a todos los profesionales que han presentado sus trabajos a esta décima convocatoria de nuestro Premio. Su valía es tal que es mi obligación animarlos a que prosigan su labor investigadora, con optimismo y convencimiento.

En Madrid, a 3 de diciembre de 2024

SIMEVIA

SISTEMA INTEGRADO DE MANTENIMIENTO Y EJECUCIÓN EFICIENTE DE INFRAESTRUCTURAS VIALES CON TECNOLOGÍAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Autores:

José Ramón Albert García
José Ramón López Marco
Jesús Felipo Sanjuan
Aitor Gutiérrez Basauri
Jon Ander Ruiz Martínez
Ander Ansuategui Cobo
Iñaki Maurtua Ormaechea

Índice de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN	16
2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS	20
3. TECNOLOGÍAS DESARROLLADAS E IMPLEMENTACIÓN	22
3.1. Equipo robótico para tareas de conservación de infraestructuras viales	22
3.1.1. Test de validación	33
3.2. Herramienta de optimización en fabricación-transporte- ejecución de mezclas asfálticas	34
3.2.1. Test de validación	43
3.3. Sistema de seguridad en maquinaria pesada	44
3.3.1. Test de validación	53
4. PRÓXIMOS PASOS	57
4.1. Herramienta para diseño de mezclas asfálticas	58
4.2. Sistema de fabricación de mezclas asfálticas	58
5. CONCLUSIONES	59
6. BIBLIOGRAFÍA	61

1. INTRODUCCIÓN

Cuando pensamos en procesos efectivos y eficientes a día de hoy, pensamos en la automatización y mecanización. Sin embargo, sus orígenes se remontan a principios del siglo XVIII durante la primera revolución industrial, cuando la mecanización de los procesos de producción y la invención de la máquina de vapor condujeron a la creación de las primeras máquinas automatizadas. A mediados del siglo XX, la invención de controladores programables y el desarrollo de tecnología electrónica e informática, condujo a una mayor automatización en la fabricación y otras industrias. Pero el verdadero despegue de la automatización ha llegado en el siglo XXI con el advenimiento de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático e IoT, que han permitido a las máquinas realizar tareas más complejas y tomar decisiones de forma autónoma. Hoy en día, el desarrollo de tecnologías como la Visión e Inteligencia Artificial (VIA), el Machine Learning, los Gemelos Digitales, Big Data, Redes Neuronales, junto con el desarrollo de la robótica, están permitiendo un cambio sin precedente en el mundo industrial. Sin embargo, lejos de provocar la destrucción de puestos de trabajo, se espera que estas tecnologías creen 133 millones de nuevos empleos asociados a nuevas funcionesⁱ.

El mundo de la construcción históricamente no se ha alineado con estos desarrollos. Desde finales del

siglo XIX y durante todo el siglo XX, se produjeron grandes avances en el campo de mecanización y automatización que llevaron al desarrollo de maquinaria específica y nuevos procedimientos de construcción que permitieron el desarrollo de las grandes infraestructuras que utiliza actualmente nuestra sociedad. Además, estos avances incrementaron la eficiencia de los recursos humanos y materiales, aumentando la seguridad durante la ejecución. Sin embargo, estos desarrollos aún están lejos de los alcanzados en otros campos dentro del sector industrial, a pesar de que en los últimos años se ha avanzado considerablemente en el campo de la IA. Según informes de la consultora McKinsey Companyⁱⁱ, la información que se tiene del empleo de estas tecnologías anteriormente mencionadas indica que el mundo de la construcción presenta un porcentaje bajo de empresas que las emplean, siendo dicho porcentaje entre los más bajos de los estudiados. Además, la expectativa de demanda de tecnologías con IA dentro del sector en los próximos 3 años es poco halagüeña debido a la tendencia reacia del mismo a implementar nuevas tecnologías.

Los casos de uso de IA en la construcción aún son relativamente incipientes, aunque un conjunto reducido de empresas emergentes está ganando tracción y atención en el mercado por sus enfoques centrados en la IA. Hay algunos ejemplos de etapas iniciales

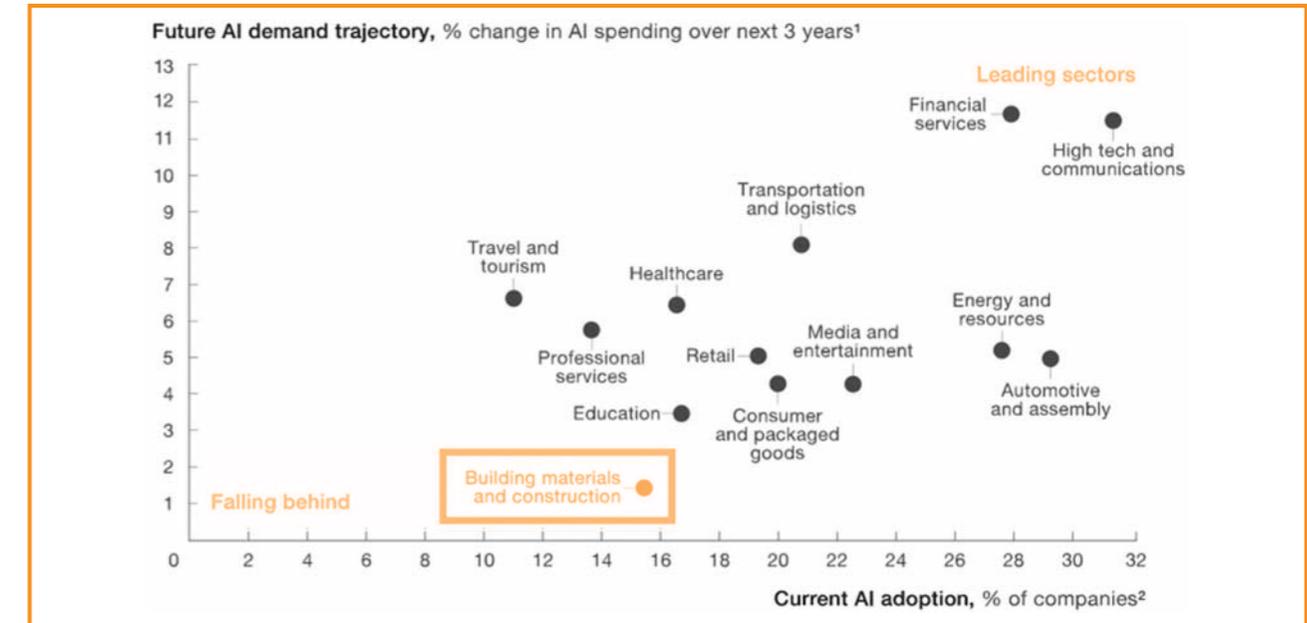


Figura 1.- Porcentajes de empresas con IA y la expectativa de la demanda en los próximos tres añosⁱⁱⁱ.

que las empresas de construcción pueden evaluar con la ayuda de la IA:

- Los optimizadores de cronogramas de proyectos pueden considerar millones de alternativas para la entrega del proyecto y mejorar continuamente la estructuración general de los mismos.
- El reconocimiento y la clasificación de imágenes pueden evaluar los datos de video recopilados

en los lugares de trabajo para identificar el comportamiento inseguro de los trabajadores y agregar estos datos para orientar las prioridades futuras de capacitación y educación.

- La búsqueda de procesos eficientes desde el punto de vista de fabricación.

Sin embargo, en el ámbito diario no existen claros ejemplos de un uso integrado que permitan utilizar todo el potencial que puede aportar la IA.

Por ello, en la solución SIMEVIA “Sistema Integrado de Mantenimiento y Ejecución eficiente de Infraestructuras Viales con tecnologías de Inteligencia Artificial”, el objetivo principal es desarrollar soluciones innovadoras mediante la aplicación de tecnologías que integren IA, con el fin de obtener herramientas tecnológicamente avanzadas que permitan intervenir toda la cadena de valor en construcción de infraestructuras viales y su mantenimiento de forma eficiente desde el punto de vista económico, medioambiental y de la seguridad de los trabajadores.

SIMEVIA, como estrategia corporativa, agrupa diversas mejoras dentro de un paraguas de avance en la sostenibilidad de los procesos implicados en las infraestructuras viales, obteniendo el mayor rendimiento posible en el conjunto global de las actuaciones necesarias dentro de dichas infraestructuras. Estas mejoras son:

- **La digitalización de procesos.**
- **Un mantenimiento optimizado de las infraestructuras viales.**
- **Una fabricación avanzada y eficiente.**
- **Una logística adaptativa y ágil.**
- **Un nivel de seguridad máxima en la ejecución de acciones.**



Figura 2.- Cadena de valor obtenida empleando tecnologías IA.

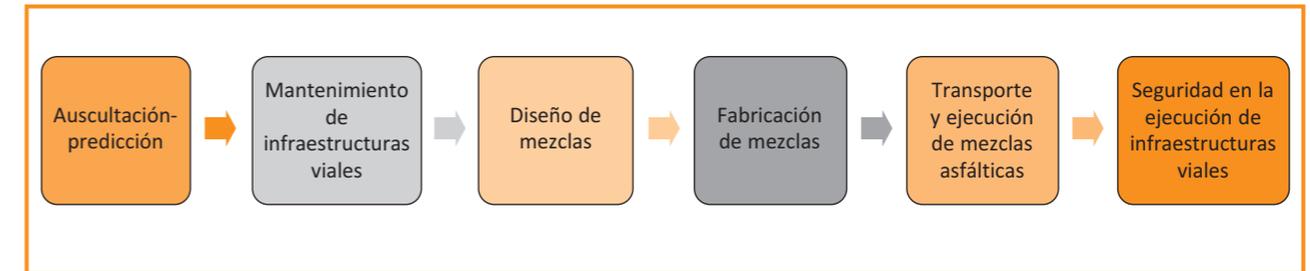


Figura 3.- Conjunto global de actuaciones en construcción y mantenimiento de infraestructuras viales.

Para lograr estas mejoras, los autores creen necesario el desarrollo de herramientas y sistemas específicos basados en IA para el conjunto de acciones a realizar en la construcción y mantenimiento de infraestructuras viales. Estas herramientas y sistemas son las que conforman SIMEVIA.

En una primera etapa, se desarrolló una herramienta de auscultación y predicción de comportamiento del firme, **que permite priorizar las actuaciones de mantenimiento y conservación de la red, basándose principalmente en la identificación y cuantificación de los deterioros presentes en las carreteras a partir del procesamiento de imágenes obtenidas de la grabación de la superficie de las vías mediante un sistema de cámaras instalado en un vehículo convencional y utilizando técnicas de IA basadas en el Deep Learning.**

En la presente fase, se han desarrollado diversas actuaciones que implementan tecnologías incorporando diferentes herramientas basadas en la IA (robotización, Deep Learning, Big Data) para diferentes etapas dentro de la cadena de valor de las infraestructuras viales:

1. **Mantenimiento de infraestructuras viales**
2. **Fabricación, transporte y ejecución de mezclas asfálticas**
3. **Seguridad en ejecución de infraestructuras viales**

Estas actuaciones de forma independiente, ya son de por sí, mejoras dentro de cada uno de los procesos en los que intervienen, pero SIMEVIA integra una estrategia de mejora dentro de la cadena de valor de las infraestructuras viales, haciendo de nexo de unión entre los diferentes desarrollos.



Figura 4.- Etapas y tecnologías IA implicadas en las infraestructuras viales.

2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS

Como hemos indicado en el objetivo principal, la premisa es desarrollar soluciones innovadoras para el sector de la construcción de infraestructuras viales empleando IA con el objetivo de:

- Realizar tareas de conservación de infraestructuras viales, priorizando la seguridad de los operarios y usuarios.
- Optimizar el proceso de fabricación, de ejecución y transporte de mezclas bituminosas.

- Incrementar la seguridad en la ejecución de infraestructuras viales en la que esté implicado el uso de maquinaria pesada.

Para obtener estos objetivos, se han desarrollado herramientas para diferentes fines en la construcción y mantenimiento de infraestructuras viales:

1. Un equipo automatizado, que incluye un sistema robótico y elementos de visión e identificación mediante IA, capaz de realizar tareas de mantenimiento de infraestructuras viales

tales como sellado de fisuras, borrado de señalización horizontal, limpieza de señales verticales, instalación de elementos de seguridad y colocación de señalización, que posibilita:

- Reducir a cero la siniestralidad de los operarios de conservación, al eliminar la necesidad de su exposición al tráfico.
- Reducción del tiempo de exposición máxima al preparar la maquinaria necesaria para tareas de conservación.
- Reducir la accidentalidad asociada de los usuarios de la vía en conservación.

2. Un sistema de optimización del proceso de fabricación, transporte y puesta en obra de mezclas bituminosas, basado en IA-Big Data, que permite:

- Incrementar la eficiencia del proceso fabricación-distribución, optimizando el rendimiento de fabricación y el tiempo de distribución a las obras de materiales según las prioridades, condiciones particulares y restricciones en cada caso, con el criterio de minimización del coste total de fabricación-distribución-ejecución.
- Reducir el consumo de combustibles fósiles empleados tanto en la fabricación de las mez-

clas como en el transporte de las mismas a la obra mediante el incremento del rendimiento en planta y en la distribución, mejorando la huella de carbono asociada a la construcción de infraestructuras viales debido a la mejor adecuación de dicha fabricación y transporte, minimizando los periodos de latencia que actualmente se asocian a este tipo de materiales.

- Desarrollar un sistema de digitalización que permite la trazabilidad del proceso de las mezclas asfálticas, obteniendo un sistema totalmente informatizado, teniendo control sobre el producto ejecutado, aumentando el control de calidad del mismo debido a su carácter perecedero.

3. Un sistema de predicción de accidentes en obras de extendido de mezclas bituminosas, compuesto por un hardware y software integrado en maquinaria pesada, que incorpora visión e identificación mediante IA-Deep Learning, que permite:

- Reducir la accidentalidad asociada a las actividades desarrolladas en la obra y que ponen en riesgo la integridad de los trabajadores presentes en la misma, así como de los usuarios que se puedan ver expuestos a las actividades realizadas por maquinaria pesada.

- Implantar un sistema autónomo que permita la toma de decisiones en cuestiones de seguridad, obteniendo un sistema totalmente informatizado que permita tener control sobre la maquinaria, disminuyendo el riesgo de incidencias debido a la reducción de fallos en situaciones no controlables por operadores humanos.

A continuación se van a describir con más detalle los tres desarrollos enumerados anteriormente, así como los resultados obtenidos.

3. TECNOLOGÍAS DESARROLLADAS E IMPLEMENTACIÓN

Para lograr los objetivos individuales para cada una de las etapas que componen la cadena de valor en el mantenimiento, conservación y construcción de infraestructuras viales, se han diseñado diversos productos que implementan diversas tecnologías, cuyo componente principal es la IA, los cuales mostramos a continuación:

3.1. Equipo robótico para tareas de conservación de infraestructuras viales

El contexto general de desarrollo en el continente europeo hace que la inversión en infraestructura de transporte en general y en infraestructura viaria en

particular se centre principalmente en la gestión integral de activos viarios existentes. Así, la Industria 4.0, con el auge de la robotización, la digitalización y la IA, han cambiado el prisma tanto de los requisitos técnicos en carreteras, como de las técnicas que se deben de emplear en la conservación de activos.

Hasta el momento, las automatizaciones en el sector de la construcción y mantenimiento de carreteras se han limitado, por una parte, a la auscultación de las vías y, por otra, a la sensorización y perfeccionamiento de las labores de extendido y compactación de las capas del firme automatizando y mejorando aspectos clave como la regularidad, la geometría de la rasante y los relacionados con el control de la compactación y temperatura del proceso. Incluso con estos avances, la maquinaria utilizada precisa de un férreo control humano existiendo, además, multitud de operaciones que siguen teniendo un fuerte carácter manual. Este carácter presencial conlleva una sobreexposición de todo el personal a los riesgos propios de las actividades en obra y, sobre todo, al tráfico presente en las actividades de conservación, siendo el principal factor determinante de atropello en la multitud de actividades realizadas en las carreteras con tráfico abierto^{iv}.

Ante esta fuerte dependencia del factor humano y la problemática de seguridad asociada cabe plantearse la introducción de nuevas tecnologías que contribuyan a mitigar estos aspectos, como pueden ser la

Utilizando las tecnologías anteriormente descritas, en el proyecto se ha diseñado y fabricado una plataforma robótica modular polivalente capaz de realizar diferentes acciones de mantenimiento de carreteras en las que, además, se incorporan sistemas de VR y AR. El planteamiento general propuesto para lograrlo consiste en utilizar componentes comerciales para construir una plataforma compuesta por un brazo robótico y otros accesorios que puedan acoplarse a un camión estándar. Esta plataforma puede ser utilizada en diversos escenarios de mantenimiento de carreteras, ofreciendo una solución modular, flexible, segura y de bajo coste.

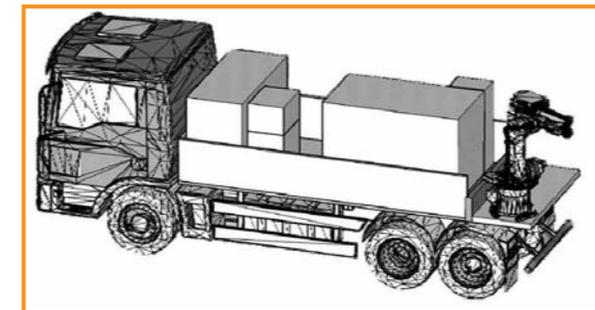


Figura 5.- Modelo conceptual y fabricación de la plataforma robótica multifunción polivalente.

introducción de elementos robóticos y utilización de tecnologías de realidad virtual (VR) o aumentada (AR). Ambas pueden asistir a operarios y técnicos, no solo en el propio entorno de trabajo en obra, sino también en los procesos de entrenamiento y aprendizaje.

El diseño final propuesto consiste en un contenedor tipo multilift con una plataforma trasera donde se sitúa un brazo robótico para realizar distintas operaciones de mantenimiento. Este contenedor contiene espacio suficiente para albergar todos los elementos que componen el sistema, diseñados ad hoc para satisfacer los requisitos de las operaciones. La mayoría de las acciones previstas se pueden realizar de manera autónoma gracias a la combinación de herramientas de Visión e Inteligencia Artificial mediante el uso de sistemas de percepción y redes neuronales que permiten la detección automática de conos, señales de tráfico y grietas en el pavimento. Además, se han fabricado herramientas específicas ensambladas al robot para la manipulación de los elementos que constituyen cada operación de mantenimiento.

Por otro lado, se ha diseñado una arquitectura de software en Robot Operating System (ROS) para controlar el robot, lo que permite obtener una solución independiente del fabricante. Por último, la utilización de AR permite la supervisión humana realizada desde una distancia segura en la cabina del vehículo o incluso

de manera remota en cualquier otra localización mediante teleoperación, eliminando así el riesgo que supone el entorno operativo y la exposición excesiva del personal al tráfico, mientras que la AR facilita las instrucciones a seguir durante el proceso de mantenimiento e instrucciones de manejo del robot en la aplicación diseñada.

A continuación, se describen las intervenciones de mantenimiento cubiertas por la plataforma robótica.

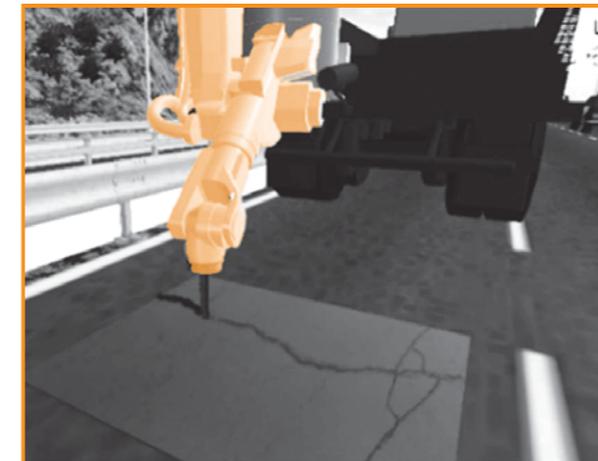
➤ Operaciones de mantenimiento de sellado de grietas.

Esta es una operación que resulta muy peligrosa en obra, no solo porque los operarios estén expuestos a los peligros propios de la obra en cuanto al tráfico se refiere, sino porque la propia ejecución conlleva en sí mismo un riesgo intrínseco debido a la ejecución manual de la aplicación de materiales bituminosos líquidos a altas temperaturas.

Para realizar estas tareas se precisan normalmente 3 o 4 operarios situados siempre sobre el carril de trabajo (cortado al tráfico), por lo que siguen expuestos al peligro clásico del atropello en obra. Así pues, el hecho de utilizar una plataforma robótica que elimine por completo la intervención humana directa en el proceso de sellado resulta muy interesante, sobre todo, en términos de seguridad laboral.

El objetivo técnico de esta operación comprendió la automatización completa de la operativa para eliminar el factor humano de las zonas expuestas al tráfico. Para ello se estableció:

- La identificación de grietas usando visión artificial y técnicas del Deep Learning.
- La generación automática y en tiempo real de trayectorias online robóticas a lo largo de la grieta.
- El desarrollo de la herramienta de sellado que combine todas las fases del proceso en una única tarea.



Además, este proceso automatizado cuenta con tecnologías de VR y AR, donde la VR se emplea en el proceso de formación de los operarios, ya que con esta tecnología se evita exponer a una persona inexperta en áreas de riesgo. Por otro lado, la AR se utiliza como soporte para el operario encargado de supervisar el proceso de sellado automatizado a través de una tablet desde la cabina del camión, pudiendo interrumpirlo y corregirlo si fuera preciso.

El proceso trabaja siguiendo la siguiente secuencia:

1. Posicionamiento del camión en el origen de las grietas mediante localización GPS de las



Figura 6.- Imágenes de VR del proceso de sellado de grietas para entrenamiento.

- mismas, donde el conductor es apoyado con las imágenes de una cámara trasera para visualizar la carretera y herramientas AR para hacer coincidir el camión con el área de actuación.
2. Captura de la imagen completa del pavimento mediante una cámara de visión 3D montada en el robot para aplicar los algoritmos de reconocimiento de grietas mediante técnicas de Deep Learning.
 3. Algoritmo de la secuencia de actuación en el área de trabajo y ejecución automática del proceso de sellado con la herramienta diseñada que combina todas las operaciones especificadas en el proceso actual. Estas tareas son el soplado en frío y en caliente de la grieta, vertido del sellante y dispersión del árido de cobertura.
 4. Validación visual de los resultados y modificación por parte del operario supervisor, en caso de ser necesario.

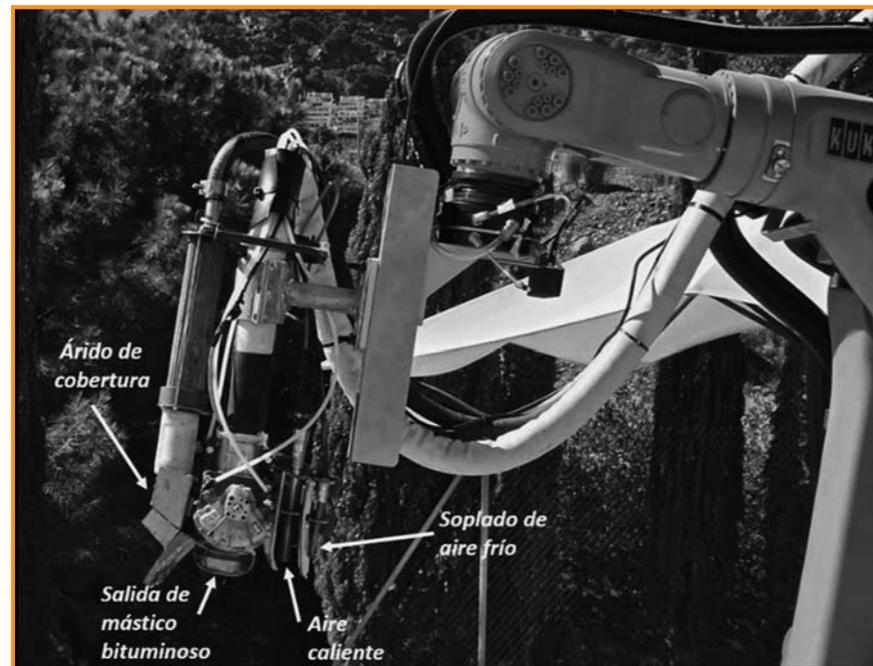


Figura 7.- Detalle de herramienta de sellado.

5. Repetición del proceso en todas las áreas que contengan grietas.
6. Posicionamiento del camión en la siguiente área de sellado a través de herramientas AR para hacer coincidir la continuidad del sellado.

La automatización del proceso también ha incluido la automatización de la máquina selladora actual, cuyo control es manual, readaptando la estructura para que

encaje en la plataforma robótica construida y poder fijarla adecuadamente.

La plataforma está equipada con los elementos requeridos para la automatización de la operación como son: el controlador del robot, el cuadro eléctrico de control de maniobras, un generador eléctrico, un compresor de aire, el depósito de árido y la máquina selladora con las conducciones hasta la herramienta de sellado montada en el extremo del brazo robótico.

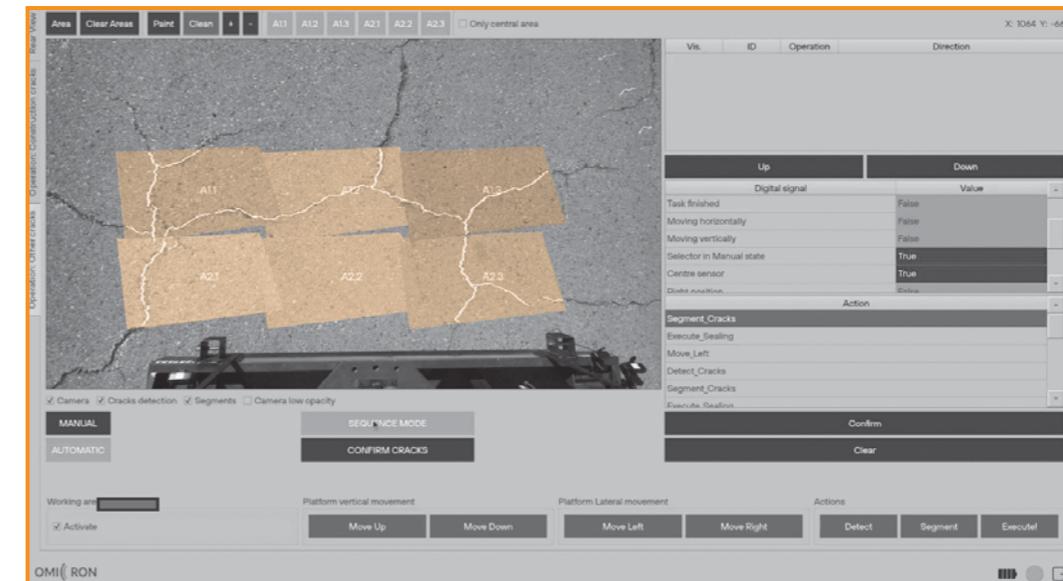


Figura 8.- Interfaz de usuario.

➤ **Eliminación de las marcas viales horizontales mediante láser.**

En numerosas ocasiones, las operaciones de conservación producen cambios en el trazado o modificaciones en el número o anchura de los carriles, lo que implica la eliminación de la señalización horizontal presente. Es muy común tener que recurrir a eliminar una determinada flecha de desvío o señal de stop que ha dejado de estar vigente. Para estos casos, actualmente existen principalmente dos técnicas:

1. La más económica y común consiste en realizar un repintado con pintura negra sobre la señal antigua. En estos casos, la diferencia de contraste con la superficie del firme provoca que se siga percibiendo la forma de la señal a modo de sombra, así que, dependiendo de la incli-

nación y dirección de la luz solar se producen reflejos que pueden provocar confusión en los conductores afectando, en mayor medida, a los sistemas de conducción asistida de los vehículos

2. La segunda opción más extendida es el fresado de la superficie de la señal o la utilización de agua a alta presión mediante hidrolimpiadoras. Con estos sistemas mecánicos se consigue eliminar la pintura y, aunque mejoran el aspecto del rozamiento, provocan un mayor deterioro de la superficie. Además, debido a este deterioro superficial, sigue apreciándose la sombra de la forma original de la señal

Ante esta problemática, se ha realizado una investigación en la que se eliminan estas señales horizon-



Figura 9.- Ejemplos de señales sobrepintadas de negro y borradas con hidrolimpiadoras.

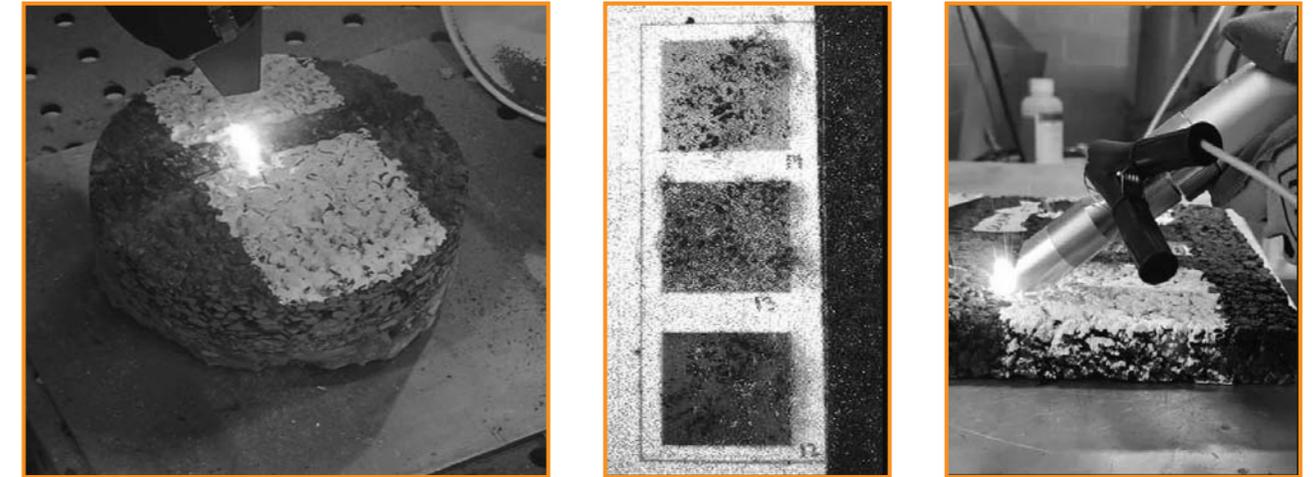


Figura 10.- Proceso de borrado con tecnología láser robotizado.

tales mediante la utilización de técnicas láser. Con este tipo de tecnología se puede obtener una mayor sensibilidad a la hora de eliminar el espesor deseado de la capa pintura y, por tanto, mejorar la calidad de la intervención tratando de minorar el reflejo de la sombra sin deteriorar la superficie o afectar al rozamiento superficial.

El proceso está automatizado mediante el uso de VIA para la detección automática de señales horizontales y la robotización del mismo. Además, la plataforma incorpora los elementos necesarios para el proceso automático completo como son el con-

trolador láser unido mediante una conducción a la pistola de disparo, situada en el extremo del brazo robótico.

La pistola láser está protegida mediante una carcasa fabricada con impresión 3D y diseñada a medida donde se incorpora también un sistema de aspiración capaz de arrastrar partículas sólidas y humos y un sistema de soplado con aire a presión para realizar la limpieza previa del pavimento. Por último, para facilitar el deslizamiento horizontal de la herramienta impulsada y guiada por el brazo robótico, la herramienta incluye un sistema de ruedas.

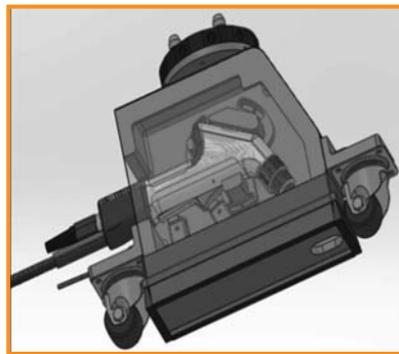
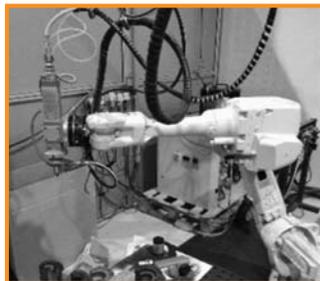
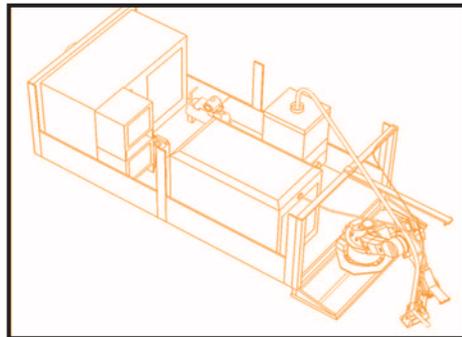


Figura 11.- Plataforma robótica, robotización y herramienta del proceso láser.

➤ **Instalación automática de barreras de seguridad.**

La sustitución de barreras de seguridad es una operación muy común dentro del mantenimiento de carreteras, ya sea debido a un accidente o a su propio deterioro. Para el montaje y desmontaje de dichas barreras, los operarios deben levantar y mantener su peso en suspensión hasta lograr anclar la misma a los postes y las barreras contiguas con la tornillería pertinente. Asistir a estos operarios sustentando estas cargas de manera efectiva y práctica se puede traducir en una mejora de la ergonomía, de la prevención de accidentes y de las bajas laborales asociadas de estas actividades.

Esta asistencia es la que se implementa en este caso de uso, con la utilización de un brazo robótico colocado en la plataforma trasera del camión anteriormente descrito. Así, según un protocolo de colocación establecido semejante al utilizado actualmente de la Dirección General de Carreteras, el brazo robótico asume la parte pesada de dicha operación, descargando la barrera, posicionándola a la altura correcta. En ese momento el brazo robótico entra en un modo de ingravidez que le permite ser fácilmente dirigido por el operario hasta encajar la barrera en la posición correcta sin tener que realizar ningún esfuerzo, permitiendo la colocación de la tornillería de una forma fácil y segura. Una vez concluido este proceso, el robot libera la barrera para proseguir con la siguiente instalación.

Para estas operaciones, el brazo robótico dispone de una herramienta acoplada especialmente diseñada para la sujeción de la barrera metálica. Toda la operación está teleoperada mediante el uso de AR, donde el sistema asiste al operador proporcionándole instrucciones sobre los pasos a seguir en la intervención, lo que le ayudará a ser más eficiente y aumentar la seguridad al reducir el tiempo de ejecución en obra.

➤ **Instalación de señalización de obra: colocación y recogida de conos.**

Para la realización de cualquier obra de mantenimiento, es obligatorio la colocación de la señalización pertinente acorde a la legislación vigente en la

norma de carreteras española 8.3-IC “Señalización de obras”. Esta señalización ordena el tráfico, informando y advirtiendo a los usuarios acerca de los carriles hábiles y carriles cerrados. La colocación de esta señalización también conlleva un riesgo en los trabajadores ya que, en ocasiones, deben acarrear pesadas señales de tráfico atravesando varios carriles, o es necesario colocar y retirar rápidamente la línea de conos que separan los carriles hábiles de los cortados.

Para estas operaciones se ha desarrollado una solución que, mediante la utilización de la plataforma robótica, permite descargar estas señales, así como extender y retirar la línea de conos de manera automática sin la intervención de ningún operario.

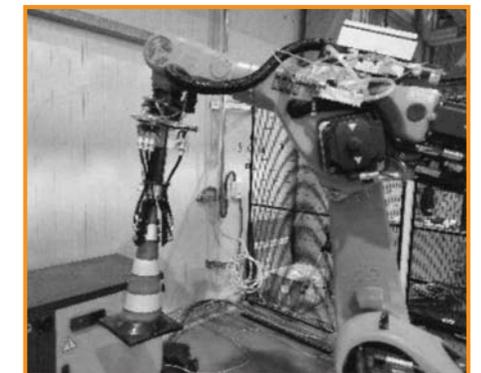


Figura 12.- Robotización de la operación de instalación de conos.

En concreto, para esta operación de retirada de conos se ha fabricado una herramienta ad-hoc que se acopla a la muñeca del robot permitiendo la colocación y retirada de los conos a la velocidad de circulación del camión, tal y como se realiza actualmente con los sistemas implantados, donde un operario sentado en la

parte trasera de una furgoneta va colocándolos o retirándolos. La automatización del proceso es factible gracias a los sistemas de reconocimiento basados en IA que son capaces de identificar el cono, así como la distancia a la que debe dejarlo o recogerlo y comandar el robot para realizar la operación, lo que permite un

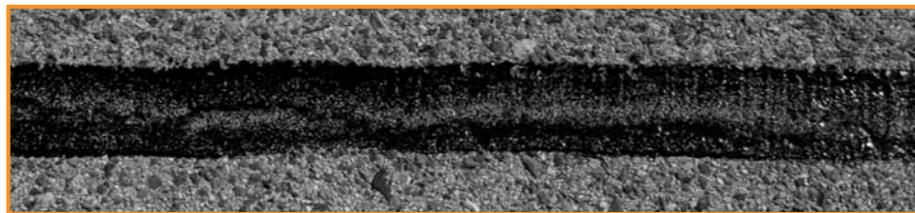


Figura 13.- Dcha.: Sellado grieta de eje. Izq.: Sellado grietas long-trans, Abajo: Resultado de grieta sellada.

proceso automatizado de colocación y retirada, sin la necesidad de operarios.

➤ Limpieza de señales viales verticales.

El último caso de uso de la plataforma robótica es la limpieza de señales verticales. En la actualidad, esta operación es realizada por los operarios mediante sistemas de pulverización de agua a presión. En este caso, el brazo robótico asume la operación de limpieza de estos activos viarios minimizando la exposición de los trabajadores al tráfico. De la misma forma que en los casos anteriores, el sistema utiliza un conjunto de cámaras de visión artificial que proporcionan las imágenes para que la IA sea capaz de reconocer la señal, su tipo y dimensiones, para planificar y ejecutar de forma autónoma un trazado con el brazo robótico para cubrir toda el área de la misma hasta limpiarla totalmente.

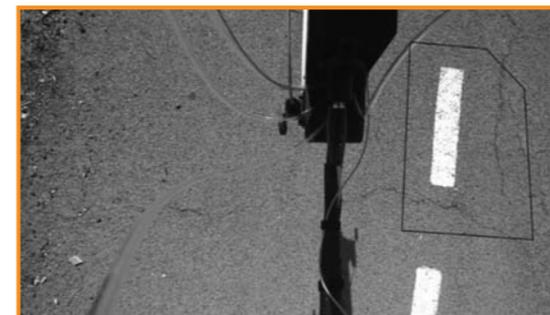


Figura 14.- Detección de señalización horizontal a borrar y la máscara resultante.

3.1.1. Test de validación

Para validar el producto, se ha testado el uso de la plataforma y el software en entorno real en tareas de sellado de grietas y eliminación de pintura, dentro de una zona de conservación perteneciente a la Dirección General de Carreteras con el fin de evaluar sus bondades, obteniendo óptimos resultados como se puede observar en las siguientes imágenes:

Como se puede observar en las imágenes, se han realizado tareas de conservación habituales sin la presencia de operarios en la zona de actuación, lo que incrementa enormemente la seguridad de la operación de las tareas de conservación, tanto del operario como de los usuarios, ya que únicamente participa en dicha tarea un elemento móvil sin la presencia física en la vía de los operarios que actualmente son necesarios para dichas tareas.



Figura 15.- Borrado de señal sin cambio de textura.

Con esta operativa se validan las funcionalidades de la plataforma robótica modular y multifuncional, verificando su capacidad de abarcar distintas actividades de mantenimiento utilizando como base la misma estructura de transporte, lo que hace reducir los costes de equipamiento en cada una de las operativas, ya que solo es necesario intercambiar los elementos específicos que requiere cada operación.

3.2. Herramienta de optimización en fabricación-transporte-ejecución de mezclas asfálticas

Hasta hace poco tiempo, la digitalización global en el ámbito de la construcción parecía una quimera debido a la alta variabilidad en las etapas constituyentes producidas fuera de un entorno industrial convencional. La gran cantidad de datos necesarios hacía inviable un

proceso totalmente controlado, hasta la llegada de la IA. El campo que abarca la producción, transporte y ejecución de las mezclas asfálticas no es ajeno a esta problemática.

El proceso se inicia con una planificación inicial de los trabajos a realizar (localización, distancia a la obra, producción horaria tanto de la planta de fabricación como del extendido de obra), la cual es una tarea que viene asociada a la volatilidad dentro del día a día. Existe una estimación, aproximadamente de carácter semanal de trabajos, pero que puede variar debido a factores externos al proceso interno que la pueden modificar dentro de jornada, como son obras que no han cumplido con la ejecución por parte externa, condiciones meteorológicas cambiantes, tráfico...

La planificación de producción y transporte normalmente se realiza en la jornada de antes a la jornada de la ejecución (día N-1). En ella, se calculan los viajes necesarios con el material adecuado para cada una de las obras a ejecutar en el día N. Con ello se planifica la producción en la planta y el transporte necesario, intentando obtener un ritmo de fabricación constante, minimizando el número de paradas posibles dentro de la fabricación.

Durante la jornada N, en la planta de producción se fabrican las mezclas asfálticas siguiendo la planificación realizada en el día N-1, optimizando el proceso de fabricación para poder trabajar a régimen al inicio de la jornada. Una vez fabricada, se inicia el proceso de transporte a las obras, el cual se debe llevar en el



Figura 16.- De la planta a la obra existen muchos pasos.

mínimo tiempo posible, debido al carácter perecedero del material.

El transporte del material conlleva un proceso en el que el material fabricado en la planta asfáltica se lleva a la obra mediante camiones, con diversas capacidades dependiendo de la tipología de la obra. Una vez finalizada la descarga en obra, el camión vuelve a la planta para volver a cargar material fabricado y reinicia el proceso hacia la misma obra. A este proceso se le denomina “ronda”.

Esto supone la necesidad de emplear transporte que realice varias rondas con un mismo recorrido (planta-obra asignada), para poder suministrar todo el material a obra. Teniendo en cuenta que cada obra está a una distancia determinada y el tiempo de empleo del material es variable, resulta complejo poder definir una secuencia de distribución óptima que permita reducir los tiempos empleados en cada una de las fases del proceso.

En estas rondas, existen paradas asociadas a diversos factores, como son:

- Obras no preparadas para recibir el material en el día de ejecución, que retrasan los inicios de las obras.
- Incidencias en el tráfico.
- Roturas de maquinaria o planta de producción.
- Retrasos en la ejecución.

El actuar por rondas y el desconocimiento de los tiempos de ejecución, ocasiona que existan periodos de parada dentro de la ejecución y fabricación de mezclas, debido a la falta de transporte necesario para llevar las mezclas y para poder fabricarlas. Además, la cantidad de variables y la falta de datos asociados hacen muy complejo el problema. Cuando se dispone de varias obras, existen periodos de espera debido a la falta de material, lo que conlleva una ineficiencia del proceso desde el punto de vista económico y medioambiental.

Los principales problemas que se planteaba mejorar eran:

- Distribución de carga óptima de cada uno de los materiales para cada una de las obras previstas.
- Optimización del pago del transporte. Lograr una mejor distribución para reducir el coste por tonelada transportada y kilómetro.
- Redistribución del transporte si alguna de las variables varía con el tiempo (avería, retraso).

La mayoría de los procesos implicados normalmente se desarrollan de manera manual (fabricación en función de la toma de decisiones del jefe de planta, distribución del material por el transportista, ejecución del extendido de las mezclas bituminosas por el equipo de trabajo). Es por ello que el empleo de una herramienta que permita conocer los resultados de cada uno de los procesos (monitorización y sensores) así como una visión global de los mismos, mejora la toma de decisiones de cada uno de los implicados.

Los principales procesos que se realizan diariamente para poder desarrollar la ejecución de mezclas asfálticas son:

- 1. Fabricación del material y carga en la planta:** Debemos conocer con precisión el tipo de material necesario y la cantidad de cada uno de ellos. Es importante entender que, para poder fabricar material se necesita disponer de camiones sobre los que poder descargar el mismo.
- 2. Transporte y distribución del material:** El material se debe llevar hasta el punto en el que se sitúe la obra en cuestión. En este sentido afectarían las paradas reglamentarias de los transportistas, el estado del tráfico, así como la facilidad para acceder hasta la obra.

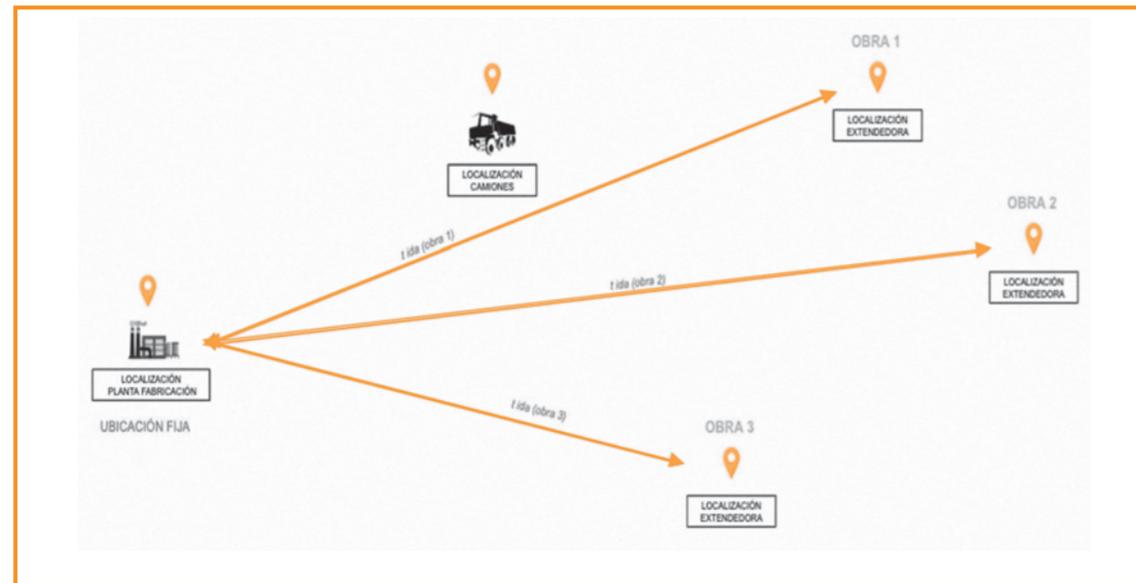


Figura 17.- Diagrama de proceso actual por rondas (Elaboración propia).



Figura 18.- Restricciones con el modelo actual de trabajo (elaboración propia).

3. Extendido y compactación del material en obra: Una vez se dispone de material en obra, se procede al extendido del mismo en el mínimo tiempo posible por medio de la maquinaria pesada propia de la ejecución (extendedoras y compactadoras). La descarga del material no tiene por qué ser constante, ya que depende de la tipología de obra.

Estos pasos se repiten a lo largo del día hasta completar la ejecución de obra o la jornada laboral, por tanto, llegar a un equilibrio óptimo entre los medios materiales empleados y rendimiento obtenido resulta complejo. Para conseguir un mayor rendimiento en obra y planta, sería interesante tener un gran número de camiones, pero esto a su vez supone un coste desproporcionado y un consumo innecesario.

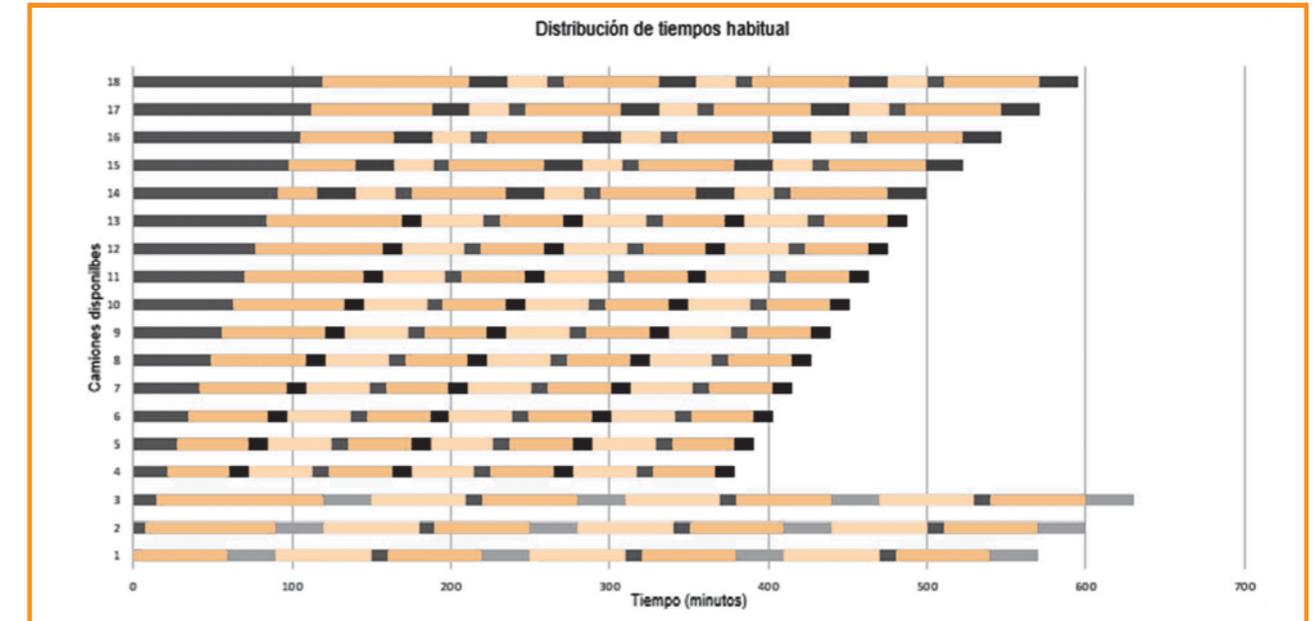


Figura 19.- Distribución de tiempos habitual con tres obras de ejecución de mezclas asfálticas. (Elaboración propia).

Sin embargo, hay una solución al problema. Un estudio de viabilidad teórico previo realizado internamente nos muestra que los periodos de espera se pueden reducir en gran medida. Teniendo en cuenta una sistemática habitual en una jornada laboral, con tres obras suministradas con material desde una única planta y una ejecución dependiente del tiempo de transporte y producción, la disposición de los mismos sería la que se muestra en la Figura 19.

Con esta disposición, la distribución de ejecución es muy desigual, siendo altamente ineficiente con un gran número de paradas en una de las obras. Por ello se introduce un concepto nuevo, denominado “ruptura de ronda”. En él, el transporte no está asociado a una única obra, sino que está disponible para todas ellas. Si se introduce el concepto de “ruptura de ronda”, donde el transporte es enviado allí donde se produce el menor tiempo de espera global, se produce la siguiente disposición:

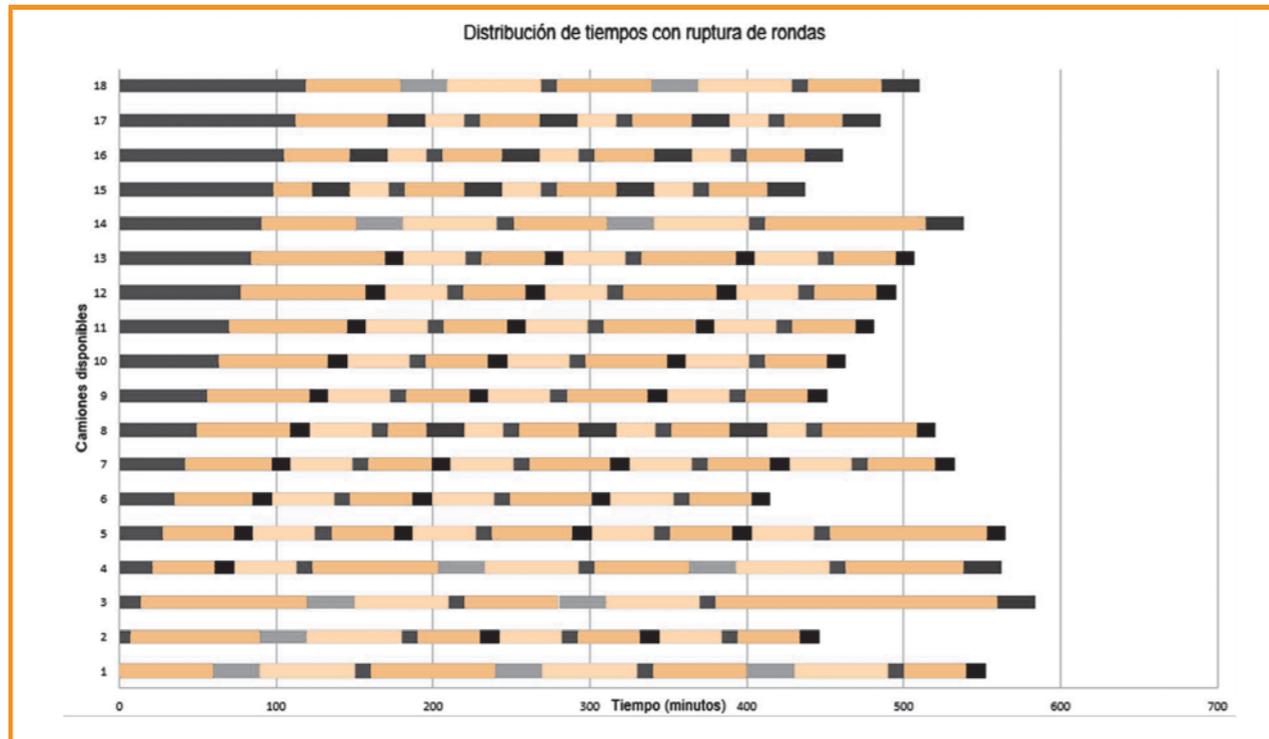


Figura 20.- Mejor distribución de tiempos con ruptura de ruedas con tres obras de ejecución de mezclas asfálticas. (Elaboración propia).

Se observa que se puede obtener una mejor distribución de tiempos, minimizando el número de paradas en la ejecución de las obras, con una reducción de un 15% del tiempo en ejecución. Esta reducción también lleva asociado un menor tiempo en espera de los camiones que transportan el material y una mejor producción de

la planta, reduciendo tiempos de fabricación. Todo ello, evaluado sin considerar incidencias que puedan ocurrir en el transcurso de la jornada y que en el mundo de la construcción son muy habituales (obras no preparadas, afecciones de tráfico, meteorología adversa con retrasos en inicio...).

Por ello, se desarrolló una herramienta asociada a la introducción de algoritmos de IA adaptados al proceso de la fabricación, transporte y ejecución de mezclas asfálticas para obtener óptimos en planificación durante la jornada N-1 y una digitalización de todo el proceso para poder actuar en la jornada N en tiempo real debido a la gran variabilidad de condicionantes.

La complejidad de nuestro objetivo obligó a la realización de un proyecto que, con ayuda del Internet de las Cosas (IoT) y algoritmos IA, nos permitiese conocer una solución óptima que englobara todos los aspectos que intervienen en el procedimiento productivo. Es decir, se requería de una solución que permitiese el adecuado tratamiento del “Big Data” generado gracias a la toma de datos mediante la digitalización total de nuestro proceso.

Podría parecer que el problema se basaba en un problema de gestión de flotas, pero no era así ya que las condiciones específicas lo hacían incompatible con las soluciones existentes:

- La localización es fija. No se debe encontrar el óptimo respecto a la menor distancia recorrida (caso del algoritmo del viajero).
- El transporte debe volver a un punto fijo para la vuelta a la carga. No se distribuye todo el material en un único viaje (no es válido el algoritmo de reparto de mercancías o VRP).

- El material a ejecutar no siempre es el mismo, por lo que las condiciones de fabricación pueden variar para una única obra, ampliándose o reduciéndose los tiempos de fabricación y por tanto de transporte y ejecución.
- Dependiendo de la planta, se puede tener silos capaces de producir material y almacenarlo hasta la llegada del transporte, minimizando el tiempo de producción.
- El proceso de ejecución no es constante, por lo que hay que evaluar todos los posibles parámetros y condiciones de ejecución para obtener un algoritmo válido.

El desarrollo del algoritmo de IA es una innovación en este proceso. Por ello, se desarrolló un algoritmo hecho a medida para las características mencionadas.

Sin embargo, este algoritmo, por sí solo, únicamente sería capaz de proveer de una solución óptima en la jornada N-1 de planificación. **Para ser una herra-**

mienta útil, se integraron los datos suministrados en el día N a través de herramientas de digitalización (localización GPS del transporte, indicación de inicio-fin extendido, llegada de transporte a obra y planta...) en tiempo real para poder actuar con la mayor precisión posible, dentro de unas tolerancias, para ser un elemento disruptor dentro del proceso, con la capacidad de replanificar en cuestión de segundos según se producían desviaciones respecto a lo planificado en el día N-1, como son:

- Variaciones de la producción

- Redistribución del transporte a otras obras si se averiaban equipos o camiones
- Redistribución de trabajos si se producían retrasos o no iniciaban los planificados

Los procesos de fabricación, transporte y ejecución son controlados y visualizados a través de cuadros de mandos, con la información necesaria para cada uno de los usuarios implicados (jefes de obra, jefes de plantas, encargados de obras y transporte), localizando desviaciones respecto a lo planificado. Toda la

Tipo	Obr	Materia	Estado	Res. O	Res. U.	Programado	In. O	Fin. O	In. D	Fin. D	In. P	Fin. P	In. R	Fin. R
Transporte	0719242	96790C	Finalizado	1	1	0700	0843	0717	0800		0700	0843		
Transporte	0719242	80030P	Finalizado	1	2	0708	0838	0717	0800		0708	0838		
Transporte	07149300	42719Z	Iniciado	1	1	0710	1008	0712	0800	048	0710			
Transporte	0719242	78380G	Finalizado	1	3	0723	0800	0717	0800		0723	0800		
Transporte	0719242	38030P	Finalizado	1	4	0730	1003	0717	0800	043	0730			
Transporte	0719242	80030P	Finalizado	1	5	0734	0814	0718	0801		0734	0814		
Transporte	0719242	64300Z	Iniciado	1	6	0741	1003	0734	0807	043	0741			
Transporte	0719242	19890H	Iniciado	1	7	0743	1003	0730	0813	043	0743			
Transporte	0719242	01740D	Iniciado	1	8	0740	1003	0736	0819	043	0740			
Transporte	0719242	74060H	Iniciado	1	9	0747	1003	0742	0825	043	0747			
Transporte	0719242	17480L	Iniciado	1	10	0751	1003	0748	0831	043	0751			
Transporte	07009804	12380L	Iniciado	1	1	0805	0837	0815	0833	017	0805			
Transporte	07009804	28070L	Iniciado	1	2	0812	0837	0821	0839	017	0812			
Transporte	07009804	71120G	Iniciado	1	3	0822	0837	0827	0845	017	0822			
Transporte	07009804	15610H	Iniciado	1	4	0829	0837	0833	0851	017	0829			
Transporte	0719242	96790C	Iniciado	1	11	0843	1003	0754	0837	043	0843			
Estimado	0719242	96790C	Finalizado	1	1	0843	0843	0800	0810		0843	0843		
Estimado	0719242	96790C	Finalizado	1	1	0843	0843	0810	0853		0843	0843		
Transporte	0719242	80030P	Iniciado	0	12	0858	1003	0831	1034	043	0858			
Estimado	0719242	80030P	Finalizado	1	2	0858	0838	0820	0843		0858	0838		
Estimado	0719242	80030P	Finalizado	2	2	0858	0838	0810	0820		0858	0838		
Transporte	0719242	78380G	Iniciado	0	13	0910	0957	0937	1040	037	0910			
Estimado	0719242	78380G	Finalizado	1	3	0910	0910	0830	0913		0910	0910		
Estimado	0719242	78380G	Finalizado	3	3	0910	0910	0820	0930		0910	0910		

Figura 21.- Pestaña de seguimiento durante el día N.

información es almacenada y tratada para posteriores evaluaciones para realizar procesos de mejora continua.

Al realizar todo el proceso de digitalización, se obtienen una gran cantidad de datos, desde la cuna hasta la tumba del proceso. Esta gran cantidad de información permite realizar una trazabilidad inequívoca de un producto percedero como son las mezclas asfálticas, siendo dicha información muy útil para:

- La empresa, ya que permite la mejora continua del proceso de calidad de forma interna, ayudando a la toma de decisiones para la mejora del mismo.
- Los clientes, tanto públicos como privados, que poseen una trazabilidad del producto que han adquirido.
- Mejora de la eficiencia de todo el proceso y optimización económica y ambiental.

3.2.1. Test de validación

Para la evaluación del producto, se identificaron diversos indicadores, tanto económicos como medioambientales, capaces de evaluar si la inclusión del sistema producía mejoras en los procesos de producción, transporte y ejecución de mezclas asfálticas. Estos indicadores son:

- Desde el punto de vista económico:
 - €/tonelada global.
 - €/tonelada transportada por kilómetro.
 - Toneladas extendidas/hora trabajada.

Una vez marcados los indicadores de control, se marcaron unos objetivos económicos a lograr:

- Incrementar en un 10% la ratio tonelada extendida por hora trabajada a lo largo de un año.
- Reducir en un 10 % el coste €/tonelada global a lo largo de un año.
- Reducir un 10% el coste asociado al transporte a lo largo de un año.
- Desde el punto de vista medioambiental:
 - kg CO₂ producidos en planta/tonelada.
 - kg CO₂ producidos en maquinaria/tonelada.
 - kWh/tonelada.

Los datos de los indicadores a comparar se recogieron durante un periodo previo de 3 años, con el fin de minimizar divergencias en cuestiones de producción.

Los resultados obtenidos se muestran el siguiente cuadro resumen, mostrando las diferencias entre el

	Coste transporte	Coste total	Ratio tonelada/hora trabajada	Consumo energético	Emisiones kgCO ₂ eq maquinaria
Diferencia respecto referencia	- 9.1 %	- 1.1 %	+ 4.3 %	- 8 %	- 17 %

Figura 22.- Resultado de objetivos económicos y medioambiental.

periodo de evaluación con respecto al periodo de análisis (Figura 22).

Con los resultados obtenidos, se puede indicar que el desarrollo de algoritmos para las etapas de fabricación, transporte y ejecución de mezclas asfálticas tiene un impacto positivo desde el punto de vista económico en todos los indicadores marcados y desde el punto de vista medioambiental desde el punto de vista de la maquinaria, ya que se optimiza el proceso, lo que aporta un menor consumo de combustible a la hora de ejecutar las obras.

3.3. Sistema de seguridad en maquinaria pesada

En la industria de la construcción de infraestructuras viales, los accidentes laborales que involucran a maquinaria pesada y a los operarios que trabajan en

su cercanía, a menudo tienen consecuencias graves o incluso fatales. El motivo principal de estos accidentes es que la maquinaria suele estar muy cerca de los operarios debido a la casuística de los distintos lugares de trabajo en los que se ejecutan las obras. Además, en el mundo de la construcción de carreteras existen situaciones de riesgo que pueden desviar la atención del operador, especialmente en zonas cercanas al tráfico, obligándole a desplazarse a posiciones inseguras cercanas a la maquinaria.

Lamentablemente, la tecnología actual disponible en el mercado no ha abordado eficazmente este caso específico. Las soluciones que actualmente se emplean son:

- RADAR: Capaz de identificar la proximidad de un objeto a la maquinaria móvil y su distancia relativa. Sin embargo, no puede distinguir



Figura 23.- La operativa de trabajos de asfaltado, con diferentes operarios en el área de actuación.

entre objetos y personas, y sus constantes avisos de proximidad de diferentes objetos dificultan la concentración de los operadores de la maquinaria. Además, las condiciones climáticas o los cambios en el ángulo de trabajo de la maquinaria pueden distorsionar las ondas del radar, haciendo que el sistema sea menos efectivo.

- Sistemas de monitorización de imágenes basados en cámaras: este método permite la identificación de elementos en entornos donde trabaja maquinaria móvil. Sin embargo, es altamente ineficiente debido al nivel de atención que se requiere por parte de los conductores de maquinaria para mirar constantemente estas imágenes mientras realizan sus tareas.

Estos dos sistemas no son adecuados para la forma de trabajar en la construcción de infraestructuras viales, ya que la proximidad a la maquinaria pesada no necesariamente indica estar en situación de riesgo, por ejemplo en los casos en que la persona está detrás de biondas, o cuando la maquinaria se mueve en sentido contrario al movimiento del operario... Por ello, se llevó a cabo un proyecto de investigación, destinado a dar respuesta a estos requisitos de seguridad, donde se plantearon 5 fases, implementadas en los diferentes paquetes de trabajo:

- **FASE 1:** La detección de objetos estáticos y móviles.



Figura 24.- Fases del proyecto.

- **FASE 2:** Conocer la trayectoria de los objetos móviles, dentro del campo de actuación de la maquinaria.
- **FASE 3:** Predecir las trayectorias de estos objetos móviles, con el fin de conocer el riesgo de colisión por parte de la maquinaria.
- **FASE 4:** Dar una señal de alarma si existe riesgo de colisión y registro de dichas activaciones para posterior evaluación.
- **FASE 5:** Evitar el arranque de la maquinaria si existe un objeto dentro de la zona de riesgo extremo y detener la maquinaria si existe riesgo extremo de colisión si la máquina está en movimiento.

Para ello, dentro del desarrollo, se buscaba un sistema basado en una combinación de hardware y software aplicando algoritmos de IA, que no se limitase únicamente a la detección de personas y objetos sino que también predijera situaciones de riesgo que pudieran dar lugar a posibles accidentes con maquinaria pesada.

El sistema implementa un conjunto de cámaras y mini-PCs, algoritmos de detección de personas y objetos, y sistemas de aviso y parada de emergencia de la maquinaria. La implementación de estas tecnologías ha requerido una selección cuidadosa del hardware, incluyendo cámaras 3D y PCs de alto rendimiento, un PLC para la gestión de señales eléctricas, así como el desarrollo de un algoritmo basado en la IA para la detección y predicción de situaciones de riesgo de accidente.

Los pasos realizados dentro del proyecto fueron:

- Como pasos previos a las fases:
 - Al inicio, se definió el hardware necesario para garantizar la evaluación en tiempo real, seleccionando las cámaras y Mini PC más efectivas.
 - Se determinó la posición de las cámaras, evaluando varias configuraciones para ga-

rantizar que no hubiera puntos ciegos que impidieran la detección precisa de los elementos a identificar, utilizando una combinación de imágenes de las diferentes cámaras empleadas.

- Después de la instalación del hardware, se identificaron varias situaciones de peligro para crear un conjunto de datos personalizado para su evaluación. Para cada situación se estableció una condición de alarma en función de la velocidad y trayectoria de cada elemento y se calcularon las distancias de seguridad y frenado de la maquinaria.

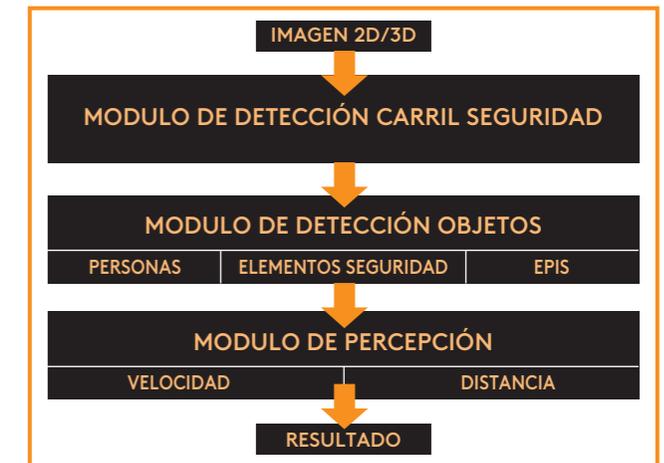
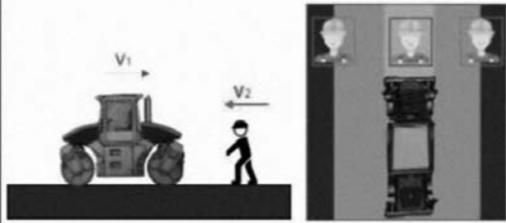
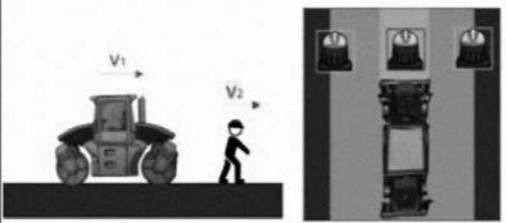


Figura 25.- Integración del algoritmo en maquinaria móvil.

ID	SITUACIÓN DE PELIGRO	REPRESENTACIÓN
1	Operario con una velocidad (v2) de frente mirando a la máquina (v1) situado en su trayectoria --> Peligro grave. Fuera de su trayectoria --> Sin peligro	
2	Operario con una velocidad (v2) de espaldas sin ver la máquina (v1) situado en su trayectoria --> Peligro grave. Fuera de su trayectoria --> Peligro bajo	

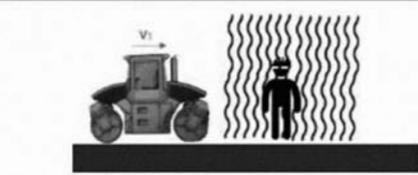
CONDICIONES DEL ENTORNO	
Detección de personas con lluvia	
Detección de personas con vapores	

Figura 26.- Ejemplos de situaciones de peligro y condiciones del entorno.

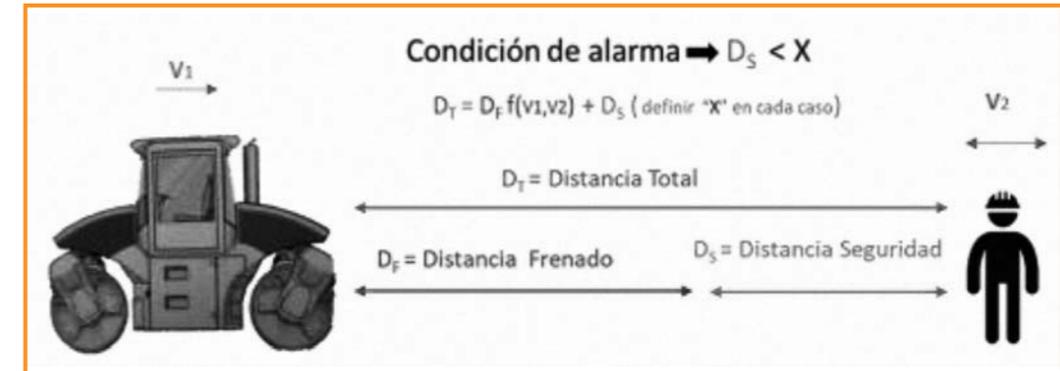


Figura 27.- Condición de alarma.

➤ En las fases 1 y 2:

- Se realizaron pruebas planificadas en las situaciones de peligro previamente definidas en el sistema instalado.
- Estas pruebas se realizaron utilizando un rodillo compactador, con la ubicación adecuada de la cámara y se probaron configuraciones previamente definidas para garantizar que no hubiera puntos ciegos.
- Se realizaron en diversas condiciones de iluminación a lo largo del día, obteniéndose resultados totalmente satisfactorios.
- Se confirmó que el sistema capturaba imágenes con éxito y se identificaron todos los

escenarios que pueden ocurrir en una obra de construcción de infraestructuras viales. Además, verificamos que la adquisición de la nube de puntos de la cámara permitía la identificación de elementos no humanos. Además, se realizó una experimentación para evaluar las posibles trayectorias del usuario en relación con la maquinaria, lo que permite identificar y evitar tempranamente situaciones de colisión.

- Con ello, el sistema permite detectar tres elementos:
 - Velocidad de la máquina: a través de la unidad de medición inercial (IMU) de las cámaras

- Elementos no humanos -tanto estáticos como en movimiento, a partir de la nube de puntos y la aplicación de IA.
- Presencia, trayectoria y velocidad de seres humanos en la zona de trabajo mediante la aplicación de algoritmos de IA.

En paralelo a esos desarrollos, se comenzó a identificar elementos, rasgos y posiciones de personas (la identificación facial, presencia de elementos que pueden ser fuente de distracción como son teléfonos móviles o tablets, situaciones no habituales como personas tumbadas) que permitiera realizar una esti-

mación de la posición futura, con el fin de obtener un sistema que permitiera la predicción de trayectorias y tiempos de respuesta para avisar o detener la maquinaria.

➤ **En la fase 3:**

- Con todos los elementos identificados pasamos a la fase 3, obteniendo un sistema predictivo que permite variar los tiempos de respuesta según la predicción de riesgo y sólo cuando hay riesgo, donde los cálculos de trayectoria y futura posición se modifi-



Figura 28.- Seguimiento de personas.

can según el grado de atención de los diferentes operarios.

- Con el sistema predictivo definido, se estableció un sistema de alarma predictivo zonal que indica la predicción e identificación de probabilidad de accidente ante un tiempo de respuesta que depende de la velocidad y trayectoria del operario y la máquina.

➤ **En la fase 4:**

- Como hemos indicado, este sistema funciona mediante algoritmos de detección y respuesta los cuales no son infalibles en caso

de tener que detener la máquina. Por ello, se proporcionan avisos previos para poder informar a los operarios y conductor del riesgo de posible colisión antes de actuar.

- En esta fase, se desarrolló un sistema de codificación de vestimenta y de reconocimiento óptico de caracteres (OCR) que da alarma cuando es necesario y a quien es necesario. Por ello, se ha diseñado un sistema de aviso de alarma individual para el operario que está en riesgo, mediante codificación única del operario y un dispositivo que lo alerta mediante tecnología



Figura 29.- Zonificación zona riesgo.



Figura 30.- Cambio de la evaluación de riesgo de atropello según aproximación.

bluetooth, así como un sistema que avisa al conductor del riesgo de atropello, mediante señal lumínica y sonora.

- Además, para mejorar la operativa de trabajo, el sistema recopila los datos de activación de alarma y su video correspondiente para el posterior análisis, lo que permite estudiar estrategias para mejorar en seguridad.

➤ Fase 5:

- Finalmente se abordó la posibilidad de poder actuar sobre el sistema de parada de la maquinaria cuando existe riesgo de colisión entre ésta y un objeto que esté en la zona de riesgo dentro del tiempo de reacción.
- Para ello, en primer lugar se obtiene información del sentido del movimiento, velocidad y disposiciones que pueda tener la máquina, ya que las máquinas pueden trabajar con un ancho fijo tanto en los rodillos delanteros y traseros o ampliar el ancho, por lo que el sistema tuvo que adaptarse con el cambio de anchura de la maquinaria.
- Cuando se alcanza un grado de alerta máxima prefijado, se procede a detener la máquina antes de que se produzca el atropello o impide el arrancado de la misma si se halla un obstáculo dentro de la zona de riesgo.



Figura 31.- Sistema de adquisición montado en máquina móvil.

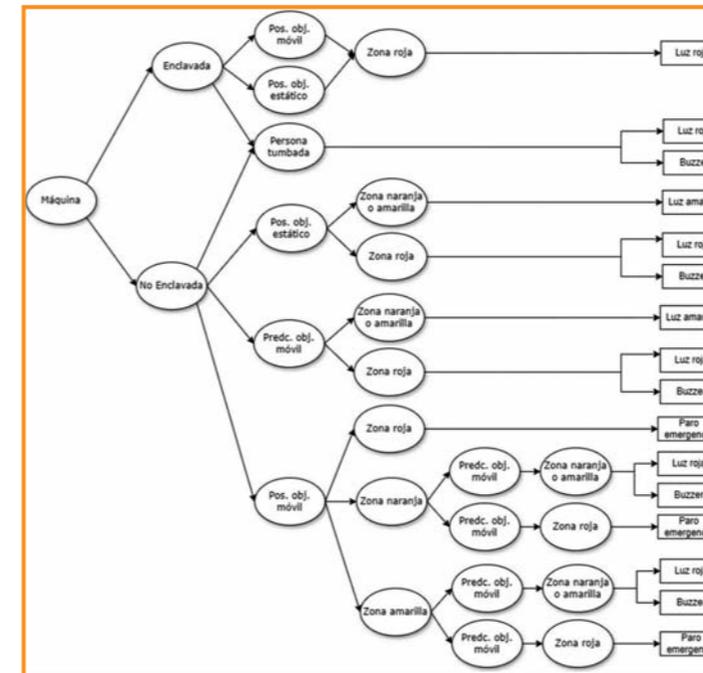


Figura 32.- Lógica desarrollada en el proyecto.

3.3.1. Test de validación

Para validar el desarrollo, se han realizado pruebas en entorno real controlado para evaluar las bondades del sistema. Estas pruebas se realizaron mediante maniqués para las pruebas en dinámico y con seres humanos para las pruebas en estático, comprobando que el sistema era capaz de detener o incluso no arrancar la maquinaria si el maniqué o el ser humano se hallaba en zona de riesgo o si su predicción indicaba que iba a entrar en zona de riesgo.

Además el sistema incorpora dos elementos que mejoran en la seguridad de los operarios:

- Un sistema basado en OCR, que en función del nivel de riesgo, avisa al operario que va a entrar en zona de riesgo mediante un dispositivo bluetooth.
- Registro de información tras la activación del sistema. El sistema almacena las activaciones de alarmas mediante la grabación de los últimos 5 segundos previos a la activación, almacenándose el video, el nivel de alarma y la fecha y hora del mismo. Las cámaras graban en todo momento durante un periodo de tiempo y si no hay activación del sistema, se produce el borrado de los videos para no ocupar espacio.



Figura 33.- Interfaz de usuario.

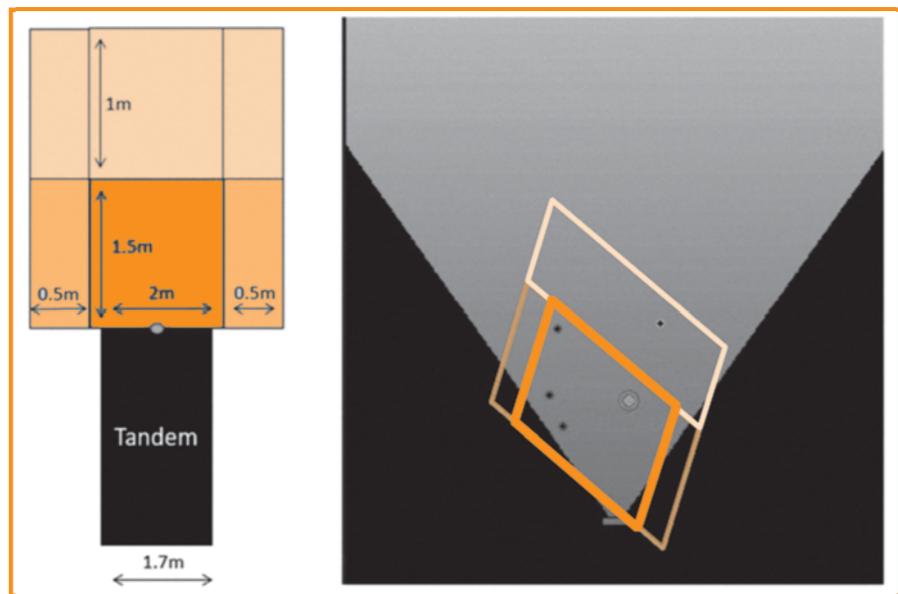


Figura 34.- Áreas de detección en estático.



Figura 35.- Alarmas riesgo medio y alto, con paralización de la máquina.



Figura 36.- Dispositivos bluetooth y ejemplo de chaleco con OCR.



Figura 37.- Ejemplo de detección por OCR.

Tras la evaluación del sistema, se puede indicar que es una tecnología capaz de predecir situaciones de riesgo evitando accidentes, ya que es capaz de:

- Detectar elementos estáticos y móviles y predecir su trayectoria, con la capacidad de alertar a los operarios implicados de un posible accidente y en su caso, de detener la maquinaria.
- Además, el sistema se puede integrar en todo tipo de maquinaria con una serie de adaptaciones, siendo capaz de prevenir accidentes mortales que involucren cualquier tipo de maquinaria pesada, no sólo las utilizadas en la construcción de infraestructuras viales.

4. PRÓXIMOS PASOS

Todos estos desarrollos tienen un elevado componente tecnológico y gran impacto en la cadena de valor de las infraestructuras viales, y por ello la empresa apuesta por continuar con esta estrategia con nuevos desarrollos con el fin de completar el proceso, ya que se considera que todavía es necesario dar un paso más, consistente en:

- **Obtener el producto bituminoso más adecuado según la solicitud buscada, de la forma más eficiente posible.**

Por ello se han iniciado dos proyectos, los cuales ya están en marcha, que pretenden resolver este desarrollo:

- **Obtener herramientas que implementen IA para el diseño y fabricación de mezclas asfálticas.**

Con los siguientes objetivos:

- **En el diseño de mezclas asfálticas:**
 - Predecir propiedades a partir de los datos obtenidos de componentes individuales y formulaciones.
 - A partir de propiedades buscadas en un solicitud, obtener los componentes necesarios y su formulación para obtener dichas propiedades.

- Reducir tiempos en la obtención de formulaciones de mezclas para infraestructuras viales.
- Implementar nuevos diseños, produciendo productos mejorados capaces de ser más resilientes, más duraderos y medioambientalmente más sostenibles.
- **En la fabricación de mezclas asfálticas:**
 - Optimizar la fabricación de mezclas asfálticas para la construcción de infraestructuras viales que permita incrementar el rendimiento.
 - Implantar un sistema de digitalización y control mediante herramientas de IA que mejore la trazabilidad del proceso, obteniendo un sistema totalmente informatizado que permita tener control sobre el producto fabricado, indicando la forma de fabricarlo, aumentando el control de calidad del mismo y que permita minimizar el consumo de energía y reducir la huella de carbono.

4.1. Herramienta para diseño de mezclas asfálticas

En los últimos años, las empresas del sector han basado sus objetivos en desarrollar nuevas técnicas de producción de mezclas asfálticas, de manera que se adapten a las exigencias medioambientales mante-

niendo sus propiedades. Esta búsqueda se ha centrado principalmente en el modelo de ensayo-error, obteniendo una gran cantidad de datos que pueden servir, gracias a la IA, a la generación de nuevas mezclas sin la necesidad de tener que repetir el proceso.

El objetivo principal del proyecto es el desarrollo de nuevas tipologías de producción de mezcla asfáltica. Para ello, se pretende desarrollar una herramienta basada en Inteligencia Artificial (Deep Learning) que va a permitir la optimización en el diseño y el control de calidad futuro de las diferentes tecnologías de fabricación. Herramienta que, mediante ANN, suministrará los componentes necesarios para producir mezclas asfálticas capaces de cumplir con requisitos específicos o, a partir de requisitos específicos, capaces de suministrar los componentes necesarios para obtener dichos requisitos.

4.2. Sistema de fabricación de mezclas asfálticas

Existe un mantra bien conocido, pero a veces poco aplicado: Lo que no se mide no se puede mejorar. Por ello, para la fabricación eficiente de mezclas bituminosas, el primer proceso de mejora implica **el digitalizar y sensorizar la planta industrial**, con el fin de alimentar herramientas innovadoras que nos permitan optimizar el proceso y la calidad del producto de forma eficiente.

Pero la sensorización sin más no aporta más que datos totalmente inconexos entre sí. Para obtener resultados de estos datos, se debe realizar un procesamiento de los mismos, que permita alimentar a un sistema IA, que debido a la complejidad de nuestros objetivos, lleva a la realización de un proyecto que con ayuda de algoritmos computacionales, nos suministre una solución óptima que englobe todos los aspectos que intervienen en la mejora de la eficiencia del proceso desde el punto de vista energético, medioambiental y de producto. Es decir, se requiere de una solución que permita el adecuado tratamiento de los datos generados gracias a la sensorización total del proceso. Para ello será necesario utilizar herramientas para el procesado de los datos y técnicas de Machine Learning para detectar valores anómalos y validar datos de los diferentes sensores de la planta.

Una vez realizada la sensorización y el proceso de obtención de datos, tendremos los datos que van a alimentar al sistema que permitirá obtener una herramienta de evaluación eficiente desde el punto de vista energético, medioambiental y de proceso, aportando un enfoque innovador en el campo del procesamiento del lenguaje natural y la IA, particularmente en el ámbito de los grandes modelos de lenguaje (LLM). Por ello, el proyecto plantea el desarrollo de una herramienta totalmente novedosa, denominada IA-RAG (Retrieval Augmented Ge-

neration), asociada a la introducción de algoritmos de IA adaptados al proceso de la fabricación, que permitirá obtener el proceso óptimo de fabricación y con ello, se obtiene un óptimo tanto en eficiencia energética como medioambiental.

5. CONCLUSIONES

El mundo de la construcción, y en especial el mundo de la construcción de infraestructuras viales, se ha considerado desde siempre un modelo de negocio tradicional, reacio a la introducción de innovaciones. Sin embargo, la tendencia está cambiando rápidamente debido al desarrollo de la IA, donde el sector ha visto un potencial de desarrollo inmenso con inversiones asumibles, asociado a los diferentes campos que integran el negocio. La IA ha irrumpido en el mundo de la construcción de infraestructuras viales para mejorar en gran medida temas relacionados con:

- Producción
- Logística
- Conservación
- Seguridad de operarios y usuarios

Por ello, las empresas nos debemos incorporar a este viaje de forma inmediata y fruto de ello ha sido la creación de **SIMEVIA, un modelo de estrategia cor-**

porativa que integra mejoras en estos aspectos, con el fin de integrarlas en la cadena de valor de las infraestructuras viales.

Muchos de los objetivos marcados de forma individual en los proyectos finalizados se han visto cumplidos, bien mediante resultado numérico, con mejoras en procesos en el caso de la fabricación, transporte y puesta en obra de mezclas asfálticas, bien porque las experiencias indican que los sistemas están operativos y son efectivas, como es el caso de los que tienen que ver con seguridad, auscultación y predicción del estado de los firmes.

A la vista de lo expuesto, **SIMEVIA** es una solución que integra las bondades del uso de la IA en el campo de construcción de infraestructuras viales en diversos aspectos:

1. **Automatización de tareas** de producción y conservación de vías.
2. **Mejora en la toma de decisiones**, reduciendo costes y tiempos, aportando valor añadido a las Administraciones así como de los usuarios, ya que se realizan tareas de conservación donde es más necesario.

3. **Optimización logística**, obteniendo óptimos de efectividad.
4. **Reducción de costes** asociada a construcción y mantenimiento.
5. **Ventaja competitiva** respecto a competidores.
6. **Incremento en la seguridad** tanto en el empleo de maquinaria pesada como en tareas de conservación de carreteras, lo que mejora el bienestar de los operarios.

6. BIBLIOGRAFÍA

ⁱ World Economic Forum, “*The Future of Jobs Report*” 2018.

ⁱⁱ <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/artificial-intelligence-construction-technologys-next-frontier#>

ⁱⁱⁱ <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/our-insights/what-ai-can-and-cant-do-yet-for-your-business>

^{iv} González Lourtau, M. (2015). Factores determinantes del riesgo de atropello en trabajadores de conservación y explotación de la red de carreteras del Estado. Universidad de Extremadura. doi: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=47469>

Editado en Madrid,
3 de diciembre de 2024

Dirección Artística, Diseño Gráfico y Maquetación: Jose Ramón Molinero
JR MOLINERO & Servicios Integrales de Comunicación, sl.

ISBN: 978-84-129643-0-1

Convoca:



con el patrocinio de:



la colaboración institucional de:



**Comunidad
de Madrid**

y la colaboración empresarial de:

