



MEMORIA

Proyecto de investigación

Metodología para la evaluación de las prestaciones y eficiencia de los trenes de viajeros

Indicadores de
Arquitectura,
Productividad
Consumo de energía y emisiones
Habitabilidad
Confort ambiental y entretenimiento
Accesibilidad

Cálculo y medida de la eficiencia económica

Alberto García Álvarez (Director)
Alberto Cillero Hernández
Rodolfo Ramos Melero
Fernando Puente Domínguez
M^a del Pilar Martín Cañizares

Versión 1.1 de 3.6.2008

ÍNDICE

Primera parte. INTRODUCCIÓN Y ESTADO DEL ARTE.....	10
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Objeto del proyecto	12
1.2. Utilidad y ventajas de la evaluación estandarizada de las prestaciones y eficiencia de los trenes	13
1.3. Ámbito y estructura del trabajo.....	17
1.4. Métrica.....	19
1.4.1. Métrica de los atributos percibidos por los viajeros.....	19
1.4.2. Calificaciones.....	22
1.4.3. Métrica de los atributos relevantes para el operador.....	24
1.5. Determinación de los coeficientes de ponderación de los atributos	25
1.5.1. Las preferencias de los viajeros como criterio de ponderación.....	25
1.5.2. Atributos que caracterizan un servicio de transporte.....	28
1.5.3. Fundamentos metodológicos	30
1.5.4. Agregación de variables para dar forma a los atributos de orden superior ..	31
1.5.5. Enfoque de una metodología de investigación de mercados para la ponderación de indicadores basada en las percepciones de los clientes	35
1.5.6. Limitaciones de los estudios de mercado para conocer las preferencias de los viajeros	44
1.5.7. Coeficientes de ponderación que dependen de la diversidad de plazas dentro de un mismo tren	46
1.6. Tipos de servicios y de infraestructura relevantes	46
1.6.1. Definición de los tipos de servicio y de infraestructura	48
1.6.2. Características del los tipos de servicios adoptados	50
1.6.3. Parámetros relevantes de cada tipo de servicio	52
1.6.4. Valores concretos adoptados para los parámetros de los tipos de servicio ..	61
1.7. Diferencia entre arquitectura y configuración.....	62
1.8. Mejores prácticas y guías de benchmarking	64
1.9. Reflexiones generales sobre las características de los trenes	64
2. ESTADO DEL ARTE.....	66
2.1. Estudios y proyectos de investigación	66
2.2. Normativa	74

Segunda parte. INDICADORES DE LOS ATRIBUTOS DE LOS TRENES RELEVANTES PARA EL OPERADOR	80
3. EFECTOS DERIVADOS DE LA ARQUITECTURA DE LOS TRENES.....	82
3.1. Trenes remolcados y autopropulsados	87
3.1.1. Tren remolcado	87
3.1.2. Tren autopropulsado	89
3.1.3. Flexibilidad	95
3.1.4. La flexibilidad y sus implicaciones económicas	105
3.2. La tracción y su posición en el tren	111
3.3. Trenes articulados y no articulados	117
3.4. Trenes de dos niveles y de caja ancha.....	122
3.5. Trenes de cajas inclinables	126
3.6. Valores de los indicadores de eficiencia según la arquitectura del tren	133
4. INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD.....	136
4.1. Concepto e ideas generales sobre la productividad de un tren.....	136
4.2. Capacidad.....	137
4.2.1. Capacidad real	139
4.2.2. Capacidad estándar	143
4.3. Velocidad media operativa.....	157
4.4. Velocidad media de recorrido (VR).....	159
4.4.1. Cálculo de la Velocidad media de recorrido	160
4.4.2. Variables de las que depende la <i>Velocidad media de recorrido</i>	163
4.5. Tiempo de paradas intermedias (TPI).....	165
4.5.1. Tiempo de entrada y salida de viajeros	167
4.5.2. Características del servicio que inciden en el tiempo de entrada y salida.	169
4.5.3. Cálculo del tiempo de entrada y salida de los viajeros.....	171
4.6. Horas de uso del tren al año.....	182
4.7. Recorrido anual de un tren	184
4.8. Relación de los indicadores de productividad con otros indicadores	185
5. INDICADORES DE CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES.....	187
5.1. Ideas generales sobre los indicadores de consumo de energía y emisiones..	189
5.1.1. Tipos de indicadores	189
5.1.2. Incidencia de los tipos de servicio y los trenes.....	193
5.2. Cálculo del consumo	195
5.2.1. Cálculo de la energía absoluta para el movimiento	196
5.2.2. Cálculo de la energía consumida por los auxiliares.....	197

5.2.3.	Cálculo y efecto de la energía devuelta a la red por el freno regenerativo	200
5.3.	Cálculo de las emisiones	202
Tercera parte. INDICADORES RELEVANTES PARA LOS VIAJEROS		206
6.	INDICADORES DE HABITABILIDAD	208
6.1.	Disponibilidad de espacio en anchura	208
6.1.1.	Ancho del asiento entre apoyabrazos	209
6.1.2.	Anchura de la plaza	211
6.1.3.	Factores moduladores de la anchura de la plaza	214
6.2.	Disponibilidad de espacio en longitud	215
6.2.1.	Espacio libre entre asientos en línea y paso entre asientos	215
6.2.2.	Profundidad del asiento	219
6.3.	Disponibilidad de espacio en altura	223
6.3.1.	Alturas que afectan a los viajeros cuando se encuentran de pie	223
6.3.2.	Alturas que afectan a los viajeros cuando se encuentran sentados	225
6.4.	Configuración y posición relativa de la plaza	231
6.5.	Aseos	237
6.5.1.	Número de aseos	237
6.5.2.	Tamaño de los aseos	241
6.5.3.	Factores moduladores del indicador de aseos	241
6.6.	Optimización de la sección transversal del tren y de los asientos	242
6.6.1.	Comparación de secciones transversales	243
6.6.2.	Anchura exterior de varios tipos de trenes	244
6.7.	Ejemplos de buenas prácticas en el terreno de la habitabilidad de los trenes	245
6.7.1.	Comparación de los atributos entre diversos vehículos y normas	249
7.	INDICADORES DE ACCESIBILIDAD	253
7.1.	Accesibilidad de la población general	254
7.1.1.	Paso libre de las puertas de acceso	254
7.1.2.	Número de puertas de acceso	257
7.1.3.	Distancias entre tren y andén	260
7.1.4.	Escalones	263
7.1.5.	Anchura de los pasillos y de los pasos entre coches	266
7.1.6.	Anchura de las puertas interiores del tren	269
7.1.7.	Factores moduladores de accesibilidad	272
7.2.	Accesibilidad de personas en silla de ruedas	274

7.2.1.	Anchura útil de las puertas de acceso al tren para personas en silla de ruedas	274
7.2.2.	Distancia entre el tren y el andén para personas en silla de ruedas	275
7.2.3.	Pasos libres y puertas interiores para personas en sillas de ruedas	276
7.3.	Necesidades de personas que se desplazan en sillas de ruedas y de movilidad reducida	277
7.4.	Ejemplos de buenas prácticas en el terreno de la accesibilidad de los trenes	279
8.	INDICADORES DE CONFORT AMBIENTAL Y ENTRETENIMIENTO.....	285
8.1.	Indicadores de confort ambiental.....	285
8.1.1.	Iluminación.....	285
8.1.2.	Condiciones ambientales	292
8.1.3.	Ruido y vibraciones.....	298
8.2.	Indicadores de entretenimiento.....	308
Cuarta parte. EFECTOS ECONÓMICOS DE LOS ATRIBUTOS DE LOS TRENES		314
9.	EFICIENCIA ECONÓMICA DE LOS TRENES.....	316
9.1.	Eficiencia económica del tren: conceptos, estado del arte y modelos	316
9.1.1.	Concepto de eficiencia económica	316
9.1.2.	Estado del arte de la valoración económica de los factores de ingresos relacionados con la arquitectura	317
9.1.3.	Estado del arte de la valoración económica de los factores de costes relacionados con la arquitectura	337
9.1.4.	Estado del arte de la consideración conjunta de los ingresos y los costes .	347
9.2.	El modelo propuesto de eficiencia económica del tren	354
9.2.1.	Los efectos económicos de la arquitectura sobre los ingresos y costes.....	354
9.2.2.	Variables de las que dependen los costes	358
9.2.3.	Variables de las que dependen los ingresos.....	366
Quinta parte. CONCLUSIONES, AGRADECIMIENTOS Y BIBLIOGRAFÍA		370
10.	RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	372
10.1.	Resumen del proyecto	372
10.2.	Conclusiones.....	374
10.3.	Recomendaciones	376
10.4.	Futuras líneas de investigación.....	378