

COMUNICACIONES INALÁMBRICAS “TREN-TIERRA” Y DISEÑO DE NUEVOS SERVICIOS FERROVIARIOS

Ing. Itziar Salaberria

Fundación Deusto, DeustoTech – Laboratorio de Transporte

Ing. Unai Gutiérrez

Fundación Deusto, DeustoTech – Laboratorio de Transporte

Ing. Roberto Carballedo

Fundación Deusto, DeustoTech – Laboratorio de Transporte

Dr. Asier Perallos

Fundación Deusto, DeustoTech – Laboratorio de Transporte

RESUMEN: En el ámbito de los ITS ferroviarios la tendencia actual es invertir en arquitecturas de comunicaciones que posibiliten a las compañías ferroviarias una más eficiente gestión de la explotación, una mayor independencia de las compañías gestoras de infraestructura, así como una mejora de la calidad del servicio ofrecido. En esta línea de trabajo venimos desde hace años colaborando en la ejecución de proyectos con empresas ferroviarias regionales (EuskoTren) y nacionales (Renfe) de primer nivel. Estos proyectos se han focalizado en (1) el diseño de un canal de comunicaciones “tren-tierra”, inalámbrico, basado en estándares, bidireccional y de propósito general; y (2) el desarrollo de servicios de nueva generación. En estos momentos los desarrollos se encuentran finalizados y se están llevando a cabo pruebas reales de la arquitectura de conectividad y de los dos servicios desarrollados hasta ahora: servicio de posicionamiento y gestión del tráfico, y servicio de actualización remota de aplicaciones.

1 INTRODUCCIÓN

Dentro del ámbito ferroviario, las tecnologías que comunican los elementos fijos con los móviles (los trenes) son relativamente recientes. Se puede decir que existen dos niveles en el ámbito de las comunicaciones ferroviarias: las que involucran a elementos fijos únicamente, y las que se refieren a elementos fijos y móviles (denominadas comunicaciones

“tren-tierra”). Las primeras, las soluciones más eficientes, se basan en sistemas cableados. Las segundas, son las que han sufrido un mayor cambio en los últimos años, ya que requieren que la comunicación sea inalámbrica y móvil.

El trabajo que se presenta en esta comunicación tiene como objeto el establecimiento de un canal de comunicación inalámbrico entre elementos fijos y los elementos móviles del ámbito ferroviario, que permita a su vez el despliegue de nuevos servicios digitales en torno a este sector.

Las aplicaciones o servicios tradicionales del ámbito del ferrocarril pueden agruparse en dos grandes grupos: (1) servicios relacionados con la señalización y control del tráfico; y (2) servicios orientados a la monitorización del estado del tren. Por otro lado, está surgiendo un nuevo grupo de servicios que giran en torno al usuario final del ferrocarril (pasajeros o empresas que contratan un servicio de transporte).

Por tanto, se puede decir que es necesario, (1) uniformizar la forma de comunicar el tren con los centros de control de tierra para las aplicaciones relacionadas con la monitorización del estado del tren; y por otro lado, (2) definir una arquitectura de comunicaciones inalámbrica que se adapte de forma adecuada a los nuevos servicios que giran en torno al usuario final del ferrocarril.

2 CANAL DE COMUNICACIONES “TREN-TIERRA”

Para dar respuesta a las dos cuestiones relativas a la necesidad de un nuevo canal de comunicación de propósito general y con un gran ancho de banda y cobertura para el ámbito ferroviario, pasamos a continuación a presentar el resultado de nuestro trabajo llevado a cabo en colaboración con empresas del sector ferroviario de nuestro entorno: EuskoTren y ETS (País Vasco), y Renfe Operadora (España).

En este sentido, se ha definido un canal de comunicación inalámbrico de propósito general, que permite comunicar el tren (en general los trenes) con “tierra”, de manera que las aplicaciones o servicios se despreocupen de todas las cuestiones referentes a la comunicación como son: establecimiento y cierre de la comunicación, gestión del estado de las conexiones, asignación de prioridades a la información, etc.

La nueva arquitectura de comunicaciones inalámbrica tiene que dar respuesta a la demanda de comunicación y transmisión de información de cualquier aplicación, por lo tanto tendrá que tener muy en cuenta la naturaleza de la información que se envía. La información intercambiada entre dos aplicaciones (una en tierra y otra embarcada en un tren) puede tener más o menos urgencia dependiendo de la finalidad o el tratamiento que dichas aplicaciones le den a la información intercambiada.

En el ámbito del ferrocarril, existe información que precisa ser transmitida en el momento en que se genera, como puede ser el caso de la información de posicionamiento o alarmas de algún elemento crítico para el funcionamiento del tren. Por otro lado, puede haber información menos urgente cuya transmisión puede ser pospuesta y no es necesario su envío una vez generada, como pueden ser las imágenes del CCTV del interior del tren, o los ficheros de audio utilizados por el hilo musical. Además, la información urgente o prioritaria suele tener un volumen muy pequeño comparado con la información no prioritaria.

Por esta razón, la arquitectura de comunicaciones propuesta diferencia dos tipos de comunicaciones:

- **Comunicaciones “ligeras”**: este tipo de comunicación es la que permite el intercambio de información en tiempo real. Se denominan comunicaciones “ligeras” dado que el tamaño de la información transmitida será pequeño (del orden de bytes o unos pocos Kbytes). La información que se transmite utilizando este esquema de comunicación suele ser prioritaria o urgente, por lo tanto debe transmitirse en cuanto se produce, ya que deja de tener validez o importancia si no se transmite en tiempo real. Por ejemplo, en una aplicación de posicionamiento de trenes las posiciones que no se pueden transmitir en cuanto se obtienen, dejan de ser relevantes.
- **Comunicaciones “pesadas”**: hay información muy voluminosa o que no es prioritaria, y por lo tanto no es necesario que se transmita y procese en tiempo real. Para este tipo de información se definen las comunicaciones “pesadas” que involucran la transmisión de grandes cantidades de información (del orden de Mbytes).

Así, al igual que se han diferenciado dos tipos de comunicaciones, también se distinguen dos medios de transmisión, uno por cada tipo de comunicación descrita anteriormente. De esta manera, las comunicaciones “pesadas” se enviarán utilizando la tecnología WiFi

mientras que para las comunicaciones “ligeras” se ha seleccionado la tecnología GPRS, que permite una comunicación en tiempo real haciendo uso de los medios de comunicación ofrecidos por los proveedores de telefonía sin tener que realizar ningún tipo de instalación de elementos de infraestructura física.

La elección de las tecnologías WiFi y GPRS no garantiza la disponibilidad de cobertura para la comunicación en el 100% de los casos (por ejemplo, no suele haber cobertura GPRS en muchos túneles o zonas montañosas a menos que los operadores de telefonía instalen antenas específicas), pero es suficiente para las necesidades de comunicación que demandan los servicios que serán desplegados sobre la arquitectura, ya que combinando las tecnologías WiFi y GPRS, se puede decir que prácticamente se puede alcanzar el 100% de la cobertura, puesto que los trenes realizan recorridos conocidos, es decir, las vías son fijas. Pese a que la elección tecnológica inicial se ha decantado por las tecnologías WiFi y GPRS, como la arquitectura estará basada en estándares, podría migrarse con facilidad a otras tecnologías de transmisión como pueden ser WiMax o una red TETRA, que podrían aumentar la cobertura de comunicación acercándola al 100%.

Teniendo en cuenta lo anterior, dentro de la infraestructura de comunicaciones inalámbrica propuesta se distinguen dos modos de comunicación: ligeras y pesadas, cada uno de ellos supervisado en “tierra”, por el *Gestor de Comunicaciones Ligeras* y el *Gestor de Comunicaciones Pesadas* respectivamente.

2.1 Comunicaciones “ligeras”

Las *Comunicaciones Ligeras* se han diseñado con el objeto de permitir que las aplicaciones de “tierra” y las aplicaciones embarcadas se puedan comunicar en tiempo real proveyendo un canal de comunicaciones transparente e independiente de la funcionalidad de las aplicaciones individuales existentes o las que surjan en el futuro.

Dada la necesidad de entrega de información en tiempo real, para este tipo de comunicaciones es indispensable seleccionar una tecnología móvil que permita la comunicación de los trenes con un sistema central en todo momento. Para ello se ha seleccionado la tecnología GPRS (que dependiendo de las infraestructuras de la compañía podría ser sustituida por una red privada como TETRA o GSM-R). Para aumentar la disponibilidad de cobertura, el hardware instalado en cada unidad o tren dispone de dos

tarjetas móviles, pertenecientes a dos proveedores diferentes de telefonía para posibilitar la conmutación entre ambas en función de la existencia de cobertura o no por uno u otro medio. Por tanto, la idea es tener un operador predefinido, y en caso de no poder enviar a través de éste conmutar al otro operador establecido como secundario.

Además del equipamiento hardware, para poder hacer posible esta comunicación tanto en el lado del tren como en el lado de “tierra”, hace falta la instalación de un software que gestione dichas comunicaciones, y se encargue de recibir/enviar información de y hacia las aplicaciones embarcadas o de “tierra” según sea el caso. Como se muestra en la Ilustración 1 se han definido dos elementos, uno en tierra y otro embarcado en los trenes denominados *Gestor de Comunicaciones Ligeras* y *Gestor de Comunicaciones Embarcado* respectivamente.

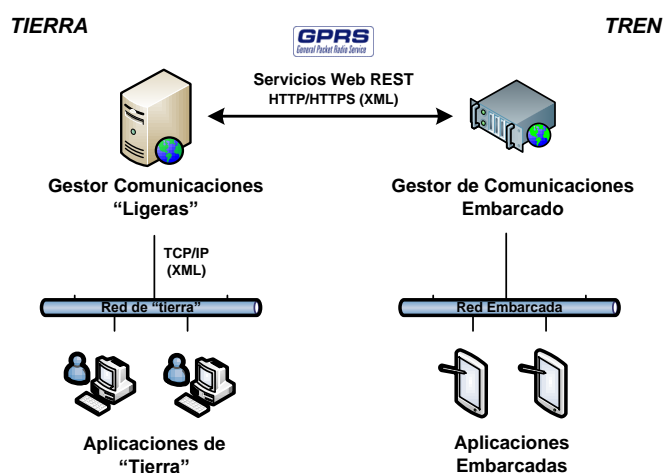


Ilustración 1: Estructura de las Comunicaciones Ligeras

Cada tren dispone de un *Gestor de Comunicaciones Embarcado* (en cada locomotora) que se comunica con el *Gestor de Comunicaciones Ligeras* situado en el puesto de mando central (en “tierra”). La comunicación entre estos módulos se realiza sobre HTTP a través de Servicios Web REST, intercambiando información en formato XML. El uso de este tipo de tecnología ofrece escalabilidad, interoperabilidad, independencia en el desarrollo, y facilita el uso de sistemas intermedios para reducir el tiempo de interacción y mejorar la seguridad entre otras cosas.

La responsabilidad *del Gestor de Comunicaciones Ligeras y Embarcado* será recibir y enviar información entre aplicaciones de “tierra” y aplicaciones embarcadas en el tren. Para ello, añaden a la información de las aplicaciones finales una cabecera que identifica el origen y

destino de la información (simulando el envío de información por e-mail en el que se identifica el origen y destinatario). La forma de identificar las diferentes aplicaciones es totalmente transparente a las aplicaciones finales, siendo el *Gestor de Comunicaciones Embarcado* y el *Gestor de Comunicaciones Ligeras* los encargados de realizar la traducción de 'nombres de aplicaciones' a direcciones IP.

Como se puede observar, todas las comunicaciones tienen que pasar por dos elementos centrales, que pueden acarrear la pérdida de disponibilidad del canal en caso de fallo. Este problema se resuelve mediante el uso de una solución basada en servicios web, en la que se pueden montar servidores web de respaldo, al igual que se hace en las arquitecturas web tradicionales. Además, por el hecho de utilizar el protocolo de comunicaciones HTTP, facilitaría la incorporación de un canal de comunicaciones seguro, migrando la solución al protocolo HTTPS.

2.2 Comunicaciones “pesadas”

Para las *Comunicaciones Pesadas* definidas en la arquitectura, se han instalado una serie de redes WiFi en los lugares en que los trenes están un intervalo de tiempo suficiente como para garantizar la descarga con garantías de cierto volumen de información, esto es: estaciones cabecera en las que se inicia o termina un recorrido, talleres y cocheras. De esta forma, se puede decir que la cobertura WiFi no es total, pero cabe resaltar que las *Comunicaciones Pesadas* están pensadas para tareas de actualización de grandes volúmenes de información, que en principio no tienen porqué realizarse en tiempo real. Además, migrando la solución sobre una red de tipo WiMAX, podría garantizarse la cobertura prácticamente en la totalidad de la línea, con lo que incluso la solución de *Comunicaciones Ligeras* también podría canalizarse a través de la red WiMAX.

El esquema funcional de este tipo de comunicaciones es muy parecido al de las *Comunicaciones Ligeras* (ver Ilustración 2). En este caso también será necesario un mecanismo para localizar a los trenes, con la diferencia de que los trenes no dispondrán de una dirección IP conocida en todo momento, sino que tomarán una dirección IP de la red WiFi en la que estén conectados, que no siempre tiene porqué ser la misma. Por otro lado, la existencia de diversas aplicaciones de “tierra” que vayan a comunicarse con unidades de tren, y el hecho de que el volumen de la información transmitida en estas comunicaciones

sea grande, hace entrever la existencia de un problema de monopolización del ancho de banda del canal de comunicación.

Para dar respuesta a estos problemas surge la figura del *Gestor de Comunicaciones Pesadas*, un sistema que arbitra y distribuye turnos para que las aplicaciones de “tierra” y las embarcadas se comuniquen. De esta forma las aplicaciones de “tierra” solicitan un turno cuando quieren establecer una comunicación pesada con un tren. Dicha distribución de turnos se gestiona en base al estado de conexión del tren a una red WiFi (conocido en todo momento) y un sistema de prioridades, que se asignan en función de la aplicación de “tierra” que quiere comunicarse con el tren.

Cuando el *Gestor de Comunicaciones Pesadas* decide dar un turno para que una aplicación de “tierra” y un tren inicien una comunicación, envía una autorización a cada parte para que ésta se lleve a cabo. Para ello, el gestor establece una comunicación con cada aplicación de “tierra” y cada Gestor de Comunicaciones Embarcado de un tren mediante Sockets TCP. Sobre éstos, se han definido una serie de mensajes en formato XML que hacen las veces de protocolo de comunicación.

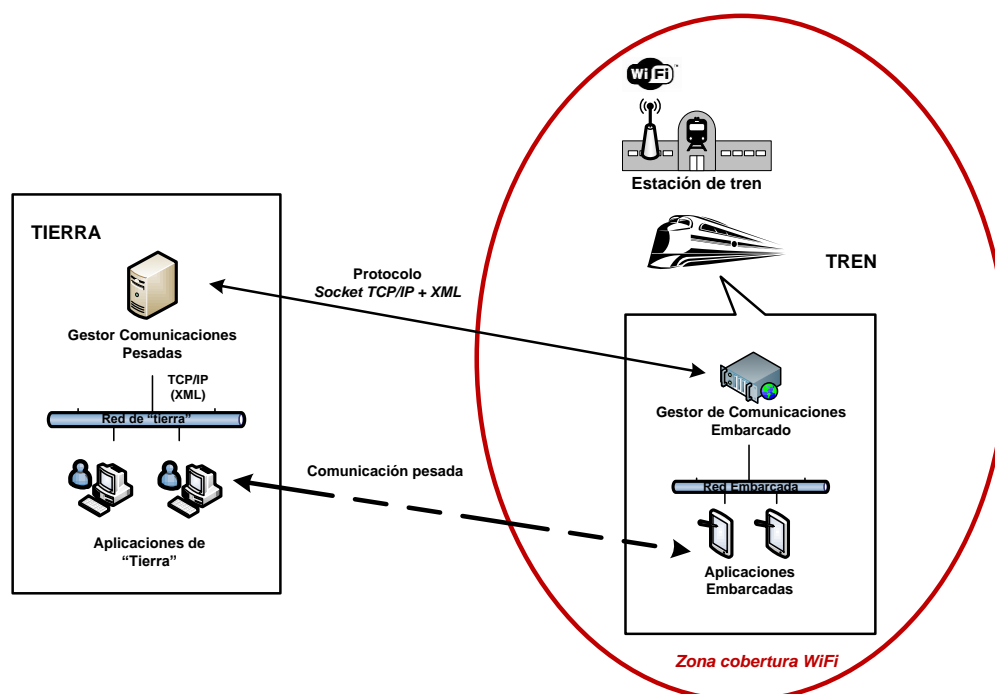


Ilustración 2: Estructura de las Comunicaciones Pesadas

El sistema de prioridades, tiene en cuenta el número de reintentos de inicio de una comunicación, para evitar que alguna petición de comunicación bloquee el canal. Además,

para ofrecer un nivel extra de seguridad, cada aplicación de “tierra” utiliza un puerto específico para la comunicación con las aplicaciones embarcadas. Esto se consigue haciendo que el *Gestor de Comunicaciones Embarcado* haga una traducción PAT de puerto a dirección IP, para que las direcciones IP de las aplicaciones embarcadas no sean conocidas desde el exterior.

Cabe resaltar que el esquema de *Comunicaciones Pesadas*, no establece ninguna restricción en cuanto a la comunicación final entre las aplicaciones de “tierra” y las aplicaciones embarcadas. No se define ningún formato o estructura de la información que se intercambia, lo único que se establece es un mecanismo para conocer la dirección IP del tren destino (porque es dinámica), y regular o controlar los turnos de transmisión para evitar el monopolio del canal de comunicación.

3 SERVICIOS DE NUEVA GENERACIÓN

La implantación de la arquitectura de comunicaciones inalámbrica descrita en esta comunicación sería la base de diversos servicios digitales a desarrollar, que facilitasen la labor diaria en el ámbito ferroviario, además de aumentar la calidad del servicio ofrecido. Estos servicios podrían ser catalogados en tres diferentes grupos dependiendo de su objetivo: (1) servicios relacionados con la monitorización del estado del tren, (2) servicios para los usuarios finales, y (3) servicios orientados al maquinista, que es un elemento clave en el sistema de ferrocarril, porque es el encargado de conducir el tren.

El primer grupo se centraría en servicios que permitieran realizar labores de mantenimiento, gestión, control del tráfico e incluso de seguridad. Gracias a la posibilidad de poder conectarse inalámbricamente con las unidades, se facilita sobremanera el poder saber en cada momento el estado de cada tren, no sólo obteniendo la ubicación en cada momento, sino comprobando que todos sus elementos críticos funcionan de forma correcta. Asimismo, se podría llevar el proceso de mantenimiento de estos elementos críticos de una forma más eficaz, ya que podría recogerse su información de forma más rápida, ahorrando recursos tanto humanos como tecnológicos. En este caso, la mayor parte de los intercambios de información se realizarían haciendo uso del esquema de *Comunicaciones Ligeras* puesto que datos como la posición o alguna alarma de un dispositivo, serían muy urgentes, y de tamaño reducido. Por otro lado, también podría descargarse a través de las *Comunicaciones Pesadas*, información histórica de estados de dispositivos, consumos, etc.

Otra de las utilidades que se podría desarrollar es la descarga de las grabaciones realizadas por el sistema de video vigilancia CCTV instalado en los vagones de cada tren. De este modo, una aplicación de “tierra” ubicada en el exterior podría descargar y almacenar el contenido de las grabaciones realizadas por las cámaras de seguridad de una forma rápida y cómoda gracias a la comunicación inalámbrica, que en este caso sería pesada (a través de WiFi) dado el volumen de información que va a ser transmitido.

En cuanto a los servicios orientados al usuario final, podría desarrollarse un sistema de posicionamiento de los trenes basado en GPS, para que los usuarios pudiesen consultar en tiempo real la información relativa a horarios, ubicación y retraso de los trenes en los que esté interesado. Este sistema sería especialmente interesante para que empresas que utilicen el tren como medio de transporte de mercancías puedan visualizar en todo momento el estado del transporte de sus productos, es decir, información tal como el punto geográfico donde se encuentra el tren o si va a llegar al destino en el plazo esperado, e incluso monitorizar algún parámetro de la mercancía transportada, como por ejemplo la temperatura de un contenedor frigorífico. Otro servicio a tener en cuenta para los viajeros de un tren, sería la implantación de publicidad contextual en los vagones del tren, que se actualizaría con información relativa a los sitios por los que el tren fuera pasando, o con anuncios de comercios de la zona.

En lo referente a los servicios orientados al maquinista o personal del tren, una de las utilidades más relevantes a desarrollar sería un sistema de descarga y/o actualización de documentos con información de interés para el personal embarcado en el tren desde una aplicación del exterior. Dicho sistema sería de gran ayuda ya que el maquinista podría obtener información actualizada sobre cualquier elemento que quisiera (desde itinerarios de ruta hasta protocolos de seguridad) de forma rápida, facilitando así su labor. Con esta última utilidad, se liberaría al maquinista de la carga que supone la información que a día de hoy lleva en papel, y además, permitiría incluso la notificación on-line de actualizaciones de dicha documentación.

A continuación se hace una breve descripción de los dos servicios desarrollados hasta el momento:

3.1 Servicio de posicionamiento y gestión del tráfico

Tomando como base la arquitectura de comunicaciones descrita, surge la posibilidad de implementar nuevos servicios en torno al ferrocarril. Unos de esos servicios puede ser la gestión del tráfico propiamente dicha. Así, mediante de notificación de posicionamientos GPS de los trenes, gracias al envío de dicha información a través de las *comunicaciones ligeras* (por tanto al intercambio de información entre el *Gestor de Comunicaciones Ligeras* y el *Gestor de Comunicaciones Embarcadas*), se puede realizar una gestión de tráfico en tiempo real desde el centro de control.

En el sector ferroviario la gestión de tráfico se ha ido realizando de forma automática gracias a sensores y diferentes elementos fijos instalados en la vía. Se trata de un modo de comunicación cableado que permite hacer llegar al centro de control información sobre la circulación permitiendo representar en tiempo real en un sinóptico tanto la situación de tráfico, como el de los diferentes elementos relacionados (señales, agujas, etc.). Sin embargo, hay circunstancias muy excepcionales (averías, cortes de suministro, etc.) que hacen que este sistema falle, haciendo que durante un cierto periodo de tiempo los centros de control dejen de recibir información sobre el estado de tráfico de partes o totalidad de la línea. Así, durante el periodo de tiempo en el que el sistema principal falla, los centros de control desconocen la ubicación de los trenes, teniendo que recurrir a la comunicación verbal con los maquinistas de estos para poder llevar un control, manualmente y habitualmente sobre papel, del posicionamiento y situación de los trenes.

Teniendo en cuenta las cuestiones mencionadas anteriormente, de nuestro trabajo con empresas del sector ferroviario como son ETS y EuskoTren nace un Sistema de Respaldo/Apoyo para la Gestión de Tráfico Ferroviario que sirve de apoyo al operador en esos casos en los que el sistema principal falla. Así, durante el periodo en que parte o totalidad del sistema primario esté caído, el objetivo de este nuevo sistema de respaldo es suplir esta carencia de información y asistir a los operadores en tareas relacionadas con el posicionamiento y la gestión del tráfico.

Por lo tanto, este sistema tiene como finalidad proporcionar un mecanismo de apoyo para la gestión de la circulación de trenes en caso de fallo del sistema actual que controla la circulación de forma automática. Este apoyo se proporciona mediante una aplicación que informa de la posición de los trenes y facilita las labores de gestión del tráfico, así como un mecanismo para enviar mensajes a los maquinistas.

3.2 Servicio de actualización remota de aplicaciones

Se trata del desarrollo de un sistema de gestión remota de la información de las aplicaciones instaladas en el terminal del tren. Es decir, una aplicación que permite controlar la actualización de la información que utilizan las aplicaciones instaladas en el terminal del tren (ej. información de planos de vías o documentación de soporte para el maquinista), así como la descarga y borrado de la información que generan algunas aplicaciones (ej. ficheros de log), de forma remota desde el centro de control.

La solución consta básicamente de dos aplicaciones software, uno para la parte de “tierra” (centro de control) y la otra para ser desplegada en todos los terminales de tren. Estas aplicaciones se integran con la arquitectura de conectividad desarrollada y descrita previamente a través de las *comunicaciones pesadas* dado que involucra en intercambio de grandes volúmenes de información que no precisan comunicación en tiempo real.

Por tanto, en este caso, el *Gestor de Comunicaciones Pesadas* se encargará de arbitrar las comunicaciones “tren-tierra” realizadas a través de la aplicación instalada en tierra y aquellas embarcadas en el tren para llevar a cabo todas las tareas relacionadas con el servicio descrito.

4 CONCLUSIONES

A día de hoy, a pesar de la madurez del sector y de los espectaculares avances en lo que a comunicaciones inalámbricas se refiere, la industria del ferrocarril sigue basando sus servicios primarios de funcionamiento en este tipo de sistemas de comunicación del pasado. Concretamente, las tecnologías de comunicación inalámbricas de nueva generación, como las basadas en tecnología móvil convencional (léase GSM, GPRS o UMTS), o las soluciones de banda ancha (como WiFi o WiMAX), tienen innumerables posibilidades de aplicación en un sector como el del ferrocarril, ya que el coste de su despliegue es muy bajo, complementan perfectamente a los sistemas de comunicación tradicionales, y por su gran ancho de banda y amplia cobertura posibilitan el despliegue de nuevos servicios en este ámbito, como son todos aquellos que giran en torno al usuario final y van encaminados a ofrecer un servicio de transporte de mayor calidad.

Esta oportunidad motivó precisamente la realización de un trabajo como que se describe en este artículo: una arquitectura de comunicaciones inalámbricas de nueva generación para la industria de ferrocarril que establezca un canal de comunicación bidireccional “tren-tierra”. Dicha arquitectura constituye un canal de comunicación único entre todas las aplicaciones embarcadas y las de los centros de control, uniformizando de esta forma la transmisión de datos entre éstas. Así, este canal constituye un recurso compartido por todas, liberándolas de los detalles inherentes a las comunicaciones (y por tanto simplificándolas).

La implantación de la arquitectura de comunicaciones inalámbrica descrita está siendo la base de nuevos servicios digitales que actualmente se están desarrollando, siendo su naturaleza u objetivo muy diverso: desde servicios para la monitorización del estado del tren, como servicios para los usuarios finales, hasta servicios orientados a asistir en la conducción al maquinista. Como líneas de trabajo futuras, destacamos: (1) el desarrollo de nuevos servicios digitales y (2) la adopción de buenas prácticas de Ingeniería del Software y estándares de interoperabilidad que posibiliten que la adición e integración de nuevos servicios y aplicaciones en la arquitectura sea fácil de llevar a cabo.

5 BIBLIOGRAFÍA

J. SMITH, S. RUSSELL, and M. LOOI. (2003). “Security as a safety issue in rail communications,” in Proc. 8th Australian workshop on Safety critical systems and software, Vol. 33, Canberra, Australia, Australian Computer Society, Inc., pp. 79 – 88.

M. AGUADO, et al. (2005). “Railway signaling systems and new trends in wireless data communication”, in Vehicular Technology Conference, pp. 1333–1336.

PTFE (Plataforma Tecnológica Ferroviaria Española). (2007). “La normativa comunitaria del sector ferroviario europeo”, technical report. Available: http://www.vialibreffe.com/PDF/Normativa_europea.pdf

G. SHAFIULLAH, A. GYASI-AGYEI and P. J. WOLFS. (2007). “Survey of wireless communications applications in the railway industry,” in 2nd International Conference on Wireless Broadband and Ultra-Wideband Communications (AusWireless), Sydney, pp. 27–30.

NETWORK RAIL, "Railway communications system", technical report. (2007). Available: <http://www.networkrail.co.uk/aspx/3606.aspx>

F. WHITWAM. (2003). "Integration of wireless network technology with signaling in the rail transit industry", Alcatel Telecom, Review 1st Quarter, no. 1.

A. GATTI. (2002). "Trains as Mobile devices: the TrainCom Project," Wireless Design Conference, London. Available: http://www.stellastellina.org/assets/applets/3540_WDC2002The_TrainCom_project.pdf

M.S. KURAN, T. TUGCU. (2007). "A survey on emerging broadband wireless access technologies," Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications, Vol. 51, Issue 11, Elsevier North-Holland, Inc. New York, NY, USA, pp. 3013-3046.

IEEE STD 802.16.2-2004. (2004). "IEEE Recommended Practice for Local and metropolitan area networks". Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems.

M. AGUADO, O. ONANDI, P. S. AGUSTIN, M. HIGUERO, E. J. TAQUET. (2008). "WiMax on Rails," in Vehicular Technology Magazine, Vol. 3, Issue 3, IEEE, ISSN: 1556-6072, pp. 47-56, Sept.