Diagrama, Escala de tiempo

Descripción generada automáticamente

Agradecimientos

*En esta parte se coloca la*

*dedicatoria, si la hubiere...*

E.T.S. de Ingeniería de Telecomunicación, Universidad de Málaga

**Estudio Técnico Del Sistema ERTMS y modelado**

**del mismo mediante SysML**

Autor: Sergio Cintas Bernal.

Tutor: Davinia Trujillo Aguilera.

Departamento: Departamento Tecnología Tlectrónica.

Titulación: Grado en Ingeniería de Sistemas Electrónicos.

Palabras clave: ERTMS.

**Resumen**

Este estudio técnico tiene como objetivo conocer todo el contexto relacionado con el papel de las telecomunicaciones en la vanguardia de la gestión tráfico ferroviario, todo ello dentro del marco de la Unión Europea, la cual firmó un memorando en 2004 para la implantación de lo que hoy conocemos como ETRMS, (European Rail Traffic Management System).

De este modo se intenta estudiar desde el punto de vista de las telecomunicaciones todo lo que rodea al ETRMS en su conjunto, viendo su funcionamiento, sus ventajas, problemas y posibles mejoras; consiguientemente se utilizará durante este proyecto el lenguaje conocido como SysML, con el objetivo de modelar como se relacionan físicamente las distintas partes del sistema ERTMS y el comportamiento que tienen en conjunto las mismas.

En último término se busca estudiar ampliamente como funciona el sistema de gestión del tráfico ferroviario europeo, modelando la integración e interconexión de las partes que lo componen mediante el lenguaje de especificación de sistemas SysML, así como las características, especificaciones y funciones que tienen cada una de las partes dentro del ámbito de la señalización ferroviaria y las telecomunicaciones.

E.T.S. de Ingeniería de Telecomunicación, Universidad de Málaga

**English version of the title**

Author: Sergio Cintas Bernal

Supervisor: Davinia Trujillo Aguilera

Department: Departamento tecnología electrónica

Degree: Grado en Ingeniería de Sistemas Electrónicos

Keywords: ERTMS.

**Abstract**

Esperando corrección de la version en español.

Palabras clave: Palabras y frases claves que describen y caracterizan el tema del trabajo

Contenido

[Capítulo 1: Introducción. 1](#_Toc58039672)

[1.1 Motivación del proyecto. 1](#_Toc58039673)

[1.2 Estudio de mercado ferroviario 2](#_Toc58039674)

[1.3 Objetivos ERTMS y Dificultades 3](#_Toc58039675)

[1.4 Composición del ERTMS 3](#_Toc58039676)

[1.5 La ingeniería de sistemas como método 4](#_Toc58039677)

[1.5.1 Ingeniería de sistemas basada en modelos 5](#_Toc58039678)

[1.6 SysML como lenguaje. 5](#_Toc58039679)

[1.4.1 Tipos de Diagramas SysML 5](#_Toc58039680)

[1.7 Cameo como herramienta de modelado 7](#_Toc58039681)

[1.8 Objetivos del proyecto 8](#_Toc58039682)

[Referencias 9](#_Toc58039683)

# Capítulo 1: Introducción.

## 1.1 Motivación del proyecto.

Desde la perspectiva de las telecomunicaciones en los últimos años, hemos asistido a un avance tecnológico importante en cuanto a la inclusión de estas en cuanto al ámbito ferroviario se refiere, estando actualmente presente en todo su conjunto.

Es por ello por lo que surge la necesidad de conocer la profundidad y el funcionamiento de las telecomunicaciones dentro de la gestión de trenes desde el punto de vista del ingeniero.

En relación con la idea anterior, uno de los problemas principales que se abordan desde la Unión Europea radica en la interoperabilidad del transporte ferroviario dentro del marco del territorio europeo.

En la actualidad son muchos los aspectos que difieren entre los países miembros, encontrándose diferencias entre los sistemas de señalización ferroviaria, electrificación, límites de velocidad, material, normas de seguridad, etc.

A modo de ejemplo, véase la figura 1.1. con los distintos tipos de sistemas de señalización en Europa:

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Ilustración 1.1 Sistemas de señalización en Europa. Fuente de la imagen: Ardanuy’2015 [1]**

Como producto de esta falta de interoperabilidad surge el *sistema de gestión de tráfico europeo (ERTMS)*, un importante proyecto industrial que tiene como objetivo la creación de un sistema común para la gestión y la señalización de las líneas ferroviarias europeas y, en general, la mejora de la posición del ferrocarril como medio de transporte y de comercio.

Debido a esta situación, resulta de gran interés conocer la composición, interoperabilidad, integración y funcionamiento que presenta el sistema ERTMS.

Nace de esta manera una de las principales motivaciones de este proyecto: representar el sistema ERTMS, sus partes, comportamientos y relaciones desde un punto de vista amplio, que permita al ingeniero de telecomunicaciones ver cómo se comportan e interactúan las distintas partes que componen el sistema, no solo entre ellas sino con su entorno.

## 1.2 Estudio de mercado ferroviario

El sistema europeo de gestión del tráfico ferroviario, más conocido por ERTMS, es una iniciativa de la Unión Europea, pero implica a muchas compañías integradas en Europa, a las que se le conceden concesiones para la implantación del ERTMS dentro de las líneas ferroviarias.

Estas compañías son de gran calibre dentro del ámbito de las telecomunicaciones y en el panorama global, dentro de las más importantes, podemos encontrar: Alstom Transport, Ansaldo STS, Bombardier Transportation, Invensys Rail Group, Siemens TS y Thales.

Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente

**Ilustración 1.2 Compañías más importantes en el desarrollo ERTMS. Fuente de los datos: [5]**

Cabe destacar que el presupuesto de la unión europea entre 2014 y 2020 ha sido 2700 millones de euros [5]. Es por esto que actualmente desde las instituciones y empresas se está dando prioridad a este proyecto convirtiéndolo en punta de lanza en el sector ferroviario.

Por lo que se refiere a la regulación del ERTMS y a la configuración de sus especificaciones técnicas, existe un grupo confeccionado en 1998, llamado Unisig (acrónimo de la industria de señalización de la Unión), este organismo se encarga de todas las normas regulatorias y de concretar las especificaciones comunes de los países de la Unión Europea [5][2].

## 1.3 Objetivos del ERTMS y dificultades

Actualmente el ERTMS tiene unos objetivos muy definidos, (marcados previamente los políticos y las instituciones) entre los que se encuentran:

* Mejorar la interoperabilidad entre los distintos países de Europa definiendo un estándar de señalización y seguridad que permita superar las diferencias existentes.
* Aumento de capacidad de las líneas reduciendo el intervalo entre trenes.
* Aumentar los niveles de seguridad.
* Reducir los costos; se reducen costos al disminuir instalaciones fijas y al pasar a un sistema único y competitivo.

Estos objetivos se encuentran con varios impedimentos, ya hemos explicado la dificultad de la interoperabilidad por los 20 sistemas de señalización diferentes en Europa, a los que hay que sumar también la existencia de 4 vías diferentes en Europa y 5 sistemas de electrificación.

## 1.4 Composición del ERTMS

El sistema ERTMS destaca por la dificultad de resumirlo por su extensión y por la cantidad de sistemas y elementos externos con los que hace interacción, por este motivo a modo de introducción y de ejemplo, exponemos en este proyecto un primer resumen de los que podría ser la composición del ERTMS.

Hay que recalcar que el sistema ERTMS conlleva muchos subsistemas y muchas interacciones entre el sistema y los elementos de la vía, los elementos del tren, la electrificación, la seguridad, etc. A su vez cabe destacar la importancia dentro del ERTMS del sistema ATP (Automatic Train Protection) y del GSMR (Global System for Mobile communications), de los cuales se modelará el comportamiento dentro del ERTMS en este proyecto, ya que estos exigen los conocimientos técnicos propios del ingeniero de telecomunicaciones.

Como vemos en la ilustración 1.3, el sistema es extenso por lo que durante el proyecto se intentará modelar su comportamiento y sus interconexiones mediante la ingeniería de sistemas, haciendo uso del MSBE.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Ilustración 1.3: Composición primaria del ERTMS. Fuente: [6][7]**

## 1.5 La ingeniería de sistemas como método

En un inicio conocemos a la ingeniería de sistemas como un método para estudiar sistemas complejos con el objetivo de comprenderlos y optimizarlos, en tal sentido, la ingeniería de sistemas representa una herramienta útil para la gestión y comprensión de entramados como el ERTMS.

Se plantea entonces la gestión de dicho sistema una metodología propia de la ingeniería en sistemas, debido a la magnitud del sistema ERTMS y a todas las partes o subsistemas que lo componen.

Se intenta por lo tanto encontrar unos patrones que logren comprender la integración del ERTMS, esto lo logramos gracias a la ingeniería de sistemas basada en modelos [8].

### 1.5.1 Ingeniería de sistemas basada en modelos

Adentrándonos en las metodologías de la ingeniería de sistemas encontramos lo que se conoce como ingeniería de sistemas basada en modelos o por sus siglas MSBE (Model Based Systems Engineering). Dicho método surge como alternativa a la ingeniería basada en documento, la cual se basa en la generación de documentación para la descripción de sistemas, de este modo son numerosos los documentos que indican las especificaciones, análisis, requisitos, etc. Este modelo basado en documentación tiene varios problemas principales: es muy caro y es propenso a errores [9].

Los problemas descritos, especialmente la inconsistencia y falta de claridad global de la metodología mediante documentos, lo soluciona MSBE solventemente mediante la creación de un modelo del sistema creado en base a un lenguaje y con una herramienta de modelado característica.

## 1.6 SysML como lenguaje.

Con el propósito de darle un lenguaje común a los ingenieros que modelan en base al MSBE nace el SysML [9], este no es más que un medio para comunicar las ideas que se representan en los modelados de una forma regulada y gráfica.

Para regular la notación de SysMl nos encontramos con la organización conocida como OMG o grupo de gestión de objetos, el cual es una organización de empresas que colaboran con el fin de asentar especificaciones y normas en común. [3]

Otro punto para destacar es que el SysML no parte de cero, sino que proviene del UML [8], es más, se define como un perfil de UM\_2, esto quiere decir que el lenguaje se basa en unos mecanismos preestablecidos basados en estereotipos, restricciones y valores de los sistemas.

En definitiva, el SysML nos ofrece la oportunidad de analizar, verificar, diseñar y validar cualquier sistema con unas premisas bajo la ingeniería de sistemas y en concordancia con lo establecido mediante un organismo regulador como la OMG. Por estas razones se emplea este lenguaje para modelar el sistema ERTMS en este proyecto.

### 1.6.1 Tipos de Diagramas SysML

Según indica la OMG y se verifica acudiendo a diferentes autores [3][4], atendemos a nueve distintas configuraciones de diagramas que se pueden crear con SysML.

El esquema de las distintas opciones de modelado sería el reflejado en la ilustración 1.4.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

**Ilustración 1.4: Tipos de Diagramas SysML. Fuente:** **L. Delligatti [3]**

Como puede inferirse de la ilustración 1.4, hay tres tipos de diagramas básicos o principales que modela el lenguaje SysML. A partir de estos se desglosan los demás. Explicándolos y distinguiendo sus comportamientos encontramos:

Diagramas de comportamiento: existen cuatro, los cuales coinciden en que modelan cómo se comporta el sistema y qué funcionalidades o comportamientos tiene desde diferentes enfoques.

* Diagrama de actividad: Se usan para modelar el comportamiento de un sistema a través de los flujos de control. Está compuesto de acciones por las que transita el programa en un orden. Las transiciones entre acciones tienen lugar cuando la acción predecesora termia.
* Diagrama de secuencia: Se utilizan más precisamente para modelar un comportamiento en concreto del sistema, descifrando cómo se comporta detalladamente una parte de este o también para configurar un caso de prueba.
* Diagrama de máquina de estados**:** Cuandoun sistema presenta muchos eventos asíncronos ante los que debe reaccionar, es coherente modelar el comportamiento mediante un diagrama de estados, donde cada estado representa una condición implícita del sistema que no varía cuando pasan eventos que lo preceden.
* Diagrama de caso de uso**:** El diagrama de uso intenta mostrar la relación entre el usuario y los requisitos del sistema, pero sin especificar las acciones que se dan entre estos. Suelen ser diagramas simples donde los casos de uso se representan mediante una elipse donde llegan asociaciones con actores, que son los usuarios o entes que interactúan con el sistema.

Diagramas de estructura**:** Se basan en el esqueleto o entramado del sistema y no en cómo o qué hace, si no en qué partes se descompone y con qué otras partes o elementos interactúa.

* Diagrama de paquete: Sintetiza el sistema en unidades lógicas que denominamos paquetes. Estos paquetes contienen elementos de la misma índole dentro de la metodología del sistema. Es muy útil para trabajar en grupos y dividir el trabajo por paquetes que configuran el sistema, donde estos tienen forma de directorio o carpeta.
* Diagrama de bloques (BDD): Descompone el sistema en unidades llamadas bloques y representa la relación que estos tienen con el sistema y las interfaces entre ellos, es decir, modela la relación entre las partes constituyentes del sistema, formando una estructura jerárquica representativa del sistema.
* Diagrama de bloques interno (IBD):Se utiliza paraespecificar laestructura interna de los bloques del BDD, y así explicar las partes internas de los diferentes bloques en los que hemos descompuesto el sistema.
* Diagrama paramétrico:Los diagramas paramétricos se basan en los IBD pero a diferencia de estos modelan las restricciones que tienen los diferentes bloques y los representan aclarando la relación con las restricciones que presentas estos.

Diagrama de requisitos:Mezclalos modelos de comportamiento y de estructura anteriormente expuestos, haciendo una combinación entre ambos se consigue relacionar todos los requisitos con lo elementos en los que se descompone el sistema. Con este por tanto se intenta tener una visión global de los requisitos junto con los elementos, la estructura y el comportamiento del sistema.

Descritos los diagramas anteriores y haciendo un uso correcto de los mismos, se usarán para modelar el comportamiento del sistema ERTMS, descomponiéndolo en otros bloques, explicando su funcionamiento con un orden coherente y usando el diagrama que sea conveniente en cada momento.

## 1.7 Cameo como herramienta de modelado

Cameo es un entorno propio de la ingeniería de sistemas basado en MSBE, nos proporcionará las herramientas necesarias y una interfaz cómoda para modelar todos los diagramas de nuestro sistema, de una manera precisa y eficaz [10].

Además, Cameo proporciona una vía común de trabajo para los ingenieros que utilizan MSBE, pero aun siendo una de las herramientas más usadas, encontramos que no es la única, destacan así otras como: Agilian, Artisan Studio, Enterprise Architect, Rhapsody, Umodel, etc [3].

## 1.8 Objetivos del proyecto

Teniendo en cuenta la problemática que presenta el sistema ferroviario europeo y con la magnitud que implica el uso de las telecomunicaciones con sus diferentes normativas, se marca como objetivo usar la ingeniería de sistemas con el fin de encontrar ideas comunes y representar comportamientos de sistemas más pequeños que integran o interactúan con otro de mayor envergadura (el ERTMS).

De modo idéntico se modelará el funcionamiento del ERTMS y la interacción que tiene con los elementos externos al sistema, de manera que cualquiera que tenga conocimiento en el lenguaje SystMl sepa comprender cómo funciona e interactúa este sistema; sus riesgos, funcionalidades, carencias y virtudes.

En este sentido se pretende estudiar con detalle el funcionamiento de las distintas partes del ERTMS como sus interacciones con las partes externas al mismo o con el equipo o personal de trabajo, a objetivo último de modelar mediante el SystMl de manera precisa y concisa, cómo se comportan e interactúan todas y cada una de las partes del sistema, todo ello a través del MSBE y la ingeniería de sistemas.

Por último, ya habiendo englobado y modelado el sistema en su conjunto, se hará un análisis crítico de su funcionamiento, exponiendo las virtudes, objeciones y retos que plantea el sistema dentro de nuestro tiempo y en un futuro próximo.

# Referencias

[1] Josep-Maria Ribes i Ardanuy, “Análisis de la evolución de la interoperabilidad y de la seguridad ferroviaria en Europa en el periodo 1991-2011 y Propuestas de mejora,” Universidad Politecnica de Cataluña, 2012.

[2] J.-L. Boulanger, *CENELEC 50128 and IEC 62279 Standards*. 2017.

[3] L. Delligatty, *A Brief Guide to the Systems Modeling Language*. 2013.

[4] J. M. Borky, *Effective Model-Based Systems Engineering*. Springer International Publishing, 2019.

[5] Tribunal de Cuentas Europeo (TCE), “Un Sistema único de Gestión del Tráfico Ferroviario Europeo: ¿se hará alguna vez realidad la decisión política?,” 2017.

[6] Gobierno De España, “Plan nacional de implementación ERTMS,” 2017.

[7] Centro virtual de publicaciones de la Unión Europea, “ERTMS -- delivering flexible and reliable rail traffic : a major industrial project for Europe.,” EU publications, 2006.

[8] International Council on Systems Engineering (INCOSE), *SyStemS engineering Handbook*. 2015.

[9] S. Friedenthal, *A Practical Guide to SysML - 3rd Edition*. 2014.

[10] O. Casse, *SysML in action with Cameo systems modeler*. 2017.