



X EDICIÓN 2023/2024

Trabajo ganador - Texto completo

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

PAVASAL

Ander Ansuategi Cobo

Iñaki Maurtua Ormaechea

Aitor Gutiérrez Basauri

Jon Ander Ruiz Martínez

TEKNIKER

ESPAÑA

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS | 7 |
| 3. TECNOLOGÍAS DESARROLLADAS E IMPLEMENTACIÓN | 9 |
| 3.1 EQUIPO ROBÓTICO PARA TAREAS DE CONSERVACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS VIALES | 9 |
| 3.1.1 TEST DE VALIDACIÓN | 19 |
| 3.2 HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN EN FABRICACIÓN-TRANSPORTE-EJECUCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS | 21 |
| 3.2.1 TEST DE VALIDACIÓN | 27 |
| 3.3 SISTEMA DE SEGURIDAD EN MAQUINARIA PESADA | 29 |
| 3.3.1 TEST DE VALIDACIÓN | 38 |
| 4. PRÓXIMOS PASOS | 41 |
| 4.1 HERRAMIENTA PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS | 42 |
| 4.2 SISTEMA DE FABRICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS | 42 |
| 5. CONCLUSIONES | 44 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA | 45 |

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.

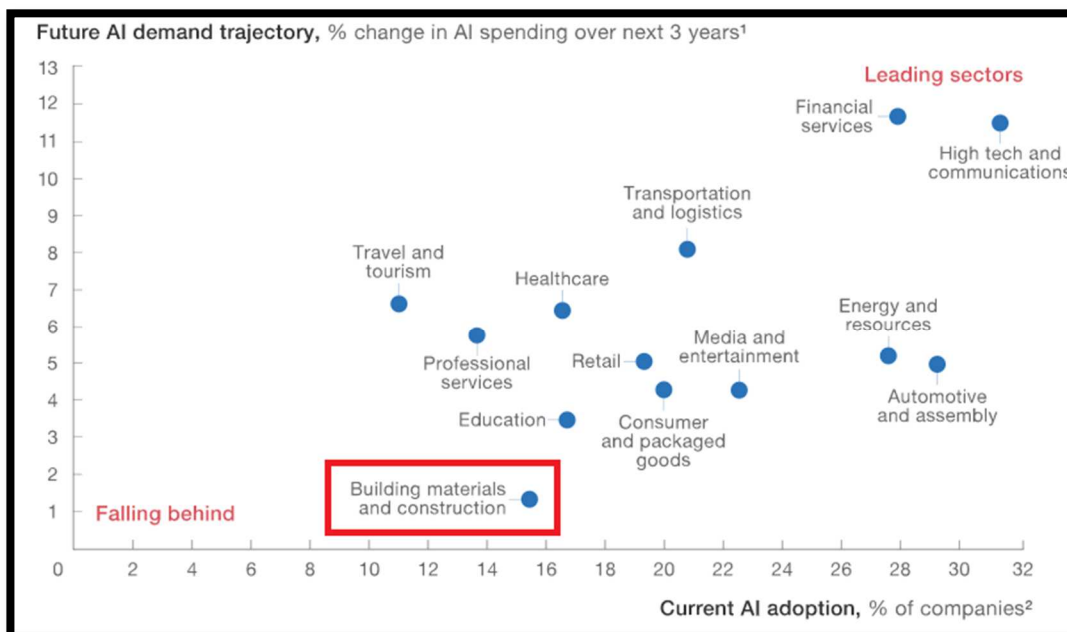


FIGURA 1: Porcentajes de empresas con IA y la expectativa de la demanda en los próximos tres añosⁱⁱ.

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 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.

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.

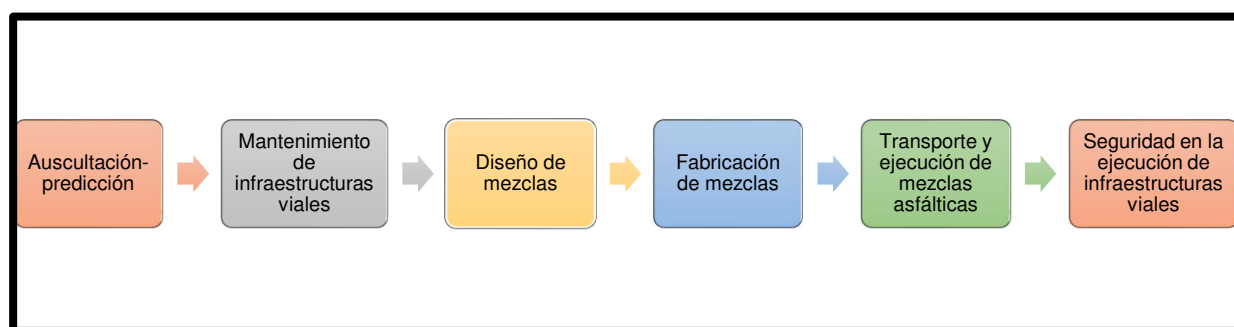


FIGURA 3: Conjunto global de actuaciones en construcción y mantenimiento de infraestructuras viales.

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**



FIGURA 4: Etapas y tecnologías IA implicadas en las 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.

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 el 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 mezclas 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 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.

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.

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 tele operación, 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.



FIGURA 6. Imágenes de VR del proceso de sellado de grietas para entrenamiento.

El proceso trabaja siguiendo la siguiente secuencia:

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

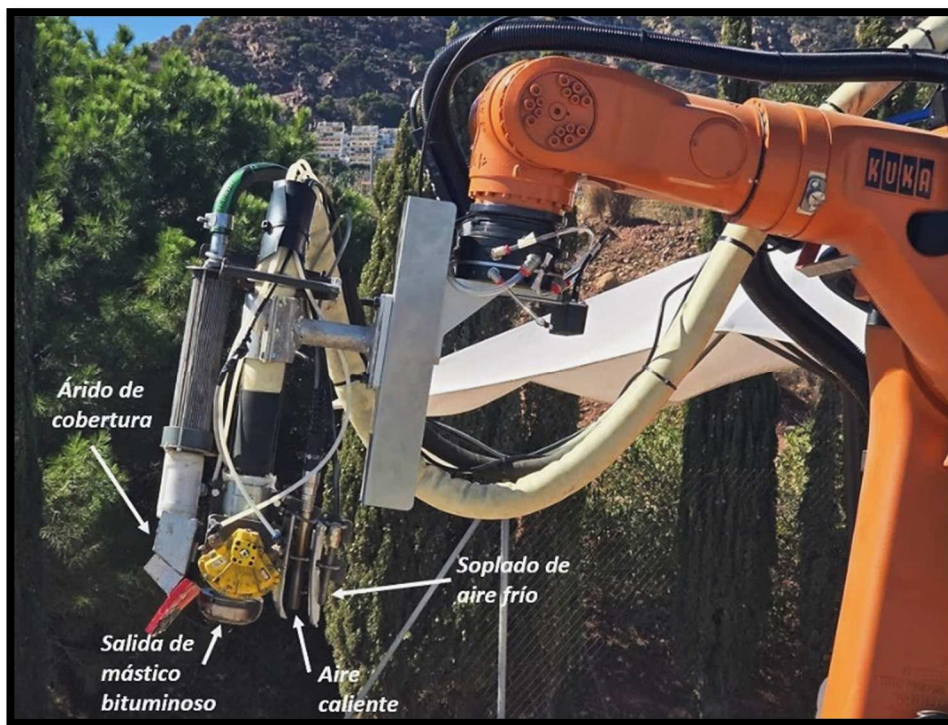


FIGURA 7. Detalle de herramienta de sellado.

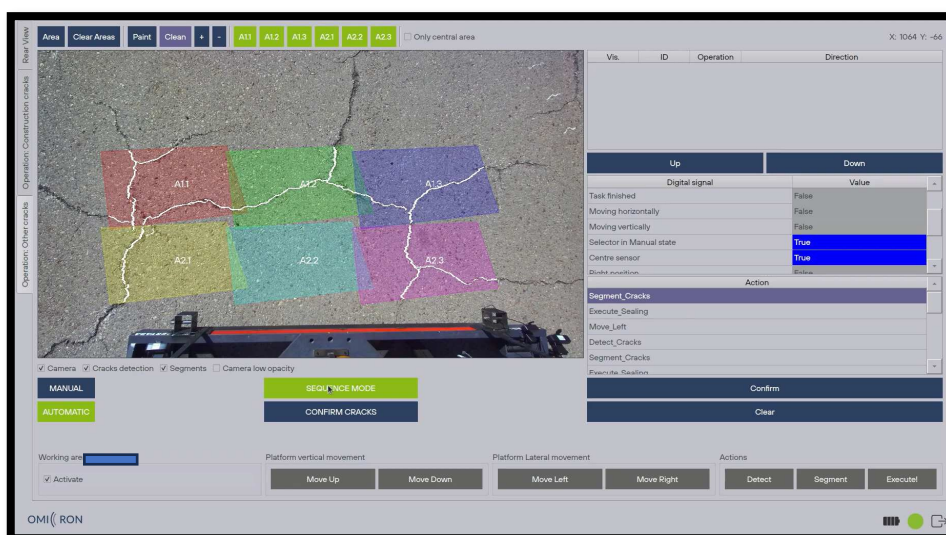


FIGURA 8. Interfaz de usuario.

➤ **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 inclinación 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



FIGURA 9. Ejemplos de señales sobrepintadas de negro y borradas con hidrolimpiadoras

Ante esta problemática, se ha realizado una investigación en la que se eliminan estas señales horizontales 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.

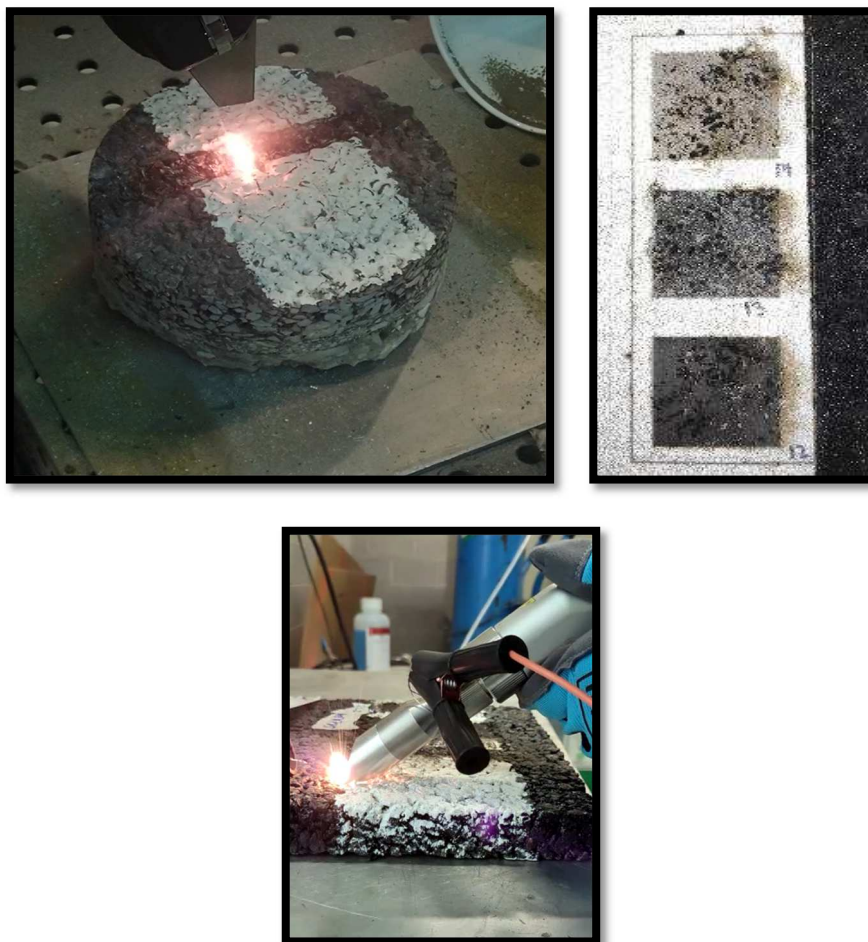


FIGURA 10. Proceso de borrado con tecnología láser robotizado

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 controlador 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.

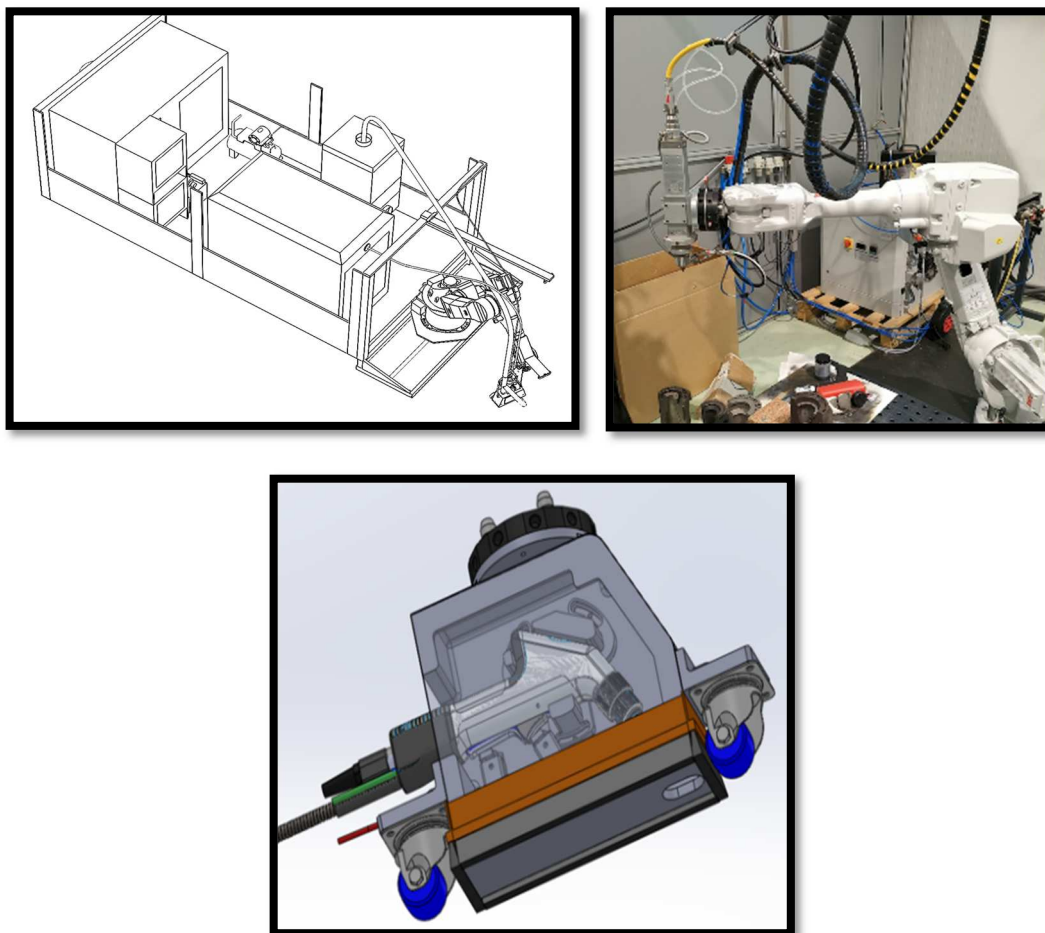


FIGURA 11. Plataforma robótica, robotización y herramienta del proceso láser.

➤ **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.

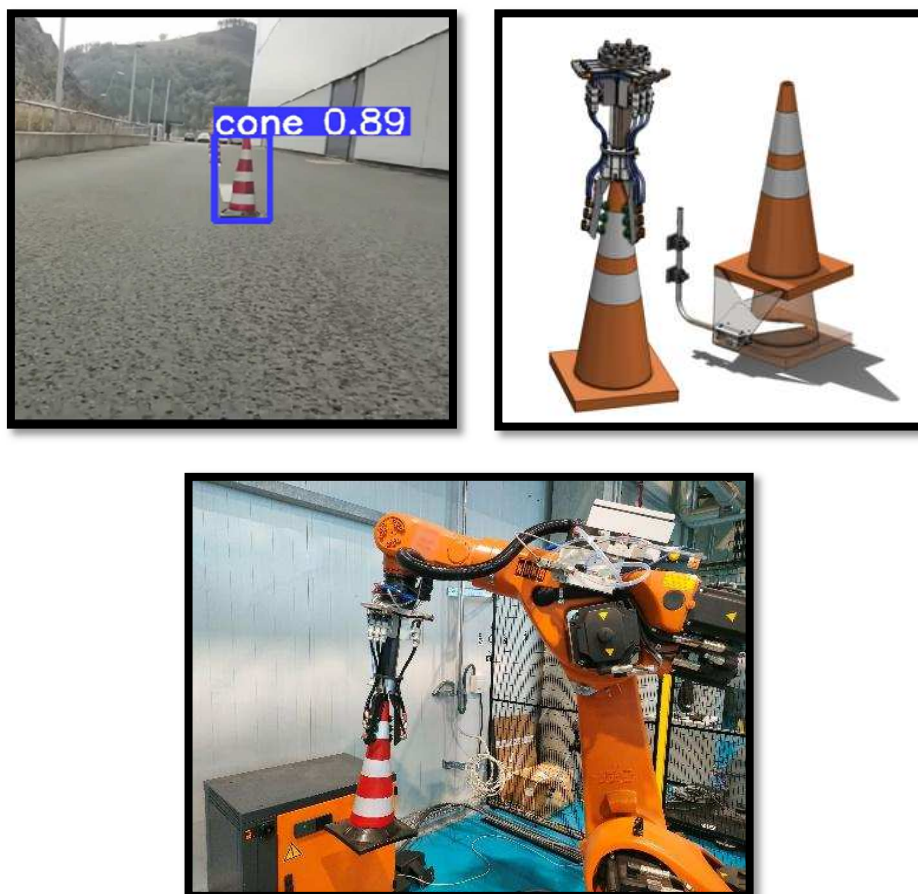


FIGURA 12. Robotización de la operación de instalación de conos.

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 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.

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:



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

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.

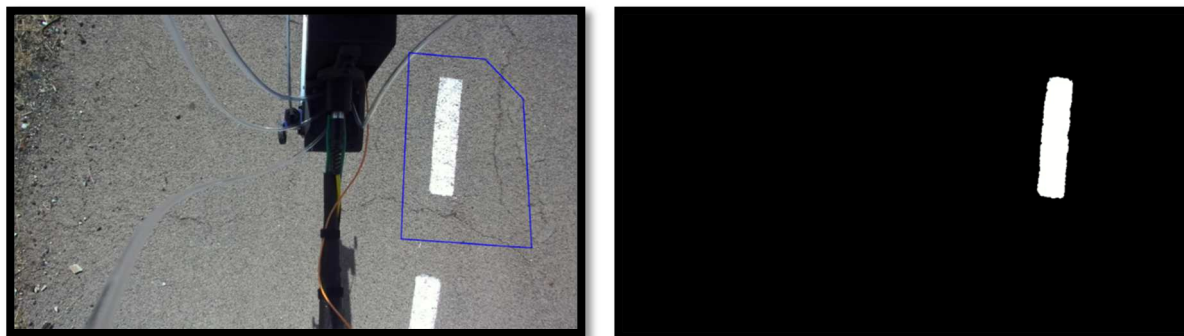


Figura 14. Detección de señalización horizontal a borrar y la máscara resultante.



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.

Para ver más detalles, se incorporan enlaces de videos en el apartado de “Divulgación”.

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.

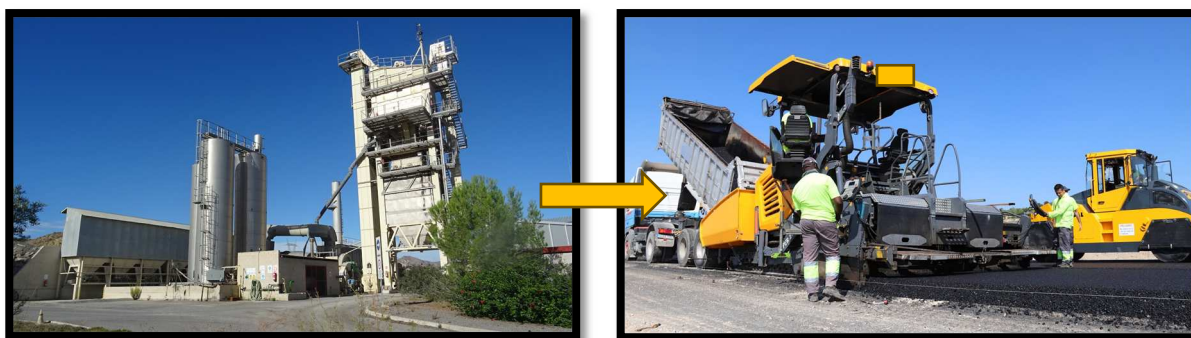


Figura 16. De la planta a la obra existen mucho pasos.

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 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.

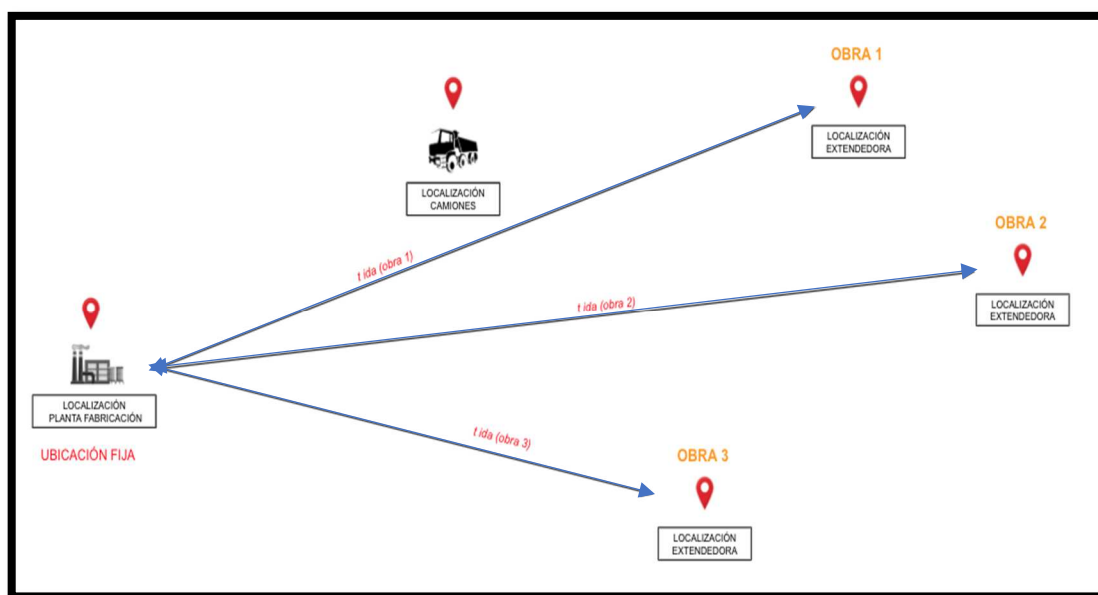


FIGURA 17: Diagrama de proceso actual por rondas (Elaboración propia).

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).

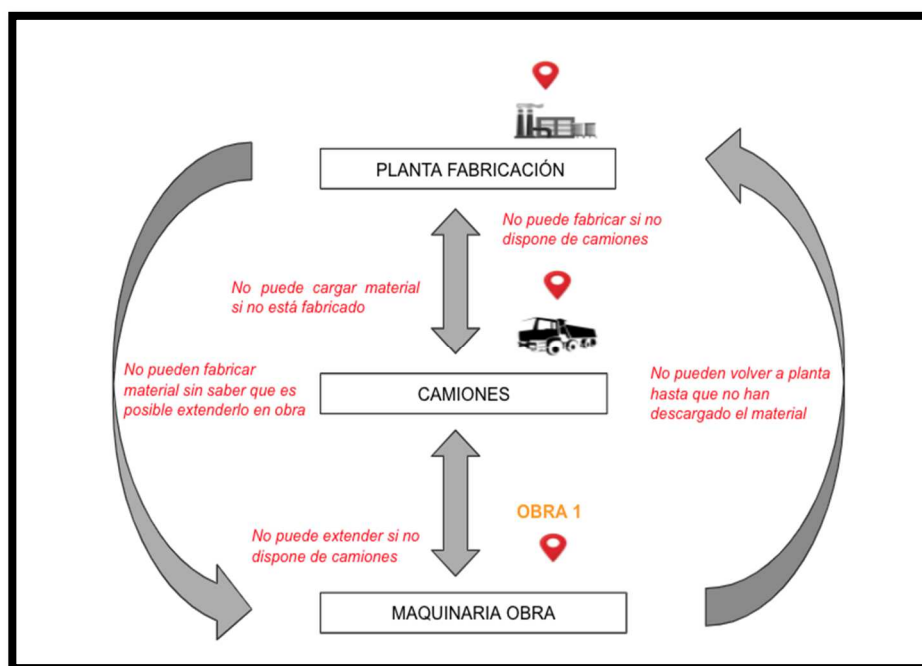


FIGURA 18: Restricciones con el modelo actual de trabajo (elaboración propia).

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.

- 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.

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 a continuación:

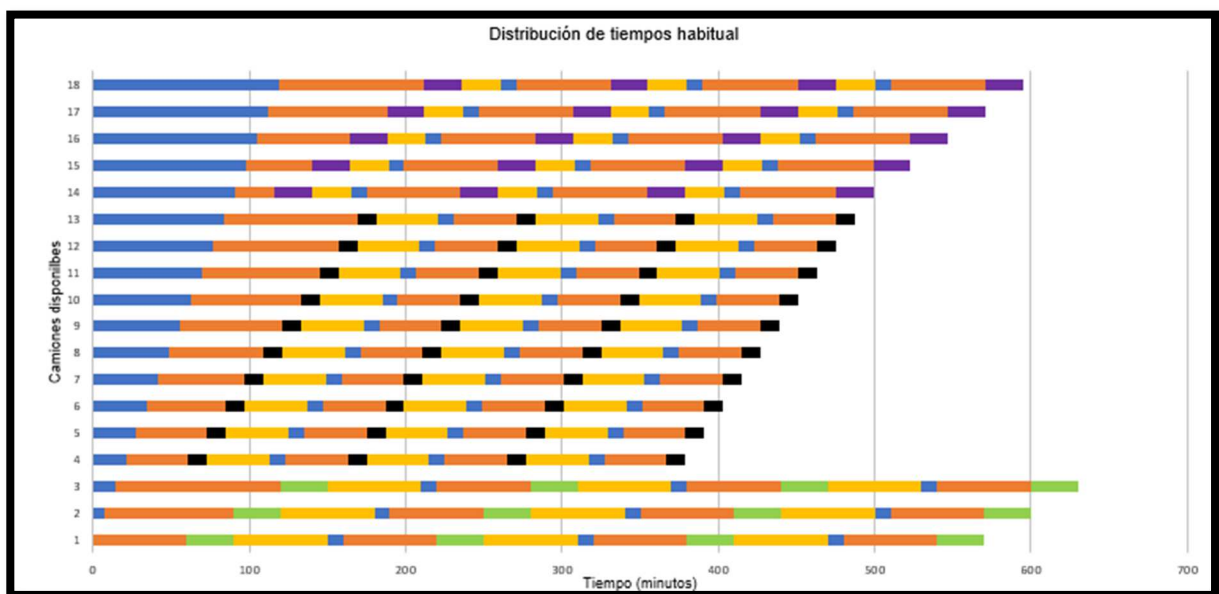


FIGURA 19: Distribución de tiempos habitual con tres obras de ejecución de mezclas asfálticas (Azul: tiempos de espera; naranja: tiempo ida obra ; verde: extendido obra 1; negro: tiempo extendido obra 2; morado: tiempo extendido obra 3 ;amarillo, tiempo vuelta a planta). (Elaboración propia)

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:

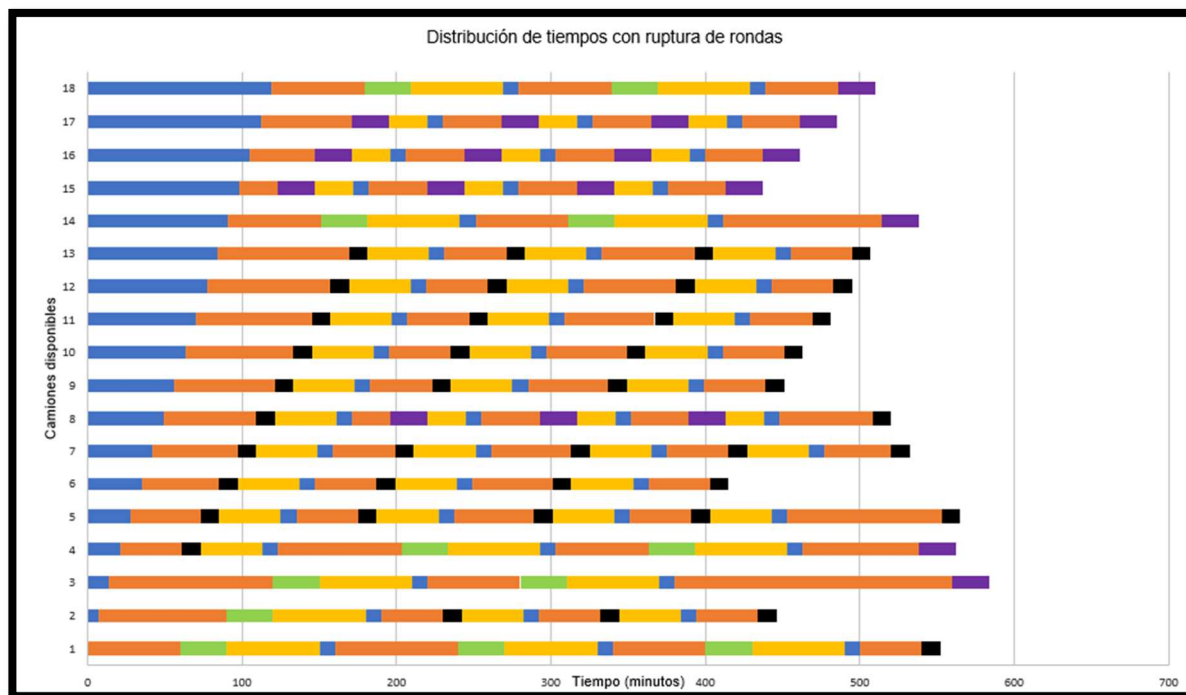


FIGURA 20: Distribución de tiempos con ruptura de rondas con tres obras de ejecución de mezclas asfálticas (Azul: tiempos de espera; naranja: tiempo ida obra ; verde: extendido obra 1; negro: tiempo extendido obra 2; morado: tiempo extendido obra 3 ;amarillo, tiempo vuelta a planta). (Elaboración propia)

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

continua.

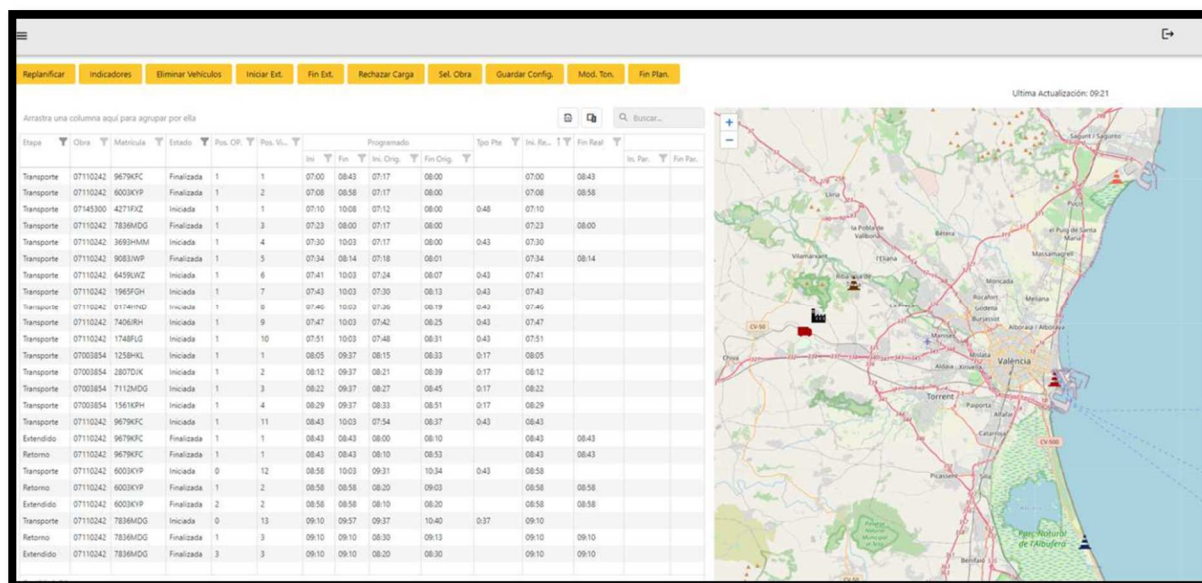


FIGURA 21: Pestaña de seguimiento durante el día N.

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 perecedero 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 periodo de evaluación con respecto al periodo de análisis:

| | 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.

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.

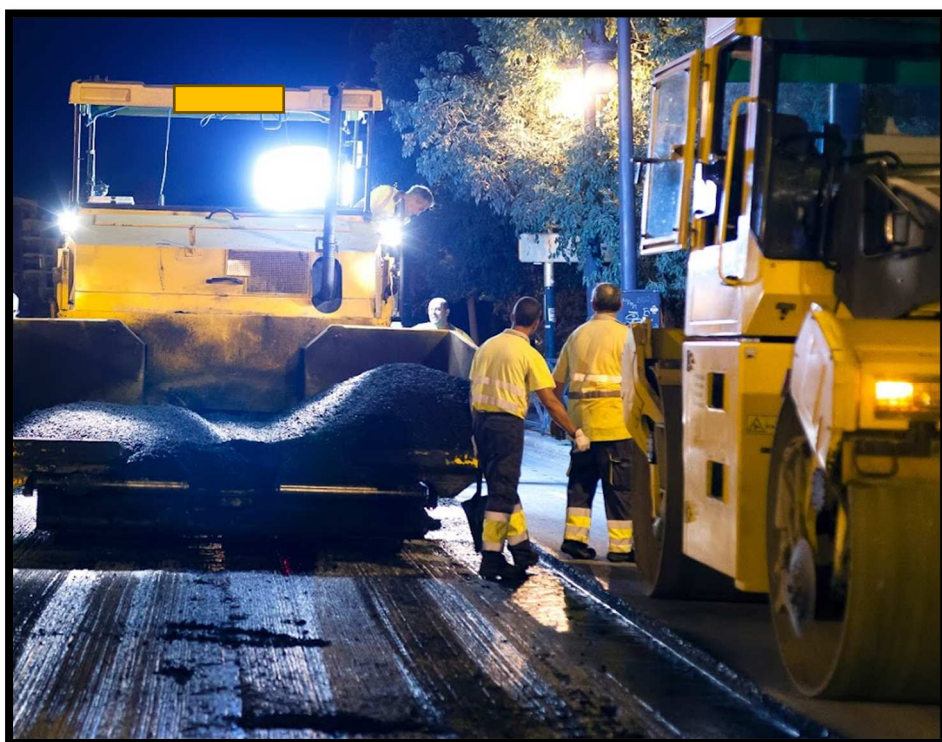


FIGURA 23. La operativa de trabajos de asfaltado, con diferentes operarios en el área de actuación.

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 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.
- 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.

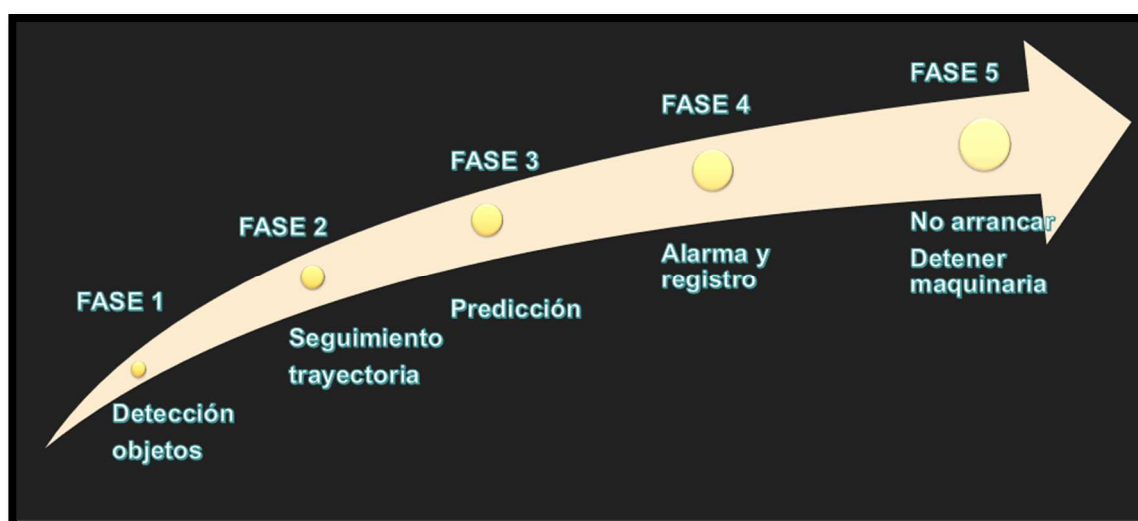


FIGURA 24: Fases del proyecto.

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 miniPCs, 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.

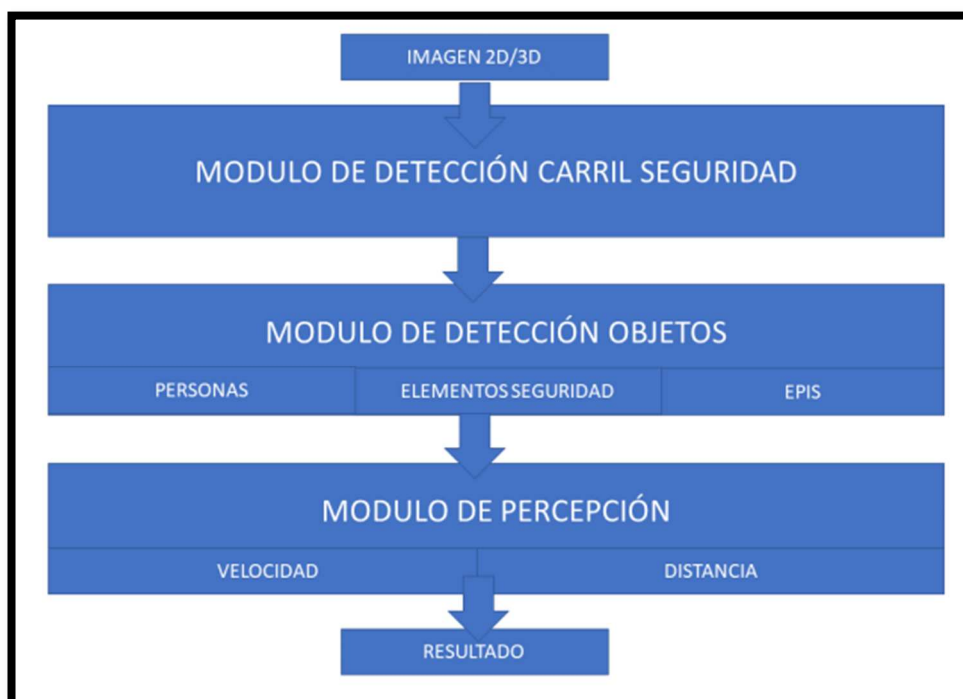


FIGURA 25. Integración del algoritmo en maquinaria móvil.

- Se determinó la posición de las cámaras, evaluando varias configuraciones para garantizar 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.

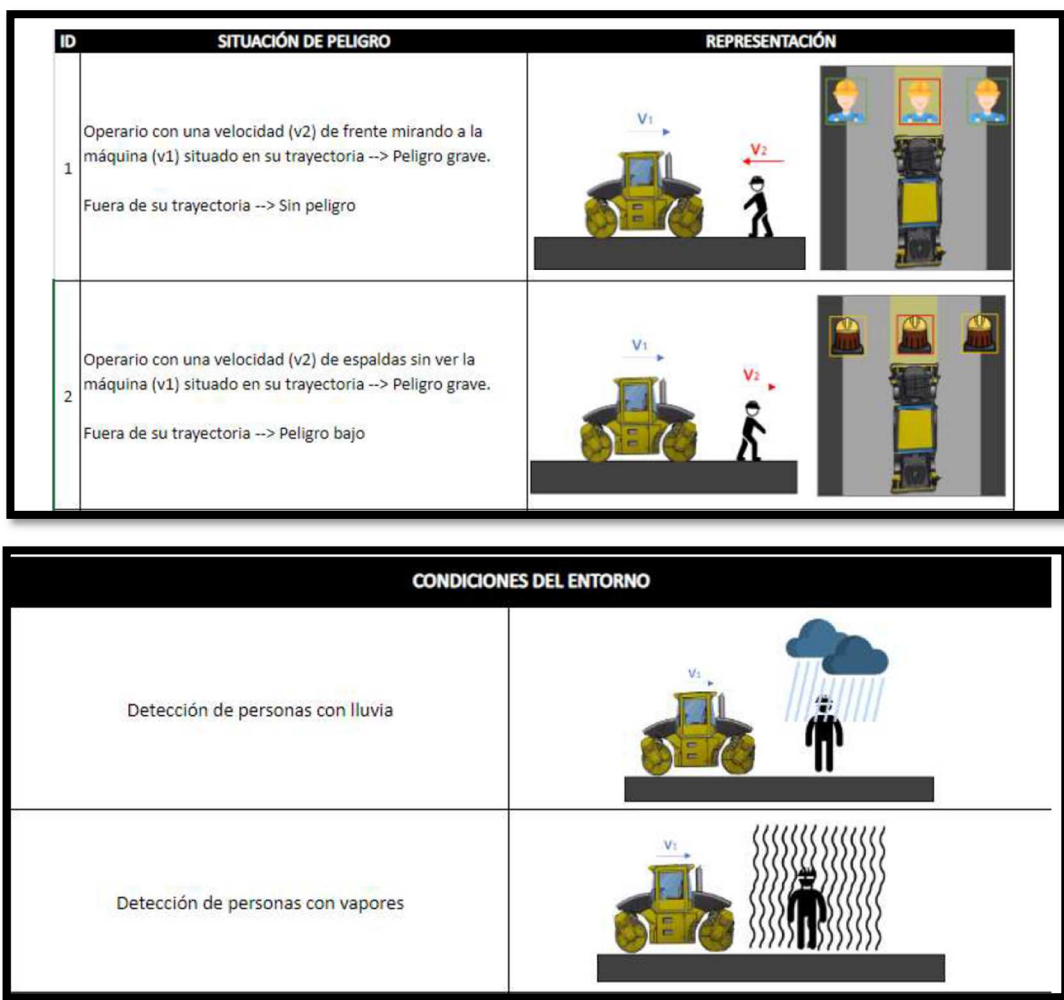


FIGURA 26. Ejemplos de situaciones de peligro y condiciones del entorno .

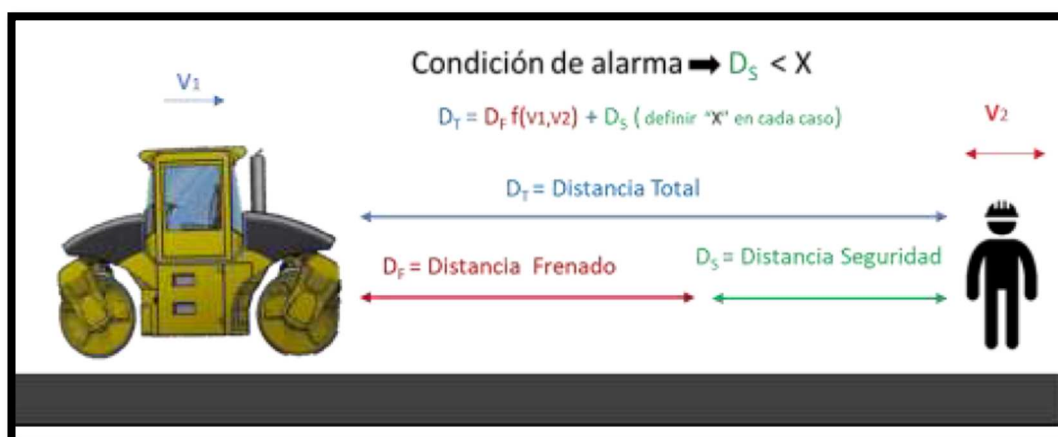


FIGURA 27. Condición de alarma.

- 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.



FIGURA 28: Seguimiento de personas.

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 estimación 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 modifican 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 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.



FIGURA 29: Zonificación zona riesgo.

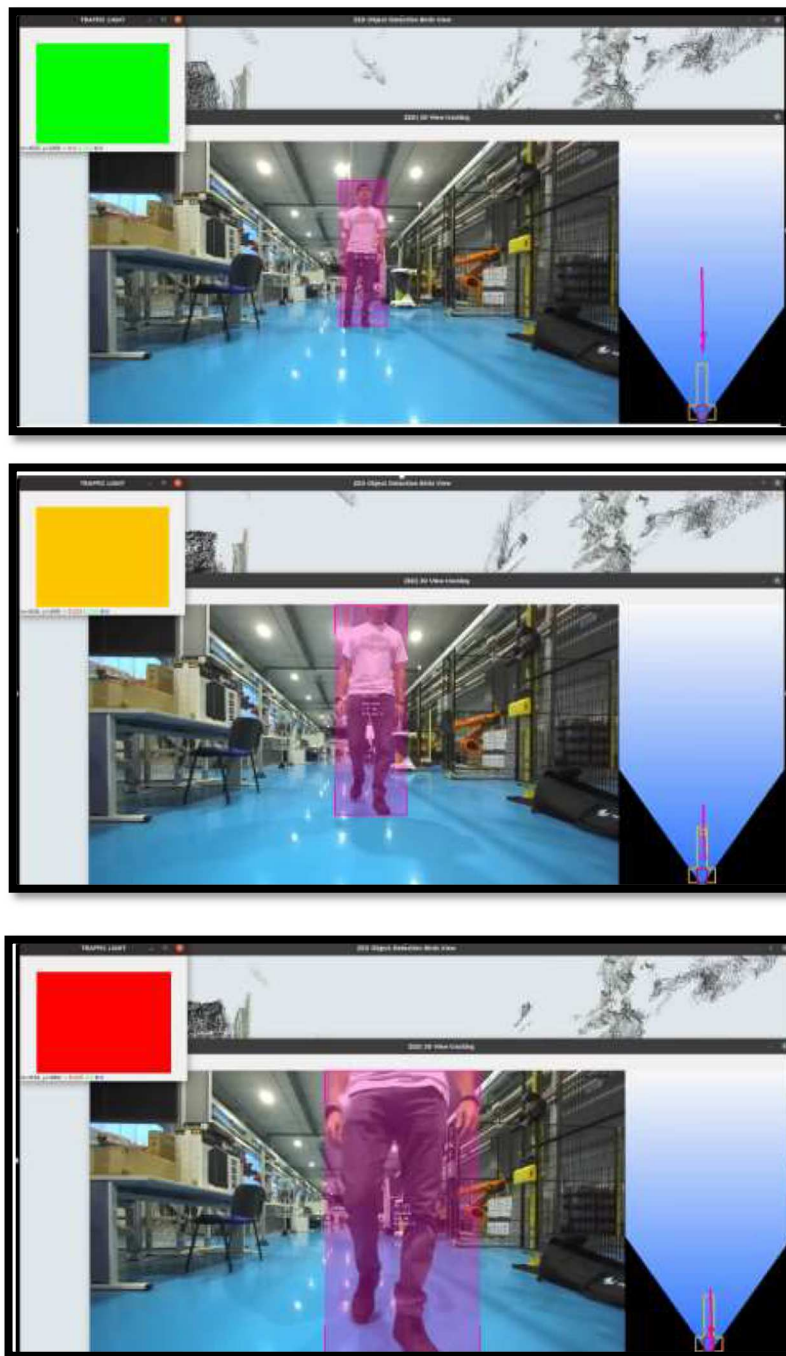


FIGURA 30: Cambio de la evaluación de riesgo de atropello según aproximación.

➤ 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.

- o 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.

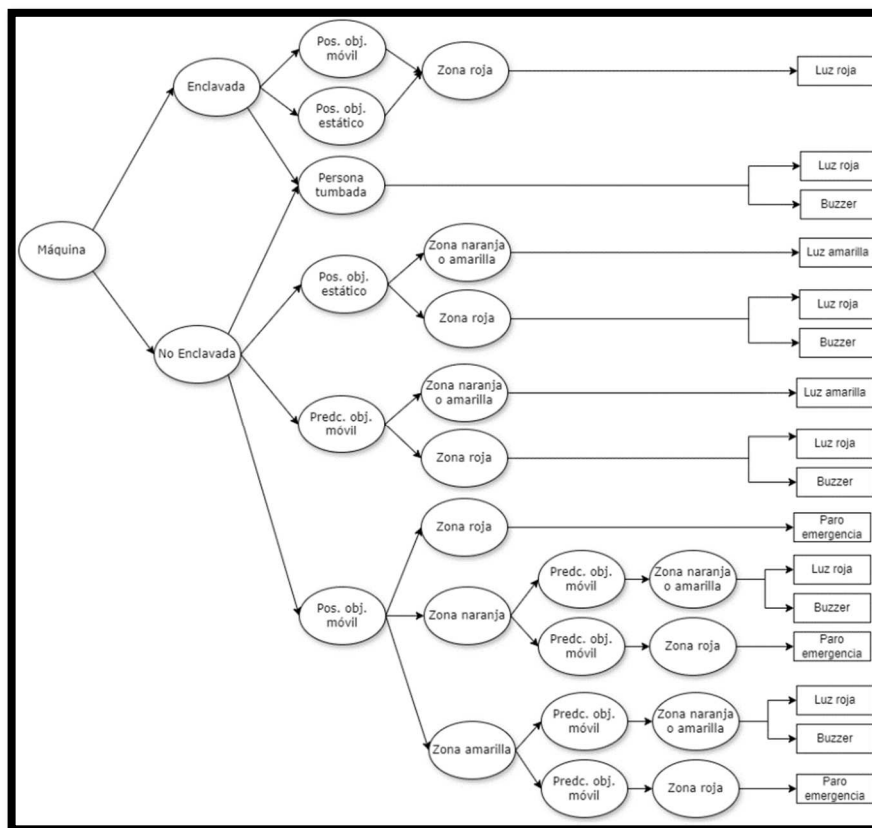


Figura 32: Lógica desarrollada en el proyecto.

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 maniquí o el ser humano se hallaba en zona de riesgo o si su predicción indicaba que iba a entrar en zona de riesgo.



Figura 33: Interfaz de usuario.

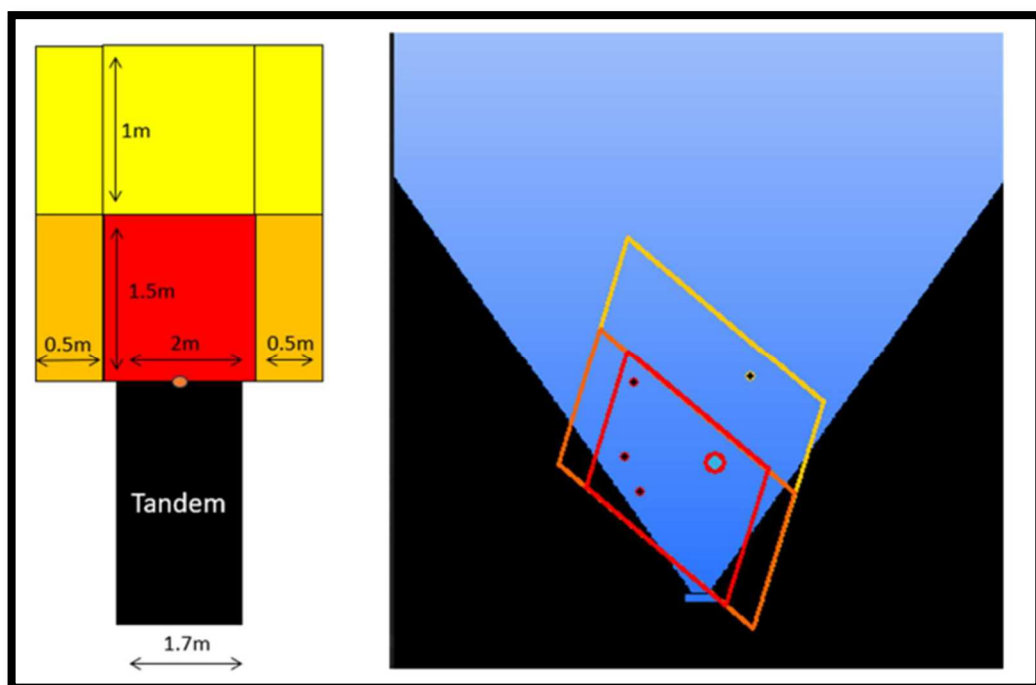


FIGURA 34: Áreas de detección en estático.

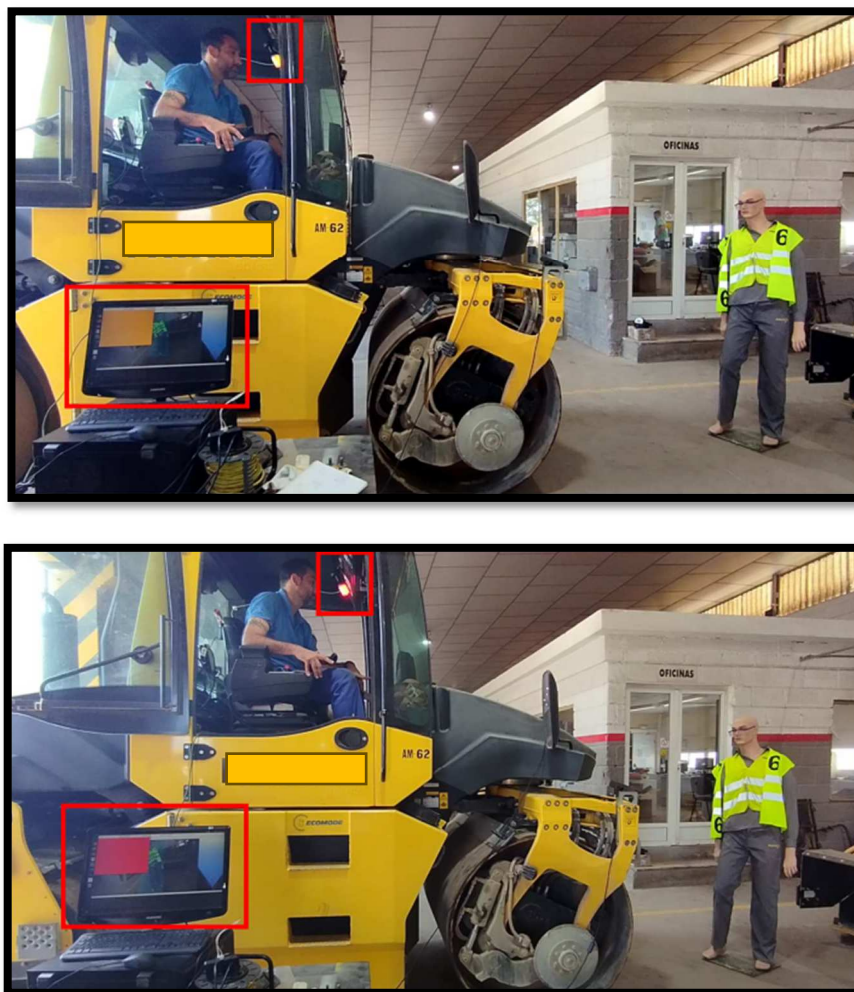


FIGURA 35: Alarmas riesgo medio y alto, con paralización de la máquina.

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 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.

Para ver más detalles, se incorporan enlaces de videos en el apartado de “Divulgación”.

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 manteniendo 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. Esta herramienta que, mediante ANN, suministrará los componentes necesarios para producir mezclas asfálticas capaces de cumplir con requisitos específicos o a partir de requisitos específicos, 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 permitirán 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 Generation), asociada a la

introducción de algoritmos de IA adaptados al proceso de la fabricación que permitirá obtener el proceso óptimo de en 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 corporativa 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** asociado 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>