

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIONES FERROVIARIA DE ALTA VELOCIDAD

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TELECOMMUNICATIONS NETWORK HIGH-SPEED RAIL

Víctor Andrés Martín Moreno

victor.andres.martin@gmail.com / victor.martin@ineco.es

Resumen: El artículo presenta el proceso de ingeniería y construcción para el despliegue de una red de comunicaciones ferroviarias en líneas de Alta Velocidad en España. La detección de necesidades y un óptimo diseño de ingeniería de red conforman la base de la primera fase de redacción del proyecto. El desarrollo de una arquitectura de red orientada a servicios, y un fuerte conocimiento en gestión, planificación y coordinación, constituyen los fundamentos de la fase de obra y puesta en servicio. El artículo se complementa con la descripción de la infraestructura típica de telecomunicaciones en este tipo de líneas, divididas en un nivel físico, un nivel de red y un nivel de servicios.

Palabras clave: necesidades, diseño, cliente, ingeniería, proyecto, nivel físico, nivel de red, nivel de servicios, anillo, fibra óptica, topología, RAD (Red de Acceso de datos), RDE (Red de Datos de Explotación), JDS (Jerarquía Digital Síncrona), multiprotocolo de conmutación de etiquetas, protocolo de internet, interconexión de sistemas abiertos, ethernet, transporte, acceso, red, ancho de banda, calidad de servicio, coordinación, planificación, tarea, hito.

Abstract: The article presents the engineering and construction process for the deployment of a railway communications network in high-speed lines in Spain. The identification of needs and an optimal network engineering design are the basis for the first phase of the project. The development of an architecture of networking, which is service-oriented, and a strong knowledge in management, planning and coordination, are the basis of the phase of work and commissioning. The article is complemented by the description of the typical telecommunications infrastructure in this kind of lines, divided into a physical level, a level of network and a service level.

Keywords: needs, design, client, engineering, project, physical level, network level, service level, ring, optical fiber, topology, ADN (Access Data Network), EDN (Exploitation Data Network), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), MPLS (Multi-protocol Label Switching), IP (Internet Protocol), OSI (Open System Interconnection), ethernet, transport, access, network, bandwidth, QoS (Quality of Service), coordination, planning, task, milestone.

1. Introducción

La red de Telecomunicaciones Ferroviaria de Alta Velocidad experimenta, al igual que el mundo tecnológico que nos rodea en nuestra vida diaria, una constante evolución. El aumento de servicios que demandan necesidades de transporte, y el incremento del número líneas ferroviarias, convirtiéndose España en uno de los países del mundo con mayor número de kilómetros en Alta Velocidad, son dos factores clave para el proceso de evolución tecnológica que la red ha percibido en primera persona.

En el mundo del Ferrocarril de Alta Velocidad, la red de telecomunicaciones, como en cualquier otro ámbito de la sociedad donde se despliega una red, tiene como objetivo prioritario la provisión de servicios; servicios los cuáles han ido en aumento, tanto en número como en necesidades de ancho de banda. El papel de la ingeniería encargada de desarrollar y desplegar esa red, es la de adaptarse a este incremento de demanda, presentando una oferta potente y escalable, de tal forma que presente fiabilidad en el soporte de los tráficos demandados, pero que de igual forma ofrezca una garantía de crecimiento futuro.

Tan importante resulta ser capaces de ofertar una solución de red que permita satisfacer las necesidades de los demandantes, como diseñar una arquitectura robusta con alta fiabilidad frente a fallos. Configuraciones de anillos de fibra óptica, redundancia 1+1 ó 1+n en componentes críticos, supervisión de los equipos de red, etc. son algunas de las estrategias para garantizar una excelente calidad del servicio.

Los recursos tecnológicos, los económicos y los plazos temporales, son tres de los factores fundamentales con los que hay que jugar para el desarrollo de las líneas de telecomunicaciones actuales. El primero de ellos, dentro de un panorama en el que la excelencia es clave, determina una búsqueda a nivel mundial de la ingeniería española de aquellos equipos que constituyen la mejor opción para satisfacer las necesidades de provisión de servicios. En paralelo, esta búsqueda de calidad y eficiencia tecnológica va sujeta a la disponibilidad de unos recursos económicos, los cuales necesitan de un análisis presupuestario para la obtención de aquellos elementos que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas para las líneas de Alta Velocidad. Por último, y no menos importante, están los plazos temporales de obra determinados para alcanzar con éxito la puesta en servicio de las líneas ferroviarias; esto lleva aparejado la elaboración de unos planes de obra con una fecha fin muy marcada en la consecución de los hitos parciales y global. Una claridad en la definición de conceptos, disponibilidad de recursos en las diferentes fases de obra, tareas de coordinación activas entre técnicas, son algunas de las actuaciones necesarias para alcanzar con éxito la fecha fin de recepción de la obra.

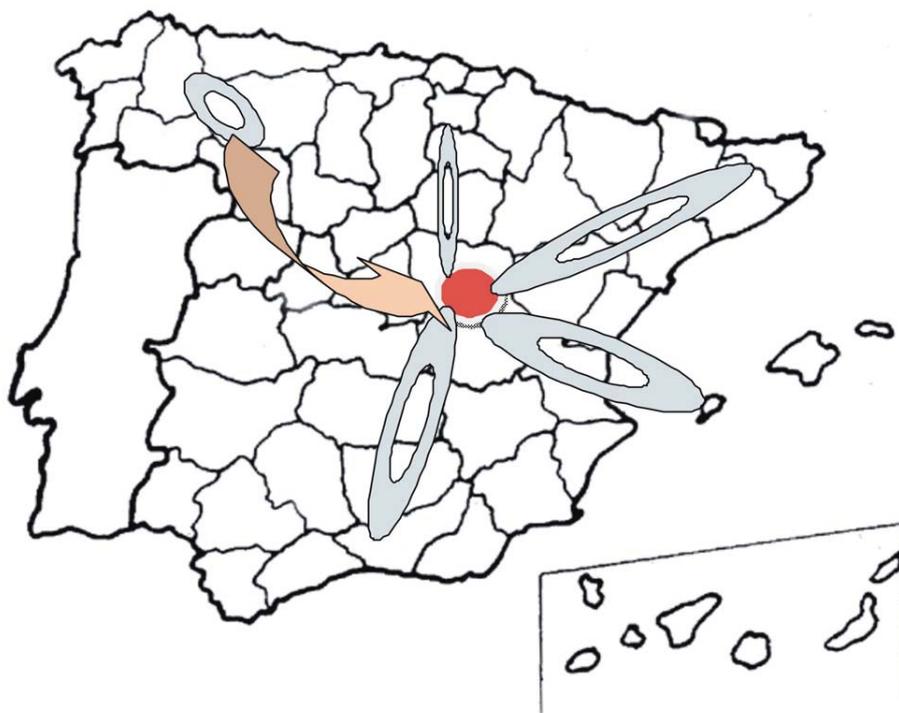
El artículo se divide en tres bloques principales. El primero de ellos, recoge el proceso de análisis de necesidades y diseño de ingeniería de red. El segundo, un resumen técnico de la topología típica de networking empleada en líneas de Alta Velocidad. El tercer y último bloque, se centra en la fase de obra, con la configuración, instalación y puesta en marcha del equipamiento de red.

2. Detección de necesidades y diseño de ingeniería

La primera fase en el desarrollo de una línea de telecomunicaciones ferroviaria viene determinada por la detección de necesidades y la elaboración de un diseño tecnológico que las satisfaga. Esto se traduce en la redacción de un proyecto que recoge las especificaciones técnicas y económicas del equipamiento a desplegar en la línea. Igualmente, se definen las diferentes arquitecturas de red que constituyen la base para los servicios ferroviarios a explotar; no se debe olvidar que el objetivo prioritario de la red de telecomunicaciones ferroviarias de Alta Velocidad es, como el de toda topología de networking, ofrecer un soporte físico a la transmisión de los servicios requeridos por los clientes.

2.1. ¿En qué consiste exactamente la detección de necesidades?

En España, las infraestructuras de telecomunicaciones ferroviarias tienen unos parámetros definidos de funcionamiento que es necesario cumplir en el desarrollo de todas las líneas, y que son empleados en la satisfacción de esas necesidades. Un ejemplo claro es la ubicación permanente de un Centro de Regulación y Control (CRF) en Madrid, que junto a un CRC dispuesto en cada una de las líneas, permiten el control de la explotación del servicio. Este hecho implica que toda topología de red es imprescindible que establezca una conexión física con este equipamiento central. Por lo tanto, esta necesidad es una premisa en el diseño de ingeniería. A continuación se muestra una ilustración que describe esta situación.



-  CRF Madrid
-  Línea Ttelecomunicaciones Alta Velocidad

Como se observa en la imagen, todas las líneas de telecomunicaciones representadas en forma de anillo establecen una conexión con Madrid. Un caso especial es el representado con una flecha anaranjada, dónde la línea de telecomunicaciones, por concepción de la propia línea de Alta Velocidad, no tiene su origen/destino en Madrid; esta situación implica que debe establecerse por otros cauces esa comunicación, como puede ser mediante el empleo de la red de comunicaciones de líneas convencionales y/o mediante el soporte de topologías de red de otras líneas de AV. Esto es lo que representa la detección y satisfacción de necesidades de red y el diseño de ingeniería.

Algunos ejemplos claros de esta misma premisa son los siguientes:

Ubicación de Centrales de Conmutación Móviles (Mobile Switching Central, MSC) en los Puestos de Mando de Madrid-Puerta de Atocha y Zaragoza.

Servidores de Gestión Central de todos los equipamientos de las diferentes líneas en Atocha y Zaragoza.

Otra necesidad viene determinada por la definición de aquellos puntos que van a requerir de la provisión de algún servicio, o lo que es lo mismo, que van a constituir un nodo de acceso de comunicaciones en el ámbito de la línea. Una vez definido el trazado y el programa de explotación, aparecen los diferentes emplazamientos que para uno u otro servicio requerirán de satisfacer esta necesidad; estos emplazamientos son:

- Edificios Técnicos
- Estaciones
- Casetas de Señalización
- Casetas de Detectores
- Subestaciones
- Autotransformadores
- Casetas de Comunicaciones Móviles
- Casetas de Operadores
- Casetas de Túnel
- Pasos Superiores
- Viaductos
- Túneles
- Bases de Mantenimiento
- Centros de Control (CRC;CTC;CPS)

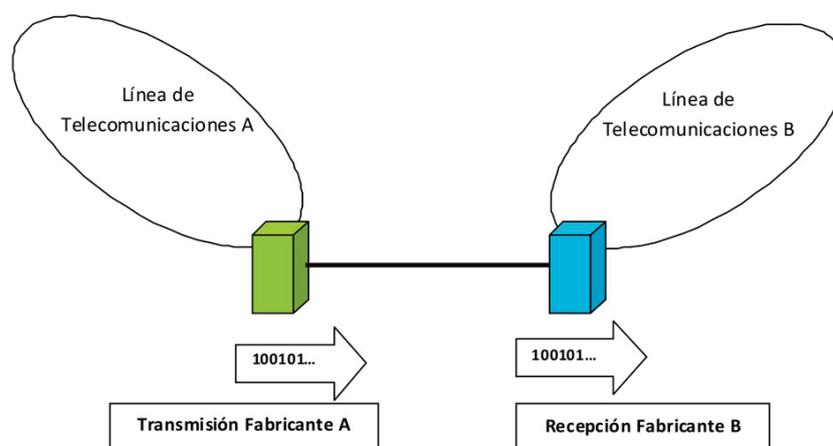
En resumen, la conjunción de las premisas de funcionamiento de las líneas de Alta Velocidad en España, y la definición de emplazamientos que precisan de la provisión de servicios, son en líneas generales la base para la satisfacción de las necesidades de red.

2.2 Casos particulares de diseño de ingeniería

El avance de las infraestructuras ferroviarias de Alta Velocidad ha supuesto y supone un fuerte reto para la ingeniería en nuestro país. Análisis, ingenio y búsqueda de la mejor y óptima solución, llevan a disponer de una red de telecomunicaciones global, robusta, escalable e integrada en una plataforma de variedad tecnológica. El diseño de ingeniería parte de la elaboración de una topología de red completamente orientada a los servicios requeridos por los clientes. ¿Dónde se demandan los servicios?, ¿qué requerimientos de capacidad de transmisión necesitan?, ¿cuáles son los estándares de calidad que precisan?; éstas son algunas de las preguntas que nuestra ingeniería debe responder previa a la definición de la red. Los servicios son la referencia prioritaria y la base de los diseños en las líneas de Alta Velocidad, que en ocasiones necesitan de un esfuerzo adicional de ingenio para alcanzar su objetivo.

A continuación se describen dos casos en los que se refleja esta ingeniería de diseño:

- Escenario de networking multifabricante: las líneas de telecomunicaciones de Alta Velocidad apuestan por disponer de un concepto firme de topología de red en el que participen una amplia gama de tecnólogos. Esta circunstancia, que enriquece el conocimiento y ofrece oportunidades de negocio, suponen de forma paralela una labor de diseño de ingeniería. La conexión de dos redes de misma tecnología pero distinto fabricante obligan a asegurarse que el diálogo entre ambas es fluido, sin ausencia de información y sin pérdida de funcionalidades. La consistencia de dicha comunicación se sustenta en unas pruebas de interoperabilidad que confirmen que el código empleado por ambos fabricantes es el mismo.



Pruebas Conectividad Multifabricante

Garantizar que la información enviada por el equipo del fabricante A se recibe completamente y sin alteraciones en el equipo del fabricante B es una de las pruebas básicas para asegurar la comunicación entre ambos. Sin embargo, estas pruebas son más exhaustivas, analizando otros parámetros como la propagación de fallo ante corte del enlace, transmisión de Calidad de Servicio, etc.

■ **Conexiones Líneas de Alta Velocidad y Líneas Convencionales:** en la actualidad son muchas las situaciones en las que se produce una relación directa entre las instalaciones de ambas líneas de telecomunicaciones. El entronque directo de las vías de una línea de Alta Velocidad en una estación existente de convencional, es un ejemplo en el que aflora el diseño de ingeniería para establecer una correcta comunicación. Algunas de las actuaciones que hay que realizar en estos casos son:

- Comunicación equipos AV y Convencional mediante interfaces.
- Integración de protocolos.
- Integración de Puestos de Mando.
- Empleo de canalizaciones para tendidos de cables, y en ocasiones, retranqueo de existentes.
- Actualización de la telefonía de explotación a la nueva distribución de señales.
- Búsqueda de espacio para el layout del equipamiento de Alta Velocidad.

...

2.3 Redacción de proyectos constructivos

Una vez realizado el análisis de necesidades y obtenido la mejor solución al diseño deseado, se comienza con la redacción de un proyecto constructivo que recoja toda la información necesaria para una correcta ejecución de la obra. Este documento permite fijar las bases de funcionalidad que se quieren obtener, definiendo la topología de red deseada, los nodos de comunicaciones que la constituirán, y las especificaciones técnicas y económicas de los mismos.

La redacción del proyecto da como resultado los siguientes documentos:

- 1) Memoria y Anejos, dónde se realiza una descripción técnica en texto de la solución de telecomunicaciones elegida.
- 2) Planos, los cuales representan gráficamente la solución desarrollada en el punto anterior.

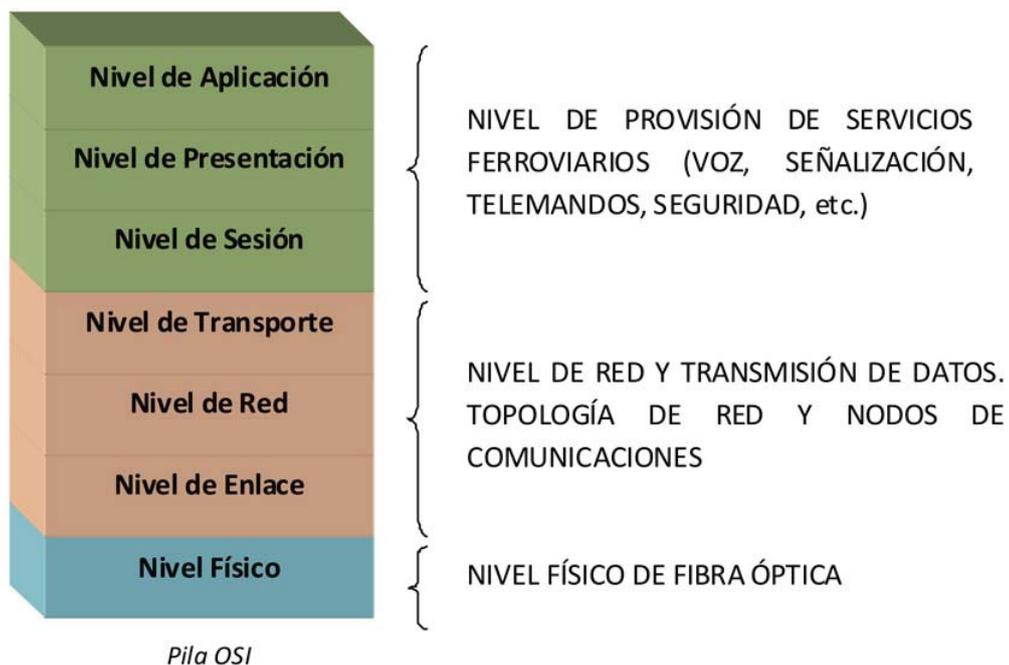
3) Pliego de Prescripciones Técnicas. Este documento sirve para establecer las cláusulas contractuales que fijan las pautas para la ejecución de la obra, y sobre todo, dónde se recogen las características técnicas que deben cumplir los equipos y materiales que constituyen la red de telecomunicaciones.

4) Presupuesto. Se fijan los precios de todas las unidades necesarias para desarrollar el proyecto, y de acuerdo a la solución obtenida y a las mediciones calculadas, se obtiene un montante presupuestario necesario para la ejecución de la obra.

En el siguiente punto se va a realizar una breve descripción de la típica solución técnica de las arquitecturas de red de telecomunicaciones de Alta Velocidad.

3. Arquitectura de red en líneas de alta velocidad

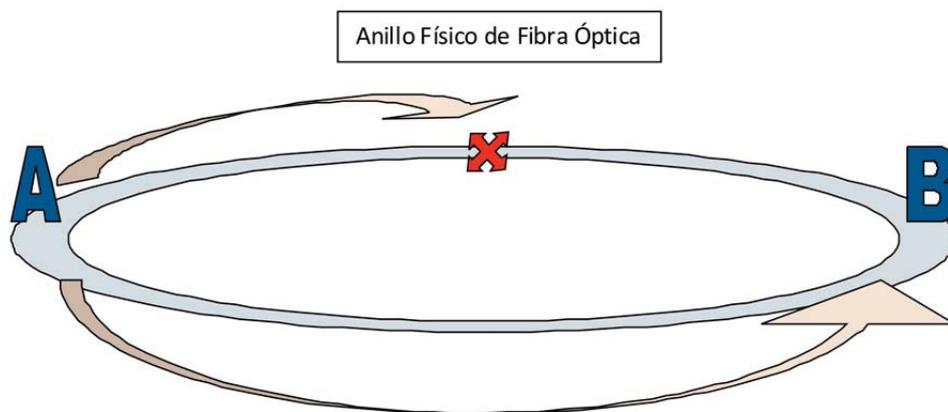
Las redes de telecomunicaciones de Alta Velocidad están constituidas por tres niveles básicos; un nivel Físico o de conectividad, un nivel de Red y transmisión de datos, y un nivel de servicios. Como se ha citado varias veces, este último es el más importante, el fin de la red de telecomunicaciones y el que permite realizar una medida de la calidad del diseño establecido. La provisión de unos servicios que satisfagan la necesidad del cliente, con un nivel de calidad alto, y una transmisión fiable y sin discontinuidades, definen el hito a conseguir por los diseñadores, que en consecuencia construyen una arquitectura cuyos criterios principales se detallan a continuación. Como se podrá observar, estos criterios guardan relación con la pila de comunicaciones del modelo OSI:



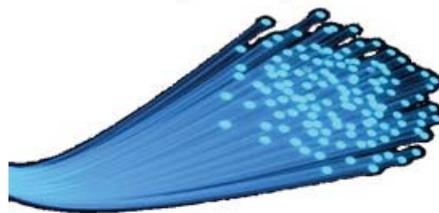
3.1 Nivel Físico

El nivel físico o soporte de transmisión de la red está formado por anillos de cables de fibra óptica. Si nos centramos primero en el concepto de anillo, esta arquitectura nos permite ofrecer siempre caminos alternativos y redundantes para la transmisión entre dos puntos.

En la siguiente ilustración se observa la seguridad en la transmisión ofrecida por los diseños en anillo. La caída de un enlace genera una conmutación a nivel de equipos y de protocolos de comunicaciones, que permiten continuar con el transporte de información sin corte de servicio.



¿Y por qué el empleo de la fibra óptica? Este medio de transmisión, ya ampliamente utilizado en la actualidad en todos los ámbitos de las telecomunicaciones, permite el transporte de una gran cantidad de información a elevadas velocidades en el mundo ferroviario.



Basándose su filosofía en la emisión de impulsos ópticos a través de un medio guiado que permite el confinamiento de la señal evitando su dispersión, la fibra óptica se ha convertido en la infraestructura óptima para establecer los enlaces que unen los nodos de comunicaciones. En sustitución de los cables de cobre, muy utilizados en diseños anteriores y cuya filosofía es el empleo de impulsos eléctricos, la fibra óptica presenta una ventaja fundamental de inmunidad frente a interferencias electromagnéticas. Esta característica es muy ventajosa en un ámbito donde las “carreteras” son empleadas por un gran variedad de “vehículos”, ya que por la misma canaleta en la que se encuentran los cables de fibra óptica se realizan también los tendidos de otros tipos de conductores, entre ellos cables de energía de múltiples secciones.

La dimensiones de los cables de fibra óptica (FO) empleados en las líneas de telecomunicaciones de Alta Velocidad son de 16, 32 y 96 FO. A nivel de segregación para acceder a los nodos de comunicaciones de los diferentes emplazamientos, todos ellos son empleados y su elección depende del número de servicios necesarios. A nivel de tendido a lo largo de las vías son los cables de 32 y 96 FO los que constituyen el vehículo de transporte de todos los servicios. Una característica común en todos ellos es su componente armada para ofrecer protección frente al ataque de roedores, golpes, corrosiones, agua, etc. Además, en algunos tramos de la línea con riesgos de incendio o con tránsito de personas, el cable se elige con características ignífugas que eviten la propagación de la llama.

Este nivel físico es completado con una relación de equipamiento y tareas que permiten dar consistencia al medio de transmisión:

- Cajas de empalme en recto para cambiar de sección de bobina de FO, y de segregación para proveer a los emplazamientos de acceso al medio óptico.
- Repartidores de fibra con variedad de capacidades, dónde fusionar los tendidos provenientes de la vía, y dónde conectar los equipos de transmisión.
- Medidas reflectométricas para comprobar que las pérdidas de atenuación del cable, las pérdidas por empalme, por conector y las reflectancias están acordes con lo indicado en las especificaciones.
- Equipos de supervisión óptica que permiten una monitorización constante de los parámetros de transmisión una vez se encuentra en explotación la infraestructura de telecomunicaciones.

3.2 Nivel de Red

La Fibra Óptica es el soporte físico empleado para propagar los bits de información. Sin embargo, ¿quiénes son los encargados de transmitir esa información? Los nodos de comunicaciones que conforman la arquitectura de red son quienes se encargan de ello.

Según el requerimiento del servicio ferroviario, se despliegan dos topologías de red diferenciadas, una basada en conmutación de circuitos y otra en conmutación de paquetes. La primera de ellas, obtenida mediante una Red de Transmisión SDH (Synchronous Digital Hierarchy), ofrece la ventaja de disponer de una transmisión en circuitos dedicados con una capacidad reservada; la segunda, una Red de Datos basada en tecnología IP (Internet Protocol) y MPLS (Multiprotocol Label Switching), surge del proceso de convergencia de los equipos hacia ese tipo de comunicación, que ofrecen una mayor escalabilidad, versatilidad y optimización de los recursos de la red.

3.2.1. Red de Transmisión SDH

La Jerarquía Digital Síncrona permite el establecimiento de circuitos dedicados para comunicaciones punto a punto entre dos emplazamientos. Son redes con un sincronismo de elevada calidad y sin pérdida de información. Cuando se establece el circuito, al ser exclusivo para una comunicación, no se producen pérdidas temporales en el cálculo y toma de decisiones para la selección del camino adecuado en nodos intermedios. Cada uno de éstos tiene una sola ruta para los paquetes entrantes y salientes de la sesión específica.

Una antena externa de GPS y un equipo de sincronismo de alta prestaciones permiten la generación de una señal de reloj de 2 MHz que se transmite a través de todos los nodos de la red SDH. Esta señal es tomada como referencia para mantener una sincronización perfecta en sus transmisiones y recepciones. Así lo requieren los servicios que la emplean como medio de transporte.

Se establecen circuitos dedicados con el inconveniente de al producirse un fallo en uno de los nodos intermedios, toda la comunicación se viene abajo y es necesario restablecer toda las conexiones desde el principio. Sin embargo, al igual que en las redes de paquetes, la conectividad se mantiene utilizando mecanismos de protección de enlace con protocolos como SNCP (Subnetwork Connection Protection Ring).

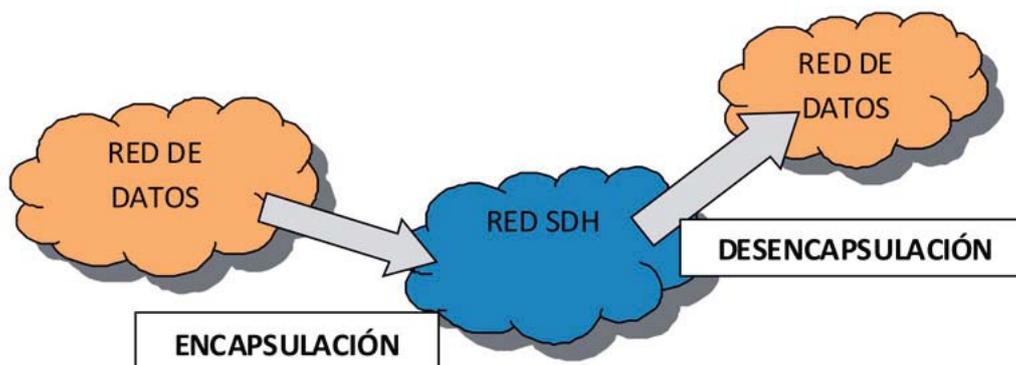
Las redes SDH son empleadas en las líneas de telecomunicaciones de AV principalmente para la transmisión de los siguientes servicios:

Servicios de comunicaciones móviles GSM-R (Group spécial mobile – Railway).

Conexiones entre centrales de telefonía automática.

Caminos de protección a enlaces con circuitos de datos.

Encapsulación de información proveniente de una red de datos.

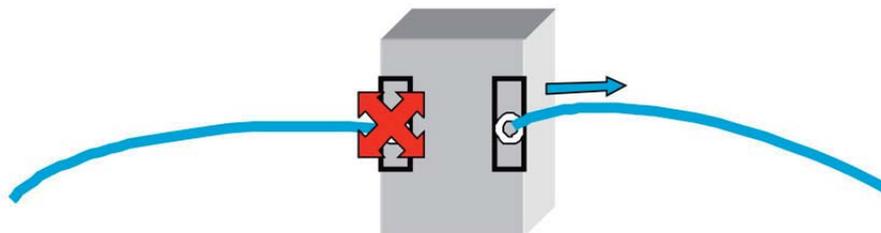


Los servicios que se transmiten en las líneas de Alta Velocidad utilizan capacidades de 2 Mbps (E1, VC-12), 63 Mbps (VC-3), 155 Mbps (VC-4, STM-1), 622 Mbps (STM-4) y 2,5 Gbps (STM-16). Además, con protocolos de concatenación de circuitos como el VCAT (Virtual Concatenation), se obtienen circuitos de mayor variedad de ancho de banda.

La arquitectura de red de transmisión SDH en las líneas de telecomunicaciones ferroviarias de Alta Velocidad se divide en dos niveles; el primero, una red de acceso de capacidad STM-1 y con interfaces ópticos de corto alcance que une los emplazamientos correspondientes; el segundo, una red de transporte de mayor capacidad, con interfaces de mayor alcance y que permite el agregado y la interconexión de los anillos de acceso.

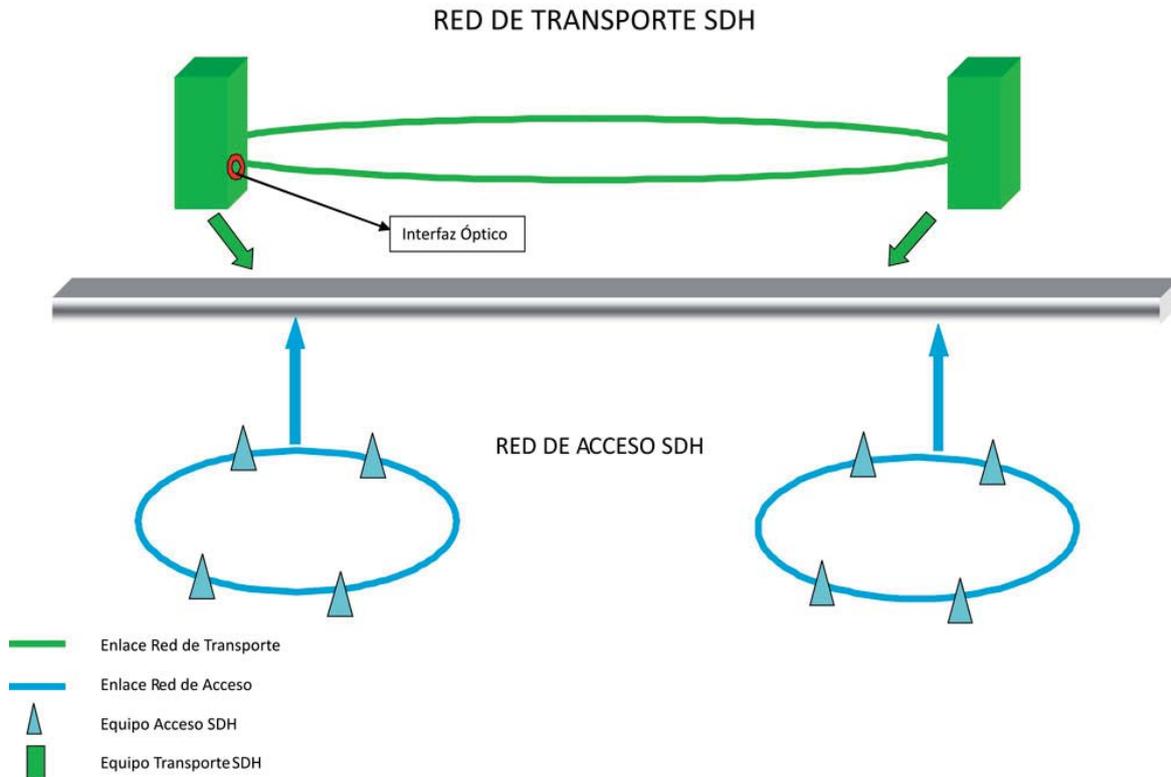
Los nodos que constituyen ambas redes, aunque de diferente capacidad de conmutación en cuanto a la cross-conexión de circuitos, tienen una característica común. Su chasis y componentes son de naturaleza modular, con redundancia 1+1 en los componentes más críticos (matriz de conmutación, fuente de alimentación y unidades de ventilación), de tal forma que ante el fallo de uno de ellos se dispone de otro para su activación automática. Además, para evitar tener que apagar el nodo de comunicaciones e instalar una nueva tarjeta en el chasis, éstas son insertables en caliente.

Los interfaces ópticos que establecen los enlaces con nodos colaterales, no se distribuyen con este mecanismo de seguridad 1+1, pero si se realiza su distribución en diferentes slots. De esta forma ante el fallo en una de las tarjetas, disponemos del otro interfaz para realizar la conmutación del anillo. Se refleja este hecho en la siguiente ilustración:



Mecanismo de protección interfaz óptico

Esquema red acceso y transporte SDH



3.2.2. Red de Datos

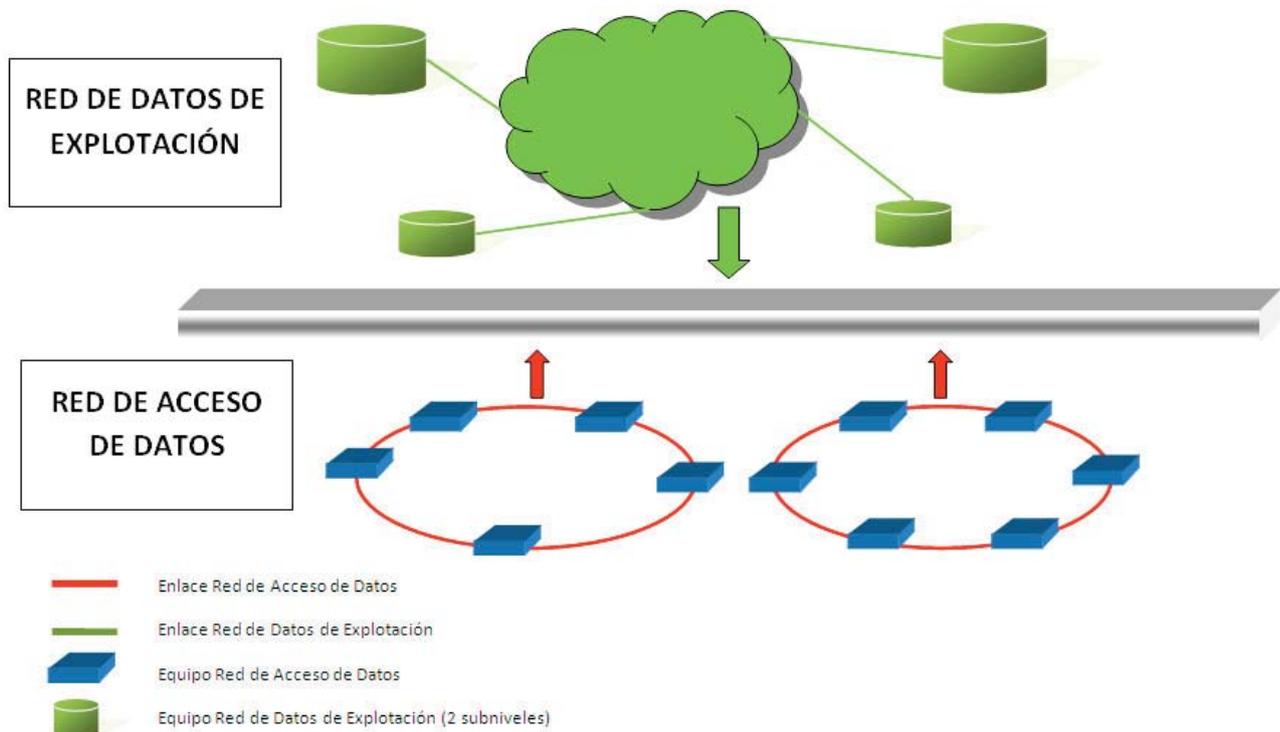
La naturaleza de la información en la provisión de servicios de las redes de telecomunicaciones ferroviarias actuales ha generado una tendencia de convergencia hacia una red única de conmutación de paquetes. Estas redes ofrecen ventajas interesantes en relación a los sistemas de conmutación de circuitos como son la mayor versatilidad, flexibilidad y optimización de los recursos de la red; en caso de avería de un nodo de comunicaciones intermedio o la caída de un enlace óptico (cableado), el camino establecido puede alterarse automáticamente mediante una decisión de enrutamiento. Otras ventajas a destacar son la posibilidad de aplicar criterios de Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service) al asignar a los paquetes una escala de prioridades en las colas de transmisión, así como en caso de fallo de uno de los paquetes, reenviar sólo aquellos con error manteniendo el resto de la comunicación activa.

El despliegue de una topología de datos estable y con gran flexibilidad es una prioridad en el diseño, siempre manteniendo unos ratios elevados de fiabilidad y disponibilidad de la red. Por ello, y al igual que en la red de conmutación de circuitos anteriormente descrita, se

define una arquitectura en dos niveles. El primero de ellos es una Red de Acceso de Datos de suficiente capacidad de transmisión para los demandas de servicios requeridas y basado en el protocolo de comunicaciones IP. El segundo nivel lo conforma una Red de Datos de Explotación, dividida a su vez en dos subniveles, con ancho de banda capaz de soportar la agregación de información proveniente de la red de acceso, y con tecnología MPLS. La diferencia fundamental entre los subniveles de la Red de Datos de Explotación es la capacidad de conmutación del nodo en función de las necesidades del tipo de emplazamiento.

Una arquitectura a dos niveles permite disponer de unos nodos de acceso de datos que recogan la información de los emplazamientos con menor tráfico. Estos datos, dependiendo del destino de la comunicación, fluyen dentro del anillo de acceso o son transmitidos al nodo de la red de datos de explotación. Éste último, con mayor capacidad de conmutación, se encarga de realizar conexiones a largas distancias y evitar sobrecargar de tráfico otros anillos de acceso.

Se muestra un esquema de la topología de las redes de datos ferroviarias de Alta Velocidad.



Red de Acceso de Datos (RAD):

La Red de Acceso de Datos es, como su propio nombre indica, el acceso a la transmisión de todos los emplazamientos de la línea de Alta Velocidad. Toda fuente de datos se conecta a un puerto de acceso de los equipos de esta red, que se conforman mediante switches con funcionalidades en los niveles 2 y 3 de la capa OSI. El número de puertos por emplazamiento se define dependiendo de la cantidad de servicios calculados para dar acceso. Algunos de estos puertos se emplean para realizar enlaces ópticos mediante el correspondiente interfaz láser; son los puertos empleados para establecer conexión con los nodos de acceso colaterales. El resto, con capacidad variable y totalmente configurables, se dan de alta como puertos eléctricos para provisión de servicios ferroviarios a nivel local.

Ejemplo de Nomenclatura de puertos

- 100BASE-T ◇ Puerto Eléctrico Ethernet de 100 Mbps en torno a 100 metros.
- 1000BASE-T ◇ Puerto Eléctrico Ethernet de 1000 Mbps en torno a 100 metros.
- 1000BASE-SX ◇ Puerto Óptico hasta 550 metros de fibra óptica multimodo a 1000 Mbps.
- 1000BASE-LX ◇ Puerto Óptico hasta 10 kilómetros de fibra óptica monomodo y hasta 550 metros de fibra óptica multimodo, ambos a 1000 Mbps.
- 1000BASE-EX ◇ Puerto Óptico hasta 40 kilómetros de fibra óptica monomodo a 1000 Mbps.
- 1000BASE-ZX ◇ Puerto Óptico hasta 70 kilómetros de fibra óptica monomodo a 1000 Mbps.
- Con amplificadores (booster) se pueden alcanzar mayores distancias.

El acceso a la red es compartido físicamente en un emplazamiento por varios servicios a través de los distintos puertos del switch de la RAD. Así el puerto 1 y 2 pueden estar asignado al servicio de voz, el puerto 3, 4 y 5 al servicio de detectores, el 6 y 7 a servicio de gestión remoto, etc. Sin embargo, la definición de los servicios está asociada a la configuración de redes virtuales en forma local con VLAN (Virtual Local Area Network), en conexiones remotas a nivel 2 con VPLS (Virtual Private Lan Service) y a nivel 3 con VPN (Virtual Private Network). La filosofía consiste en diseñar múltiples redes virtuales a partir de una red física única, de tal forma que optimizemos los recursos y mejoremos los mecanismos de seguridad. Estas redes virtuales tienen la posibilidad de fijar un límite de ancho de banda (rate limiting) consumido, de tal forma que el exceso de transmisión de un servicio no limite las capacidades de otro. Otras funcionalidades que se consiguen son la aplicación de calidad de servicio y de control de acceso por red virtual, evitando que desde un puerto se pueda acceder a la red virtual definida en otro.

El diseño en anillo de la red de acceso de datos, como el resto de topologías de las líneas de Alta Velocidad, tiene una configuración física con redundancia de caminos. Los anillos se diseñan para ofrecer robustez en su misión de soporte de la red de transmisión, con una separación física entre cada uno de los lados. La protección de enlace obtenida mediante protocolos Spanning Tree en sus diferentes versiones, utilizan la topología anular para cumplir con su cometido de seguridad.

Los nodos de acceso de la RAD disponen de un puerto de gestión local por consola y la posibilidad de acceder a ellos vía gestión remota. Este último caso es posible gracias a la configuración de un servicio con una red virtual transmitida hasta el puesto de gestión centralizado dónde se ubican los servidores. El operador monitoriza constantemente el estado de la red para analizar posibles problemas de caída de servicio por fallo en algún elemento. Estos problemas son resueltos mediante la aplicación de un comando remoto, o mediante el desplazamiento de operadores de mantenimiento al equipamiento afectado.

La gestión del estado de la red necesita una perfecta sincronización entre todos los equipos que la constituyen, tanto a nivel de transmisión como a nivel de servidores de gestión y puestos de operador. Los eventos de alarmas son registrados en una base de datos y representados en una interfaz de usuario para conocimiento del operador. Las alarmas informan de la fecha y la hora en la cuál se ha producido el evento, así como si se ha solucionado o si persiste el problema. Esta información cronológica debe ser acorde a la realidad para una gestión eficiente. Un servidor NTP (Network Time Protocol) centralizado se encarga de difundir una información horaria común a todos los equipos de la red de telecomunicaciones.

Red de Datos de Explotación (RDE):

La RDE representa el backbone de las redes de datos de telecomunicaciones en líneas de AV. Con una configuración de enlaces ópticos con capacidad ajustada a las necesidades de servicios y sustentada en el protocolo de comunicaciones MPLS (Multiprotocol Label Switching), tiene como función servir de medio de transporte a largas distancias de la información recogida por los nodos de acceso de comunicaciones. El objetivo es evitar la saturación de los anillos de la RAD, reducir el número de enlaces ópticos y centralizar la funcionalidad de almacenamiento, facilitando el acceso desde puestos de operación remotos. Los equipos que conforman la red son routers con elevada capacidad de conmutación y sin un elevado número de puertos eléctricos, ya que la responsabilidad del acceso es de los switches de la capa inferior. Establecen enlaces ópticos de larga distancia con los nodos colaterales de la RDE, y enlaces ópticos de corta distancia o eléctricos con los switches de la RAD del propio emplazamiento.

El protocolo MPLS establece caminos o LSP (Label Switched Path) que buscan obtener las ventajas de una red de conmutación de circuitos dentro de una red de conmutación de paquetes. Son rutas preestablecidas cuyo enrutamiento se realiza mediante la inserción de etiquetas de nivel 2 en la cabecera de los paquetes. En estas condiciones la dificultad de

análisis del router es inferior, porque únicamente necesita consultar la etiqueta para decidir el camino que debe escoger, evitando una consulta más compleja de las tablas de direccionamiento IP para tomar la misma decisión. La reducción considerable del tiempo de latencia (tiempo de transmisión de fuente a destino) y del tiempo de convergencia (tiempo de recuperación de la red en caso de fallo, inferior a 50 milisegundos) son ventajas competitivas para ofrecer provisión de servicios con garantías de calidad. Son redes muy escalables, posibilitando la fácil inserción de nuevos nodos únicamente creando los LSP necesarios desde cada router existente al nuevo elemento de la red.

La Red de Datos de Explotación establece en ocasiones conexiones físicas con la Red de Transporte SDH. Las razones más habituales de esta comunicación son:

- Ofrecer un camino de protección a un servicio de datos a través de la encapsulación de la información en un contenedor SDH.
- Interconectar dos redes de datos aisladas y separadas físicamente por una red SDH. Así esta última se convierte en el medio de transporte transparente entre dos redes de conmutación de paquetes.

3.3. Nivel de servicios

El objetivo de disponer de una arquitectura de red de calidad es poder satisfacer las necesidades de tus clientes, ofrecer una provisión de servicios que se ajuste a unos fines y estándares requeridos. Es por ello que la prueba de fuego de un ingeniero de redes es el nivel de servicios, la satisfacción de necesidades, el despliegue de circuitos para transmisión de información; un nivel donde se vislumbra el buen hacer del diseño de ingeniería. De ahí la insistencia en remarcar que toda la infraestructura descrita en los puntos anteriores sobre un Nivel Físico y un Nivel de Red, se centra en ofrecer unos servicios que reúnan los criterios exigidos por el consumidor de los mismos:

- Seguridad de la información, autenticidad, confidencialidad, integridad y disponibilidad.
- Bajos tiempos de latencia y convergencia.
- Redundancia ante fallos para evitar cortes en el servicio.
- Fiabilidad.
- Ausencia de pérdidas en la información.
- Elevada calidad de señal.
- ...

Son muchos los servicios ferroviarios que utilizan como medio de transporte la red de datos en las líneas de Alta Velocidad. Algunos de ellos son:

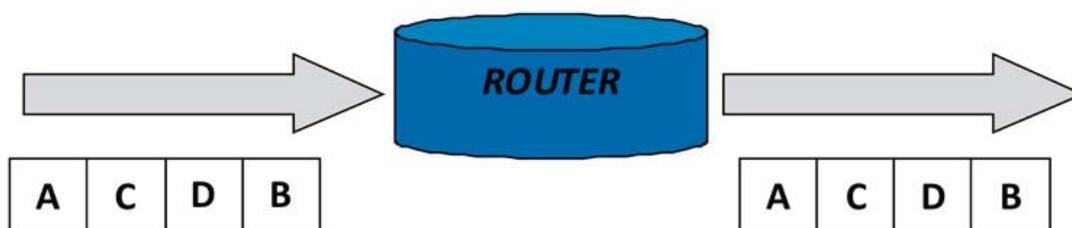
Servicio Ferroviario	Descripción
Detectores	La técnica de detectores emplea la red de datos para establecer comunicación entre sus concentradores y servidores de gestión con los elementos de detección distribuidos en el campo.
Voz	La red de telefonía ferroviaria de AV, integrada completamente en la red, establece conectividad entre todos sus elementos (centrales, estantes remotos, teléfonos, etc.) a nivel de datos IP.
Cálculos de Telemedida y Calidad Energética	La técnica de electrificación, con el fin de llevar un control del consumo y calidad de la energía disponible en la línea, realiza controles de equipamiento propio a través de la red de datos.
Señalización. Bloqueos entre enclavamientos	La técnica de señalización envía por la red los comandos de señalización necesarios para comunicar los enclavamientos entre sí y poder realizar una correcta explotación de la línea.
Telemandos	Con el objetivo de poder operar y monitorizar la línea desde Puestos de Mando y Control, diversas técnicas envían en remoto información para su representación gráfica y para tareas de gestión.
Seguridad	El control de las instalaciones a través de cámaras, contactos magnéticos, detectores volumétricos, etc. y todos los elementos que conforman el sistema de videovigilancia, control de accesos y anti-intrusión (VCA), se sirven de la red de datos para la supervisión de las instalaciones desde Centros de Protección y Seguridad centralizados.
Gestión Remota del Equipamiento de transmisión	Los equipos de comunicaciones disponen de plataformas de gestión ubicadas en emplazamientos remotos y centralizados que permiten, entre otras funciones, la ejecución de comandos vía protocolos SNMP (<i>Simple Network Management Protocol</i>) y la monitorización del estado de los equipos.
Gestión del Estado de las Instalaciones	Los emplazamientos distribuidos a lo largo de la línea informan de su estado a los operadores del Puesto de Mando mediante la integración en sistemas de gestión de los detectores de incendio, sirenas, lectores de acceso, rectificadores de energía, sondas de temperatura, centrales de notificación de señales, etc.

En el nivel de servicios, una vez obtenido un listado de aquellos que dispondrán de recursos en la red, se realiza una labor de ingeniería de tráfico que permita, conociendo el ancho de banda necesario por servicio y el trayecto de la información (en términos de emisor y receptor), dimensionar la capacidad tanto de las matrices de conmutación de los equipos como de los enlaces ópticos, con el fin de evitar fallos de comunicación por saturación de los enlaces. Sin embargo, en caso de que esto ocurra y según la criticidad de los servicios,

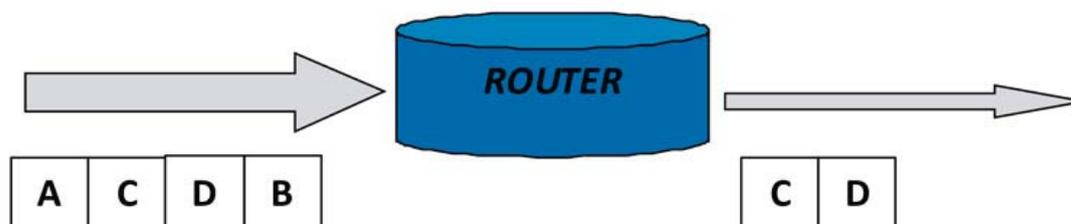
se les asigna un nivel en una escala de prioridad para aplicar Calidad de Servicio en la red, y así evitar que servicios requiriendo una alta disponibilidad al ser indispensables en la explotación activa de la línea puedan sufrir una pérdida de información por la congestión de los nodos de comunicaciones. En el siguiente esquema se muestra un ejemplo de Calidad de Servicio.

Prioridad 1 → Mínima; Prioridad 6 → Máxima
Servicio A → Prioridad 3
Servicio B → Prioridad 1
Servicio C → Prioridad 6
Servicio D → Prioridad 5

A) Sin Congestión



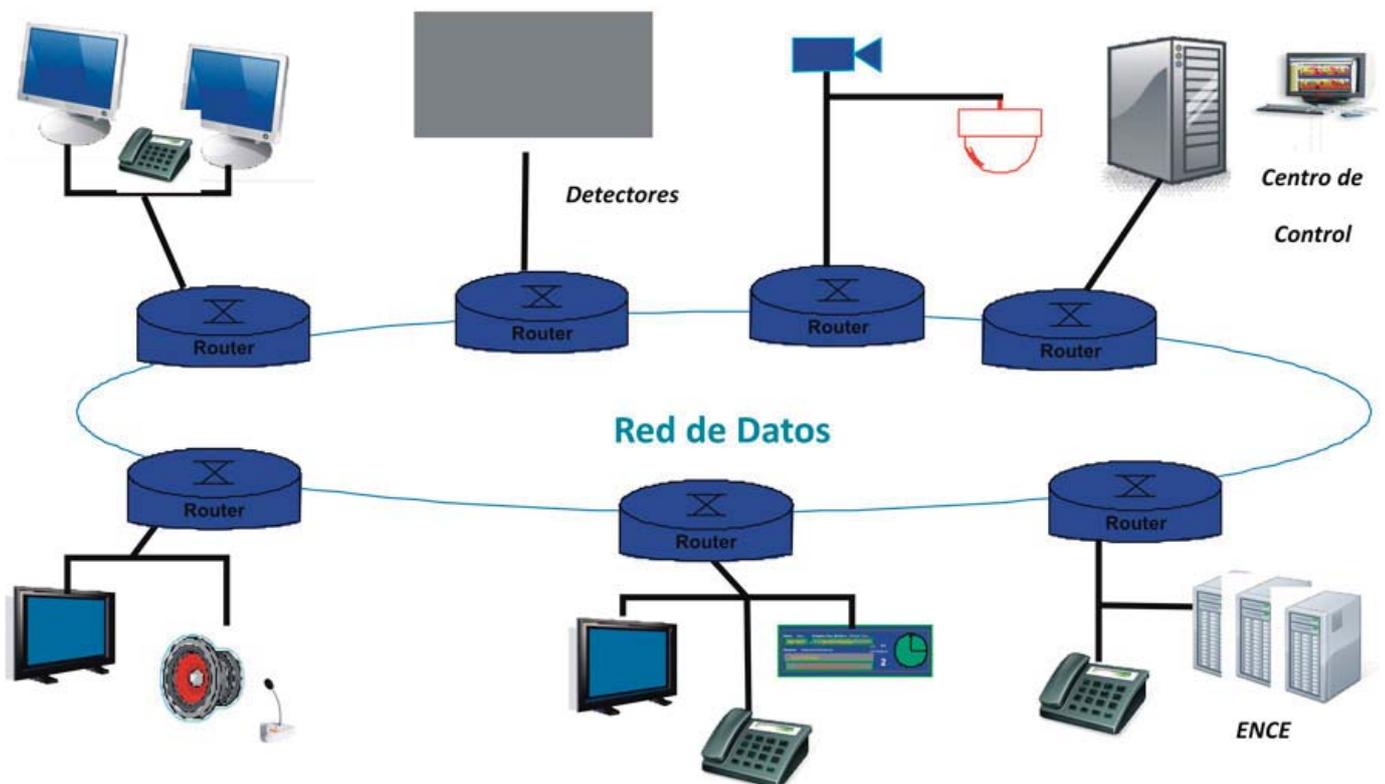
B) Con Congestión y Calidad de Servicio (sólo puede transmitir dos paquetes)



Aplicación de QoS en caso de congestión del enlace

Con motivo de optimizar más eficientemente los recursos de la red y con objeto de evitar una interferencia entre servicios en el consumo de ancho de banda, se realiza una división virtual de la red en subredes privadas. Cada una de estas divisiones, además de disponer de rangos de direccionamiento diferentes y de separarlas físicamente mediante puertos de acceso, tienen asignado un ancho de banda máximo del que pueden disfrutar. Esta separación virtual te permite asimismo aplicar mecanismos de seguridad evitando el acceso entre subredes. En definitiva, la red de telecomunicaciones de datos está constituida por un conjunto de redes virtuales, completamente diferenciadas, y que nos permite manejar una adecuada provisión de servicios en función de los recursos de red disponibles.

La necesidad de servicios está en constante crecimiento, y su variedad en cuanto a la naturaleza de los datos es muy amplia. Así surge la importancia de disponer de una red escalable y con máximo control de los parámetros de la red. La siguiente ilustración representa el proceso de convergencia hacia una red de datos única por la que fluya la información de todos los servicios ferroviarios.



4. Ejecución de la obra. Despliegue de la red de telecomunicaciones

Terminado el análisis de necesidades, el diseño de ingeniería y la redacción del proyecto, comienza la ejecución de las instalaciones, el despliegue de la infraestructura de telecomunicaciones, la Fase de Obra. La definición de tareas y el seguimiento de las mismas en su fase temporal son primordiales para la consecución de los hitos parciales y final, marcado por la puesta en servicio de la línea en una fecha anunciada desde el comienzo del proceso. La labor de coordinación entre técnicas, direcciones de obra, equipos de asistencia técnica, contratistas y subcontratistas resultan claves para que el desarrollo de las tareas sea un éxito.

Centrándonos en el ámbito de las telecomunicaciones ferroviarias, la obra comienza con la elaboración de un plan de obra detallado en la que se encuentran los siguientes ítems:

- Emplazamientos sobre los que se debe realizar alguna actuación.
- Listado de tareas.
- Fechas de inicio y fin por cada una de las actuaciones.
- Relación entre actividades.
- Hitos internos y externos. Un hito interno implica la consecución de un objetivo para satisfacer la necesidad de un tercero, por ejemplo, fecha de disponibilidad de la red de datos. Un hito externo se refiere a una necesidad de telecomunicaciones que debe ser satisfecha por un tercero, como por ejemplo la disponibilidad de cuartos técnicos (responsable técnica de edificación) para la entrada de equipos.
- Recursos empleados por actividad.

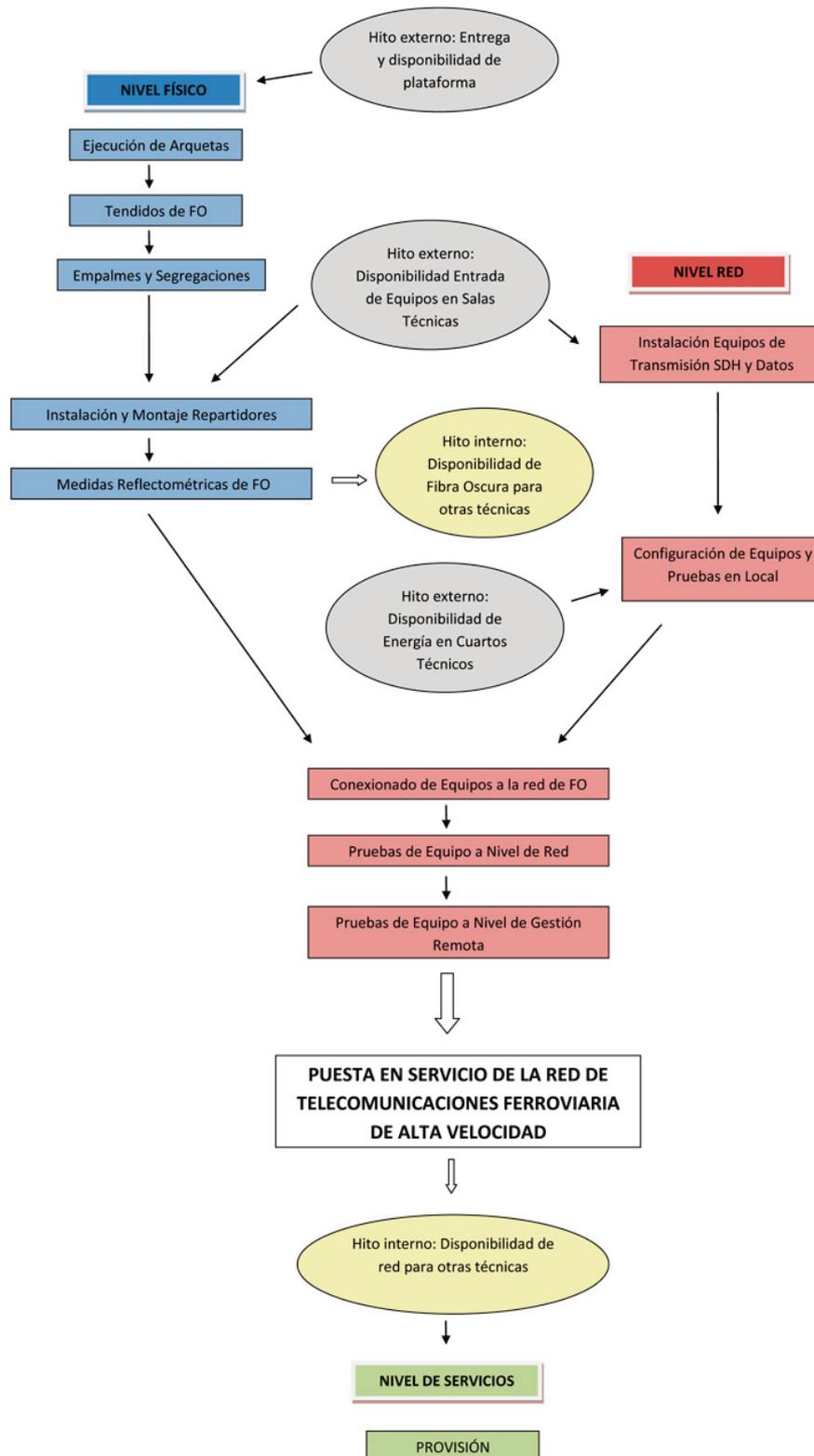
El seguimiento de las actividades se realiza con exhaustividad para conocer el correcto avance de la obra, informar a otras técnicas de la consecución de objetivos internos, y en su caso, anticiparse a posibles retrasos aplicando acciones preventivas como el aumento de recursos o la priorización de tareas. Las redes de telecomunicaciones ferroviarias se desarrollan en un ámbito dónde los plazos son muy justos y dónde los márgenes de demora por tarea son escasos; es por ello que en esta fase del proceso debe reinar una excelente visibilidad ante problemas futuros y una eficiente capacidad de reacción. Entra en juego el Project Management.

A continuación se profundiza en dos de los ítems del plan de obra anteriormente enumerados: el listado de tareas y sus relaciones de dependencia.

4.1 Tareas para la ejecución de la Red de Telecomunicaciones Ferroviaria de Alta Velocidad

El gestor de proyectos elabora un listado de tareas en base a la definición de funcionalidades requeridas en la red de telecomunicaciones. Éstas se distribuyen de manera

correlativa por su consecución en el tiempo y se interrelacionan para su adecuado desarrollo. El siguiente esquema define a nivel global las actividades necesarias en todo el proceso, con sus relaciones de fin e inicio de tarea, el requisito de entrada de ciertos hitos externos y la disponibilidad de hitos internos que satisfacen requerimientos de otras técnicas.



4.2 Vínculos de dependencia entre tareas

El diagrama de flujos representa, a nivel general, el proceso completo para el despliegue de la Red de Telecomunicaciones Ferroviaria en una línea de Alta Velocidad. Un detalle importante en la planificación de la obra, además de la definición de la duración de cada actividad y de los recursos necesarios para su óptimo desarrollo, es la claridad de las relaciones de dependencia entre las tareas que constituyen el plan de gestión.

Las tareas tienen fuertes vínculos entre ellas. Su comienzo, además de estar sujeto a la recepción de acopios de materiales y a la disponibilidad de recursos humanos y de maquinaria, se encuentra supeditado al comienzo o al finalización de otra tarea anterior.

Las relaciones pueden ser de muchos tipos en una obra de telecomunicaciones ferroviaria. Un caso es una relación de Fin - Comienzo, en la cuál es necesario que una actividad se complete en su totalidad para poder iniciar el comienzo de otra. Un ejemplo del gráfico anterior es el inicio de las “Pruebas a nivel de red”, para lo cuál resulta imprescindible que la actividad de “Configuración e instalación de equipamiento” se haya completado al cien por cien.

Una segunda opción son las relaciones de Comienzo – Comienzo, introduciendo un desfase temporal en una de ellas respecto el inicio de la otra. Son ampliamente utilizadas ya que permiten una paralelización en la ejecución de las tareas, aumentando el número de recursos necesarios pero recortando los plazos de obra. Recordando lo ajustado de los márgenes de demora para la consecución del hito final, es tarea del Project Manager tomar ventaja de estas posibilidades. Como ejemplo está la relación entre la tarea de “Tendido de cableado de FO” y la “Ejecución de Empalmes y Segregaciones”. El comienzo de los empalmes está restringido a la disponibilidad de cableado de fibra óptica a lo largo del trazado, pero no es estrictamente necesario que se hayan finalizado todos los tendidos para que se puedan comenzar a realizar fusiones. Así, en función de todas las variables de gestión que se han ido describiendo, se define un desfase temporal que marque el comienzo de la segunda actividad una vez iniciada la primera.

Para citar una última dependencia entre tareas existen las relaciones Fin – Fin. Este vínculo tiene especial importancia para el análisis de recursos necesarios y para evitar disponer finalizada una actividad que requiere de la terminación de otra. Retomando el diagrama de flujos, esta relación se encuentra entre las actividades de “Medidas Reflectométricas” y de “Configuración de Equipos y Pruebas en Local”. El inicio de la actividad “Conexión de Equipos a la red de FO” exige la finalización de las dos tareas anteriores, por lo que resulta innecesario que una de ellas termine con un elevado margen de tiempo respecto de la otra. Se busca evitar la existencia de recursos infrautilizados, así como disponer de infraestructuras finalizadas con anterioridad a la fecha requerida, incrementando su exposición al deterioro y al vandalismo.

En conclusión, la búsqueda de claridad en la definición de los vínculos de dependencia entre tareas en la Gestión de Proyectos reside en los beneficios obtenidos de ello. Optimización en el empleo de recursos, reducción de la duración de actividades, mejora en la eficiencia de las tareas, y lo más importante, el despliegue de una arquitectura de red de telecomunicaciones de calidad en el plazo exigido de puesta en servicio, son motivos suficientes para su aplicación en la gestión de las líneas de Alta Velocidad.

4.3. Coordinación de actividades entre técnicas

La gestión de las obras de telecomunicaciones en una línea de Alta Velocidad exige un control exhaustivo de las actividades íntinsecas de la técnica, descritas en el punto anterior y con fuertes relaciones de dependencia en el desarrollo de las mismas. Sin embargo no es sólo la existencia de estas relaciones las que hay que considerar en la planificación del proyecto, sino también la coordinación entre actuaciones de diversas técnicas que influyen en modo de hitos externos y vínculos en la consecución de los objetivos. Algunas de ellas se definen a continuación.

Tendido de Cables en Canaleta:

El inicio del tendido de cableado de fibra óptica debe esperar a la disponibilidad de canaleta por parte de la técnica de plataforma. Una vez existente, con el fin de evitar la apertura y tapado de canaleta en varias ocasiones, se establece una coordinación entre varias técnicas para que esta tarea se realice una sólo vez, y todos los cableados necesarios se tiendan simultáneamente mediante el periodo en el cual la canaleta se encuentra abierta. El tendido de los cables de señalización, energía, detectores, seguridad y comunicaciones es coordinado obteniendo una optimización de recursos.

Disponibilidad de Energía:

El comienzo de las pruebas de telecomunicaciones requiere la disponibilidad de suministro de energía en los emplazamientos. Esta circunstancia, con el fin de cumplir los plazos de obra, suele producirse previamente a la existencia de un suministro de energía estable mediante las acometidas locales y de compañía. Hasta entonces ese suministro se realiza mediante la colocación de grupos eléctricos.

La coordinación entre la técnica de telecomunicaciones y la técnica de energía para disponer de esta última según avance del plan de pruebas, es necesario para permitir cumplir el hito de comienzo de provisión de servicios de comunicaciones ferroviarios.

Disponibilidad de Edificios y Salas Técnicas:

La construcción de los emplazamientos tiene una implicación directa en el avance de la planificación de las telecomunicaciones ferroviarias. Es por ello que la disponibilidad del cuarto técnico para la entrada de equipos (repartidor de fibra óptica, armario de equipos de transmisión, etc.) requiere de una coordinación entre la técnica de telecomunicaciones y las diversas técnicas responsables de la construcción del emplazamiento, como son la técnica de electrificación para las subestaciones y autontransformadores, la técnica de señalización y edificación para las casetas de señalización, casetas de túnel y edificios técnicos, la técnica de comunicaciones móviles para la casetas de GSM-R y operadores, etc.

Coordinación con técnicas de plataforma y vía:

La coordinación en el despliegue de una red de telecomunicaciones en una línea de Alta Velocidad es fundamental. Especialmente importante es la cohesión entre las tareas internas descritas anteriormente y las actuaciones llevadas a cabo por plataforma y vía. La puesta en común de ambos planes de obra afloran posibles tareas simultáneas incompatibles. La búsqueda de una solución idónea para todas las técnicas, de tal manera que no se comprometa la fecha final, genera una gestión de proyecto que delimita las fechas de inicio y fin de cada actividad y optimiza los recursos. Cuando plataforma entrega cada uno de los tramos, es un buen momento para iniciar con ímpetu la actividad de instalaciones; en este momento se dispone de todo el trazado facilitándose la entrada a los diferentes puntos de actuación por la propia traza.

Un ejemplo claro de coordinación entre estas técnicas es la conjunción de las siguientes tareas: el extendido de traviesas previo al montaje de la vía y el proceso de tendidos de cables de fibra óptica en la canaleta. Ambas tareas son incompatibles en lo que se refiere a su simultaneidad en el tiempo, y la necesidad de correlación entre ambas planificaciones es imperativa. La búsqueda de una solución que satisfaga el óptimo desarrollo de los dos procesos es gestionada por los Project Manager.

Una circunstancia a destacar es el inicio de la circulación de trenes en fase de pruebas, y con ello, las restricciones de entrada a la vía por condiciones de seguridad en la franja horaria de dichas pruebas. Salvo la entrada a las salas técnicas, las posibilidades de actuación en el trazado son muy limitadas. Por ejemplo, atendiendo al plan de obra de telecomunicaciones, en este periodo deben haber acabado todas las tareas de tendido, empalmes y segregaciones del cableado de fibra óptica.

La puesta en servicio de una red de telecomunicaciones ferroviaria de Alta Velocidad exige un profundo conocimiento técnico de las instalaciones y un claro dominio de la gestión de la obra. Los vínculos de dependencia entre actividades internas, la influencia de hitos externos, la definición y duración de las tareas, la coordinación entre técnicas, y otros muchos más factores, son variables de gestión cuya correcta aplicación determinan el éxito en la consecución de tu objetivo.

OBJETIVO

Una red de comunicaciones ferroviaria basada en la excelencia tecnológica y los estándares de calidad para la provisión de servicios ferroviarios que satisfagan las necesidades de explotación, y sin demora en el hito marcado de fecha de puesta en servicio.

5. Bibliografía

“Fiber-Optic Communication System”. Autor: Agrawall, G.P.; Año: 2002, Editorial: Wiley Interscience.

“Sistemas de Telecomunicación. Transmisión por línea”. Autor: José María Hernando Rábanos. Servicio de Publicaciones E.T.S.I. Telecomunicación Madrid. Año:1991

Normativa CENELEC sobre el sector ferroviario. <http://www.cenelec.org>

Normativa de Telecomunicaciones Internacional UIT-T y Nacional UNE.

Especificaciones Técnicas Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF).

Experiencia Profesional en Proyectos de Telecomunicaciones Ferroviaria de Alta Velocidad en la empresa Ineco.