



MODELO DE DETECCIÓN DE FALLOS EMPLEADO EN LA MONITORIZACIÓN REMOTA BASADA EN LA CONDICIÓN

FAUSTO PEDRO GARCÍA MÁRQUEZ

Universidad de Castilla-La Mancha

ETSICCP Ciudad Real

España

FaustoPedro.Garcia@uclm.es

<http://faustospain.cjb.com>

FÉLIX SCHMID

Sheffield University

Mechanical Department

England

JAVIER CONDE COLLADO

Universidad de Castilla-La Mancha

ETSICCP Ciudad Real (España)

Resumen: Desde que se originaron las primeras regulaciones referentes a la política común del transporte ferroviario, con el Título IV del Tratado de Roma, y tras sufrir numerosas modificaciones e incorporaciones de numerosos reglamentos y directrices, no es hasta el Tratado de Maastrich cuando se regulariza la liberación del sector del transporte ferroviario. Todo ello ha incidido de forma notable en incrementar la seguridad en la infraestructura de este tipo de transporte. Este incremento de seguridad lleva normalmente asociado el empleo de un adecuado y eficiente sistema de mantenimiento, y especialmente en sus elementos críticos. Los autores se han centrado en los desvíos ferroviarios, por ser éste uno de los elementos críticos más importantes de la infraestructura ferroviaria, desde el punto de vista de la seguridad de la misma. Ellos han diseñado e implantado con éxito la Monitorización Remota basada en la Condición, RCM, en los accionamientos de aguja. Por RCM se entiende la medición de una variable física característica de la condición de la máquina, y la comparación de esta variable con valores representativos del estado del equipo. En el presente artículo se muestran los resultados más relevantes de dicho trabajo llevado a cabo por las Universidades de Castilla-La Mancha (España) y Sheffield (Inglaterra).

1. ESTADO DEL ARTE

En el seno de la Unión Europea, la política común del transporte ferroviario encuentra su origen a nivel constitucional en el Título IV del Tratado de Roma (1957). Desde entonces, las empresas operadoras del sector han sido, en su gran mayoría, de carácter estatal, cuyo mercado de actuación ha sido monopolista. Estas empresas han venido soportando grandes déficits, respaldados con ayudas y/o subvenciones, cuyo sector principal de servicio ha sido el público, así como, con políticas de actuación centradas en el ámbito social y estratégico de la Nación. Todo ello ha perdurado hasta 1991, dictándose numerosas normas con el fin de regular y liberalizar dicho mercado del sector del transporte, como son los reglamentos 11/1960, 1017/1969, 1192/1969, 1107/1970 y 1893/1991. Finalmente, mediante la Directiva 440 del 29 de julio de 1991, llevada a cabo por la puesta en marcha del Mercado Único, se regulariza la liberación del sector del transporte ferroviario, impulsada por el Tratado de Maastricht, involucrando tanto al sector de servicios y explotación, definidas anteriormente en el Tratado de Roma, como a las infraestructuras. La Directiva 440/91 fue completada con las Directivas 18/1995 y 19/1995, así como, las recientes 12/2001, 13/2001 y 14/2001.

Palabras clave: Seguridad, monitorización Remota Basada en la Condición, Desvíos Ferroviarios, Accionamientos de Aguja.

Según las Directivas del Consejo 18/1995 y 19/1995, se establece la separación entre el administrador de infraestructura¹ y la empresa de servicios. También se define como funciones fundamentales el acceso, tarificación, licencias y la *seguridad*. Concretamente, en la Directiva 19/1995, se exige una *certificación de seguridad* para la adjudicación de las capacidades de la infraestructura ferroviaria. Una consecuencia directa de dichas Directivas fue, en el ámbito de la infraestructura ferroviaria, la creación en España del Ente Gestor de Infraestructura Ferroviaria, GIF, según los artículos 160 y 161 de la ley 13/1996, cuyo Estatuto fue aprobado por el Real Decreto 613/1997. GIF se establece como responsable único de la construcción y conservación de toda la infraestructura ferroviaria, así como de su administración, tanto en la infraestructura convencional como era la alta velocidad, aunque actualmente esta función la comparte con la sección de Mantenimiento de Infraestructura de RENFE.

Así pues, queda de manifiesto la necesidad de incrementar la seguridad en este tipo de transportes, tanto por la salud de los pasajeros como por la de los trabajadores. Para ello, se exige elaborar, en el caso de la Unión Europea (UE), por parte del administrador de la infraestructura de los distintos Estados miembros de la UE, un programa de actividad orientado a garantizar un uso eficiente de la infraestructura (artículo 4.4 de la Directiva 12/2001 [1]). Estas funciones podrán incluir, asimismo, la gestión de los sistemas de control y de seguridad de la infraestructura. El fomentar un uso óptimo de la infraestructura ferroviaria reducirá el coste de este tipo de transporte [3]. En esta línea, se está intentando incentivar, por parte de la Unión Europea, a las empresas ferroviarias y a los administradores de infraestructuras para que reduzcan al máximo las perturbaciones y mejoren el funcionamiento de la red ferroviaria. Este incremento de la seguridad debe ir asociado a mejorar la calidad y fiabilidad de los equipos e instalaciones, a fin de proteger a sus clientes y a terceros y ofrecer un servicio con un alto nivel de seguridad [2]. En consecuencia, es exigible un análisis en función de los niveles de seguridad de la infraestructura del sistema ferroviario de alta velocidad, y muy especialmente de sus elementos críticos.

De este modo, la misión principal del Administrador de infraestructura será la de garantizar la disponibilidad de la misma, proporcionando a los operadores comerciales la fiabilidad de las instalaciones requerida y mejorando sus prestaciones, con el propósito de garantizar la seguridad en la circulación, y todo ello unido a unos costes mínimos. Esto se ve reflejado, en el caso concreto de España, en una disminución continuada, desde el año 1994 hasta el año 2000, de la relación entre los gastos totales de mantenimiento y los ingresos comerciales por tráfico en RENFE, pasando del 59.8 % al 46.1 %. Del mismo modo, el índice de accidentalidad² ha ido decreciendo desde 1991 hasta hoy, pasando de 2.31 a 0.83, salvo en el año 1996, el cual aumenta en 0.15 respecto al año anterior.

Esto está directamente relacionado con el incremento del número de trenes y de su velocidad en estos últimos años, repercutiendo en los métodos y en los intervalos de actuación frente a las labores de mantenimiento y reparación de averías. Así pues, se ha de velar por una reducción del número de averías y, básicamente, la duración de éstas. Dentro de esta línea de actuación, RENFE ha implantado nuevas tecnologías que han transformado los productos clásicos de señalización, tales como enclavamientos (666 en el año 2000), bloqueos, telemandos, circuitos de vía... e introduciendo otros nuevos como los enclavamientos electrónicos (50 en España, constituidos por 6 tecnologías diferentes), sistema de asistencia a la conducción automática ATP-LZB (a lo largo de 1000 km de vía), bloqueos electrónicos (1200 km, con 5 tecnologías distintas), sistemas de C.T.C. (1000 km), circuitos de vías sin juntas (4500 Km), sistemas LZB (50 km) etc. En esta línea, se ha evaluado el estado y funcionalidad de las instalaciones, controlando y analizando los índices de accidentalidad e incidencias, desarrollando un sistema de actualización permanente del inventario de las mismas, conocido como SITOI.

Toda esta incorporación de nuevas tecnologías en la infraestructura ferroviaria española requiere de una moderna y completa red de telecomunicaciones. Esto permitirá intercambiar una gran cantidad de información, interconectar los diferentes centros de trabajo, y fomentar las actividades de gestión,

¹ Administración de infraestructura es cualquier organismo o empresa responsable, en particular, de la instalación y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria.

² El índice de accidentalidad viene dado por la relación entre la frecuencia de accidentes imputables a mantenimiento de infraestructura y los millones de kilómetros recorridos.

dirección y control. Así pues, RENFE, en 1991, desarrolló el Plan General de Telecomunicaciones, donde se contempló la digitalización de la red de comunicaciones, creando un sistema digital de cables de fibra óptica y radioenlaces, y concertando acuerdos con otros operadores de telecomunicaciones como Retevisión, OACYT, Telefónica, etc.

Desde entonces, se han creado 94 centrales telefónicas digitales, con 18350 líneas de abonado, accediendo mediante conexión digital desde 1995 a las redes telefónicas de los ferrocarriles europeos. Se dispone de 31 nodos dinámicos, conmutadores de transmisión de 64 kbit/s y 2 mbit/s, con una longitud de red de fibra óptica de 10300 km.

Tanto la incorporación de nuevas tecnologías, como el desarrollo de la nueva red de telecomunicaciones, hacen que sea posible poder incorporar nuevas técnicas de mantenimiento, las cuales posibilitan que se mejoren la fiabilidad y disponibilidad de los sistemas, empleando unos costes mínimos y aumentando la seguridad en la infraestructura ferroviaria. En esta línea, se creó en 1997 el Comité de Calidad de Mantenimiento de Infraestructura de RENFE, con el fin de asegurar la integración de los niveles de decisión en la dinámica de la calidad, teniendo como referencia principal la Norma ISO 9002:94. Anteriormente, en 1991 ya se creó, en base a su planificación estratégica, el Plan Extraordinario de Mantenimiento de Infraestructura (PEMI), impulsado en parte por las renovaciones realizadas por el Ministerio de Fomento.

Dentro de estas nuevas técnicas de mantenimiento, cobran una importancia relevante las técnicas de mantenimiento predictivo. En el ámbito de esta línea de mantenimiento, los autores presentan en el presente artículo un caso práctico donde se ha desarrollado e implantado el mantenimiento centrado en la monitorización remota basada en la condición.

2. DESVÍOS FERROVIARIOS

Los desvíos ferroviarios constituyen unos de los elementos críticos en la infraestructura ferroviaria, e influyen de forma notable en la seguridad de este tipo de transporte. Por ejemplo, en 1991, el 12 % de los descarrilamientos producidos en España fueron consecuencia directa de los desvíos. Además, es uno de los elementos de la vía sometido a mayores esfuerzos mecánicos y desgaste. Ello hace que dichos elementos suelen tener, por lo general, una vida útil de 3 a 5 veces inferior al resto de la vía. Esto se debe a las discontinuidades que se dan en los desvíos, siendo éstas de distinta índole, como discontinuidades en las aceleraciones transversales, en la dirección, la elasticidad de la vía, en el apoyo de las ruedas al paso de las vías. Todo ello se ve agravado por la velocidad que en ese instante lleve el ferrocarril y por el estado en el que se encuentre el desvío. De este modo, García y Rodríguez (1995) [10] afirman que los desvíos constituyen el punto más débil de la superestructura de la vía, siendo su ciclo de vida inferior a la del resto de la vía y las exigencias de concepción, diseño, fabricación y montaje las más estrictas. Además, el coste de primera inversión es, proporcionalmente, el más alto. En la vía ancha de RENFE, dicho coste está valorado en aproximadamente 950 millones de euros, siendo dicha cantidad en el ancho internacional en la línea AVE de 28.5 millones de euros.

Todo ello ha hecho que los autores se centren en diseñar, desarrollar e implantar en los desvíos, y más concretamente en los accionamientos de aguja, una nueva técnica de mantenimiento predictivo, mantenimiento basado en la condición [4] y [9], con el fin de aumentar y asegurar la seguridad en este tipo de transportes, así como, disminuir los costes directos e indirectos consecuencia de un fallo y/o avería en este tipo de mecanismos.

Los primeros desvíos se desarrollaron en 1796. Desde entonces, éstos han experimentado numerosas modificaciones y transformaciones, siendo algunos de los más destacados el cambio de John Curr, de Contratista, de Poiret, de Stephenson, ..., y los de agujas rectas, secantes, tangentes, de punta achaflanada (ratificado éste y el tipo tangente por el Comité de Expertos D 72 de la Oficina de Investigación y Ensayos de la OIC en 1969 [13])... Como síntesis se podría decir que la transformación más relevante dada en los desvíos desde sus orígenes hasta hoy en día ha sido la de pasar de cambios de carriles móviles al cambio de contracarriles móviles, y por último, al cambio de dos agujas móviles. Por último, los grandes avances se han dado como consecuencia de la alta velocidad en este tipo de transportes, siendo los más relevantes el procedimiento Schwiag, Fakop o Cattersan.

Los desvíos más destacados empleados en España son los tipo A, B, C y V, para un ancho de vía de 1668 mm. La denominación de los distintos tipos corresponden a las iniciales de antiguo, bueno, calidad y velocidad respectivamente. Para un ancho de vía internacional, se han modificado los tipos A, B, C, V, e incorporado el nuevo tipo AV, cuyo nombre corresponde a las iniciales de alta velocidad. Dichos desvíos vienen recogidos en las normas del subgrupo 3-6 (Desvíos), 7-1-3.5 (Montaje de la vía: Montaje de desvíos y de otros aparatos de vías), 7-3-3.X (Clasificación de la vía montaje de la vía: Desvíos), 7-5-2.5 (Conservación de la vía: Amolado de las superficies de vía) y 7-5-3.1 (Conservación de la vía: Mantenimiento de desvíos y de otros aparatos de vía) de RENFE.

3. MONITORIZACIÓN REMOTA BASADA EN LA CONDICIÓN

El fin último de la monitorización remota basada en la condición, Remote Condition Monitoring, en adelante RCM, es obtener la información básica y necesaria del estado del equipo que está siendo controlado, analizando las variables de manera que se pueda llevar a cabo un correcto uso y mantenimiento del equipo [7] y [8]. Algunos autores emplean las siglas RCM para referirse a Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (Reliability Centered Maintenance). Ambos términos han sido empleados por los autores del presente artículo en otras referencias conjuntamente, distinguiéndolos por RCM₂ y RCM₁, respectivamente. El desarrollo de ambas técnicas simultáneamente se conoce como RCM² [9].

Actualmente, el gran avance de las nuevas tecnologías ha hecho que dicho concepto se extienda también a la adquisición, preprocesamiento y almacenamiento de datos. Esto implica mejoras de la seguridad, productividad y disponibilidad, así como una disminución de costes y de tiempos no operativos del equipo. Estas mejoras no se consiguen tan sólo en el equipo, sino que directa e indirectamente influyen en el resto del sistema. En la figura 1 se representa esquemáticamente el funcionamiento de un sistema RCM.

A continuación se describen los objetivos básicos del RCM:

- i) *Seguimiento*. El objetivo es llevar a cabo un control del estado del sistema, detectando fallos y clasificando a éstos según su gravedad.
- ii) *Protección*. El propósito es evitar fallos graves o irreparables, llegando a parar el sistema según la gravedad y las posibles consecuencias del fallo.
- iii) *Diagnóstico*. Tan importante es el detectar el fallo como su identificación y origen. Esto ayudará a desarrollar un adecuado mantenimiento del equipo.
- iv) *Alargar la esperanza de vida*. Uno de los propósitos principales es alargar tanto como sea posible la vida del equipo, así como optimizar su disponibilidad y tiempo de trabajo.

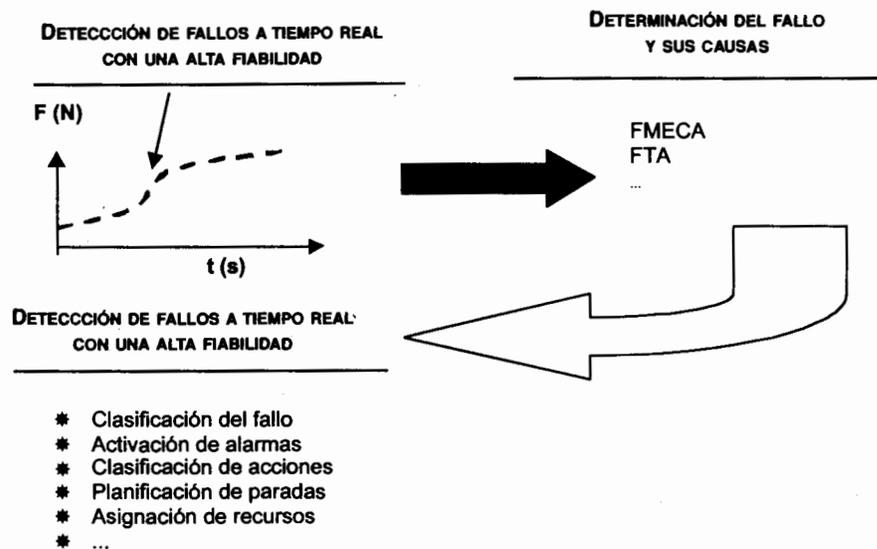


Fig. 1. Esquema básico de RCM.

El mantenimiento en general, y en particular el mantenimiento centrado en RCM, está siendo desarrollado e implantado actualmente en numerosas empresas. En estos casos, las estrategias de la empresa dependen de la monitorización continua o periódica del estado de los equipos. RCM podría no sólo mejorar la disponibilidad, sino que podría mejorar la relación coste-eficiencia. Algunos de los factores que influyen son: el ahorro económico, la mejora de la disponibilidad y el detectar de forma automática los fallos y posibles anomalías de equipos, distinguiendo entre el rumbo normal de los parámetros que están siendo monitorizados y los indicios de fallos [5]. Investigaciones recientes dentro de la estructura ferroviaria han estudiado el uso de la fibra óptica y sus aplicaciones en las necesidades de RCM [4] y [12].

4. MODELO DE DETECCIÓN DE FALLOS Y RESULTADOS

En el mantenimiento basado en la condición, normalmente, el estado de un sistema está siendo controlado mediante el análisis de una señal, relacionada directa o indirectamente con el sistema. Si la técnica que se está empleando para ello es la monitorización remota basada en la condición, la señal que está siendo propósito de análisis y control será, por lo general, tratada en tiempo real. Para ello, se deberá de exigir al algoritmo que se esté empleando, que emplee unos tiempos de computación mínimos. Estas condiciones son las que se han dado en el proyecto llevado a cabo por los autores. Esto conlleva que se haya de prescindir del empleo de cálculos estadísticos de modelización para procesar la señal objeto de estudio usando un tiempo de cálculo mínimo, ya que para ello, habría que esperar a que concluya el movimiento del sistema para poder examinarla. Otra de las causas, por las que se ha prescindido del empleo de modelos estadísticos, ha sido emplear un modelo simple y efectivo, el cual requiera de unos tiempos de cálculo mínimos.

Los sistemas de accionamiento de agujas, tanto los empleados en infraestructuras de alta velocidad como en convencionales, están sometidos a las distintas variaciones climáticas. Ello hará que una señal representativa del sistema tenga una forma distinta en función de, por ejemplo, la temperatura y la humedad. Así pues, un algoritmo para identificar y clasificar fallos a partir de la señal medida, que no tuviera en cuenta las condiciones climáticas, sería incapaz de distinguir entre una curva de señal originada por un fallo bajo ciertas condiciones climáticas y la misma curva de señal originada por un estado en que no se da fallo, pero bajo otras condiciones climáticas. Del mismo modo, una curva representativa de un estado sin fallos podría dar lugar a que representara a un estado con fallos, debido a diversas causas climáticas o temporales que hagan que se modifique su forma.

La señal que se ha tomado como representativa del estado del mecanismo del accionamiento de agujas ha sido la curva de la fuerza ejercida por el motor de accionamiento de agujas (N) frente al tiempo (s), como se muestra en las figuras 2(a) y 2(b).

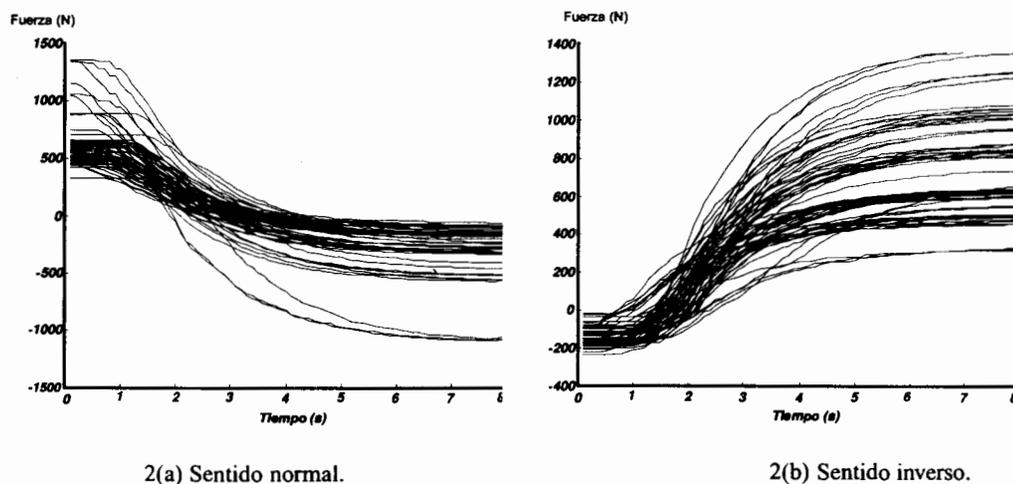


Fig. 2. Fuerzas del motor del accionamiento de agujas.

Con el fin de considerar la degradación del estado del mecanismo de accionamiento de agujas como un sistema dinámico, la señal tomada como representativa del estado del mecanismo, d_t^k , ha sido la diferencia aritmética entre la señal de referencia, x_t^j , y la señal que está siendo medida, x_t^k , siendo esta diferencia en valor absoluto. Así pues, $d_t^k = |x_t^k - x_t^j|$. Esta nueva curva toma una forma muy similar para todos los estados del mecanismo sin fallos, tal y como puede observarse en las figuras 3(a) y 3(b). La principal razón por la que las amplitudes de las curvas son diferentes se debe a la propia condición dinámica del mecanismo de accionamiento de agujas.

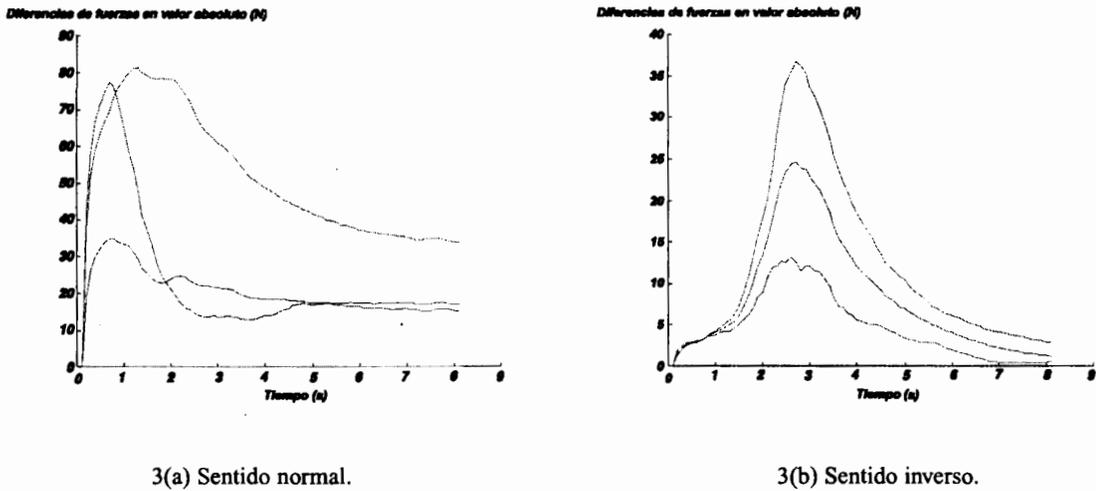


Fig. 3. Diferencias entre curvas fuerzas (N)-tiempo (s) que no representan fallos del mecanismo de accionamiento de agujas.

La nueva curva de referencia d^i , en el instante $t(d_t^i)$, vendrá dada por la media aritmética entre la anterior curva de referencia d^{i-1} y, la nueva curva que representa un estado del sistema que no contiene ningún fallo d^j . El valor de la nueva curva de referencia para un instante de tiempo t vendrá dado por la ecuación 1.

$$d_t^i = \frac{d_t^{i-1} + d_t^j}{2}. \quad (1)$$

Analizando la forma de las curvas que no representaban ningún fallo, se observó que: *a)* la posición de los máximos coincidía, *b)* que no había grandes distorsiones en la curva, y *c)* que existía una relación directa entre las áreas de la curva a ambos lados del máximo. Estas características han sido el origen de los tres criterios tenidos en cuenta en el modelo desarrollado por los autores para detectar los fallos analizando la curva objeto de estudio. A continuación, se describen los tres criterios.

4.1. Anomalías en la forma de la curva

Las irregularidades en la forma de la curva son debidas al funcionamiento del mecanismo del accionamiento de agujas y al ruido en la señal generado en el sistema de medida. Este ruido está provocado por la propia señal, así como, por los distintos sensores y circuitos que están siendo empleados para poder obtener dicha señal.

Determinados tipos de fallos provocan que las anomalías que se dan en la forma de la curva de la señal sean mayores que un margen mínimo. Este hecho constituye el primer criterio del modelo.

Por tanto, es necesario establecer un valor mínimo, a , en las perturbaciones de la señal y clasificar los fallos en función de que se supere este valor, representado en la figura 4. Para determinar este valor ha sido necesario realizar numerosos ensayos con fallos en el mecanismo de accionamiento y

sin fallos en el mismo. Para el sentido de movimiento normal de las agujas, el valor de a queda establecido en 14 N. En sentido opuesto en 17 N. En el sentido normal, tan sólo el 15.79 % de los fallos considerados en los experimentos no fueron detectados, y en el sentido inverso dicha relación fue del 18.84 %.

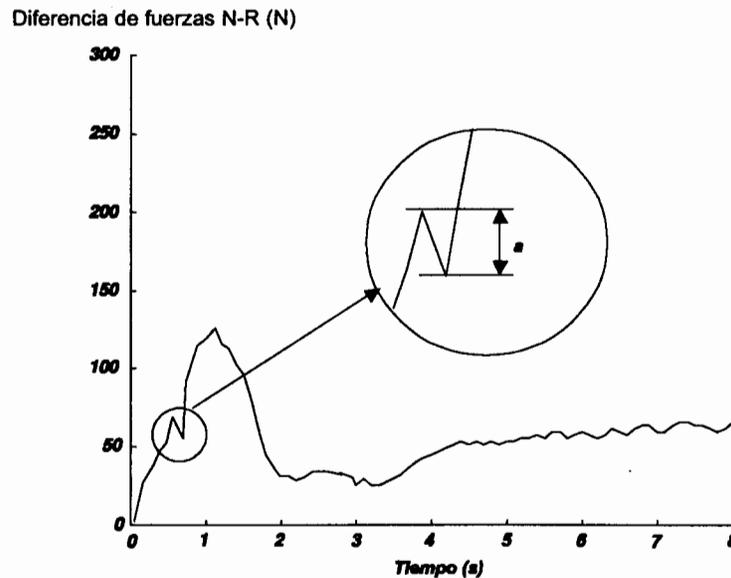


Figura 4. Parámetro correspondiente al primer criterio.

Como es evidente, este primer criterio está analizando la señal en tiempo real y, aunque el porcentaje de los fallos detectados es alto, aun es susceptible de mejora. Por tanto, los autores, tras analizar las curvas correspondientes a los experimentos llevados a cabo, observaron que existían una aproximación temporal en la posición del máximo de las curvas que no representaban fallos en el sistema y, por el contrario, las curvas que representaban algún tipo de fallo, carecía de dicha aproximación. Así pues, este ha sido el argumento en el que se fundamenta el segundo criterio, con el fin de detectar nuevos fallos que no están siendo detectados empleando tan solo el primer criterio.

4.2. Posición del máximo de las curvas Fuerza (N) - Tiempo (s)

Como se ha mencionado en el criterio anterior, tras realizar numerosos experimentos, se comprobó que las posiciones de los máximos de las curvas que estaban siendo analizadas tenían una aproximación temporal entre las curvas no vinculadas a fallos del sistema. En cambio, las curvas que representaban algún fallo en el sistema, carecían de esta aproximación con respecto a las que no representaban ningún fallo. Así pues, el segundo criterio viene dado por la ecuación (2),

$$t_{\max}^j \notin [t_{\max}^i - \Delta t, t_{\max}^i + \Delta t] \quad (2)$$

donde t_{\max} es el tiempo donde se da el máximo de la curva indicada por el superíndice, siendo i para la curva de referencia y j para la curva objeto de estudio. Δt es el margen de tiempo considerado (ver figura 5). La ecuación (2) nos indica que si el tiempo correspondiente a la posición del máximo de la curva que está siendo analizada t_{\max}^j , no pertenece a la fracción de tiempo dada por $[t_{\max}^i - \Delta t, t_{\max}^i + \Delta t]$, esa curva se considera que está asociada a un fallo en el sistema.

El margen de tiempo empleado ha sido de $\Delta t = 0.3$ s en ambos sentidos. En el sentido normal del movimiento de las agujas, considerando conjuntamente los dos criterios descritos, el porcentaje de fallos no detectados se reduce el 10 %. En el sentido opuesto, este porcentaje es del 12.26 %.

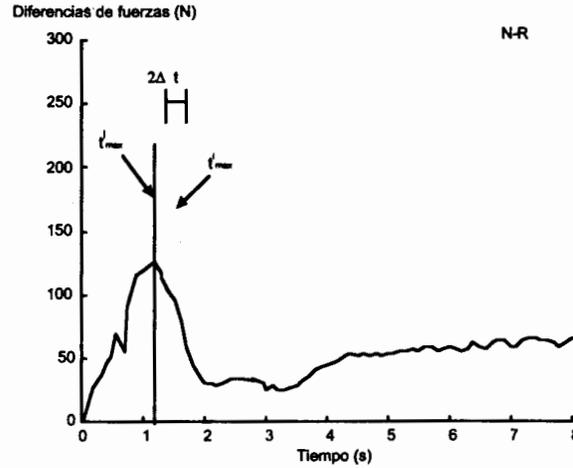


Figura 5. Parámetros correspondientes al segundo criterio.

El segundo criterio, al contrario del primero, no es capaz de detectar fallos en tiempo real, puesto que ha de alcanzarse el máximo de la curva que está siendo analizada, aunque éste está comprendido dentro del primer cuarto del tiempo total del movimiento de las agujas.

El tercer y último criterio considerado en el presente modelo se basa en la relación que guardan las áreas a ambos lados del máximo de la curva que está siendo analizada. Al igual que en los anteriores criterios, éste tiene su origen en el análisis de la forma de las curvas que están siendo analizadas tras realizar el movimiento de las agujas.

4.3. Relación entre áreas de la curva separadas por el máximo

Las curvas correspondientes a los estados del sistema en los que no se da ningún fallo tienen en común que, las áreas comprendidas a ambos lados del máximo de dicha curva verifican la relación dada por la ecuación (3).

$$\left(\frac{t_{\max}^j}{T^j - t_{\max}^j} \right) \cdot \sum_{i=0}^{t=t_{\max}^j} d_i^j \approx \sum_{i=t_{\max}^j}^{t=T^j} d_i^j, \tag{3}$$

donde T^j es el tiempo total (ver figura 6). Esta relación ha sido verificada con numerosos experimentos.

Aplicando los tres criterios conjuntamente, tan sólo un 4.35 % de los fallos contemplados no son detectados en el sentido normal del movimiento de las agujas, siendo la mejora aportada al considerar el tercer criterio del 2.23 %. En el sentido opuesto, esta mejora es del 3.16 %, quedándose sin ser detectados el 2.36 % de los fallos.

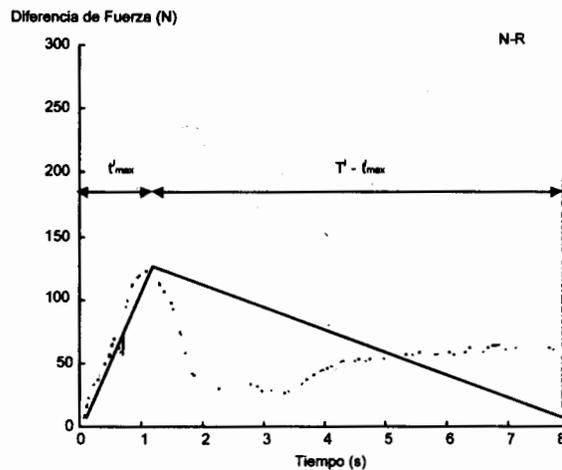


Figura 6. Parámetros correspondientes al tercer criterio.

Al contrario de lo que ocurría con los dos primeros criterios del modelo, para poder aplicar el tercer criterio, es preciso haber finalizado la operación del accionamiento de agujas.

5. CONCLUSIONES

En el presente artículo, se pone de manifiesto el interés en la Unión Europea por incrementar la seguridad en el sistema de transporte ferroviario, haciendo una revisión histórica de las normativas más destacadas referente a la infraestructura ferroviaria. Este incremento de la seguridad lleva consigo el empleo de un eficiente sistema de mantenimiento en los elementos críticos del sistema.

Los autores se han centrado en los desvíos ferroviarios, y más concretamente en los accionamientos de aguja, por ser éstos los elementos críticos respecto a la seguridad de la infraestructura ferroviaria. En el presente trabajo se desarrolló e implantó la técnica de mantenimiento conocida como monitorización remota basada en la condición, Remote Condition Monitoring (RCM).

El fin último de RCM es obtener la información básica y necesaria del estado del equipo que está siendo controlado, analizando las variables de manera que se pueda llevar a cabo un correcto uso y mantenimiento del equipo.

Se ha tomado como señal representativa del estado del mecanismo del accionamiento de agujas la curva de la fuerza ejercida por el motor de accionamiento de agujas (N) frente al tiempo (s). Con el fin de poder considerar al mecanismo de accionamiento de agujas como un sistema dinámico, y poder detectar fallos en tiempo real, se ha desarrollado un modelo basado en las formas de dichas curvas, constituido por los siguientes tres criterios: a) la posición de los máximos, b) distorsiones en la forma de la curva, y c) la relación existente entre las áreas de la curva a ambos lados del máximo.

REFERENCIAS

- [1] Directiva 2001/12/CE del Parlamento Europeo y del Congreso, de 26 de Febrero de 2001, por la que se Modifica la Directiva 91/440/CEE sobre el Desarrollo de los Ferrocarriles Comunitarios, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L 75 de 15 de Marzo de 2001, SIN 1012-9200.
- [2] Directiva 2001/13/CE del Parlamento Europeo y del Congreso, de 26 de Febrero de 2001, por la que se Modifica la Directiva 91/440/CEE del Consejo sobre Concesión de Licencias a las Empresas Ferroviarias, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L 75 de 15 de Marzo de 2001, SIN 1012-9200.
- [3] Directiva 2001/14/CE del Parlamento Europeo y del Congreso, de 26 de Febrero de 2001, Relativa a la Adjudicación de la Capacidad de Infraestructura Ferroviaria, Aplicación de Cánones por su Utilización y Certificación de la Seguridad, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L 75 de 15 de Marzo de 2001, SIN 1012-9200.
- [4] Fararooy, S. and Allan, J. 1995. *Condition-Based Maintenance of Railway Signalling Equipment, Electric Railway in a United Europe*. Railink'95, IEE Conf. Pub. 405, pp. 33-37.
- [5] Fararooy, S., Allan, J., Abed, S.K. and Lehrasad-Khan, N. 1996. *Condition Monitoring of Railway Equipment: Experiences from Case Studies. the 9th International Congress on Condition Monitoring & Diagnostic Engineering Management: COMADEM'96*, Sheffield, Rail Sessions Supplementary Proceedings.
- [6] Furh, P.L., Huston, D.R., Ambrose, T.P. and Mowat E.F., 1994. *Internet Observatory: Remote Monitoring of Instrumented Civil Structures Using the Information Superhighway. Smart Materials and Structures*, Institute of Physics Publishing Ltd, Bristol (UK), Vol. 4, No. 1, pp. 14-19.
- [7] García Márquez F.P., Schmid F. and Conde J., *Wear Assessment Employing Remote Condition Monitoring: A Case Study*. Pendiente de publicación en "Wear".
- [8] García Márquez F.P., Schmid F. and Conde J. A. *Reliability Centered Approach to Remote Condition Monitoring. A Railway Points Case Study*. Pendiente de publicación en "Reliability Engineering and System Safety".
- [9] García Márquez, F.P., Schmid, F. Y Conde Collado, J. *Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad y Monitorización Remota Basada en la Condición, RCM²: Un caso de Estudio*. Pendiente de ser publicado en "Gestión de Activos Industriales".
- [10] García, J.M y Rodríguez, M.. 1995. *Desvíos Ferroviarios*. Ingeniería Cántabra, S.A.
- [11] Heard, B.D. 1990. *Basic Principle of Signalling Practice on British Rail*. Proc. Inst. Railway Signal Engineers, pp. 61-74.
- [12] Huston, D.R., Fuhr, P.L., Ambrose, T.P. and Barker, D.A.. 1994. *Intelligent Civil Structures -Activities in Vermont. Smart Materials and Structures*, Institute of Physics Publishing Ltd, Bristol (UK), Vol. 3, No. 2, pp. 129-139.
- [13] ORE. 1969. *Question D 72. Principes Directives pour la Conception des Appareils de Voire (Profile de Rails UIC 54 et UIC 60)*. ORE, Utrecht, Rapport Final.
- [14] Shimonae, T., Kawakami, T., Miki, H., Matsuda, O. and Takeuchi, H. 1991. *Development of a Monitoring System for Electric Point Machines*, IRSE Aspect Int. Conf., pp. 395-401.
- [15] Thorstensen, T.A. and Rasmussen, M. 1999. *A Cost Model for Condition Based Overhaul/Replacement*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 5, No. 2, pp. 102-114.

MODEL FOR DETECTING FAULTS EMPLOYED IN REMOTE CONDITION MONITORING

Abstract: Since the first regulations on the railway transport common policy appeared, in the IV Title of the Roma Treaty, and after multiple modifications and additions of several regulations and directives, it is not until the Maastrich Treaty when the liberalisation of the railway transport sector is finally regulated. It had an important impact on the increase of the infrastructure safety of this transport system. This increase in safety normally requires the use of an adequate and efficient maintenance system, specially in its critic elements. The authors have carried out their research work in turnouts, mainly because they are one of the most important critic elements of the railway infrastructure, from the safety point of view. They have designed and implemented satisfactorily a Remote Condition Monitoring, (RCM) in points mechanisms. RCM is understood as the measurement of a critical physical variable representative of the machine condition, and its comparison with some representative value of the mechanism state. The present paper shows the most relevant results of the mentioned research work carried out by Castilla-La Mancha (Spain) and Sheffield (UK) Universities.

Keywords: Safety, Remote Condition Monitoring, Turnouts, Points Mechanisms.