

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones



TRABAJO DE DIPLOMA

“Propuestas de comunicación para el sub-sistema de fiscalización de la llegada completa de un tren”

Autor: Jaime Pérez Brooks

Tutor: Ing. Samy Brito Barroso

Consultante: Ing. Héctor Villar Martínez

Santa Clara

“Año 57 de la Revolución”

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones



TRABAJO DE DIPLOMA

“Propuestas de comunicación para el sub-sistema de fiscalización de la llegada completa de un tren”

Autor: Jaime Pérez Brooks

jaime@uclv.edu.cu

Tutor: Ing. Samy Brito Barroso

samyb@uclv.edu.cu

Consultante: Ing. Héctor Villar Martínez

carcomsc@sicen.ferronet.cu

Santa Clara

“Año 57 de la Revolución”



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

“La inteligencia no es la facultad de imponerse, es el deber de ser útil a los demás”

José Martí.

DEDICATORIA

A mi niña Arianna, la razón de mi ser.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, a quien le debo todo.

A mi hermana, por su confianza.

A mis amigos, por su apoyo incondicional.

A mi tutor, por su colaboración.

A todos los que me apoyaron de una forma u otra en la realización de este trabajo.

RESUMEN

La comunicación es un elemento muy importante para el transporte ferroviario lo cual es esencial para el desarrollo socioeconómico de cualquier país, debido a que dicho medio permite el transporte masivo de mercancías y personas. Garantizar la seguridad en este medio de transporte es vital para evitar pérdidas económicas y de vidas humanas.

En el presente trabajo se realizan propuestas de comunicación para el sub-sistema de fiscalización que integrará el sistema de bloqueo semiautomático implementado en Cuba, garantizando que el sistema ferroviario sea cada vez más eficiente. Se describen los elementos esenciales referentes los sistemas de gestión y control en el sector del ferrocarril a nivel mundial, a la evolución y aplicación de la comunicación en función de la gestión y control de la circulación ferroviaria. Se caracteriza el sistema de bloqueo implementado en el ferrocarril cubano y las inversiones que se acometen en las comunicaciones, también se analizan los principales módulos de comunicación de los autómatas seleccionados para utilizar en las propuestas de comunicación; y por último se fundamentan los diseños de las propuestas de comunicación.

Con las propuestas de comunicación se puede realizar una eficiente transmisión de los datos generados por el sub-sistema de fiscalización, debido a que dichos datos son de poco tamaño, además de que brindan la posibilidad para futuras expansiones con respecto a la utilización de los autómatas, contribuyendo al incremento de la eficacia en el funcionamiento del transporte ferroviario.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACSES - Advanced Civil Speed Enforcement System

ADSL2+ - Asymmetric Digital Subscriber Line 2+

ASFA - Anuncio de Señales y Frenado Automático

ATO - Automatic Train Operation

ATP - Automatic Train Protection

ATS - Automatic Train Supervision

BSA - Sistema de Bloqueo Semiautomático

BTM - Balize Transmission Module

CBTC - Communications-Based Train Control

CEI - Comisión Electrotécnica Internacional

CELENEC - Comité Europeo de Normalización Electrónica

CEN - Comité Europeo de Normalización

DSLAM - Digital Subscriber Line Access Multiplexer

ERTMS - European Rail Traffic Management System

ETCS - European Train Control System

ETECSA - Empresa de Telecomunicaciones de Cuba SA

ETMS - Electronic Train Management System

ETSI - Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones

GLONASS - Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema

GPS - Global Positioning System

GSM - Global System for Mobile communication

GSM-R - Global System for Mobile communication Railway

INDUSI - *Induktive Zugsicherung*

ISO - Organización Internacional de Normalización

JRU - Registrador Jurídico

LEU - *Lineside Electronic Units*

LZB - *Linienzugbeeinflussung*

MITRANS - Ministerio del Transporte

PCR - Puesto Central de Radio

PFR - Puesto Fijo de Radio

PLC - *Programmable Logic Controller*

PTC - *Positive Train Control*

RBC - *Radio Block Center*

RBS - *Radio Base System*

SDH - Jerarquía Digital Síncrona

TCN - *Train Communication Network*

TRUNKING - Sistema de radiocomunicaciones móviles

TVM - *Transmission Voie Machine*

UE - Unión Europea

UFC - Unión de Ferrocarriles de Cuba

UHF - *Ultra High Frequency*

UIT - Unión Internacional de Telecomunicaciones

VHF - *Very High Frequency*

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	i
GLOSARIO DE TÉRMINOS	ii
TABLA DE CONTENIDOS	i
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. LAS TELECOMUNICACIONES EN EL ÁMBITO FERROVIARIO	5
1.1 Evolución de los sistemas de gestión y control de la circulación ferroviaria.	5
1.2 Aporte de las comunicaciones al funcionamiento de los sistemas de gestión y control ferroviarios.	6
1.2.1 Aplicación de las comunicaciones según el sistema de bloqueo.	9
1.3 Los avances de las telecomunicaciones en función de los principales sistemas ferroviarios.....	12
1.3.1 Descripción del funcionamiento de los sistemas de comunicaciones en el sector ferroviario.....	13
1.4 Los sistemas de comunicaciones con mayor empleo en el sector del ferrocarril...14	
1.4.1 El sistema: <i>European Rail Traffic Management System</i> (ERTMS).	16
1.4.2 El sistema: <i>Positive Train Control</i> (PTC).....	18
1.4.3 El control de trenes basado en las comunicaciones.	19
1.4.4 Uso mundial de los sistemas de seguridad ERTMS, PTC y CBTC.	21
1.5 Desarrollo de las comunicaciones en el ferrocarril cubano.	22
1.6 Conclusiones Parciales.....	23

CAPÍTULO 2. EL SISTEMA DE BLOQUEO FERROVIARIO CUBANO	25
2.1 Comunicación entre estaciones pertenecientes a la UFC.....	25
2.2 Funcionamiento del BSA.	27
2.2.1 Consideraciones sobre las comunicaciones en el BSA en Cuba.	29
2.2.2 Sub-sistemas de fiscalización y comunicación.	30
2.2.3 Red de Fibra Óptica.	33
2.2.4 El sistema GSM-R y su red.....	37
2.3 Autómatas Programables.	38
2.3.1 Autómatas de la compañía OMRON.	40
2.3.2 La compañía SEMAPHORE.	42
2.4 Conclusiones Parciales.....	44
CAPÍTULO 3. PROPUESTAS DE COMUNICACIÓN.....	45
3.1 Topología de red general para la realización de las propuestas de comunicación.	45
3.2 Propuestas de comunicación entre autómatas OMRON.	46
3.3 Propuestas de comunicación combinando autómatas OMRON con autómatas TBox-Gateway.....	47
3.4 Propuestas de comunicación entre autómatas TBox-MS.....	50
3.5 Propuesta general para el sub-sistema de comunicación.	53
3.6 Valoración económica e impacto medioambiental.	54
3.7 Conclusiones Parciales.....	58
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	65
Anexo I Sistemas mejorados para la detección del tren	65

Anexo II	Parámetros técnicos utilizados en la implementación de GSM-R.....	67
Anexo III	Especificaciones Técnicas de GSM-R	70
Anexo IV	Contadores de Ejes.....	72
Anexo V	Imágenes de los Autómatas Utilizados.....	74
Anexo VI	Ampliación de las figuras del Informe.....	75

INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones desempeñan una función de primordial importancia en la implantación de los modernos sistemas de Automatización Industrial. Esta función es vital para aquellas empresas cuyas operaciones se encuentran dispersas geográficamente, como es el caso de los sistemas de operaciones, supervisión y control del ferrocarril.

Las comunicaciones en el ferrocarril cubano mantienen sistemas tradicionales. El sistema de comunicaciones que actualmente utiliza el Sistema de Bloqueo Semiautomático (BSA) entre estaciones comprendido en el tramo desde La Habana hasta Esperanza, es deficiente, además, carece de un subsistema que fiscalice la llegada completa de un tren a una estación de forma segura. Sin embargo, en los últimos tiempos, el transporte por tren ha ido cobrando cada vez mayor importancia en el país, siendo un elemento fundamental en el desarrollo socioeconómico. Este desempeña un papel protagónico en los procesos de producción, ya que una de sus principales funciones es el transporte de mercancía entre productores y consumidores. Además de ser un pilar fundamental en el transporte de personas, ya sea con fines laborales o de ocio(MOLINERO and SÁNCHEZ, 1997).

El transporte ferroviario es considerado uno de los transportes terrestres de mayor importancia, debido a que este permite el transporte masivo de mercancías y de personas, lo que lo hace relevante en el mundo de hoy. Considerando el consumo de combustible por kilómetro en función del volumen de mercancía y personas que transportan, puede considerarse al transporte ferroviario como uno de los transportes terrestres más eficientes(RUS et al., 2003). Además, los ferrocarriles son considerados sistemas fiables y seguros(CAMPOS et al., 2009).

A pesar de que el ferrocarril es considerado un sistema de transporte seguro, los accidentes en este medio de transporte siguen ocurriendo, y en muchos de los casos las consecuencias son desastrosas, consecuencias que se traducen en la pérdida de vidas humanas y en pérdidas económicas(VILLAR, 2010). La mayoría de los accidentes se deben a deficiencias en las comunicaciones. Por la importancia que tiene, contribuir a que cada día sea más

seguro el sistema ferroviario, se justifica enfrentar el reto que impone una mejor comprensión de cómo es que se pueden utilizar las nuevas tecnologías de comunicación para optimizar el sistema ferroviario cubano.

El estudio precedente 'Propuesta de subsistema para fiscalizar la llegada completa de un tren a una estación' del autor Reinaldo Salazar Díaz, se puede tomar como antecedente del presente trabajo. Aunque aquel solo se refiere a la fiscalización sin tener en cuenta el medio de transmisión a emplearse en la comunicación de los autómatas ubicados en las estaciones o puntos clave del ferrocarril cubano(SALAZAR, 2014).

Los sistemas de comunicación aplicados en el sistema ferroviario cubano en la actualidad están mediados por dificultades, las que radican en tecnologías atrasadas con déficit de piezas de repuesto para el mantenimiento, debido a la escases y a altos costos en el mercado internacional; así como al uso de medios alternativos que no se ajustan total y exactamente al ámbito ferroviario. Además el Sistema de Bloqueo Semiautomático en Cuba posee un único canal de comunicación, lo que pone en riesgo la efectiva comunicación bajo determinadas condiciones; así como el pertinente funcionamiento de este medio de transporte. Esta situación problemática genera la siguiente **interrogante científica**:

- ❖ ¿Cómo contribuir a la efectiva comunicación entre autómatas, en el sub-sistema de fiscalización del Sistema de Bloqueo Semiautomático implementado en los ferrocarriles cubanos?

A esta interrogante da origen al siguiente **objetivo general**:

- ❖ Diseñar propuestas para la efectiva comunicación entre autómatas en el sub-sistema de fiscalización del Sistema de Bloqueo Semiautomático, en función de un mejor funcionamiento del ferrocarril en Cuba.

Para lograr el objetivo general se proponen los siguientes **objetivos específicos**:

- ❖ Argumentar los elementos esenciales relacionados con las telecomunicaciones, los sistemas de gestión y control de la circulación ferroviaria a nivel mundial y en Cuba, particularizando en los sistemas de bloqueo ferroviario.

- ❖ Determinar el estado de las comunicaciones del Sistema actual de Bloqueo Semiautomático ferroviario cubano, como recurso de importancia para el buen funcionamiento del ferrocarril de Cuba.
- ❖ Fundamentar las propuestas para la comunicación entre los autómatas que integran el sub-sistema de fiscalización del Sistema de Bloqueo Semiautomático implementado en Cuba.

Interrogantes científicas:

¿Qué referentes teóricos avalan lo relacionado con las telecomunicaciones, con los sistemas de gestión y control de la circulación ferroviaria a nivel mundial, y en Cuba, particularmente los sistemas de bloqueo?

¿Qué estado presentan las comunicaciones del sistema actual de bloqueo ferroviario cubano como recurso de importancia para el buen funcionamiento del ferrocarril de Cuba?

¿Qué propuestas favorecen la comunicación entre los autómatas que integran el sub-sistema de fiscalización del sistema de bloqueo implementado en Cuba?

Con la realización de este estudio, se pone a disposición de los especialistas en el tema, un material de consulta que sirve de apoyo para futuras implementaciones donde se deseen comunicar autómatas, utilizando las nuevas tecnologías en cuanto a redes de comunicaciones; esto resulta una contribución en aras de perfeccionar el funcionamiento del BSA. Con su aplicación se resuelve el problema de la comunicación para la señalización entre estaciones, al permitir que la fiscalización de la llegada completa de un tren a una estación, ocurra bajo las condiciones exigidas por el Reglamento de los Ferrocarriles de Cuba para el movimiento eficaz y seguro del tráfico ferroviario.

Posee un impacto social significativo ya que se contribuye al movimiento seguro de los trenes, tanto de carga, como de pasaje. Además, ayuda a evitar accidentes que pudieran causar daños de consecuencias imprevisibles para la economía; así como la pérdida invaluable de vidas humanas.

Organización del Informe

El informe de este trabajo se estructura en: Glosario de Términos, Introducción, Capítulo I, Capítulo II, Capítulo III, Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas y Anexos.

El Glosario de términos realiza un resumen de los principales términos utilizados en el informe de la investigación.

En la Introducción se definen los objetivos, se expone la importancia, actualidad y necesidad del tema que se aborda, dejándose explícitos los elementos del diseño teórico.

En el Capítulo I se destacan los elementos esenciales referentes a la evolución de las telecomunicaciones en los diferentes sistemas de gestión y control de la circulación ferroviaria.

En el Capítulo II se caracteriza el sistema de comunicación y su uso en el sistema de bloqueo implementado en el ferrocarril cubano; así como las inversiones que se acometen en las comunicaciones, también se describen los principales módulos de comunicación de los autómatas escogidos para utilizar en las propuestas de comunicación.

En el Capítulo III se fundamentan los diseños de las propuestas que se realizan para la comunicación entre los autómatas que integrarán el sub-sistema de fiscalización.

Las Conclusiones exponen las consideraciones finales de la problemática investigada.

Las Recomendaciones enfatizan sobre la profundización y ampliación en el estudio del tema investigado.

Las Referencias Bibliográficas validan la conformación del cuerpo investigativo.

Los Anexos sirven de apoyo a los temas desarrollados en el cuerpo del informe.

CAPÍTULO I. LAS TELECOMUNICACIONES EN EL ÁMBITO FERROVIARIO

El siguiente capítulo se dedica a tratar los elementos esenciales que describen la comunicación en función de la seguridad en las redes ferroviarias, destacando: la importancia de los sistemas de comunicación, las diferentes formas que se han utilizado para garantizar la seguridad en este ámbito a lo largo de la historia y la clasificación de los sistemas de bloqueos que se implementan, además, se argumentan los principales elementos relacionados con el estado actual de los sistemas de seguridad ferroviarios implementados en el mundo, enfatizando en sus características y en las redes de comunicaciones utilizadas por los mismos.

1.1 Evolución de los sistemas de gestión y control de la circulación ferroviaria.

Las telecomunicaciones abarcan todas las formas de comunicación a distancia. La palabra incluye el prefijo griego tele, que significa “distancia” o “lejos”. Por lo tanto, la telecomunicación es una técnica que consiste en la transmisión de un mensaje desde un punto hacia otro, usualmente con la característica adicional de ser bidireccional. La telefonía, la radio, la televisión y la transmisión de datos a través de computadoras son parte del sector de las telecomunicaciones(Alvero, 1990).

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), es fundada en París en 1865, con el nombre de Unión Internacional de Telégrafos, por iniciativa de veinte países europeos interesados en fijar códigos, tecnologías y reglas comunes para las comunicaciones internacionales por telégrafo. Con la posterior invención de instrumentos como el teléfono, la radio y la televisión, surgen otros organismos dedicados a regular las telecomunicaciones, que se unen en 1934 con la Unión Internacional de Telégrafos para

formar un organismo único, la UIT. En 1947, cuando acaba la Segunda Guerra Mundial, la UIT se convierte en una agencia especializada de la ONU(UIT, 2015b).

Las telecomunicaciones contribuyen al desarrollo de la industria y del transporte terrestre, marítimo y aéreo. El ferrocarril está muy vinculado a las comunicaciones desde sus orígenes, las vías férreas se utilizan para mover los postes y el alambrado necesario para el telégrafo, así como vía para llegar a las averías y repararlas, al mismo tiempo el servicio de trenes se sirve de este maravilloso invento para conocer salidas, retrasos, roturas y estados del tiempo en climas adversos.

Con el avance del ferrocarril es necesario aplicar las nuevas vías de comunicación que surgen con el desarrollo de la ciencia, se crea una dependencia vital para la seguridad de la gestión ferroviaria(UIT, 2015b).

1.2 Aporte de las comunicaciones al funcionamiento de los sistemas de gestión y control ferroviarios.

Las comunicaciones resultan vitales para los sistemas de gestión y control ferroviarios que entre otras funciones, se encargan de proveer seguridad a la circulación de los trenes. El objetivo fundamental es garantizar un medio de transporte capaz de cuidar la integridad de la mercancía y del personal que se transporta.

Debido a que el objetivo principal del ferrocarril, desde sus inicios, es el de transportar el mayor número de personas y mercancías en el menor tiempo posible, el sistema ferroviario está en constante desarrollo a lo largo de la historia, a través de la modernización progresiva de sus maquinarias, vías férreas, y otros elementos. Esto ha propiciado que la capacidad de este transporte aumente cada vez más; cuestión que trae consigo que también se desarrollen los sistemas de seguridad(KOGAN, 2004).

Inicialmente las comunicaciones en el ferrocarril son muy rudimentarias, se conoce el ejemplo del guardavía que mediante señales corporales comunica los diferentes estados del tren. De forma posterior y en el proceso evolutivo se utilizan las señales de colores soportadas por mástiles o *Disc and Crossbar*, estos procesos requieren una intervención humana directa de alta responsabilidad y son falibles a estados del tiempo y las noches para lo cual se prenden faroles que permiten la observación de las señales y sirven de faros(MONTES, 2007, MONTES, 2011).

Además, se utiliza el libro de horarios, el cual contiene las horas a las que deben partir los trenes de las distintas estaciones, debido a que el número de ellos es todavía reducido. La simple separación horaria asegura que no coincidan simultáneamente distintos trenes y evita el peligro de accidentes.

El semáforo surge posteriormente, facilitando la circulación por las noches. Sufre grandes cambios a largo de la historia, su funcionamiento se realiza inicialmente por transmisión alámbrica, por transmisión rígida de barra, hidráulica, eléctrica, y otras. Esto evoluciona hasta llegar al semáforo, que se conoce actualmente (SILES, 1990, MONTES, 2007, MONTES, 2011).

Otro de los elementos significativos para la seguridad, lo constituye el enclavamiento para impedir la formación de rutas inadecuadas y la autorización de movimientos entre trenes con itinerarios conflictivos. Este relaciona la posición de abrirse una señal y así autorizar un movimiento a un tren, existiendo ya otra ruta autorizada. Una persona con la visibilidad necesaria puede accionar las agujas para el cambio de vías y la señal o señales correspondientes.

Este sistema, al no tener una comunicación eficiente, puede producir errores y por tanto llevar a accidentes o situaciones complicadas. Debido a la complejidad de este sistema, donde no siempre queda claro para los maquinistas a qué vía pertenecía cada señal, tiende a provocar situaciones peligrosas, por lo que se crean los sistemas de enclavamiento de la posición del desvío con la autorización de la señal. Los enclavamientos pueden ser: mecánicos, eléctricos, electrónicos o una mezcla de los antes mencionados (MONTES, 2007).

Estos enclavamientos son ubicados en torres elevadas desde donde se divisan todas las agujas y señales que el enclavamiento controla. El guardagujas debe tener una buena visibilidad para observar la zona y saber cuándo debe configurar cada ruta. Este proceso de localización visual tiene como inconveniente que en días con niebla o simplemente por la noche, es extremadamente difícil conocer la ubicación de los trenes y actuar en consecuencia sobre los mandos de los enclavamientos, surgiendo así nuevos riesgos de accidentes (IBÉRICA and ALSTHOM, 2005, MONTES, 2011).

Estas situaciones llevan a la necesidad de mejorar las comunicaciones y las informaciones transmitidas, puesto que la escasa visibilidad en momentos críticos por parte de los guardagujas hace que surjan los circuitos de vía, cuya función es la de detectar los trenes, utilizando las facilidades de la corriente eléctrica. Los carriles pueden considerarse parte de un circuito eléctrico, la presencia del tren cortocircuita esta corriente a través de sus ejes, esto hace que la ausencia de corriente produzca la caída de un relé en el extremo opuesto; esta falta de corriente es indicativa de la presencia del tren en la sección correspondiente y brinda información precisa al sistema de enclavamiento (Figura 1.1)(MONTES, 2007, MONTES, 2011).

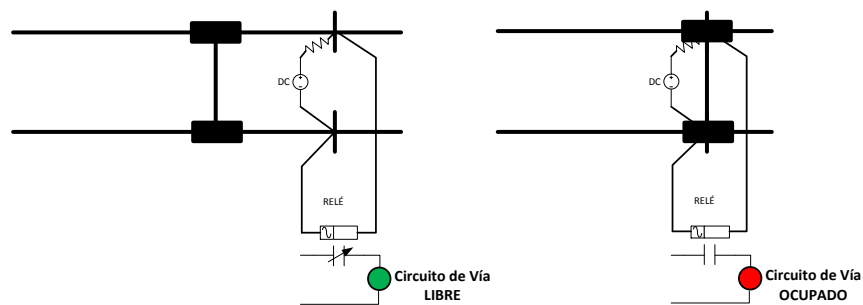


Figura 1.1 Circuitos de vía. Elaborada a partir de(MONTES, 2007).

Posteriormente las comunicaciones, se utilizan para, además de mover los trenes dentro del ámbito de la estación, hacerlo entre estaciones, en estos casos juega su papel el telégrafo.

Así surge el sistema llamado de bloqueo que se aplica de diferentes formas. Inicialmente, los trenes se envían de una estación a otra de acuerdo con el libro de horarios, quedando la línea bloqueada para el paso de trenes en ese período de tiempo. El margen de tiempo que se establece con el objetivo de asegurar la llegada del tren es considerablemente alto, lo cual hace a esta solución ineficiente con el incremento del tráfico ferroviario; en consecuencia, se pasa a enviar trenes separados en distancia, una solución que hace un uso más eficiente de la vía; pero que presenta problemas de seguridad al producirse ligeros desajustes en el programa establecido(MONTES, 2011).

El siguiente paso es el uso del bastón testigo (*Token*)(ESCRIBANO, 2008). Este bastón es único por trayecto y no puede existir ninguna circulación de tren si el maquinista no está en posesión de este bastón. El maquinista lo recibe en la estación de origen y lo tiene que entregar en la estación de llegada, y así ser utilizado por el próximo tren en dirección

contraria. De esta forma se garantiza el uso del bloqueo por un único tren. Debido al aumento del tráfico ferroviario se hace necesario enviar circulaciones seguidas en la misma dirección, lo que hace a este sistema completamente ineficiente.

Surgen entonces los sistemas de bloqueo donde se utiliza un medio de comunicación entre estaciones para mejorar la seguridad (Figura 1.2). El primer medio de comunicación que se utiliza es el telégrafo. Con la instalación de cables eléctricos entre estaciones se puede establecer una comunicación tipo Morse codificada (MORSE, 2015). El paso del tren por las estaciones y las autorizaciones de marcha se indican por medio de sonidos codificados (MONTES, 2011).

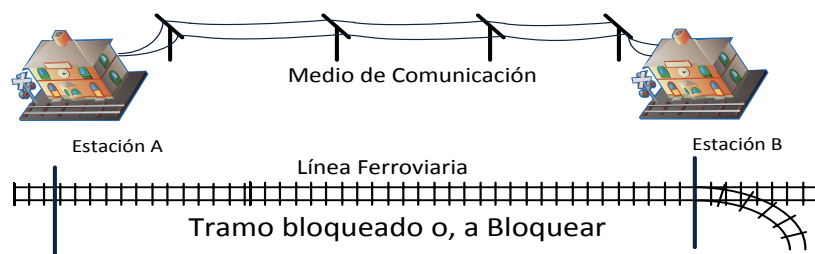


Figura 1.2 Esquema representativo del bloqueo entre estaciones.

Este sistema se completa con un equipo de bloqueo eléctrico de tipo galvanométrico con dos cuadrantes, situado uno en cada estación. Estos equipos están conectados por un hilo conductor tendido entre las estaciones por el que circula corriente continua. El sistema es administrado por los jefes de estación ubicados en cada una de las estaciones, los cuales mediante el uso de señales de timbre y otras señales, piden y conceden la autorización de uso de la vía, y bloquean el tramo de vía correspondiente (AZA and HERNÁNDEZ, 2011).

A continuación se realiza una clasificación de los distintos sistemas de bloqueos que surgen a partir de la utilización del telégrafo.

1.2.1 Aplicación de las comunicaciones según el sistema de bloqueo.

- **Bloqueo Telefónico**

Todo el proceso relacionado con el telégrafo se simplifica mediante la utilización de los telefonemas de petición/concesión y llegadas de trenes que se transmiten vía telefónica. Este tipo de circulación aún es operativa en algunos países en líneas de poco tráfico y se

sigue utilizando como un procedimiento de socorro para expedir trenes en caso de una avería importante en el sistema de señalización(AZA and HERNÁNDEZ, 2011).

- **Bloqueo Eléctrico Manual**

El bloqueo eléctrico manual surge por la necesidad del aumento experimentado en las circulaciones, este sistema reduce las intervenciones del jefe de estación y las simplifica por procedimientos eléctricos basados en relés de seguridad en las estaciones o puntos de cruzamiento. La realización automática elimina incidencias, algunas con riesgo de accidente. Sin embargo aún se requiere la confirmación de la llegada del tren completo por parte del jefe de estación por vía telefónica(MONTES, 2011).

- **Bloqueo Automático**

Existen dos tipos de bloqueos automáticos, el bloqueo automático de vía única y el bloqueo automático en vía doble.

Bloqueo Automático de vía única

Los circuitos de vía en el trayecto dan lugar al bloqueo automático en vía única en el cual la intervención del jefe de estación se suprime completamente. Gracias a la existencia de los circuitos de vía y a la detección segura del tren, se sabe si todo el tren ha llegado. El mando y organización del tráfico se puede realizar desde un puesto central remoto con el uso de sistemas de telecomunicaciones, reduciéndose los costes de operación y aumentando la seguridad del sistema(MONTES, 2007).

El trayecto entre estaciones se divide en secciones de vía. Cada sección de vía está protegida por una señal de tres aspectos (Rojo, Amarillo y Verde). El tren, al moverse, ocupa una sección de vía, formado por uno o más circuitos de vía, los cuales cambian automáticamente la señal que protege dicha sección a rojo.

La seguridad de los sistemas de bloqueo automáticos de vía única está garantizada por los equipos de vía, circuitos de vía, equipos de bloqueo y enclavamientos en las estaciones. La aplicación de equipos de bloqueo y enclavamientos basados en microprocesadores, y la posible utilización de nuevas tecnologías de comunicación, hacen de este sistema una variante atractiva por su coste reducido y alta eficiencia(MONTES, 2011).

- **Bloqueo Automático en vía doble**

En los trayectos donde la densidad de circulación aumenta considerablemente es necesaria la instalación de una segunda vía, dando lugar a sistemas de bloqueos independientes en cada vía o también conocidos por sistemas de bloqueo automático en vía doble(MONTES, 2007).

El sistema de bloqueo en vía doble es dotado de una señalización luminosa lateral en la que se establece una secuencia de tres aspectos, colores: rojo, amarillo, verde. Un tren se encuentra protegido por la distancia existente entre señales que se corresponde con la distancia de frenado necesaria para la máxima velocidad a la que el tren puede circular por ese punto. La seguridad en la circulación se garantiza limitando la velocidad máxima de circulación de cada tipo de tren.

La circulación por estas vías se realiza inicialmente a una velocidad máxima de 160 km/h, pero, con el incremento de la demanda se hace necesario aumentar la velocidad de los trenes a 220 km/h. Esta nueva velocidad hace que el sistema de bloqueo automático se modifique, obligando a que surja un nuevo aspecto: verde intermitente, garantizando de este modo, que se pueda mantener una distancia de frenado suficiente para que los trenes que circulan a 220 km/h sean capaces de parar ante una señal de peligro: rojo(MONTES, 2011). El mando y organización del tráfico, en este caso, también se realiza desde un puesto central remoto con el uso de sistemas de telecomunicaciones.

El continuo incremento de la demanda en el sistema ferroviario, hace que se alcancen altas velocidades, esto trae consigo que los sistemas de señalización implementados hasta el momento (Ejemplo: Sistema de Señalización lateral: Verde, Verde intermitente, Amarillo y Rojo) no sean suficientes, debido a la limitación de la capacidad de atención y respuestas de los maquinistas a velocidades superiores a los 200 km/h y a las nuevas tecnologías utilizadas en los sistemas de tracción, unido a la demanda de gran potencia requerida. Por lo que se hace necesario desarrollar sistemas de control y mando que asistan a los propios maquinistas en la conducción segura de sus trenes, surgen así los sistemas de señalización de cabina que utilizan los principales avances de las telecomunicaciones(IBÉRICA and ALSTHOM, 2005).

1.3 Los avances de las telecomunicaciones en función de los principales sistemas ferroviarios.

El mundo de los entornos ferroviarios es un mundo complejo donde coexisten diferentes tipos de sistemas de comunicaciones, los cuales se utilizan para diversos fines. En toda esa gama de sistemas se distinguen dos grupos: vitales y no vitales(ARDANUY, 2012).

Clasificación de los sistemas

Vitales: son aquellos sistemas específicos que intervienen en las actividades de señalización, control, y las comunicaciones que se establecen entre los operarios de las estaciones ferroviarias y los móviles tractivos sobre la vía.

No vitales: son sistemas que proveen información u otro tipo de servicios con beneficios tanto para las propias redes ferroviarias, ayudando en la gestión del tráfico de trenes, como a los usuarios del transporte, permitiéndoles el acceso a redes de voz y datos.

Tipos de sistemas

Se manifiestan en tres grandes grupos(ALONSO et al., 2002, MORENO, 2010):

➤ Radiocomunicaciones:

Radiotelefonía; Radio VHF, UHF, *Trunking*; GSM-R; Microondas; Telefonía móvil digital; Redes inalámbricas de Área Local; Satelitales; Tren-Tierra.

➤ Comunicaciones por cable:

Par trenzado; Fibra óptica.

Servicios que prestan los sistemas de comunicaciones en el sector ferroviario

Servicios a usuarios: posibilita a estos el uso y acceso a los servicios de comunicaciones tradicionales como la telefonía móvil, internet, televisión y radiodifusión. Dichos servicios pueden realizarse desde las estaciones o desde el interior de los trenes.

Servicios complementarios de explotación del transporte ferroviario: son utilizados por los operadores ferroviarios para proveer servicios de información a los viajeros, así como algunos servicios orientados a la explotación del tráfico ferroviario que ayudan al

funcionamiento del mismo. Pero que no juegan un papel crítico en lo referente al control del tráfico y a la seguridad e integridad de trenes y usuarios de los mismos.

Servicios críticos de explotación del transporte ferroviario: son desarrollados por los operadores ferroviarios y juegan un papel de carácter vital en la seguridad del tráfico ferroviario.

Son requisitos indispensables para la gestión de los servicios la seguridad, la fiabilidad, la interoperabilidad, la calidad y la disponibilidad.

1.3.1 Descripción del funcionamiento de los sistemas de comunicaciones en el sector ferroviario.

Los sistemas de comunicaciones destinados a entornos ferroviarios requieren que la tecnología empleada, los protocolos y estándares de comunicación, así como su arquitectura de diseño sean concebidos bajo las más estrictas normas de seguridad. Por ello las redes de comunicaciones dentro de un ferrocarril se hallan estructuradas en dos niveles(MORENO, 2010, SIEMENS, 2014a):

Red móvil (TCN): protocolo de comunicaciones exclusivo para el material rodante sobre la vía que permite a todos los equipos electrónicos instalados en el tren funcionar bajo una única red estándar.

Red fija: lleva a cabo el intercambio de información entre el tren y el mundo exterior, o sea, hacia el centro de mando o centro de despacho, e incluso otras redes fuera del ámbito del ferrocarril.

Ambos niveles se hallan integrados en un mismo sistema dando lugar a la interface tren-tierra, la cual se encarga de asegurar una comunicación permanente entre el puesto de mando y los trenes o entre los trenes y el equipamiento instalado en la vía, con una repercusión directa en la seguridad de las circulaciones. Especialmente en casos de anomalía.

Interface Tren-Tierra

El protocolo de comunicación Tren-Tierra opera con tecnología analógica está constituido esencialmente por un PCR (Puesto Central de Radio), equipos móviles instalados en los trenes, equipos portátiles para el personal de mantenimiento y una serie de PFR (Puesto

Fijo de Radio) que se sitúan a lo largo de la línea. Dichos PFR constan de equipos que en determinado punto de la vía, aseguran la cobertura de la comunicación por radio mediante la cual se establece el intercambio de voz y datos entre el PCR y cada uno de los dispositivos que conforman la red TCN (*Train Communication Network*)(MONTES, 2011).

Ventajas

- Comunicación instantánea entre el operador del puesto de mando y el maquinista del vehículo sobre la vía, así como con el personal de mantenimiento dentro de las instalaciones del ferrocarril.
- Contribuye al mejoramiento de la seguridad del transporte ferroviario.

Desventajas

- Incompatibilidad con otros sistemas de señalización, por lo que no permite la interoperabilidad entre los mismos.

En el caso de la Unión Europea esto supone un gran problema para garantizar la seguridad del movimiento de los trenes, ya que con el incremento acelerado de esa actividad en la región, así como las velocidades de los equipos tractivos queda fuera del rango de protección que puede proveer la interface tren-tierra(MORENO, 2010).

1.4 Los sistemas de comunicaciones con mayor empleo en el sector del ferrocarril.

Señalización en Cabina

Los primeros sistemas de señalización en cabina para asistir a los maquinistas son: los sistemas de ATP (Protección Automática de Trenes), dentro de los cuales se encuentran: INDUSI (*Induktive Zugsicherung*)(MORENO, 2010) en Alemania y el ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático)(MONTES, 2011) en España.

Los sistemas INDUSI y ASFA envían a través de balizas (ANEXO I)(DURÁN, 2010) situadas en la vía, a pie de señal y en una posición previa a la señal (300m antes), la información correspondiente al aspecto de la señal en cada momento. El maquinista debe reconocerla y actuar consecuentemente. En caso de ausencia de actuación, se le aplica automáticamente el freno de emergencia.

Al superarse los 250 km/h se hace necesario requerir de sistemas de señalización en cabina de tipo continuo o semicontinuo, entre los que se encuentran: TVM (*Transmission Voie Machine*) que se utiliza en Francia y el LZB (*Linien zug beeinflussung*) que se utiliza en Alemania y en parte de España (MONTES, 2011). El maquinista recibe información de forma continua en la cabina de la situación del tren que le precede, de la velocidad a la cual debe conducir y de las condiciones de la vía, y en base a esta información el maquinista debe actuar consecuentemente. En caso de ausencia de actuación, se activa automáticamente el freno de emergencia. A partir del surgimiento de estos sistemas las señales laterales empiezan a no ser necesarias.

Debido a la gran variedad de sistemas ATP que aparecen en Europa (Figura 1.3) y por la necesidad de racionalizar y facilitar la interoperabilidad de trenes entre diferentes países se hace necesario implementar un sistema que agrupase todas estas variantes de ATP, surge entonces el sistema ERTMS (*European Rail Traffic Management System*), (VILLANUEVA and DE SANTIAGO, 2007, ARDANUY, 2012).

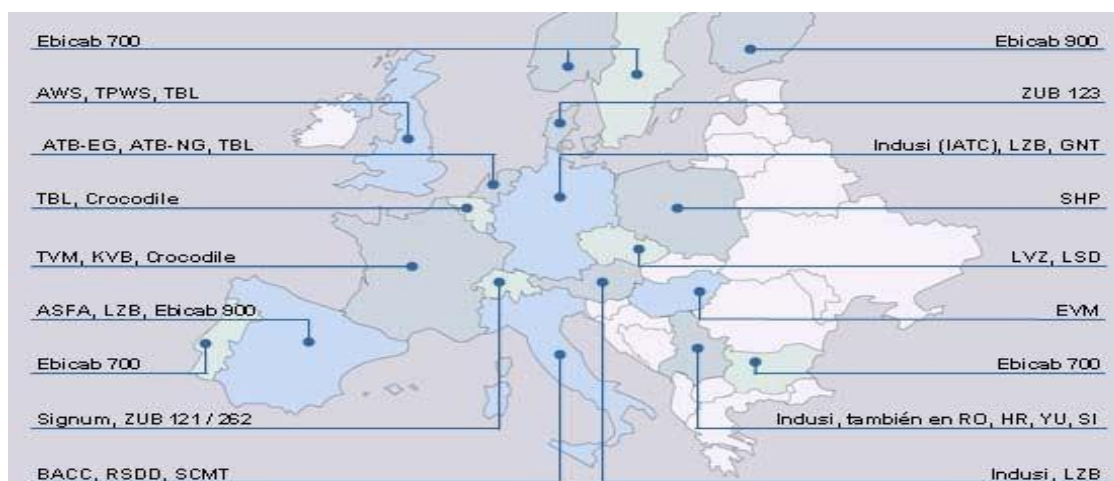


Figura 1.3 Sistemas ATP implementados en Europa que se integran en ERTMS

Este sistema de seguridad y otros utilizados actualmente en el mundo, como por ejemplo: CBTC (*Communications-Based Train Control*) (CAÑIZARES, 2009, GONZÁLEZ, 2011, RUMSEY, 2011), y el equivalente a ERTMS en América del Norte PTC (*Positive Train Control*) (BADUGU and MOVVA, 2013), son sistemas que se orientan a la gestión, supervisión y control de la seguridad ferroviaria. A continuación se describen algunas

características de ERTMS, PTC y CBTC sistemas líderes en cuanto a seguridad ferroviaria se trata.

1.4.1 El sistema: *European Rail Traffic Management System* (ERTMS).

El sistema ERTMS es introducido por la Unión Europea (UE) en la década del 90, es un sistema orientado a la interoperabilidad, el cual garantiza que se pueda emplear equipamiento de distintos fabricantes. Eliminando así, la necesidad de parar en las fronteras para sustituir el tren o conmutar a otro sistema ATP.

Los bloques principales de la arquitectura del sistema ERTMS son: ETCS (*European Train Control System*) y GSM-R (*Global System for Mobile communication Railway*)(ALONSO and ARDANUY, 1998, VILLANUEVA and DE SANTIAGO, 2007).

- El *European Train Control System* (ETCS)

ETCS es un sistema interoperable de señalización y control ferroviario compuesto por el sub-sistema del tren y el sub-sistema de la vía. Se diseña con el objetivo de lograr compatibilidad entre los sistemas implementados hasta el momento en Europa.

El sub-sistema del tren consta del siguiente equipamiento: Euroradio, BTM (*Balise Transmission Module*), Eurocab, Odómetro Generador de Pulsos, JRU (*Registrador Jurídico*), Antena de Eurobaliza y RBS (*Radio Base System*). Mientras que el sub-sistema de la vía consta del siguiente equipamiento: Elementos de bloqueo, Circuitos de vía, LEU (*Lineside Electronic Units*), Eurobaliza, RBC (*Radio Block Center*) y GSM-R.

La función concreta de ETCS es la de controlar los trenes y consta de tres niveles de funcionamiento, nivel 1, nivel 2 y nivel 3; las características referentes a los niveles de funcionamiento de ETCS se tratan con detalles en otras investigaciones(FERNÁNDEZ and GONZÁLEZ, 2014).

- El *Global System for Mobile communication Railway* (GSM-R)

GSM-R es un sistema de radio para comunicaciones de voz y datos basado en la tecnología GSM (*Global System for Mobile communication*)(MOULY et al., 1992, SNIADY and SOLER, 2012), estándar, que a diferencia de la tecnología estándar utiliza frecuencias específicas del sector ferroviario y posee funciones avanzadas, además restringe el número

de radiocanales a 19, a diferencia de GSM que posee 125 canales. Las especificaciones de GSM-R se definen por el Instituto Europeo de Telecomunicaciones(ETSI, 2015).

El objetivo principal de GSM-R es el de definir un estándar de comunicaciones que satisfaga todas las necesidades de las comunicaciones ferroviarias, teniendo en cuenta todos los retos y problemas que estas plantean; y garantizando una alta fiabilidad y seguridad de los servicios que brindan.

Algunas características generales de GSM-R como son: El traspaso entre celdas o *handover*, la cobertura, puesto de control central, redundancia, entre otros; se tratan en el ANEXO II.

GSM-R es un sistema de comunicación fiable y seguro, capaz de proporcionar el despliegue de nuevos servicios que podrán ser utilizados para mejorar substancialmente las capacidades y procesos en las áreas de operación, mantenimiento, seguridad y atención a los viajeros. Este medio de comunicación es fundamental en los sistemas ETCS que implementen los niveles 2 y 3(SNIADY and SOLER, 2012). El ANEXO III resume algunos de los parámetros técnicos utilizados en la implementación de GSM-R.

- Sistema global de navegación por satélite Galileo

Galileo es un sistema global de navegación por satélite desarrollado por la UE, con el objeto de evitar la dependencia de los sistemas GPS(*Global Positioning System*)(GPS, 2015) y GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*)(GLONASS, 2015), un sistema que al contrario de GPS y GLONASS se destina principalmente para uso civil(GALILEO, 2015).

Los servicios que ofrece este sistema satelital son abordados en la página web(GALILEO, 2015). Uno de los servicios fundamentales ofrecido por el sistema satelital Galileo es: el grupo de servicios para aplicaciones críticas, el cual se utiliza en la mayoría de las aplicaciones de transporte donde la vida humana se pone en peligro si las comunicaciones de estos sistemas de transportes colapsan. Los niveles 2 y 3 del sistema de seguridad ferroviaria ERTMS utilizan al sistema de navegación satelital Galileo como una alternativa en las comunicaciones, el mismo apoya a ERTMS en aspectos como: la señalización

ferroviaria y gestión de tráfico. Los trenes poseen el equipamiento necesario para establecer comunicación con este sistema satelital, Figura 1.4.

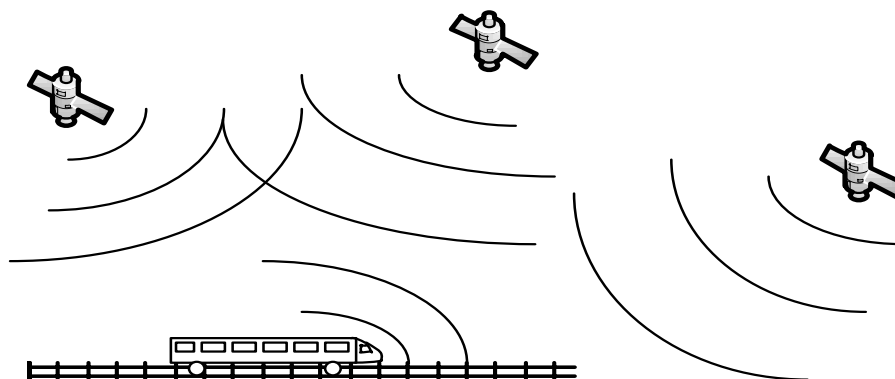


Figura 1.4 Galileo en el sistema ferroviario.

1.4.2 El sistema: *Positive Train Control* (PTC).

El *Positive Train Control* (PTC) se implementa principalmente en los Estados Unidos, además integra los sistemas de comando, control, comunicaciones y sistemas de información para controlar los movimientos de los trenes con seguridad, precisión y eficiencia. Los sistemas PTC reducen significativamente la probabilidad de: colisiones entre trenes, descarrilamientos por exceso de velocidad, incursiones en los límites de las zonas de trabajo establecidas y el movimiento de un tren por una aguja cambia vía que esté mal alineada (GAO, 2013).

Los principales sistemas PTC que se han comenzado a implementar son: ETMS (*Electronic Train Management System*) el cual es aplicable para una densidad media de trenes que viajan a velocidades de 120 Km/h o menos; y ACSES (*Advanced Civil Speed Enforcement System*) sistema implementado entre las ciudades de Boston y Washington. Estos y otros sistemas PTC son estudiados por varios autores (HNTB, 2011). Se prevé que para finales del 2015 estén implementados gran parte de los sistemas PTC en los Estados Unidos.

Los sistemas PTC utilizan como redes de comunicación: enlaces de radio frecuencia, redes *wireless*, sistema de posicionamiento satelital GPS, entre otros (TECHNOLOGY, 2012, GAO, 2013).

1.4.3 El control de trenes basado en las comunicaciones.

El sistema *Communications Based Train Control* (CBTC) es un sistema de señalización y control automático continuo de trenes usado en el transporte ferroviario metropolitano, este sistema hace uso de comunicaciones bidireccionales entre el equipamiento del tren y el equipamiento en la vía para gestionar el tráfico, además consta de procesadores a bordo del tren y en la vía con la capacidad de implementar funciones de protección ATP (*Automatic Train Protection*), funciones de control ATO (*Automatic Train Operation*) y funciones de supervisión ATS (*Automatic Train Supervision*). Con la implementación de estas tecnologías se conoce de forma precisa la ubicación exacta del tren en la vía, haciendo que la gestión del tráfico se realice con gran eficiencia y seguridad (GONZÁLEZ, 2011, RUMSEY, 2011).

El incremento de la población urbana hace que aumente el uso del transporte metropolitano, los sistemas de protección de trenes tradicionales presentan limitaciones, como el hecho de que la ubicación de los trenes solo es determinada por los circuitos de vía, etc. Estas cuestiones hacen que los sistemas de control ferroviario tengan que adaptarse a la demanda creciente de servicios cada vez más rápidos y más eficientes, dando paso entonces, al surgimiento de CBTC.

El objetivo fundamental de CBTC es reducir los intervalos entre trenes, cuestión que se logra principalmente gracias al desarrollo de las comunicaciones digitales por radiofrecuencia, comunicaciones que proveen una mayor velocidad y hacen más eficiente los procesos de señalización y gestión; además, en cuanto a su implementación, son menores los costes para este tipo de comunicación.

Las comunicaciones digitales por radiofrecuencia empleada en CBTC utiliza la modulación por espectro ensanchado. Los sistemas CBTC modernos integran normalmente una red de radiofrecuencia digital mediante antenas (*line-of-sight-propagation*) y/o cables radiantes (*leaky-feeder*), siendo estos últimos los utilizados dentro de los túneles. Habitualmente estas comunicaciones utilizan la banda de 2,4 GHz, aunque se pudieran utilizar otras bandas de frecuencias tales como: la banda de frecuencia de 5,8 GHz, además de otras bandas de frecuencias sujetas a licencia.

El uso de las comunicaciones digitales por radiofrecuencias que utilizan la modulación por espectro ensanchado. Trae numerosas ventajas, como puede ser el hecho de que son comunicaciones resistentes a las interferencias tanto intencionales como no intencionales, eliminan los efectos de las interferencias multitrayectos, pueden compartir las mismas bandas de frecuencias con otros usuarios, proporcionan confidencialidad a la información transmitida gracias a los códigos pseudoaleatorios(PAVANS, 2012, SIEMENS, 2014b).

El sistema CBTC es implementado fundamentalmente en líneas del metro, aunque también se pueden implementar en líneas de cercanía. Se plantea además que CBTC es equivalente al nivel 3 del sistema ERTMS. Las principales funciones de protección implementadas en CBTC se abordan en diferentes trabajos(GONZÁLEZ, 2011, RUMSEY, 2011).

- Principio de funcionamiento de: *Communications Based Train Control*(CBTC)

Los trenes comunican su estado vía radio a los dispositivos pertenecientes al equipamiento de vía distribuidos a lo largo de la vía, se incluyen parámetros como: la posición exacta, velocidad, sentido de marcha, distancia de frenado, entre otros; lo que permite calcular la zona potencialmente ocupada por el tren durante su marcha.

El equipamiento de vía con la información obtenida puede calcular los puntos que no deben ser sobrepasados por los trenes que circulen por la misma vía. Esta información es recibida constantemente por los trenes, información referida a su distancia respecto al tren precedente, lo que le permite ajustar de forma automática y continua su velocidad, garantizando la distancia de seguridad establecida(RUMSEY, 2011).

Con respecto a cómo se consideran las secciones de vía en el sistema CBTC, se puede clasificar el sistema en: sistema de sección de vía fija y sistema de sección de vía móvil(GONZÁLEZ, 2011). La Figura 1.5 muestra de manera general el principio de funcionamiento para ambos sistemas.

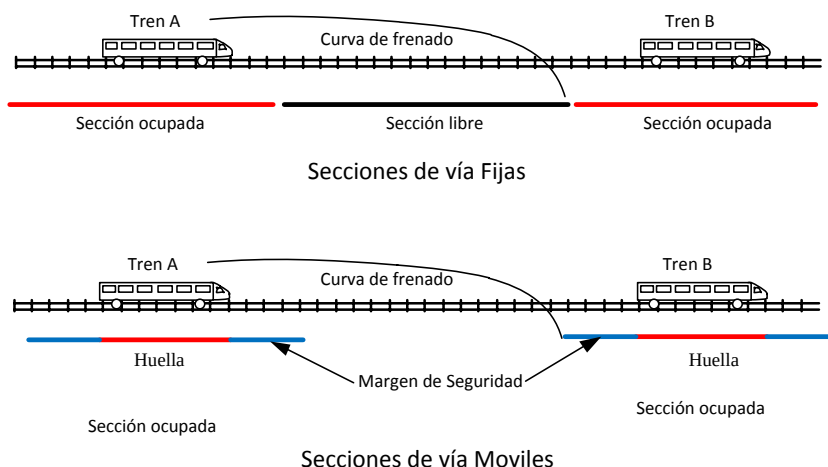


Figura 1.5 Sistemas para sección de vía fija y móvil.

1.4.4 Uso mundial de los sistemas de seguridad ERTMS, PTC y CBTC.

Los sistemas de seguridad ferroviaria ERTMS y CBTC son sistemas líderes a nivel mundial. La tabla 1.1 muestra un resumen de los principales países que implementan o se prevé que implementen estos sistemas en sus líneas férreas, así como las principales compañías que trabajan en el mantenimiento y desarrollo de estos sistemas.

Los principales organismos, que entre otras funciones tienen, la de regular las normas sobre el sistema de seguridad ferroviaria ERTMS son: CEN (*Comité Europeo de Normalización*), CELENEC (*Comité Europeo de Normalización Electrónica*) y ETSI (*Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones*). Estas últimas, las homólogas de las bien conocidas a nivel mundial ISO (*Organización Internacional de Normalización*), CEI (*Comisión Electrotécnica Internacional*) y UIT (*Unión Internacional de Telecomunicaciones*) respectivamente. La función de cada uno de estos organismos se explica con detalles en sus sitios oficiales:(CEN, 2015, CELENEC, 2015, ETSI, 2015, ISO, 2015, CEI, 2015, UIT, 2015b) respectivamente. Por su parte los principales organismos que entre otras funciones tienen la de regular las normas sobre los sistemas de seguridad ferroviaria PTC y CBTC son los bien conocidos a nivel mundial: ISO, CEI y UIT.

Tabla 1.1 Compañías proveedoras y países que implementan ERTMS, PTC y CBTC.

Sistema de Seguridad	Principales Compañías Proveedoras	Países que lo Implementan	Algunas Ciudades
ERTMS	<i>ALSTOM, ANSALDO STS, BOMBARDIER, INVENSYS RAIL, SIEMENS Y THALES</i>	Principalmente en los países miembros de la UE	Ciudades de los países miembros de la UE
PTC	<i>ALSTOM, ANSALDO STS, BOMBARDIER, INVENSYS RAIL, SIEMENS Y THALES</i>	Principalmente en los Estados Unidos	Boston, Nueva York, Philadelphia, Washington, Alaska, Chicago, St. Louis, etc.
CBTC	<i>ALSTOM, ANSALDO STS, BOMBARDIER, INVENSYS RAIL, SIEMENS y THALES</i>	Estados Unidos, Brasil, Chile, Venezuela, Inglaterra, Francia, Alemania, España, Finlandia, Argelia, Hungría, Suecia, Dinamarca, Suiza, Arabia Saudita, Dubái, China, Singapur, Corea del Sur.	Nueva York, Washington, Dallas, San Francisco, Sao Paulo, Santiago de Chile, Caracas, Londres, Paris, Múnich, Madrid, Helsinki, Argel, Budapest, Estocolmo, Copenhagen, Lausana, Jiddah, Dubái, Beijing, Tianjin, Singapur, Seúl.

1.5 Desarrollo de las comunicaciones en el ferrocarril cubano.

El ferrocarril es introducido en Cuba doce años después de haber sido fundado en Inglaterra, en 1825; como pionero en toda Hispanoamérica y segundo en América, solo después de los Estados Unidos.

En 1853 empiezan a tenderse los cables del telégrafo. En los primeros momentos la mayoría de los tramos coinciden con la vía férrea. Esta forma de comunicación garantiza al ferrocarril seguridad y conocimiento del estado de las vías. Además puede avisar de roturas y atrasos en los horarios(EZKERRA, 2012).

Se van incorporando equipos de comunicación y la señalización de vías en la medida en que el ferrocarril se propaga por toda la isla.

El Ferrocarril Central queda inaugurado oficialmente el 12 de noviembre de 1902, luego de construirse 541 kilómetros de vía desde Santiago de Cuba a Santa Clara. Antes ya se comunica con La Habana(MENÉNDEZ, 2006).

Las comunicaciones en el ferrocarril se siguen desarrollando, se pasa del uso del telégrafo al uso del teléfono y posteriormente a la utilización del radio. Inicialmente con equipos rudimentarios, pero acordes al desarrollo de la época, posteriormente con equipamiento más sofisticado(EZKERRA, 2012).

El 30 de junio de 1961 se crea la Empresa Consolidada de Ferrocarriles Nacionales. La reconstrucción de la línea central, una de las obras de mayor envergadura en los años 1970-1980 se resume en 1 291 kilómetros de vía, 1 888 kilómetros de explanaciones y de todas las estaciones de pasajeros y edificios técnicos y de comunicaciones, entre La Habana y Santiago de Cuba(CÉSPEDES, 2015).

El BSA se introduce en Cuba, en la década del 80, como parte de un proyecto de modernización del ferrocarril, el que es limitado en su total implementación, ante los cambios ocurridos en el país en la década de los 90. Esto implica la aplicación de este sistema en el tramo comprendido desde la Habana hasta Esperanza, en Villa Clara. El empleo del BSA tiene el fin de garantizar la expedición y recepción de trenes de manera semiautomática, con lo que se reducen los intervalos de tiempo en la circulación de trenes y al mismo tiempo permite garantizar la seguridad requerida en el funcionamiento de este medio de transporte(Martínez, 1993).

En estos momentos se efectúan inversiones para revitalizar el ferrocarril y ponerlo a tono con las nuevas necesidades de la sociedad cubana. Se destacan las inversiones en el campo de las comunicaciones con la introducción de la red de fibra óptica y el novedoso sistema de comunicación GSM-R.

1.6 Conclusiones Parciales.

- El desarrollo de las comunicaciones en el mundo ha propiciado el avance de los sistemas de gestión y control. Que garantizan un adecuado funcionamiento del ferrocarril a nivel mundial.
- Existen amplios estudios que demuestran la aplicación de las nuevas tecnologías de cada época a este importante medio de transporte.
- El uso de las redes de comunicación actuales, es un elemento importante como soporte al funcionamiento ferroviario. Convirtiéndose en sistemas que tienen que garantizar el movimiento continuo de trenes por una misma vía a altas velocidades.

- En Cuba el desarrollo paulatino del ferrocarril evidencia la necesidad de dotar al BSA, de un sistema de comunicaciones. Que permita integrarse a las nuevas tecnologías en concordancia con el proceso inversionista que se realiza en el país.

CAPÍTULO 2. EL SISTEMA DE BLOQUEO FERROVIARIO CUBANO

El siguiente capítulo se dedica a caracterizar el sistema de comunicaciones en el ámbito ferroviario cubano, destacando el sistema de bloqueo implementado actualmente en el país, el principio de funcionamiento e irregularidades presentes en este. Se tratan los subsistemas de fiscalización y comunicación, las inversiones que se acometen en las comunicaciones de la UFC (Unión de Ferrocarriles de Cuba), y se argumenta la selección de los autómatas que se utilizarán en las propuestas de comunicación.

2.1 Comunicación entre estaciones pertenecientes a la UFC.

Para la comunicación actual entre estaciones se utilizan los servicios de conferencia telefónica por línea aérea de cobre, Sistema Radio, Sistema *Trunking* y telefonía pública. Además de esto se trabaja en un proyecto para ofrecer servicios mediante una infraestructura de GSM-R y Fibra Óptica privada.

Conferencia por línea aérea de cobre

Es un sistema primitivo poco usado en el mundo y cuyo medio de comunicación es el alambre de cobre número 10 u 8. Dicho conductor es soportado sobre aisladores cerámicos o de vidrio, en estructuras de acero y postes prefabricados de hormigón o madera, y separados a 25 m de distancia. El costo de mantenimiento de dicho sistema en la actualidad es muy elevado por lo difícil y caro que resulta la adquisición de estos elementos. Además influye de manera negativa el deterioro producido por la acción del medio ambiente a lo largo de los años, y el hurto de dichos recursos que son utilizados en fines ajenos a su verdadero objeto social (CASTELLANOS, 2015).

Por estas razones, a pesar de ser propio, no es adecuado ni mucho menos fiable realizar alguna propuesta de comunicaciones empleando este medio.

Radio

La UFC cuenta con seis frecuencias directas en la banda de VHF desde 159.300 a 159.725 MHz empleadas en la comunicación *half-duplex* para voz. Mediante las mismas se rige el actual sistema de control del tráfico ferroviario en nuestro país.

Las comunicaciones en esta banda y el equipamiento instalado no son ideales para la transmisión de datos; en primer lugar porque se tiene muy poco ancho de banda, y luego debido a que son afectadas por las condiciones climáticas, principalmente en caso de huracanes y tormentas eléctricas(COSYE, 2013). No obstante y aunque dicho medio de comunicación no es de interés para este trabajo, sí podría realizarse posteriormente un estudio para determinar la factibilidad de este en la transmisión de datos seguros, mediante la implementación de técnicas de espectro ensanchado(CASTELLANOS, 2015).

Trunking

La UFC tiene contratada una flota la cual es utilizada para los servicios de comunicación de voz entre despachadores, estaciones, directivos y otros. Dicho servicio de comunicación, aunque puede soportar la transmisión de datos, no es fiable, pues el equipamiento instalado en los puntos repetidores no está diseñado para garantizar el servicio ininterrumpido de las comunicaciones, ni tiene en cuenta el sostenimiento del propio servicio ante desvanecimientos de la señal, ruidos, interferencias, ni cubre zonas de silencio. Por estas razones no es recomendable la utilización de este sistema como soporte para la transmisión segura de datos.

Telefonía

Todas las estaciones cuentan con un servicio de telefonía fija que provee ETECSA y que se utilizan alternativamente cuando fallan las comunicaciones vía radio o vía *trunking*. Se dispone de cinco líneas arrendadas solo para la conferencia.

El servicio de telefonía fija, pese a que soporta la transmisión de datos, no es un servicio privado recomendable para la transmisión segura de datos.

La UFC no es propietaria de todos los servicios de comunicaciones con que cuenta, un gran número son prestados por entidades ajenas a la actividad ferroviaria. Esto trae como consecuencia la falta de fiabilidad y demora en la reparación de posibles averías.

La documentación consultada ha demostrado que para Cuba la adquisición de tecnología de punta para las comunicaciones en función del ferrocarril se ha visto limitada por las regulaciones del bloqueo norteamericano. No obstante, se realizan inversiones que garantizan la seguridad de la actividad ferroviaria(CASTELLANOS, 2015).

Al igual que en cualquier país del mundo el sistema ferroviario en Cuba es un punto clave para el desarrollo del país. A pesar de haber sido uno de los países pioneros en la implementación de este tipo de sistema de transporte, es un hecho que el sistema ferroviario cubano actual se encuentra rezagado con respecto al desarrollo ferroviario que se viene dando a nivel mundial. Las líneas férreas no se encuentran en las óptimas condiciones y los trenes no superan los 50 km/h, lo que hace que el sistema ferroviario cubano actual sea obsoleto. Pero, aún en estas condiciones, necesita un sistema de comunicaciones para lograr una operatividad segura, y evitar lamentables accidentes, unido al aprovechamiento máximo de las vías y de esa forma de transporte.

2.2 Funcionamiento del BSA.

Para explicar el funcionamiento del sistema BSA se supone que a la estación A ingresa un tren cuyo destino es la estación B.

Los circuitos de vía cv1 y cv2 indican al operador de la estación A de la llegada de un tren, posteriormente el tren hace entrada al andén por la sección de vía (SV1, SV2 o SV3) correspondiente. Comienza entonces el proceso de señalización para expedir el tren a la estación B.

○ Autorización de vía

El operador de la estación A solicita vía telefónica al operador de la estación B el permiso de circulación a la estación B. Una vez que ambos operadores se ponen de acuerdo con respecto a la autorización de dicha circulación, el operador de la estación B oprime un botón activando un circuito, el cual mediante la utilización de relés vitales comprueba los siguientes puntos:

- Que no se ha recibido ninguna señal de consentimiento de la estación A.
- Que no se ha expedido un tren de la estación A.
- Que está libre el trecho del tren que se envió anteriormente.
- Que se dio la información de la llegada del tren anterior.
- Que no se ha anulado el consentimiento.

Una vez comprobadas eléctricamente estas condiciones, el sistema envía una señal eléctrica mediante la red de par de cobre de forma automática a la estación A (Envío del Consentimiento)(CASTELLANOS, 2015). Al recibirse la señal de consentimiento en la estación A se comprueban las siguientes condiciones:

- Que no se ha enviado consentimiento a la estación B.
- Que no se ha expedido ningún tren desde la estación B.
- Que el tren anterior llegó.

○ **Bloqueo del trecho**

Al comprobarse eléctricamente mediante los contactos de los respectivos relés vitales las anteriores condiciones, se conforma el circuito en la estación A, que le permite al operador de esta abrir la señal de salida para expedir el tren para el cual pidió consentimiento, se envía entonces la señal de Trecho Ocupado a la estación B. Una vez recibida esta señal en la estación B, se energiza un relé vital, el cual se auto bloquea, e impide nuevas expediciones o envíos de consentimiento. Queda entonces bloqueado el trecho entre ambas estaciones y el tren puede iniciar su recorrido desde la estación A hacia la estación B.

○ **Liberación del trecho**

Cuando el tren recorre el trecho y se aproxima a la estación B se establece un circuito que comprueba de forma automática la secuencia de ocupación y desocupación de las carrileras o secciones de vía del enclavamiento (circuitos de vía cv11, cv12, etc.) Figura 2.1.

Cumplida eléctricamente la etapa anterior y una vez que el operador de la estación B comprueba la llegada completa del tren a la estación mediante observación visual o información de la tripulación, se conforma el circuito para enviar a la estación A, la información de llegada, se envía entonces a la estación A, la señal de llegada del tren. Una vez recibida la señal de información de llegada del tren en la estación A, se restablecen

automáticamente los relés vitales, desbloqueándose el trecho y quedando así listo para un nuevo movimiento. De esta forma queda desbloqueado el trecho y ambas estaciones quedan listas para una nueva operación.

2.2.1 Consideraciones sobre las comunicaciones en el BSA en Cuba.

La comunicación resulta agotadora durante la aplicación del bloqueo semiautomático según han planteado especialistas de la UFC. El sistema de bloqueo implementado en Cuba es un sistema de bloqueo eléctrico a base de relés donde el factor humano se encuentra presente, lo que lo hace un sistema de bloqueo semiautomático (BSA). En este sentido se hace necesario completar el sistema BSA a partir del conteo de ejes, es necesario crear un sistema de comunicaciones punto a punto entre estaciones.

Los principales elementos del sistema BSA implementado en Cuba, constituyen la base para la concepción de diseños de posibles propuestas de comunicación entre autómatas.

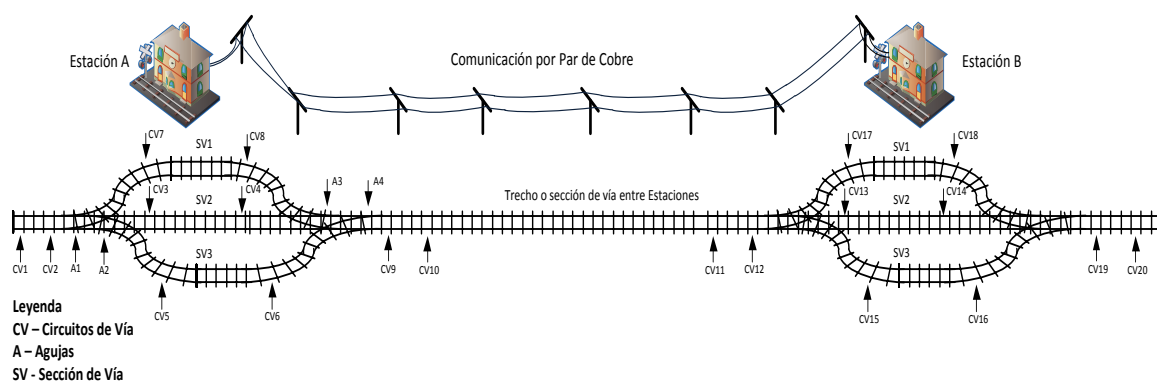


Figura 2.1 Sistema BSA simplificado entre dos estaciones. *Esta figura se encuentra ampliada en la Figura 1 del Anexo VI.

Como se aprecia, las estaciones A y B, cada una de estas consta de su sistema de enclavamiento a cuatro agujas compuesto por los correspondientes circuitos de vía y agujas cambia vía. Además ambas estaciones se encuentran enlazadas por una red de comunicaciones por par de cobre, para el envío de la señalización correspondiente entre ellas.

El sistema BSA a pesar de ser un sistema muy seguro en sus funciones de bloqueo, posee algunas desventajas en las comunicaciones (Martínez, 1993, ARDANUY, 2012). Las cuales se comentan a continuación:

- ✓ Carece de un canal de comunicación que alimente al sub-sistema de fiscalización permitiéndole determinar que el tren llegó a la estación con total integridad, simplemente se le deja al factor humano la tarea de determinar visualmente la llegada del tren. Existiendo la posibilidad de que un simple error humano por el envío de un tren a un trecho supuestamente desocupado, quedando todavía una fracción de otro en dicho trecho, podría provocar un accidente de consecuencias lamentables.
- ✓ Carece de un canal de comunicación que facilite la información exacta al operador, pues en estaciones con múltiples secciones de vía como las mostradas en la Figura 2.1. Si la sección de vía más próxima al andén se encontrara ocupada por un tren, se le dificultaría al operador de dicha estación la referencia visual hacia el resto de las secciones de vía. Impidiéndole tener la información requerida sobre un tren que pudiese arribar por otra de las secciones de vía.
- ✓ El simple hecho de ser un sistema semiautomático, indica que el factor humano influye directamente sobre las decisiones que se toman en el sistema. Posibilitando que errores humanos provoquen consecuencias lamentables.
- ✓ No todos los trechos entre estaciones cuentan con el sistema BSA implementado. Provocado en muchos de los casos por la inexistencia o deterioro de la red de par de cobre que debe garantizar la comunicación.

2.2.2 Sub-sistemas de fiscalización y comunicación.

El ferrocarril cubano se encuentra hoy en un proceso de cambio, donde se pronostica que el tráfico aumente sustancialmente y así poder generar un mayor aporte a la economía del país. Para lograr esto se deben buscar nuevas variantes que se destinen a mejorar la infraestructura de sistema ferroviario con el objetivo de mejorar las vías y las velocidades de los equipos que por ella circulan, lo que trae consigo que el sistema de seguridad implementado también tenga que sufrir cambios.

En el trabajo ´Propuesta de subsistema para fiscalizar la llegada completa de un tren a una estación` del autor Reinaldo Salazar Díaz. Se propone la utilización de un sub-sistema para fiscalizar la llegada de un tren a una estación, este sub-sistema utiliza sensores contadores de ejes Figura 2.2, que se ubican en las secciones de vía correspondientes (Anexo IV) y envían los datos requeridos a unos autómatas programables ubicados en las estaciones que

se encargan de procesar dicha información. Esta propuesta se desarrolla para dar respuesta a carencias evidenciadas en el sistema BSA, pues automáticamente se determina la llegada del tren a la estación, así como las características de este en cuanto a su tamaño.



Figura 2.2 Sensor contador de ejes RS 123 utilizado para la fiscalización.

Tomando como referencia esta propuesta y la figura: Sistema BSA simplificado entre dos estaciones (Figura 2.1), se confecciona la figura: Sub-sistemas para el sistema de bloqueo entre estaciones (Figura 2.3), donde solamente se tienen en cuenta, el sub-sistema de comunicación y el sub-sistema de fiscalización. Se confecciona este esquema convenientemente para que sirva de punto de partida en los diseños de las variantes de comunicación entre los autómatas, objetivo principal de este trabajo.

Es importante señalar que el hecho de utilizar autómatas programables pudiera convertir al sistema BSA en un sistema de Bloqueo Automático (BA). Cuestión que depende de cómo se repartiría el protagonismo en cuanto a la señalización del sistema de bloqueo, entre los autómatas y el factor humano.

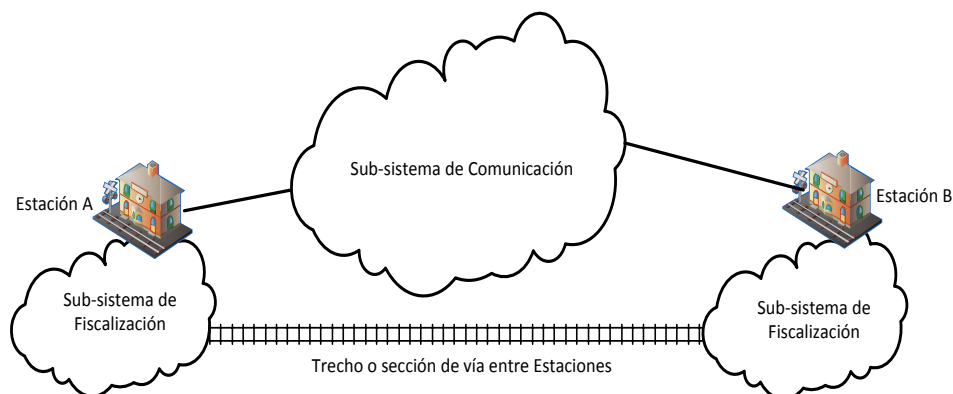


Figura 2.3 Sub-sistemas para el sistema de bloqueo entre estaciones.

- **Sub-sistema de fiscalización**

El sub-sistema de fiscalización se compone de los sensores contadores de ejes ubicados en las secciones de vía correspondientes y de los autómatas programables a utilizar. Se debe garantizar que los sensores y los autómatas se puedan comunicar entre sí, por tanto existe la posibilidad de que sean utilizados módulos intermedios que se encarguen de hacer que la información ofrecida por los sensores de ejes sea entendible para los módulos de entrada de los autómatas programables, la investigación(SALAZAR, 2014) tiene en cuenta todos estas variantes.

Es importante señalar que, la utilización de los autómatas para fiscalizar solamente la llegada o partida de un tren, subutilizaría las capacidades presentes en este tipo de dispositivo, el hecho de utilizar autómatas programables brinda la posibilidad de automatizar parte o en su totalidad los mecanismos de seguridad, posibilitando la utilización de nuevos sensores que brinden información adicional y que se realice el procesamiento correspondiente en los autómatas. Simplemente sería ubicar los nuevos sensores, conectarlos con los autómatas y actualizar la programación de los autómatas.

Debido a que el objetivo principal de este trabajo es el de diseñar propuestas para comunicar autómatas. No se profundiza en las potencialidades que pueden tener ellos. Pero los diseños de comunicación si tienen en cuenta futuras implementaciones, ya que dichos diseños se realizan sobre la base de redes de comunicaciones actuales de gran capacidad y que pueden dar respuesta al tráfico que puedan generar estos autómatas.

- **Sub-sistema de Comunicación**

El sub-sistema de comunicación se encarga de comunicar los autómatas entre sí y con la posible existencia de un centro de control o centro de despacho.

Las redes de par de cobre implementadas en algunas partes del sistema ferroviario cubano, no cumplen con las características requeridas para comunicar los autómatas. Se requiere de nuevas variantes de comunicación con mayores capacidades para proveer comunicación a los autómatas, redes como: GSM-R, Fibra Óptica, Enlaces de Radio, entre otros.

En este sentido el sistema ferroviario cubano lleva a cabo algunas inversiones desde hace ya algunos años para mejorar los sistemas de comunicaciones, con el objetivo de solucionar

la problemática de las comunicaciones entre estaciones y tramos de las principales líneas y ramales. El país lleva a cabo un proyecto que incluye un macro sistema de comunicaciones, el cual incluye tres grandes plataformas: sistema de transmisión, red de datos y sistema GSM-R(COSYE, 2013). Este macro proyecto beneficiará principalmente al Ministerio del Transporte (MITRANS), siendo el ferrocarril uno de los más beneficiados(CASTELLANOS, 2015).

El proyecto tiene un alcance sobre las siguientes estaciones, tramos de las líneas y ramales: Línea Central, Nudo de La Habana, Línea Cienfuegos, Ramal Nuevitas, Línea Bayamo y Ramal Manzanillo(COSYE, 2013).

2.2.3 Red de Fibra Óptica.

- **Medio de Transmisión y Sistema de Transporte**

El medio de transmisión utilizado es un cable de fibra óptica monomodo(VALLE and QUIRCE, 2013), de 36 pares, donde el MITRANS utilizará 12 pares.

La red de comunicación por fibra óptica, utiliza un sistema de transporte con una red SDH (Jerarquía Digital Síncrona), la Figura 2.4 muestra la línea central de transporte a implementarse en el ferrocarril cubano.

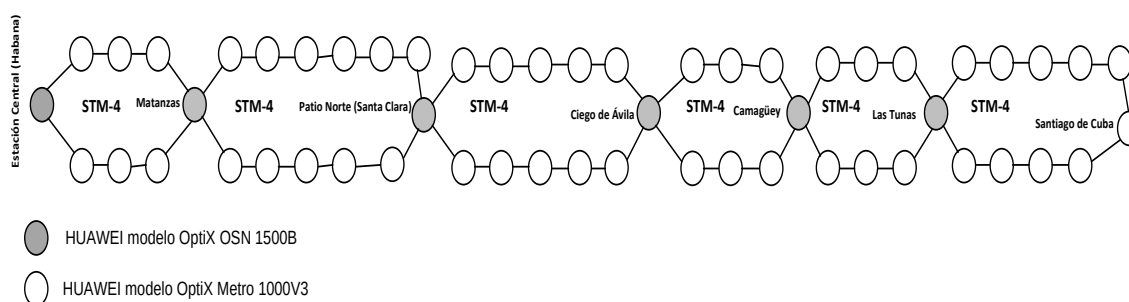


Figura 2.4 Línea central de transporte.*Esta figura se encuentra ampliada en la Figura 2 del Anexo VI.

La línea central se conecta mediante enlaces de tipo STM-4 (622 Mbps), dicha línea está conformada por seis anillos para crear redundancia (tolerante a fallos), los nodos principales ubicados en: La Habana (Estación Central), Matanzas, Santa Clara (Patio Norte), Ciego de Ávila, Camagüey y Las Tunas utilizan equipos HUAWEI modelo OptiX OSN 1500B(HUAWEI, 2015), el resto de los nodos ubicados en diferentes pueblos a lo largo de la línea central utilizan equipos HUAWEI modelo OptiX Metro

1000V3(HUAWEI, 2015). La tabla 2.1 resume alguna de las características de este equipamiento.

Tabla 2.1 Características del equipamiento Huawei utilizado en la línea central de transporte.

Modelo	Interfaces	Otros
<i>OptiX 1500B</i>	<i>PDH: E1, E3 y E4. SDH: STM-1, STM-4 y STM-16.</i>	<i>DWDM integrado.</i>
<i>OptiX Metro 1000V3</i>	<i>PDH: E1 y E3. SDH: STM-1 Y STM-4. Audio.</i>	<i>Capacidad de interconexión (crossconnect).</i>

Las líneas y ramales: Línea Sur, Línea de Guanajay, Línea de Güines, Ramal Regla, Ramal Cristina, Línea Cienfuegos, Ramal Nuevitas, Línea Bayamo y Ramal Manzanillo se conectarán a la línea central de transporte mediante redes de transporte de tipo PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona)(UIT, 2015b) con capacidades que van desde 2 x 2 Mbps hasta 16 x 2 Mbps y sistemas SDH a 155 Mbps (STM-1).

El sistema de transporte SDH consta con un sistema de gestión OptiX iManager T2000(HUAWEI, 2015), designado para redes medianas y pequeñas. Este sistema está compuesto fundamentalmente por un servidor y los softwares de aplicación. Este sistema permite fundamentalmente configurar remotamente todos los equipos y detectar las fallas que ocurran, este centro de gestión estará ubicado en Estación Central.

Las especificaciones en cuanto a arquitectura, definición y terminología, temporización, características de los bloques funcionales y gestión en las redes SDH. Se definen en las especificaciones de la UITG.803, G.810, G.811, G.783 y G.784 respectivamente(UIT, 2015b).

- **Red de Datos**

El diseño de la red nacional de transmisión de datos del MITRANS, según la documentación analizada, soporta las demandas actuales y futuras. Teniendo en cuenta el uso y evolución de las nuevas tecnologías de la información.

La Figura 2.5 muestra el *Backbone* de la red de datos del MITRANS, el cual está compuesto por cuatro nodos regionales interconectados entre sí, a los cuales están

conectados los diferentes nodos provinciales a una velocidad de 155 Mbps (STM-1). El protocolo para la transmisión de datos utilizado por el *Backbone* del MITRANS es EoSDH(PRAVDA et al., 2011). Los cuatro nodos regionales están conectados con el *Backbone* IP/MPLS(VELASCO et al., 2013) de ETECSA (Empresa de Telecomunicaciones de Cuba SA) para evacuar todo el tráfico que sea externo a la red de datos del MITRANS, incluyendo el tráfico de Internet.

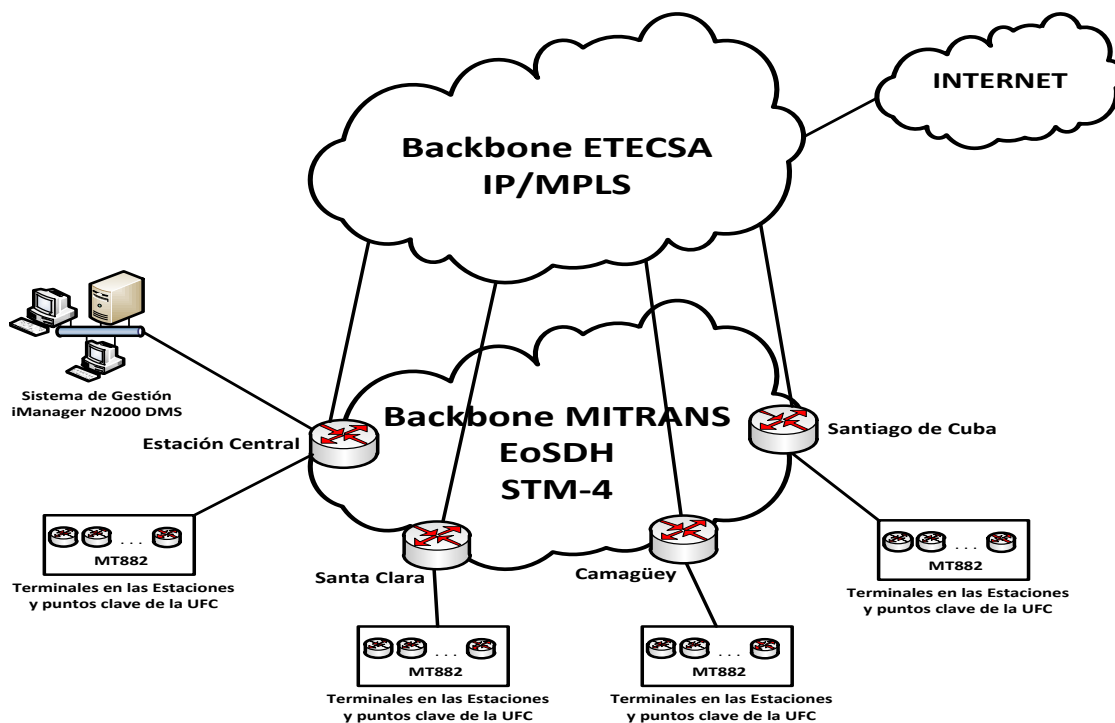


Figura 2.5 Red de datos MITRANS.

Las estaciones y puntos clave de la UFC se conectan al *Backbone* a través de las redes de acceso, la cuales utilizan como medio de transmisión enlaces de par cobre, empleando la tecnología ADSL2+ (*Asymmetric Digital Subscriber Line 2+*)(FERNÁNDEZ, 2013) con la que se puede aprovechar la infraestructura de pares de cobre existente, garantizando velocidades de conexión del orden de los 20 Mbps en bajada y 1.5 Mbps en subida. La Figura 2.6 muestra un esquema general de conexión para las redes de acceso que utiliza la tecnología ADSL2+.

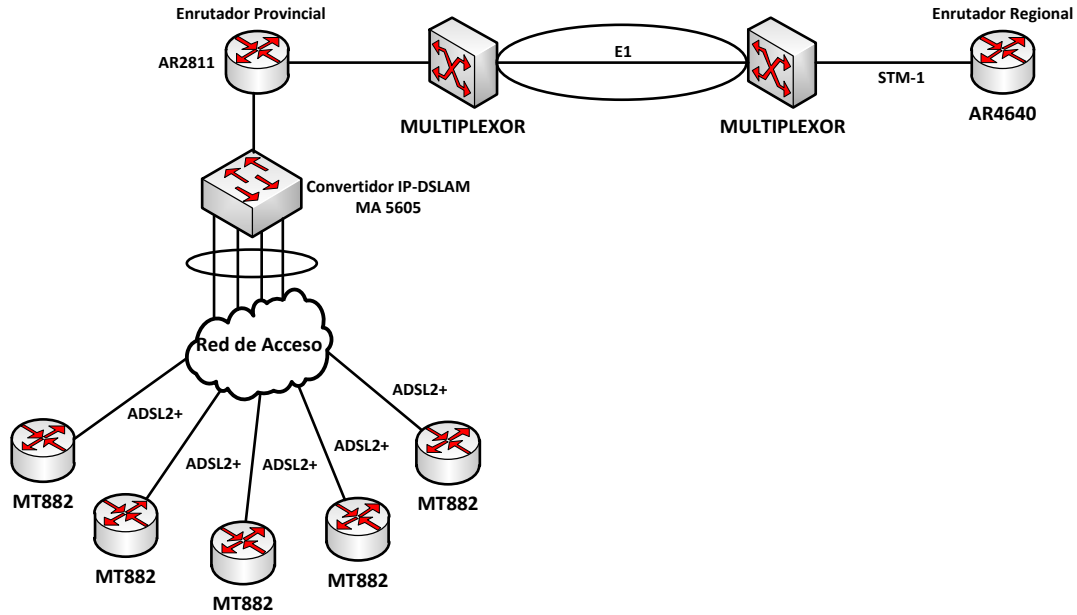


Figura 2.6 Esquema general de las redes de acceso.

La Figura 2.6 muestra como las estaciones y puntos clave de la UFC se conectan utilizando el equipo MT882(HUAWEI, 2015), a través de la red de par de cobre hasta el enrutador provincial (Huawei AR2811)(HUAWEI, 2015). Para posteriormente utilizar multiplexores, que tendrán la tarea de multiplexar dicho tráfico sobre el STM-1 correspondiente y que este viaje hasta el enrutador regional (Huawei AR 4640)(HUAWEI, 2015).

El equipo terminal que se utiliza en las estaciones o puntos clave de la UFC es el MT882(HUAWEI, 2015), el cual será el encargado de conectar las redes de área local (LAN) con el *Backbone* EoSDH del MITRANS. La tabla 2.2 muestra algunas características de este equipo. La Figura 2.7 muestra el panel trasero del equipo Huawei MT882.

Tabla 2.2 Características del Equipo Huawei MT882.

Equipo	Interfaces	Otros
Huawei MT882	Puerto RJ-11 conexión ADSL	Velocidad de Subida: 1.5 Mbps
	Puerto USB	Velocidad de bajada: 24Mbps
	Puerto RJ-45 Ethernet 10/100 Base-T	Otras Características: Servidor DHCP, NAT, Filtro IP, Firewall y bloqueo de protocolos.

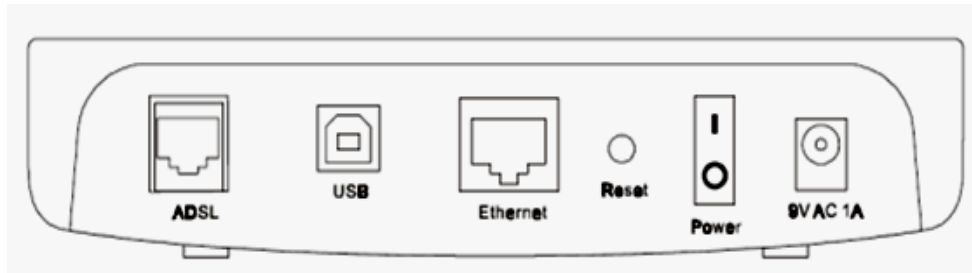


Figura 2.7 Panel trasero del equipo Huawei MT882.

El sistema de gestión que se instala en la red de datos, utiliza el estándar UIT-T M.3010(UIT, 2015a), la plataforma propuesta para la gestión es el *iManager- N2000* DMS(HUAWEI, 2015), la cual ofrece: planeamiento de los servicios, el monitoreo de la red y generar los reportes correspondientes, reducir los gastos de operación, así como proveer el servicio de ayuda en línea para los clientes, entre otras. De esta forma se garantiza la gestión de fallas, de procesos de configuración, de contabilidad, de rendimiento y de seguridad.

2.2.4 El sistema GSM-R y su red.

El sistema GSM-R a instalarse garantiza la comunicación para: los despachadores de trenes, la tripulación de los trenes, brigadas en la vía, personal de estaciones, personal de paso de nivel, directivos, entre otros(HUAWEI, 2007). La Figura 2.8 muestra el área de cobertura que se pretende tenga la red GSM-R sobre las líneas del ferrocarril cubano.

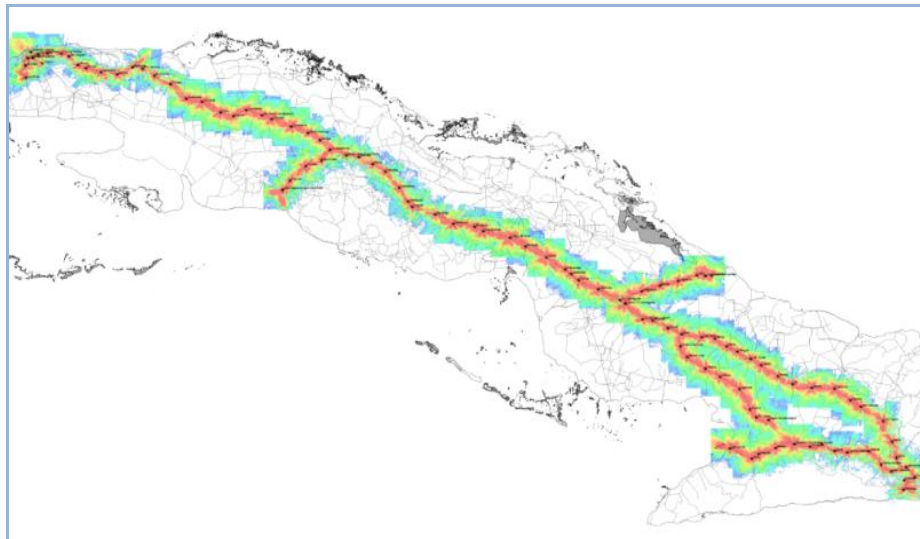


Figura 2.8 Simulación de la cobertura GSM-R en Cuba.

El equipamiento del sub-sistema de red está compuesto fundamentalmente por el MSC o centro de conmutación de móviles (Estación Central), dos controladores de estaciones base BSC (Estación Central y Camagüey), las estaciones base BTS ubicadas a lo largo de las líneas férreas en los puntos clave para la radio propagación, los transceptores móviles (a bordo del tren), transceptores portátiles, transceptores fijos y el sub-sistema de gestión y control. La Figura 2.9 muestra el equipamiento Huawei a utilizar como transceptores móviles, portátiles y fijos por el personal.



Figura 2.9 Transceptores Móviles, Portátiles y Fijos utilizados para la comunicación vía GSM-R.

La plataforma propuesta para la gestión de la red GSM-R es el sistema de gestión Huawei-iManager-M2000(HUAWEI, 2015), la cual provee de mantenimiento y control centralizado a todo el equipamiento GSM-R Huawei.

2.3 Autómatas Programables.

Un autómata programable o PLC (*Programmable Logic Controller*) es un dispositivo especial de control basado en un microprocesador que utiliza memoria programable para almacenar instrucciones y ejecutar funciones lógicas, aritméticas, de secuenciación y de conteo, con el fin de controlar máquinas y procesos. Este dispositivo electrónico sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. La Figura 2.10 muestra el esquema en bloques de un autómata programable(BALCELL, 2010).

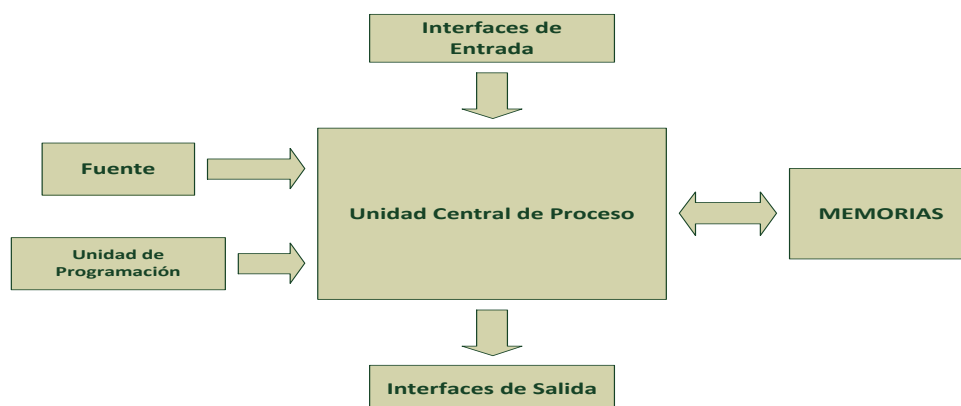


Figura 2.10 Esquema en bloques de un Autómata Programable.

Los autómatas programables ejecutan las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entradas obtenidas de sensores; al detectarse cambios en las señales de entradas, el autómata reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida correspondientes. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso (HERNÁNDEZ, 2014).

La tabla 2.3 muestra las principales compañías a nivel mundial encargadas del desarrollo de autómatas, muestra además el país de origen de dichas compañías así como la serie más potente de los autómatas construidos por estas compañías (BALCELL, 2010).

Tabla 2.3 Compañías principales en desarrollo de autómatas.

Compañía	Familia Autómata	País Productor
<i>Schneider Electric</i>	TSX	Francia
<i>Telemecanique y Siemens</i>	S7	Alemania
<i>OMRON</i>	CPL	Japón
<i>LG/LS</i>	MK	Corea del Sur
<i>ABB</i>	AC	Estados Unidos
<i>Mitsubishi</i>	FX	Japón
<i>Allen Bradley</i>	SLC	Estados Unidos
<i>Semaphore</i>	TBox-MS	Malasia

Los autómatas que se toman como referencia para el diseño de las propuestas de comunicación se seleccionan tomando como referencia las empresas cubanas COPEXTEL y CEDAI, ambas empresas comercializadoras de servicios y de este tipo de equipos. En los sitios web oficiales de esas empresas (COPEXTEL, 2015) y (CEDAI, 2015) se muestran los detalles referentes a los equipos que se comercializan.

A continuación se comentan algunas características de los autómatas seleccionados. Es importante señalar que los comentarios referentes a los autómatas a utilizar se enfocan principalmente sobre las características de los módulos de comunicación.

2.3.1 Autómatas de la compañía OMRON.

OMRON(OMRON, 2015a) es una compañía japonesa dedicada a la fabricación de equipos de automatización, especializada en los siguientes campos: automatización industrial, industria de componentes electrónicos y atención sanitaria.

El autómata escogido de la compañía OMRON fue el CS1D-CPU67H, un autómata de la gama media cuyas características son adecuadas para el desarrollo de este trabajo, además de que el mismo es comercializado por la empresa CEDAI. A continuación se exponen algunas características de este tipo de autómatas referidas a su CPU y a los determinados módulos de comunicación que serán utilizados en los diseños, el resto de las características de este autómata y otros de la serie CS1 se muestran en:(OMRON, 2010).

Las CPU de la serie CS1 de OMRON están disponibles con dos velocidades de procesador y cada una con distintas capacidades de memoria. Además de los modelos de CPU básicos, hay disponibilidad de versiones para operación redundante dual que admiten la sustitución de módulos de entrada y salida en caliente. La tabla 2.4 muestra un resumen de las principales características de la CPU correspondiente al autómata seleccionado.

Tabla 2.4 Las principales características de la CPU correspondiente al autómata OMRON.

<i>Modelo</i>	<i>Máximo # de puntos de E/S digitales</i>	<i>Capacidad de programa</i>	<i>Capacidad de memoria de datos</i>	<i>Velocidad de ejecución</i>	<i>Máx. # de unidades de E/S</i>	<i>Funciones adicionales</i>
CS1D-CPU67H	5.120	250 Kpasos	448 Kpalabras	20 ns	68	CPU para redundancia dual integral

Todo proceso controlado necesita de una comunicación entre los autómatas que lo componen para posibilitar el intercambio de información de control y de datos. OMRON utiliza una serie de protocolos ofreciendo soluciones de comunicación para diferentes arquitecturas. Dentro de los protocolos que soporta están: ASI, DeviceNet, ProfiBus, Can

Bus, Controller Link, Ethernet Industrial y Compo Bus. Los detalles referentes a cada uno de estos protocolos se pueden ver en:(ESPINOZA and RODRÍGUEZ, 2005).

La CPU CS1 proporciona tanto interfaces a redes abiertas y estándar como enlaces de red propios y económicos. Debido a que se trata de un autómata modular, en este trabajo se utilizan los módulos de comunicación CS1W-ETN21 y CS1W-SCU31-V1. A continuación se describen algunas características de dichos módulos.

- **Módulo de comunicación CS1W-ETN21**

Este módulo de comunicación soporta una amplia variedad de protocolos, la tabla 2.5 resume las características del mismo. Más detalles referentes a este módulo de comunicación se pueden encontrar en:(CABRONERO, 2010).

Tabla 2.5 Características del módulo de comunicación Ethernet.

<i>Modelo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Puertos</i>	<i>Protocolos</i>	<i>Clase de Unidad</i>	<i>Tipo de Conexión</i>
CS1W-ETN21	Ethernet	1 x 100 Base-Tx	UDP, TCP/IP Servidor FTP SMTP (correo electrónico) SNTP (ajuste de hora) Enrutamiento FINS Servicio de socket	Unidad de bus de CPU	Par de Cobre Conector RJ45

La Figura 2.11 muestra algunas características físicas del módulo de comunicación CS1W-ETN21.

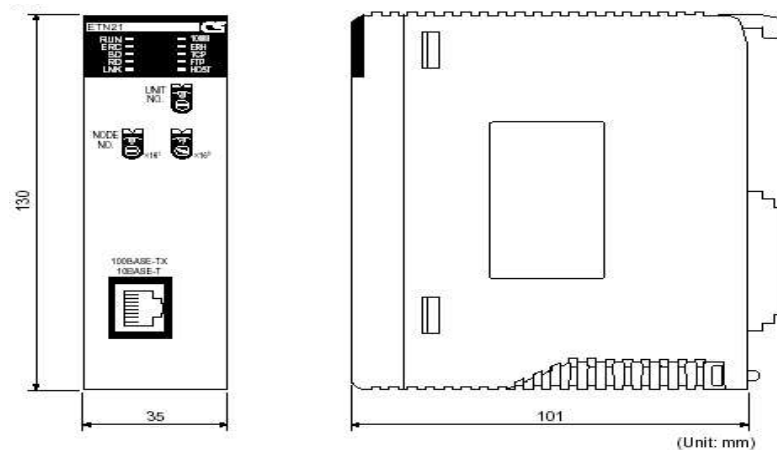


Figura 2.11 Características físicas del módulo de comunicación CS1W-ETN21.

- **Módulo de comunicación CS1W-SCU31-V**

A pesar de las potencialidades presentes en los autómatas OMRON los mismos no poseen soporte propio para el protocolo *ModBus*(MODBUS, 2015), un protocolo libre y de amplio uso mundial por sus características. OMRON crea entonces ciertos y determinados módulos para permitir la comunicación de autómatas OMRON con autómatas que utilicen a *Modbus* como protocolo, tal es el caso del módulo CS1W-SCU31-V, la tabla 2.6 resume las características del mismo.

Tabla 2.6 Características del módulo de comunicación Serie

<i>Modelo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Puertos</i>	<i>Protocolos</i>	<i>Clase de Unidad</i>	<i>Tipo de Conexión</i>
CS1W-SCU31-V	Serie	2xRS232/RS485	CompoWay/F, Host Link, NT Link, Modbus, Protocolo libre y Macro de protocolo	Unidad de bus de CPU	D-Sub, 9 pines

La Figura 2.11 muestra algunas características físicas del módulo de comunicación CS1W-SCU31-V.

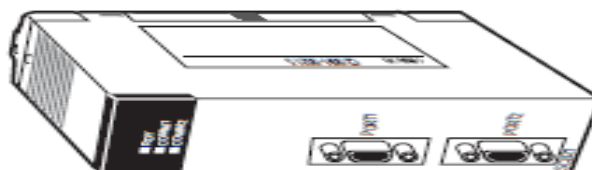


Figura 2.12 Características físicas del módulo de comunicación CS1W-SCU31-V.

2.3.2 La compañía SEMAPHORE.

SEMAPHORE(SEMAPHORE, 2015) es una compañía malaya destinada a la fabricación de equipos de automatización. Los autómatas escogidos para los diseños son: TBox-MS el autómata más potente fabricado por esta compañía y el autómata TBox-Gateway, un autómata sencillo y económico y con grandes potencialidades en cuanto a comunicación se trata. Se seleccionan puesto que sus características son adecuadas para el desarrollo de este trabajo, además de que los mismos son comercializados por la empresa COPEXTEL.

- **El autómata TBox-Gateway**

El autómata TBox-Gateway es un dispositivo avanzado de conversión de protocolo que ofrece un acceso inmediato a través de Internet a cualquier controlador local o dispositivo electrónico gracias a una solución rápida y sencilla para conectar múltiples dispositivos sobre múltiples protocolos y estándares de comunicación.

TBox-Gateway no es un autómata modular, por lo que posee integrado: un puerto Ethernet, un puerto serial RS232 y otro puerto serial RS485. Además la gama TBox-Gateway está disponible con módem GSM/GPRS o con módem PSTN 56Kbps.

- **El autómata TBox-MS**

El TBOX MS es la herramienta ideal para todos los tipos de tele gestión y de automatismos. Dotados de procesadores entre los más avanzados del mercado, el TBOX MS representa la variante más potente de entre los autómatas TBOX. De concepción totalmente modular, TBOX MS dispone de una arquitectura poderosa, flexible y de rápida instalación.

Los módulos de comunicación utilizados en los diseños son: MS-ETHER1, MS-PSTN, MS-GSM y MSR-GSM-R. La tabla 2.7 resume las características de cada uno de estos módulos de comunicación.

Tabla 2.7 Características de algunos de los módulos de comunicación del autómata TBox-MS.

Módulo de Comunicación	Protocolos	Velocidades	Otras	Descripción
MS-ETHER1	Modbus/TC P Mater y Esclavo, SMTP,FTP, HTTP y Ping	10/100 Mbps	Cable UTP o STP Conector RJ 45	1 puerto Ethernet
MS-PSTN	---	300 bps a 56 Kbps	Cable Telefónico Conector RJ-12 Modem V21, V23, V22, V22bis, V32, V32bis, V34, V90.	1 puerto RJ-12 Adicionalmente , puertos: Uno serial RS 232 Uno serial RS485
MS-GSM	---	---	CUATRI-BANDA : GSM850, GSM900, DCS1800, CS1900	Puertos seriales: Uno RS 232

MSR-GSM-R	---	---	GPRS: SMS y DATOS Canal de Subida: 876MHz - 880MHz. Canal de Bajada: 921MHz - 925MHz	Uno RS485 GSM para los ferrocarriles. Puertos seriales: Uno RS 232 Uno RS485
-----------	-----	-----	--	--

Puede generalizarse que con el empleo de estas propuestas se posibilita la superación de tecnologías atrasadas que hoy se están empleando en las comunicaciones; así como el uso de medios alternativos como el *Backbone* IP/MPLS de ETECSA a usarse como reserva caliente o en lugares en que no exista otra alternativa, que no se ajustan en toda su magnitud al ámbito ferroviario. Además constituye una perspectiva factible ante los altos costos existentes hoy en el mercado internacional para la adquisición de dispositivos e implementos dirigidos a la actualización de los sistemas destinados a las comunicaciones en el ámbito ferroviario.

2.4 Conclusiones Parciales.

- El aumento sustancial que se pronostica en el tráfico del sistema ferroviario cubano, exige hoy la búsqueda de nuevas variantes que contribuyan a mejorar la infraestructura del sistema ferroviario. Específicamente los sistemas de gestión y control y en particular la implementación de alternativas factibles y actualizadas para la comunicación.
- El sistema de bloqueo semi-automático (BSA), aplicado en Cuba, aun cuando puede resultar factible, no puede cumplir con eficiencia la función para la que está concebido, debido a las carencias que hoy presenta. Sobre todo en cuanto al sub-sistema de fiscalización, particularmente en cuanto a la necesidad de comunicaciones.

CAPÍTULO 3. PROPUESTAS DE COMUNICACIÓN

El siguiente capítulo se dedica a fundamentar los diseños de las propuestas que se realizan para la comunicación entre los autómatas que integrarán el sub-sistema de fiscalización. Propuestas que se realizan tomando como partida los autómatas seleccionados y por supuesto los módulos de comunicación presentes en estos autómatas.

3.1 Topología de red general para la realización de las propuestas de comunicación.

La topología de red utilizada para el diseño de las propuestas de comunicación (Figura 3.1) se construye a partir del esquema del subsistema para el bloqueo entre estaciones (Figura 2.3). Representa los autómatas a comunicar, uno en cada estación y el sub-sistema encargado de comunicar los mismos. Se escoge esta topología pues se considera que ella sirve para mostrar de una manera simplificada los diseños propuestos.



Figura 3.1 Topología de red a utilizar para el diseño de las propuestas de comunicación. Es importante señalar que con el objetivo de simplificar los diseños, se asume que en cada estación solamente existe un autómata, desde el punto de vista de los diseños de comunicación es indiferente, pues mostrando como comunicar un autómata, es suficiente

para saber cómo comunicar la cantidad de autómatas que se requieran. Se recomienda entonces instalar en cada estación un conjunto de autómatas que respondan a la arquitecturas “2 de 3 o “2 de 2”, arquitecturas orientadas a la seguridad intrínseca (*failsafe*)(LLORET, 2012).

Las propuestas de comunicaciones que se diseñan pueden garantizar una eficiente transmisión de los datos generados por el sub-sistema de fiscalización, debido a que son datos de poco tamaño, pues simplemente se tiene que comunicar la cantidad de ejes (2 a 300 ejes) y un estado (‘0’ o ‘1’). Además de no ser necesaria la llegada instantánea de los datos a la estación destino, debido a que el tiempo entre la expedición de un tren y la llegada del mismo a la otra estación es de mínimo 15 minutos.

3.2 Propuestas de comunicación entre autómatas OMRON.

La Figura 3.2 muestra el diseño de la primera de las propuestas para la comunicación entre autómatas OMRON, esta propuesta solamente garantiza la comunicación entre autómatas OMRON o la comunicación entre autómatas OMRON y otro autómata con soporte para el protocolo *Profibus*. A continuación se describen las características de la propuesta.

Aprovechando el módulo de comunicación CS1-ETN21 con soporte para Ethernet a 10/100 Mbps, se puede conectar el autómata CS1D-CPU67H a la red de área local (LAN) de la estación, posibilitando así aprovechar los disímiles protocolos soportados por este módulo de comunicación (FTP, SMTP, etc.). Tabla 2.3. Estos protocolos posibilitan de obtener informes de los autómatas sobre el funcionamiento del sub-sistema de fiscalización vía correo electrónico o utilizando un servidor para la transferencia de ficheros (Servidor FTP), además de poder recibir mediante estas vías posibles alarmas del sub-sistema. Se recomienda utilizar cable UTP categoría 5 o con blindaje STP categoría 5, estos permiten trabajar a 100 Mbps(KAY et al., 2014).

Una vez que se tienen a ambos autómatas conectados a sus respectivas LAN, se hace necesario conectar esas LAN al *Backbone* de datos EoSDH del MITRANS de modo que se posibilite la comunicación entre los autómatas.

La mayoría de las estaciones y puntos clave de la UFC constarán con los equipos terminales MT882, equipo que tiene en conjunto con otros, la función de comunicar a

través de la red de acceso a las estaciones y puntos clave de la UFC con el *Backbone* EoSDH del MITRANS. Aprovechando la función de este equipo y además el hecho de que el mismo consta con una interfaz de comunicación Ethernet también a 10/100 Mbps, se conecta la LAN al MT882, posibilitando el acceso del autómata al *Backbone* EoSDH del MITRANS y por consiguiente la comunicación entre autómatas.

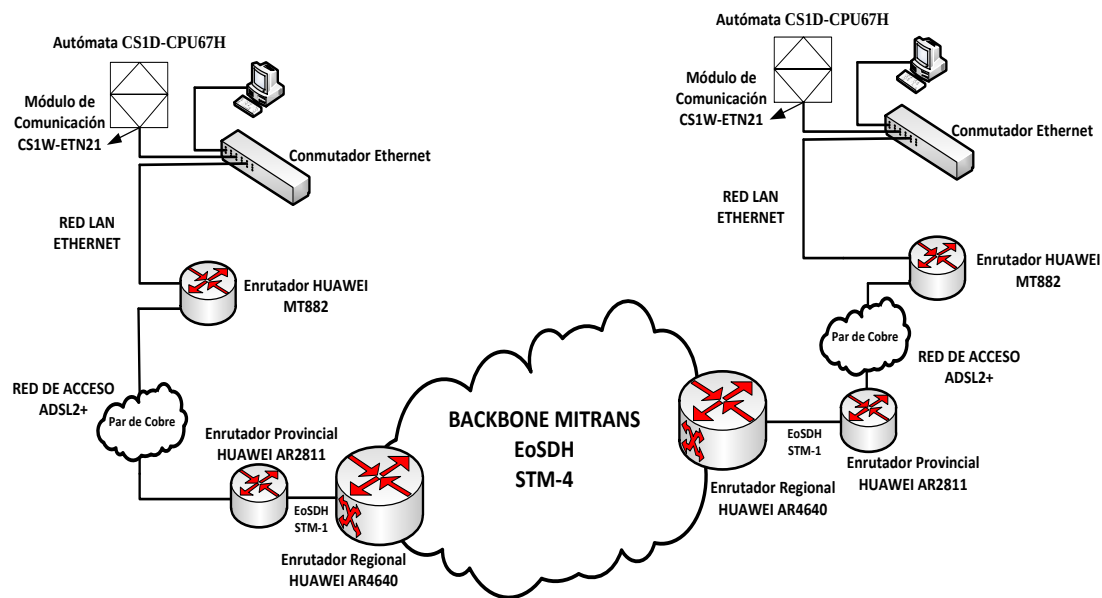


Figura 3.2 Propuesta de comunicación entre autómatas OMRON utilizando el Backbone de datos EoSDH del MITRANS.

3.3 Propuestas de comunicación combinando autómatas OMRON con autómatas TBox-Gateway.

Los diseños de propuestas que se muestran en este epígrafe se destinan a explotar variantes de comunicación que utilizando solamente autómatas OMRON fuesen imposibles. Sin embargo, combinando estos autómatas con otros como el TBox-Gateway, obtenemos como resultado un autómata OMRON mejorado en cuanto a las alternativas de comunicación.

Para lograr la comunicación entre un autómata OMRON con algún otro autómata que utilice otro protocolo, como por ejemplo: el protocolo *ModBus*, se propone la variante mostrada en la Figura 3.3. Se pone como ejemplo el protocolo *ModBus*, pues el mismo es un protocolo de comunicación libre y de amplio uso a nivel mundial.

Esta variante de comunicación también hace uso de los equipos MT882 para comunicar las LAN al *Backbone* EoSDH del MITRANS, la diferencia estaría en que en vez de utilizar un módulo de comunicación Ethernet en el autómata se utiliza el módulo de comunicación serial CS1W-SCU31-V. Este módulo posibilita al autómata comunicarse a través del puerto serial RS485 con otros autómatas que utilicen el protocolo *ModBus*, ahora bien, para comunicar el autómata OMRON a la LAN de la estación se propone utilizar entonces el autómata TBox-Gateway con soporte para el protocolo *ModBus*, un autómata barato y que permite la comunicación a través del puerto serial RS485 con el autómata OMRON y con la LAN Ethernet a 10/100 Mbps. De esta forma se comunica el autómata OMRON con el *Backbone* de datos EoSDH del MITRANS.

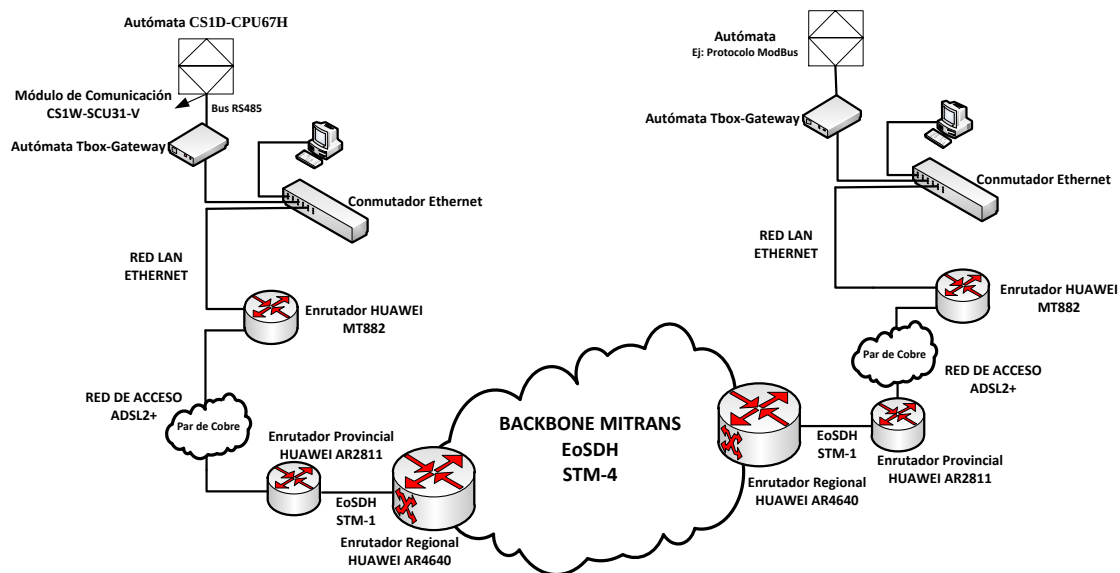


Figura 3.3 Propuesta de comunicación entre autómatas OMRON y otros, utilizando el *Backbone* de datos EoSDH del MITRANS.

Otra variante para la comunicación entre autómatas OMRON utilizando un nuevo subsistema de comunicación se muestra en la Figura 3.4. En esta variante se utiliza como subsistema de comunicación la red de telefonía celular de la empresa Cubacel. Utilizando el módulo de comunicación serial CS1W-SCU31-V se comunica vía RS485 al autómata OMRON con el autómata TBox-Gateway el cual viene equipado con un modem para la comunicación GSM/GPRS. La red GSM de Cubacel se comunica con el *Backbone* IP/MPLS de ETECSA y este a su vez con el *Backbone* EoSHD del MITRANS.

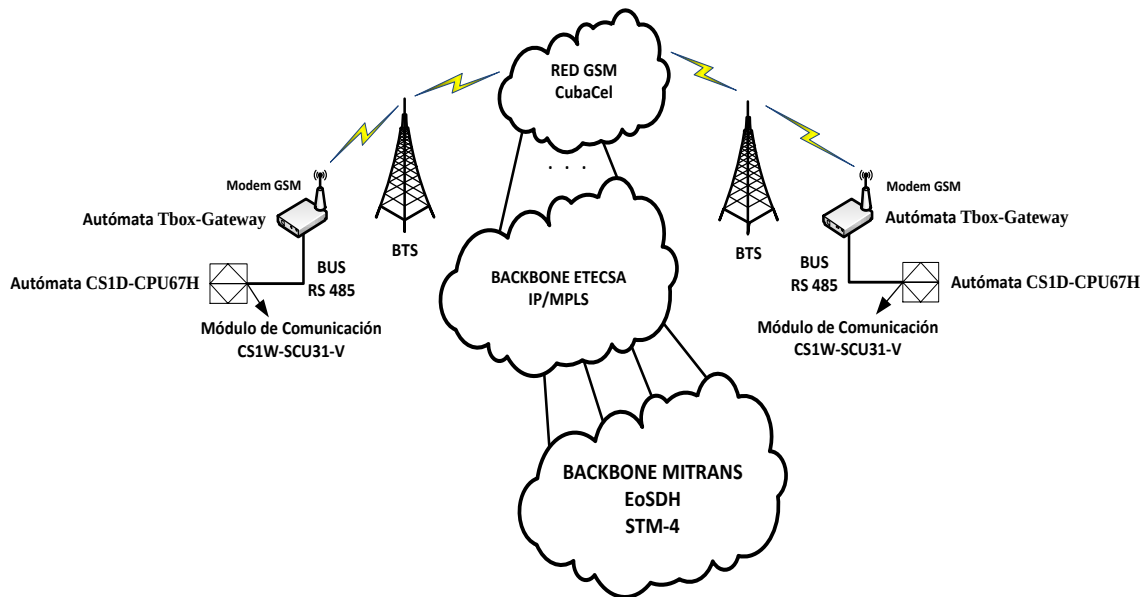


Figura 3.4 Propuesta de comunicación entre autómatas OMRON utilizando como sub-sistema de comunicación la red GSM de Cubacel.

En el caso de las provincias donde no tienen acceso al Backbone de datos EoSDH del MITRANS se diseña la propuesta de la Figura 3.5. Esta variante utiliza el Backbone de datos IP/MPLS de ETECSA. Utilizando el módulo de comunicación serial CS1W-SCU31-V se comunica vía RS485 al autómata OMRON con el autómata TBox-Gateway el cual viene equipado con un modem para la comunicación vía telefónica (PSTN)(MOYA and PASTOR, 2006). Luego utilizando el par telefónico se comunica con el Backbone IP/MPLS de ETECSA a una velocidad de hasta 56 Kbps.

Es importante señalar que la gama de los autómatas TBox-Gateway vienen equipados con un Módem GSM/GPRS o con un Módem PSTN para la comunicación a velocidades de hasta 56 Kbps. Por tanto los autómatas TBox-Gateway de la Figura 3.4 y Figura 3.5 no son del mismo tipo.

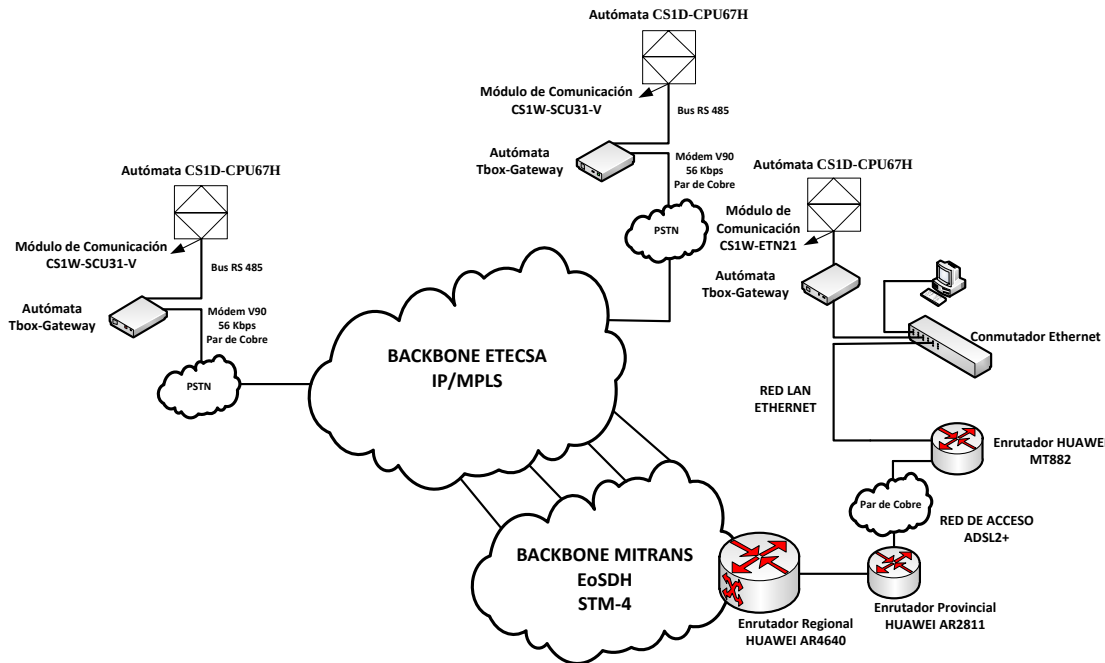


Figura 3.5 Propuesta de comunicación entre autómatas OMRON utilizando el *Backbone* de datos IP/MPLS de ETECSA.

3.4 Propuestas de comunicación entre autómatas TBox-MS.

Los diseños de propuestas que se muestran en este epígrafe se destinan a explotar las variantes de comunicación presentes en los autómatas TBox-MS.

La Figura 3.6 muestra el diseño de la primera de las propuestas para la comunicación entre autómatas TBox-MS, utilizando el módulo de comunicación MS-ETHER-1 se comunica el autómata TBox-MS a la red LAN de la estación, posibilitando así aprovechar los disímiles protocolos soportados por este módulo de comunicación (FTP, SMTP). Estos protocolos posibilitan obtener informes del autómata sobre el funcionamiento del sub-sistema de fiscalización vía correo electrónico o utilizando un servidor para la transferencia de ficheros (Servidor FTP), además de poder recibir mediante estas vías posibles alarmas del sub-sistema. Se recomienda utilizar cable UTP categoría 5 o con blindaje STP categoría 5, estos permiten trabajar a 100 Mbps; aunque en realidad la velocidad del enlace está limitada a 5 Mbps por el uso de tecnología ADSL2+.

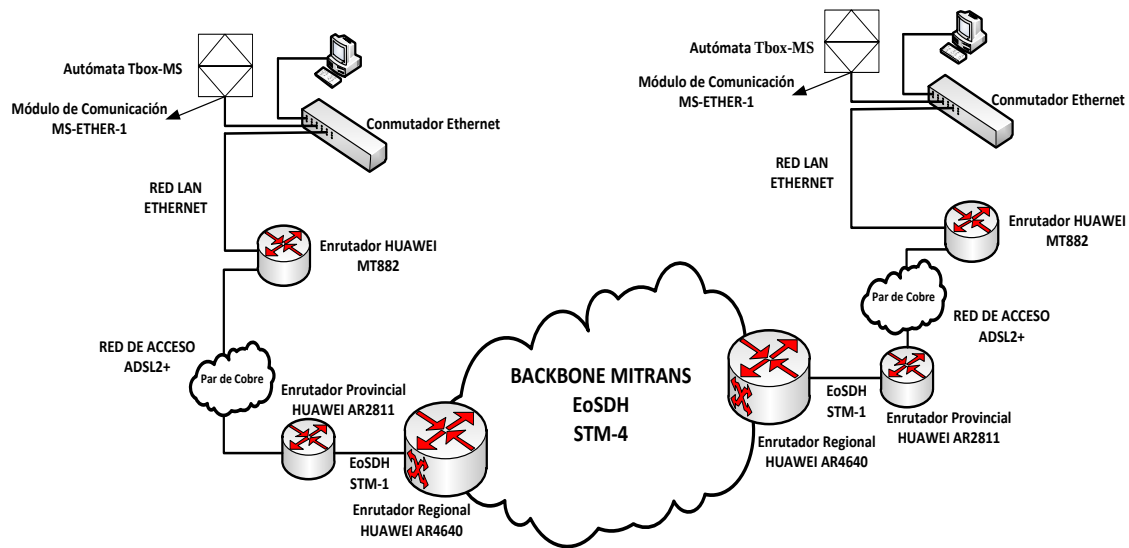


Figura 3.6 Propuesta de comunicación entre autómatas TBox-MS utilizando el *Backbone* de datos EoSDH del MITRANS.

Una vez que se tienen a ambos autómatas conectados a sus respectivas LAN, se hace necesario conectar esas LAN al *Backbone* de datos EoSDH del MITRANS de modo que se posibilite la comunicación entre los autómatas. Se conecta la LAN entonces al equipo terminal MT882, el cual permite conectar la LAN al *Backbone* EoSDH del MITRANS y por consiguiente la comunicación entre los autómatas.

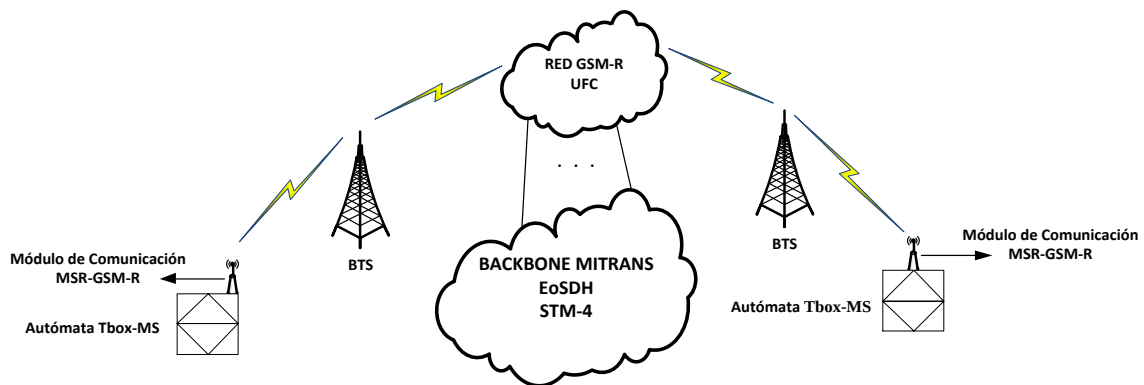


Figura 3.7 Propuesta de comunicación entre autómatas TBox-MS utilizando la red GSM-R del ferrocarril.

La Figura 3.7 muestra otra variante para la comunicación entre autómatas TBox-MS utilizando un nuevo sub-sistema de comunicación. En esta variante se utiliza como sub-sistema de comunicación la red GSM-R propia del ferrocarril. Utilizando el módulo de comunicación MSR-GSM-R (Modem GSM-R) el autómata TBox-MS se comunica

directamente a la red GSM-R, red que tiene comunicación directa con el *Backbone* EoSDH del MITRANS.

En el caso de las provincias donde la red GSM-R de la UFC no tenga cobertura se diseña la propuesta de la Figura 3.8. En esta variante se comunican los autómatas TBox-MS utilizando como sub-sistema de comunicación la red de telefonía celular de la empresa Cubacel. Utilizando el módulo de comunicación MS-GSM (Modem GSM/GPRS) el autómata TBox-MS se comunica directamente a la red GSM-R, red que tiene comunicación directa con el *Backbone* IP/MPLS de ETECSA y este a su vez con el *Backbone* EoSDH del MITRANS.

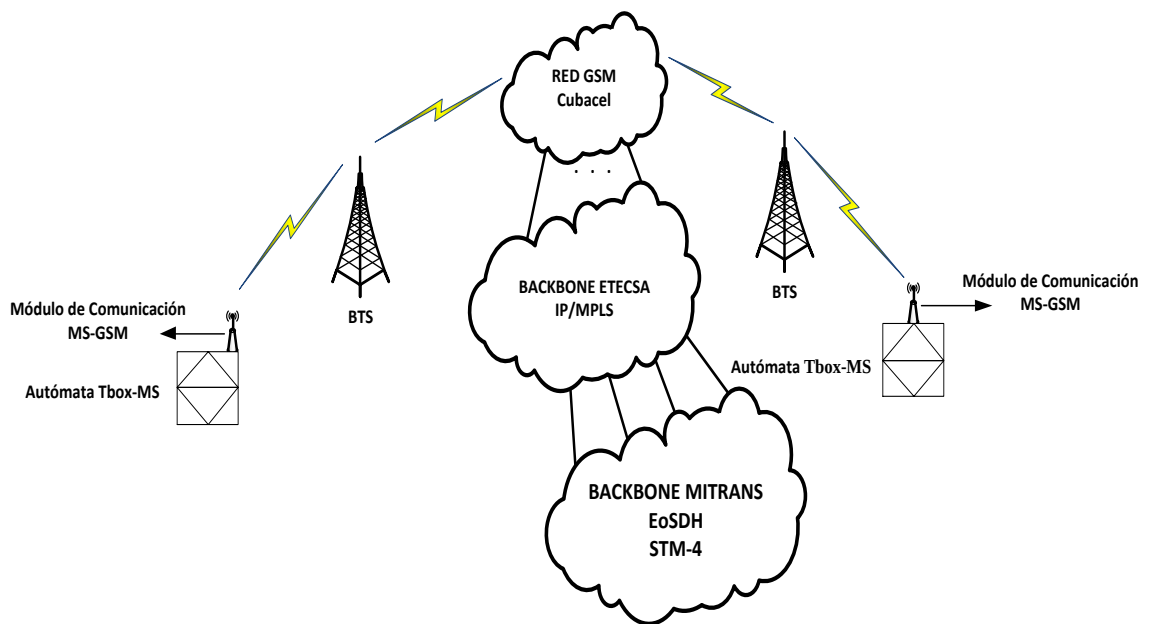


Figura 3.8 Propuesta de comunicación entre autómatas TBox-MS utilizando la red GSM de Cubacel.

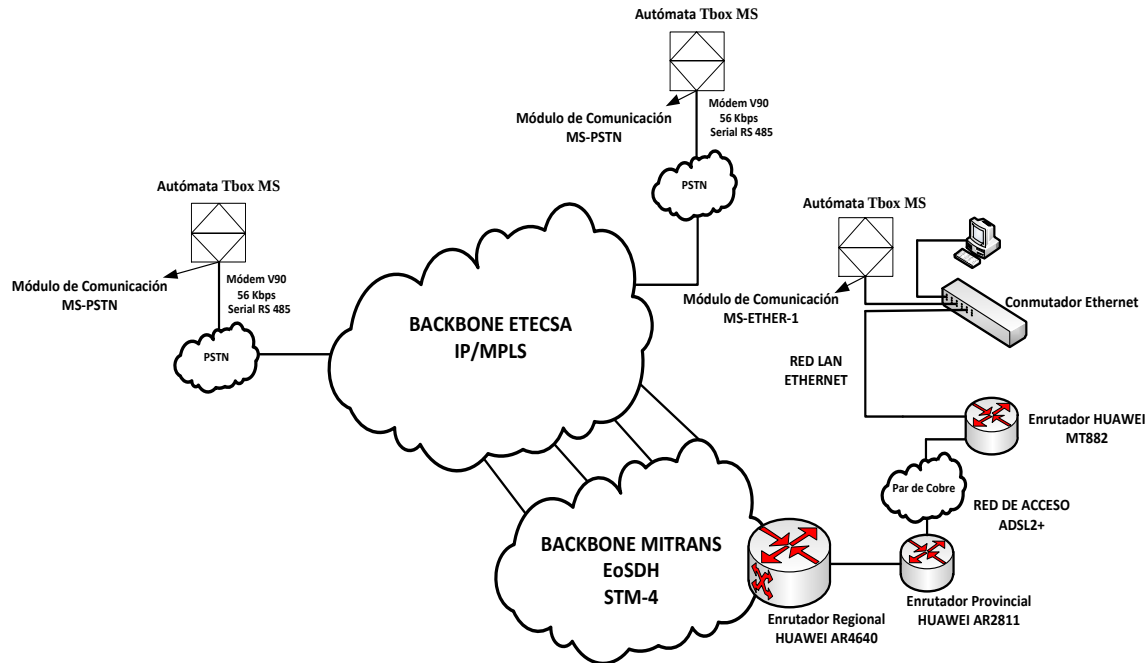


Figura 3.9 Propuesta de comunicación entre autómatas TBox-MS utilizando el *Backbone* de datos IP/MPLS de ETECSA. *Esta figura se encuentra ampliada en la Figura 3 del Anexo VI.

En el caso de las provincias donde no tienen acceso al *Backbone* de datos EoSDH del MITRANS se diseña la propuesta de la Figura 3.9. Esta variante utiliza el *Backbone* de datos IP/MPLS de ETECSA. Empleando el módulo de comunicación MS-PSTN se comunica el autómata TBox-MS directamente utilizando el par telefónico a una velocidad de hasta 56 Kbps con el *Backbone* IP/MPLS de ETECSA, *Backbone* que tiene comunicación directa con el *Backbone* EoSDH del MITRANS.

3.5 Propuesta general para el sub-sistema de comunicación.

La Figura 3.10 muestra un resumen de las propuestas de comunicaciones diseñadas utilizando el autómata OMRON con módulo de comunicación CS1W-SCU31-V en combinación con el autómata TBox-Gateway y el autómata TBox-MS. Se puede ver que para el autómata OMRON con módulo CS1W-SCU31-V son tres las variantes para la comunicación, mientras que para el autómata TBox-MS, son cuatro las variantes de comunicación.

Tabla 3.1 Desglose del costo del equipamiento por Propuesta

	Equipamiento y Servicio	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Propuesta 1	Autómata CS1D-CPU67H **	8627.50 CUC	1	8627.50 CUC
	Módulo de Comunicación CS1W-ETN21 **	2023 CUC	1	2023 CUC
Propuesta 2	Autómata CS1D-CPU67H **	8627.50 CUC	1	8627.50 CUC
	Módulo de Comunicación CS1W-SCU31V **	1083 CUC	1	1083 CUC
	Autómata TBox-GTWY-E *	477.42 CUC	1	477.42 CUC
Propuesta 3	Autómata CS1D-CPU67H **	8627.50 CUC	1	8627.50 CUC
	Módulo de Comunicación CS1W-SCU31V **	1083 CUC	1	1083 CUC
	Autómata TBox-GTWY-GE *	1517.23 CUC	1	1517.23 CUC
	Servicio GSM Cubacel	Convenido con el Proveedor del Servicio	---	---
Propuesta 4	Autómata CS1D-CPU67H **	8627.50 CUC	1	8627.50 CUC
	Módulo de Comunicación CS1W-SCU31V **	1083 CUC	1	1083 CUC
	Autómata TBox-GTWY-PE *	1294.40 CUC	1	1294.40 CUC
	Servicio RAS ETECSA (PSTN)	Convenido con el Proveedor del	---	---

		Servicio		
Propuesta 5	Autómata TBox-MS *			
	Rack 10 Slots *	194.95 CUC	1	194.95 CUC
	MS-CPU16E *	816.37 CUC	2	1632.74 CUC
	MS-PS230V *	316.80 CUC	1	316.80 CUC
	MS-4AI420 *	426.46 CUC	2	853.20 CUC
	MS-RELAY *	365.54 CUC	2	731.08 CUC
	MS-ETHER1 *	353.35 CUC	1	353.35 CUC
Propuesta 6	Autómata TBox-MS *			
	Rack 10 Slots *	194.95 CUC	1	194.95 CUC
	MS-CPU16E *	816.37 CUC	2	1632.74 CUC
	MS-PS230V *	316.80 CUC	1	316.80 CUC
	MS-4AI420 *	426.46 CUC	2	853.20 CUC
	MS-RELAY *	365.54 CUC	2	731.08 CUC
	MSR-GSM-R **	780 USD	1	780 USD
	Autómata TBox-MS *			
	Rack 10 Slots *	194.95 CUC	1	194.95 CUC
	MS-CPU16E *	816.37 CUC	2	1632.74 CUC
	MS-PS230V *	316.80 CUC	1	316.80 CUC

Propuesta 7	MS-4AI420 *	426.46 CUC	2	853.20 CUC
	MS-RELAY *	365.54 CUC	2	731.08 CUC
	MS-GSM *	426.46 CUC	1	426.46 CUC
	Servicio GSM Cubacel	Convenido con el Proveedor del Servicio	---	---
Propuesta 8	Autómata TBox-MS *			
	Rack 10 Slots *	194.95 CUC	1	194.95 CUC
	MS-CPU16E *	816.37 CUC	2	1632.74 CUC
	MS-PS230V *	316.80 CUC	1	316.80 CUC
	MS-4AI420 *	426.46 CUC	2	853.20 CUC
	MS-RELAY *	365.54 CUC	2	731.08 CUC
	MS-PSTN *	292.43 CUC	1	292.43 CUC
	Servicio RAS ETECSA (PSTN)	Convenido con el Proveedor del Servicio	---	---

Notas tabla 3.1:

* Precio de comercialización COPEXTEL.

** Precio según: (OMRON, 2015b).

El único requerimiento para los conmutadores de tipo Ethernet utilizados en las propuestas 1, 2 y 5 es que sean conmutadores de capa 2, cualquier variante de este tipo de equipamiento que cumpla con esta condición puede ser utilizada. Se recomienda utilizar un equipo económico y de una marca reconocida, como puede ser: 3COM(3COM, 2015), CISCO(CISCO, 2015), HUAWEI(HUAWEI, 2015) o ALCATEL(ALCATEL, 2015).

Desde el punto de vista económico y medioambiental, se considera que la inversión se justifica pues la misma ayuda a hacer más eficiente el sistema de seguridad del ferrocarril cubano, disminuyendo los índices de accidentalidad motivados por la presencia de alguna sección no fiscalizada de material rodante en la vía, teniendo en cuenta que por la gran masa de estos medios una colisión siempre tiene consecuencias catastróficas. Desde el punto de vista económico en menores pérdidas económicas en recursos tractivos, material rodante, mercancías y de vidas humanas; y desde el punto de vista medioambiental por la importancia que tiene garantizar un transporte integro de mercancías que pudieran ser lesivas al medioambiente.

3.7 Conclusiones Parciales.

- Las propuestas de comunicación que se diseñan a partir de los módulos de comunicación presentes en los autómatas escogidos, constituyen el factor fundamental a tener presente, lo que implica que en el caso de que se utilicen autómatas diferentes, debe tenerse en cuenta que ellos posean los módulos de comunicación necesarios para ser utilizados en las propuestas diseñadas.
- Las propuestas de comunicación diseñadas, están destinadas a incrementar los indispensables niveles de actualización y de efectividad del Sistema de Bloqueo Semiautomático, para un mejor funcionamiento del transporte ferroviario cubano.

CONCLUSIONES

1. Los sustentos teóricos relacionados con las telecomunicaciones, su evolución y aplicación en los diferentes sistemas de gestión y control de la circulación ferroviaria en el mundo y en Cuba; así como con los sistemas de bloqueo y su incidencia en la seguridad ferroviaria, permiten fundamentar propuestas de comunicación de factibilidad en este ámbito.
2. La caracterización del estado actual de los sistemas de gestión y control y la comunicación en el escenario ferroviario en Cuba, evidencian las carencias del BSA que hoy provocan insuficiencias que generan consecuencias negativas, al estar limitadas las posibilidades de seguridad y de eficiencia en el aprovechamiento de las redes ferroviarias.
3. Las propuestas de comunicaciones diseñadas, brindan la posibilidad para futuras expansiones con respecto a la utilización de las capacidades de los autómatas, teniendo en cuenta la perspectiva de incremento substancial del movimiento de trenes de carga y de pasaje en el sistema ferroviario cubano, en función del beneficio social y del desarrollo del país.

RECOMENDACIONES

Se recomienda considerar los siguientes aspectos:

1. Implementar al menos dos de las variantes de comunicación diseñadas para garantizar redundancia.
2. En el caso de utilizar otros autómatas, verificar que estos cuenten con los módulos de comunicación necesarios para ser utilizados en las propuestas de comunicación diseñadas.
3. A pesar de que en los diseños de las propuestas de comunicación se asume que en cada estación solamente existe un autómata, utilizar arquitecturas orientadas a la seguridad intrínseca, arquitecturas “2 de 3” o “2 de 2”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3COM. 2015. *3COM. Computadoras, Comunicaciones y Compatibilidad*. [Online]. Available: www.3com.com [Accessed Agosto 2015].
- ALCATEL. 2015. *Alcatel-Lucent* [Online]. Available: www.alcatel-lucent.com [Accessed Agosto 2015].
- ALONSO, C. & ARDANUY, J. M. 1998. Sistema ERTMS. *Ferroviaria* 98, 1, 8.
- ALONSO, J. I., FRANCO, C., MELLADO, F., PÉREZ, M., PLAZA, J. F. & RAMOS, V. 2002. *Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos: Entornos Ferroviarios.*, Madrid, España Ibergraphi.
- ALVERO, F. 1990. Diccionario Manual de la Lengua Española. In: EDUCACIÓN., P. Y. (ed.) *Cervantes*.
- ARDANUY, J. M. 2012. *Análisis de la evolución de la interoperabilidad y de la seguridad ferroviaria en Europa en el periodo 1991-2011 y Propuestas de mejora*. Tesis Doctoral UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.
- AZA, J. M. & HERNÁNDEZ, V. 2011. Las telecomunicaciones y ferrocarril en España. *Revista Via-Libre* [Online]. Available: www.tecnica-vialibre.es [Accessed junio 2015].
- BADUGU, S. & MOVVA, A. 2013. Positive train control. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3, 304-307.
- BALCELL, J. 2010. *Autómatas Programables. Fundamentos, Manejo, Instalación y Prácticas.*, La Habana, Félix Varela
- CABRONERO, A. 2010. Módulo CS1/CJ1-ETN21. Guía Rápida. OMRON Electronics, S.A.
- CAMPOS, F., RUS, J. D., MENDOZA, B. & ANGOITI, I. D. 2009. El transporte ferroviario de alta velocidad: una visión económica.
- CAÑIZARES, M. P. 2009. Trenes bajo sistema CBTC, en metro de Madrid para aumentar las frecuencias. *Vía libre*, 32-36.
- CASTELLANOS, D. 2015. El crecimiento del PIB y el ferrocarril cubano: pasado y presente *Diario de Cuba*, 30 julio 2015.

- CEDAI. 2015. www.cedai.com. [Accessed Abril 2015].
- CEI. 2015. *Comisión Electrotécnica Internacional* [Online]. <http://www.iec.ch/>. [Accessed Abril 2015].
- CELENEC. 2015. *Comité Europeo de Normalización Electrotécnica* [Online]. <http://www.cenelec.org/>. [Accessed Mayo 2015].
- CEN. 2015. *Comité Europeo de Normalización* [Online]. <http://www.cen.eu/>. [Accessed Mayo 2015].
- CÉSPEDÉS, L. 2015. El ferrocarril... a su paso. *GRANMA*, 20 enero 2015.
- CISCO. 2015. *CISCO System, Inc* [Online]. Available: www.cisco.com [Accessed Agosto 2015].
- COPEXTEL. 2015. <http://www.cepec.cu>. [Accessed Julio 2015].
- COSYE 2013. Monografía Proyecto. *Inversiones*. Habana: Proyectos.
- DURÁN, J. 2010. Funcionalidad del sistema europeo de gestión de tráfico ferroviario e implantación en línea de alta velocidad Madrid-Valladolid.
- ESCRIBANO, I. 2008. Simulador de Enclavamientos y Bloqueos Ferroviarios. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.
- ESPINOZA, N. & RODRÍGUEZ, J. 2005. *Redes de PLC de la casa OMRON. Trabajo final de curso de AUTI*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- ETSI. 2015. *European Telecommunications Standards Institute* [Online]. <http://www.etsi.org/>. [Accessed Junio 2015].
- EZKERRA, J. B. 2012. *Historia del ferrocarril: 175 años del ferrocarril en Cuba* [Online]. Madrid, España. Available: <http://www.trenak.com/2012/11/19/historia-del-ferrocarril-175-anos-del-ferrocarril-en-cuba/> [Accessed mayo 2015].
- FERNÁNDEZ, H. 2013. *Evolución de las tecnologías xDSL*. ingeniería, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- FERNÁNDEZ, J. & GONZÁLEZ, T. 2014. Simulador ferroviario del elemento de campo baliza. *E-Prints Complutense*, 15.
- GALILEO. 2015. *Sistema Global de Navegación por Satélite* [Online]. www.gsa.europa.eu. [Accessed Mayo 2015].
- GAO 2013. Report to the Chairman, Committee on Commerce, Science, and Transportation, U.S. Senate. PTC. Additional Authorities Could Benefit Implementation.
- GLONASS. 2015. *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* [Online]. <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>. [Accessed Mayo 2015].
- GONZÁLEZ, R. 2011. *Simulación del sistema CBTC en la Línea 1 de Metro de Ho Chi Minh*. Ingeniería Técnica en Electricidad, Universidad Carlos III de Madrid.
- GPS. 2015. *Global Positioning System* [Online]. www.gps.gov. [Accessed Mayo 2015].
- HERNÁNDEZ, F. J. 2014. Desarrollo avanzado de un Controlador Lógico Programable.

- HNTB. 2011. The HNTB Companies. Positive train control: How does it work? How much will it cost? What progress is being made in implementation? What are the current critical issues?
- HUAWEI. 2015. *Huawei Technologies Co. Ltd.* [Online]. <http://www.huawei.com/>. [Accessed Julio 2015].
- HUAWEI, T. L. 2007. Technical proposal GSM-R 2007 for Ferrocarriles de Cuba.
- IBÉRICA, S. R. & ALSTHOM, S.-G. G. 2005. Señalización de seguridad en la circulación ferroviaria mediante la electrónica (enclavamientos y bloqueos electrónicos).
- ISO. 2015. *Organización Internacional de Normalización* [Online]. <http://www.iso.org/>. [Accessed Mayo 2015].
- KAY, J., ENTZMINGER, R. & MAZUR, D. Industrial Ethernet-overview and best practices. Pulp and Paper Industry Technical Conference, Conference Record of 2014 Annual, 2014. IEEE, 18-27.
- KOGAN, J. 2004. Rieles con Futuro. *Desafíos para los Ferrocarriles*.
- LLORET, M. D. C. 2012. Validación del subsistema de presentación de indicaciones del dispositivo ASFA Digital en el ferrocarril español.
- MARTÍNEZ, O. 1993. Manuscritos BSA. Dpto. Señalización.
- MENÉNDEZ, M. 2006. Revelan nuevos elementos sobre el surgimiento del ferrocarril en Cuba. *Juventud Rebelde*, 25 octubre 2006.
- MODBUS. 2015. *Modbus del infierno by EthernetMan* [Online]. <http://www.modbus.org/>. [Accessed Marzo 2015].
- MOLINERO, Á. & SÁNCHEZ, L. 1997. *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración*.
- MONTES, F. 2007. Los sistemas de señalización en el ferrocarril: su evolución. *Anales de Mecánica y Electricidad*.
- MONTES, F. 2011. *Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril*, Universidad Pontífica Comillas.
- MORENO, I. Redes industriales en el sector del ferrocarril. In: COMILLAS., U. P., ed. *Comunicaciones Industriales Avanzadas*, 2010 Escuela Técnica Superior de Ingeniería-ICAI.
- MORSE. 2015. *Clave Morse* [Online]. www.codigomorse.com. [Accessed Junio 2015].
- MOULY, M., PAUTET, M.-B. & FOREWORD, T. 1992. *The GSM system for mobile communications*, Telecom publishing.
- MOYA, J. & PASTOR, R. 2006. *Sistemas de telefonía*, Editorial Paraninfo.
- OMRON. 2010. SYSMAC CS Series. CS1D Duplex System. OPERATION MANUAL.
- OMRON. 2015a. <https://www.omron.com>. [Accessed Marzo 2015].
- OMRON 2015b. Lista de Precios Reducida 2015. industrial.omron.es.

- PAVANS, R. 2012. Urbalis CBTC solution performance. You can rely on. *Alstom Transport*. Sao Paulo, Brasil: ALSTOM.
- PRAVDA, M., LAFATA, P. & VODRAZKA, J. Precise time protocol in Ethernet over SDH network. *Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, 2011 34th International Conference on, 2011. IEEE, 170-174.
- RUMSEY, A. F. 2011. Communications Based Train Control A Product or a Strategy? In: IRSE (ed.) *IRSE International Technical Committee*. Londres, Reino Unido.
- RUS, G. D., CAMPOS, J. & NOMBELA, G. 2003. *Economía del transporte*, Antoni Bosch Editor.
- SALAZAR, R. 2014. *Propuesta de subsistema para fiscalizar la llegada completa de un tren a una estación*. Tesis de Grado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- SEMAPHORE. 2015. <https://semaphoreci.com>. [Accessed Junio 2015].
- SIEMENS 2014a. Soluciones integrales para comunicaciones ferroviarias. In: SERIES, S. B. (ed.) *Global Network of Innovation*. Madrid, España.
- SIEMENS, A. 2014b. Modular system setup Innovative and proven components. *Trainguard MT* Berlin: Siemens AG.
- SILES, J. 1990. *Semáforos, semáforos*, Visor.
- SNIADY, A. & SOLER, J. An overview of GSM-R technology and its shortcomings. *ITS Telecommunications (ITST)*, 2012 12th International Conference on, 2012. IEEE, 626-629.
- TECHNOLOGY, T. 2012. Transit Technology Series. Positive Train Control.
- UIT. 2015a. *Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT* [Online]. Available: <http://www.itu.int/ITU-T/> [Accessed Abril 2015].
- UIT. 2015b. *Unión Internacional de Telecomunicaciones* [Online]. Available: <http://www.itu.int/home/index-es.html> [Accessed Marzo 2015].
- VALLE, A. & QUIRCE, A. 2013. Sistema de generación óptica de señales.
- VELASCO, L., WRIGHT, P., LORD, A. & JUNYET, G. 2013. Designing national IP/MPLS networks with flexgrid optical technology. *Optics express*, 21, 3336-3341.
- VILLANUEVA, J. C. & DE SANTIAGO, J. I. El sistema ERMTS: el primer estándar paneuropeo para señalización ferroviaria orientado a la Interoperabilidad. *Anales de mecánica y electricidad*, 2007. Asociacion de Ingenieros del ICAI, 56-63.
- VILLAR, H. 2010. Cultura de Seguridad de Sistemas Ferroviarios. V Taller Nacional sobre Accidentalidad Ferroviaria.

ANEXOS

Anexo I Sistemas mejorados para la detección del tren

El incremento de la velocidad de los trenes y las mayores potencias empleadas por los mismos, comenzaron a generar señales eléctricas que en algunas circunstancias pueden dar lugar a interferencias eléctricas y afectar el funcionamiento de los circuitos de vía. Es por ello que surge la necesidad de perfeccionar los sistemas de detección de trenes y de desarrollar nuevos sistemas. Para reducir estas amenazas se desarrollaron nuevos circuitos de vía que utilizan señales con diferentes tipos de modulación en frecuencia y con identificación digital, reduciendo así, a niveles mínimos y aceptables la posibilidad de un mal funcionamiento. Además, con el empleo de las nuevas tecnologías aplicadas de microprocesadores se facilitan los ajustes y mantenimiento requeridos por el sistema(MONTES, 2007).

“Balizas”

Una baliza es un objeto señalizador, utilizado para indicar un lugar geográfico o una situación de peligro potencial. Puede ser activa si emite señales o pasiva si no emite señales.

En el ferrocarril la baliza es un componente principal del sistema de transmisión, pues es el encargado de transmitir datos de una manera segura desde los equipos de vía a los equipos embarcados (tren).

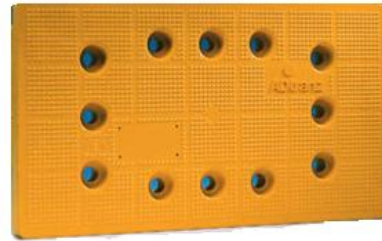


Figura 1 Foto de una Baliza.

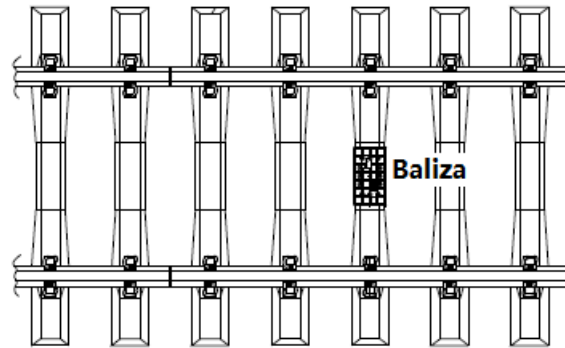


Figura 2 Ubicación de una Baliza en la Línea Férrea.

Anexo II Parámetros técnicos utilizados en la implementación de GSM-R

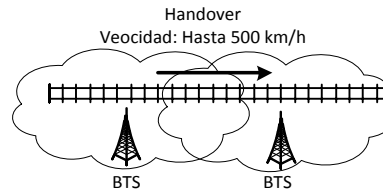


Figura 1 *Handover* en las redes GSM-R

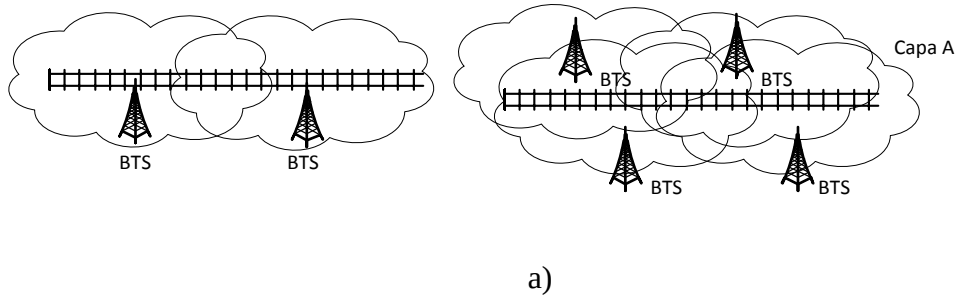


Figura 2 Formas de ofrecer cobertura en GSM-R. a) Capa simple, b) Capa Doble.

- 1- El traspaso entre celdas o *handover* en los trenes es mucho más frecuente y debe de realizarse incluso a velocidades de hasta 500 km/h.
- 2- La cobertura es otro aspecto fundamental en las redes GSM-R, existen dos formas de ofrecer cobertura en GSM-R: por capa simple y por capa doble.

-
- 3- El puesto de control es un elemento esencial en la red GSM-R, puesto que el mismo es un potente terminal capaz de gestionar las comunicaciones con el tren y capaz de manejar prioridades, colas, llamadas de emergencia y llamadas de grupo, entre otras prestaciones.
 - 4- El sistema GSM-R como sistema fundamental de comunicación en ERTMS se dota de toda la redundancia posible con el objetivo de lograr una máxima disponibilidad.
 - Red GSM-R de doble capa.
 - Suministro eléctrico proveniente de dos fuentes.
 - Equipamiento con redundancia interna, en fuentes de alimentación y tarjetas de reservas.
 - Conexión de la estaciones base en anillos con ruta alternativa.
 - Uso de fibras ópticas para cada capa y por recorridos que no se solapan en ningún punto.



Figura 3 Mástil con las antenas del sistema GSM-R. Cienfuegos.

En la Figura 3 se aprecia la dirección que ocupan las antenas para garantizar una cobertura paralela a la red ferroviaria.

Anexo III Especificaciones Técnicas de GSM-R

Tabla 1 Especificaciones Técnicas de GSM-R

Bandas de Frecuencias	876.2 a 915 MHz (Enlace de Subida) 921.2 a 960 MHz (Enlace de Bajada)
Radiocanales	19
Celdas de Coberturas	Compuesta (Dos Sectores)
Espaciamiento de Canal	200 KHz
Modulación	GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) Desplazamiento de fase $n/2$ (90^0) en transiciones de Símbolo
Tasa de Símbolo	270.833 símbolos/s
Bits por Símbolos	1
Formato de Acceso	TDMA (Time-Division Multiple Access) TDD/FDD (Time and Frequency Division Duplex)
Número de Canales	8 slots de tiempos por trama TDMA (4.615 ms)

por portadora	<i>148 bits por slots de tiempos (577 μs)</i>
Voz	<i>Transmisión digital con Codec de voz de tasa completa (13 Kbps) RPE-LTP(Regular Pulse Excited Codeword with Long Term Prediction)</i>
Control de Potencia	<i>En 2 dB sobre una gama de 30 dB</i>

Anexo IV Contadores de Ejes

Paralelamente a la evolución de los circuitos de vía, se desarrollan sistemas contadores de ejes para la detección del tren. Estos sistemas a través de unos detectores de ruedas cuentan el número de ejes que entran y salen por cada sección, el balance final tiene que ser cero para confirmar que el tren ha liberado tal sección. Además, son sistemas independientes de los carriles, lo que permite secciones de longitud más larga y la eliminación de algunos de los problemas de interferencias. La función de este sistema puede ser complementaria a la de los circuitos de vía y su uso depende en gran medida del tipo de aplicación y de las especificaciones de las compañías ferroviarias(MONTES, 2007, MONTES, 2011).



Figura 1 Contador de ejes instalado en la Línea Férrea.

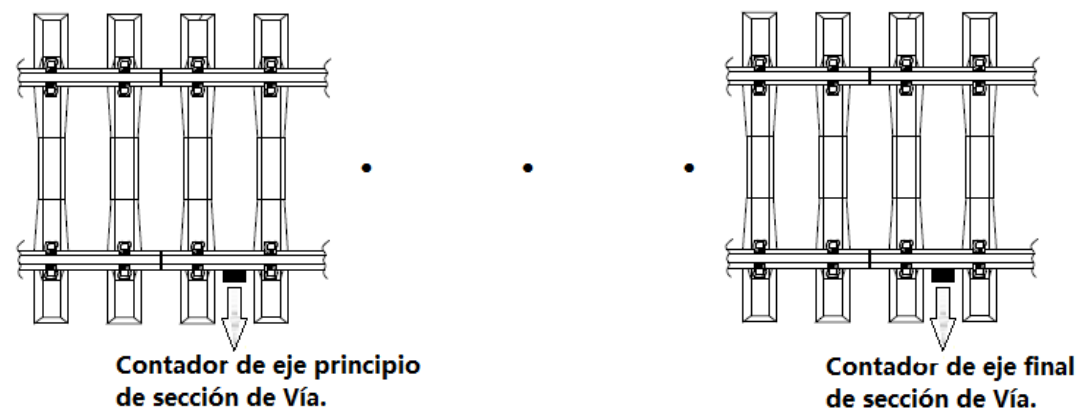


Figura 2 Ubicación de los contadores de ejes al principio y al final de una sección de vía.

Anexo V Imágenes de los Automatas Utilizados



Figura 1 Autómata OMRON CS1D-CPU67H



Figura 2 Autómata TBOX-Gateway



Figura 3 Autómata TBox-MS

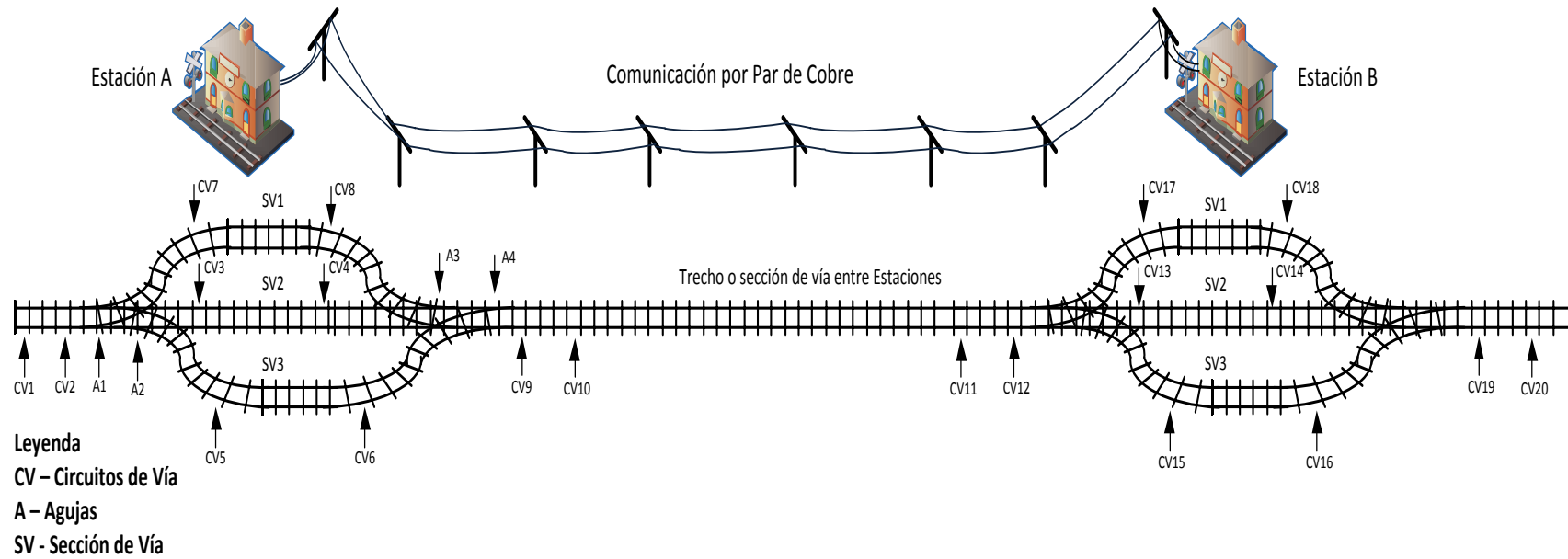
Anexo VI Ampliación de las figuras del Informe.

Figura 1 Figura 2.1 ampliada.

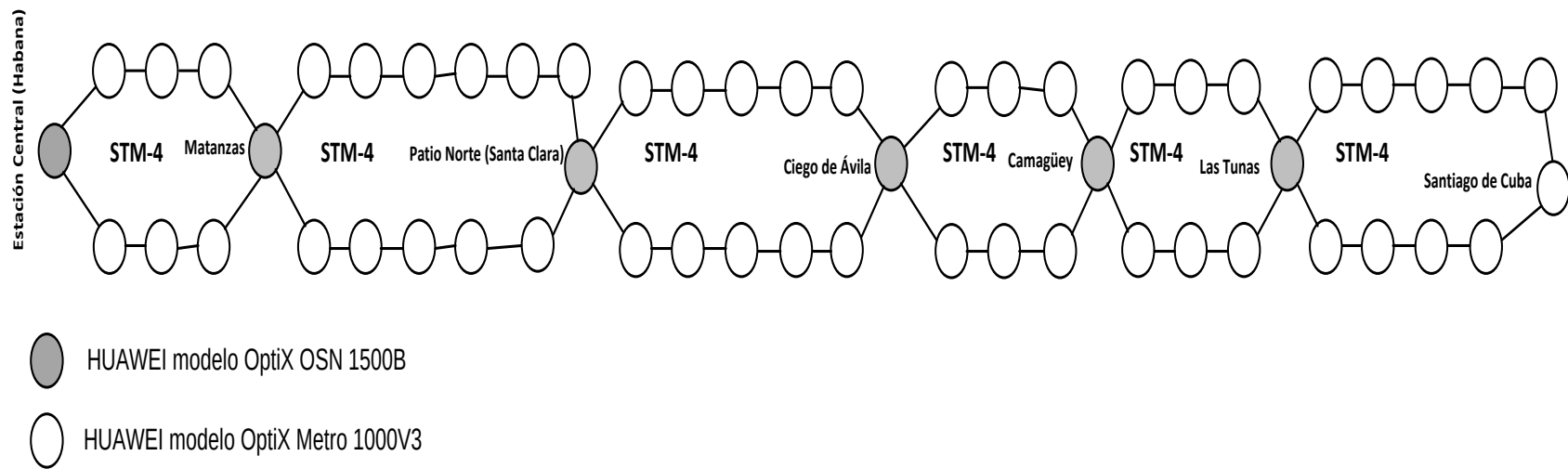


Figura 2 Figura 2.4 ampliada.

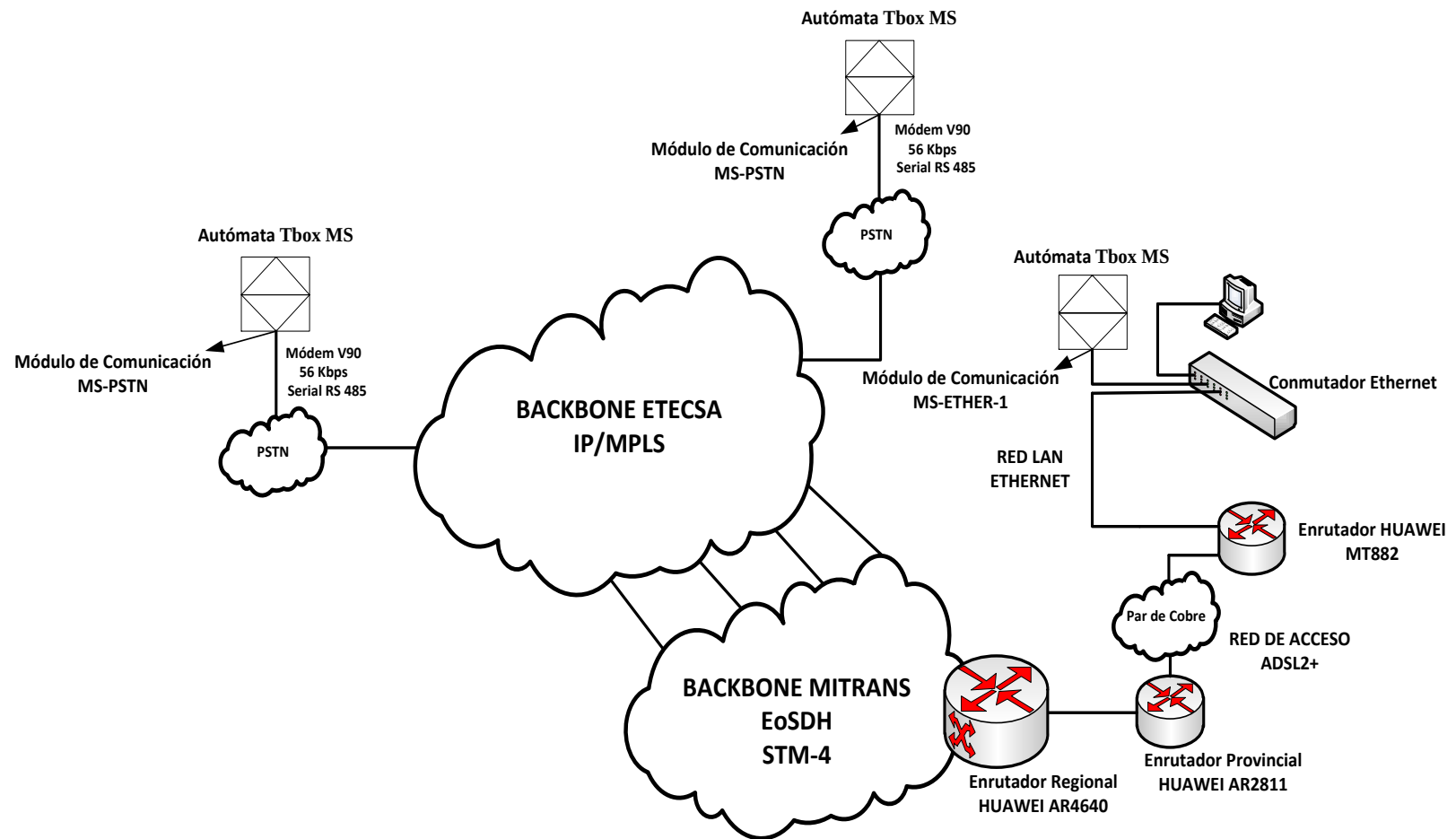


Figura 3 Figura 3.9 ampliada.

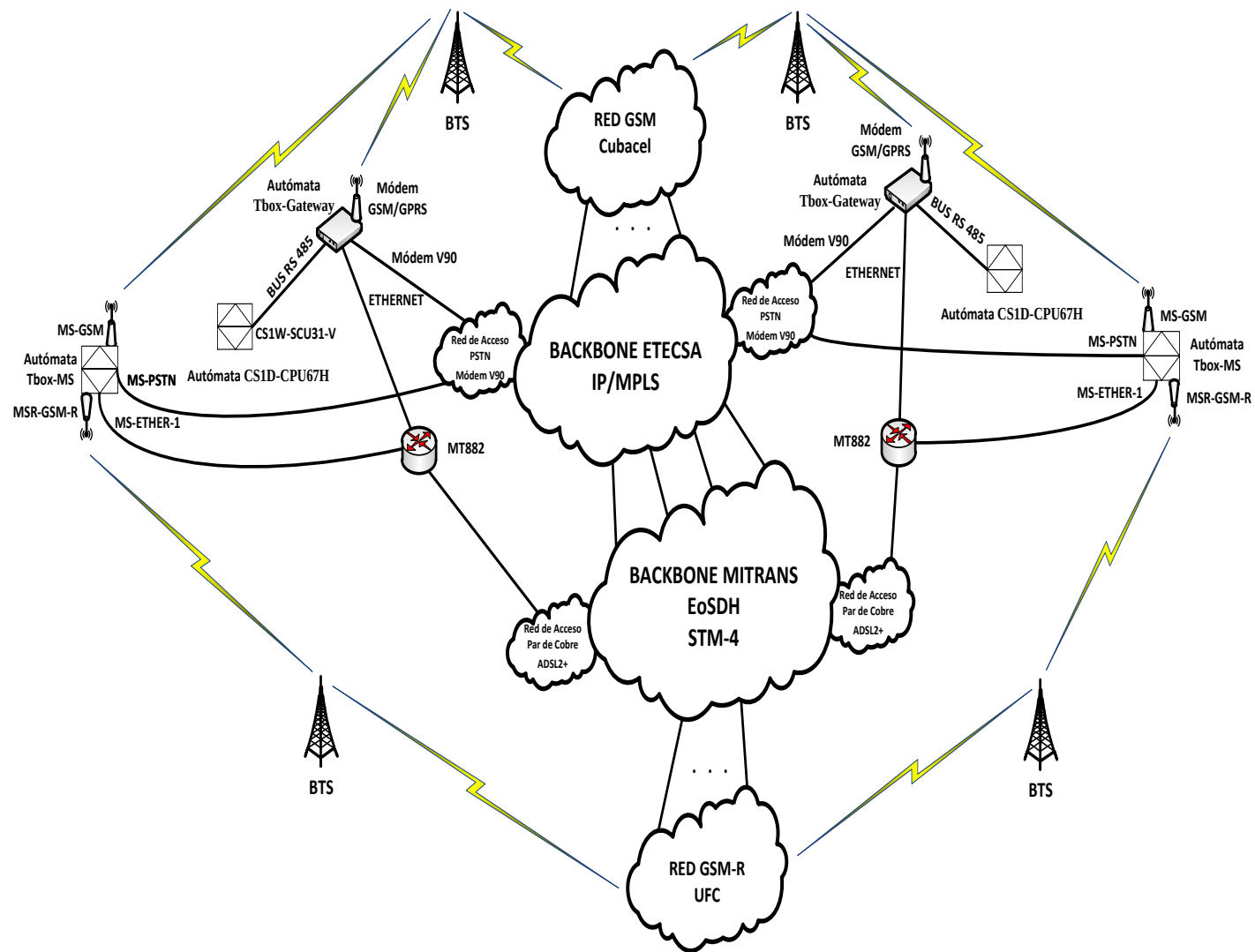


Figura 4 Figura 3.10 Ampliada.