



**begirale**  
CONTROLLING RISK  
a Dominion company

# Estudio comparativo de tecnologías para la detección de obstáculos en pasos a nivel

## Introducción

El presente documento recoge las principales conclusiones de un estudio comparativo de dos de las principales tecnologías que se usan para la detección de obstáculos en pasos a nivel. Una de ellas es la tecnología más extendida a nivel internacional y que viene siendo usada en las últimas décadas y la otra es una alternativa muy reciente basada en tecnologías digitales de última generación.

## Antecedentes

Un paso a nivel es un cruce o intersección al mismo nivel entre una vía férrea y una carretera o camino. En ellos los trenes tienen siempre prioridad debido a que su inercia les impide detenerse con facilidad. Suelen estar debidamente señalizados y en los mismos se pueden emplear mecanismos como barreras o semáforos para avisar a quienes pretendan cruzarlos de la llegada de algún tren.

Son puntos que presentan relativa peligrosidad, la cual se suele medir en función del número de trenes que circulan por ellos y del número de vehículos y peatones que los cruzan. Otro de los factores que inciden en la peligrosidad intrínseca de los pasos a nivel es la visibilidad, tanto de los usuarios de la carretera como de los trenes.

## Seguridad en pasos a nivel

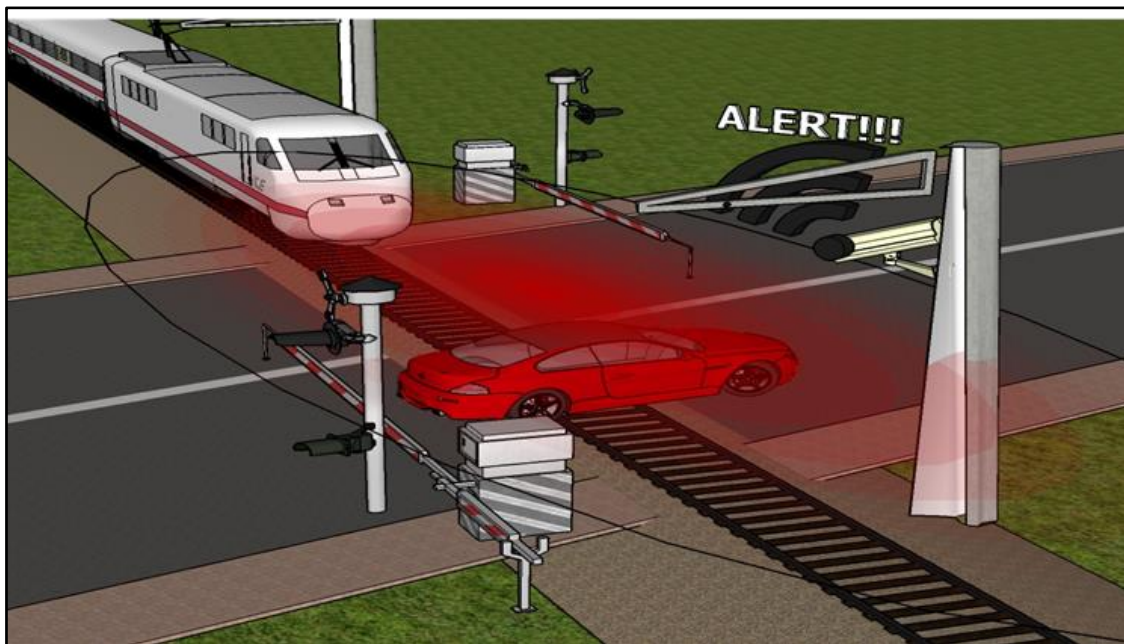
Desde el punto de vista de la seguridad, los pasos a nivel se pueden dividir básicamente en dos tipos:

- **Con protección:** El que cuenta con barreras, semibarreras, señalización luminosa y acústica, de acción manual o automática, que cortan el paso a los vehículos de carretera al acercarse un tren. Dentro de este grupo podrían distinguirse varios tipos:
  - Guardado: El que cuenta con presencia de personal guardabarreras
  - Semibarrera Automática o S.B.A: El que cuenta con barreras o semibarreras y señalización luminosa y acústica que se activan automáticamente al aproximarse un tren.
  - Señalización Luminosa y Acústica o S.L.A.: El que cuenta con señalización luminosa y acústica, pero no con barreras, y que se activa automáticamente al aproximarse un tren.
  - Semibarrera Enclavada o S.B.E.: Aquél cuya protección (barreras y señales acústicas y luminosas) se encuentra enclavada con la señalización de una estación.
- **Sin protección:** El que, estando señalizado, no posee barreras que corten el paso a los vehículos de carretera ni señales luminosas y acústicas que avisen de la proximidad de un tren, cuya seguridad depende tan sólo del conductor usuario de carretera.

## Detectores de obstáculos

Normalmente los pasos a nivel que presentan un riesgo más elevado suelen incorporar sistemas de protección. A mayor riesgo, mayor número de elementos de seguridad. Sin embargo, a pesar de las instalaciones de protección implantadas (señales fijas, luminosas, avisos sonoros y barreras principalmente), existen situaciones que quedan sin cobertura y que pueden provocar incidentes de gravedad.

La principal es cuando se produce una invasión del trazado del ferrocarril en el paso a nivel derivado de un problema en un vehículo que se encontraba cruzándolo y que queda inmovilizado en mitad de la vía.



Vehículo obstaculizando un paso a nivel

Es por ello que las instalaciones de protección de pasos a nivel en muchas ocasiones se complementan con otros sistemas de control que informan a la instalación de protección, de la ocupación o no por vehículos de carretera de la zona del paso a nivel; son los denominados Detectores de Obstáculos.

## Tecnologías empleadas para la detección de obstáculos

El sistema que se encuentra mayoritariamente instalado en el mundo es el denominado Lazo (o Bucle o Espira) de Inducción Electromagnética. Se trata de la primera tecnología que permitía de una forma razonablemente fiable y efectiva realizar este tipo de detecciones y se comenzó a implantar hace décadas.

En los últimos años, fruto del fuerte desarrollo tecnológico en los campos del software y el hardware, han surgido tres aplicaciones tecnológicas que plantean modelos de detección alternativos al de las espiras: Radar, Lidar y Visión Artificial.

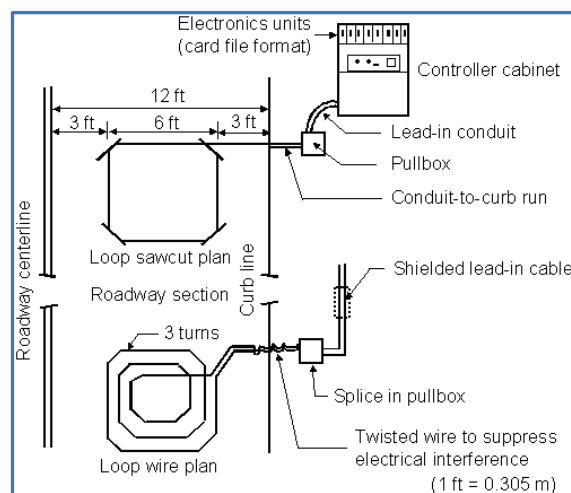
De estas tres tecnologías BEGIRALE se decantó por la Visión Artificial ya que se trata de la alternativa de futuro más probable: de las tres es la más versátil, la económicamente más competitiva, aporta información adicional sobre la situación del paso a nivel que cualquier persona puede interpretar y su potencial de evolución es muy elevado. Además, la incorporación de Inteligencia Artificial a estos sistemas, permite que puedan aprender con la experiencia lo que redundará en una mejora constante de su fiabilidad.

A continuación, se hace una descripción de las dos tecnologías que se pusieron en comparación para la realización del estudio.

### Lazo de inducción electromagnético

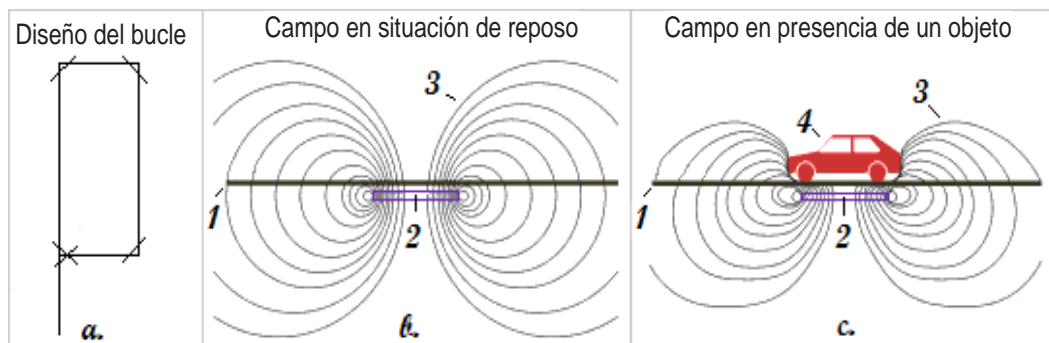
Un detector de lazo de inducción es un término usado para describir un sistema electromagnético de detección, a partir del hecho de que un imán en movimiento induce una corriente eléctrica en un cable próximo al mismo, o que un material ferromagnético altera el campo magnético de una bobina cuando se encuentra cerca de ella, y por lo tanto, pueden ser detectados. Su funcionalidad consiste en detectar la presencia de vehículos en la zona del paso a nivel e informar al tren de la situación mediante la señalización ferroviaria específica.

Los bucles se instalan bajo la superficie en la que se apoyan los vehículos sin entrar en la zona de vías. Dependiendo del tamaño de la zona de riesgo se instalan uno o varios bucles integrados en la zona de rodadura y conectados a un módulo electrónico que detecta las variaciones de frecuencia.



Esquema de lazo de inducción

Los bucles están formados por un cable denominado lazo detector o espira detectora. Su detección suele estar limitada por las características físicas de los elementos a detectar: por ejemplo, a vehículos de más de 2 ruedas con base metálica de más de 2 m<sup>2</sup>, paralela al plano de tierra a una altura no superior a 50 cm.



Funcionamiento de lazo de inducción

### Sistema de visión artificial

Es un sistema que emplea tecnologías de análisis inteligente de contenido de vídeo (VCA o Video Content Analysis) para facilitar la detección precoz de incidencias en pasos a nivel de vías ferroviarias, provocadas por obstrucción de la zona de paso o por fallo de alguno de los elementos de seguridad de la propia estructura del paso a nivel.

El sistema procesa la señal proveniente de una cámara que está enfocada a la zona de riesgo del paso a nivel, es decir, aquella en la que no debería haber ningún obstáculo cuando el tren vaya a pasar. En caso de zonas muy amplias que no puedan ser cubiertas por una sola cámara, se pueden combinar varios detectores.

La zona de riesgo se configura para cada paso a nivel ajustándose a sus características físicas mediante una aplicación que permite definir gráficamente la zona a observar.



Área identificada como "zona de riesgo"

Esta tecnología permite discriminar los diferentes elementos que se pueden llegar a encontrar en la zona de riesgo, distinguiendo entre libre, peatones y objetos pequeños, vehículos y objetos grandes y trenes.

El sistema está permanentemente procesando las imágenes de la zona de riesgo por lo que puede determinar la existencia de situaciones anómalas o peligrosas incluso en momentos en los que el tren no vaya a pasar.

Además de su función principal, que es la detección de obstáculos, el sistema permite detectar anomalías en el funcionamiento del paso a nivel producidas por fallos de otros elementos de protección del mismo.

Adicionalmente, si está dotado de comunicaciones con el exterior, el sistema permite la visualización de las cámaras en tiempo real y la recepción de alarmas en vivo desde un puesto de control y la recuperación de grabaciones para análisis forense.

## Análisis comparativo

Para llevar a cabo la comparación de funcionamiento de ambas tecnologías, se mantuvieron dos pasos a nivel con los dos sistemas de detección de obstáculos funcionando en paralelo. La prueba se realizó a finales del 2018 y tuvo una duración de seis meses.

Se instalaron dos sistemas begiCROSSING Obstacle Detector (BC-OD) basado en Visión Artificial en dos pasos a nivel que ya contaban, desde hacía años, con sistemas de detección de obstáculos basado en espiras de inducción magnética. Uno de los pasos está protegido con cuatro semibarreras automáticas (además de avisos luminosos y acústicos) y el otro con dos.



Paso a nivel con 4 semibarreras automáticas

Durante los 6 meses que duró el estudio, se capturaron, registraron y compararon las señales proporcionadas por el sistema de espiras inductivas y por el sistema begiCROSSING Obstacle Detector (BC-OD).

Además de analizar los datos registrados, se utilizaron también las grabaciones recogidas por las cámaras de BC-OD instaladas en ambos pasos a nivel para clarificar las posibles diferencias mostradas en el comportamiento de ambos sistemas de detección de obstáculos.

Desde el punto de vista de tráfico ferroviario, ambos pasos a nivel presentan una frecuencia de paso de trenes similar, de unas 25 unidades diarias. Sin embargo, desde el punto de vista de la afluencia de vehículos, existen importantes diferencias, ya que uno está situado en un entorno urbano, mientras que el otro se encuentra en un entorno rural.

Además, se da la circunstancia de que la configuración de los sistemas de detección de obstáculos actualmente instalados en ambos pasos a nivel y basados en tecnología de espiras inductivas, difiere sustancialmente el uno del otro. Mientras que la configuración del sistema de espiras instalado en uno de los pasos está activo en todo momento y detecta el paso de todos los vehículos que cruzan la zona de intersección del paso a nivel, el instalado en la otra ubicación sólo se activa cuando se inicia el aviso de paso y comienza el procedimiento de cierre del paso a nivel. Es por ello que en un caso la comparativa realizada entre ambos sistemas de detección de obstáculos se ha realizado de manera continua 7x24 durante los 6 meses que ha durado el estudio, mientras que en el segundo caso sólo se han tenido en cuenta los vehículos que cruzaban el paso a nivel una vez comenzado el procedimiento de aviso y cierre de las semibarreras automáticas.

De esta manera, durante las 24 semanas que ha durado el estudio, se ha registrado y analizado el paso de más de 42.000 vehículos en uno de los pasos a nivel, mientras que en el otro han sido cerca de 4.500 vehículos los que han circulado por el paso a nivel una vez comenzado de procedimiento de cierre.

En el caso del paso a nivel situado en entorno rural, se llegaron a dar un total de 3 incidencias en las que se identificaron 3 vehículos que quedaron en el interior del paso a nivel una vez bajadas las semibarreras de protección. En estos tres casos ambos sistemas de detección de obstáculos señalaron de manera correcta la presencia del obstáculo, dando el aviso oportuno al sistema de señalización ferroviaria.



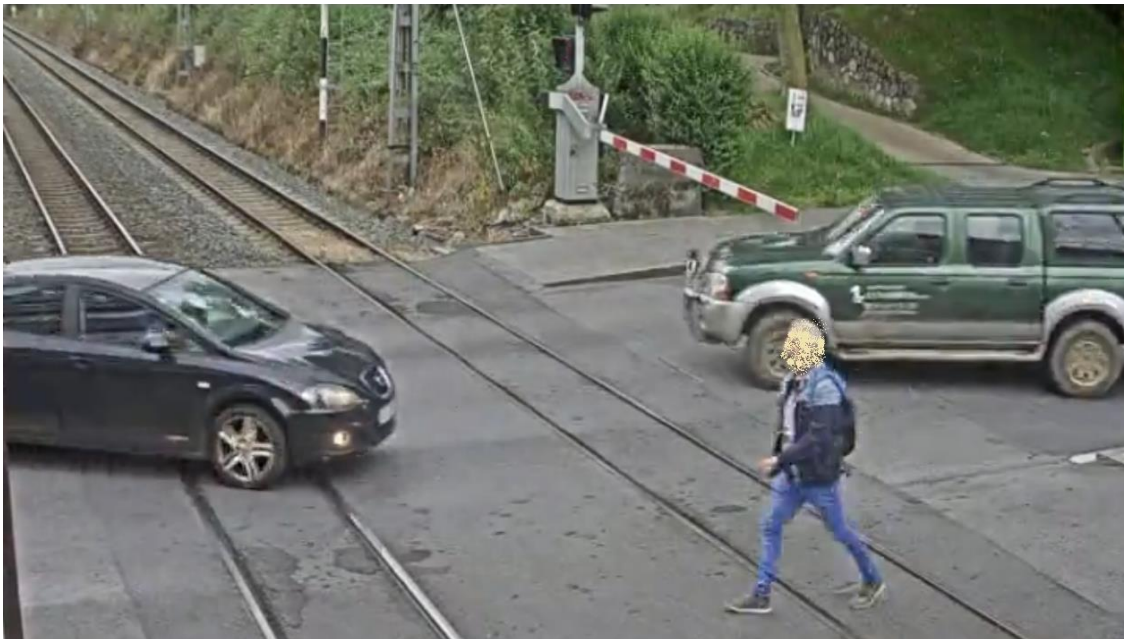
Vehículo "atrapado" en paso a nivel con semibarreras bajadas

En el caso de la instalación en el paso a nivel situado en entorno urbano, si bien no se dio el caso de ningún vehículo parado dentro del paso a nivel una vez cerradas las semibarreras, el sistema de Visión Artificial, BC-OD, detectó el paso de numerosas motocicletas una vez cerradas las semibarreras.



Motocicleta detectada como obstáculo por el sistema BC-OD

Además, se pudo observar que el sistema de espiras se inhabilitaba tras comprobarse el cierre de la semibarrera de entrada mientras aún estaba abierta la segunda semibarrera (de salida), lo cual puede suponer un riesgo considerable en el caso de que algún vehículo se interne en la zona de paso antes de que se cierre la segunda semibarrera y se complete el cierre del paso. El sistema BC-OD fue capaz de detectar este tipo de comportamiento en múltiples ocasiones, con la suerte de que en ninguno de los casos los vehículos implicados quedaron encerrados dentro del paso a nivel una vez bajadas las 4 semibarreras.



Vehículos cruzando el paso a nivel en mitad del proceso de cierre de semibarreras



## Resultados

El análisis comparativo se ha realizado con base a los siguientes indicadores: “Disponibilidad”, número de “No Detecciones” y número de “Sobredetecciones”.

La “Disponibilidad” es el tiempo que los sistemas han estado operativos durante el periodo de pruebas. Se calcula dividiendo el tiempo de funcionamiento entre el tiempo total del estudio y se ha expresado en modo de porcentaje.

Las “No Detecciones” corresponden a situaciones en las que habiendo un obstáculo en la zona de riesgo el sistema no ha podido detectarlo. Se trata de las situaciones más peligrosas ya que pueden tener como consecuencia la colisión del tren con el obstáculo. Se ha medido como un porcentaje proveniente de la división de los casos incorrectos (obstáculos no detectados) entre los obstáculos totales detectados.

Las “Sobredetecciones” corresponden a situaciones en las que no habiendo obstáculo en la zona de riesgo (no considerando como obstáculos a peatones o ciclistas) el detector de obstáculos indicó que sí existía esa situación. Se trata de situaciones que no generan peligro pero que pueden afectar el tráfico ferroviario, ya que podría darse el caso de que se provocase la parada de un tren sin motivo. Se ha medido como un porcentaje proveniente en este caso de la división entre el tiempo durante el cual el sistema ha detectado la presencia de obstáculos falsos dividido entre el tiempo total que el sistema ha estado en situación de libre.

Los resultados que ha arrojado el estudio a lo largo de todo el periodo de la prueba (6 meses) son los siguientes:

	BC-OD	Lazos inducción
<b>Disponibilidad</b>	100%	100%
<b>No Detecciones</b>	0%	1,17%
<b>Sobredetecciones*</b>	0,02%	0,06%
	0,01%	0,07%

(\*) Se presentan dos valores para las sobredetecciones: la primera fila corresponde al total del periodo del estudio y la segunda a los resultados excluyendo las 4 primeras semanas, en las que existieron problemas que afectaron al sistema BC-OD por falta de iluminación nocturna.

Las “no detecciones” de los sistemas de inducción magnética fueron debidas principalmente a dos causas: la disposición física de los lazos de inducción no cubría ciertas zonas por las que los vehículos podían cruzar el paso a nivel, y las características físicas de los vehículos (altura, tamaño de ruedas, materiales, ...) y su velocidad impedían que se generase la suficiente inducción para activar la señal de los lazos. En la mayoría de los casos se trataba de vehículos algo más altos de lo normal y que circulaban a velocidad reducida.



Obstáculo no detectado por el sistema de espiras

También se detectaron algunas discrepancias entre ambos sistemas en la detección de vehículos de dos ruedas. Se pudo constatar, mediante la revisión de los videos grabados, que en ciertas ocasiones el sistema de espiras no identificaba algunas de las motocicletas que cruzaban el paso a nivel, mientras que sí señalizaba como obstáculo el paso de algunas bicicletas.



Ciclista detectado como obstáculo por el sistema de espiras

Respecto a las “sobredetecciones”, en el caso de los sistemas de espiras, la mayor parte se produjeron al señalarse como obstáculo la presencia de personas en bicicleta o al darse un fallo a la hora de liberar la señal de obstáculo tras el paso de un vehículo.

En el caso del sistema BC-OD basado en VCA, parte de las “sobredetecciones” vino derivada de la presencia de sombras o reflejos en la calzada que el sistema interpreta como obstáculos. Un

número importante de las sobredetecciones que se produjeron durante las primeras semanas fueron motivadas por la escasa visibilidad de las cámaras por la falta de iluminación nocturna.



Paso a nivel con baja iluminación nocturna



Paso a nivel con iluminación infrarroja

Esta cuestión se resolvió aplicando iluminación infrarroja. A partir de la incorporación del sistema de iluminación nocturna forzada, los datos de “sobredetecciones” que se registraron se redujeron en un 50%, pasando del 0,02% al 0,01%.

## Conclusiones

Las principales conclusiones que se pueden extraer del estudio son las siguientes:

- Las dos tecnologías muestran niveles de disponibilidad extremadamente altos. Están preparadas para funcionar de forma ininterrumpida por largos periodos sin presentar problemas.
- La tecnología de Visión Artificial probada (BC-OD) se ha mostrado mucho más efectiva que la basada en Lazos de Inducción, tanto en lo referente a la capacidad de detectar obstáculos (ha detectado el 100% de las situaciones), como de no generar falsas alarmas (con una sexta parte de las generadas por el sistema de espiras).
- Si bien podríamos considerar que los niveles de fiabilidad de ambas tecnologías han sido bastante elevados, los valores de “No detecciones” arrojados por la tecnología de Lazos de Inducción pueden considerarse demasiado elevados para un uso tan crítico como es la detección de obstáculos en el trazado ferroviario.

Adicionalmente a las conclusiones del estudio, algunos otros hechos que posicionan a la tecnología de Visión Artificial como una mejor opción son los siguientes:

- Intrusividad: La instalación de lazos de inducción exige realizar obras que afectan a la carretera que cruza el paso, afectando tanto al tráfico de vehículos que circula por la

- misma como al tráfico ferroviario. El sistema de visión artificial se instala a un lado del paso a nivel no interfiriendo ni con el trazado ferroviario ni con la carretera.
- **Mantenimiento:** Las labores de mantenimiento son mucho más complejas para el sistema de espiras, ya que cualquier error con los lazos normalmente exige que se levante el pavimento para la reparación o sustitución de los lazos.
  - **Flexibilidad:** La configuración del sistema de Visión Artificial, tanto en lo referente a la definición de la zona de riesgo como la sensibilidad del sistema o la tipología de alarmas, se realiza de forma sencilla a través de un software. La configuración del sistema de espiras implica un diseño físico de la instalación, cuya modificación es compleja y normalmente costosa.
  - **Información para gestión:** El sistema basado en VCA permite disponer de un histórico con los videos de lo sucedido en el paso a nivel; estos videos aportan información que puede ser clave para el esclarecimiento de situaciones conflictivas. Asimismo, si se cuenta con un sistema de comunicaciones que lo habilite, el sistema VCA permite acceder a la señal del video del paso a nivel en tiempo real. Esto permite gestionar de forma remota situaciones singulares que puedan estar ocurriendo.
  - **Mejora continua:** Las técnicas de Inteligencia Artificial incorporadas en la tecnología VCA empleada, dotan al sistema de Visión Artificial de la capacidad para aprender, y por tanto de mejorar su efectividad y fiabilidad de forma recurrente.