



Seguridad de los operarios en obra de construcción de carretera

Autor: Jesús Sánchez Allende

Institución: Universidad Alfonso X el Sabio

Otros autores: Francisco Javier Gabiola Ondarra (Universidad Alfonso X El Sabio); Pilar Moreno Díaz (Universidad Alfonso X El Sabio)

Resumen

La construcción de carreteras supone un impacto mediambiental importante en el que las operaciones requeridas, por ejemplo, las operaciones de compactado llevan asociada la presencia en un entorno físico relativamente reducido de operarios a pie y maquinaria en movimiento. Estas operaciones suponen un riesgo de atropello hacia el personal situado en las inmediaciones de los vehículos de compactado.

En la actualidad, los medios utilizados pueden considerarse insuficientes ya que de hecho las cifras de siniestralidad clasifica a las operaciones de compactado de viales como de alto riesgo frente a atropellos o daños por alcance a los operarios de a pie.

Los medios empleados actualmente son simples en su planteamiento e incluyen zumbador acústico de marcha atrás en la máquina y la utilización de chalecos reflectantes. La rutina laboral a la que se ven sometidos los operarios, constantemente apercebidos del sonido del zumbador de las máquinas, hace que disminuya el efecto preventivo, eliminando la sensación de alerta que podría representar para un operario recién incorporado al entorno físico de trabajo.

Si a este factor se añade el hecho de trabajar en un entorno de trabajo con un nivel sonoro alto, propio del sector de la construcción y las obras públicas, se puede deducir que la alerta acústica de la máquina ofrece un margen de protección reducido frente a los riesgos que se pretenden evitar.

En el proyecto se propone un sistema automático para la detección de riesgo de atropello o accidentes de operarios por alcance de las máquinas compactadoras bajo las condiciones de entorno propias de la construcción de carreteras, y basado en la aplicación de las nuevas tecnologías para asegurar el aviso personalizado a todos y cada uno de los miembros del equipo de trabajo. El sistema utiliza un mecanismo de posicionamiento y difusión de posición, que permite estimar el riesgo de atropello y avisar al operario mediante señales táctiles y al operador mediante señales visuales y/o de actuación directa sobre la máquina.

Palabras clave: Riesgo en obra. Atropello. Seguridad de los trabajadores. Construcción de carreteras. Seguridad en obra.

Introducción

Las operaciones de compactado en obra de carretera llevan asociada la presencia en un entorno físico relativamente reducido de operarios a pie y maquinaria en movimiento, lo que implícitamente conlleva un riesgo de atropello hacia el personal situado en las inmediaciones de los vehículos de compactado.

En la actualidad, los medios utilizados pueden considerarse insuficientes ya que de hecho las cifras de siniestralidad por las razones expuestas clasifica las operaciones de compactado de viales como de alto riesgo frente a atropellos o daños por alcance a los operarios de a pie.

Estos medios son simples en su planteamiento e incluyen zumbador acústico de marcha atrás en la máquina y la utilización de chalecos reflectantes en los operarios de a pie para facilitar su identificación por parte del conductor del vehículo de compactado.

La rutina laboral a la que se ven sometidos los operarios, constantemente apercebidos del sonido del zumbador, hace que disminuya el efecto preventivo, eliminando la sensación de alerta que podría representar para un operario recién incorporado al entorno físico de trabajo.

Si a este factor se añade el hecho de trabajar en un entorno de trabajo con un nivel sonoro alto, propio del sector de la construcción y las obras públicas, se puede deducir que la alerta acústica de la máquina ofrece un margen de protección reducido frente a los riesgos que se pretenden evitar.

En [1] los autores proponen para este mismo problema la automatización del proceso de compactado de forma que se evite que se encuentren operarios en la zona de trabajo.

En [2] los autores proponen el uso de elemento de alta visibilidad mejorar la visibilidad de los operarios y reducir de esta forma la probabilidad de que se produzca un accidente en la obra.

En [3] se propone usar bandas sonoras temporales para identificar las zonas de riesgo para los operarios.

Entorno de trabajo

En las condiciones más exigentes, el entorno operativo de una tarea de compactado estaría delimitado por los siguientes elementos:

1. Un vial de características y dimensiones variables en función de la obra.
2. Dos máquinas compactadoras trabajando en sentidos opuestos y alternativos (adelante/atrás) y desplazándose por el eje longitudinal del vial, a una velocidad de régimen de unos 6 km/h y con una velocidad máxima de 10 km/h.
3. Un equipo a pie de obra formado por un máximo de 20 operarios, desplazándose a una velocidad máxima de 3 km/h.
4. Una máquina extendedora que trabaja previamente a la compactadora, con un equipo de operarios de a pie con herramienta manual para apoyo a la faena de extendido, trabajando en las proximidades de la regla. En ocasiones, la máquina compactadora y la extendedora trabajan muy próximas la una a la otra.
5. Unas condiciones ambientales especialmente agresivas derivadas en general del trabajo a la intemperie y en particular a las altas temperaturas de extendido del aglomerado (150 °C).

En la Figura 1 puede verse un esquema del trabajo de una extendedora, una compactadora y un equipo de operarios.

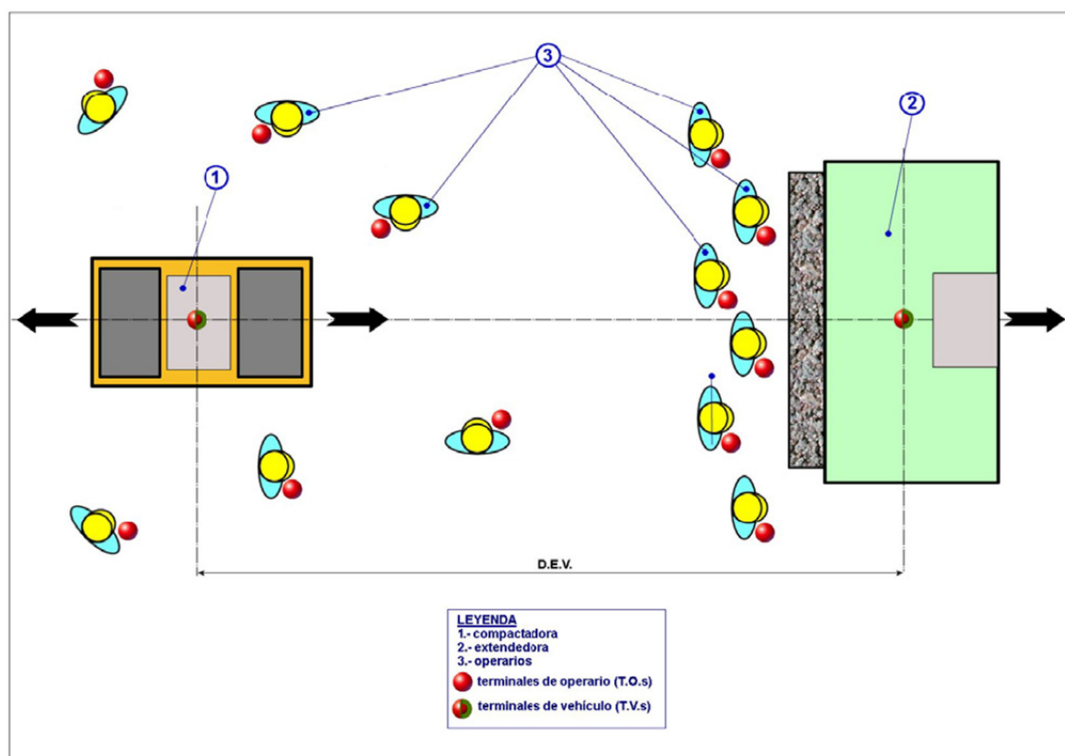


Figura 1: Esquema de campo.

En la Figura 4 puede verse una máquina compactadora en obra de construcción de una carretera.

Esquema de solución

De acuerdo con el esquema indicado en la Figura 1, el sistema estará basado en terminales autónomos para operarios de a pie (Terminales de Operario - T.O.) y para vehículos (Terminales de Vehículo - T.V.). Ambos tipos de terminales estarían basados en transmisores inalámbricos inteligentes con receptor de localización integrado.

Los receptores de localización recibirían la posición a través de un sistema basado en una constelación de satélites con la mayor exactitud que admitan los dispositivos, en la medida de posición. Este parámetro es de la máxima relevancia, junto con el tiempo de refresco. La determinación de ambos parámetros, exactitud en la posición y tiempo de respuesta total del sistema, resultan elementos fundamentales, ya que de los resultados dependerá la viabilidad de la aplicación, teniendo en cuenta los parámetros de velocidad de los vehículos y operarios ya indicados.

Una solución viable debería garantizar que los parámetros antes mencionados presenten unas tolerancias máximas que aseguren el aviso en la totalidad de los casos y bajo cualquier circunstancia a todos los agentes implicados.

La comunicación entre los Terminales de operario (T.O.), y los Terminales de vehículo (T.V.) utilizarán una comunicación inalámbrica utilizando un protocolo de comunicación entre terminales con tiempo prácticamente despreciable con respecto al tiempo total a considerar.

Una vez transmitida la información entre los T.O y los T.V, el sistema determinará si un operario se encuentra dentro de un área de riesgo previamente configurada.

En caso positivo, generará distintas actuaciones que consistirían básicamente en:

- Generar un aviso en el terminal del operario afectado, de forma que el operario pueda reaccionar con tiempo suficiente para retirarse de la trayectoria de atropello.
- Generar un aviso en el terminal del vehículo, de forma que el conductor pueda actuar sobre el vehículo antes de que se produzca el atropello.

Zona de riesgo

La zona de riesgo para un operario se define en términos de varios factores:

- La dirección de movimiento de las máquinas compactadoras.
- La velocidad de las máquinas compactadoras. Cuanto más rápidas se muevan mayor deberá ser la zona considerada de riesgo.
- La capacidad de giro de las máquinas compactadoras, por lo que se debe diseñar la zona de riesgo como un troncocono que tome en cuenta esta posibilidad.
- La posible indeterminación de la posición real del operario.

En la Figura 2 se muestra un dibujo esquemático de la Zona de riesgo.

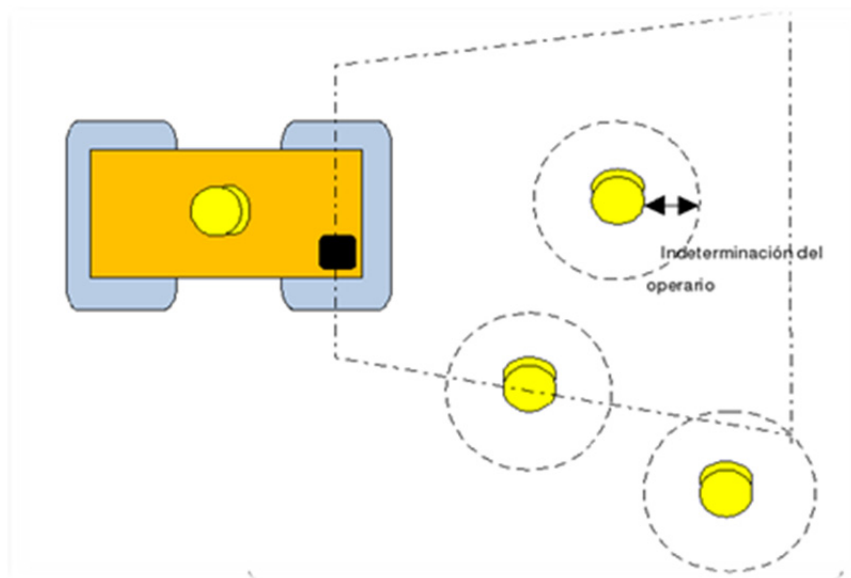


Figura 2: Zona de riesgo

Subsistema de posicionamiento

El subsistema de posicionamiento contará con un sistema de posicionamiento diferencial:

- Los T.O. dispondrá de un sistema de posicionamiento con velocidad de refresco mínimo de 1HZ.
- Los T.V utilizarán un sistema de posicionamiento de mayores prestaciones con velocidad de refresco entre 5-10 Hz.

Este sistema de posicionamiento calculará la posición, velocidad y trayectoria de cada elemento en el entorno de trabajo.

Subsistema de Comunicaciones

Para las comunicaciones entre elementos del sistema se eligió realizar una red mallada utilizando comunicaciones Zigbee. Ofrece un sistema de comunicaciones robusto, con una velocidad buena para este tipo de desarrollo y con una comunicación a gran distancia en campo abierto. Así mismo, resulta especialmente conveniente por el muy bajo consumo de este tipo de dispositivos de comunicaciones muy apropiados para que los lleven los operarios durante su jornada laboral completa.

Diseño del sistema

El funcionamiento del sistema se basa en un esquema básico de conocimiento de la información de posicionamiento, velocidad y dirección, tanto de los operarios como de las máquinas.

Para simplificar el sistema se optó por que las máquinas radiasen su posición a una tasa de 5Hz, de forma que todos los operarios reciben la posición de la máquina cada 200ms. Con esta tasa de refresco pueden calcular la posición relativa en que se encuentra y la dirección en la que se mueve.

Los terminales de operario se optó por un sistema más sencillo, mejor integrable y más ligero con una tasa de refresco de la posición de 1Hz.

En el caso del terminal de la máquina compactadora T.V. hay que distinguir las siguientes partes:

- **Comunicación en red:** Este subsistema se encarga de tener la gestión de los equipos que se encuentran incorporados a la red mallada de comunicaciones ZigBee. Cuando un nuevo equipo se incorpora a la red lo registra para control. Así mismo genera una traza de registro en el sistema de registro para conocer cuándo comenzó a estar gestionado bajo la red.
Este sistema también se encarga de difundir a todos los terminales de operario registrados la información correspondiente al posicionamiento (latitud y longitud), fecha y hora, rumbo y velocidad.
- **Posicionamiento:** Este subsistema se encarga de forma independiente de las siguientes tareas: Configurar el GPS para que transmita la información necesaria en forma de tramas RMC. Una vez ha actualizada la información avisa al sistema de comunicaciones para su envío.
- **Aviso:** Este subsistema se encarga de poner en alerta al conductor del vehículo de que algún Terminal de operario ha entrado dentro de la zona de seguridad del vehículo.
- **Registro:** Este subsistema se encarga de guardar en un registro las evidencias de eventos que han ocurrido en el sistema. En particular la información referente a los terminales de operario: la conexión y desconexión de los mismos de la red,

cuándo han entrado en la zona de riesgo, cuando se ha lanzado una alarma local, cuando se ha cesado la alarma en el terminal de operario, cuando se ha cesado la alarma en el terminal de vehículo.

En cuanto al Terminal de Operario T.O. hay que distinguir los siguientes subsistemas software:

- Comunicaciones en red: Este sistema se encarga principalmente y de forma periódica de recibir la información proveniente del Terminal de vehículo y guardarla de forma local para los cálculos de determinación de inclusión o no en la zona de riesgo definida para la máquina. Por otra parte también envía al Terminal de vehículo información de estar en peligro cuando calcule con respecto a su posición que se encuentra dentro de la zona de riesgo definida. Cuando el operario elimine la condición de alarma envía al Terminal de vehículo esta condición para que el terminal de vehículo pueda registrar este evento.
- Posicionamiento: Este subsistema se encarga de: Configurar el GPS para que transmita la información necesaria en forma de tramas RMC con la información de posicionamiento. Cada vez que se haya completado la lectura de una trama de posicionamiento deberá realizar el cálculo de peligro por si se produce dicha situación.
- Manejo de sistema de aviso: El sistema de aviso se encarga de manejar los dispositivos externos conectados al terminal de operario para avisarle de la situación de riesgo. En el sistema probado se dispone de un doble sistema de aviso, un aviso acústico con un zumbador que genera un tono de alta frecuencia y un aviso táctil que genera una vibración que puede sentir el operario.

Aviso al operario

Dentro del proyecto un elemento importante a investigar era buscar un buen mecanismo para poder avisar al operario una vez detectado que se encuentra en situación de riesgo de atropello.

El uso de un mecanismo acústico diferente del que emplean las máquinas puede suponer un elemento de alerta, pero como ya se ha observado en otras ocasiones las personas tienden a acostumbrarse por encontrarse en un entorno ruidoso y a no prestarles atención.

Se trata de encontrar las zonas corporales que tengan una respuesta más sensible y más rápida a los estímulos vibratorios como modo de aviso. Para ello se analizó la distribución espacial en la superficie corporal (cabeza, tronco y extremidades) de la sensibilidad cutánea a la vibración, y la variación del tiempo de respuesta dependiendo de la frecuencia y de la amplitud del estímulo vibratorio.

En una primera fase se determinaron los parámetros óptimos de estimulación. Se colocó el vibrador, y se aplicaron estímulos de 2 segundos de duración, a las frecuencias de 25, 50, 100, 200 y 400 Hz. Estas frecuencias incluyen al rango de sensibilidad de los receptores nerviosos cutáneos de Meissner y de Paccini sensibles a la vibración. La frecuencia óptima será aquella para la que el umbral de detección sea más bajo, y esta frecuencia óptima será la que se utilizará en la segunda fase del estudio.

De esta primera fase se determinó que el tiempo de respuesta fue menor para todas las intensidades con la frecuencia de 200 Hz, intermedia a las frecuencias de 100 y 400 Hz, y mayor para 50 y 25 Hz. Por tanto, nuestro objetivo es utilizar una frecuencia de 200Hz para el avisador.

En una segunda fase se estudió la distribución espacial de la sensibilidad cutánea en la piel de cabeza, tronco y manos. Se deseaba obtener la mejor zona donde aplicar el estímulo del aviso.

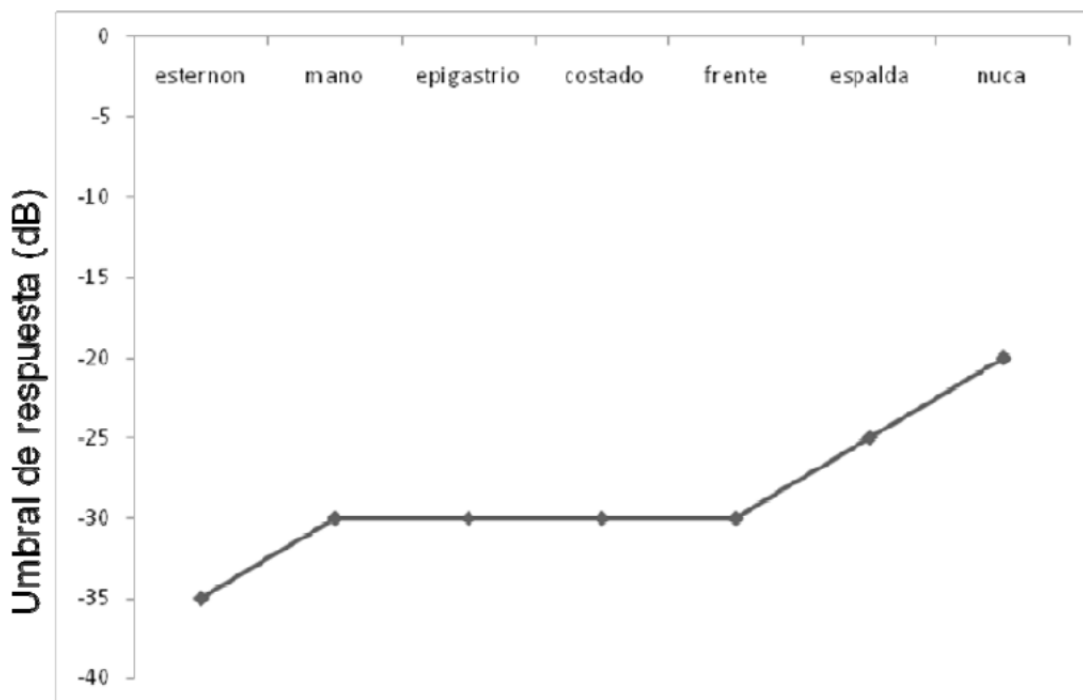


Figura 3: Umbral de sensibilidad dependiendo de la zona donde se aplica el estímulo.

De la Figura 3 se puede observar que las zonas que presentan mayor sensibilidad son el esternón y luego la mano, el epigastrio, el costado y la frente. Por razones de comodidad se diseñó ubicar el sistema en un dispositivo adosado al guante del operario que permitiese realizar el aviso vibratorio sobre el dorso de la mano.

Resultados

Las pruebas finales nos permitieron comprobar el funcionamiento del sistema en un entorno real de desarrollo. Como se puede ver la Figura 4, las pruebas se realizaron en una obra de construcción de carretera real. En la imagen se puede apreciar la preparación de los equipos para las pruebas.



Figura 4: Pruebas del sistema en una obra real.

Como resultado de las pruebas realizadas hay que tener en cuenta, además de los elementos considerados con anterioridad:

- Definir con cuidado el ancho del área de seguridad que se establece a la altura de la máquina. En realidad hay que tener en cuenta que dicha distancia de seguridad desde la antena hacia adelante. Para una máquina de 2m de ancho se estima un mínimo de ancho del área de seguridad de 5m.
- Establecer el tiempo que se debe ofrecer al operario para reaccionar una vez detectado que se encuentra en zona de riesgo. Este tiempo se establece en 3s teniendo en cuenta las recomendaciones de seguridad internacionales, aunque en pruebas de campo y teniendo en cuenta la velocidad de las máquinas debería ser del orden de los 5s. Se considera éste un tiempo mínimo de respuesta que se debe dejar al operario.
- El área de riesgo se define como un troncocono, cuyo ancho es mayor conforme se encuentra más lejos el operario. El crecimiento de este troncocono debe ser coherente con el comportamiento de giro de la máquina de forma que sea mayor para máquinas que giran “mucho” y menor para máquinas que giran “poco”. Para una compactadora se considera 5cm/m una medida “adecuada”. De esta forma, si se establece un ancho de 5m a la altura de la antena en la máquina del troncocono, éste tendrá un ancho de 6 metros a 10m de distancia.

Conclusiones

Las obras de construcción en carretera, y en particular las de compactado, siguen suponiendo un entorno de riesgo para los operarios que trabajan en un entorno de ruido y donde las medidas de seguridad actuales van perdiendo efectividad con el tiempo. El presente proyecto pretende dar una solución personalizada para los operarios que les permita detectar que están invadiendo una zona de riesgo de una máquina compactadora.

Los sistemas se han implantado y probado en un entorno real.

De las pruebas realizadas se ha podido constatar que:

- El sistema responde en las distancias programadas cuando las velocidades del terminal de vehículo se encuentran dentro de las velocidades de trabajo especificadas en los requisitos técnicos.
- El sistema responde en los tiempos de alcance programados cuando las velocidades del terminal de vehículos son superiores a las velocidades medias, avisando con anterioridad suficiente al atropello, siendo la distancia de aviso proporcional a la velocidad a la que se desplaza el vehículo.
- El sistema responde apropiadamente independientemente de la dirección o rumbo en que se mueva el vehículo.
- El sistema no da señales de aviso cuando el terminal se encuentra alejándose el operario de éste se encuentra situado de forma lateral a la posición y rumbo en que se mueve el terminal de vehículo.
- El sistema responde con la precisión prevista en los tiempos programados para avisar al operario con la antelación suficiente a un posible atropello, siendo el error máximo estimado menor de 1m.
- Es necesaria una implantación que resulte cómoda de llevar al operario y le permita percibir las señales de aviso.

Bibliografía

- [1] S Bergquist, C Grante, Automation for Improved Safety in Roadside Construction, Proceedings of the 30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining Vol. 2013 (2013),
- [2] Berces, Agota, Improving Worker Safety through Better Visibility, Journal of the Australasian College of Road Safety Volume 21 Issue 4 (Nov 2010)
- [3] Elghamrawy, T. M. (2011). Optimizing work zone practices for highway construction projects (Doctoral disseration). En IDEALS, <https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/24344>
- [4] Pratt, S. G., Fosbroke, D. E., & Marsh, S. M. (2001). Building Safer Highway Work Zones: Measures to Prevent Worker Injuries From Vehicles and Equipment. En <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2001-128/pdfs/2001-128.pdf>