

# SAFETYPVV 4.0: Inteligencia artificial aplicada en la seguridad de maquinaria móvil

**José Ramon López Marco**

jrlopez@pavasal.com

**José Ramón Albert**

jralbert@pavasal.com

**Sara Rabadán Mayordomo**

srabadan@pavasal.com

**Iñaki Maurtua Ormaetxea**

inaki.maurtua@tekniker.es

**Aitor Gutiérrez Basauri**

aitor.gutierrez@tekniker.es

**Iker Iluvia Hermosilla**

iker.lluvia@tekniker.es

El sector de la construcción es uno de los que lidera históricamente el índice de incidencia en accidentes laborales en España. Según datos del Observatorio de la Construcción, el número de accidentes debidos a la pérdida total y parcial del control de maquinaria representa el 18%, 15.5% y 26.3% de los accidentes leves, graves y mortales dentro del sector. Con estos datos, existe una necesidad imperativa de mejorar la seguridad del entorno laboral.

Dentro del extendido de mezclas asfálticas, los intentos por mejorar la seguridad mediante dispositivos integrados en la maquinaria capaces de generar alertas o detenerla, no han sido muy fructíferos hasta la fecha. La mayoría de ellos se basan en sensores de proximidad de diferente índole que en un entorno donde la casuística es tremendamente variable, con espacios reducidos, obstáculos y personal de obra, no resultan efectivos ya que producen un exceso de mensajes de advertencia que saturan al operador, o detienen constantemente la maquinaria interrumpiendo la producción.

Para abordar este problema, la empresa Pavasal en colaboración con el centro tecnológico Tekniker están desarrollando un proyecto de investigación con financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación (Red.es), en el que mediante cámaras RGB-D situadas en la maquinaria e Inteligencia Artificial para el tratamiento de imágenes, el sistema sea capaz de discriminar e identificar la presencia de un ser humano y su movimiento relativo con respecto a la maquinaria (velocidad y dirección) y evaluar si se encuentran en una trayectoria de posible colisión.

En esta comunicación se muestran los avances realizados hasta el momento en el proyecto, donde se ha conseguido que el sistema identifique de manera selectiva la figura de un cuerpo humano en multitud de posturas, así como, su distancia a la maquinaria identificando diversas situaciones de riesgo y no riesgo, con diferentes condiciones de iluminación, incluyendo la nocturna.

**Palabras Clave:** Seguridad en obra, Deep Learning, Inteligencia Artificial

The construction sector has historically been one of the leading industries in terms of workplace accident incidence in Spain. According to data from the Construction Observatory, the number of accidents caused by total or partial loss of control of machinery accounts for 18%, 15.5%, and 26.3% of minor, serious, and fatal accidents in the sector, respectively. Given these figures, there is an urgent need to improve workplace safety. In the field of asphalt mixtures, attempts to enhance safety through machinery-integrated devices capable of generating alerts or stopping operations have not been very successful to date. Most of these systems rely on various types of proximity sensors which, in environments where circumstances are highly variable—with confined spaces, obstacles, and onsite personnel—prove ineffective. They often generate an overload of warning messages that overwhelm the operator or cause constant stoppages in machinery, thereby disrupting production. To address this issue, the company

Pavasol, in collaboration with the technology center Tekniker, is developing a research project funded by the Ministry of Science and Innovation (Red.es). The project uses RGB-D cameras mounted on machinery along with Artificial Intelligence for image processing, allowing the system to detect and identify the presence of a human being and their relative movement with respect to the machinery (speed and direction), and evaluate whether they are on a potential collision course. This paper presents the progress made so far in the project, which has successfully enabled the system to selectively identify the shape of a human body in a variety of postures, as well as determine its distance from the machinery. The system is able to distinguish between risk and non-risk situations under different lighting conditions, including nighttime.

**Keywords:** Worksite Safety, Deep Learning, Artificial Intelligence

### 1. INTRODUCCIÓN

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 hacia inviable un proceso totalmente controlado, hasta la llegada de la Inteligencia Artificial (IA).

Tres factores están actualmente contribuyendo a ralentizar la incorporación de la IA en el sector de la construcción:

1. Una legislación vigente que, al igual que ocurre con el vehículo autónomo, todavía no da suficientes garantías para introducir una IA en un proceso constructivo.
2. Escasez de conocimiento y talento tecnológico en las organizaciones.
3. Una cultura empresarial reacia a incorporar nuevas formas de construir.

Sin embargo, la automatización de los procesos constructivos parece irrenunciable en un contexto social donde prima la eficiencia de los recursos naturales, la seguridad y el bienestar de los trabajadores. A este respecto, otros sectores industriales de tradición más manufacturera ya cuentan con un nivel de desarrollo e integración de soluciones basadas en IA ofreciendo a la construcción un espejo donde mirarse.

Sin embargo, el reto tecnológico es mayúsculo debido a la casuística de un entorno tremendamente variable, tanto en la localización del mismo como en la variabilidad de parámetros a controlar dentro de cada una de las localizaciones. En el caso de una máquina en movimiento, como es el ámbito de este proyecto, debe resol-

ver, al menos, los siguientes retos:

- Percepción del entorno.
- Identificar los obstáculos.
- Entender los entornos cambiantes.
- Funcionar en condiciones adversas (obra y su entorno).

La solución propuesta a esos retos se basa en algoritmos de IA que son capaces de dar respuesta en tiempo real y que dan soporte a la toma de decisiones en percepción, localización, planificación, actuación y control.

Afrontar un proyecto de automatización de un proceso constructivo exige elegir el mejor enfoque, ya que es diferente robotizar una máquina ya existente que optar por un robot comercial y adaptarlo a una necesidad concreta.

Desde el punto de vista tecnológico, la robótica ofrece ya muchas alternativas para automatizar la construcción por lo que resulta crucial definir bien la necesidad para elegir la mejor opción disponible. En función del problema que se quiera resolver, el nivel de agregación tecnológica y el enfoque de la solución serán diferentes.

Existen funcionalidades de una máquina de construcción que, por cuestiones de seguridad o eficiencia, puede resultar interesante dejarlas fuera del espacio de decisión del operario que maneja la máquina. Estas automatizaciones no tienen por qué sustituir al operario, pero sí ofrecer soporte en el caso de que cierta operación no esté siendo óptima o se desencadene una escena peligrosa.

La vida útil de las máquinas del sector de la construcción es dilatada en el tiempo y, en ocasiones, sucede que las necesidades actuales no son plenamente satisfechas por unas máquinas que fueron desarrolladas hace décadas. Es por ello que ha nacido una tendencia tecnológica

denominada retrofitting que se basa en modificar la maquinaria actual, incorporándole nuevo hardware y software, con el fin de dotarla de autonomía.

Este proyecto aúna todos estos conceptos y pretende paliar la necesidad de la implementación de un sistema autónomo para la toma de decisiones en temas de seguridad tanto en maquinaria ya existente como en la nueva maquinaria que se fabrique, minimizando la actuación del operador de la maquinaria móvil.

Esta necesidad viene respaldada por los números de accidentabilidad con maquinaria móvil en general y de su uso en la construcción el particular. Los accidentes mortales con maquinaria móvil en nuestro país se incrementaron un 21,2% en el periodo entre 2015 y 2019 (UMIVALE, s.f.)[1], donde los conductores y operarios que emplean maquinaria móvil para desempeñar su trabajo sufren más accidentes laborales que hace cinco años. En concreto, los accidentes de trabajo con baja en jornada de este colectivo se han incrementado un

39,5%, pasando de 33.993 accidentes en 2015 a 47.445 en 2019.

Si hablamos de mortalidad, las cifras no mejoran. En los últimos cinco años se han incrementado un 21,2% los accidentes de trabajo con fatal desenlace, de 113 fallecidos en 2015 a 137 en 2019. Por género los accidentados son mayoritariamente hombres y si hablamos del tipo de lesiones en la mitad de los casos se tratan de dislocaciones, esguinces y distensiones, siendo las partes del cuerpo más afectadas las extremidades, que suponen el 60% de los casos.

El sector de la construcción, junto el agrícola y la industria, es uno de los sectores que lidera históricamente el índice de incidencia en accidentes laborales en España. Si nos centramos en el mundo de la construcción, según datos del Observatorio de la Construcción, el número de accidentes y mortalidad en la construcción debido a la pérdida (total y parcial) de control de maquinaria representa el 18%, 15.5% y 26.3% de los acci-

| Equipo de Trabajo             | Tipo Equipo / Tipo No Equipo | Grave     | Mortal   | Total general | % parcial   | % total     |
|-------------------------------|------------------------------|-----------|----------|---------------|-------------|-------------|
| <b>Maquinaria fija (41%)</b>  | Cinta transportadora         | 7         | 0        | 7             | 58%         | 24%         |
|                               | Molino                       | 3         | 0        | 3             | 17%         | 7%          |
|                               | Torre Perforadora            | 1         | 0        | 1             | 8%          | 3%          |
|                               | Envasadora                   | 1         | 0        | 1             | 8%          | 3%          |
| <b>Total Maquinaria fija</b>  |                              | <b>12</b> | <b>0</b> | <b>12</b>     | <b>100%</b> | <b>41%</b>  |
| <b>Maquinaria móvil (41%)</b> | Pala cargadora               | 2         | 2        | 4             | 33%         | 14%         |
|                               | Volquete                     | 2         | 1        | 3             | 25%         | 10%         |
|                               | Vagón de mina                | 1         | 0        | 1             | 8%          | 3%          |
|                               | Tractor                      | 1         | 0        | 1             | 8%          | 3%          |
|                               | Excavadora                   | 0         | 1        | 1             | 8%          | 3%          |
|                               | Perforadora                  | 1         | 0        | 1             | 8%          | 3%          |
|                               | Retroexcavadora              | 1         | 0        | 1             | 8%          | 3%          |
| <b>Total Maquinaria móvil</b> |                              | <b>8</b>  | <b>4</b> | <b>12</b>     | <b>100%</b> | <b>41%</b>  |
| <b>Instalaciones (14%)</b>    | Estructura metálica          | 2         | 0        | 2             | 50%         | 7%          |
|                               | Instalación de agua          | 1         | 0        | 1             | 25%         | 3%          |
|                               | Instalación eléctrica        | 1         | 0        | 1             | 25%         | 3%          |
| <b>Total Instalaciones</b>    |                              | <b>4</b>  | <b>0</b> | <b>4</b>      | <b>100%</b> | <b>14%</b>  |
| <b>Herramientas (3%)</b>      | Barra metálica               | 1         | 0        | 1             | 100%        | 3%          |
| <b>Total Herramientas</b>     |                              | <b>1</b>  | <b>0</b> | <b>1</b>      | <b>100%</b> | <b>3%</b>   |
| <b>Total general</b>          |                              | <b>25</b> | <b>4</b> | <b>29</b>     |             | <b>100%</b> |

Tabla 1. Accidentes 2018-2020 por tipo de equipo de trabajo en minería

dentes leves, graves y mortales dentro del sector de la construcción (Fundación Laboral de la Construcción, 2017)[2].

En el ámbito del sector de la minería la situación es incluso peor, ya que el porcentaje de accidentes mortales es del 100% asociado a maquinaria móvil durante el periodo entre 2018-2020:

Con estos datos, existe una necesidad imperativa de mejorar la seguridad en el entorno laboral, pero no únicamente de los operarios que emplean o que están cerca del trabajo ejecutado por maquinaria móvil, sino también de los usuarios ajenos a la obra, que por motivos en los que la obra se encuentra en entornos urbanos o interurbanos, pueden sufrir situaciones de riesgo para su seguridad por su cercanía a la maquinaria móvil en operación.

Un ejemplo de desarrollo en temas de seguridad de la maquinaria móvil son los sistemas de ayuda a la conducción para evitar atropellos. Existen soluciones implantadas en el mercado que avisan al operario del riesgo de atropello o, incluso, con capacidad autónoma de detener la máquina en el caso de detectar un peligro de colisión.

Sin embargo, aunque la maquinaria móvil dispone de estos elementos de detección que permiten la identificación de objetos, estos sistemas se ven muy influenciados por el entorno y la propia actividad desarrollada que obliga a la presencia de personal en la cercanía de la máquina, no siendo capaces de identificar posibles situaciones de peligro, ya que normalmente se basan en:

- RADAR: Sistema que es capaz de identificar la proximidad de un objeto en el entorno de la maquinaria móvil y su distancia relativa basado en ondas magnéticas. Sin embargo, no es capaz de discernir entre objetos y personas y su constante aviso de proximidad de los diferentes objetos impide la concentración de los operarios de la maquinaria móvil. Además, la acción de elementos meteorológicos o cambios en el ángulo de trabajo de la maquinaria impide su empleo por la distorsión de las ondas que componen el sistema.
- Sistema visionado de imágenes mediante cámaras: Este método permite la identificación de las personas en entornos en el que se mueve la maquina-

ria móvil, pero son altamente ineficientes debido al grado de atención que deben prestar los conductores de dichas máquinas a dichas imágenes mientras se está ejecutando su tarea.

Adicionalmente, cabe reseñar que, aunque el entorno de las obras es peligroso y siempre se debe estar en constante grado de concentración, existen disposiciones en que la maquinaria puede acercarse a corta distancia de los operarios/usuarios sin que estos se encuentren en peligro, como son situaciones en que la persona está detrás de un muro, a una distancia lejana y sin riesgo de atropello por parte de la maquinaria, ya que esta se desplaza en otro sentido.

Por ello en el proyecto "Inteligencia Artificial aplicada en la seguridad de maquinaria móvil (SAFETYPVV 4.0)" se pretende el desarrollo de un sistema de prevención de accidentes en obra a partir de la aplicación de la Inteligencia Artificial sobre imágenes 2D/3D capturadas en tiempo real mediante sensores incorporados en las máquinas. Entre los objetivos específicos del proyecto se encuentran:

- Reducir la accidentabilidad 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 ajenos a la obra que se puedan verse expuestos a las actividades realizadas por maquinaria pesada.
- Implementar una solución autónoma que permita la toma de decisiones en cuestiones de seguridad, obteniendo un sistema totalmente digitalizado que permita tener control sobre la maquinaria, disminuyendo el riesgo de incidencias debido a la reducción de accidentes en situaciones no controlables por operadores humanos.

Para ello, se desea implantar un sistema capaz de detectar no únicamente personas sino situaciones de riesgo, siendo el primer paso la correcta identificación de los operarios en situación de riesgo. Para ello, el Centro Tecnológico colaborador del proyecto, dispone de una tecnología capaz de medir la distancia mínima entre una máquina y una persona, como parte de la estrategia de seguridad de velocidad y separación entre máquina y personas en escenarios de robótica colaborativa. Este sistema denominado Proximity Detection System (PDS)

[3](España Patente nº ES2681123B2, 11/09/2018)[3], es capaz de medir la distancia relativa entre una máquina y un objeto en su proximidad, utilizando para ello la información en forma de nube de puntos provista por un sensor. En desarrollos posteriores el sistema ha evolucionado de ser un sistema capaz de medir la distancia relativa entre una máquina y un objeto en su proximidad, a ser capaz de distinguir entre objetos y partes del cuerpo de una persona gracias a la introducción de modelos de IA. El sistema es capaz de detectar distintas partes del cuerpo humano y calcular la distancia relativa entre un objeto y esas partes del cuerpo, en base a imágenes RGB y la información de la nube de puntos proporcionados por un sensor RGB-D.

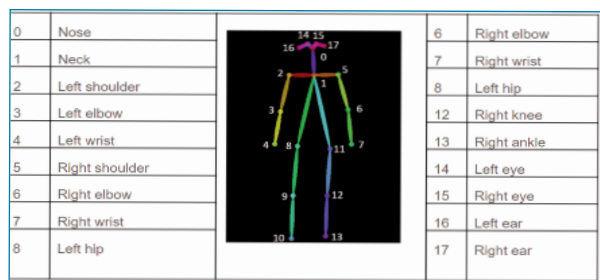


Figura 1. Partes del cuerpo detectadas por el modelo

Como se puede apreciar en la Figura 5, las partes del cuerpo se detectan sobre la imagen RGB (Figura 3 izquierda), y la alineación entre la imagen RGB y la nube de puntos permite posicionar aquellos puntos en la imagen de profundidad (Figura 3 derecha). Gracias a la información de profundidad de la cámara RGBD, se tiene la distancia entre la cámara y cada uno de las partes del cuerpo.

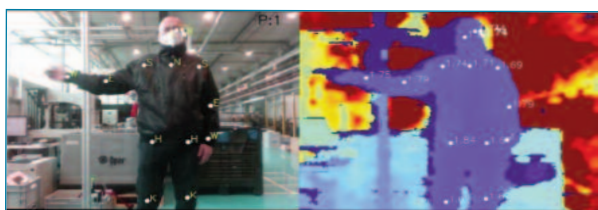


Figura 2. Cálculo en tiempo real de la distancia entre las partes del cuerpo y la cámara

Esta tecnología es la base para el desarrollo del proyecto, con la incorporación de la toma de decisiones sobre las situaciones de riesgo/no riesgo entrenadas y eva-

luadas por parte del sistema de IA.

Es por ello que el objetivo principal del proyecto es obtener una solución autónoma que pueda ser empleada en todas las obras y situaciones, utilizando una sistema que integre visualización de imágenes en tiempo real y su análisis avanzada mediante IA. El desarrollo de esta herramienta tecnológica permite obtener el mejor resultado desde el punto de vista de seguridad en obra teniendo en cuenta:

- Identificación de situaciones de riesgo: Evaluación de riesgo según el entorno en el que se mueve la maquinaria móvil.
- Identificación de posición relativa y la cinemática entre la maquinaria y operario/usuario
- Actuación sobre la maquinaria móvil que evite situaciones de accidente, que normalmente son de carácter grave para el operario/usuario que sufre el atropello.

Para cumplir con los objetivos, en el proyecto se plantearon diferentes fases 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: Alarmar si existe riesgo de colisión y registro de dichas activaciones para posterior evaluación.
- FASE 5: Como fin último, en primera instancia no arrancar la maquinaria si existe un objeto dentro de la zona de riesgo extremo y segundo, si la maquinaria está en movimiento, detener la maquinaria si existe riesgo extremo de colisión.

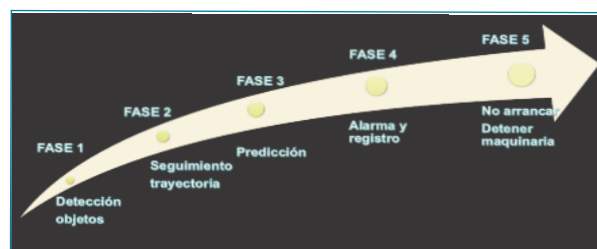


Figura 3: Fases del proyecto



## 2.INICIO DE LOS TRABAJOS

Previo a la FASE 1, Como inicio de las acciones para obtener el sistema de prevención, se realizaron unas pruebas para testear y analizar la validez y limitaciones del sistema de detección de personas, partes del cuerpo objetos y distancias desarrollado por el centro tecnológico, que nunca había sido empleado en el contexto de proceso de asfaltado.

El sistema se basa en la utilización de un conjunto de cámaras RGB-D y el análisis en tiempo real de las imágenes obtenidas, aplicando modelos basados de deep-learning. Es un sistema que no está certificado desde el punto de vista de seguridad, pero puede ser utilizado como un asistente para el conductor del vehículo, al que puede avisar en caso de una situación que requiera su atención.

### 2.1. Definiciones de experimentos realizados

Para evaluar las situaciones de peligro, se definieron las siguientes pruebas a realizar con una descripción el objetivo final de la misma:

### 2.2. Hardware

El sistema de adquisición de datos previos se basa en la utilización de un conjunto de cámaras RGB-D Intel RealSense D435i, mientras que el análisis en tiempo real de las imágenes obtenidas se realizó mediante un hardware específico con 4 Jetson Nano (miniPC con GPU integrada), cámaras, un switch Ethernet, un router 4G y una batería de litio de 24V 1.5AH para su alimentación, Para llevar a cabo la experimentación se diseñó y fabricó un hardware específico con 4 Jetson Nano (miniPC con GPU integrada), 3 cámaras RGB-D Intel RealSense D435i, un switch Ethernet, un router 4G y una batería de litio de 24V 1.5AH para su alimentación. aplicando modelos basados de deep-learning.

| Nº TEST | Descripción                                                                                                                                                                                                         | Objetivo                                                                                                                                                                  |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con iluminación diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo sin personas visibles en el rango de las cámaras.                                      | Contabilizar el número de falsos positivos de la solución.                                                                                                                |
| 2       | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con iluminación diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo habitual con parte del equipo de trabajo llevando EPI y otra parte del equipo sin EPI. | Demostrar que la solución detecta personas cercanas al peligro independientemente del uso de EPIs con distinto número de operarios alrededor.                             |
| 3       | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo con personas en diferentes posiciones (de pie, en cuclillas, de rodillas, etc.).                   | Demostrar que la solución detecta a personas independientemente de la postura que adopten.                                                                                |
| 4       | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo en el que una o varias personas se encuentra tumbadas                                              | Demostrar que la solución detecta a personas tumbadas en caso de desmayos                                                                                                 |
| 5       | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo habitual utilizando herramientas de trabajo (palas, picos, etc.).                                  | Demostrar que la solución detecta personas cercanas al peligro independientemente del uso de herramientas de trabajo (palas, picos, etc.) con muchos operarios alrededor. |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                           |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6  | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo habitual transportando distinto material (sacos de obra, perfiles, ...)                                                                                         | Demostrar que la solución detecta personas cercanas al peligro independientemente al transporte de distintos elementos con distintos operarios alrededor. |
| 7  | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo habitual con trabajadores a distintas distancias (menos de 3.5m, entre 3.5 y 8m, más de 8m)                                                                     | Demostrar que la detección de distancias a los humanos funciona correctamente.                                                                            |
| 8  | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo habitual con parte del equipo llevando EPI y otra parte del equipo sin EPI moviéndose alrededor del vehículo acercándose a la maquinaria en distancias marcadas | Demostrar que la solución detecta personas cercanas al peligro independientemente de su desplazamiento acercándose a la maquinaria.                       |
| 9  | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo habitual con parte del equipo llevando EPI y otra parte del equipo sin EPI moviéndose alrededor del vehículo alejándose en distancias marcadas                  | Demostrar que la solución detecta personas cercanas al peligro independientemente de su desplazamiento alejándose de la maquinaria.                       |
| 10 | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo habitual con parte del equipo llevando EPI y otra parte del equipo sin EPI moviéndose alrededor del vehículo moviéndose en paralelo en distancias marcadas      | Demostrar que la solución detecta personas cercanas al peligro independientemente de su desplazamiento de manera paralela a la maquinaria.                |
| 11 | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo habitual con lluvia (simulación a través de aspersor).                                                                                                          | Comprobar que la solución detecta personas cercanas al peligro independientemente de las condiciones climatológicas.                                      |
| 12 | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo habitual con el asfalto desprendiendo vapores.                                                                                                                  | Comprobar que la solución detecta personas cercanas al peligro independientemente de que el asfalto desprenda o no vapores.                               |
| 13 | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo habitual con trabajadores que lleven ropa similar al entorno (ropa y fondo del mismo color)l vehículo alejándose en distancias marcadas                         | Comprobar que la solución detecta personas cercanas al peligro independientemente de su vestimenta en condiciones de baja iluminación.                    |
| 14 | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en una situación de trabajo habitual con personas delante y detrás de una bionda o encima del vehículo.                                                                                     | Demostrar que la solución detecta personas parcialmente ocultas.                                                                                          |
| 15 | Con el vehículo detenido/movimiento/vibrando, realizar test con diurna/nocturna/baja en con la maquinaria en una superficie peraltada o en una rampa con parte del equipo de trabajo llevando EPI y otra parte del equipo sin EPI                                                | Demostrar que la solución detecta personas independientemente de la inclinación del vehículo.                                                             |

Tabla 2. Test a desarrollar en las pruebas

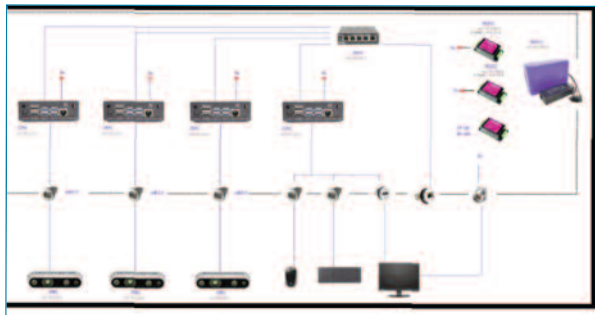
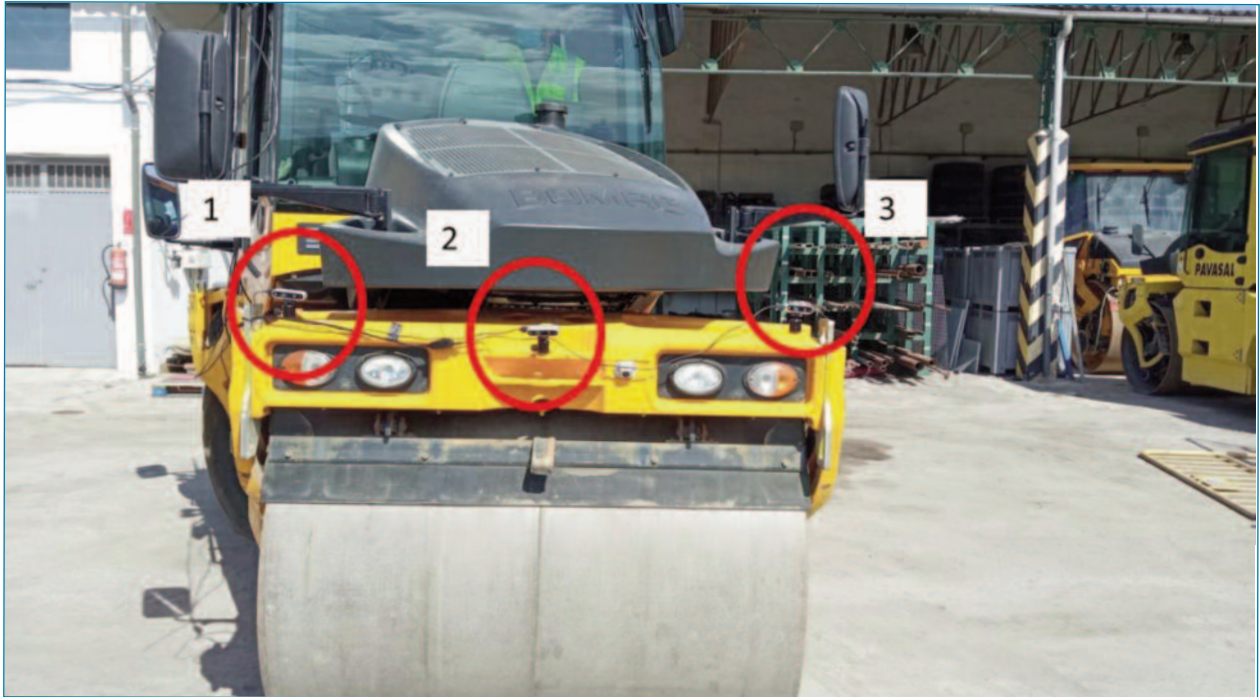


Figura 4. Esquema con los diferentes elementos hardware

### 3. FASES 1 y 2. Detección de objeto y seguimiento de trayectoria

Una vez instalado el hardware en la maquinaria, durante las FASES 1 y 2, se realizaron pruebas planificadas en las situaciones de peligro previamente definidas en el sistema instalado. Estas pruebas se realizaron en un rodillo compactador, con la ubicación en altura de la cámara y se probaron configuraciones previamente definidas para garantizar que no hubiera puntos ciegos. Dentro de esta fase, también se definieron las localizaciones de las cámaras RGB-D utilizadas en las pruebas,





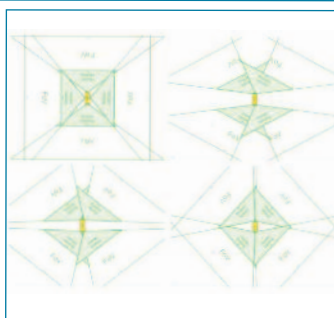


Figura 5. Colocación de las cámaras sobre una máquina móvil y prueba de configuraciones

con el fin de evitar ángulos muertos.

Se realizaron en diversas condiciones de iluminación y condiciones atmosféricas. Además se confirmó que el sistema capturaba imágenes con éxito e identificó todos los escenarios que pueden ocurrir en un sitio de construcción. Además, se verificó que la adquisición de la nube de puntos de la cámara permite la identificación de elementos no humanos, contribuyendo a detectar-

los. Además, el sistema fue testado para evaluar las posibles trayectorias del usuario en relación con su posición, lo que permite identificar tempranamente y evitar posibles situaciones de colisión.

Con ello, el sistema SAFETYPAV 4.0 permitía detectar tres elementos:

- ⇒ Velocidad de la máquina: a través de la IMU de las cámaras.
- ⇒ Elementos no humanos estáticos y en movimiento, mediante detección de nube de puntos y IA.
- ⇒ Seres Humanos (detección de IA), en el cual se determinaba su posición, trayectoria y velocidad.





### Figura 6: Detección de personas y objetos

Pero además, en estas fases se comenzó a identificar elementos, rasgos y posiciones que permitan realizar una predicción: la identificación facial, elementos que implicaban distracción como son teléfonos móviles o tablets, situaciones insólitas (tumbado), con el fin de obtener un sistema que permita la predicción de trayectorias y tiempos de respuesta para avisar en un primer momento o detener la maquinaria.



### Figura 7: Detección de rasgos faciales

#### 4. FASE 3. Predicción de trayectoria

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.

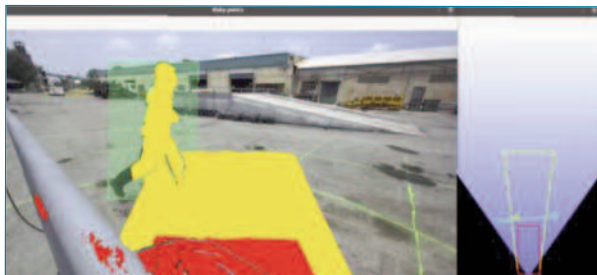


Figura 8: Zonificación zona riesgo

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 dependía de la velocidad y trayectoria del operario y la máquina.



Figura 9: Cambio de la evaluación de riesgo de atropello según aproximación

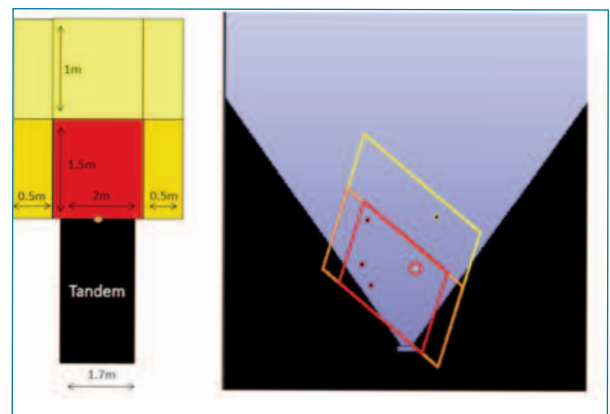


Figura 10: Áreas de detección en estático



## 5. FASE 4. Alarma y registro

Con el sistema predictivo definido, llegamos a la fase 4. Como hemos indicado, este sistema funciona mediante algoritmos de detección y respuesta los cuales no son infalibles si es necesario detener la máquina. Por ello, existen pasos previos para poder avisar a los operarios y conductor del riesgo de posible colisión antes de actuar.

En esta fase, se desarrolló un sistema mediante OCR (Reconocimiento de Caracteres Óptico, por sus siglas en inglés), que pretende dar alarma cuando es necesario ya quien es necesario. Por ello, se diseñó un sistema de aviso de alarma único 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.



Figura 11: Dispositivos bluetooth y ejemplo de chaleco con OCR

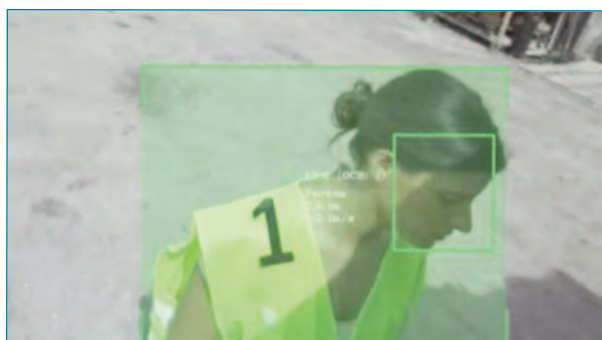


Figura 12: Ejemplo de detección por OCR

Además, para mejorar la operativa de trabajo, el sistema recopilaba los datos de activación de alarma para una posterior análisis que permita mejorar en seguridad, obteniendo el grado de alarma como un video con la activación.



Figura 13 : Baliza en distintos estados

## 6. FASE 5. Acción sobre la maquinaria

Como paso final, si todos los sistemas anteriores fallaban, la última fase, la número 5, fue el poder actuar sobre el sistema de parada de la maquinaria cuando existe riesgo de colisión entre ésta y un objeto que este en zona de riesgo dentro del tiempo de reacción. Si los avisos lumínicos y mediante los dispositivos de alarma portátiles no son suficientes, el sistema, llegado al nivel de la lógica desarrollada, era capaz de detener la máquina mediante paro de emergencia.

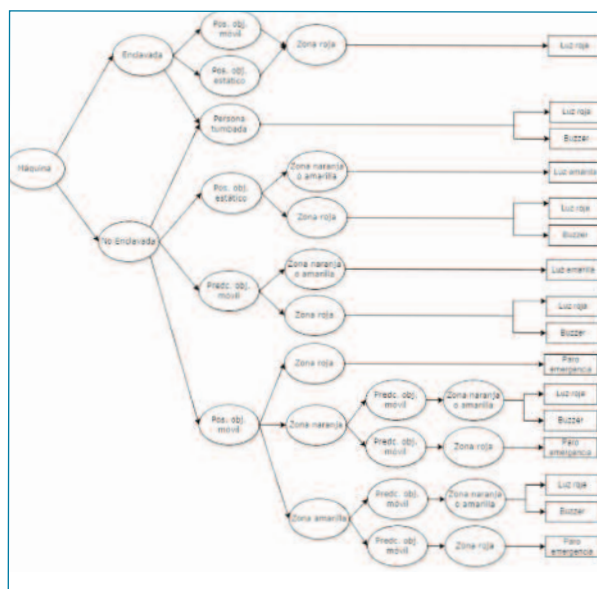


Figura 14: Lógica desarrollada

Para ello, en primer lugar se obtuvo información del sentido del movimiento, velocidad y disposiciones que pudiese 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

## SAFETYPVV 4.0: Inteligencia artificial aplicada en la seguridad de maquinaria móvil

sistema tuvo que adaptarse con el cambio de anchura de la maquinaria.

Cuando se alcanzaba el grado de alerta máxima, mediante la activación del software, se procedía a detener la máquina antes de que se produzca el atropello o impidiendo el arrancado de la misma si se haya un obstáculo dentro de la zona de riesgo máximo



Figura 15: Alarmas riesgo medio y alto, con detención de máquina

### 7. CONCLUSIONES

Debido a que las operaciones de asfaltado requieren labores en las que las máquinas se encuentran, en numerosas ocasiones, muy cerca de los operarios, el objetivo principal de SAFETYPVV 4.0 y, lo que lo diferencia con respecto a los actuales sistemas basados en detectores de proximidad, es conseguir que solo se alerte cuando realmente existe un peligro, evitando alarmas reiteradas y repetitivas que acaban siendo ignoradas por el operario de la máquina y al final no resultan operativas. Esto se consigue mediante los algoritmos de decisión basados en inteligencia artificial, que realizan la predicción futura de la posición relativa entre la máquina y la persona implicada, analizan e interpretan las condiciones del entorno y establecen el nivel de alarma variable

para cada circunstancia.

La conclusión más importante tras las pruebas realizadas es que, el sistema actual SAFETYPVV 4.0, es capaz de detectar perfectamente a humanos con y sin oclusiones en todas sus posiciones, con una alta tasa de acierto. Por otra parte, se dispone de un algoritmo para el tratamiento de la nube de puntos que pueden detectar objetos y evaluar si se encuentran o no en la trayectoria futura de la máquina. Actualmente se está trabajando en un algoritmo de decisión encargado de procesar toda esta información, añadiendo la que se puede obtener de la propia máquina (velocidad, posición de giro, sentido de avance, etc.), para que pueda decidir en tiempo real si emitir o no una alarma, tanto al conductor de la máquina, como al operario en peligro de manera selectiva.

Así, puesto que las operaciones de asfaltado requieren labores en las que las máquinas se encuentran, en numerosas ocasiones, muy cerca de los operarios, el objetivo principal del sistema y, lo que lo diferencia con respecto a los actuales sistemas basados en detectores de proximidad, es conseguir que solo se alerte cuando realmente existe un peligro, evitando alarmas reiteradas y repetitivas que acaban siendo ignoradas por el operario de la máquina y al final no resultan operativas. Esto se consigue mediante los algoritmos de decisión basados en inteligencia artificial, que realizan la predicción futura de la posición relativa entre la máquina y la persona implicada, analizan e interpretan las condiciones del entorno y establecen el nivel de alarma variable para cada circunstancia que a. es capaz de:

- Detectar elementos estáticos y móviles y predecir su trayectoria, con el resultado de alertar a los operarios implicados de un posible accidente y con capacidad de detener la maquinaria.
- En última instancia, de detener la máquina si se está en zona de riesgo o si hay intención de entrar en ella, con un tiempo de respuesta asociada a la velocidad.
- Además, el sistema SAFETYPVV 4.0 se puede integrar en todo tipo de maquinaria con una serie de adaptaciones, no sólo las basadas en la construcción de carreteras, siendo capaz de prevenir accidentes mortales que involucren cualquier tipo de



maquinaria pesada.

Actualmente el proyecto se encuentra en sus últimas fases, implementando distintas funcionalidades y evaluando todas las casuísticas descritas. Además, se están desarrollando nuevas aplicaciones que permitan discernir entre un conjunto de operarios, reconociendo de manera selectiva quién es el que se encuentra en peligro y de esta forma avisar, no solo al maquinista que conduce, sino también al operario que se encuentra en peligro, para lo cual se plantean sistemas de alarma integrados en su indumentaria.

Una vez implementados los algoritmos y los modelos para la predicción de situaciones de riesgo, el último paso del proyecto será la integración del algoritmo desarrollado en una de las máquinas móviles disponibles, introduciendo sistemas de aviso y parada en dicha máquina en situaciones de riesgo de accidente.

Los autores desean agradecer la financiación de este proyecto a través del programa «Proyectos de Investigación y Desarrollo de Inteligencia Artificial y otras tecnologías digitales y su integración en las cadenas de valor» de la entidad pública empresarial Red.es, el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) «Una manera de hacer Europa».



## 8. REFERENCIAS

- [1] UMIVALE. (s.f.). Umivale Activa. Obtenido de <https://umivaleactiva.es/blog/prevencion-y-habitos-saludables/>
- [1] UMIVALE. (s.f.). Umivale Activa. Obtenido de <https://umivaleactiva.es/blog/prevencion-y-habitos-saludables/>
- [2] Fundación Laboral de la Construcción. (2017). Informe 2017 accidentabilidad en la construcción.
- [3] Fundación TEKNIKER (11/09/2018). España Patente nº ES2681123B2
- [2] Fundación Laboral de la Construcción. (2017). Informe 2017 accidentabilidad en la construcción.
- [3] Fundación TEKNIKER (11/09/2018). España Patente nº ES2681123B2.