

Robustesa de serveis ferroviaris

Òscar Criado¹, Marta Sánchez Borràs¹, Francesc Robusté¹

¹ITT, CENIT – Centre d'innovació del transport
e-mail: oscar.criado@upc.edu, marta.sanchez-borras@upc.edu, f.robuste@upc.edu

Paraules Clau: Robustesa, Estabilitat, Horaris, Optimització ferroviària

Resum: *La robustesa de serveis ferroviaris, també anomenada estabilitat d'horaris, consisteix en l'elaboració d'horaris i itineraris de ferrocarril per a línies en condicions pròximes a saturació de manera que permetin una explotació dels serveis sense experimentar retards. La recerca i innovació en aquest àmbit s'ha centrat principalment en el desenvolupament d'una metodologia de mesura de la robustesa, basada en mètodes de simulació de serveis ferroviaris. La metodologia s'ha aplicat als horaris actuals de la línia Barcelona – Vallès de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya, així com també en casos pràctics de modificació d'horaris per a escenaris futurs d'obres a la xarxa.*

1. INTRODUCCIÓ

L'explotació de línies ferroviàries pròximes a la saturació de la seva capacitat presenta una gran complexitat. L'elaboració d'horaris per a aquestes línies es centra en l'ús màxim de la capacitat disponible, mesurada en funció de la infraestructura existent, del sistema de senyalització i seguretat i de l'explotació comercial que se'n faci, assegurant una experimentació de retards mínima. En aquest sentit, la recerca s'ha focalitzat en la cerca de metodologies per a la determinació de la robustesa d'un horari de serveis, entesa com una acotació dels retards que experimenten els serveis i l'establiment d'una metodologia sòlida per al cas de la línia Barcelona – Vallès de Ferrocarrils de la Generalitat.

Així doncs, s'han realitzat dos passos:

- Anàlisi de diferents metodologies existents i de la aplicabilitat de cada una d'elles.
- Aplicació d'una metodologia escollida a la línia Barcelona – Vallès de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC).

2. RECERCA REALITZADA

S'han identificat tres metodologies d'avaluació de la robustesa de serveis ferroviaris: les metodologies alemanya i suïssa i el mètode de Hürlimann et al.

La metodologia alemanya es basa en la verificació de què, després d'introduir una interrupció del servei igual a 10 minuts a la secció més limitant de la línia ferroviària considerada, la suma dels retards registrats a la sortida del sistema (trens que abandonen el sistema i trens que acaben en el sistema) és inferior a la suma dels retards introduïts al sistema (trens que entren al sistema i trens que comencen al sistema) i que l'horari de servei teòric es recupera com a molt tard al cap de dos cicles complets per a cada circulació.

La metodologia suïssa es basa en establir un valor probabilístic de retard i verificar si els retards produïts per aquest valor probabilístic en diverses simulacions del funcionament del sistema tendeixen a decreïxer al llarg de la línia i, per tant, l'horari és estable/robust.

Finalment, el mètode de Hürlimann et al. consisteix en calcular un "Índex de freqüència de retard" F, consistent en una nova mesura de la fiabilitat dels serveis ferroviaris i que depèn

d'un llindar de no retard prefixat i del nombre de trens que arriben amb retards en el període d'estudi.

Les diferències entre aquestes metodologies determinen la seva aplicabilitat, sobretot, pel que fa a les dades que requereixen.

3. APLICACIÓ DE LA RECERCA

S'ha aplicat la metodologia alemanya a la línia Barcelona – Vallès de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya. S'ha escollit aquesta metodologia pel fet que és un mètode ja utilitzat per una empresa ferroviària i que ha provat un correcte funcionament provat, i per disposar de les dades necessàries per aplicar-la. Aquesta metodologia es pot resumir en els següents passos:

1. Introducció d'un retard de 10 minuts en el punt més desfavorable de la xarxa (punt de capacitat consumida més gran).
2. Simulació del funcionament de la xarxa (mitjançant un model de simulació) amb la introducció dels 10 minuts de retard esmentats. En aquest sentit, s'ha elaborat un model de la línia d'FGC, que consta de la caracterització de tots els elements de la línia, incloent la infraestructura (longituds, pendents, curvatures, presència de túnel, desviaments), la senyalització (senyals, trams existent), el material rodant (pes, potència, velocitat màxima) i els horaris (horaris d'arribada i sortida, material rodant assignat als serveis). S'ha validat el model amb dades de l'explotació real de la línia. La simulació dels serveis de la línia en base al model s'ha fet mitjançant el simulador ferroviari OpenTrack.
3. Anàlisi dels retards obtinguts amb el model a cada una de les estacions de la línia i per a cada un dels serveis. S'han estudiat, específicament, els retards a l'inici de cada circulació o servei (retards a l'estació on s'inicia la circulació d'un servei) i al final de cada circulació o servei (retards a l'estació on finalitza la circulació d'un servei) durant el període d'hora punta del matí.
4. Verificació del compliment de la condició que la suma dels retards al final de la línia ($\sum_m t_m^f$) és menor que la suma dels retards a l'inici de la mateixa ($\sum_k t_k^i$) (cf. figura per exemple gràfic simplificat):

$$\sum_m t_m^f \leq \sum_k t_k^i$$

Si aquesta condició no es compleix, l'horari no es considera robust/estable i, per tant, la metodologia finalitza en aquest pas. Si es compleix la condició, es procedeix al pas 5 de la metodologia.

5. Càlcul dels marges de regularitat i dels marges de recuperació per a cada cycle.
6. Càlcul del quocient de recuperabilitat ($q_{recuperabilitat,j}$) per a diferents cycles consecutius de cada circulació que es trobi dins del sistema durant el període d'hora punta:

$$q_{recuperabilitat,j} = \frac{t_{j,k}^i}{t_{j,k}^{reg} + t_{j,k}^{rec}}$$

on:

- $t_{j,k}^i$ correspon al retard a l'inici de la circulació o servei per a una circulació j donada i el cycle k de la circulació considerada.
- $t_{j,k}^{reg}$ correspon al marge de regularitat de la circulació j per al cycle k de la mateixa.

- $t_{d,j}^k$ correspon al marge de recuperació de la circulació j per al cicle k de la mateixa.

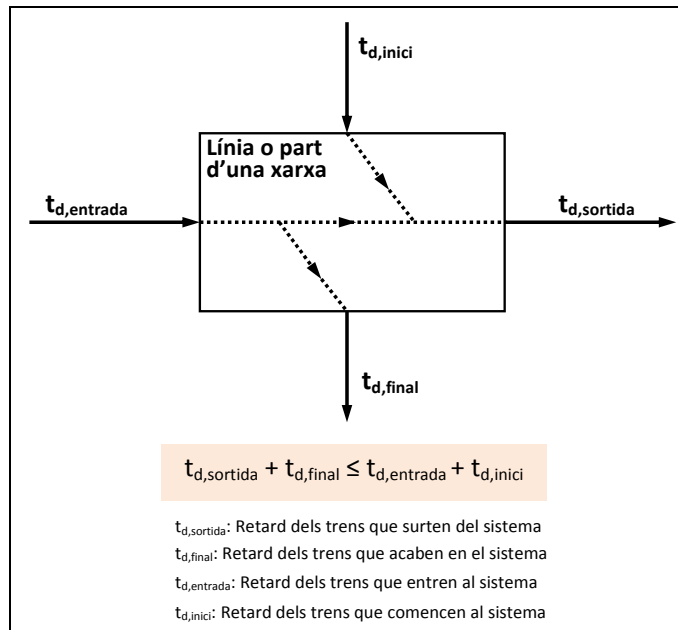


Figura. Criteri per a la recuperabilitat d'un horari segons el mètode alemany.
 Font: Adaptat de Pachl (2009)

7. Comprovació que el quocient de recuperabilitat ($q_{recuperabilitat,j}$) és inferior a 2,00 per al retard inicial de 10 minuts introduït, és a dir, comprovació que el retard inicial de 10 minuts es compensa completament al cap de dos cicles com a molt per a totes les circulacions que tenen lloc en el període analitzat:

$$q_{recuperabilitat,j} \leq 2$$

L'aplicació d'aquesta metodologia a la línia Barcelona – Vallès de Ferrocarrils de la Generalitat ha permès determinar que l'horari en què es presta el servei actual compleix la condició de robustesa. Pel que fa al quocient de recuperabilitat s'ha comprovat que totes les circulacions compleixen la condició de recuperabilitat, a excepció de tres circulacions que tenen el seu horari d'inici de servei en l'instant d'introducció del retard de 10 minuts. No obstant, s'ha comprovat que aquestes circulacions necessiten tot just un cicle més per recuperar el seu horari normal. En conclusió, doncs, s'ha determinat que l'horari en què es presta actualment el servei ferroviari a la línia Barcelona – Vallès és robust.

REFERÈNCIES

- [1] Pachl, J. (2009). Railway Operation and Control. VTD Rail Publishing. ISBN 978-0-9719915-8-3
- [2] CENIT (2011). Informe 1: Establiment de la base teòrica per a definir el Nou Model d'exploatació del Metro del Vallès d'FGC. Assessorament tècnic per al projecte de Nou Model d'exploatació del Metro del Vallès.