LA AUTOMATIZACIÓN FERROVIARIA AVANZA CON EL DESARROLLO DE SISTEMAS PARA LA DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS DESDE EL TREN

Trenes autónomos

Texto: Pedro Lekuona

Desde hace cuatro décadas existen líneas de metro completamente automatizadas, sin embargo el ferrocarril convencional hasta ahora no ha sido partícipe de esta tendencia. En este artículo se intentan explicar las causas, la situación actual de desarrollo de estos sistemas, las ventajas que ofrecen y los desafíos que suponen para el ferrocarril.

▸ Tren de mineral autónomo en Pilbara (Australia).
Propietario: Río Tinto Australia (empresa minera explotadora de este ferrocarril).

El inicio

En Kobe (Japón), en 1981 comenzó a funcionar la primera línea de metro completamente automatizada, entendiendo por este concepto la ausencia en los trenes de personal dedicado a la conducción o a la supervisión de su marcha. A esta le siguió en 1983 la línea 1 del metro de Lille (Francia), aunque su diseño comenzó con anterioridad a la antes mencionada, el debate social y político que suscitó su construcción demoró el comienzo de su funcionamiento comercial.

En la actualidad son decenas las líneas automáticas de metro en funcionamiento, repartidas por el mundo, siendo Europa el continente con más instalaciones de este tipo. Entre ellas se encuentra la línea 9 del metro de Barcelona.

Son dos los principales procesos involucrados en la circulación de cualquier vehículo ferroviario: la conducción y el control del tráfico. En los casos reseñados hasta ahora y en lo sucesivo, el concepto metro o ferrocarril automático hará referencia sobre todo al primero de ellos, si bien el segundo también interviene en la automatización.

Por otra parte, en 2012 Google obtuvo la primera autorización de circulación de un vehículo de carretera autónomo en el estado de Nevada (EE.UU.), y existen ya algunos vehículos en el mercado con capacidad de circular autónomamente en determinados tipos de carretera, aunque es necesaria la presencia de un conductor frente al volante.

Mientras que los metros completamente automáticos o autónomos han requerido la utilización de instalaciones fijas concebidas para este fin, en el caso de los automóviles la tendencia es la contraria y únicamente necesitan contar con la información que obtiene el vehículo de la infraestructura existente con anterioridad.

Metros y trenes autónomos

La clasificación más usual para definir los distintos niveles de automatización (GoA: grade of automation) fue definida por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en el estándar IEC 62267 orientado a los transportes guiados urbanos (metros, tranvías, etc) cuyo uso se ha extendido al ferrocarril convencional; básicamente cada uno de estos niveles consiste en lo siguiente:

GoA 0: ningún automatismo está presente en la conducción, aunque el itinerario del tren puede realizarse desde un puesto externo a él. En algunas líneas secundarias

Todas las funciones que debe realizar un tren autónomo se realizan mediante la utilización masiva de ordenadores interconectados.

de ferrocarril convencional y en la mayoría de los tranvías la conducción se realiza de esta forma.

GoA 1: además existe supervisión automática de la distancia entre trenes y algún tipo de supervisión de la velocidad. La conducción del tren es manual desde el arranque hasta su parada, al igual que la apertura y cierre de las puertas del tren, y la gestión de las situaciones no ordinarias o anormales. En la mayoría de las líneas ferroviarias españolas dotadas de ASFA (ASFA: Aviso de Señales y Frenado Automático. Sistema de apoyo a la conducción utilizado en la red ferroviaria de interés general de España, que bajo determinadas circunstancias acciona el frenado de emergencia al no cumplimentar la indicación de algunas señales), la circulación se realiza de esta forma.

GoA 2: el arranque y la frenada están automatizados. El conductor controla la apertura y cierre de puertas, en caso necesario conduce el tren y gestiona las situaciones no ordinarias o anormales. Está presente en muchas líneas de metro, y en algunas de ferrocarril, siendo también conocido como STO (acrónimo de Semi-automatic Train Operation).

GoA 3: además de estar automatizados el arranque y la frenada, también el sistema previene la colisión con personas u obstáculos, y no existe persona encargada de la conducción en la cabina. Un agente a bordo del tren puede controlar la apertura y cierre de puertas, y en caso necesario conduce el tren y gestiona las situaciones no ordinarias o anormales. En la jerga técnica asimismo es denominado DTO (Driverless Train Operation)

GoA 4: todas las operaciones del tren están automatizadas y en el tren no hay personal para la realización de los cometidos tradicionalmente encargados al personal de conducción. Normalmente cuando se hace referencia a un tren o metro automático o autónomo se trata de sistemas GoA 4, conocidos igualmente como UTO (Unattended Train Operation).

Es importante reseñar que esta clasificación es puramente funcional, sin abordar ni las diferentes técnicas para alcanzar un objetivo, ni los tipos de interacción entre las instalaciones fijas de señalización (señales, balizas, enclavamientos, etc.) y los equipos presentes a bordo de los vehículos ferroviarios.

No incluye esta clasificación ni la teleconducción ni el enganche virtual.

La primera consiste en el manejo de un tren a distancia desde un lugar externo al mismo, y es uno de los campos de desarrollo de la automatización, bien para su uso ordinario, como es el caso de locomotoras para maniobras en terminales, o bien como técnica auxiliar para abordar situaciones degradadas en trenes completamente automatizados del tipo GoA 4.

El enganche virtual es la denominación que se utiliza para definir el comportamiento de un tren sin personal de conducción que sigue a la distancia estricta de frenado a otro tren mediante automatismos y transmisión de datos entre ambos. La finalidad principal para su desarrollo es el ahorro de costes de personal en trenes de mercancías.

Mientras que son numerosos los metros automáticos son muy escasos los trenes automáticos. ¿Cuáles son las causas?

Las líneas de metro suelen discurrir en túnel o viaducto, y cuando lo hacen al nivel del terreno existe un cerramiento que aísla la línea del entorno y dificulta enormemente la intrusión en las vías. El único espacio en el que existe interacción entre el tren y las personas exteriores a él son los andenes de las estaciones, por ello en la gran mayoría de los metros automáticos existen puertas en el borde del andén que se abren simultáneamente a las del tren; en los casos en que no es así se disponen complejos sistemas de gestión automáticas de imágenes y sistemas de detección de ocupación de las vías por personas.

Cuando se desarrollaron estos sistemas no era factible técnicamente la detección sistemática de personas u obstáculos desde el tren, lo que unido a que esta interacción entre el ferrocarril y el

MENOS ROZAMIENTO, MENOS ESFUERZO

Los trenes de cualquier tipo al basarse en la mayoría de los casos en el contacto del acero de la rueda con el del carril, tienen muy poco rozamiento y adherencia lo que les permite mover grandes tonelajes con un esfuerzo de tracción pequeño en comparación con el necesario en automóviles y camiones. Por el contrario, ello ocasiona que las distancias de frenado sean muy largas, por ejemplo, del orden de 1000 m para un tren a 160 km/h.

mundo exterior a él se podía producir únicamente en los andenes motivó que la detección de obstáculos fuese realizada desde instalaciones fijas exteriores al tren.

Por el contrario, la mayoría de las líneas ferroviarias no están cerradas al exterior, los andenes son abiertos, y existen pasos a nivel o cruces entre andenes, en los que vehículos y personas atraviesan las vías. Solamente desde hace muy pocos años están disponibles las técnicas necesarias para la detección automática de obstáculos desde el tren.

La débil adherencia y rozamiento de los vehículos ferroviarios hace, que mientras en la carretera se circula con marcha a la vista, es decir con capacidad de detenerse en el alcance visual del conductor, en el mundo ferroviario a velocidad por encima de 30-50 km/h es necesario que la persona que conduce el tren sea informada de alguna forma, la más típica mediante señales luminosas, de la no existencia de otros trenes en su distancia de parada.

Además, en muchos ferrocarriles metropolitanos ha sido necesario aumentar su capacidad de transporte. Este objetivo puede alcanzarse de dos formas: construyendo nuevas líneas o aumentando la longitud de las trenes, y por tanto de las estaciones, lo que conlleva complejas obras civiles, y siempre un coste muy elevado o directamente su imposibilidad por problemas geotécnicos o de inserción en la trama urbana; otra forma posible es el diseño de sistemas que puedan aumentar la frecuencia de los trenes, para lo que es necesario optimizar de forma segura el frenado ordinario y la aceleración, automatizándolos y reduciendo los márgenes con que opera el personal de conducción, pero manteniendo o incluso mejorando las condiciones de seguridad en la operación. Ello abrió la puerta al desarrollo de los distintos elementos de los metros autónomos.

Por el contrario, en el ferrocarril convencional cuando ha sido necesario aumentar sustancialmente la capacidad de transporte se han construido nuevas líneas o añadido más vías a las existentes, excepto en algunos trazados urbanos o periurbanos en los que se han instalado sistemas tipo GoA 2 semejantes a los utilizados en los metros, o en líneas de alta velocidad en los que la asistencia a la conducción manual ha permitido optimizar lo suficiente la marcha de los trenes. En la mayoría de los casos los aumentos de capacidad que han sido necesarios se han conseguido habitualmente aproximando las señales luminosas, e incrementando la cantidad de indicaciones mediante señales fijas sobre la velocidad máxima a la que se debe circular, lo que requiere un aumento de atención del personal de conducción y una mejora de la velocidad de reacción frente a estímulos externos, estando en algunos casos ambos aspectos próximos a los límites del factor humano.

Adicionalmente en los ferrocarriles urbanos se dan otras circunstancias que facilitan la automatización: trenes idénticos en una determinada línea con el mismo lugar de detención en las estaciones, frente a trenes dispares y estaciones con longitud y alturas de andén distintas; numerosas estaciones con poca separación entre ellas frente a estaciones separadas decenas de kilómetros en algunos casos.

Así pues, la conjunción de una mayor complejidad técnica, el coste asociado a ella, y la ausencia de necesidad apremiante hasta tiempo reciente han motivado el retraso del ferrocarril convencional frente a los metros en su automatización.

▸ Tren autónomo de la línea 9 del Metro de Barcelona en estación dotada de andén con puertas.
Propietario: TMB (empresa pública explotadora del metro de Barcelona).

Estado actual de desarrollo

Dos tendencias no contrapuestas se están utilizando para el desarrollo de trenes autónomos. La primera, aprovechando la información que proporcionan los equipos fijos y embarcados que utilizan los sistemas más avanzados de protección de los trenes, tal como es el ERTMS (European Rail Traffic Management System: Sistema de Gestión de Tráfico Ferroviario, una de cuyas capas denominada ETCS proporciona protección a los trenes, y está impulsado por la Unión Europea e implantado, tanto en algunas líneas de la Unión, como fuera de ella). La segunda, inspirada en el modelo automovilístico, basada en la lectura masiva e interpretación automática de las indicaciones visuales para la conducción situadas en el entorno, por ejemplo las señales luminosas o fijas.

Varios son los elementos principales que intervienen en la automatización de ferrocarriles:

- Posicionamiento del tren. El cálculo por los equipos embarcados en el tren de las aceleraciones y deceleraciones a aplicar para la detención en un punto determinado de un andén requiere que

▸ Equipos para detección de obstáculos en locomotora para pruebas de teleconducción. Propietario: SNCF (empresa pública francesa impulsora del proyecto Tren autónomo).

La conjunción de una mayor complejidad técnica y el coste asociado a ella han motivado el retraso del ferrocarril convencional en su automatización.

el vehículo ferroviario conozca su posición, con precisión del orden de un decímetro. Hasta el momento actual esto se consigue mediante puntos fijos de apoyo en tierra y sistemas de odometría redundantes instalados en los trenes. Como ejemplo, en algunos de los trenes de alta velocidad que ahora circulan con ERTMS el conjunto de elementos para este fin está compuesto por: captadores pasivos que funcionan sin alimentación eléctrica basados en diversos efectos electromagnéticos que detectan el giro de las ruedas, incluso a muy baja velocidad, sin embargo su medida es insuficiente cuando las ruedas deslizan sin girar; radares situados bajo la caja de los trenes cuya medida no depende del giro de las ruedas, que funcionan mediante efecto Doppler, impreciso en determinadas circunstancias de nieve en las vías, y mediante medidas de intercorrelación. Finalmente el sistema incorpora un sistema de cálculo duplicado o triplicado que calcula los intervalos de confianza de las lecturas de los captadores.

A día de hoy, la odometría está suficientemente desarrollada, pero a un coste muy elevado, siendo las líneas actuales de trabajo la reducción de su coste disminuyendo la necesidad de puntos de apoyo fuera de los trenes y la complejidad de los equipos embarcados, para lo que pueden ser de gran ayuda los sistemas inerciales, los de posicionamiento mediante satélite, y el uso de redes de comunicación como un elemento más de suministro de información para determinar la posición.

Desde los primeros sistemas de posicionamiento ferroviario preciso para uso militar, desarrollados por la extinta Unión Soviética para los trenes usados como lanzadera de misiles intercontinentales en casi perpetuo movimiento, hasta los existentes actualmente, como el explicado unas líneas más arriba, un largo camino hacia su mejora y abaratamiento se ha recorrido.

- Detección de obstáculos desde el tren: en los tranvías la forma habitual de circular es en condiciones de detenerse en su distancia de visibilidad, y los trenes convencionales en determinadas situaciones climatológicas adversas, en maniobras, por avería en sistemas técnicos, o por circunstancias imprevistas deben circular del mismo modo reduciendo su velocidad. Para ello es imprescindible que el vehículo detecte los obstáculos en su distancia de visibilidad, lo que se está realizando a través de diversos medios como son el radar, el lidar (Lidar: acrónimo del inglés LiDAR, Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) aparato que emite un haz luminoso láser y recibe su eco tras rebotar en un objeto, permitiendo medir la distancia a la que se encuentra el objeto) y el análisis automático de visión mediante inteligencia artificial a partir de cámaras de espectro visible e infrarrojas; aunque estas técnicas están presentes ya en numerosos automóviles es precisa la mejora de su fiabilidad y seguridad para el uso ferroviario masivo.

  En este aspecto es destacable que cuando la detección de obstáculos automática mejore la capacidad humana para esta labor, su utilización aumentará el nivel de seguridad del transporte ferroviario, independientemente de su incorporación a sistemas de conducción automática.
- "Lectura" de la señalización lateral: debe realizarse mediante análisis de imágenes. En el caso de las señales fijas la información es redundante con la previamente cargada en el equipo embarcado, sin embargo en las señales luminosas debe ser capaz de discernir en cualquier condición meteorológica las luces que se encuentran encendidas en una señal, lo que hace que los algoritmos empleados deban ser especialmente fiables. En los sistemas en que toda la información que proporciona la señalización lateral ha sido sustituida por la proporcionada por sistemas de comunicaciones

este elemento no es necesario Ciberseguridad: todas las funciones que debe realizar un tren autónomo se realizan mediante la utilización masiva de ordenadores interconectados mediante redes de distinto tipo lo que puede hacer estos sistemas especialmente vulnerables, constituyendo este aspecto uno de los principales desafíos para la extensión de los trenes autónomos.

- Factor humano: la automatización conlleva cambios en las funciones del personal ferroviario que deben analizarse y regularse para que la seguridad en la operación ferroviaria mejore respecto a la explotación tradicional. Cada función que se automatiza descarga de una parte de las labores al personal de conducción en situaciones ordinarias, pero implica que en condiciones degradadas las personas deban realizarlas manualmente, por lo que deben mantener el adiestramiento y la práctica adecuadas para llevarlas a cabo. ¿Cómo mantener la aptitud en tareas que no se realizan frecuentemente?. Incluso en los sistemas GoA 4 determinadas situaciones anormales deben resolverse mediante la teleconducción de vehículos, lo que requiere disponer de personal para este cometido.

Además de las numerosas líneas de metro autónomo existentes, la más importante instalación de trenes autónomos entró en servicio en la región de Pilbara (Australia oeste) en 2019. Se trata de una línea exclusivamente de mercancías de 1.500 km de longitud explotada por la compañía Rio Tinto (aunque su nombre tenga resonancias hispanas, es anglosajona) y recorrida por trenes de mineral de 240 vagones y 28.000 toneladas a través de un territorio desértico, sin personal a bordo, excepto en los extremos de la línea. Por su parte, los ferrocarriles rusos tienen previsto que al final de este año comiencen a funcionar comercialmente dos trenes de viajeros GoA 2 y uno GoA 3 en líneas convencionales e intercalados entre trenes "clásicos". En Europa occidental, en Francia, auspiciado por SNCF, instituciones académicas y la industria ferroviaria está desarrollándose un completo proyecto de trenes autónomos que, con la vista puesta en disponer de sendos prototipos de un tren de viajeros y otro de mercancías GoA 4 en 2023, incluye varias etapas intermedias tanto sobre ERTMS como sobre señalización convencional.

¿Para qué los trenes autónomos?

En párrafos anteriores se pueden entrever algunos de los problemas ferroviarios que pueden contribuir a resolver, o las mejoras que en este sistema de transporte pueden producir, los trenes autónomos: aumento de capacidad de las líneas (ver recuadro 2); optimización del consumo de energía, ya que a partir del nivel GoA 2 el cálculo por los equipos embarcados de las aceleraciones y deceleraciones puede incluir pautas que minimicen el gasto energético de los trenes; y también disminución de los costes de operación fundamentalmente con nivel GoA 4.

Finalmente, la seguridad en la explotación puede mejorar también dependiendo de la exigencia social en esta parcela.

La seguridad en la operación

Son múltiples los aspectos, fuertemente relacionados entre sí, que contribuyen a que un determinado nivel de seguridad en un medio de transporte sea considerado aceptable socialmente. Entre ellos se encuentran los condicionantes técnicos, la percepción social de la seguridad y factores económicos.

También la exigencia social de seguridad es más elevada en los transportes públicos, lo que ha llevado a que el nivel de seguridad en la aviación y en el ferrocarril, fundamentalmente utilizados para el transporte colectivo de personas, sea más alto.

La automatización ferroviaria tiene capacidades potenciales para mejorar la seguridad del transporte ferroviario en varios aspectos, tal como son la capacidad para la detección de personas u obstáculos y la atención permanente que pueden proporcionar los sistemas automáticos frente a los límites del factor humano, sin embargo también está condicionada por las consideraciones anteriores.

Por ello, la exigencia social de seguridad debe acompañar el desarrollo de la automatización ferroviaria lo que deberá plasmarse en la normativa que la regule y en los criterios utilizados para la supervisión de estos sistemas y su explotación. ■

INCREMENTOS DE CAPACIDAD

Los incrementos de capacidad previstos por SNCF en la línea de alta velocidad Paris-Lyon, fuertemente congestionada, son:

Situación actual: 13 circulaciones/hora y sentido.
Con ETCS nivel 2: 15-16 circulaciones/hora y sentido.
Con automatización GoA 2 o GoA 3 sobre ETCS: 18 circulaciones/hora y sentido.