

## APLICACIÓN DE UN SIMULADOR DE CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS FERROVIARIOS EN EL PROCESO DE MEJORA DE LÍNEAS

Eduardo Romo Urroz

*PROINTEC, S.A.*

*Avda. De Burgos, 12*

*Tfno: 91.302.57.66; Fax: 91.302.89.12*

### RESUMEN

El tratamiento de líneas en servicio para ofrecer mejores prestaciones es un proceso que ha evolucionado continuamente desde el origen del ferrocarril. Las progresivas mejoras en la industria de material rodante, unidas a la continua demanda para reducir los tiempos de viaje, junto a la escasez de suelo para nuevos corredores, han dado lugar a que este tipo de operaciones de acondicionamiento y mejora presente en la actualidad un notable auge.

El empleo de simuladores informáticos de circulaciones de trenes que integran diferentes parámetros relevantes (geometría en planta y perfil de la línea, características y prestaciones de los diversos trenes, modos de explotación, consumo de energía...) facilitan y enriquecen apreciablemente el estudio de este tipo de operaciones.

Este tipo de herramientas aportan precisión al aplicar el método basado en la optimización de la función "eficiencia de la inversión" presente con frecuencia en las operaciones de construcción de infraestructuras y equipamientos. Para el caso de mejora de líneas férreas en servicio la función queda definida por la relación entre reducción de tiempos de recorrido y el coste asociado.

La aplicación de este método permite jerarquizar por su eficiencia actuaciones alternativas de diferente naturaleza -y difícilmente comparables de otro modo-. Esta ordenación de actuaciones individualizadas hace posible optimizar la eficiencia del proceso tanto si se establece para la operación un objetivo de tiempos de viaje como si la variable definida es el presupuesto disponible. Asimismo, la relación ordenada de actuaciones por su eficiencia posibilita maximizar el rendimiento si la operación se acomete secuencialmente por fases programadas.

## **1. PLANTEAMIENTO GENERAL.**

La operación de mejorar líneas ferroviarias en servicio para incrementar sus prestaciones es un proceso que se ha llevado a cabo de modo continuo a medida que ha ido avanzando la tecnología desde que comenzaron a explotarse los primeros servicios. Actualmente, los avances recientes en el campo de la industria del material rodante, unido a las continuas aspiraciones en cuanto a reducción de tiempos de viaje por los usuarios y a la creciente escasez de suelo disponible para construcción de nuevas infraestructuras han determinado que cobre un interés especial la política de modernización de líneas existentes mediante el incremento de su velocidad.

El equilibrio entre prestaciones - tiempo de recorrido, velocidad, confortabilidad capacidad, fiabilidad - y empleo de recursos necesarios - económicos, ambientales, territoriales, urbanos, etc. - en muchas ocasiones es superior al que ofrece la operación alternativa de construir nuevas líneas.

Esta doble opción - acondicionamiento de líneas o construcción de nuevas infraestructuras - para mejorar la oferta ferroviaria en corredores de transporte consolidados conlleva también dos diferentes métodos de aproximar y resolver técnicamente el problema.

Los numerosos condicionantes de partida y la extensa colección de variables y parámetros involucrados que deben tenerse en cuenta en el planteamiento del acondicionamiento de una línea existente hacen que destaque la gran utilidad del empleo de una aplicación informática que permite analizar simultáneamente el comportamiento integrado del trazado, el material rodante y el modo de explotación de la línea. La disponibilidad de esta herramienta de simulación y cálculo hace posible establecer una metodología de análisis que se ha demostrado exitosa en numerosas ocasiones y, en particular, recientemente en diversos estudios realizados por PROINTEC, S.A. para diferentes administraciones ferroviarias españolas.



## 2. VENTAJAS DEL SIMULADOR DE CIRCULACIÓN DE TRENES EN EL ANÁLISIS DE POSIBILIDADES DE MEJORA DE LÍNEAS EXISTENTES.



Previamente a la definición y proyecto de las actuaciones de acondicionamiento de una línea para incrementar su velocidad de circulación, debe llevarse a cabo el proceso de decisión de acondicionamiento para la línea en su conjunto o para sus diversos tramos, estableciéndose además el objetivo de velocidades y tiempos de viaje para cada uno de ellos.

En definitiva, se trata de una evaluación preliminar de la aptitud de la línea para soportar un proceso de mejora que introduzca un incremento notable de sus prestaciones. Por tratarse de una infraestructura en servicio, se persigue estimar cuál es su capacidad remanente - aún no explotada - para canalizar tráficos a velocidades superiores. Expresado esto en término de la variable principal, es decir, en tiempos de viaje para el usuario, se trata de aproximar cuál sería el tiempo mínimo de recorrido que podría ofrecer la línea tras su acondicionamiento y modernización de su equipamiento, cuya inversión asociada puede determinarse también con precisión.

Este análisis facilita en gran medida la decisión de acometer la construcción de una nueva línea en el corredor en estudio o bien acondicionar la existente para velocidades superiores.

El empleo del simulador aporta una gran ventaja en esta fase al ofrecer una visión integrada de los diferentes elementos que determinan las prestaciones de la línea en términos de tiempo de viaje y que son:

- el trazado y la infraestructura
- el material rodante
- el modo de explotación

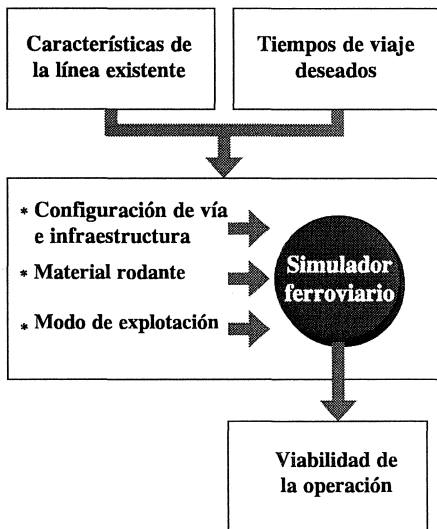


Gráfico 1.

Los resultados de esta aproximación permiten establecer el rango de tiempos mínimos y capacidad de la línea para diversas hipótesis de explotación y facilitar así la decisión de proceder a su acondicionamiento, si los valores obtenidos se ajustan a los objetivos que define la demanda para un eje de transporte en particular.

### 3. UTILIDAD A LO LARGO DEL RESTO DEL PROCESO.

Una vez establecidos los objetivos de tiempos de servicio y capacidad para una línea determinada que va a ser mejorada, el empleo del simulador resulta de gran utilidad en las restantes fases de la operación:

- análisis y selección de actuaciones alternativas,
- diseño de la opción seleccionada,
- gestión de la compatibilidad de tráfico durante la construcción.

Además de en la fase previa de planificación (Gráfico 2) el empleo del simulador es muy útil tanto durante la etapa de proyecto (ajuste de la geometría del trazado, tipología de las instalaciones de seguridad) como en el momento de su construcción para facilitar el establecimiento de la compatibilidad de la ejecución de las obras con el mantenimiento del servicio ferroviario (simulación de situaciones provisionales de vía e instalaciones y modos de explotación temporales, entre otros)

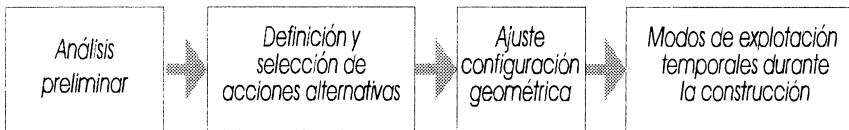


Gráfico 2.

Sin embargo, es en el proceso de análisis y selección de trazados o actuaciones alternativas cuando el simulador resulta indiscutiblemente de la máxima utilidad. Su empleo resulta de gran valor en particular si se aplica en el marco de una metodología rigurosa y sistemática.

### 4. ESTRUCTURA CONCEPTUAL DEL SIMULADOR.

El modelo informático que constituye el simulador permite estudiar dinámicamente la circulación de un móvil a lo largo de una línea férrea, considerando los siguientes elementos del fenómeno

- geometría en planta y perfil longitudinal del trazado,
- limitaciones a la velocidad en puntos singulares de infraestructura o vía,
- características del tren (potencia), frenado, masa, pendulación,
- grado de confortabilidad, medido en aceleración sin compensar,
- modo de explotación expresado en rangos de velocidad y paradas comerciales o técnicas.

Todas estas variables alimentan el modelo como datos de entrada y tras el proceso de cálculo se obtiene un conjunto de resultados cuyos parámetros principales son:



- velocidades instantáneas a lo largo del tramo
- aceleraciones instantáneas a lo largo del tramo
- tiempo de recorrido incluyendo paradas

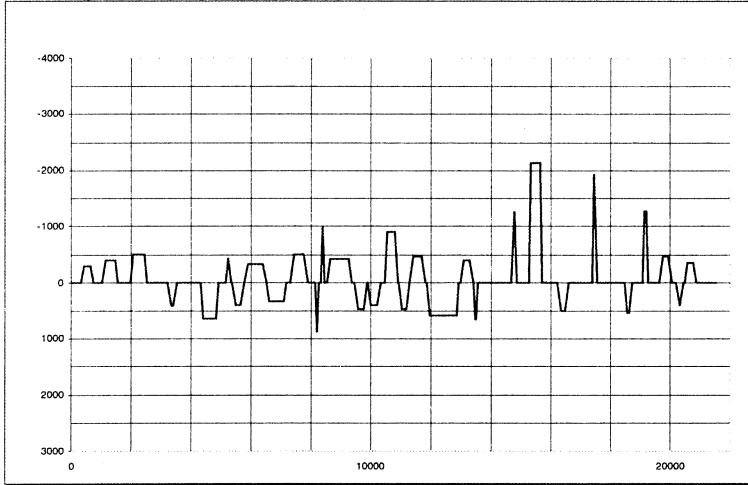
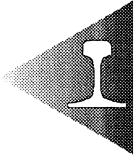


Diagrama de curvaturas

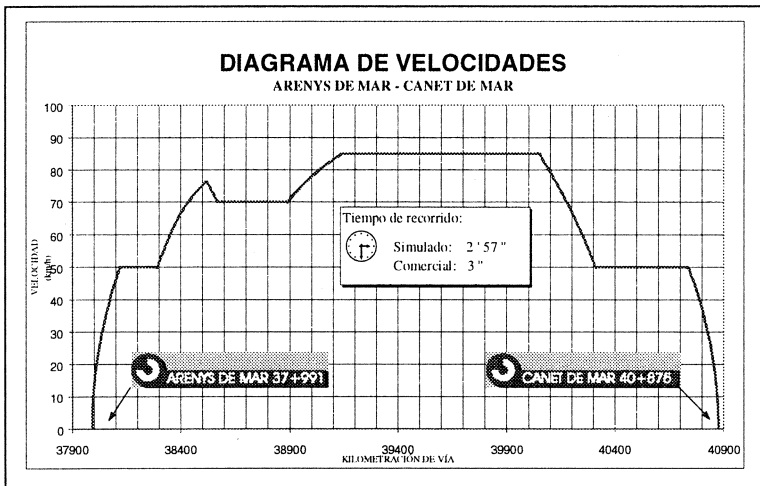


Gráfico 3.

## 5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y APLICACIÓN DEL SIMULADOR.

### 5.1. BASES DEL MÉTODO

La finalidad del método, común a otros procesos de construcción de infraestructuras, consiste en maximizar el valor de la función de eficiencia de la inversión que, en este caso, está definida como la relación entre la reducción de tiempos de viaje y su coste asociado. Debe resaltarse que la variable "reducción del tiempo de viaje" hace referencia al tiempo real del servicio, que depende no sólo de la geometría de la vía sino también del material móvil y del modo de explotación.

La función de eficiencia puede definirse en un doble contexto, si bien, su concepción y aplicación es semejante. Para cada operación de mejora de línea puede establecerse un objetivo de tiempo, optimizándose mediante su empleo el nivel de inversión o, alternativamente, la disponibilidad de un presupuesto concreto tratando de optimizar los tiempos de viaje.

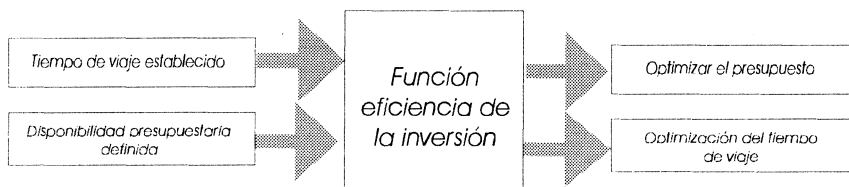


Gráfico 4

### 5.2. VARIABLES PRINCIPALES

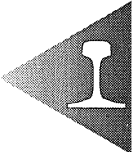
Establecido para una línea determinada el binomio tiempo objetivo de viaje/recursos económicos disponibles, el empleo del simulador contribuye a optimizar la eficiencia de la inversión.

La consecución del tiempo objetivo de viaje puede alcanzarse normalmente actuando sobre algunas de las siguientes variables

- geometría del trazado,
- características de la infraestructura,
- características de la vía,
- tipología del material rodante.



- niveles de confortabilidad del viajero,
- modos de explotación,
- otros.



La multiplicidad de posibilidades de actuar sobre todas estas variables principales hacen muy complejo el proceso de optimización del binomio tiempo de viaje/inversión. Es en esta fase donde la capacidad de analizar integradamente el fenómeno de la circulación ferroviaria que ofrece el simulador resulta de la máxima utilidad.

## 6. APLICACIÓN DEL MÉTODO PARA OPTIMIZAR ECONÓMICAMENTE LA INVERSIÓN.

Una vez definidas las diferentes actuaciones alternativas de acondicionamiento para mejorar los tiempos de recorrido actuales, se procede a evaluar individualmente la inversión asociada a cada una de ellas.

El análisis combinado de la reducción de tiempos que conlleva cada una de las actuaciones (mejora de la geometría de una curva, sustitución del material rodante, eliminación de limitaciones a la velocidad por características de los desvíos, etc.) y el presupuesto de inversión que requiere permite comparar todas ellas, jerarquizarlas desde el punto de vista de eficiencia de la inversión e incluso establecer la prioridad de ejecución del proceso en el caso, frecuente, de que la operación se acometa secuencialmente.

Esta posibilidad de analizar integradamente el comportamiento dinámico de una línea ferroviaria mediante el empleo del simulador facilita la adop-

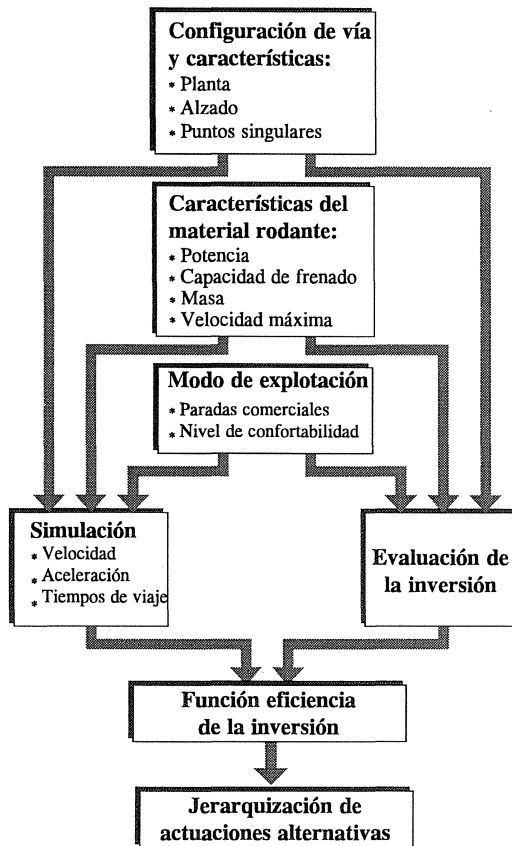


Gráfico 5.

ción de la decisión de cómo actuar en un corredor donde se pretende mejorar la oferta de servicios, seleccionar la alternativa de actuación más eficiente y optimizar el proceso y la programación de inversiones necesarias para alcanzar el objetivo de tiempos de viaje y calidad del servicio establecidos.

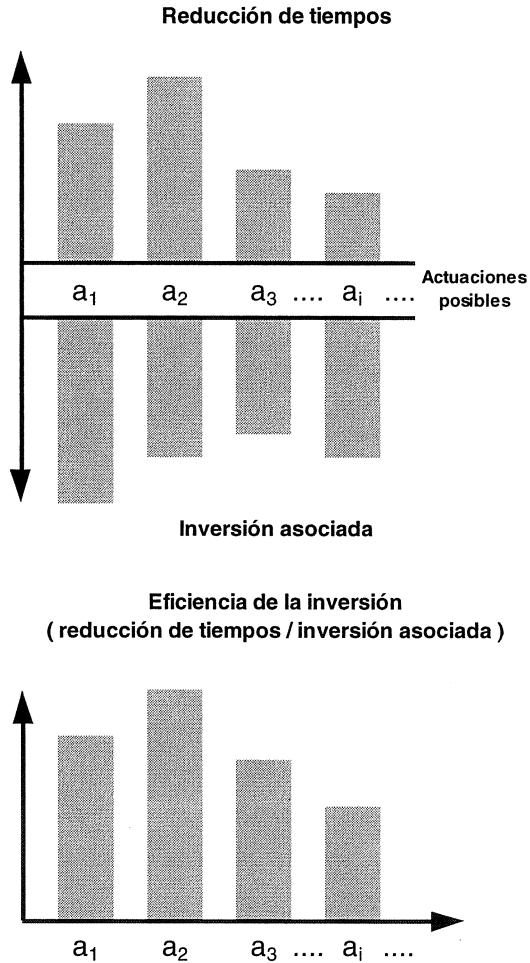


Gráfico 6.

