



La devastación en el tramo andaluz retrotrae a otras catástrofes ferroviarias. AFP

Lecciones no aprendidas para prevenir desastres

ANÁLISIS
ENRIQUE
CASTILLO RON



El accidente de Adamuz nos obliga a reflexionar sobre problemas que la industria ferroviaria conoce desde hace décadas pero que aún no hemos resuelto completamente. Como ingeniero de caminos con experiencia en análisis de seguridad ferroviaria, de carreteras y nuclear, he participado en investigaciones de siniestros graves, incluyendo el del Alvia en A Grandeira de julio de 2023. Cada nuevo desastre me lleva a la misma conclusión: no estamos aprendiendo suficientemente de las tragedias pasadas.

El precedente alemán de Eschede

Para entender lo que pudo ocurrir en Adamuz debemos recordar Eschede (Alemania, 1998), el accidente de alta velocidad más grave de la historia ferroviaria hasta donde conozco y que ilustra por qué las experiencias anteriores y, en especial, la fatiga de materiales no pueden ignorarse. El tren circulaba a alta velocidad cuando una rueda se rompió. Pensemos en la fatiga de materiales como el desgaste que sufre un clip metálico cuando lo doblamos repetidamente: no se rompe al primer intento, pero tras muchas flexiones acaba partiéndose.

dose. Lo mismo ocurre con los componentes ferroviarios sometidos a miles de vibraciones y cargas.

Tres minutos antes de aquel desastre, un pasajero alertó al personal: el anillo exterior de una rueda se había desprendido y quedó incrustado en el suelo del coche. Pero nadie detuvo el tren. Cuando la rueda terminó de romperse en un desvío, los coches se separaron formando un abanico mortal que chocó contra un puente. La rueda causante fue recuperada y analizada por dos equipos de expertos independientes: el prestigioso laboratorio suizo EMPA y el Instituto Fraunhofer de Friburgo. He tenido la fortuna de trabajar con ambos. Su diagnóstico fue inequívoco: rotura por fatiga.

El rail roto: ¿causa o consecuencia?

Con el accidente de Adamuz hice lo que suelo hacer desde mi análisis del siniestro de Santiago de Compostela: busqué el lugar en Google Earth para estudiarlo con detalle. En los vídeos y las imágenes de Adamuz me llamó poderosamente la atención ver a tres expertos examinando y fotografianando un rail con una rotura evidente. Esta es una pista crucial que plantea una pregunta fundamental: ¿fue esa rotura la causa del accidente o la consecuencia de un fallo en el material rodante?

En Eschede quedó claro. Por eso es fundamental que los investigadores examinen exhaustivamente las ruedas y todos los elementos

del sistema de rodadura del coche que descarriló. Una rueda u otro componente dañado podría haber impactado y roto el rail. También debe analizarse la infraestructura y su posible influencia en el accidente.

Señales de alarma ignoradas

Si los informes de los maquinistas reportando problemas en ese tramo son ciertos, estamos ante un fallo grave del sistema de seguridad. Estos avisos son críticos y deben investigarse de inmediato. Cuando se detectan golpes bruscos con ruido, la respuesta no puede esperar. Recuerdo un vídeo inquietante: pasajeros con destino a Asturias que reían mientras el tren sufría vibraciones violentas, verdaderos saltos del convoy. Lo sorprendente no era solo su falta de conciencia del peligro, sino que nadie activó el freno de emergencia. Recorrieron kilómetros bajo un riesgo inaceptable.

Las vibraciones no son solo una molestia para los pasajeros. Cuando se producen repetidamente, son el enemigo silencioso de la seguridad: suman una carga más al ciclo de fatiga que eventualmente puede romper un componente.

Muchos golpes pequeños, uno grande

El concepto de fatiga de materiales es crucial pero poco comprendido por el público general. Expliquémoslo con una analogía: un boxeador puede noquear a su rival con un solo pu netazo certero

y potente o con una larga serie de golpes pequeños que acumulativamente producen el mismo K. O. En ingeniería ocurre lo mismo. Para romper un material con una sola aplicación de fuerza se necesita una carga muy alta. Pero muchas cargas pequeñas repetidas también producen la rotura. Por eso argumentar que las vibraciones «solo» molestan a los pasajeros pero no afectan a la seguridad es un error peligroso.

Los enclavamientos de mi padre

Mi padre fue ingeniero industrial de Renfe y uno de los máximos responsables del Control de Tráfico Centralizado (CTC). Instaló en casa una maqueta enorme donde circulaban siete trenes eléctricos simultáneamente sin colisiones. Un día, siendo niño, intenté abrir una señal verde y no funcionaba. Echó un vistazo. «¿Has visto cómo tienes la aguja de salida? Cámbiala y luego intenta poner la señal en verde». Así lo hice y funcionó.

Mi padre había implementado en aquella maqueta los enclavamientos: sistemas de seguridad que impiden acciones peligrosas. Antes de permitir ciertos cambios —como mover una aguja o abrir una señal—, estos sistemas comprueban automáticamente las consecuencias. Es una barrera contra el error humano.

El error humano: el eslabón más débil

Tras el accidente de A Grandeira ocurrieron tres similares en Francia, Alemania y EE UU. En todos, la causa fue exceso de velocidad en curva no cubierto por sistemas automáticos, solo por la atención del maquinista. En todos los análisis probabilísticos de riesgo, el fallo humano es el factor fundamental. Y precisamente por eso, el diseño de sistemas de seguridad no puede permitirlo como único punto de

control. Debe haber al menos un sistema adicional que evite las consecuencias de esos fallos inevitables. No se trata de desconfiar de los profesionales, sino de aceptar una realidad: todos podemos equivocarnos, distraernos o enfrentar situaciones que superan nuestras capacidades. Los sistemas de seguridad deben diseñarse asumiendo que el error humano ocurrirá.

Más allá del mantenimiento básico

También es necesario analizar el sistema de traviesas y balasto (capa de grava para dar soporte a vías de tren) en el tramo del accidente. Idealmente, debería reemplazarse por vía en placa, una tecnología mucho más segura y confortable que reduce significativamente las vibraciones y, por tanto, la fatiga de materiales. Es caro, pero más caras son las estaciones superlujosas que nadie quiere discutir. La fatiga debe ser un motivo central de preocupación en todos los planes de mantenimiento. No basta con inspecciones visuales periódicas, se requieren análisis especializados en elementos críticos: ruedas, ejes, raíles, soldaduras, elementos de sujeción.

Una conclusión que debemos aprender hace décadas: la fatiga de materiales no es un riesgo teórico sino una amenaza real y presente que requiere vigilancia constante. No podemos seguir repitiendo el patrón de Eschede, donde las señales de advertencia existían pero no generaron una respuesta suficientemente rápida. No podemos permitir que las vibraciones anómalas se ignoren. No podemos confiar solo en la atención humana para evitar tragedias. La seguridad ferroviaria del siglo XXI requiere una aproximación integral: sistemas automáticos redundantes, mantenimiento predictivo basado en análisis de fatiga, respuesta inmediata ante cualquier anomalía reportada y una cultura de seguridad donde cada vibración inusual se trata como lo que potencialmente es, el principio del fin de un componente crítico. Hay que hacer análisis probabilistas de seguridad como en la aeronáutica y en centrales nucleares.

Todos nosotros, pero especialmente las víctimas de Eschede, Santiago y Adamuz, merecemos que aprendamos estas lecciones definitivamente. Cuando las investigaciones de los expertos se están iniciando, pido a los lectores que interpreten este escrito como una aportación a clarificar aspectos fundamentales de la seguridad y una contribución a mejorarla por el bien de todos. Solo desde la humildad y el reconocimiento de que nuestro conocimiento es mejorable podremos avanzar.

Enrique Castillo Ron es doctor ingeniero de Caminos y licenciado en Matemáticas; académico supernumerario de la Reales Academias de Ingeniería y Ciencias; y Premio Nacional de Investigación en Ingeniería y de Estadística.