



FUNDACIÓN DE LOS
FERROCARRILES
ESPAÑOLES

colección

MONOGRAFÍAS
del FERROCARRIL

INGENIERÍA / ARQUITECTURA

CRITERIOS DE HABITABILIDAD Y ACCESIBILIDAD EN EL DISEÑO DE TRENES DE VIAJEROS

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



3^a edición, 2016

INGENIERÍA / ARQUITECTURA

Criterios de habitabilidad y accesibilidad en el diseño de trenes de viajeros

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

Fundación de los Ferrocarriles Españoles



3^a edición, septiembre de 2016



COLECCIÓN MONOGRAFÍAS DEL FERROCARRIL

Criterios de habitabilidad y accesibilidad en el diseño de trenes de viajeros

© Fundación de los Ferrocarriles Españoles

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

Ilustraciones de portada: tren Arco, Talgo AVRIL, serie 596 de Renfe y Talgo serie VII (Gonzalo Rubio)

Edición 3. Septiembre de 2016

ISBN: 978-84-943462-6-2

Depósito legal: M-16433-2016

Impresión: Printheus, S.L.

RESUMEN

El objetivo fundamental de esta publicación es establecer unos parámetros que contribuyan a mejorar la calidad del servicio ferroviario, definiendo indicadores que afectan directamente al confort del viajero, como son la habitabilidad y la accesibilidad, para evaluar cómo se adapta el material rodante a las necesidades de operadores y viajeros.

El estudio se refiere a los trenes destinados al transporte de viajeros (tanto ferrocarriles en sentido estricto como metropolitanos, metros ligeros y tranvías), sin que por ello se excluyan del análisis pertinente otros posibles usos del tren, como el transporte de equipajes y de paquetería, de automóviles, etc. Por lo que respecta a la distancia recorrida, la investigación abarca todos los tipos de transporte ferroviario diurno de viajeros; es decir, tanto los que se realizan en el ámbito interurbano (se hará una especial referencia a la alta velocidad), como en el entorno de media distancia, suburbano y urbano.

No se ha limitado el ámbito geográfico, de forma que las conclusiones pudieran tener validez universal, si bien los datos de referencia son de casos españoles. Se han incluido también algunas referencias y comparaciones con otros modos de transporte, como el avión o el autobús, tanto por la similitud de los problemas a resolver y la posible utilidad de las normas y estudios realizados sobre ellos, como por el hecho de ser modos de transporte competidores, y a la vez complementarios, del ferrocarril.

Este documento es parte de la Memoria del proyecto de investigación “Metodología para la evaluación de las prestaciones y eficiencia de los trenes de viajeros”, impulsado por la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, que en 2008 obtuvo el VIII Premio Talgo a la Innovación Tecnológica (el máximo galardón del sector ferroviario). Ha sido adecuado en 2015 de acuerdo con las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad de 2014.

ABSTRACT

The main objective of this publication is to establish some parameters that contribute to improving the quality of rail service, defining indicators which directly affect passenger comfort, such as habitability and accessibility, in order to evaluate how rolling stock adapts to the needs of operators and passengers.

The study is focused on passenger trains (both railways in a strict sense as well as metropolitan railways, light rail vehicles and trams), without other possible uses of the train like transport of luggage and packages, of cars, etc., being excluded from the corresponding analysis. As far as the travelled distance is concerned, research covers all types of daytime rail passenger transport; that is the ones that are operated in the intercity area (with a special mention of high speed), and the ones happening in medium distance, suburban and urban surroundings.

Although the area of operation has not been limited so that conclusions can have universal validity, reference data are Spanish cases. Also included are some references and comparisons with other modes of transport such as the plane or the bus, both because of the similarity of the problems to be solved and the possible usefulness of the standards and studies carried out on them, and because of the fact that they are modes of transport competing against the railway and at the same time they complement it.

This document is part of the Report of the "Methodology for the evaluation of the performance and efficiency of passenger trains" research project, promoted by Fundación de los Ferrocarriles Españoles and which in 2008 was awarded the VIII Talgo Technological Innovation Award (the highest award in the Spanish rail sector). In 2015 it has been adapted according to the 2014 Technical Specifications for Interoperability.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| 1.1. Ámbito y estructura del trabajo..... | 6 |
| 1.2. Métrica | 7 |
| 1.2.1. Métrica de los atributos percibidos por los viajeros | 7 |
| 1.2.2. Calificaciones | 9 |
| 1.3. Determinación de los coeficientes de ponderación de los atributos | 11 |
| 1.3.1. Las preferencias de los viajeros como criterio de ponderación | 11 |
| 1.3.2. Atributos que caracterizan un servicio de transporte | 13 |
| 1.3.3. Fundamentos metodológicos | 14 |
| 1.3.4. Agregación de variables para dar forma a los atributos de orden superior..... | 15 |
| 1.3.5. Enfoque de una metodología de investigación de mercados para la ponderación de indicadores basada en las percepciones de los clientes . | 18 |
| 1.3.6. Limitaciones de los estudios de mercado para conocer las preferencias de los viajeros | 25 |
| 1.3.7. Coeficientes de ponderación que dependen de la diversidad de plazas dentro de un mismo tren | 26 |
| 1.4. Tipos de servicios y de infraestructura relevantes | 27 |
| 1.4.1. Definición de los tipos de servicio y de infraestructura..... | 28 |
| 1.4.2. Características de los tipos de servicios adoptados | 29 |
| 1.5. Diferencia entre arquitectura y configuración | 32 |
| 1.6. Estado del arte | 33 |
| 1.6.1. Estudios y proyectos de investigación..... | 34 |
| 1.6.2. Normativa..... | 41 |
| 2. INDICADORES DE HABITABILIDAD | 45 |
| 2.1. Disponibilidad de espacio en anchura | 45 |
| 2.1.1. Anchura del asiento entre apoyabrazos | 46 |
| 2.1.2. Anchura de la plaza | 47 |
| 2.1.3. Factores moduladores de la anchura de la plaza | 50 |
| 2.2. Disponibilidad de espacio en longitud | 50 |
| 2.2.1. Espacio libre entre asientos en línea y paso entre asientos..... | 50 |
| 2.2.2. Profundidad del asiento | 54 |
| 2.3. Disponibilidad de espacio en altura..... | 56 |
| 2.3.1. Alturas que afectan a los viajeros cuando se encuentran de pie..... | 56 |
| 2.3.2. Alturas que afectan a los viajeros cuando se encuentran sentados..... | 58 |
| 2.4. Configuración y posición relativa de la plaza..... | 64 |
| 2.5. Aseos..... | 68 |
| 2.5.1. Número de aseos | 69 |
| 2.5.2. Tamaño de los aseos | 72 |
| 2.5.3. Factores moduladores del indicador de aseos | 72 |
| 2.6. Optimización de la sección transversal del tren y de los asientos | 73 |
| 2.6.1. Comparación de secciones transversales | 74 |
| 2.6.2. Anchura exterior de varios tipos de trenes | 74 |
| 2.7. Ejemplos de buenas prácticas en el terreno de la habitabilidad de los trenes | 75 |
| 2.7.1. Comparación de los atributos entre diversos vehículos y normas | 79 |
| 3. INDICADORES DE ACCESIBILIDAD..... | 83 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| 3.1. | Accesibilidad de la población general | 84 |
| 3.1.1. | Paso libre de las puertas de acceso | 84 |
| 3.1.2. | Número de puertas de acceso | 86 |
| 3.1.3. | Distancias entre tren y andén | 88 |
| 3.1.4. | Escalones | 91 |
| 3.1.5. | Anchura de los pasillos y de los pasos entre coches | 95 |
| 3.1.6. | Anchura de las puertas interiores del tren | 98 |
| 3.1.7. | Factores moduladores de accesibilidad..... | 100 |
| 3.2. | Accesibilidad de personas en silla de ruedas..... | 102 |
| 3.2.1. | Anchura útil de las puertas de acceso al tren para personas en silla de ruedas..... | 102 |
| 3.2.2. | Distancia entre el tren y el andén para personas en silla de ruedas..... | 103 |
| 3.2.3. | Pasos libres y puertas interiores para personas en sillas de ruedas..... | 104 |
| 3.3. | Necesidades de personas que se desplazan en sillas de ruedas y de movilidad reducida | 105 |
| 3.4. | Ejemplos de buenas prácticas en el terreno de la accesibilidad de los trenes | 107 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 112 |
| NORMATIVA..... | | 113 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 - Ejemplo de planteamientos sobre atributos para una dinámica de grupo .. | 19 |
| Tabla 3 - Índices de habitabilidad de diferentes vehículos | 35 |
| Tabla 4 - Anchura de caderas sentado de la población española | 46 |
| Tabla 5 - Anchura del asiento entre apoyabrazos - Calificaciones adoptadas | 47 |
| Tabla 6 - Anchura entre codos | 49 |
| Tabla 7 - Anchura de la plaza - Calificaciones adoptadas | 49 |
| Tabla 8 - Existencia de apoyabrazos - Factores adoptados | 50 |
| Tabla 9 - Apoyabrazos escamoteables - Factores adoptados | 50 |
| Tabla 10 - Longitud rodilla-trasero..... | 52 |
| Tabla 11 - Espacio libre entre asientos en línea - Calificaciones adoptadas | 53 |
| Tabla 12 - Espacio libre entre asientos enfrentados - Calificaciones adoptadas | 53 |
| Tabla 13 - Paso entre asientos en línea - Calificaciones adoptadas | 53 |
| Tabla 14 - Longitud poplíteo-trasero (profundidad del asiento) | 55 |
| Tabla 15 - Profundidad del asiento - Calificaciones adoptadas..... | 56 |
| Tabla 16 - Estatura (altura del cuerpo) | 57 |
| Tabla 17 - Altura suelo-techo medida en el pasillo - Calificaciones adoptadas..... | 57 |
| Tabla 18 - Altura suelo-techo medida en eje de asiento - Calificaciones adoptadas . | 58 |
| Tabla 19 - Altura libre del pasillo - Calificaciones adoptadas | 58 |
| Tabla 20 - Longitud de la pierna (altura poplíteo) | 59 |
| Tabla 21 - Altura del asiento - Calificaciones adoptadas | 60 |
| Tabla 22 - Altura sentado..... | 62 |
| Tabla 23 - Altura de los ojos, sentado..... | 63 |
| Tabla 25 - Altura del respaldo - Calificaciones adoptadas | 63 |
| Tabla 26 - Descripción de los tipos de plazas por su posición relativa | 66 |
| Tabla 27 - Preferencias de elección de plaza | 67 |
| Tabla 28 - Uso de los aseos por los viajeros en diversos tipos de servicio..... | 70 |
| Tabla 29 - Relación entre uso del aseo, recorrido y tiempo de viaje | 70 |
| Tabla 30 - Porcentaje de uso de los aseos por un viajero y todos los viajeros del tren..... | 71 |
| Tabla 31 - Número de aseos - Calificaciones adoptadas..... | 71 |
| Tabla 32 - Tamaño de aseos - Calificaciones adoptadas..... | 72 |
| Tabla 33 - Ancho de la puerta del aseo - Factores adoptados | 72 |
| Tabla 34 - Equipamiento en aseos - Factores adoptados | 73 |
| Tabla 39 - Anchura entre codos..... | 85 |
| Tabla 40 - Anchura de caderas, de pie | 85 |
| Tabla 41 - Ancho útil de las puertas de acceso al tren - Calificaciones adoptadas ... | 86 |
| Tabla 42 - Número de puertas de acceso, autobuses | 87 |
| Tabla 43 - Número de puertas de acceso al tren - Calificaciones adoptadas | 88 |
| Tabla 44 - Longitud del pie..... | 89 |
| Tabla 45 - Distancia en horizontal entre tren y andén (en recta) - Calificaciones adoptadas | 89 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 46 - Distancia en vertical entre el piso del tren y andén (situado a 550 o 760 mm) - Calificaciones adoptadas | 90 |
| Tabla 47 - Distancia en vertical entre el primer escalón del tren y andén (situado a 550 o 760 mm) - Calificaciones adoptadas | 91 |
| Tabla 48 - Medida de los escalones prescritas en los autobuses | 92 |
| Tabla 49 - Medida de la huella de los escalones - Calificaciones adoptadas | 93 |
| Tabla 50 - Dimensión de la tabica de los escalones - Calificaciones adoptadas | 94 |
| Tabla 51 - Anchura de pasillo en autobuses y trenes..... | 96 |
| Tabla 52 - Anchura de caderas, de pie | 96 |
| Tabla 53 - Anchura entre codos..... | 97 |
| Tabla 54 - Anchura del pasillo por debajo de 900 mm - Calificaciones adoptadas | 97 |
| Tabla 55 - Anchura del pasillo por debajo de 900 mm - Calificaciones adoptadas | 98 |
| Tabla 56 - Ancho de los pasos entre coches - Calificaciones adoptadas | 98 |
| Tabla 57 - Ancho de puertas de intercomunicación - Calificaciones adoptadas | 99 |
| Tabla 58 - Ancho de puertas de intercomunicación - Calificaciones adoptadas | 100 |
| Tabla 59 - Automatismo de apertura de puertas - Factores adoptados | 101 |
| Tabla 60 - Contraste cromático en las puertas exteriores del tren - Factores adoptados | 101 |
| Tabla 61 - Señales audibles en las puertas - Factores adoptados | 101 |
| Tabla 62 - Señalización en braille de los mecanismos de apertura y cierre de puertas - Factores adoptados | 102 |
| Tabla 63 - Ancho útil de las puertas de acceso al tren para personas en silla de ruedas - Calificaciones adoptadas | 103 |
| Tabla 64 - Distancia entre tren y andén para personas en silla de ruedas - Calificaciones adoptadas | 104 |
| Tabla 65 - Paso libre y puertas interiores para personas en sillas de ruedas - Calificaciones adoptadas | 105 |
| Tabla 66 - Dimensiones de los espacios para sillas de ruedas | 106 |

1. INTRODUCCIÓN

Las características y prestaciones de los trenes de viajeros son relevantes para diferentes “grupos de interés” del ámbito ferroviario:

- Los viajeros, que al desplazarse han de pasar una parte de su tiempo en el vehículo y por ello están interesados en que ese tiempo sea lo más reducido y útil, y en que el viaje resulte cómodo y ameno.
- Las empresas operadoras de servicios de transporte, para las que los trenes son el activo más importante y deben rentabilizarlo. Por ello, los trenes deben ser atractivos para los clientes (más atractivos que los de las empresas y modos de transporte competidores, lo que permitirá obtener un mayor precio por el servicio) y además han de ser eficientes, requiriendo la menor cantidad de recursos para obtener una oferta atractiva y útil.
- Las autoridades públicas, que representan los intereses de sus administrados. A veces, la administración es el “cliente” que compra el servicio de transporte; y en otras ocasiones, actúa como regulador y necesita conocer de forma objetiva las características del servicio.

Estos grupos están interesados, por supuesto, en que los trenes cumplan las condiciones técnicas mínimas necesarias para ser admitidos a circular por las líneas ferroviarias que deban recorrer; pero además están interesados en que los trenes sean, en la medida de lo posible:

- seguros,
- fiables,
- respetuosos con el medio ambiente,
- confortables,
- rápidos,
- eficientes y, por ello, económicos de explotar.

Estas condiciones que se esperan del tren están integradas por otras de menor rango. Así por ejemplo, la condición de “respetuoso con el medio ambiente” puede conseguirse con un menor consumo energético, con menos emisiones o menos ruido; la de “confortable” con trenes más amplios o con mejor accesibilidad; la de “fiabilidad” con un reducido número de averías.

En ocasiones algunas de estas condiciones (incluso las de rango menor dentro de una de primer orden) pueden ser contradictorias entre sí:

- Un mayor confort puede suponer menor número de asientos, y por ello menos ingresos por tren.
- Una mayor accesibilidad puede suponer un mayor coste de adquisición del tren y además menor capacidad.

Por ello, resulta de máximo interés poder cuantificar y valorar estas características y, en lo posible, sus implicaciones económicas, para la ayuda a la toma de decisiones.

Los pasos del proceso de evaluación estandarizada

El proceso de evaluación estandarizada que se propone en el presente trabajo requiere tres pasos:

- Definir cuáles son los indicadores relevantes para el cliente o para el operador y su adecuada ponderación.
- Definir una “métrica” de estos indicadores, que ha de ser de carácter continuo, para poder evaluar y ponderar cada uno de sus diferentes valores.
- Definir un valor de intercambio económico (*trade off*) de los valores de cada indicador para poder tomar decisiones cuando una misma decisión tenga resultados opuestos sobre dos indicadores.

Ventajas de la evaluación estandarizada de las prestaciones

De acuerdo con lo expuesto, pueden señalarse tres ventajas de la evaluación estandarizada de las prestaciones de los trenes:

- Permite a los operadores de transporte ferroviario y a las autoridades públicas seleccionar los trenes más eficientes económicamente y más cómodos, de acuerdo con unos índices objetivos.
- Hace posible especificar en los Pliegos de condiciones para la adquisición de nuevos trenes o para la licitación de la prestación de servicios, los valores mínimos de cada indicador que aceptan y las reglas de valoración de cada uno de los valores posibles.
- Con esta herramienta, los diseñadores y los fabricantes de material móvil ferroviario tendrán un estímulo para mejorar las prestaciones de los trenes, reducir el consumo y mejorar las características que perciben los viajeros y así lograr una posición competitiva en el mercado. Asimismo, podrán mejorar la imagen de sus productos ante la sociedad y los compradores, al poder comunicar de forma fiable y creíble las mejoras conseguidas en este campo.

1.1. Ámbito y estructura del trabajo

Ámbito y alcance

El estudio se refiere a los trenes destinados al transporte de viajeros, sin que por ello se excluyan del análisis pertinente otros posibles usos del tren, compatibles con aquél, como el transporte de equipajes y de paquetería, de automóviles, etc.

En lo que se refiere a la distancia recorrida, la investigación abarca todos los tipos de transporte ferroviario diurno de viajeros; es decir, tanto a los que se realizan en el ámbito interurbano (se hará una especial referencia a la alta velocidad), como en el entorno de media distancia, suburbano y urbano. No se incluyen los trenes destinados al servicio nocturno de viajeros.

Se incluyen tanto ferrocarriles en sentido estricto, como metropolitanos, metros ligeros y tranvías.

El ámbito geográfico no está limitado, de forma que las conclusiones pudieran tener validez universal, si bien la aplicación inmediata y los datos de referencia serán de casos españoles, aunque se harán referencias a otros ferrocarriles cuando sea

necesario, bien por comparación, bien por no existir en España el caso que se analiza.

Como es natural, y dada la amplitud del ámbito que se aborda, será preciso en muchos casos considerar las diferencias de necesidades entre los distintos segmentos de tráfico (y las diferencias geográficas o culturales, si las hubiera).

Se harán también referencias y comparaciones, cuando proceda, con otros modos de transporte, como el avión o el autobús, tanto por la similitud de los problemas a resolver y la posible utilidad de las normas y estudios realizados sobre ellos, como por el hecho de ser modos de transporte competidores y a la vez complementarios del ferrocarril.

1.2. Métrica

Dada la novedad del trabajo, resulta conveniente definir cómo se van a medir y valorar cada uno de los atributos de cada tren a los efectos de este proyecto. Para ello, es preciso definir una *métrica*, que será específica para aquellos atributos percibidos por los viajeros.

La definición de metodologías adecuadas para cada uno de estos tipos de mediciones es especialmente relevante, teniendo en cuenta que las valoraciones a llevar a cabo deben particularizarse necesariamente para cada realidad que se desea conocer. Cada tipo de servicio y/o cada tipo de viajero tiene características propias que lo diferencian, siendo necesario llevar a cabo mediciones específicas para cada caso. En este sentido, el contar con metodologías homogéneas y aceptadas favorece la posterior comparación de los resultados a la hora de evaluar servicios y/o tipos de viajeros diferentes entre sí.

1.2.1. Métrica de los atributos percibidos por los viajeros

Cada uno de los atributos percibidos por los viajeros (habitabilidad y accesibilidad) tendrá un *Indicador absoluto* a cuyo valor concreto le corresponderá una *calificación* del 1 al 10. Esta calificación tiene un significado puramente convencional: cuanto mayor sea la calificación obtenida para el indicador, más valorado por los viajeros será el atributo; y dos trenes con la misma calificación puede esperarse que sean valorados de igual forma por los clientes.

Existen diversas técnicas de ponderación de atributos para caracterizar las dimensiones que conforman la prestación de un servicio.

La determinación de la calificación de cada atributo, para cada tren, se hace “en cascada” por agregación ponderada de las calificaciones otorgadas a los indicadores de niveles inferiores. Para ello, se definen varios “niveles de indicadores”. El valor de la calificación del indicador de cada nivel es la media ponderada de valores de las calificaciones los indicadores de su nivel inmediatamente inferior.

Este sistema presenta dos ventajas:

- Por una parte, permite conocer con más detalle (analizado las calificaciones de los indicadores de niveles inferiores) las razones de haber obtenido una mejor o peor calificación en el indicador global.
- Por otra parte, permite cambiar de forma sencilla las calificaciones si, por las razones que fuere, cambian las ponderaciones de cada uno de los indicadores.

Coeficientes de ponderación

Existen dos tipos de *coeficientes de ponderación* (en cuya determinación se profundizará en el siguiente apartado) para la agregación de las calificaciones de los indicadores de nivel inferior en la calificación de un indicador de nivel superior.

- Coeficientes de ponderación que proceden de las preferencias de los viajeros. Son coeficientes - como se ha señalado anteriormente - que sirven para otorgar un peso diferente a cada uno de los distintos factores que pueden valorarse por el viajero a la hora de valorar el atributo conjunto.

Por ejemplo, en el caso del “indicador de habitabilidad” (que es el Indicador denominado de nivel 1: N1), si los viajeros dieran una importancia del 30% a la “disponibilidad de espacio en anchura” (N2), del 50% a la “disponibilidad de espacio en longitud” (N2) y del 20% a la “disponibilidad de espacio en altura” (N2), los coeficientes de ponderación serían 0.3, 0.5, y 0.2 respectivamente.

Y, por ello, el valor de $lh = 0,3 \times lew + 0.3 \times lel + 0.2 \times leh$.

- Coeficientes de ponderación que dependen de algunas de las características del tren.

En algunos casos, en los trenes existen diferentes tipos de vehículos (así, de clase turista o de clase preferente); o de asientos dentro un mismo vehículo (asientos en el mismo sentido, asientos enfrentados, asientos orientables y asientos no orientables, etc.) En estos casos, es preciso emplear coeficientes de ponderación para agregar las calificaciones de indicadores de cualquier nivel de los diferentes tipos de plazas.

Por ejemplo, para constituir el indicador “disposición de asientos” si se tuviera un tren con el 80% de los asientos de la clase turista y 20% de la clase preferente, los coeficientes de ponderación de las calificaciones podrían ser respectivamente de 0,8 y 0,2.

Existen tres posibilidades para determinar este tipo de coeficientes:

- Emplear la proporción real de plazas existentes de cada tipo.
- Emplear la proporción de plazas combinada con el factor de uso de cada una según la venta de cada tipo. Así, si en el caso anterior, el aprovechamiento¹ de las plazas de los asientos de clase preferente fuera del 50% y de la clase turista del 80% la ponderación sería:

$$\text{Asientos de clase preferente } \frac{0,2 \times 0,5}{(0,2 \times 0,5 + 0,8 \times 0,8)} = 0,135$$

$$\text{Asientos de clase turista } \frac{0,8 \times 0,8}{(0,2 \times 0,5 + 0,8 \times 0,8)} = 0,864$$

- Emplear la proporción de plazas combinables con el factor de uso derivado de la observación del comportamiento real de los viajeros.

¹ **TERMINOLOGÍA:** En el contexto del presente proyecto denominamos “*aprovechamiento*” de un servicio de transporte al cociente entre los *viajeros por kilómetro* que ha transportado y las *plazas por kilómetro* ofrecidas (en inglés suele ser denominado “load factor”, lo que hace que en castellano se denomine en ocasiones “factor de carga”). No debe confundirse con la *utilización*, que sería el cociente entre los viajeros y las plazas, y que en los servicios sin paradas, como por ejemplo en los de transporte aéreo, coincide con el que hemos llamado *aprovechamiento*.

La razón que puede justificar este tipo de coeficientes es que en el caso de la venta sin reserva (e incluso en trenes con reserva si el tren no tiene una alta tasa de utilización), los viajeros se sitúan en el tren en las plazas que les resultan más cómodas, por lo que el coeficiente derivado del uso real puede no corresponder con el deducido de la venta.

De acuerdo con las definiciones dadas, existirán coeficientes de ponderación para las calificaciones de todos los indicadores, excepto para los de primer nivel, ya que éstos no se integran en ningún nivel superior. Por ejemplo, para el Indicador de nivel 1 de “habitabilidad”, lo que se pretende es caracterizar qué es (o cómo debería ser) la “habitabilidad” de un servicio concreto para una tipología de clientes determinada, para lo cual se debe aplicar una técnica de evaluación de la ponderación de los diferentes atributos de segundo nivel (de acuerdo a la importancia que les conceden los clientes) que caracterizan las dimensiones de la “habitabilidad”.

1.2.2. Calificaciones

En el presente estudio, cada uno de los indicadores (de cualquier nivel) de un tren tendrá una “calificación”, que es reflejo de la “bondad” de las características del tren.

La correspondencia entre los valores del indicador y las calificaciones que obtiene debe obtenerse a través de una función continua, para evitar que pequeñas variaciones en el valor (a veces fruto de una medición no muy precisa o de diferencias de ajuste entre vehículos de la misma serie) supongan un cambio muy importante en la calificación. Así, por ejemplo, si se concede la calificación “5” a un ancho de pasillo igual o mayor de 600 mm, si se mide en un tren en el que, por ajuste de los asientos o por imprecisión de medida, se midan 599,5 mm, podría pasar a tener una calificación de “4”.

La *calificación* de un indicador se obtendrá a partir del *valor* del indicador, de acuerdo con una línea continua, poligonal, formada por rectas y definida por tres o cinco puntos según los casos. Cuando el aumento (o disminución) del valor del indicador siempre traiga consigo un aumento (o disminución) de la calificación (es decir, el signo de la elasticidad es o positivo o negativo), la línea estará definida por tres puntos. Cuando los valores del indicador puedan aumentar o disminuir con mejoras en ambos casos en la calificación (es decir, con elasticidades tanto de signo positivo como negativo), la línea debe estar definida por cinco puntos.

En el primer caso está, por ejemplo, el ancho del asiento: cuanto más ancho, mayor calificación (hasta alcanzar un valor máximo por encima del cual no se aporta valor); por ello, la elasticidad de la calificación respecto al valor es siempre positiva. Un ejemplo del segundo caso se encuentra en la profundidad del asiento: valores muy bajos merecen calificaciones bajas (queda mucha parte de la pierna sin apoyar), pero también valores muy altos merecen calificaciones bajas (la espalda no llega al respaldo).

Criterios generales para las calificaciones

En el caso de indicadores de *habitabilidad* y de *accesibilidad* que se puedan relacionar con cotas antropométricas se emplearán como criterios generales para asignar las calificaciones 0, 5 y 10, salvo excepciones que se justifican en cada caso, valores relacionados con el dato antropométrico; por ejemplo el siguiente:

- **Calificación 0:** valores del indicador peores del que obtiene la calificación “0” son inaceptables. Normalmente se da esta calificación a valores del indicador

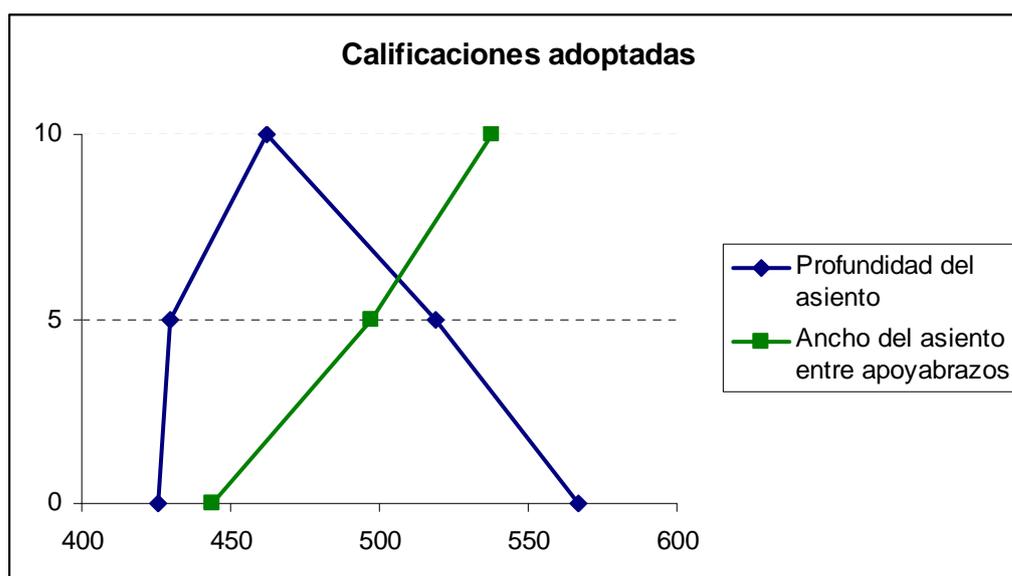
son útiles para el 95% de la población española (percentil 95), según sus características antropométricas y considerando los márgenes que procedan en cada caso.

- **Calificación 5:** denota que el valor del indicador es “suficiente”. Se otorga la calificación “5” al valor que lo hace útil para el 99% de la población española (percentil 99).
- **Calificación 10:** indica que el valor del indicador es óptimo, y que valores más favorables no aportan ningún aliciente o valor al viajero. A falta de otro criterio, se asignará la calificación máxima de “10” al valor que suponga un incremento del 30% en el valor del percentil 99 del género (masculino o femenino) que requiera en el caso concreto el valor más restrictivo dentro de la población española.

Las cotas antropométricas que se emplean se han obtenido del trabajo “Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial” (MTAS, 2003). El universo estadístico objeto de este trabajo está formado por la llamada población ocupada de España. La muestra sobre la que se realizó es de 1.723 personas, de las cuales 593 son mujeres y 1.130 hombres. Las edades de los sujetos están comprendidas entre los 16 y 65 años. Todas las medidas están tomadas con los sujetos vestidos únicamente con bañador. Este aspecto es de interés, puesto que habrá que añadir márgenes de holgura por la ropa al adoptar las calificaciones.

Para aquellos indicadores de segundo o tercer nivel que se pueden relacionar con cotas antropométricas, se emplearán valores máximos o mínimos según corresponda.

A continuación se muestra, como ejemplo, un diagrama de las calificaciones para los indicadores “ancho del asiento entre apoyabrazos” y “profundidad del asiento”. Para “ancho del asiento entre apoyabrazos” la calificación “0” corresponde al valor 444 mm; la calificación “5” corresponde al valor de 497 mm; y la calificación “10” se asigna al valor de 538 mm. Para el indicador “profundidad del asiento” se otorga la calificación “0” a valores inferiores a 426 mm o superiores a 567 mm; la calificación “5” corresponde a 430 mm y 519 mm; y la calificación “10”, a 462 mm.



1.3. Determinación de los coeficientes de ponderación de los atributos

La determinación de los coeficientes de ponderación no es objeto de este estudio; sin embargo, se incluyen seguidamente algunas reflexiones sobre la metodología para su cálculo, tanto a los efectos de determinación de los indicadores agregados de cada tren como de las implicaciones económicas.

Existen esencialmente dos metodologías de estimación de las ponderaciones:

- Definir pesos para los indicadores de los distintos atributos tenidos en cuenta en la valoración de un servicio, en función de la importancia que la empresa concede a esos aspectos, o la que se supone que los clientes les conceden con respecto a la valoración global del servicio. Se trata de una ponderación que podría entenderse arbitraria, si bien suele fundamentarse en información ya disponible (estudios cualitativos, encuestas, etc.) sobre la importancia de esos atributos para los clientes. Este tipo de ponderación supone un riesgo de error derivado de la potencial valoración de unos atributos por encima de otros en un nivel que probablemente no se corresponde con el que otorgan los clientes del servicio en la realidad. Este sesgo se puede limitar realizando un análisis estadístico previo del nivel de asociación entre las variables implicadas en la valoración del servicio de transporte y la valoración global del mismo.
- Ponderación según la importancia atribuida directamente por el viajero a cada atributo del servicio. Se detalla a continuación.

1.3.1. Las preferencias de los viajeros como criterio de ponderación

Es muy importante tener en cuenta que cuando se habla de “valoración” se hace referencia a *nivel de significación* o *importancia* que presenta el atributo para el cliente a la hora de hacer uso de ese servicio concreto, y no del *nivel de calidad* que percibe ese viajero. Se pretende ahora definir una metodología para calcular ponderaciones en función de la importancia directamente atribuida por el usuario a cada aspecto que define el servicio. Estas ponderaciones, a su vez, podrán ser utilizadas posteriormente en la realización de encuestas de calidad a los clientes.

En la métrica de los atributos relevantes para el viajero propuesta anteriormente, una vez conocidas las calificaciones asignadas a los valores de los indicadores de menor nivel para un tren concreto es preciso aplicar unos *coeficientes de ponderación* para poder agregarlos en los niveles superiores. Estos coeficientes se determinarán en función de la preferencia mostrada por los clientes.

Así por ejemplo, un tren puede tener una calificación de “6” en “espacio en anchura” y un “8” en “disponibilidad de espacio longitudinal” y si estos fueran los únicos indicadores de segundo nivel del indicador del primer nivel “habitabilidad” habría que decidir si al primero se le da un peso de 6/10 (y por ello de 4/10 al segundo) o si, por el contrario, el espacio longitudinal es más valorado que el espacio en anchura.

En el presente proyecto no se ofrecen valores concretos de los coeficientes de ponderación. Hacerlo empobrecería el resultado, al englobar en el modelo valores concretos de coeficientes que pueden ser diferentes en cada entorno geográfico o incluso en cada momento, ya que las valoraciones para cada tipo de servicio (y/o tipología de cliente) serán diferentes entre sí.

Parece preferible que la metodología que es objeto del trabajo recoja el coeficiente ponderador de cada atributo como un parámetro que puede ser variado (y por tanto modelado) por cada decisor, bien como resultado de un estudio específico sobre las preferencias de los clientes reales o potenciales, bien como ponderación de las preferencias del propio decisor según la técnicas ya comentadas de la *decisión multicriterio*.

Como en todos los temas relacionados con el comportamiento humano, esta es una cuestión difícil de objetivar y cuantificar. Las diferencias de valoración que cada cliente otorga a un atributo pueden depender de numerosas circunstancias subjetivas; así, por ejemplo, una persona de movilidad reducida concederá más importancia al piso bajo y a los pasillos anchos que al espacio entre asientos; una persona del sur de España otorgará una importancia fundamental al aire acondicionado; y un ciclista, a la posibilidad de llevar bicicleta en el tren. Debe observarse que, dada la variabilidad de estos coeficientes, deberán en cada caso concreto definirse los más adecuados, investigando y evaluando las preferencias locales, regionales o nacionales.

Además, como se ha comentado, los coeficientes de ponderación de este tipo serán diferentes para el mismo indicador según el *tipo de servicio*, como consecuencia lógica de la distinta importancia que los viajeros le otorgan. Así, el peso de que los asientos sean reclinables será mayor en un servicio de larga distancia que en un servicio urbano, mientras que la ponderación de los diferentes indicadores de la accesibilidad será mayor en un servicio de cercanías, con recorridos cortos después y antes de la operación de subida y bajada del tren, que en un servicio de muy larga distancia en el que el esfuerzo de subir o bajar se “diluye” en más horas y kilómetros de recorrido.

Ello explica que, dada la variabilidad de los coeficientes de ponderación, según entornos locales y momentos determinados, así como de públicos objetivos de cada servicio, el hecho de incluir unos valores concretos en este proyecto le haría perder aplicabilidad.

Una vía de investigación novedosa es la desarrollada para evaluar el cambio en el comportamiento de los viajeros ante cambios de la arquitectura y diseño interior de los trenes. Esta vía de trabajos, íntimamente ligada a la valoración de atributos del servicio de transporte, ha tenido especial aplicación en Reino Unido, país en el que se cuenta con una batería notable de investigaciones en este sentido. Los trabajos realizados (entre otros) por Wardman y Whelan (2001), concluyen valoraciones específicas para atributos del servicio de transporte en numerosas experiencias de cambio y mejora de los servicios ferroviarios británicos.

Este tipo de trabajos, a pesar de aplicar metodologías diversas (y en algunos casos controvertidas), consideran siempre de especial importancia conocer el comportamiento de los viajeros para optimizar el diseño de los interiores. Para conocer este comportamiento, los avances más recientes sobre la valoración de un tren están incluyendo atributos relacionados con el confort. El concepto de confort es subjetivo y está influido por diversos factores de tal manera que no hay una solución universal.

El confort no sólo es físico, sino una experiencia emocional. No hay una manera de modelar lo que causa incomodidad y confort. Para avanzar en esta materia es necesario experimentar con los viajeros sus sensaciones a bordo de diferentes modelos de tren. Además, en el caso de un viaje en ferrocarril hay que considerar no sólo el confort a bordo, sino también el de la estación (un buen viaje puede verse arruinado por una mala estación y viceversa). En este sentido van los estudios de la

Universidad de Newcastle, el proyecto “Aconit” de la SNCF y el “Green Train” en Suecia.

1.3.2. Atributos que caracterizan un servicio de transporte

En coherencia con lo expuesto, un aspecto fundamental para el diseño de la operación de un sistema de transporte reside en el conocimiento de la valoración de los viajeros respecto a los atributos de diverso tipo (y respecto a los cambios que se pueden implementar sobre los mismos) que caracterizan el producto.

Una clasificación de atributos habitualmente empleada en el transporte es la que distingue entre atributos *primarios* o caracterizadores directos del servicio, entendiéndose por tales el tiempo de viaje, el precio y la frecuencia (o intervalo entre trenes), y los atributos *secundarios*, esto es, el confort, la puntualidad o la seguridad.

García Álvarez, Cillero Hernández y Rodríguez Jericó (1998) establecen una clasificación de atributos en este sentido, considerando como atributos de *primer nivel* la *frecuencia* (y adecuación de horarios), el *tiempo de viaje* y el *precio*. Para estos autores, los atributos de *segundo nivel* más importantes son la *puntualidad*, la *seguridad*, el *nivel de servicios a bordo y acomodación*, la *ergonomía*, la *fiabilidad* y la *conectividad* (integración en red del servicio).

Para estos autores, la calificación de estos atributos como de segundo nivel se debe a que aparentemente tienen menor influencia a la hora de decidir viajar o no viajar; y una vez que se ha decidido viajar, hacerlo en un modo o en otro. En relación con el objeto de la presente investigación, en ese trabajo se apuntaba que “el tipo de material rodante (tren) empleado no es un atributo de producto, aunque sí lo pueden ser ciertas características del mismo, tales como la velocidad, características de ergonomía, confort, habitabilidad, etc.”.

La presente investigación se centra ahora, precisamente, en profundizar en esos atributos caracterizadores del servicio que están vinculados directamente con el material rodante.

La relevancia de este tipo de atributos -tradicionalmente poco estudiados- cada vez es más importante en la formación global de la percepción de los individuos respecto al servicio de transporte. En este sentido, García Álvarez (2006) señala que las teorías de valoración por esfuerzo (según las cuales el valor recibido debe ponderarse en relación con el esfuerzo necesario), derivadas del concepto clásico del coste generalizado, que en su formulación habitual aplicada al transporte se han referido siempre al coste monetario y al tiempo/frecuencia empleado en el viaje, deben considerar también otro tipo de elementos que influyen en la impedancia o resistividad del viaje. Así, factores físicos como la comodidad, la ergonomía, los servicios a bordo, etc., pueden influir en la elección modal, así como otro tipo de factores psicológicos que no son objeto de estudio directo en este trabajo (miedos, prejuicios, desconocimiento, imágenes distorsionadas, etc.).

En esta investigación se propone una clasificación completa de una amplia batería de atributos relevantes para los viajeros y que están relacionados con la arquitectura y el diseño interior de los trenes, que diferencia entre los siguientes atributos (de primer y segundo nivel):

- Atributos de Habitabilidad
 - disponibilidad de espacio en anchura,
 - disponibilidad de espacio en longitud,

- disponibilidad de espacio en altura,
- configuración y posición relativa de la plaza,
- aseos.
- Atributos de Accesibilidad
 - accesibilidad de la población que se mueve a pie
 - paso libre de puertas de acceso,
 - número de puertas de acceso,
 - escalones,
 - anchura de los pasillos y de los pasos entre coches,
 - anchura de las puertas interiores del tren.
 - Accesibilidad de personas en silla de ruedas
 - anchura útil de las puertas de acceso al tren para personas en silla de ruedas,
 - distancia entre el tren el andén para personas en silla de ruedas,
 - pasos libres y puertas interiores para personas en sillas de ruedas,
 - continuidad de piso,
 - radio de giro dentro de los aseos o en las plataformas.

En esta investigación, además, se lleva a cabo una definición de Indicadores adecuados para la medición de cada uno de esos atributos. La percepción de los clientes respecto a los mismos dependerá, como se comentó, del tipo de servicio y/o del tipo de perfil de viajero en cada caso concreto analizado.

1.3.3. Fundamentos metodológicos

La práctica totalidad de modelos de reparto aplicados en la economía del transporte se basan en que la elección depende de la percepción de los usuarios sobre las ventajas del modo elegido frente a los modos competidores, lo cual supone considerar que los consumidores tienen un conocimiento perfecto de las alternativas que van a evaluar y que no se ven influenciados por elementos distorsionadores, como prejuicios, malas experiencias pasadas, etc. Los modelos de elección modal más utilizados son los basados en la *teoría de la utilidad aleatoria*.

Entran ahora en juego, en la presente investigación, teorías procedentes del ámbito de la sociología y la investigación social aplicada al comportamiento del consumidor, tradicionalmente poco o nada aplicadas al transporte, y que sin embargo, cada vez son más necesarias en la medida de que la elección modal se hace compleja y comienza a verse afectada por variables de orden distinto a las que se emplean habitualmente.

Así, técnicas como el estudio de prejuicios sociales, valoración de imagen, mapas de percepción, etc., son métodos de análisis muy desarrollados en otras áreas sociales y económicas, planteándose ahora su aplicación directa al fenómeno de la elección modal en el proceso de viajes en ámbitos urbanos e interurbanos.

Sin embargo, los modelos cualitativos no son adecuados por sí solos para valorar las preferencias de los individuos respecto a los atributos del producto, puesto que estas técnicas no pueden solucionar situaciones en las que se presentan elecciones que

suponen un intercambio o *trade-off* (por ejemplo, más calidad a cambio de más precio).

Como se ha reseñado, este tipo de análisis de valoración de atributos del servicio de transporte son realizados habitualmente en países como el Reino Unido y Suecia para la evaluación social y económica de proyectos, bajo el prisma de la asignación eficiente de unos recursos limitados. Algunos atributos concretos que han sido objeto de valoración son los siguientes:

- accesibilidad para personas discapacitadas,
- nivel de limpieza (en estaciones y vehículos),
- disponibilidad de asientos,
- ruido, limpieza, ventilación, temperatura interior,
- confort de los asientos,
- confort de marcha,
- decoración interior de los trenes,
- estaciones (vestíbulos, aseos, etc.),
- tiempos de espera para adquirir los billetes.

La mayor parte de los estudios realizados hasta el momento en este sentido se basan en la utilización de técnicas de *Preferencias declaradas* (SP). No obstante, hay autores como Wardman y Whelam (2001) que han cuestionado las valoraciones aportadas por los modelos clásicos de SP al considerar que dan lugar a respuestas sobrevaloradas. En estos modelos de *Preferencias declaradas* (SP) se obtienen valoraciones singularizadas para cada uno de los atributos considerados, y se pueden ordenar los mismos por orden de importancia.

Un problema que presentan los experimentos de SP surge a la hora de agregar las respuestas para los diferentes atributos. Si se pregunta por separado la valoración que un viajero concede a un atributo determinado, tiende a ser más alta que si tiene que elegir (ya que tiende a considerar todo como imprescindible). Para evitar este efecto hay que aplicar sistemas estadísticos y de diseño de la encuesta, empleándose además valoraciones agregadas (bajo la forma de paquetes de atributos) que se someten a opinión de forma conjunta. En el capítulo de esta investigación dedicada a la eficiencia económica de los trenes, al describir los modelos de valoración económica de los atributos de un tren se analiza en detalle este aspecto.

1.3.4. Agregación de variables para dar forma a los atributos de orden superior

Una vez que se han definido las líneas básicas de una metodología para aproximar los atributos relativos que perfilan las dimensiones de percepción de los usuarios respecto a un determinado servicio de transporte, en términos de su importancia relativa, es importante enfatizar la necesidad de resumir los datos revelados en las encuestas para reducir una determinada cantidad de *variables explicativas* a un número menor. Esa cantidad menor de variables realmente relevantes serán las que se sometan posteriormente a valoración (mediante técnicas de *Preferencias Declaradas* o *Ratings*) para conocer la sensibilidad económica en la capacidad de pago de los individuos.

En este sentido, generalmente, las variables a priori explicativas de un fenómeno social (en este caso la percepción de los usuarios ante un determinado atributo)

suelen presentar redundancias, de tal manera que más de una variable puede estar asociada con una misma idea fundamental, que podemos designar como *factor* (concepto equivalente a nuestro enfoque de atributos de mayor nivel respecto a los que se sitúan por debajo de ellos).

Para llevar a cabo este tipo de agregaciones, por la complejidad de las relaciones que pueden existir entre las variables, no se recomienda aplicar análisis simples de correlación univariante o bidimensional. Para ello existen técnicas estadísticas de *análisis de datos multivariante*, que es preciso aplicar.

Del conjunto de técnicas de análisis multivariable que podemos aplicar, el *Análisis Factorial* (y en menor medida el *Análisis Cluster*) permite avanzar en la caracterización y simplificación de los atributos que necesitamos.

Se parte de la realidad (que irá exponiéndose en los capítulos posteriores de esta investigación), de que un *factor* determinado -por ejemplo un atributo de primer nivel- no es directamente observable como tal, si bien se pretende que sea representativo de una serie de variables o dimensiones (los atributos de menor nivel, y así sucesivamente), objetivados en última instancia mediante Indicadores cuantitativos. Dado que no es observable, para interpretar un determinado *factor* es preciso tener en cuenta las *cargas de los factores*, que son unos valores que miden las correlaciones entre los *factores* y las *variables*.

Esas cargas aportarán información sobre qué variables o atributos de menor nivel están correlacionados con cada atributo principal, y su grado de correlación.

Para ello se aplica la técnica del *Análisis Factorial*, en la cual corresponde al investigador o experto en transporte asignar una denominación e interpretación al factor obtenido. Esta técnica combina el análisis estadístico con la capacidad analítica del investigador.

El *Análisis Factorial* es una técnica que consiste esencialmente en resumir la información contenida en una matriz de datos con un número determinado de variables. Se reduce una serie de variables a un conjunto menor (los *factores*) que contienen la mayor parte de la información y son suficientes para explicar el fenómeno. En este método se considera un número muy amplio de variables, y la investigación se dirige a analizar si existe un número de factores reducido que explique la relación entre ellas. Esas interrelaciones se analizan en términos de un número menor de variables que hemos denominado *factores* (si no son observables), o componentes principales (si son observables).

Para ello la técnica identifica un número limitado de factores “F”, con la condición de que el número de factores sea menor que el número de Variables inicialmente contempladas. Los factores representan a las variables originales (nuestros atributos de menor nivel), con una pérdida mínima de información.

Un modelo matemático de *Análisis Factorial* es similar en su concepción a una regresión múltiple.

$$X_{ij} = F_{1i} + F_{2i} a_{i2} + F_{3i} a_{i3} + \dots + F_{ki} a_{ik} + V_i$$

donde: X_{ij} es la puntuación de un individuo i en la variable j ; F_{ij} son los coeficientes factoriales comunes; a_{ij} son las cargas factoriales; y V_i abarca el error de medición y la parte de variación no explicada por los factores.

Aplicándolo a nuestra nomenclatura, y siguiendo el ejemplo antes mencionado de la “Habitabilidad”, intentaríamos ahora determinar en qué medida unas variables (o atributos de menor nivel) que supuestamente pensamos que la caracterizan (“Disponibilidad de espacio en anchura”, “Disponibilidad de espacio en longitud”, “Disponibilidad de espacio en altura”, “Espacio para equipajes”, etc.) realmente

contribuyen a explicar ese fenómeno de la “Habitabilidad”; y, además, en qué medida las variables se pueden reducir a un número menor de factores -no conocidos de antemano y que debemos interpretar- con una adecuada capacidad de explicación sobre la variable principal.

Una vez definidas esas variables aparentemente explicativas (factores de menor nivel que a su vez se podrían reducir), aplicaremos encuestas como ya se expuso en los epígrafes anteriores- para determinar la importancia relativa que otorgan cada uno de los individuos observados (i) a cada una de las variables, aplicando para ello escalas de Likert con un número determinado de categorías (“muy importante”, “algo importante”, “medio”, “poco importante”, etc.).

Una vez de que se disponga la matriz de datos (puntuaciones de los individuos “i” hacia cada una de las variables “j”), se aplicará el Análisis Factorial (por ejemplo, mediante Componentes Principales) para identificar aquellos factores que realmente caracterizan la “Habitabilidad” tomando como referencia la opinión expuesta por los individuos hacia ese grupo de variables aparentemente explicativas. El Análisis Factorial permitirá avanzar -mediante pruebas sucesivas- en la determinación de un número determinado de Factores que resuman el grupo de variables sometidas a análisis. Según sea el grado de capacidad de explicación global del fenómeno estudiado (en nuestro ejemplo, la capacidad de explicar la “Habitabilidad”), lo que en términos estadísticos se conoce como *varianza total explicada* por los factores, se irá aumentando adicionalmente en el experimento el número de factores explicativos hasta determinar un número óptimo.

Es interesante significar que hay dos tipos de Análisis Factorial: *Exploratorio* y *Confirmatorio*. En el Análisis Factorial Exploratorio no se conocen los factores “a priori”, sino que se determinan mediante el propio Análisis Factorial; en el Factorial Confirmatorio se propone “a priori” un modelo (como el que se especifica en esta investigación), en el cual se supone que existen unos factores que representan las variables originales, siendo el número de variables superior al de factores, y se somete a validación el modelo mediante esta técnica.

En el Análisis Factorial los fenómenos deben explicarse con el menor número de elementos posibles (número de factores lo más acotado posible), debiendo ser los factores susceptibles de interpretación por sí mismos.

No se considera objeto de este trabajo entrar en la definición teórica de un modelo de Análisis Factorial y de los pasos a seguir para llevarlo a cabo, ya que existe bibliografía y conocimiento abundante sobre la materia. Únicamente se desea advertir de la necesidad de simplificar al máximo las variables o atributos de menor nivel que aparentemente definen los atributos principales, señalando que una técnica adecuada para ello -no la única dentro del conjunto de técnicas de análisis multivariante- es el Análisis Factorial.

Finalmente, y siempre en función del objetivo concreto que se persiga con la investigación sobre atributos de valoración, otra técnica que podría aplicarse es el *Análisis Cluster*. El objeto principal de esta técnica consiste en agrupar objetos (en este caso, grupos de usuarios que están valorando el transporte) en conglomerados, de forma que cada individuo sea lo más parecido a los que conforman el conglomerado con respecto a algún criterio de selección predeterminado. Se persigue así que los conglomerados resultantes tengan un alto grado de homogeneidad interna (dentro del conglomerado), y un alto grado de heterogeneidad externa (entre conglomerados).



1.3.5. Enfoque de una metodología de investigación de mercados para la ponderación de indicadores basada en las percepciones de los clientes

Un estudio de valoración y ponderación previa de atributos debe partir, en nuestra opinión, de considerar una “jerarquía de necesidades” a la hora de viajar lo más completa posible.

Partiendo de esta realidad, en sentido amplio, es preciso particularizar la definición de los atributos para “cada tipo de viaje o de servicio” que va a ser objeto de análisis. Y ello, con el objeto de identificar el conjunto de atributos que realmente son relevantes para los clientes, para el viaje o servicio concreto que va a ser evaluado.

La propuesta metodológica subyacente en esta investigación parte, en primer lugar, de la realización de una investigación cualitativa mediante *dinámicas de grupo*, a través de las cuales se pretende conocer cuáles son esos atributos que determinan la percepción de valor del viajero con respecto al viaje o servicio. Es preciso aplicar esta técnica cualitativa antes de la realización del experimento de *Preferencias declaradas* (SP), para conocer con veracidad qué indicadores de la oferta realmente caracterizan el servicio. Es decir, del conjunto de atributos antes señalados, junto a otros que eventualmente puedan definirse, determinar cuáles son más relevantes.

En el diseño y realización de estas *dinámicas de grupo* se utilizarán técnicas de presentación espontánea y sugerida para la detección de los atributos. La composición de las dinámicas debe incorporar a personas procedentes de los estratos sociales más representativos del *perfil de viajero* que hará uso de los servicios. En

este sentido, conviene contar con información previa procedente de algún estudio de mercado de *perfiles de clientes* que ayude a diseñar la composición de la dinámica.

Puede ser recomendable, asimismo, llevar a cabo dinámicas de grupo de “clientes” y “no clientes” del servicio de transporte, entendiendo por estos últimos aquellos usuarios que efectúan ese mismo desplazamiento analizado pero que eligen otro modo. Por ejemplo, analizar grupos de clientes del tren en la ruta “Madrid-Barcelona”, pero en paralelo analizar en dinámicas diferentes a usuarios del autobús y/o del avión en ese mismo trayecto. Los autores de esta investigación consideran que este aspecto es esencial -y muchas veces no suficientemente considerado en la práctica habitual- ya que tan importante es la valoración que tienen del ferrocarril sus clientes actuales como sus clientes potenciales (estos últimos, probablemente, valorarán aspectos diferentes, que deberá considerar el ferrocarril si desea captarlos como clientes en el futuro).

La *guía de la dinámica* que empleará el moderador debe ser diferente para cada tipo de servicio. Además, lo deseable sería diferenciar, a su vez, en “hora punta” y “hora valle”. Así por ejemplo, no son tan relevantes las barras horizontales para un viajero de Largo Recorrido que viaja sentado como para uno de Cercanías. Y en este último caso, las valora más un viajero de hora punta que otro de hora valle, ya que es más probable que éste viaje sentado.

Un ejemplo de planteamiento de un conjunto de atributos a priori relevantes para ser debatidos en una dinámica (a modo de atributos sugeridos) es el siguiente:

Tabla 1 - Ejemplo de planteamientos sobre atributos para una dinámica de grupo

| Atributos | Cuestiones |
|------------------------|---|
| Anchura de la banqueta | ¿Le parece un factor importante? ¿Qué valora de la anchura? ¿Le molesta llevar una persona a su lado? ¿Considera necesario un apoyabrazos central? |
| Anchura respaldo | ¿Considera que es un factor diferencial para la comodidad de este tipo de servicios? ¿El material del respaldo y de la banqueta influye? ¿Qué tipo de material considera más relevante? |
| Anchura pasillos | ¿Qué tipo de bultos suele llevar consigo cuando realiza este desplazamiento? ¿Considera necesario desplazarse por dentro del tren en este trayecto? ¿Le molesta realizar ese viaje de pie? ¿Dónde le gustaría encontrar las agarraderas para los viajeros de pie (en los asientos o en el techo)? |
| Apoyabrazos | ¿Sí o no? ¿Laterales y/o centrales? |

| | |
|---|--|
| Anchura apoyabrazos | ¿De qué ancho? ¿Diferente ancho para los laterales que para los centrales? |
| Grosor asientos | ¿Es un factor que aporta realmente comodidad? ¿Está relacionado con otro tipo de contingencias que afectan al confort, como el calor corporal o el nivel de mullido del asiento? |
| Asiento reclinable | ¿Sí o no? ¿Grados de inclinación? ¿Valora positiva o negativamente los asientos enfrentados? |
| Reposa cabezas | ¿Sí o no? ¿Fijo o liso? |
| Paso de los asientos | Distancia entre cara y respaldo |
| Espacio para las rodillas | Distancia entre rodilla y respaldo |
| Altura cabeza a la rejilla portaequipajes | ¿Prefiere sentarse próximo en asientos de pasillo o de ventana? ¿Le genera alguna sensación de agobio viajar debajo del espacio portaequipajes? |
| Altura suelo a techo en asiento | ¿Cree usted que este factor incide en su comodidad a la hora de efectuar el viaje? ¿En qué tipo de desplazamientos (o rangos de distancia/tiempo) cree que puede resultar relevante? |
| Altura pasillo | Ídem |
| Altura de la rejilla portaequipajes | ¿Qué tipo de equipajes lleva consigo en este viaje? ¿De su experiencia, el espacio superior para equipajes ubicado sobre los asientos suele ser suficiente? ¿Suele ser accesible? |
| Altura del respaldo | ¿Valora usted la posibilidad de apoyar la cabeza en el asiento? |
| ¿Banqueta extensible? | ¿Sí o no? |
| ¿Apoyabrazos abatible? | ¿Sí o no? |
| ¿Apoyabrazos individual? | ¿Sí o no? |
| ¿Apoyapiés abatibles? | ¿Sí o no? |
| Luz individual | ¿Le parece un factor relevante para este tipo de desplazamientos? ¿Suele dedicar tiempo a la lectura en estos trayectos? En caso afirmativo ¿aproximadamente cuánto tiempo dedica? |
| Luz ambiente | ¿Mucha o poca? ¿Qué tipo de iluminación prefiere usted para este viaje? |
| ¿Tobera aire individual? | ¿Sí o no? ¿Qué tipo de graduación de la ventilación prefiere? |
| Mesita individual | ¿Sí o no? ¿Para qué la utilizaría usted? |
| Percha | ¿Sí o no? |
| Papelera | ¿Sí o no? |
| Toma eléctrica | ¿Sí o no? ¿Valoraría usted la posibilidad de usar un dispositivo eléctrico (ordenador personal cargador de móvil, etc.) durante un viaje de esta naturaleza? |

| | |
|---------------------------------|--|
| Auriculares | ¿Sí o no? ¿Para escuchar música o vídeo? ¿Diferentes canales de música? ¿Otro tipo de información como noticias, programas de televisión, etc.? |
| Televisión | ¿Sí o no? ¿Qué tipo de programación / entretenimiento a lo largo del viaje? |
| Aseos ¿cuántos aseos por plaza? | ¿Sí o no? ¿En qué ubicación? |
| Orientación asientos marcha | ¿Sí o no? |
| Cafetería | ¿Sí o no? ¿Qué tipo de servicio valoraría (atención en barra, provisión de catering, autoventa, etc.)? |
| Catering en mesa | ¿Sí o no? |
| Autoservicio bebidas | ¿Sí o no? |
| Vibración | ¿Ha percibido vibraciones que le hayan resultado especialmente molestas en este tipo de trayectos? |
| Ruido interno | ¿Ha percibido ruido que le haya resultado especialmente molesto en este tipo de trayectos? |
| Inhibidor móviles | ¿Sí o no? |
| Puertas | ¿Cuál sería la anchura ideal? ¿Qué número de puertas? ¿En qué situación dentro del vehículo? |
| Viajar junto a ventana | ¿Sí o no? |
| Accesibilidad d/andén | ¿En qué medida es un factor decisivo? ¿Qué elementos concretos determinan o condicionan para usted la accesibilidad a un vehículo ferroviario (diferencial de altura entre andén y suelo del vehículo, presencia de escalones, distancia de la caja al andén, etc.)? |
| Agarraderas en asientos | ¿Sí o no? |
| Agarraderas en barra horizontal | ¿Sí o no? |
| Agarraderas barra vertical | ¿Sí o no? |
| Asientos 2+1 | ¿Sí o no? |
| Asientos 2+3 | ¿Sí o no? |
| Información teleindicador | ¿Sí o no? ¿Qué mensajes informativos son necesarios para este tipo de trayectos? |

Notas: a) es importante definir exactamente al comienzo de la dinámica el tipo de servicio que se va a llevar a cabo; b) los atributos y cuestiones presentadas son simples ejemplos

Fuente: Elaboración propia

En una segunda fase, una vez se hayan concluido las *dinámicas de grupo* y se haya puesto de manifiesto aquel conjunto amplio de atributos que aparentemente son relevantes en la valoración de los clientes (en términos de importancia concedida), resulta esencial efectuar una primera agregación de los mismos, de tal manera que se construyan “paquetes” de indicadores (que a su vez pueden o no diferenciarse en más elementos), de tal manera que se simplifiquen las dimensiones que conforman los diferentes atributos.

Así, a modo de ejemplo, y siguiendo la ordenación genérica de atributos que efectuamos en el presente estudio (que obviamente debe particularizarse para cada tipo de servicio y de viajero-tipo), nuestro atributo de primer nivel “habitabilidad” se podría descomponer en seis atributos de segundo nivel algo más definidos (disponibilidad de espacios en anchura, en longitud, en altura, espacio para equipajes, número y superficie de los aseos, y configuración y posición relativa de los asientos). A su vez, como se expondrá, cada uno de esos atributos de segundo nivel puede venir conformado por otros atributos o dimensiones todavía más específicas (denominadas de tercer nivel), y así sucesivamente.

El resultado de las dinámicas de grupos concluirá un conjunto lo más amplio de posible de esas dimensiones que caracterizan el atributo principal que deseamos analizar. En ese ejemplo, para el “nivel de habitabilidad” del tren, identificando qué aspectos asocian los usuarios (actuales o potenciales) como determinantes de ese atributo. Es decir, como resultado de las *dinámicas* se obtendrá un listado de atributos que son importantes para el cliente y se determinará:

- En primer lugar, qué factores se pretenderá medir en el experimento posterior de valoración económica de los mismos (por ejemplo, aplicando una técnica de *Preferencias declaradas*).
- En segundo lugar, qué atributos de menor nivel o dimensiones formarán parte de cada factor.

En este sentido, para determinar unos pesos cuantitativos (ponderaciones) para ese conjunto amplio de factores que sirvan para aplicar posteriormente el experimento de valoración económica, es necesario proceder a agruparlos de alguna forma, ya que resulta prácticamente imposible (y podría dar lugar a distorsiones muy importantes) someter a valoración cuantitativa individualizada de un número excesivamente amplio de dimensiones que además pueden estar relacionadas entre sí.

Para ello, en esta segunda fase, una vez concluidas las dinámicas y conocidos los atributos que aparentemente son relevantes en la valoración de los clientes (en términos de importancia concedida), se plantea la necesidad de realizar un estudio cuantitativo basado en una encuesta de “perfil y valoración de atributos”. Este estudio, al igual que el anterior, debe realizarse en paralelo tanto para “clientes” como para “no clientes” del servicio de transporte. Adecuando, obviamente, los cuestionarios de cada investigación.

En este estudio se pedirá al cliente (y al no cliente), para cada grupo de indicadores principales definidos (en nuestro ejemplo, para la “habitabilidad”), que otorgue una calificación (en una escala por ejemplo de 0 a 10, de menos a más importante) para cada dimensión dentro de cada atributo de diseño de servicio considerado en función de la importancia relativa que tienen para él.

Se obtendrán así mediciones de la importancia de las diferentes dimensiones que conforman cada indicador para el usuario, siempre para el servicio concreto que sea objeto de valoración. Se obtendrá, entonces, el dato básico para calcular los pesos o

ponderaciones que hay que dar a cada indicador de menor nivel dentro de cada atributo a partir de la importancia que le concede cada cliente concreto.

Esas puntuaciones individualizadas de las dimensiones (o atributos de menor nivel) se traducirán en puntuaciones medias otorgadas para cada atributo de mayor nivel. A su vez, esas puntuaciones individualizadas se traducirán en coeficientes de ponderación (entre 0 y 1) para cada dimensión dentro de cada indicador, resultantes de la agregación de la suma de puntuaciones individualizadas dividiendo el peso de cada puntuación entre la suma agregada dentro de cada atributo.

Finalmente, se obtendrán por el mismo sistema coeficientes de ponderación para cada indicador (igualmente entre 0 y 1), resultantes de la agregación de la suma de puntuaciones conjuntas para cada indicador, dividiendo el peso de cada puntuación entre la suma agregada de todos los atributos.

A modo de ejemplo, podríamos encontrar un determinado servicio de transporte (por un ejemplo un servicio de Cercanías) que sea evaluado de la siguiente forma, a la hora de caracterizar el indicador de primer nivel de “habitabilidad” (como se comentó, estos indicadores de primer nivel no tienen ponderaciones). Empleando nuestra categoría de atributos de menor nivel, y considerando una puntuación graduada por simplificar entre 1 y 4 (“nada importante”, “poco importante”, “algo importante”, “muy importante”), los atributos de segundo y de tercer nivel considerados serían los recogidos en la tabla que aparece más adelante.

Es recomendable aprovechar este trabajo de campo (y sus cuestionarios) para incluir preguntas relacionadas con el perfil del cliente en sentido amplio: características socioeconómicas, hábitos de viaje, frecuencia de realización del viaje, motivaciones de elección (y no elección) del modo, etc. El cruce posterior de estas variables de perfil de cliente con las preguntas de valoración de importancia relativa de cada atributo puede aportar conclusiones sumamente útiles sobre la posible existencia de nichos de usuarios que presenten comportamientos y valoraciones similares sobre los que centrar estrategias de diseño del tren específicas.

Hay que señalar, con respecto a las valoraciones de los diferentes atributos, que la media aritmética puede no ser representativa: por ejemplo, un tren calificado individualmente puede que, en media, no sea muy atractivo pero su calificación global sea mayor porque tiene “algo” imperceptible que lo convierte, por ejemplo, en un tren acogedor. Por esa razón, una buena opción es calificar, además de parcialmente (según se ha expuesto, en base a la percepción sobre cada uno de sus atributos), globalmente el tren. Se puede determinar de esta manera una regresión que, mediante mínimos cuadrados ordinarios, estime la valoración global del tren (VG) con sus valoraciones parciales.

Así podemos estimar la valoración global del tren mediante la siguiente regresión

$$VG = C + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

siendo VG la valoración global, x_n las calificaciones globales y a_n los parámetros a estimar. Estos parámetros recogen la elasticidad de la satisfacción global con respecto a los cambios en los atributos: por tanto, podemos utilizarlos también como coeficientes de ponderación.

Tabla 2 - Ejemplo de evaluación de la habitabilidad de un servicio de Cercanías

| Atributos de segundo y tercer nivel que caracterizan la "Habitabilidad" | Puntuaciones medias | | Coeficientes resultantes | |
|---|---|---|---|--------------------|
| | Obtenidas de encuesta para cada dimensión | Calculadas de puntuaciones individuales de cada dimensión | Para cada dimensión dentro del atributo | Para cada atributo |
| | (1 a 4) | (1 a 4) | (0 a 1) | (0 a 1) |
| "Disponibilidad de espacios en anchura" | --- | 2,20 | --- | 0,178 |
| Ancho del asiento (entre apoyabrazos) | 2,3 | --- | 0,522 | --- |
| Ancho de la plaza | 2,1 | --- | 0,477 | --- |
| "Disponibilidad de espacios en longitud" | --- | 2,533 | --- | 0,205 |
| Espacio libre entre asientos | 2,8 | --- | 0,368 | --- |
| Profundidad del asiento | 1,5 | --- | 0,197 | --- |
| Espacio longitudinal de pie entre asientos | 3,3 | --- | 0,435 | --- |
| "Disponibilidad de espacios en altura" | --- | 3,233 | --- | 0,262 |
| Altura suelo-techo en el pasillo | 3,2 | --- | 0,165 | --- |
| Altura suelo-techo medida en eje de asiento | 3,4 | --- | 0,175 | --- |
| Altura libre del pasillo | 3,8 | --- | 0,196 | --- |
| Altura media del suelo al techo medio | 3,2 | --- | 0,165 | --- |
| Altura del asiento | 2,6 | --- | 0,134 | --- |
| Altura del respaldo | 3,2 | --- | 0,165 | --- |
| "Espacio para equipajes" | --- | 1,050 | --- | 0,085 |
| Existencia de equipajeros a bordo del tren | 1,3 | --- | 0,619 | --- |
| Ubicación del equipajero | 0,8 | --- | 0,380 | --- |
| "Número y superficie de los aseos" | --- | 0,633 | --- | 0,051 |
| Nº de aseos en el tren | 1,2 | --- | 0,631 | --- |
| Superficie de los mismos | 0,4 | --- | 0,210 | --- |
| Espacio libre con puerta abierta | 0,3 | --- | 0,158 | --- |
| "Configuración y posición relativa de los asientos" | --- | 2,66 | --- | 0,216 |
| Posibilidad de orientación del asiento con respecto al sentido de la marcha | 3,4 | --- | 0,425 | --- |
| Elemento lateral al lado del asiento (ventana, pasillo u otro asiento) | 2,8 | --- | 0,350 | --- |
| Configuración diferente de la plaza (disposición en asientos corridos o de departamentos) | 1,8 | --- | 0,225 | --- |

Fuente: Elaboración propia

1.3.6. Limitaciones de los estudios de mercado para conocer las preferencias de los viajeros

Se debe poner de manifiesto, finalmente, que los estudios de mercado deben ser considerados con cautela. El motivo es que hay que considerar que los atributos (conocidos a través de las *dinámicas de grupo*) son cambiantes, al igual que lo es la valoración de los viajeros. Las razones las exponemos a continuación.

- En primer lugar, hay que considerar que estamos analizando una situación *ceteris paribus* (permaneciendo todo lo demás constante). Así, por ejemplo, la valoración puede cambiar si un modo competidor reacciona ofreciendo más comodidad, o según sea el grado de sustituibilidad -alternativas modales de elección- de cada modo en cada ruta: por ejemplo, las compañías de autobús comienzan a ofrecer servicios con mayor comodidad, y sus atributos de calidad no serán valorados de la misma forma en una ruta en la que exista una competencia alternativa y similar con el ferrocarril que cuando esta sustituibilidad no existe. Por esta razón, puede ser el viajero más exigente y cambiar su valoración, a la vez que disminuye su disponibilidad a aceptar una comodidad menor.
- Además, hay que tener en cuenta que las valoraciones pueden ser diferentes en función del país e incluso de la zona de un país. En un país nórdico se puede valorar poco el aire acondicionado mientras que en un país del sur se valorará mucho. En un núcleo de Cercanías del norte no se valora igual el buen funcionamiento del aire acondicionado que en el sur, etc. En algunas culturas el contacto físico, aunque mínimo, es muy desagradable; en España la ausencia de la cafetería sería peor valorado, sin duda.
- También hay que considerar cambios antropométricos: los cambios antropométricos son pequeños a corto plazo, pero pueden ser relevantes a medio y largo plazo. Por ejemplo, puede darse un cambio en la talla de los viajeros (un claro ejemplo es el aumento de la altura media de los españoles) de tal manera que un tren cómodo lo sea menos a los 10 o 15 años de la vida operativa de su configuración.
- Los cambios en la composición de la población también pueden ser importantes. Por ejemplo, la llegada de inmigrantes, que se convierten en potenciales clientes del ferrocarril, cambia las características antropométricas (por ejemplo, la altura media) de parte de los viajeros potenciales, así como sus factores de valoración y elección modal.
- Un factor sin duda relevante son los cambios en la edad. El envejecimiento de la población supone que algunos elementos de la arquitectura pasen a valorarse más: este puede ser el caso de la facilidad de acceso, la existencia de agarraderas, piso bajo, etc.
- En la sociedad, en fin, se producen cambios que afectan al concepto de viajar y a las propias motivaciones de los desplazamientos. Hace relativamente poco, viajar en coches de viajeros de departamentos se consideraba una oportunidad de amenizar el viaje conociendo a los compañeros de viaje e incluso una oportunidad de intercambiar viandas. El viaje es por sí mismo una experiencia gratificante. Ahora no es así y en muchas ocasiones se prefiere viajar con más intimidad y sin cruzar palabra.

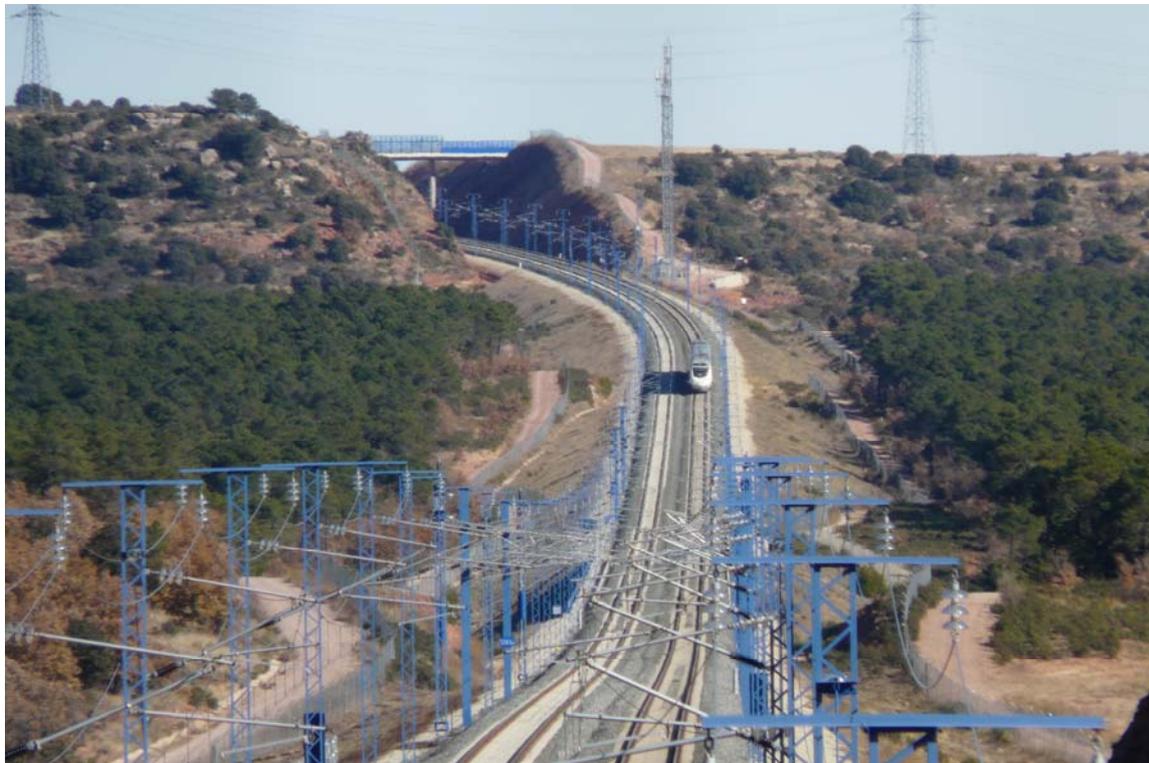
- Tampoco hay que olvidar que los resultados estadísticos están sujetos a un margen de error, sesgos, etc., de tal manera que si hay que tomar una decisión siempre hay que valorar que entramos en el campo de la probabilidad.

Como conclusión, es necesario estudiar periódicamente los atributos y su valoración para adaptar la configuración a los gustos de los viajeros. Para ello es necesario disponer de metodologías que permitan realizar los estudios sin incurrir en excesivos costes y que los cambios en la configuración no sean muy costosos. Así, deben construirse configuraciones internas de fácil transformación: por ejemplo, que sea fácil cambiar el paso de asiento. En cada país, e incluso en cada región de un país, los gustos pueden ser diferentes, de tal manera que es preciso que los estudios que se realicen sean lo más específicos posible.

Así pues, cada estudio debe realizarse de una manera detallada para cada tipo de servicio, relación y momento determinado. Por tanto, no es posible generalizar ni los atributos ni su valoración, y en todo caso deben interpretarse con cautela.

1.3.7. Coeficientes de ponderación que dependen de la diversidad de plazas dentro de un mismo tren

En muchos casos, en un mismo tren (e incluso en un mismo coche) existen plazas que merecen diferente calificación en determinados atributos de nivel inferior. Es el caso frecuente de los asientos de clase preferente o de clase turista; o cuando en un mismo coche unas plazas van en el sentido de la marcha y otra parte de las plazas van en contra del sentido de la marcha. En estos casos, para obtener la calificación del indicador correspondiente en el tren o coche de que se trate es preciso ponderar las calificaciones que reciben, en ese atributo, cada de uno de los asientos-tipo que lo integran.



1.4. Tipos de servicios y de infraestructura relevantes

Para calificar los valores de los indicadores que se evalúan, es preciso tener en cuenta las características propias del servicio que ha de prestar el tren y de la infraestructura que ha de recorrer. Se definirán, pues, los *tipos de servicio y de infraestructura* (que en lo sucesivo se designarán, en aras de la brevedad, como *tipos de servicio*) como una combinación de características de la infraestructura (por ejemplo, el perfil de velocidades máximas admitidas, los radios de curva, la tensión de electrificación o las rampas) y de la operación (como la distancia entre paradas, el número de viajeros que suben y bajan por paradas, el aprovechamiento, etc.). Las características del *tipo de servicio y de infraestructura* son (y esto es muy importante) independientes de las características del material rodante.

La segmentación de los *tipos de servicio* se hace por la distancia a recorrer por el viajero y por el tiempo que el viajero ha de pasar en el tren: no se requiere el mismo espacio para viajar en un tranvía (con un tiempo de viaje típicamente del orden de 10 minutos) que en un viaje de muy largo recorrido en el que el viajero va a pasar 10 horas; no son iguales las necesidades de accesibilidad (número y características de las de puertas) requeridas en un servicio de cercanías con una alta rotación de los viajeros que en un servicio de alta velocidad en el que la mayor parte de los viajeros van de origen a destino.

Así pues, es preciso definir diversos *tipos de servicio*, en cada uno de los cuales se atribuirán calificaciones diferentes a un mismo valor del indicador en función de las características diferenciales del servicio.

Diferencias por clases.- No se estima necesario diferenciar por clases comerciales (primera y segunda) o por tipos de acomodación dentro del mismo tren y para el mismo servicio: probablemente la amplitud y confort de las plazas de segunda clase será en todos los casos menor que en las de primera (para el mismo tren y tipo de servicio), pero ello simplemente se traducirá en una ponderación diferente según la proporción que exista de uno y de otro tipo de plazas: no se considera que existan necesidades diferentes para los viajeros de primera y de segunda clase, simplemente se les ofrece un confort mayor o menor (en correspondencia con un precio diferente), que es posible medir con la metodología propuesta. Por otra parte, puede que diferentes operadores adopten políticas diferenciadas en cuanto a la designación y características de las clases, lo que hace que éste no sea un criterio de valoración.

Así, en los trenes de alta velocidad en España se ofrecen tres clases (Turista, Turista Plus y Preferente), mientras en los de Media Distancia convencionales solo hay Turista. En algunos países y trenes se tiende a sustituir las "clases" basadas en la diferencia de espacio y de servicios por tipos de acomodación: "Silencio", "Negocios", "Familia", etc.

Varias calificaciones para el mismo tren.- Cada tren evaluado puede serlo para diversos *tipos de servicio*. Así, un mismo tren puede realizar servicios de cercanías y regionales, y para cada uno de ellos obtendrá una calificación diferente. Ello enriquece la metodología y aumenta su utilidad, ya que las condiciones a exigir o las valoraciones de un tren en los *Pliegos de condiciones* podrán ser para uno o para varios *tipos de servicio*, o incluso para una combinación ponderada de varios *tipos de servicio*.

Así, por ejemplo, una autoridad de transporte que licita un servicio puede exigir en los pliegos para los trenes una calificación mínima de "6" en "Accesibilidad", ponderando las calificaciones obtenidas en servicios tipo "Cercanías" con un 0,9 y tipo "Regionales" con 0,1, si ésta va a ser la proporción de su uso; o un operador ferroviario, en el concurso para comprar sus trenes, puede indicar que en la valoración técnica de cada

tren se concederá un punto por cada kilómetro por hora de “Velocidad media conseguida”, suponiendo un mix de recorridos de 0,5 de “Larga distancia” y 0,5 de “Muy larga distancia”; o, en fin, un operador que esté comprando un tren de alta velocidad podrá especificar que incluye como coste del tren al valorar la oferta económica el valor de la energía consumida por el mismo suponiendo que va a realizar un 70% de los servicios de “Larga distancia” y un 30% de servicios “Regionales”.

1.4.1. Definición de los tipos de servicio y de infraestructura

La evaluación de un tren no depende exclusivamente del vehículo, sino también del servicio que realiza. El servicio está caracterizado por una infraestructura concreta (velocidad máxima, perfil, túneles...) y por una forma de operación determinada (número de paradas, márgenes de tiempo...). Así pues, un mismo tren tendrá valoraciones diferentes para cada uno de los servicios que puede realizar.

En la definición de los criterios que un operador o una autoridad pública va a adoptar para evaluar un tren o para comparar varios trenes, pueden emplearse *tipos de servicio* definidos ad hoc, y por ello diferentes de los que aquí se definirán, o *tipos de servicio* resultantes de mezclar, con ponderaciones diversas, algunos de los aquí presentados.

Se estima, sin embargo, que si se exceptúan algunos casos de servicios muy particulares con características específicas, los tipos propuestos son suficientemente representativos, y normalmente será suficiente la utilización de uno de ellos o de una combinación lineal de varios. Máxime teniendo en cuenta que el objetivo de la metodología que se propone no es poder anticipar un resultado concreto, sino comparar varios trenes y poder analizar los valores de intercambio entre diferentes variables.

La posibilidad de emplear combinaciones lineales de diferentes tipos de servicios básicos evita tener que definir un número muy elevado de diferentes *tipos de servicio*.

Los tipos de servicio que se consideran, se clasifican en tres grandes grupos:

- *Servicios interurbanos de larga distancia* (aquellos en los que el recorrido medio del viajero² es mayor de 300 km/h), que se designan con las letras “LD”.
- *Servicios interurbanos de media distancia* (distancia media del viaje entre 60 y 300 km), que se designan con las letras “MD”.
- *Servicios de cercanías y urbanos*, en los que por las distancias que abarcan no es relevante la distinción de la velocidad media, y se designan con las letras “CU”.

Dentro de cada grupo de los dos primeros, la segmentación se realiza basándose en la velocidad media comercial (se ofrecen como referencia los datos disponibles de los servicios de Renfe Operadora, que normalmente corresponden al año 2005 o a 2006). En el tercer grupo, la segmentación de segundo nivel se realiza por la distancia media.

² TERMINOLOGÍA.- Entendemos por *recorrido medio* en un servicio de transporte el cociente entre los *viajeros por kilómetro* transportados y los *viajeros* que lo han utilizado. Lógicamente, el recorrido medio del viajero será igual o menor (normalmente menor) que el recorrido del tren o del servicio de transporte de que se trate.

Los tipos de servicio adoptados como referencia son siguientes:

HS LD, Servicios de alta velocidad y larga distancia: se definen como aquellos que tienen una velocidad media superior a 150 km/h y un recorrido medio del viajero de más de 300 km.

Como referencia, en las rutas que operaba Renfe en 2014 en este segmento se transportaron 17,97 millones de viajeros, siendo la velocidad media del orden de 202 km/h; el recorrido medio de los viajeros 447 km, y el tiempo de viaje medio de 2:12.

HS MD, Servicios de alta velocidad y media distancia: serían aquellos que, con una velocidad media superior a 150 km/h, realizan recorridos medios del viajero de hasta 300 km. En Renfe tienen la denominación comercial “Avant”

En los servicios Avant operados por Renfe en el año 2014 (Madrid-Puertollano, Madrid-Toledo, Málaga-Córdoba-Sevilla, Ourense-A Coruña, Madrid-Segovia-Valladolid, Barcelona-Girona-Figueras, Barcelona-Lleida...) el recorrido medio fue de 120,7 km, la velocidad media de 164,8 km/h y el tiempo medio de viaje de 44 minutos. Deben sin embargo destacarse las notables diferencias entre líneas, que oscilan entre los 31 minutos de media en Madrid-Toledo y los 75 minutos en Lleida-Barcelona. En este sentido, valdría la pena de cara al futuro redefinir este tipo de servicios dividiéndolo en dos subsegmentos según el tiempo de viaje fuese menor o mayor de 50 minutos (que vendrían a ser, respetivamente, como cercanías de alta velocidad y servicios regionales de alta velocidad”.

CS LD, Servicios convencionales de larga distancia: serían aquellos servicios que, con una velocidad media inferior a 150 km/h, realizan recorridos medios de los viajeros superiores a 300 km.

En España los servicios de larga distancia convencionales tienen (2014) una velocidad media de 100,2 km/h y el recorrido medio es de 426 km lo que significa que el tiempo medio de viaje es de 4:20.

CS MD, Servicios convencionales de media distancia: son aquellos que, con una velocidad media del tren inferior a 150 km/h, sus viajeros recorren menos de 300 km.

En España los servicios de media distancia convencional tienen una velocidad media de 77,5 km/h, un recorrido medio del viajero de 112 km y un tiempo de viaje medio de 1:26.

CU CM, Servicios convencionales de cercanías: son aquellos en los que el recorrido medio del viajero es inferior a 60 km y mayor de 10 km. Debe destacarse que en este tipo de servicio se observa un rango grande de tiempos de viaje, por lo que en alguna ocasión será preciso recurrir a una clasificación más detallada dentro de él.

En España el recorrido medio de los viajeros de cercanías de Renfe es de 17,1 km, la velocidad media de estos trenes es de 50,7 km/h y el tiempo de viaje medio es de 34 minutos.

CU UB, Servicios urbanos: son aquellos en los que el recorrido medio del viajero es inferior a 10 km, y todos lo que se prestan con material tipo tranvía o Metro, sea cual fuese la velocidad media.

1.4.2. Características de los tipos de servicios adoptados

La definición de las características de los tipos de servicio incluida en este trabajo es puramente convencional, como puede deducirse de la metodología expuesta. No resulta imprescindible que sean exactamente reales (lo que además sería imposible, pues en realidad no hay dos servicios iguales), ya que de lo que se trata es de comparar características de los trenes, y lo relevante es que las características de los tipos de servicio empleadas para la comparación sean las mismas, para todos los

trenes, en cada tipo de servicio. Sin embargo, parece conveniente que los resultados que se obtengan (además de ser válidos para la comparación estandarizada) sean lo más realistas que resulte posible, por lo que en la definición de las características de los *tipos de servicio* se ha partido de las características de los servicios existentes en España, efectuando diversas combinaciones entre ellas como se detalla a continuación:

HS LD, Servicios de alta velocidad y larga distancia: se definen como una agregación de los servicios de alta velocidad de Madrid a Barcelona sin paradas, Madrid a Sevilla con parada en Córdoba y de Madrid a Málaga con parada en Córdoba.

HS MD, Servicios de alta velocidad media distancia: se definen como una agregación de los servicios de Madrid a Toledo, de Madrid a Puertollano con parada en Ciudad Real, de Córdoba a Sevilla sin paradas, y de Madrid a Valladolid con parada en Segovia.

CS LD, Servicios convencionales de larga distancia: se considera como tipo el servicio de Madrid a Murcia con paradas en Alcázar de San Juan, Socuéllamos, Albacete, Hellín, Calasparra y Cieza.

CS MD, Servicios convencionales de media distancia: se considera el servicio de tren de fines de semana de Madrid a Ponferrada con 28 paradas intermedias.

CU CM, Servicios convencionales de cercanías: se definen como una agregación de los servicios de cercanías de Madrid Chamartín a Guadalajara con paradas en 14 estaciones intermedias, y de Santurce a Bilbao con 13 paradas intermedias. Se considera el primero representativo de los recorridos de cercanías con mayores distancias entre paradas y velocidades máximas, y el segundo de los servicios más “metropolitanos”.

CU UB, Servicios urbanos: se define como una agregación de dos trayectos de la línea 1 de Metro de Madrid, a saber: desde Pinar de Chamartín hasta Plaza de Castilla, con dos paradas intermedias, por ser un tramo de reciente construcción y de carácter periférico con mejor trazado y menos paradas; y desde Cuatro Caminos a Atocha, con nueve paradas intermedias, por ser un tramo representativo de las características de líneas más antiguas con más paradas, curvas más cerradas, etc.

Cantidad de equipaje que llevan los viajeros

Desde el punto de vista del equipaje, y a los efectos del modelado de la incidencia de la tipología de los equipajes en la accesibilidad y los tiempos necesarios para entrar y salir los viajeros, se establecen tres tipos de equipajes:

- aquellos que se pueden llevar normalmente colgados, como bolsos, mochilas pequeñas, carteras, etc., y que constituyen los elementos básicos con los que se desplazan las personas en su vida cotidiana. Los denominamos “BS” (“*baggage: small*”);
- aquellos que tienen un volumen mayor, pero convencionalmente los limitamos a los volúmenes y dimensiones que son aceptados como equipaje de mano en los aviones. Son carteras mediadas, maletas pequeñas, etc. Se trata de los equipajes que típicamente llevan las personas para viajes profesionales o de corta duración, como suelen ser instrumentos de trabajo o la ropa y enseres necesarios para la pernoctación de un día. Denominaremos a estos equipajes “BM” (“*baggage: medium*”);
- la tercera categoría de equipajes estaría constituida por aquellos bultos de gran tamaño (maletas medianas y grandes, bicicletas, esquís, etc.) que constituyen el equipaje que suelen llevar las personas para viajes de dos o más días de duración, así como los viajes de ocio, etc. Se designan como “BL” (“*baggage: large*”).

Y según el equipaje que llevan sus viajeros, se asigna a cada tren un *Índice de equipaje* que resulta de ponderar los viajeros que llevan equipajes de cada una de las clases de la siguiente forma:

BI (baggage index = índice de equipaje): porcentaje de viajeros con Bs x1 + porcentaje de viajeros con BM x 2 + porcentaje de viajeros con BL x 3. Por ello, en cada tren $1 < BI < 3$.

Con este dato, clasificamos los trenes en tres categorías según el equipaje que lleven sus viajeros:

- *trenes en los que los viajeros llevan poco equipaje* (los designaremos como B1), como suelen ser los urbanos, los de cercanías y algunos de media distancia. Son aquellos en los que el índice de equipaje observado está entre $1 < IB < 1,4$;
- *trenes en los que los viajeros llevan típicamente equipajes medios* (B2), como pueden ser algunos de media distancia, la mayor parte de los de alta velocidad y larga distancia (entre semana). Estos trenes se definen como aquellos en los que el índice de equipaje está entre $1,4 < IB < 1,8$;
- *trenes en los que los viajeros llevan mucho equipaje* (B3), en concreto aquellos en los que $2,00 < IB$. Típicamente son trenes de larga distancia en cualquier velocidad, especialmente en fin de semana y épocas de vacaciones y en periodos de media mañana y media tarde.

Porcentaje de viajeros que entran y salen en estaciones intermedias

Es necesario definir, para cada tipo de servicio, el número de viajeros que entran y salen del tren en las paradas intermedias. Para ello, se estimará el porcentaje que suponen los viajeros que salen o entran sobre las plazas del tren en las paradas propias del tipo de servicio. Obsérvese que con este índice no solamente estaremos incluyendo la rotación de los viajeros (cuántos viajeros de los que van en el tren entran o salen en una parada intermedia), sino también el aprovechamiento del tipo de servicio (cuántos viajeros van en el tren en función de las plazas que ofrezca el tren).

Como los viajeros que entran y salen no se distribuyen uniformemente entre todas las puertas, este porcentaje se aplica a la puerta más desfavorable, que será, en los trenes de asientos, aquella a la que “se asignen” más plazas por proximidad, y lógicamente el porcentaje se aplicará sobre las plazas “asignadas” a la puerta “más desfavorable”.

Además, puede deducirse de lo expuesto, que el porcentaje indicado debe incluir la dispersión estadística entre los valores medios del número de viajeros que entran y salen por cada puerta y los valores reales.

En los servicios con plazas de pie o sin asignación de plaza (y en aquellos a los que a los viajeros les resulta, en principio, indiferente entrar por una puerta o por otra), puede realizarse el cálculo de este parámetro en la puerta media y sumar, al tiempo observado en ella, dos veces la desviación típica de los tiempos de entrada y salida sobre su propia media, según se propone de forma empírica en el manual *Transit Capacity and quality service* (Transportation Research Board, 2003).

1.5. Diferencia entre arquitectura y configuración

Los trenes de viajeros presentan una tipología muy variada, que además puede ser analizada con diferentes criterios. Es importante, para los efectos de este trabajo, distinguir dos grandes grupos de características del tren, según el momento en el que se deciden y según la posibilidad de cambiarlas a lo largo de la vida del tren. En este sentido, puede distinguirse entre:

- características de la *arquitectura* del tren, que se deciden en el momento del diseño del tren y que no se pueden modificar posteriormente. Entre estas características pueden incluirse que el tren sea remolcado o autopropulsado; que los coches sean de uno o de dos pisos o niveles; que sean de caja ancha o normal; articulados o no; de cajas inclinables o no; cuál es la altura del piso y el número de puertas... Estas decisiones se toman en el momento del diseño general del tren, normalmente por el fabricante;
- características de la *configuración* del tren, que son típicamente consecuencia de decisiones del operador del servicio y pueden ser diferentes en distintos trenes con la misma arquitectura, e incluso pueden cambiar a lo largo de la vida del tren. Entre ellas, pueden mencionarse si el tren lleva cafetería o restauración, el número de clases, la amplitud de los asientos en cada clase, los equipos de entretenimiento embarcados, etc. También el tamaño del tren (número de coches o de grupos de coches) puede ser diferente con una misma arquitectura.

En el transporte aéreo y por autobús es muy frecuente que un vehículo con unas características técnicas determinadas (con una cierta arquitectura) tenga diversas versiones (configuraciones) según la compañía operadora, estando ya previsto desde el momento del diseño que un avión o un autobús de una determinada arquitectura puedan adoptar diversas configuraciones.

En el ferrocarril también se está empezando a producir esta situación en la que un tipo de tren (llamado a veces “familia” de trenes), caracterizado por una arquitectura, es fabricado para diversos operadores con diferentes configuraciones. Incluso, en ocasiones, el mismo operador puede variar la configuración del vehículo por diferentes necesidades.

Por ejemplo, en los trenes de alta velocidad españoles se presentan dos casos muy claros de diferente configuración con la misma arquitectura, con diferencias de capacidad real del orden de 10 a 20%, logradas de forma diferente:

- uno es el de los trenes de alta velocidad para servicios de largas distancias de las series 102 y 112, fabricados por Talgo-Bombardier en dos lotes, adjudicados con cinco años de diferencia. Los primeros 16 trenes (serie 102) fueron comprados en 2000 y entraron en servicio en 2005; y el segundo lote de 30 trenes (serie 112) se contrató en 2004-2005 y entraron en servicio en 2008. En ambos casos se trata de trenes de arquitectura idéntica: tracción concentrada con dos cabezas motrices de 4.000 kW cada una, encuadrando doce remolques intermedios pendulares Talgo. Sin embargo, la primera serie tiene 316 plazas y la segunda, 346 plazas (+9,5%). La diferencia obedece a una menor anchura de las butacas, que permite aumentar la capacidad manteniendo sin alterar la distancia entre el respaldo de un asiento y la posición de las rodillas de la persona sentada en él.

- El otro ejemplo corresponde a las series 120 y 121 para los servicios de alta velocidad y ancho variable de Renfe Operadora. Los primeros trenes (serie 120) fueron comprados en 2000 y hacen servicio desde 2006, y los segundos fueron comprados en 2004-2005 y hacen servicio desde 2011. En este caso, se trata de trenes de tracción distribuida de cuatro coches de un piso no articulados. Los primeros trenes tienen 237 plazas, mientras que los segundos tienen 282 plazas (+18,9%), en ambos casos incluyendo las plazas para PMR. En estos trenes, las diferencias de configuración obedecen (además de a una menor distancia entre asientos) a que los de la serie 121 no tienen cafetería (aunque sí un espacio para máquinas de *vending*) y además son trenes de clase única con disposición de asientos 2+2 en todo el tren, mientras que los de la serie 120 tienen clase preferente (1+2) y clase turista (2+2).

Esta es una situación nueva, por cuanto en el pasado los mercados de material rodante eran típicamente locales (ahora son regionales o globales), las compañías operadoras eran pocas (aún no se había producido la separación vertical que ha introducido numerosos nuevos operadores, generalmente de menor dimensión que los preexistentes) y había una menor sensibilidad sobre los efectos económicos de la construcción de series cortas con proyectos diferentes. Cabe prever que esta tendencia continuará en el futuro, de forma que los trenes (o *familias de trenes*) se ofrecerán por los fabricantes con características arquitectónicas determinadas para que cada operador pueda adoptar la configuración que le interese para su concreto servicio.

1.6. Estado del arte

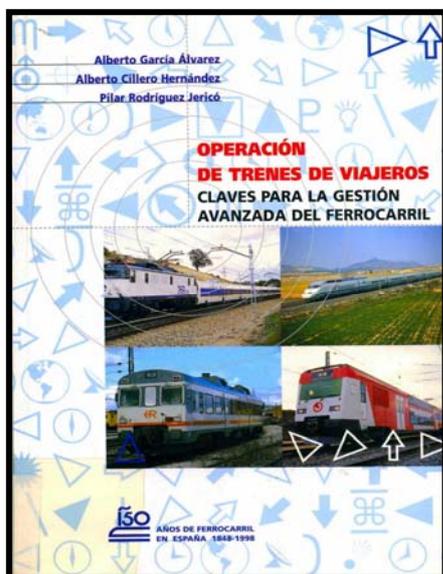
El “estado del arte” en la cuestión que en este trabajo se aborda se puede analizar desde dos puntos de vista fundamentales:

- los estudios teóricos y proyectos de investigación realizados sobre las diversas materias relacionadas y
- las normas (obligatorias y recomendaciones) existentes, detrás de las cuales subyacen los correspondientes estudios y experiencias de explotación, y que tienen, por tanto, el interés del criterio que ha dado lugar a la norma.

No se limita el ámbito de la revisión del “estado del arte” al transporte por ferrocarril, sino que se abarca (lógicamente con menor detalle) otros modos de transporte de viajeros. Y ello, por varias razones: 1) no son especialmente numerosos los estudios en el campo del ferrocarril, por lo que el análisis podría resultar pobre; 2) la problemática de otros modos de transporte es, en la mayor parte de los casos, muy similar a la del ferrocarril y cuando no lo es, pueden hacerse las necesarias adaptaciones; y 3) los otros modos de transporte son, normalmente, complementarios y competidores con el ferrocarril, por lo que el análisis de las normas aplicables puede explicar su competitividad relativa.

1.6.1. Estudios y proyectos de investigación

Transporte ferroviario



El primer estudio en castellano sobre las características de los trenes y su relación con el servicio prestado a los clientes es el de García Álvarez, Cillero Hernández y Rodríguez Jericó (1998) *Operación de trenes de viajeros, Claves para la gestión avanzada del ferrocarril*, en el que se encuentra una completa descripción de los tipos de trenes, matizando la relación de cada tipo con sus características operativas.

Además, en el mismo trabajo puede encontrarse una reflexión sobre la problemática de coste y capacidad de los trenes y una propuesta de estandarización de capacidad sobre la utilización del espacio en los trenes con plazas de pie y sobre el número de *filas equivalentes* en los trenes con plazas sentadas.

En este trabajo se profundiza en el conocimiento del negocio de las operaciones de transporte de viajeros y de manera particular en las estructuras económicas y las variables operativas de diseño de la operación que caracterizan la actividad. Se ponen de manifiesto las relaciones económicas entre las diferentes variables de diseño y atributos del servicio (entre ellas, la velocidad del tren) con los costes operativos, poniendo de relieve -entre otros hechos relevantes- la aparente paradoja de que el incremento de velocidad supone una reducción de los costes operativos.

Asimismo se propone una forma de obtener una visión conjunta de la habitabilidad de un vehículo (relevante por cuanto tiene evidente relación con la problemática abordada en la presente investigación) mediante el denominado *Índice de habitabilidad global (Ih)*. Dicho índice depende de tres factores, ligados todos al espacio disponible para las plazas:

$$Ih = Ihl \times Ihw \times Ihh$$

donde *Ihl* sería el “índice de habitabilidad longitudinal” que se obtiene dividiendo las filas equivalentes (con un paso de 900 mm) por las filas reales; *Ihw* es el “índice de habitabilidad transversal”; e *Ihh* es el “índice de habitabilidad vertical”. Para los tres índices (cuya metodología de cálculo en función de las dimensiones se describe en el trabajo) un valor mayor supone una mayor habitabilidad.

Como orientación de los obtenidos, en la tabla se recogen unos valores medios, obtenidos de forma aproximada para diferentes tipos de vehículos:

Tabla 3 - Índices de habitabilidad de diferentes vehículos

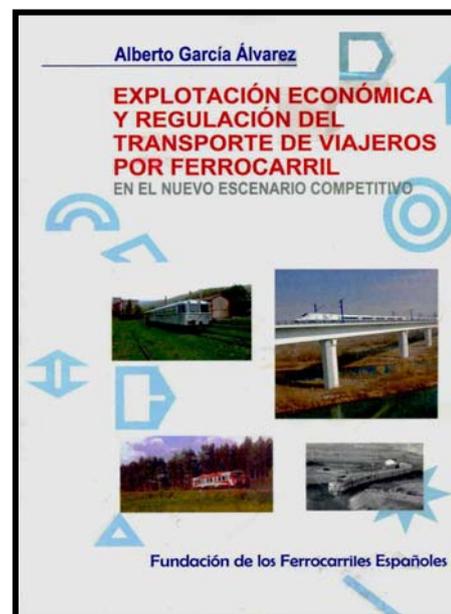
| <i>Vehículo</i> | <i>Lhl</i> | <i>lht</i> | <i>lhv</i> | <i>lh</i> |
|---|------------|------------|------------|-----------|
| Tren AVE s/100 clase Preferente | 1,09 | 1,38 | 1,01 | 1,51 |
| Tren AVE s/100 clase Turista | 1,01 | 1,03 | 1,01 | 1,05 |
| Tren Cercanías s/450 (2 niveles) | 0,84 | 0,81 | 1 | 0,69 |
| Coche Talgo Pendular 1 ^a clase | 1,07 | 1,48 | 1,04 | 1,65 |
| Coche Talgo Pendular 2 ^a clase | 1,07 | 1,11 | 1,04 | 1,24 |
| Autobús Interurbano (55 plazas) | 0,79 | 0,89 | 0,99 | 0,69 |
| Avión Boeing 727 Iberia (159 plazas) | 0,96 | 0,96 | 0,98 | 0,9 |

Nota: los datos del autobús se refieren a vehículos de 12 m de longitud exterior

Fuente: García Álvarez, Cillero Hernández y Rodríguez Jericó (1998)

En la tesis doctoral *Explotación económica y regulación del transporte de viajeros por ferrocarril en el nuevo escenario competitivo* (García Álvarez, 2006) encontramos nuevas reflexiones sobre la capacidad de los trenes y la importancia de la velocidad.

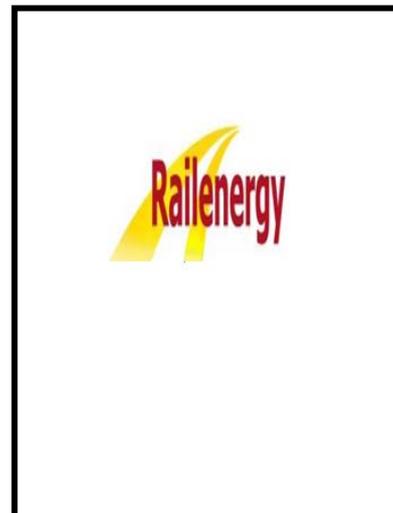
También hay en ella ideas novedosas sobre los diferentes tipos de economías que se pueden obtener en la explotación de la infraestructura, y en la operación del servicio, destacándose que en el transporte por ferrocarril no se aprecian, en general, economías de escala, pero sí importantes economías de densidad y de red. Resulta relevante la visión de la capacidad de transporte que ofrece, como una combinación no solo de características de la infraestructura y del sistema de señalización sino también de las características de los trenes (deceleración de servicio, superficie ofrecida por el tren, etc.).





En *Métrica y estandarización de los consumos y emisiones en el transporte* (Cillero Hernández, Bouzada Outeda, García Álvarez y Martín Cañizares, 2008) en el marco del proyecto EnerTrans, se aborda el problema de la estandarización de los consumos y emisiones en el transporte. Se trata en este estudio de proporcionar herramientas para homogeneizar los consumos y emisiones para hacer útil la comparación entre modos y entre vehículos. Se definen las unidades a emplear, tanto para transporte de viajeros como de mercancías, y se estudia también la incidencia en el consumo energético de la variación del recorrido en los itinerarios de los diferentes modos

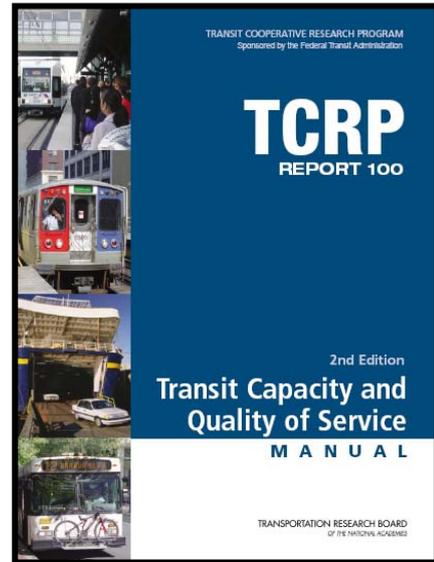
En esta línea de investigación sobre consumos de energía de los trenes, incluyendo su normalización, destaca el proyecto Railenergy (UNIFE, 2006), cuyo grupo de trabajo 2.2 se ocupa de la estandarización de los perfiles operacionales para calcular los consumos energéticos del ferrocarril, con el objetivo de obtener datos comparables del consumo de un tren específico en ciertos servicios previamente estandarizados.



En el estudio *Coach design for the Korean high-speed train: a systematic approach to passenger seat design and layout* (Jung, E. S. et al., 1998) se analiza la incidencia del diseño del interior de los trenes en el confort de los viajeros.

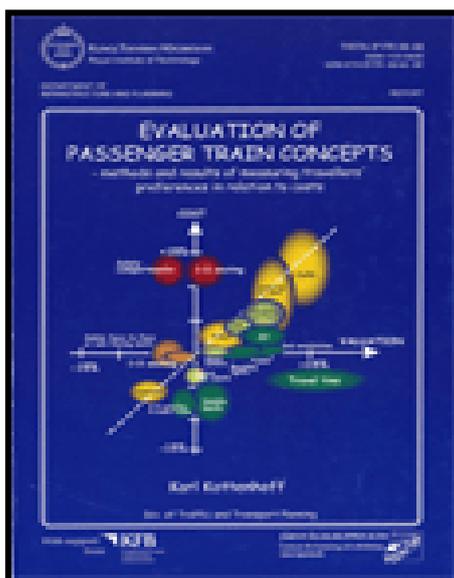
El trabajo da como resultado algunas recomendaciones y especificaciones sobre los asientos y su disposición. La metodología seguida consiste en la realización de un informe y análisis de los requisitos que deben cumplir los asientos de primera y segunda clase, que posteriormente servirá para realizar prototipos y definir la configuración de los asientos.

El manual *Transit capacity and quality service* (Transportation Research Board, 2003) contiene estadísticas y gráficos de varios tipos de transporte público y métodos para medir la disponibilidad y la calidad del servicio desde el punto de vista de los viajeros. Presenta técnicas cuantitativas para calcular la capacidad del autobús, el ferrocarril y el ferry, así como de las terminales de viajeros. De especial interés resultan las aportaciones en cuanto a los tiempos de parada en función del número de viajeros, su tipología, el ancho de puertas, la altura del piso, etc.



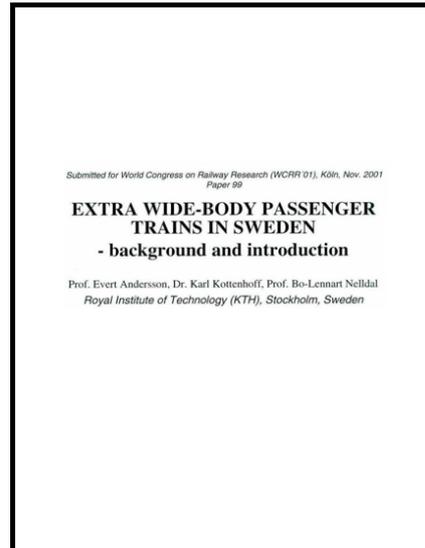
En España se han realizado proyectos como *Estudio del confort vibratorio en trenes de alta velocidad* (EUITIZ, 2004), que desarrolla una aplicación (ConfoRail) que permite variar los perfiles de vía, las velocidades del tren o los parámetros correspondientes al sistema de suspensión, observando la influencia que tienen en la nota final de confort calculada según la norma UNE-ENV 12299.

Una de las instituciones de referencia en el estudio del transporte por ferrocarril es el Royal Institute of Technology (KTH) de Estocolmo (Suecia), que ha desarrollado algunos trabajos especialmente relacionados con el objeto de este proyecto, entre los que destacan los realizados por uno de sus miembros: Karl Kottenhoff. Su metodología consiste en desarrollar un modelo de costes de la operación ferroviaria para valorar el impacto sobre los costes de los cambios de las características de un tren y ha realizado estudios que reflejan el efecto sobre los ingresos de dichos cambios. Sus primeras publicaciones al respecto son *Evaluation of Passenger Car Interiors - German InterRegio-cars, Norwegian InterCityEkspress and Regional X10-trains*, (Kottenhoff, 1993) y *Train Interiors and the Value of Space* (Kottenhoff, 1994).



En *Evaluation of passenger train concepts. Methods and results of measuring travellers' preferences in relation to costs* (Kottenhoff, 1999), el investigador del KTH presenta una metodología de costes, valoración y manejo de los efectos de paquetes de opciones, mediante la metodología de *Preferencias declaradas*, y explica cómo relacionar las valoraciones de los clientes con los costes. Kottenhoff mejora las técnicas de *Preferencias declaradas* en *Evaluation of passenger train concepts. Practical Methods for measuring travellers' preferences in relation to costs* (Kottenhoff, 2003).

En esta línea de trabajo destacan otras aportaciones que se centran en detalle sobre el modelo de costes, entre las que se pueden mencionar otras aportaciones del KTH como *Extra wide-body passenger trains in Sweden* (Andersson, Kottenhoff y Nelldal, 2001), donde se argumenta que más allá de la velocidad media y un alto número de kilómetros-tren al año, la mejora de la utilización del espacio es una medida muy eficiente para incrementar la productividad y reducir el coste operativo del tren, presentando así las ventajas de los trenes de gálibo ancho, que compara también con los de doble piso



Por último, es de gran interés, dentro de las aportaciones del KTH, el estudio *Modelling operational costs of a future high speed train* (Fröid, 2005), efectuado en el marco del proyecto “Green Train”.

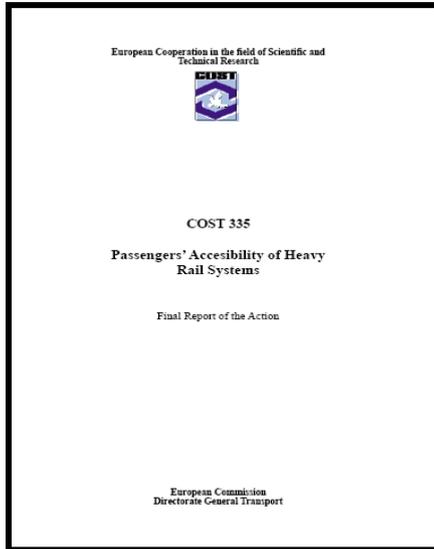
En Reino Unido la competencia por el mercado introducida por la privatización de sus ferrocarriles junto a la necesidad de modernizar el ferrocarril británico supone que se despierte un gran interés por la evaluación de los costes e ingresos que supondrían las mejoras del material rodante. En esta línea de trabajo se enmarcan los estudios encargados por la autoridad responsable de la gestión de las franquicias que dan lugar a interesantes aportaciones entre las que destacan la de los investigadores del Institute for Transport Studies (ITS) de Leeds Mark Wardman y J. Whelan.

Por sus aportaciones destaca el artículo “Valuation of improved railway rolling stock: a review of the literature and new evidence” (Wardman y Whelan, 2001). El estudio, basado en su anterior Working Paper de la Universidad de Leeds, publicado en 1998 y titulado “Rolling stock quality improvements and user willingness to pay”, muestra que las metodologías basadas en los experimentos clásicos de *Preferencias declaradas* arrojaban resultados sobreestimados. Las causas eran tres: que los viajeros debían valorar unos cambios hipotéticos de los atributos que no habían experimentado; que se daba un efecto composición (la suma de las valoraciones individuales es mayor que la valoración de un paquete compuesto por el conjunto de atributos); y que las respuestas estaban sesgadas (los viajeros entrevistados sabían que si valoraban mucho los cambios era más probable que les mejorasen el material rodante). Wardman y Whelan proponen una metodología basada en el método de *Preferencias declaradas* desagregadas que da unas valoraciones menores a las ofrecidas por los ejercicios clásicos de *Preferencias declaradas* y, por tanto, más ajustada a la realidad. Esta metodología desagregada es la actualmente utilizada por otros estudios del tema como el citado de Kottenhoff de 2003.

Otra aportación metodológica relevante para valorar las preferencias de los viajeros es “Valuing rail service attributes through rating surveys” (Douglas y Karpouzis, 2006), en la que se diseña una novedosa metodología alternativa a la de *Preferencias declaradas* basada en las calificaciones de los atributos por parte de los viajeros (*ratings*).

Bernhard Rüger, del Institute of Railway Engineering de la Universidad de Viena, ha desarrollado varios trabajos sobre comportamiento de los viajeros, disposición de los equipajes y optimización del interior de los trenes. En sus escritos defiende que la

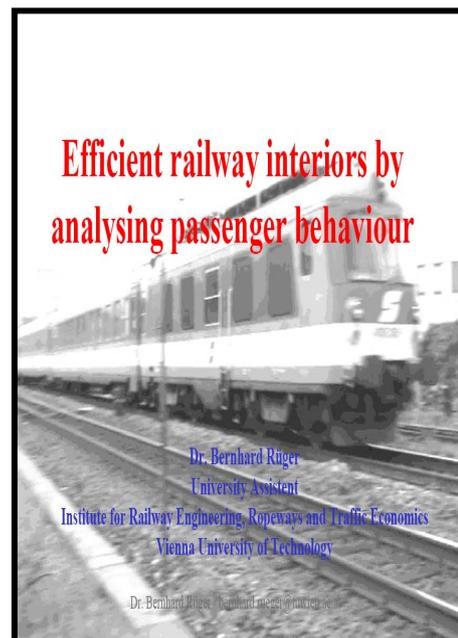
tendencia actual de maximizar la cantidad de asientos por coche para incrementar la eficiencia lo único que logra es reducir la tasa real de utilización de los coches. Entre estos trabajos destacan *Basics for efficient railway interiors* (Rüger, 2006a) y “Keys to comfortable and practical interior fittings”.



En las diferentes investigaciones realizadas dentro de las Acciones COST (European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research) destaca la Acción COST 335 “Passenger’s Accesibility of Heavy Rail Systems” de la Direccion General de Transportes de la Comisión Europea (European Commission. DGT, 1999). Constituye un proyecto europeo en el que participaron entidades de 17 Estados miembro, todas ellas vinculadas al ámbito ferroviario desde distintas perspectivas (administraciones, operadores, fabricantes, consumidores, etc.).

El proyecto realiza una interesante aproximación a la problemática de la accesibilidad de los vehículos ferroviarios para todo tipo de personas. Se analizan en detalle las necesidades de todos los colectivos que presentan dificultades de movilidad en sus desplazamientos, concluyendo la investigación un conjunto de recomendaciones sistematizadas para mejorar los niveles de accesibilidad. A los efectos de este proyecto son interesantes sus conclusiones relativas a accesos a los vehículos ferroviarios, dedicación de espacios interiores a bordo de los mismos y especificaciones sobre la información (visual y auditiva).

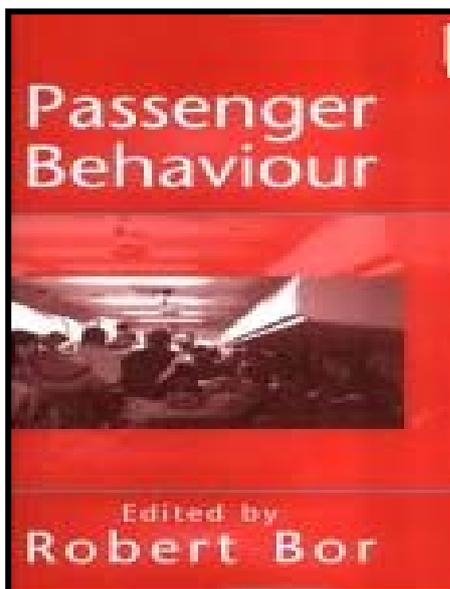
En cuanto a la aplicación al diseño interior de los trenes de métodos psicológicos relacionados con la evaluación del comportamiento de las personas destacan los estudios realizados en Corea del Sur por el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Pohang (patrocinados por la autoridad coreana responsable de la construcción de líneas de alta velocidad). El equipo de esta universidad (Han, 1994) desarrolla una interesante investigación aplicada al diseño de los trenes de alta velocidad en ese país. En el estudio se plantea que el uso de información relacionada con el comportamiento psicológico de las personas y sus valoraciones sobre diferentes atributos de confort para cada tipo de viaje a realizar es una variable crítica cuando se toman decisiones de ingeniería de diseño de los vehículos.



Los autores concluyeron una metodología de análisis basada en la evaluación cuantitativa de alternativas sobre atributos de diseño interior de los vehículos. Esta metodología fue aplicada de manera experimental al diseño interior de los vehículos del tren de alta velocidad de Corea, evaluándose aspectos como la reversibilidad de los asientos, las prestaciones de confort interior a bordo del tren (audio, vídeo, etc.) y el diseño de los asientos. Resulta de especial interés el método propuesto para el diseño de los asientos, que aplica una completa investigación (cuantitativa y cualitativa) sobre variables antropométricas de las personas y sus comportamientos a la hora de viajar, de la cual se deriva una definición exhaustiva de medidas y dimensiones de los asientos. En esta línea de investigación podemos encuadrar también los experimentos para investigar qué factores influyen en la sensación de amplitud en los trenes de alta velocidad japoneses estudiados (Saito et al., 2002).

Otros modos de transporte

En el transporte aéreo existen algunos proyectos de referencia como *Anthropometric study to update minimum aircraft seating standards* (Quigley et al., 2001). Este estudio parte de analizar la tendencia en los últimos años del aumento de las dimensiones corporales en la población europea que se contrapone a la alta densidad de asientos y al aumento de la duración de los viajes en los aviones, lo cual justifica la realización de un estudio antropométrico actualizado que permita posteriormente realizar una regulación en este área. En esta línea de estudio podemos destacar el estudio sobre las estrategias basadas en la diferenciación de la comodidad de los asientos entre aerolíneas analizada en “Are passengers willing to pay more for additional legroom?” (Lee y Luengo-Prado, 2004).



En la aviación, además, se han realizado importantes estudios dirigidos a analizar los comportamientos de los viajeros y tripulaciones en los viajes en avión, describiendo conductas y aspectos psicológicos influyentes, relacionados con los condicionantes de este modo de transporte. El libro *Passenger Behaviour* (Bor, 2003) es un buen compendio de estos trabajos.

En el ámbito del transporte por carretera (urbano e interurbano) son destacables las diferentes investigaciones realizadas dentro de las Acciones COST. Es importante reseñar la Acción n^o 349 “Accessibility of Coaches and Long Distance Buses for People with Reduced Mobility” (European Commission. DGT, 2006). Este trabajo aporta una serie de recomendaciones relacionadas con la accesibilidad para vehículos autocares empleados en trayectos interurbanos (vehículos Clases II y III conforme a la Directiva 2001/85/CE). Son de especial interés las conclusiones de los grupos de trabajo creados en las áreas de “Diseño de Vehículos” e “Infraestructuras”. Se efectúan

recomendaciones de interés en lo relativo a entradas/salidas de los vehículos y diseño interior, incluyendo un completo análisis de dimensiones de asientos y espacios, y recomendaciones sobre elementos de información a bordo.

1.6.2. Normativa

Para los diferentes modos de transporte existen recomendaciones y normas de obligado cumplimiento relacionadas con los aspectos objeto de este trabajo (capacidad, consumo de energía y emisiones, condiciones de servicio y velocidades medias, habitabilidad, confort ambiental y entretenimiento y accesibilidad). A continuación se presenta una breve exposición de aquellas más relevantes, clasificadas por modos de transporte.

Además de estas normas centradas específicamente en las materias reseñadas, es importante tener en cuenta las disposiciones legales vigentes en materia de accesibilidad para personas de movilidad reducida (PMR), tanto en el ámbito estatal como en el autonómico, que afectan cada vez más a los modos de transporte público. En lo referente al ámbito específico del diseño de los vehículos, las normativas de accesibilidad suelen condicionar la reserva de un determinado número de plazas para personas con dificultades de movilidad (generalmente usuarios de sillas de ruedas), determinando dimensiones mínimas del espacio a reservar y otro tipo de requerimientos adicionales (anclajes, información, elementos de aviso, etc.).

No obstante, estas normas de accesibilidad no son intrínsecas del campo de la arquitectura funcional y configuración de los vehículos de transporte, tratándose generalmente de normativas generales de accesibilidad (con incidencia además en la edificación, viarios, etc.). Es por ello que se opta por no entrar en el detalle de las mismas, ya que ahora se trata de poner de manifiesto exclusivamente aquellas que afectan directamente al diseño del material rodante, si bien se advierte de su existencia y de su más que probable incidencia sobre la política de arquitectura interior que decida aplicarse.

Transporte por ferrocarril

Capacidad y habitabilidad

“*Ficha UIC 555, iluminación eléctrica del material de viajeros*” (1978). Contempla el alumbrado principal de los locales anexos, la intensidad de iluminancia, dispositivos centralizados de mando y de control del alumbrado, reservas, instrucción de maniobra y esquemas, disposiciones suplementarias aplicables a los coches del tipo Z y alumbrado de socorro.

“*Ficha UIC 562, lugares reservados a los equipajes, percheros y vestuarios; medidas de protección de los equipajes contra el robo*” (1991). Incluye recomendaciones y prescripciones obligatorias sobre lugares reservados a los equipajes: portaequipajes, posibilidad de colocar los equipajes bajo los asientos o entre estos, estanterías para equipajes, medidas de protección de los equipajes contra el robo, percheros y vestuarios.

“*Ficha UIC 567, prescripciones básicas aplicables a la construcción y ajuste de trenes de viajeros para tráfico internacional*” (2004). Incluye disposiciones generales relativas a la explotación y a la caja de los coches, estanqueidad a la presión, características constructivas de cajas, órganos de coche y tracción y órganos de rodadura, disposición de los estribos, pasamanos y estribos de servicio, puertas, distribución de los locales destinados a los viajeros, los pasillos y las plataformas, revestimientos, climatización e iluminación.

Confort ambiental y entretenimiento

Norma UNE-EN 13272, de 2001. “Aplicaciones ferroviarias. Iluminación eléctrica para el material rodante de sistemas de transporte público”, que indica de forma somera los niveles mínimos de iluminación con los que deben contar los coches en cada una de sus zonas.

Norma UNE-EN 12464-1: 2003. “Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores”, que señala cuáles deben ser las condiciones ideales de iluminación para los espacios de uso laboral en función del tipo de actividad que se desarrolle en ellos.

Normas UNE-EN 14750-1:2007, “Aplicaciones ferroviarias. Aire acondicionado para material rodante urbano y suburbano. Parte 1: Parámetros de confort”, y *UNE-EN 14750-2:2007*, “Aplicaciones ferroviarias. Aire acondicionado para material rodante urbano y suburbano. Parte 2: Ensayos de tipo”. La primera indica cuáles son los principales parámetros que deben cumplir los equipos de climatización de los vehículos ferroviarios destinados a trayectos cortos (de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire, entre otros), mientras que la segunda recoge en detalle el proceso a seguir para la comprobación de esos parámetros.

Normas UNE-EN 13129-1:2003, “Aplicaciones ferroviarias. Aire acondicionado para el material rodante de grandes líneas. Parte 1: Parámetros de confort”, y *UNE-EN 13129-2:2005*, “Aplicaciones ferroviarias. Aire acondicionado para el material rodante de grandes líneas. Parte 2: Ensayos tipo”. Como en las anteriores, este par de normas señala los niveles de confort climático en el interior de coches para el transporte de viajeros, aunque para el caso de los vehículos destinados a grandes líneas. Establece para ellos unos requisitos más estrictos, que varían en función de la zona climática por la que vayan a circular.

“*Ficha UIC 553*, calefacción, ventilación y aire acondicionado en coches de viajeros” (2003). Incluye disposiciones sobre el equipamiento de los vehículos, regulación de las instalaciones de climatización, órgano de mando destinado a la variación de la temperatura, protección contra la presión...

Norma UNE-ENV 12999:2000, “Aplicaciones ferroviarias. Comodidad de viaje para los pasajeros. Medición y evaluación.” Esta norma experimental explica con gran detalle el fenómeno de las vibraciones a bordo de los vehículos, propone dos sistemas para su medición y crea un indicador de comodidad que sirve para comparar de forma homogénea el fenómeno en distintos vehículos.

Norma ISO 3381:2005 “Aplicaciones ferroviarias. Acústica. Medida del ruido en el interior de vehículos sobre raíles”. Detalla las condiciones en las que deben realizarse las mediciones dentro de los coches, así como los puntos de medición y el nivel de precisión exigido para las sonometrías.

Recomendaciones de la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). De manera especial incluye normas técnicas sobre temperatura interior de espacios públicos, incluido el transporte (ASHRAE Standard 55-92) y ventilación de espacios (ASHRAE Standard 62-89).

Accesibilidad

“*Ficha UIC 560*, puertas, estribos, ventanas, escalones, manecillas y barandillas de los coches de viajeros y coches para equipajes” (2002). Contiene disposiciones sobre puertas de acceso de diferentes tipos, mando a distancia de cierre de las puertas de acceso, dispositivo de bloqueo de las puertas, disposición de los estribos, asideros de acceso y pasamanos, puertas de intercomunicación, puertas de compartimientos y ventanillas.

“Ficha UIC 565-3, acondicionamiento de coches igualmente aptos para el transporte de minusválidos en sus sillas de ruedas” (2003). Incluye generalidades, características de las sillas de ruedas a tomar como base en la determinación de los equipamientos y diseño y equipamiento de los coches aptos para el transporte de viajeros en silla de ruedas.

Rail Vehicle Accessibility Regulations (1998), publicado por el Departamento de Transporte del Reino Unido, establece algunas prescripciones cuyo objetivo es adaptar el transporte por ferrocarril a personas con problemas de visión, audición o que se mueven con silla de ruedas. Aborda aspectos como los escalones, puertas, disposición de los asientos, etc.

Transporte por carretera

Capacidad y habitabilidad

Directiva 2001/85/EC de 20 de noviembre de 2001 relativa a las disposiciones especiales aplicables a los vehículos utilizados para el transporte de viajeros con más de ocho plazas además del asiento del conductor. Norma básica que define los requisitos básicos para la homologación y autorización de vehículos de transporte de viajeros de más de ocho plazas (clases I, II, III, A y B). Dentro de estos requisitos, se incluye una definición exhaustiva de conceptos, medidas y dimensiones mínimas (externas e internas) exigidas a las diferentes categorías de vehículos.

Reglamento 36, anejo al Acuerdo de Ginebra del 20 de marzo de 1958 relativo a la adopción de condiciones uniformes de homologación y reconocimiento recíproco de la homologación de piezas y equipos para vehículos automóviles de más de 16 plazas. Establece prescripciones uniformes relativas a las características de construcción de los vehículos de transporte público de personas. Aborda temas como la capacidad total del vehículo, dimensiones mínimas de asientos y distancias mínimas entre ellos, pasillos, etc.

Clasificación de la IRU (International Road Transport Union). La Unión Internacional de Transportes por Carretera (IRU) establece una clasificación de los autocares en cuatro categorías, desde una a cuatro estrellas, dependiendo de once criterios relativos al confort y acondicionamiento interior y exterior del autobús (distancia entre asientos, reposabrazos, revestimiento de asientos, ceniceros...) La *Confederación de Transporte por Carretera*, como representante de la IRU en España, es responsable de la clasificación de los vehículos en las mismas cuatro categorías de estrellas de la IRU.

2. INDICADORES DE HABITABILIDAD

Denominamos *habitabilidad* a la cualidad de un tren que hace que el viajero pueda estar más cómodo, generalmente por disponer de más espacio o una posición de viaje adecuada, y tener los asientos mayor tamaño y comodidad.

Por su propia definición y naturaleza, este indicador sólo es relevante para los servicios en los que se admitan viajeros sentados, ya que la habitabilidad de los trenes cuando viajan en ellos personas de pie depende del número de personas que viajen o de la densidad de viajeros admitida, que no es una característica intrínseca del material rodante, sino un criterio del operador.

Relación de habitabilidad con otros indicadores

Una mejora de *habitabilidad* normalmente supone una menor *capacidad* y un mayor *consumo específico*. En ciertas condiciones, puede suponer peor *accesibilidad* si se disminuye la anchura de los pasillos.

No existe relación directa entre *habitabilidad* y *productividad* del tren, si bien una mayor *habitabilidad* supone menos plazas, y por ello menos masa total, menos tiempo de parada en las estaciones y una cierta mejora indirecta en la *productividad*.

Indicadores de segundo nivel

Los indicadores de segundo nivel en los que se descompone el indicador de habitabilidad son los siguientes:

1. Disponibilidad de espacio en anchura
2. Disponibilidad de espacio en longitud
3. Disponibilidad de espacio en altura
4. Configuración y posición relativa de los asientos
5. Número y superficie de los aseos.

2.1. Disponibilidad de espacio en anchura

La *disponibilidad de espacio en anchura* hace referencia a todas las cotas y medidas que el viajero puede encontrarse para viajar más ancho (medidas siempre respecto a su propia posición durante el viaje): ancho de asiento, de pasillo, del coche, etc.

Indicadores de tercer nivel.- El indicador de segundo nivel *disponibilidad de espacio en anchura* se desagrega en otros de tercer nivel, que son los siguientes:

- Anchura del asiento (entre apoyabrazos)
- Anchura de la plaza

Y se corrige con los factores moduladores, como la existencia o no de apoyabrazos y la posibilidad de levantarlos o no.

2.1.1. Anchura del asiento entre apoyabrazos

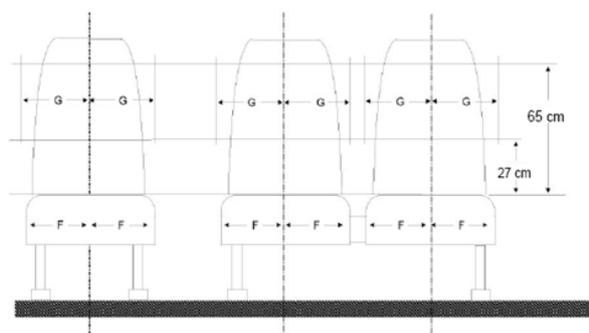
La anchura libre de los asientos entre los apoyabrazos permite a la persona sentarse sin que sus caderas interfieran con los apoyabrazos al situarse en el asiento. Se mide entre las caras internas de los apoyabrazos si los hay, y si no, por la anchura máxima del asiento.

Normas y recomendaciones sobre la anchura del asiento entre apoyabrazos

Las normas UIC establecen: “El espacio libre entre los apoyabrazos debe ser, por asiento, de: 500 mm mínimo en 1ª clase; y 450 mm mínimo en 2ª clase” (Ficha UIC 567 art. D.2.3.1, obligatorio); y añaden que “se recomienda prever en 2ª clase una anchura mínima de asiento de 480 mm.” (Ficha UIC 567 art. D.2.3.2, recomendado).

Para la aviación, la JAA (Joint Aviation Authorities) recomienda en *Anthropometric study to update minimum aircraft seating standards* (Quigley et al., 2001) un ancho mínimo entre apoyabrazos de 497 mm y establece como ideal deseable la anchura de 584 mm.

En el caso de los autobuses, la anchura mínima del asiento en las Clases I y II (urbano y metropolitano) es de 400 mm y en la Clase III (interurbano) de 450 mm (Reglamento 36 anejo al Acuerdo de Ginebra de 20 de marzo de 1958).



| | <i>F (mm) min</i> | <i>Ancho min asiento</i> |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------|
| <i>Clase I (urbano)</i> | 200 | 400 |
| <i>Clase II (metropolitano)</i> | 200 | 400 |
| <i>Clase III (interurbano)</i> | 225 | 450 |

Características antropométricas de la población española

La cota antropométrica más relacionada con este indicador es la *anchura de caderas sentado*, cuyos valores en la población española están recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 4 - Anchura de caderas sentado de la población española

| | <i>Media</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 365,143 | 488,000 | 294,380 | 316,000 | 364,000 | 417,000 | 445,000 |
| <i>Hombres</i> | 364,247 | 488,000 | 297,080 | 317,350 | 363,000 | 414,650 | 439,000 |
| <i>Mujeres</i> | 366,848 | 478,000 | 294,000 | 312,000 | 368,000 | 425,000 | 450,070 |

Cotas en mm. Distancia horizontal máxima entre caderas, medida sobre un plano paralelo al de asiento y sobre la parte más ancha de ambos muslos. Fuente: MTAS (2003)

Calificaciones adoptadas

Los valores adoptados para los puntos entre los cuales se interpolará cualquier valor se calculan con los siguientes criterios:

- Calificación “0”: se asigna a aquel valor que lo hace apto solamente para el 50% de la población, incrementado en 50 mm en concepto de margen de holgura para la ropa y bolsillos, puesto que las medidas antropométricas antes citadas están tomadas en sujetos ataviados con bañador.

- Calificación "5": corresponde al mínimo en segunda clase de la norma UIC (que, supuesta una holgura para la ropa y bolsillos de 80 mm, resulta apto para el 50% de la población).
- Calificación "10": será el que lo hace válido para el 95% de la población, incrementado un 10%.

Por tanto, las calificaciones adoptadas son:

Tabla 5 - Anchura del asiento entre apoyabrazos - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 420 | 450 | ≥ 458 |

Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Anchura de la plaza

De la *anchura de la plaza* depende que la persona pueda sentarse sin que su cuerpo interfiera con el de otro viajero sentado junto a él o con el paramento lateral del tren o la anchura libre del pasillo.

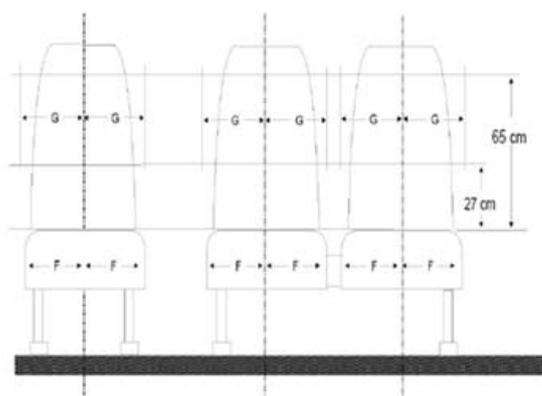
El valor de este indicador se calcula, para un bloque de N asientos, como la distancia entre el paramento vertical lateral y el borde exterior del asiento contiguo al pasillo, dividido entre el número de asientos que constituyen un bloque.

Normas sobre la anchura de la plaza

Las normas de la UIC indican que "el respaldo debe, en su parte inferior, ser tan ancho como el asiento" (Ficha UIC 567 art. D.2.8.1, obligatorio) y que "su anchura puede disminuir hacia lo alto, sin apretar por ello los hombros" (Ficha UIC 567 art. D.2.8.2, recomendado).

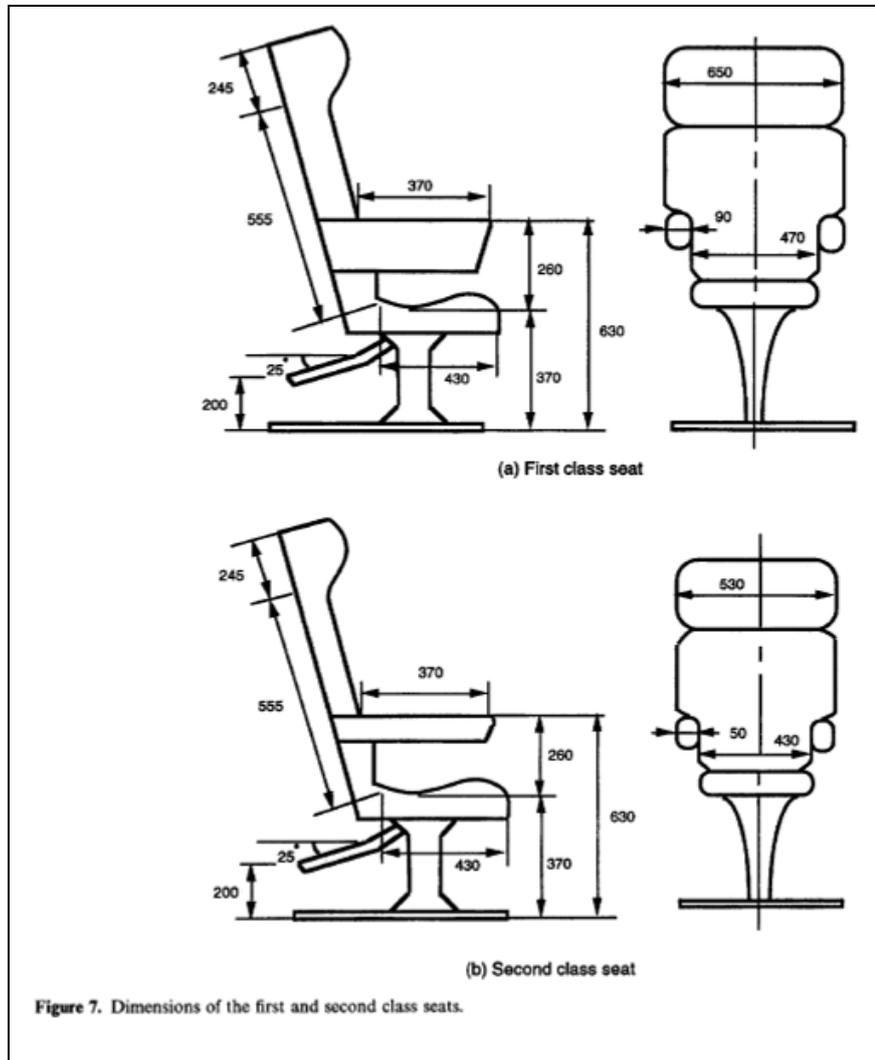
Para los aviones (Quigley et al., 2001) recomienda como mínimo el percentil 99 de la anchura de hombros biacromial de la población mundial, esto es, una anchura de asiento de 608 mm.

En el caso de los autobuses, en las tres clases (I, II y III), la anchura libre para los hombros en asientos agrupados es de 450 mm, y de 500 mm en asientos individuales (Reglamento 36, anejo al Acuerdo de Ginebra de 20 de marzo de 1958).



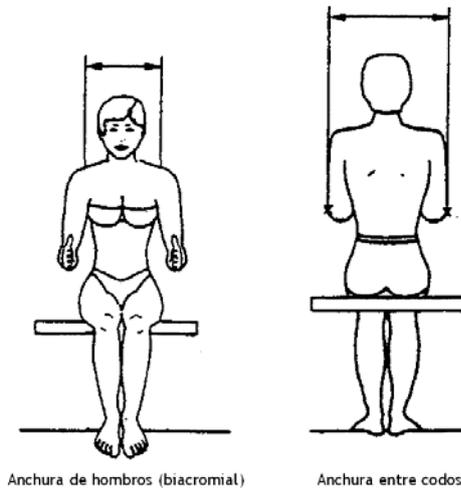
| | <i>2xG</i> | |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| | <i>Asientos agrupados</i> | <i>Asientos individuales</i> |
| <i>Clase I (urbano)</i> | 450 | 500 |
| <i>Clase II (metropolitano)</i> | 450 | 500 |
| <i>Clase III (interurbano)</i> | 450 | 500 |

Jung y otros, en su trabajo *Coach design for the Korean high-speed train: a systematic approach to passenger seat design and layout* (Jung, E. S. et al., 1998) concluyen una propuesta exhaustiva de dimensiones para el diseño de un asiento tipo del tren de alta velocidad de Corea. Las dimensiones recomendadas en este trabajo están recogidas en el esquema; y, como se puede observar, recomienda 470 mm de anchura entre apoyabrazos y 650 mm de anchura del asiento:



Características antropométricas de la población española

Pese a que algunas de las normas citadas anteriormente relacionan la anchura de la plaza con la anchura de hombros (biacromial), optamos por emplear en este estudio la anchura entre codos, puesto que sus valores son mayores que los de la anchura de hombros; y por tanto, en el caso de interferir un viajero con otro, o con el paramento vertical del tren o con el gálibo del pasillo, lo haría normalmente a la altura de los codos, tanto sentado como de pie. En la siguiente figura se muestra la diferencia entre una medida y otra:



Los valores de la *anchura entre codos* de la poblacin espaola estn recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 6 - Anchura entre codos

| | <i>Media</i> | <i>Mx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 457,852 | 645,000 | 335,000 | 367,000 | 461,000 | 542,000 | 573,820 |
| <i>Hombres</i> | 477,510 | 645,000 | 357,280 | 398,000 | 479,000 | 550,600 | 585,440 |
| <i>Mujeres</i> | 420,302 | 596,000 | 322,800 | 346,000 | 419,500 | 500,000 | 532,270 |

Cotas en mm. Distancia mxima horizontal entre las superficies laterales de ambos epicndilos laterales. Fuente: MTAS (2003)

Calificaciones adoptadas

Las calificaciones adoptadas para los puntos entre los cuales se interpolar cualquier valor se calculan con los siguientes criterios:

- Calificacin "0": se otorga al valor de la anchura que slo lo hace til al nivel de los codos para el 50% de la poblacin, y corresponde al valor 5 del asiento, esto es 450 mm.
- Calificacin "5": corresponde al valor de la anchura entre codos del 95% del gnero ms desfavorable.
- Calificacin "10": corresponde a la misma cota antropomtrica con un incremento de 135 mm.

Los resultados de estos criterios estn expresados en la tabla:

Tabla 7 - Anchura de la plaza - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificacin</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|--------------------|------------|----------|------------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 450 | 500 | ≥ 635 |

Fuente: Elaboracin propia

2.1.3. Factores moduladores de la anchura de la plaza

Como elementos moduladores de la anchura de la plaza (libre entre apoyabrazos) se consideran la existencia o no de apoyabrazos y si son escamoteables (este último factor sólo se aplica en el caso de que existan apoyabrazos).

En el caso de que sólo exista apoyabrazos en uno de los lados del asiento se aplica la mitad del factor.

Tabla 8 - Existencia de apoyabrazos - Factores adoptados

| <i>Factor modulador</i> | <i>Urbano y cercanías</i> | <i>Media distancia</i> | <i>Larga distancia</i> |
|---------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>2 apoyabrazos</i> | 1,2 | 1 | 1 |
| <i>1 apoyabrazos</i> | 1,1 | 0,9 | 0,8 |
| <i>Ningún apoyabrazos</i> | 1 | 0,45 | 0,4 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 - Apoyabrazos escamoteables - Factores adoptados

| <i>Factor modulador</i> | <i>Urbano y cercanías</i> | <i>Media distancia</i> | <i>Larga distancia</i> |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Son escamoteables</i> | 1 | 1,1 | 1,2 |
| <i>No son escamoteables</i> | 0,8 | 1 | 1 |

Fuente: Elaboración propia

2.2. Disponibilidad de espacio en longitud

La *disponibilidad de espacio en longitud* hace referencia a todas las distancias que afectan al viajero en cuanto a la disponibilidad de espacio en la dirección longitudinal (medido siempre respecto a su propia posición durante el viaje).

Indicadores de tercer nivel.- El indicador de segundo nivel *disponibilidad de espacio en longitud* se desagrega en otros de tercer nivel, que son los siguientes:

- Espacio libre entre asientos
- Profundidad del asiento
- Espacio longitudinal de pie entre asientos

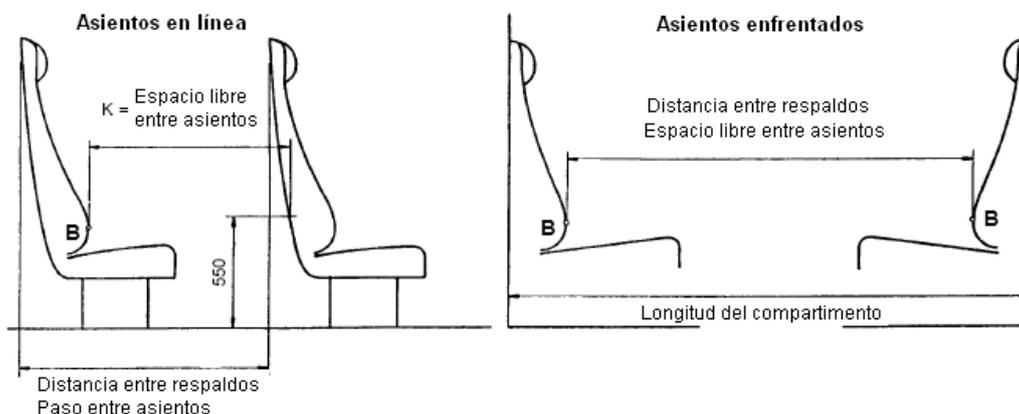
Los factores moduladores que se consideran son: la existencia de apoyapiés y que el asiento sea reclinable.

2.2.1. Espacio libre entre asientos en línea y paso entre asientos

El *paso entre asientos* es la distancia entre puntos homólogos de dos asientos situados en línea y en el mismo sentido.

El *espacio libre entre asientos* es la distancia que una persona necesita para que, estando sentado, sus rodillas no interfieran con el asiento situado delante de él, en

el caso de asientos orientados en el mismo sentido; o con las rodillas de otro viajero, en el caso de asientos enfrentados.



Normativa y recomendaciones sobre el espacio libre entre asientos y sobre el paso entre asientos en línea

Normas sobre espacio libre entre asientos en línea

La norma UIC establece que “hay que concebir los asientos de tal forma que, para todas las inclinaciones del respaldo, el espacio libre k del nivel de las rodillas no sea inferior a 790 mm en primera clase y a 700 mm en segunda clase” (Ficha UIC 567 art. C.2.2, obligatorio)

El Reglamento 36, referido a los autobuses, establece que el espacio libre entre asientos debe ser como mínimo de 650 mm en clase I (urbano) y de 680 mm en las clases II y III (metropolitanos y suburbanos).

En el caso de la aviación, *CAA Airworthiness Notice 64 - Minimum Space for Seated Passengers* (Civil Aviation Authority, 1989) establece que el espacio libre entre asientos debe ser como mínimo de 660 mm. Las recomendaciones posteriores de la Joint Aviation Authorities (Quigley et al., 2001) fijan para dicha cota un mínimo de 711 mm y recomiendan 747 mm que corresponde al 99% de la población mundial. También remarcan que la altura sobre el suelo en la que hay que garantizar esa distancia es de 662 mm (frente a los 635 mm que se fijan en CAA 1989).

Renfe Viajeros, en sus más recientes pliegos de condiciones para trenes de alta velocidad fija la distancia mínima en 830 mm en clase turista y 900 en clase preferente, en ambos casos a 550 mm de altura sobre el suelo.

Normas sobre el espacio libre entre asientos enfrentados

La norma UIC establece que “para asientos enfrentados, el espacio libre para las rodillas se medirá como la distancia entre respaldos. Cuando los asientos están en posición normal, la distancia debe ser al menos de 1.450 mm” (Ficha UIC 567 art. C.1, obligatorio)

Para el caso de la aviación no se ha encontrado ninguna norma que haga referencia a esta cota, probablemente por no ser habituales los asientos enfrentados en los vuelos de la aviación comercial, aunque sí ocurre en la aviación general.

En el caso de los autobuses, la distancia mínima entre respaldos se fija en 1.300 mm (Reglamento 36 anejo al Acuerdo de Ginebra de 20 de marzo de 1958).

Normas respecto al paso entre asientos

La norma UIC establece respecto al paso entre asientos dispuestos en filas que “se recomiendan las siguientes cotas: en primera clase, por lo menos 1.010 mm; en segunda clase, por lo menos 940 mm” (Ficha UIC 567 art. C.2.1, recomendado).

Ni la normativa referente a las dimensiones de asientos de la aviación (Civil Aviation Authority, 1989) ni la de autobuses (Reglamento 36) regulan esta medida; ambas centran la atención en el espacio para las rodillas, lo que parece más lógico, pues es el valor que percibe el viajero.

La diferencia entre ambos criterios normativos (el de fijar el paso entre asientos o fijar el espacio libre para las rodillas) viene dada por la profundidad del respaldo del asiento a la altura de las rodillas, que es un parámetro técnico que debe ser minimizado, pero que no es relevante para el viajero. Un mismo paso puede dar lugar a diferentes espacios libres para las rodillas si es diferente la profundidad del asiento. Es el caso, como se ha expuesto, de la diferencia entre los trenes de alta velocidad de las series 102 y 112 de Renfe.

Características antropométricas de la población española

La cota antropométrica más relacionada con la distancia entre asientos es la “longitud rodilla-trasero”, cuyos valores en la población española están recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 10 - Longitud rodilla-trasero

| | <i>Media</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 590,750 | 686,000 | 523,200 | 541,000 | 590,000 | 644,000 | 667,800 |
| <i>Hombres</i> | 598,919 | 686,000 | 527,310 | 549,550 | 598,000 | 650,000 | 672,000 |
| <i>Mujeres</i> | 575,080 | 685,000 | 514,900 | 530,000 | 573,000 | 622,000 | 656,100 |

Cotas en mm. Distancia horizontal desde el punto anterior de la rótula hasta el punto posterior del trasero. Fuente: MTAS (2003)

Calificaciones adoptadas

Espacio libre entre asientos en línea

Las calificaciones adoptadas para los puntos entre los cuales se interpolará cualquier valor del *espacio libre entre asientos en línea* se calculan con los siguientes criterios:

- Calificación “0”: corresponde al percentil 95 del grupo de género más desfavorable.
- Calificación “5”: corresponde a la distancia máxima trasero-rodilla observada en la población española, incrementada en 28 mm para permitir los mínimos movimientos sin rozar el respaldo del asiento precedente.
- Calificación “10”: corresponde al valor máximo de la población, incrementado en 164 mm.

Tabla 11 - Espacio libre entre asientos en línea - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 650 | 700 | ≥ 836 |

Fuente: Elaboración propia

Espacio libre entre asientos enfrentados

Las calificaciones adoptadas para los valores entre los cuales se interpolará cualquier valor del espacio libre entre asientos enfrentados se calculan con los siguientes criterios:

- La calificación “0” corresponde al percentil 95 del grupo más desfavorable multiplicado por 2, puesto que el espacio debe ser compartido por dos personas.
 - La calificación “5” corresponde al doble del valor que obtiene la misma calificación en el espacio entre asientos en línea con un incremento de 50 mm.
- La calificación “10” corresponde al percentil 99 multiplicado por 2 e incrementado en 155 mm.

Tabla 12 - Espacio libre entre asientos enfrentados - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 1.300 | 1.450 | ≥ 1.500 |

Fuente: Elaboración propia

Paso entre asientos

Ante la ausencia de valores antropométricos que se relacionen de forma directa con el paso entre asientos, las calificaciones adoptadas para los valores entre los cuales se interpolará cualquier valor se calculan con referencia a los valores de la Ficha UIC, con los siguientes criterios:

- Calificación “0”: sería para el valor que corresponde al recomendado por la UIC en segunda clase, reducido en un 10%.
- Calificación “5”: corresponde al valor recomendado por la UIC en segunda clase.
- Calificación “10”: corresponde al recomendado por la UIC en 1^a clase, incrementado un 10%.

Tabla 13 - Paso entre asientos en línea - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 846 | 940 | ≥ 1.111 |

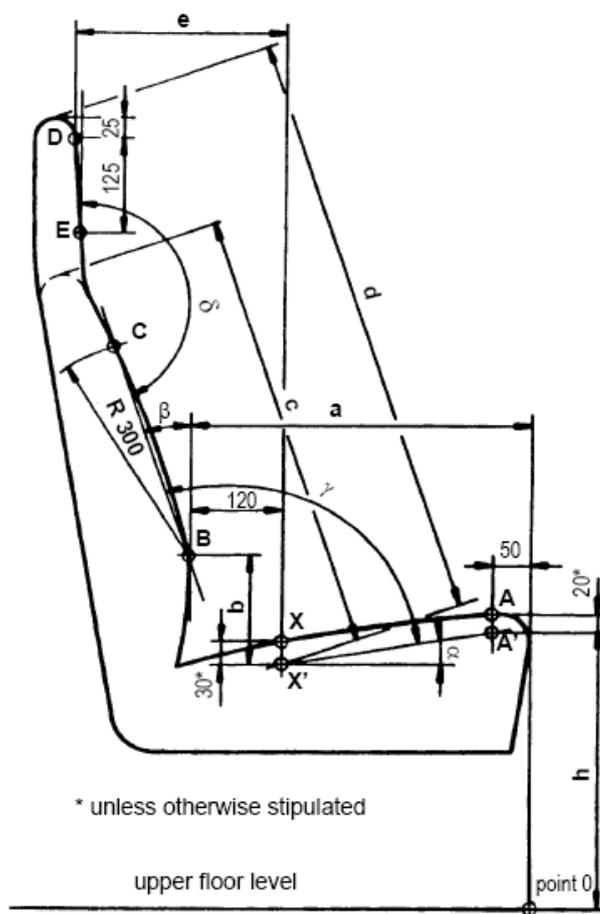
Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Profundidad del asiento

La *profundidad del asiento* es la distancia desde la terminación del cojín del asiento hasta el punto posterior del mismo en el que se une con el respaldo.

Normas sobre la profundidad del asiento

La norma UIC establece que “la profundidad de los asientos (cota “a” de la figura) debe ser, en posición de base de los asientos, de por lo menos 430 mm” (Ficha UIC 567 art. D.2.4.1, obligatorio); y añade que “para aumentar el confort, se recomienda prever una superficie de asiento de longitud variable, y la profundidad de los asientos debe poder ajustarse entre 410 y 530 mm” (Ficha UIC 567 art. D.2.4.2, recomendado).



Para la aviación, la JAA establece como profundidad máxima del asiento 423 mm, y como profundidad ideal la de 379 mm.

El Reglamento 36, referente a autobuses, establece que la profundidad mínima de los asientos debe ser de 350 mm en Clase I (urbano) y de 400 mm en las Clases II y III (metropolitano e interurbano).

Obsérvese que mientras en las normas de trenes y autobuses se prescriben valores mínimos (dando a entender que lo deseable son valores altos), en el caso de los aviones se establecen valores máximos, sugiriendo, por el contrario que lo deseable son valores bajos.

Como curiosidad puede señalarse que las normas de la UIC (para los trenes) y la JAA (para los aviones) son incompatibles, pues la primera establece un valor mínimo de 430 mm y la segunda un valor máximo de 423 mm.

Características antropométricas de la población española

La cota antropométrica más relacionada con la profundidad del asiento es la “longitud poplíteo-trasero”, cuyos valores para la población española están recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 14 - Longitud poplíteo-trasero (profundidad del asiento)

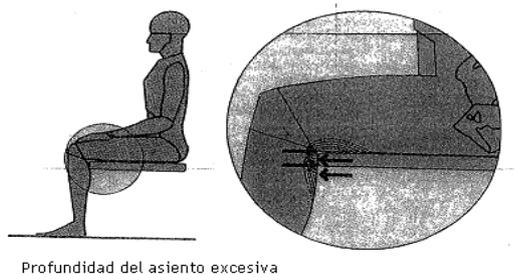
| | <i>Media</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 493,518 | 605,000 | 426,220 | 450,100 | 492,000 | 539,900 | 567,560 |
| <i>Hombres</i> | 497,158 | 605,000 | 422,000 | 451,000 | 497,000 | 545,000 | 574,690 |
| <i>Mujeres</i> | 486,558 | 589,000 | 435,920 | 450,000 | 485,000 | 531,000 | 551,720 |

Cotas en mm. Distancia horizontal desde el hueco posterior de la rodilla (borde posterior de la cabeza del peroné) hasta el punto posterior del trasero. Fuente: MTAS (2003)

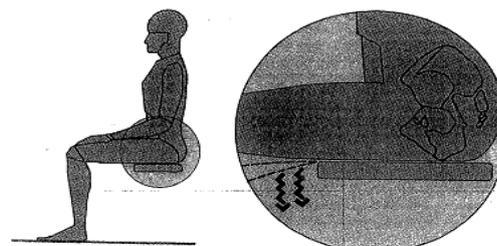
Calificaciones adoptadas

Para establecer los valores a los que se asignan las diferentes calificaciones, hay que tener en cuenta que se trata de un indicador “dual”, en el que son desfavorables tanto valores muy altos como valores muy bajos:

- Si la profundidad del asiento es excesiva, el borde o arista frontal del mismo comprimirá la zona posterior de las rodillas y entorpecerá el riego sanguíneo a piernas y pies, y la opresión del tejido de la vestimenta originará irritación cutánea y molestias. Por contra, una profundidad del asiento demasiado pequeña provoca una desagradable situación al viajero, que tiene la sensación de caerse hacia delante, y además, para personas de muslos cortos no presta suficiente superficie de apoyo.



Profundidad del asiento excesiva



Profundidad del asiento insuficiente

Por otra parte, parece preferible un valor menor, pues la molestia causada a una persona con muslos largos por un asiento corto es menor que la incomodidad causada a una persona con muslos cortos por un asiento largo. Además, una menor profundidad favorece el acceso a los asientos y los movimientos de los viajeros.

Así pues, las calificaciones adoptadas para los valores entre los cuales se interpolará cualquier otro valor son:

- Calificación "0": para aquellos asientos de longitud menor de 426 mm (percentil 1) o mayor de 567 mm (percentil 99).
- Calificación "5": para los valores de 430 mm (percentil 5 menos 20 mm) y 519 mm (percentil 95 menos 20 mm).
- Calificación "10": para el valor de percentil 50 reducido en 30 mm (462 mm).

Tabla 15 - Profundidad del asiento - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|---------------|-----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 426 o ≥ 567 | 430 y 519 | 462 |

Fuente: Elaboración propia

2.3. Disponibilidad de espacio en altura

La *disponibilidad de espacio en altura* hace referencia a todas las cotas y medidas que el viajero puede encontrarse relacionadas con la disponibilidad de vertical (medido siempre respecto a su propia posición durante el viaje):

Indicadores de tercer nivel. - El indicador de segundo nivel *disponibilidad de espacio en altura* se desagrega en otros de tercer nivel, que son los siguientes:

- altura suelo-techo medida en el pasillo,
- altura suelo-techo medida en eje de asiento,
- altura libre del pasillo,
- altura media del suelo al techo,
- altura del asiento sobre el piso,
- altura del respaldo de la butaca desde su asiento.

Los cuatro primeros afectan a los viajeros cuando se encuentran de pie, y los dos últimos afectan a los viajeros cuando están sentados.

2.3.1. Alturas que afectan a los viajeros cuando se encuentran de pie

Características antropométricas de la población española

La cota antropométrica más relacionada con estos indicadores es la "estatura (altura del cuerpo)", cuyos valores en la población española están recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 16 - Estatura (altura del cuerpo)

| | <i>Media</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 1.6633 | 1.894 | 1.479 | 1.525 | 1.665 | 1.803 | 1.855 |
| <i>Hombres</i> | 1.699 | 1.894 | 1.537 | 1.583 | 1.698 | 1.820 | 1.864 |
| <i>Mujeres</i> | 1.595 | 1.824 | 1.438 | 1.494 | 1.596 | 1.701 | 1.744 |

Cotas en mm. Distancia vertical desde el suelo hasta el punto más alto de la cabeza (vértex).
 Fuente: MTAS (2003)

Altura suelo-techo medida en el pasillo

La *altura suelo-techo en el pasillo* es la altura máxima del espacio libre de los coches de viajeros medida en el eje central del pasillo.

Calificaciones adoptadas

Las calificaciones adoptadas para los valores entre los cuales se interpolará cualquier otro valor son:

- Calificación "0": se corresponde a aquel valor que lo hace válido para el 99% de la población (percentil 99), incrementado en 200 mm en concepto de margen para el movimiento y para diferentes posiciones de la cabeza.
- Calificación "5": se corresponde a aquel valor que lo hace válido para máximo del género más alto, incrementado en 300 mm.
- Calificación "10": se corresponde al valor máximo del género más alto, incrementado en 500 mm.

Tabla 17 - Altura suelo-techo medida en el pasillo - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | 2.055 | 2.194 | 2.394 |

Fuente: Elaboración propia

Altura suelo-techo medida en eje de asiento

La *altura suelo-techo medida en el eje de asiento* es la altura que tienen libre los viajeros cuando se encuentran en la zona de asientos. Aunque este valor puede ser menor a la altura del viajero (puede estar agachado en esta zona y, de hecho, suele estarlo en los aviones), se relaciona también con la cota antropométrica "altura de la población". Esta cota varía en el mismo tren según la plaza, dependiendo por ejemplo de la existencia de equipajeros.

Calificaciones adoptadas

Las calificaciones adoptadas para los valores de la altura entre suelo y techo en el eje de asiento, entre los cuales se interpolará cualquier otro valor, son:

- La calificación "0" se corresponde a aquel valor que lo hace válido para estar de pie el 50% de la población (percentil 50).

- La calificación “5” se corresponde a aquel valor que lo hace válido para el 99% de la población (percentil 99).
- La calificación “10” se corresponde al valor máximo del grupo más desfavorable, incrementado en 100 mm.

Tabla 18 - Altura suelo-techo medida en eje de asiento - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | 1.665 | 1.855 | 1.994 |

Fuente: Elaboración propia

Altura libre del pasillo

La *altura libre del pasillo* es la altura desde el suelo al primer obstáculo con el que puedan interferir los viajeros, como pueden ser pantallas de televisión o barras de sujeción. Dicha medida se toma en el eje del pasillo.

Calificaciones adoptadas

Las calificaciones adoptadas para los valores de la altura libre del pasillo entre los que se interpolará cualquier otro valor son las siguientes:

- Calificación “0”: se corresponde a aquel valor que lo hace válido para el 95% de la población (percentil 95), incrementado en 150 mm en concepto de margen.
- Calificación “5”: se corresponde a aquel valor que lo hace válido para el 99% de la población (percentil 99), incrementado en 150 mm.
- Calificación “10”: se corresponde al valor máximo del grupo más desfavorable, incrementado en 450 mm.

Tabla 19 - Altura libre del pasillo - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | 1.970 | 2.005 | 2.344 |

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Alturas que afectan a los viajeros cuando se encuentran sentados

Altura del asiento

La *altura del asiento* es la distancia a la que se halla la parte superior de la superficie de asiento respecto al suelo.

Normas sobre la altura del asiento

La norma UIC establece que “El asiento debe situarse en 1ª y en 2ª clase entre 390 y 430 mm por encima del suelo” (Ficha UIC 567 art. D.2.2, obligatorio).

La JAA indica que “la altura del asiento debe estar entre 323 mm (altura poplíteo de 318 mm menos 20 mm y más 25 mm en concepto de corrección por la altura de los tacones) y 503 mm (altura poplíteo de 498 mm menos 20 y más 25 mm de corrección por los tacones de los zapatos) (Quigley, C. et al., 2001).

En el caso de los autobuses “la altura del asiento sin comprimir, relativa al suelo, debe ser tal que la distancia desde el suelo a un plano horizontal tangente a la parte superior del asiento esté entre 400 y 500 cm” (Reglamento 36 anejo al Acuerdo de Ginebra de 20 de marzo de 1958).

Características antropométricas de la población española

La cota antropométrica más relacionada con este indicador es la “longitud de la pierna (altura poplíteo)”, cuyos valores en la población española están recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 20 - Longitud de la pierna (altura poplíteo)

| | <i>Media</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 418,174 | 554,000 | 350,000 | 368,000 | 419,000 | 464,000 | 486,780 |
| <i>Hombres</i> | 427,990 | 554,000 | 369,310 | 388,000 | 428,000 | 468,450 | 491,070 |
| <i>Mujeres</i> | 399,406 | 474,000 | 346,000 | 356,000 | 400,000 | 445,400 | 459,080 |

Cotas en mm. Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies hasta la superficie inferior del muslo inmediata a la rodilla, con esta doblada en ángulo recto.

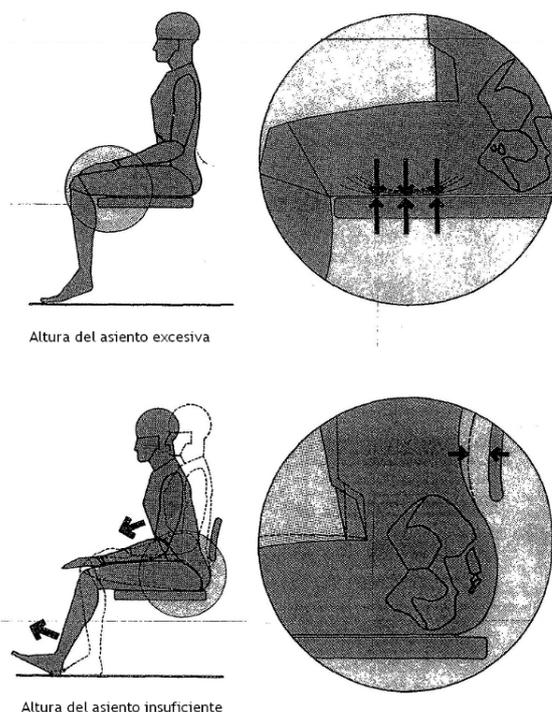
Fuente: MTAS (2003)

Calificaciones adoptadas

Para establecer las calificaciones, hay que tener en cuenta que se trata (como ocurría con el indicador de profundidad del asiento) de un indicador “dual”:

- Si la altura del asiento es excesiva, se produce una compresión en la cara inferior de los muslos, con la consecuente sensación de incomodidad y eventual perturbación de la circulación sanguínea.
- Si, por el contrario, el asiento es demasiado bajo, las piernas pueden extenderse y echarse hacia delante, y los pies quedarán privados de toda estabilidad.

En general, una persona alta se encuentra más cómoda sentada en un asiento bajo que una persona de poca estatura en un asiento alto.



Así pues, los valores adoptados para los puntos entre los cuales se interpolará cualquier valor son:

- Calificación "0": para aquellos valores menores de 355 mm (percentil 1 + 5 mm) o mayores de 491 mm (percentil 99 + 5 mm).
- Calificación "5": para 373 mm (percentil 5 + 5 mm) y 469 mm (percentil 95 + 5 mm).
- Calificación "10": para 424 mm (percentil 50 + 5 mm).

Tabla 21 - Altura del asiento - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 355 o ≥ 491 | 373 y 469 | 424 |

Fuente: Elaboración propia

Altura del respaldo

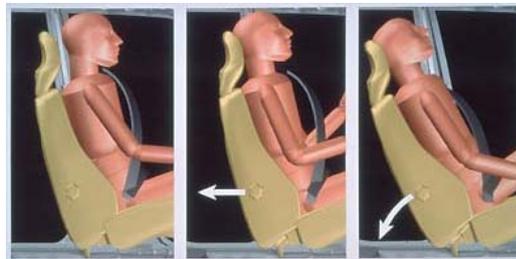
La *altura del respaldo* es la distancia entre la parte superior del asiento y el punto más alto del respaldo. La principal función del respaldo es servir de soporte para la columna lumbar, es decir, a la zona comprendida entre el sacro y la región dorsal (región central de la espalda). También es importante, sobre todo en trenes de media y larga distancia, que acomode la zona cervical y la cabeza.

La altura del respaldo no está relacionada exclusivamente con el confort, sino también con la seguridad de los viajeros. Así, en el caso del automóvil es muy frecuente el "latigazo cervical" que se produce en toda colisión por alcance posterior, aunque sea a baja velocidad: los ocupantes de los vehículos sufren una serie de movimientos violentos como consecuencia de la aceleración-deceleración

repentina. La zona que más sufre estos movimientos es el cuello, ya que la columna cervical soporta toda la inercia producida por el desplazamiento en direcciones contrarias del tronco y de la cabeza. En el caso de no existir apoyo cervical, la segunda y tercera vértebras pueden llegar a romperse e incluso dañar irreparablemente la médula espinal. Para evitar estas lesiones, la parte superior del asiento debe quedar entre la línea de los ojos y la parte superior de la cabeza.

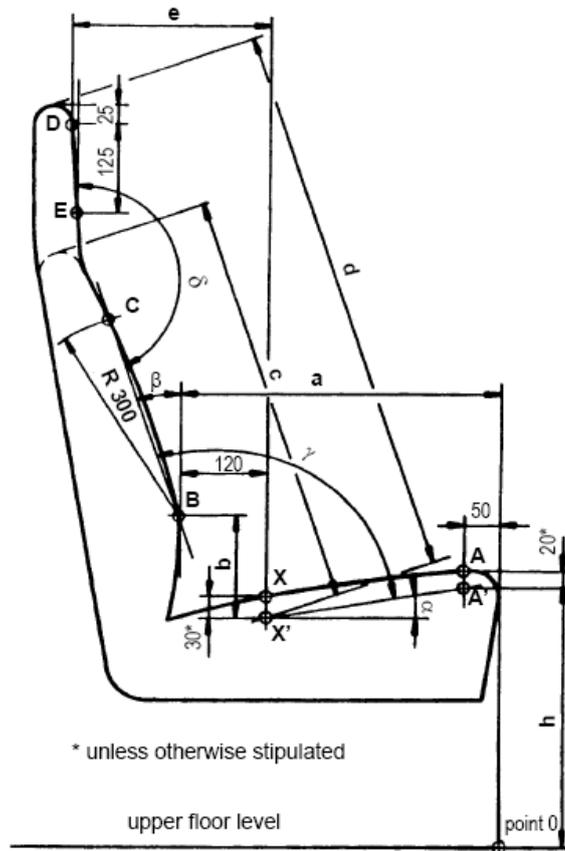
Si bien en el caso del tren este tipo de deceleraciones bruscas son poco probables, no cabe descartar que se produzcan, pudiéndose distinguir dos casos:

- alcance posterior por otro tren (entonces afectaría a los viajeros sentados a favor del sentido de la marcha);
- colisión con un vehículo de carretera en un paso a nivel, colisión con una topera o alcance anterior contra otro tren que circula delante (en este caso, que es más probable en el ferrocarril que el alcance posterior a otro tren, afectaría a las personas sentadas en sentido contrario a la marcha del tren).



Normas sobre la altura del respaldo

La UIC establece que “La altura del respaldo (cota “c” de la figura) debe ser de 500 mm por lo menos”. Asimismo, que “la presencia de un reposacabezas es obligatoria y su altura debe estar entre 550 y 800 mm, como máximo 850 mm (cota “d” de la figura)” (Ficha UIC 567 art. D.2.7, obligatorio).



Para la aviación y los autobuses no existe ninguna recomendación al respecto.

Características antropométricas de la población española

Las cotas antropométricas más relacionadas con este indicador son: la “altura sentado”, la “altura de los ojos, sentado” y la “altura de los hombros, sentado”, cuyos valores en la población española están recogidos en las siguientes tablas:

Tabla 22 - Altura sentado

| | <i>Media</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 989,000 | 859,690 | 764,170 | 793,000 | 859,000 | 929,000 | 959,000 |
| <i>Hombres</i> | 987,000 | 874,988 | 795,000 | 816,000 | 874,000 | 936,000 | 963,710 |
| <i>Mujeres</i> | 830,342 | 989,000 | 747,890 | 772,450 | 830,000 | 884,000 | 909,220 |

Cotas en mm. Distancia vertical desde una superficie de asiento horizontal hasta el punto más alto de la cabeza (vértex). Fuente: MTAS (2003)

Tabla 23 - Altura de los ojos, sentado

| | <i>Media</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 753,036 | 871,000 | 661,170 | 690,000 | 753,000 | 819,150 | 848,490 |
| <i>Hombres</i> | 767,163 | 871,000 | 688,560 | 710,400 | 767,000 | 827,600 | 854,720 |
| <i>Mujeres</i> | 726,003 | 821,000 | 643,900 | 673,000 | 725,000 | 779,000 | 799,600 |

Cotas en mm. Distancia vertical desde una superficie de asiento horizontal hasta el vértice exterior del ojo. Fuente: MTAS (2003)

Tabla 24 - Altura de los hombros, sentado

| | <i>Media</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 578,657 | 681,000 | 500,000 | 524,000 | 579,000 | 635,000 | 659,600 |
| <i>Hombres</i> | 590,363 | 681,000 | 524,290 | 543,000 | 589,000 | 640,000 | 663,710 |
| <i>Mujeres</i> | 556,315 | 649,000 | 485,680 | 510,600 | 556,000 | 604,000 | 622,400 |

Cotas en mm. Distancia vertical desde una superficie de asiento horizontal hasta el acromión. Fuente: MTAS (2003)

Calificaciones adoptadas

Las calificaciones adoptadas para los puntos entre los cuales se interpolará cualquier valor se calculan con los siguientes criterios:

- Calificación "0": corresponde al percentil 95 de "altura de los hombros, sentado".
- Calificación "5": corresponde al percentil 99 de "altura de los ojos, sentado".
- Calificación "10": es el percentil 95 de "altura sentado".

Con estas medidas está implícita la obligatoriedad del reposacabezas, quedando con una calificación siempre inferior a "5" aquellos asientos que no recojan la zona cervical.

Tabla 25 - Altura del respaldo - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 635 | 848 | ≥ 929 |

Fuente: Elaboración propia

2.4. Configuración y posición relativa de la plaza

Uno de los factores más valorados por los viajeros con relación a las condiciones de comodidad de su viaje se refiere a la posición del asiento con respecto al sentido de la marcha y a la posición del asiento con respecto a los demás asientos.

Para medirlo, se define un indicador denominado “configuración y posición relativa de la plaza”. Este indicador (que sólo es relevante en los trenes de plazas sentadas) recoge tanto la posición relativa de la plaza con respecto al sentido de la marcha, como con respecto a otras plazas que se pueda encontrar un viajero en el tren.

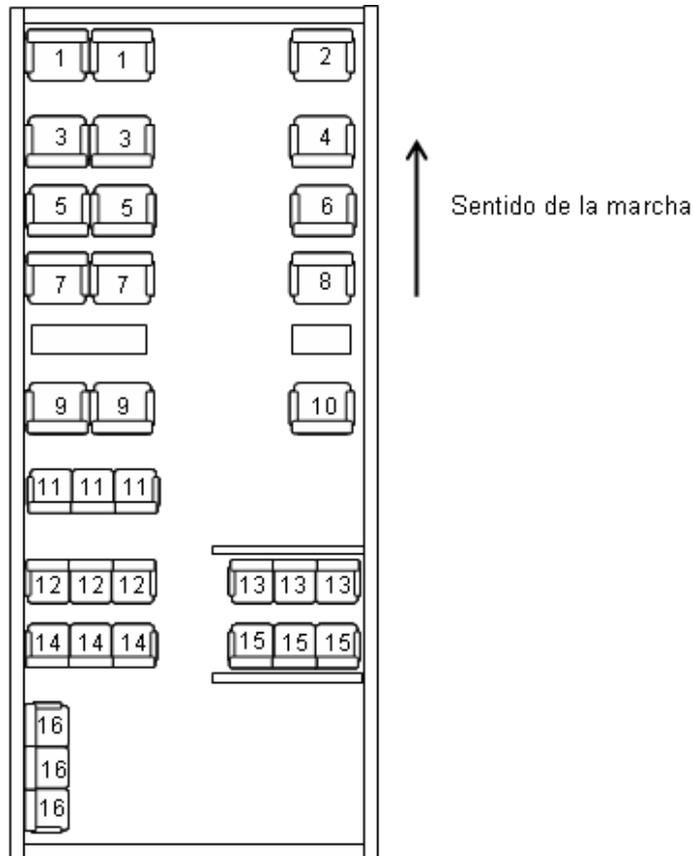
Factores que inciden en el indicador

El indicador, por lo expuesto, es combinación de diferentes factores:

- Orientación del asiento con respecto al sentido de la marcha del tren. Se puede encontrar una plaza en tres posibles orientaciones:
 - en el sentido de la marcha,
 - en contra del sentido de la marcha,
 - en paralelo al sentido de la marcha.
- Elemento frontal. Según lo que se encuentre delante de la plaza pueden distinguirse tres casos:
 - el respaldo de otro asiento,
 - otro asiento en posición frontal,
 - otro asiento separado mediante mesita u otro elemento de separación equivalente.
- Elementos laterales. A cada uno de los lados de asientos pueden encontrarse los siguientes elementos:
 - pasillo a un lado y paramento vertical en el otro,
 - pasillo a un lado y asiento en el otro lado,
 - asiento ambos lados.
- Tabiques de separación de un grupo de plazas con respecto a las demás plazas. Pueden en este sentido distinguirse:
 - plazas sin tabiques separación,
 - plazas separadas por tabiques que delimitan departamentos cerrados,
 - plazas separadas por tabiques sin cierre lateral (semidepartamentos).

Posibilidades de posición relativa de las plazas y su caracterización

Todas las posibilidades de diferentes tipos de plazas, según su posición relativa a la marcha y a otras plazas, y según los elementos separadores entre ellas, quedan recogidas en el siguiente esquema:



En la siguiente tabla se muestran las características principales de cada uno de los tipos de plazas en coherencia con la designación de las mismas en el esquema anterior.

Tabla 26 - Descripción de los tipos de plazas por su posición relativa

| <i>Id. tipo plaza</i> | <i>Nº asientos juntos</i> | <i>¿A favor sentido marcha?</i> | <i>Elemento frontal</i> | <i>Elemento separador</i> | <i>Tabiques</i> |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1 | 2 | No | Asiento | -- | No |
| 2 | 1 | No | Asiento | -- | No |
| 3 | 2 | Sí | Asiento | -- | No |
| 4 | 1 | Sí | Asiento | -- | No |
| 5 | 2 | Sí | Respaldo | -- | No |
| 6 | 1 | Sí | Respaldo | -- | No |
| 7 | 2 | No | Asiento | Mesita | No |
| 8 | 1 | No | Asiento | Mesita | No |
| 9 | 2 | Sí | Asiento | Mesita | No |
| 10 | 1 | Sí | Asiento | Mesita | No |
| 11 | 3 | Sí | Respaldos | -- | No |
| 12 | 3 | No | Asiento | -- | No |
| 13 | 3 | No | Asiento | -- | Si |
| 14 | 3 | Sí | Asiento | -- | No |
| 15 | 3 | Sí | Asiento | -- | Si |
| 16 | 3 | Paralelo | -- | -- | No |

Fuente: Elaboración propia

Preferencias de los viajeros

En la siguiente tabla se muestra el orden en el que los viajeros eligen las distintas plazas, según se desprende de una encuesta realizada a 12 personas, dependiendo de si viaja una persona sola, o un grupo de dos o uno de tres. No se tienen en cuenta combinaciones de tipos de plazas diferentes.

Se puede observar que la tendencia de los viajeros es a elegir aquellas plazas que van en el sentido de la marcha y en las que los viajeros no tienen que compartir su espacio con otros desconocidos. En el caso de asientos enfrentados se prefiere tener un elemento separador (mesita) a no tener nada. Los asientos que se encuentran semiaislados mediante tabiques, es decir, en un compartimento, no son bien valorados, seguramente porque se asocian a inseguridad y pueden resultar claustrofóbicos si sus dimensiones son muy ajustadas. Otras observaciones realizadas por los encuestados (aunque no recogidas en la tipología propuesta) es que se prefieren longitudes de coches reales o virtuales no muy largas, ya que si el conjunto de asientos dispuestos de igual manera es demasiado largo, produce rechazo.

Tabla 27 - Preferencias de eleccin de plaza

| <i>Id. tipo plaza</i> | <i>Viaja 1 viajero</i> | <i>Viajan 2 viajeros</i> | <i>Viajan 3 viajeros</i> |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 13 | 8 | -- |
| 2 | 12 | -- | -- |
| 3 | 6 | 5 | -- |
| 4 | 4 | -- | -- |
| 5 | 2 | 1 | -- |
| 6 | 1 | -- | -- |
| 7 | 11 | 4 | -- |
| 8 | 10 | -- | -- |
| 9 | 5 | 3 | -- |
| 10 | 3 | -- | -- |
| 11 | 7 | 2 | 1 |
| 12 | 14 | 10 | 4 |
| 13 | 15 | 9 | 5 |
| 14 | 8 | 6 | 2 |
| 15 | 9 | 7 | 3 |
| 16 | 16 | 11 | 6 |

El nmero se refiere al orden en que fue escogida la plaza. Fuente: Elaboracin propia sobre encuesta a 12 personas

Calificaciones adoptadas

Cada asiento del tren puede tener una posicin relativa diferente que los dems (as, en un mismo tren y en un mismo coche puede haber asientos a favor y en contra de la marcha; asientos aislados y junto a otros...). Adem, como se puede observar en la tabla anterior, cada posicin relativa tienen una preferencia distinta (y por ello merece una calificacin diferente) segn el nmero de personas que viajen juntas. Por ello, la calificacin de un tren segn este atributo requiere dos pasos:

- calificar cada asiento segn su tipo
- ponderar las calificaciones de cada uno de los asientos, para obtener la calificacin del tren en el presente atributo.

La calificacin de cada asiento ser diferente segn el nmero de personas que viajan juntas, por lo que es preciso establecer unas reglas, que seran las siguientes:

A cada asiento se le otorga la mejor calificacin que tendra, segn su tipo, tanto si viajan una, dos o tres personas. Para un mismo coche, las calificaciones para grupos de tres personas quedan limitadas al 20% de las plazas y para grupos de dos personas al 40% de las plazas, correspondiendo el 40% restante a personas que viajan solas.

Para la ponderacin de las plazas dentro de un tren debe tenerse en cuenta que hay un cierto margen para la eleccin, ya que en algunos casos, al comprar el billete, los viajeros pueden escoger su asiento; y por otra parte, en la prctica, los trenes raramente van llenos, por lo que las plazas menos demandadas son menos utilizadas, o bien porque no se compran (si el viajero puede escoger la plaza al comprar el

billete), o bien porque en el tren los viajeros tienden a cambiarse de plaza a otra que les resulta más agradable si el tren no va lleno.

Por ello, en la ponderación se elimina un cierto porcentaje de las plazas de cada coche: si el tren tiene un alto *aprovechamiento vertical*³, se elimina de la ponderación un menor porcentaje de los asientos, precisamente aquellos que tienen peor calificación, pues pocos viajeros pueden cambiarse de asiento en el tren (ya que van pocos libres). La reducción procede de que los viajeros, al comprar, en el caso de los trenes con reserva, pueden tener un cierto grado de elección; y en el caso de los trenes sin reserva, los primeros viajeros en acceder al tren hacen recorridos más largos y son precisamente los que pueden escoger y los que otorgan más importancia al atributo.

El porcentaje de plazas que se eliminan es siempre algo menor que el de plazas libres en el tramo de máxima ocupación, proponiéndose la siguiente regla:

Plazas que no se ponderan (%): plazas libres en el tramo de máxima ocupación (%) - 5%.

2.5. Aseos

Los aseos de un tren, su número y características, también son elementos que inciden en la *habitabilidad* del tren. Hay que exceptuar los trenes destinados a los servicios urbanos, en los que no se prevén aseos embarcados, ya que los viajeros pueden utilizar los existentes en tierra, dado lo reducido del tiempo que pasan a bordo.

Por la razón del tiempo que pasan los viajeros a bordo son diferentes las necesidades de aseos en los servicios de cercanías, en los de media y de larga distancia, ya que cuanto más tiempo pasan los viajeros en el tren, más necesarios son los aseos, aunque como se expondrá, y de forma sorprendente, la frecuentación de cada viajero (veces que usa el aseo por cada hora de viaje) no aumenta con el tiempo de recorrido.

Indicadores de tercer nivel.- El indicador de segundo nivel “aseos” se compone de dos indicadores de tercer nivel:

- número de aseos (en función de las plazas del tren y del tipo de servicio),
- tamaño de cada aseo

Como elementos moduladores se consideran el tamaño de la puerta de acceso y el equipamiento.

Relación con otros indicadores.- En cuando a la relación con otros indicadores, un mayor número y tamaño de aseos aumenta la habitabilidad, pero requerir menos superficie en planta, reduce la capacidad del tren.

³ **TERMINOLOGÍA**- Denominamos *aprovechamiento vertical*, según la definición introducida en García Álvarez, Cillero Hernández y Rodríguez Jericó (1998), al cociente entre los viajeros que viajan en el tren en tramo de máxima ocupación y las plazas del tren. El *aprovechamiento vertical* es diferente (igual o menor) al *aprovechamiento (total)* medido en viajeros/plazas kilómetro. El cociente entre *aprovechamiento total* y el *aprovechamiento vertical* es el llamado *aprovechamiento horizontal*, que, además, es el cociente entre el recorrido medio del viajero y el recorrido medio del tren.

2.5.1. Número de aseos

Un mayor número de aseos significa para los viajeros una mayor habitabilidad y comodidad, por tener una mayor probabilidad de encontrar un aseo libre cuando lo necesiten.

Normas sobre el número de aseos

En el caso del ferrocarril la UIC establece “el número mínimo de aseos por coche de viajeros es uno, o dos en el caso de coches con más de 40 plazas” (la norma parece pensar en coches convencionales para servicios de medias y largas distancias en los que el número máximo de plazas es de 88, pero no en los trenes de dos niveles o de caja ancha que pueden pasar de 120 plazas por coche; parece que la norma quiere requerir un aseo por cada 40 plazas o fracción).

Calificación del número de aseos

El indicador *número de aseos* se calificará en función de la probabilidad de que un viajero que lo necesite encuentre el aseo libre.

En concreto, los criterios que se aplican son los siguientes:

- Se concede un “0” si la probabilidad de encontrar el aseo libre es menor del 60% (es decir, si el porcentaje de uso es mayor del 40%).
- Se concede un “5” si la probabilidad de encontrar un aseo libre es del 80% (uso del 20%).
- Se concede un “10” si la probabilidad de encontrar un aseo libre es mayor del 87,5.

Para conocer la probabilidad, es preciso conocer la frecuencia y tiempo de uso de los aseos por tipo de servicio. Para ello, se ha observado en diversos viajes el intervalo medio (en minutos) con el que los viajeros pasan a un aseo del tren⁴.

También se ha medido el tiempo que, por término medio, pasa cada persona en el aseo una vez que entra a él.

Debe tenerse en cuenta que aunque cada viajero utiliza preferentemente el aseo situado en el coche en el que viaja, en caso de que éste no se encuentre disponible, puede pasar a otro coche y utilizarlo, por lo que para ponderar la calificación se tienen en cuenta tanto los aseos en un coche como los aseos en un tren. En el caso de que en un coche no haya aseo, puede considerarse, para calificar este indicador, la media de dos coches consecutivos.

Las observaciones se han realizado en diversos tipos de servicio. Siendo T_{pas} [en min] el periodo medio entre entradas en el aseo de cada viajero; y siendo T_{uas} [en min] el tiempo medio de uso del aseo por el viajero, los resultados, comparados con el recorrido medio de los viajeros en el tren (en km) y con el tiempo medio que cada viajero pasa en el tren (en min), son los recogidos en la tabla (en la que también aparece el número de viajeros que componen la muestra observada en cada caso).

⁴ Cuando entran a la vez a un aseo dos personas se ha contabilizado una sola. Las entradas de dos personas a la vez al aseo se corresponden (aunque sorprendentemente no siempre) con un niño y un adulto.

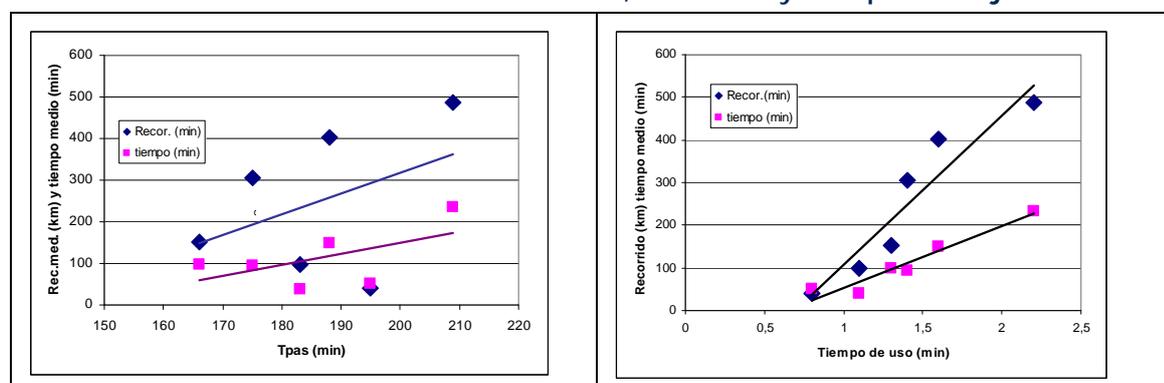
Tabla 28 - Uso de los aseos por los viajeros en diversos tipos de servicio

| Servicio | Muestra viajeros | T _{pas} min | T _{uas} min | Rec. Medio km | Tiempo med. viaje min |
|--------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------|-----------------------|
| Alta velocidad larga distancia | 123 | 175 | 1,4 | 305 | 95 |
| Alta velocidad ancho variable | 65 | 188 | 1,6 | 402 | 150 |
| Convencional larga distancia | 87 | 209 | 2,2 | 487 | 234 |
| Alta velocidad media distancia | 345 | 183 | 1,1 | 98 | 39 |
| Convencional media distancia | 56 | 166 | 1,3 | 152 | 98 |
| Cercanías | 356 | 195 | 0,8 | 41 | 52 |
| Media ponderada | | 187,77 | 1,17 | 158 | 76,79 |

Nota: Los tiempos medios y recorridos medios se corresponden a los trenes concretos observados, no a la media de los trenes del tipo de servicio estándar. Se han separado los trenes de alta velocidad y de ancho variable, aunque no coincide con un tipo de servicio estandarizado, para disponer de más información para buscar una eventual correlación entre el uso y los tiempos y recorridos. Fuente: Elaboración propia sobre observaciones realizadas en 19 trenes en 2007

Para analizar si existe alguna relación entre el uso de los servicios y el recorrido medio del viajero y el tiempo medio de viaje, se figuran en los gráficos la relación de cada uno de los valores de periodo entre usos y de tiempo de uso, con el respectivo recorrido y tiempo de viaje.

Tabla 29 - Relación entre uso del aseo, recorrido y tiempo de viaje



Fuente: Elaboración propia

Puede observarse que existe una cierta tendencia a un mayor período entre usos del servicio (menos frecuencia de uso) cuanto mayor es el recorrido del viajero, y también cuando más tiempo pasa el viajero en el tren (en este caso la correlación es más clara). En cuanto al tiempo de cada uso, éste es mayor cuanto mayor es el recorrido del viajero y cuanto más tiempo pasa en el tren.

Para el cálculo del número máximo admisible de plazas por cada aseo para alcanzar cada una de las calificaciones, según los criterios expuestos, debe considerarse que el porcentaje el tiempo de viaje que un viajero pasa en el aseo es $100 \times T_{uas} / T_{pas}$, y que, siendo P el número de plazas asignadas al aseo y A el índice de aprovechamiento (y,

por tanto, $V=P \times A$ el nmero de viajeros), el porcentaje de tiempo que pasan los viajeros en el aseo es el siguiente:

$$\text{Porcentaje tiempo aseo ocupado} = 100 \times \frac{T_{\text{uas}}}{T_{\text{pas}}} \times P \times A .$$

Por ello, los valores del porcentaje de tiempo que cada viajero pasa en el aseo, el aprovechamiento (p.km/v.km) de cada tipo de servicio, y las plazas que permiten alcanzar los porcentajes de uso, son los que se recogen en la tabla.

Tabla 30 - Porcentaje de uso de los aseos por un viajero y todos los viajeros del tren

| Servicio | Por. uso | Aprov. | Plazas para | Plazas para | Plazas para |
|--------------------------------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | cada viajero | | 40% | 20% | 12,5% |
| | % | v.km/p.km, | | | |
| Alta velocidad larga distancia | 0,80 | 0,7 | 71 | 36 | 22 |
| Alta velocidad ancho variable | 0,85 | 0,7 | 67 | 34 | 21 |
| Convencional larga distancia | 1,05 | 0,7 | 54 | 27 | 17 |
| Alta velocidad media distancia | 0,60 | 0,37 | 180 | 90 | 56 |
| Convencional media distancia | 0,78 | 0,35 | 146 | 73 | 46 |
| Cercanías | 0,41 | 0,39 | 250 | 125 | 78 |

Fuente: Elaboración propia

Como consecuencia de ello, los valores que reciben las calificaciones de 0, 5 y 10, segn el tipo de servicio, son los que se recogen en la tabla.

Tabla 31 - Nmero de aseos - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificacin</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|--|----------|----------|-----------|
| <i>Serv. tipo cercanías v. sentados (nº de plazas por aseo)</i> | > 250 | 125 | < 78 |
| <i>Serv. tipo media dist. Convenc. (nº de plazas / aseo)</i> | > 146 | 73 | < 46 |
| <i>Serv. tipo media dist. alta veloc. (nº de plazas / aseo)</i> | > 180 | 90 | < 56 |
| <i>Serv. tipo larga dist. convencional (nº de plazas / aseo)</i> | > 54 | 27 | < 17 |
| <i>Serv. tipo larga dist. alta veloc. (nº plazas / aseo)</i> | > 71 | 36 | < 22 |

La calificacin se hace para cada coche y para el conjunto del tren. Se pondera con un 50% la media de las calificaciones de cada coche y con un 50% el valor del conjunto del tren

Fuente: Elaboración propia

2.5.2. Tamaño de los aseos

El tamaño de cada aseo es importante, porque del tamaño depende la movilidad y comodidad de las personas en su uso, y la probabilidad de contacto con paramentos verticales. También se puede observar una correlación entre el tamaño del aseo y el estado de limpieza del mismo.

Normas sobre el tamaño de los aseos

Para el ferrocarril, la Ficha UIC establece que “la superficie mínima debe estar entre 1,20 y 0,90 m²” (Ficha UIC 563, obligatorio).

*Aseo para PMR del
tren Civia de Cercanías*



Tabla 32 - Tamaño de aseos - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | 0 | 5 | 10 |
|---|-------|-----|-----|
| <i>Superficie interior del aseo (m²)</i> | ≤ 0,9 | 1,2 | ≥ 2 |

La calificación se hace para cada aseo. Para la calificación del conjunto el tren se pondera con un 50% la media de las calificaciones de cada aseo y con un 50% el valor del mayor aseo del conjunto del tren. Fuente: Elaboración propia

2.5.3. Factores moduladores del indicador de aseos

El número y tamaño de los aseos (aplicado a la calificación de cada uno de ellos) se modula en función de factores que aumentan la comodidad e higiene, como son el ancho libre de la puerta y elementos de equipamiento tales como la existencia de secamanos eléctricos, la posibilidad de accionar el grifo sin contacto con la mano, el número de perchas existentes y la existencia de teleindicadores de aseo libre.

Tabla 33 - Ancho de la puerta del aseo - Factores adoptados

| | | | |
|--------------------------|-------|-----|-------|
| <i>Ancho puerta (mm)</i> | ≤ 550 | 650 | ≥ 800 |
| Factor modulador | 1,1 | 0,9 | 0,8 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 - Equipamiento en aseos - Factores adoptados

| <i>Factor modulador</i> | <i>Tiene</i> | <i>No tiene</i> |
|--|--------------|-----------------|
| Secamanos eléctricos (además de toalla de papel) | 1,1 | 1,0 |
| 1 perchas | 1 | 0,7 |
| 2 perchas | 1,1 | 1 |
| Accionamiento grifo sin contacto | 1,2 | 0,9 |
| Teleindicador de aseo ocupado | 0,95 | 1,05 |

Fuente: Elaboración propia

2.6. Optimización de la sección transversal del tren y de los asientos

La optimización de la sección transversal del tren y de los asientos es una cuestión de gran relevancia, puesto que es deseable lograr un alto número de asientos sin que por ello se vea reducida su comodidad a límites inaceptables. De la observación de la posición de los viajeros sentados, de las características antropométricas de la población y de las necesidades de circulación de viajeros en el interior del tren, se desprenden ciertas conclusiones que han de tenerse en cuenta en el diseñar del interior de los coches:

- Los viajeros que se mueven por el pasillo encuentran la zona más crítica a la altura de los reposacabezas, y éstos no deberían sobresalir de la línea vertical límite del asiento, puesto que no aportan nada al viajero sentado y sin embargo dificultan el paso de los que circulan por el pasillo.
- En el caso de los asientos contiguos al paramento vertical ha de preverse mayor espacio a la altura comprendida entre el codo y el hombro, en coherencia con las características antropométricas expuestas y para favorecer una postura natural en los viajeros que ocupen dichas plazas.
- El cableado y salidas de ventilación situados en los paramentos verticales deberían colocarse por debajo de la cota del asiento.

Con estas premisas, las variaciones de anchura interior de la caja del coche según la altura sobre el piso a la que se mida son las siguientes:

- Desde la parte inferior del asiento hasta la parte superior del apoyabrazos (altura entre 313 mm y 465 mm): es la cota de referencia en anchura: 0.
- Desde el piso del tren hasta la parte inferior del asiento (altura entre 0 y 313 mm) la anchura interior del coche puede reducirse hasta un máximo de 120 mm:
- Desde la parte superior del apoyabrazos hasta la altura máxima del hombro sentado (que se compone de la altura ideal del asiento -424 mm- y la distancia vertical desde una superficie de asiento horizontal hasta el acromion -681 mm - es decir, entre 465 y 1.105 mm, se amplía conforme a la semidiferencia entre el ancho del asiento y el ancho de la plaza a los que se le otorgó calificación 5, es decir +25 mm.

- Desde la altura máxima de los hombros sentado hasta la altura máxima de la cabeza sentado (altura entre 1.105 y 1.413 mm): se considera la anchura de referencia.

2.6.1. Comparación de secciones transversales

Según los mínimos establecidos por las normas UIC referentes a habitabilidad, para situar cinco asientos por fila se necesitaría un ancho interior del coche de 3.120 mm: 5 asientos de 450 mm de anchura, 7 apoyabrazos de 50 mm de anchura y el pasillo de 520 mm entre apoyabrazos.

Según la normativa de autocares, en el caso de interurbanos sería necesario un ancho de 2.700 mm: 5 asientos de 450 mm más un pasillo de 450 mm.

En el caso del avión, la anchura necesaria según sus normas sería de 2.945 mm, que se componen de 497 mm por asiento más un pasillo de 460 mm. A modo de ejemplo se puede citar el MD88 con cinco columnas de asientos, cuyo ancho interior libre es de 3.060 mm.

Con los solapamientos propuestos, en un tren podrían instalarse 5 columnas de asientos, obteniendo la calificación de 5, con una anchura interior de 2.895 mm en la parte superior e inferior, y de 2.945 mm a la altura de los viajeros sentados.

2.6.2. Anchura exterior de varios tipos de trenes

Seguidamente se recoge la anchura exterior máxima de varios tipos de trenes:

- Talgo II (gálibo Renfe, 6.147 mm de cuerda máxima): 3.220 mm de anchura.
- Talgo III (gálibo Renfe, 11.100 mm de cuerda máxima): 3.207 mm de anchura.
- Talgo III RD (gálibo UIC, 11.100 mm de cuerda máxima): 2.990 mm de anchura.
- Talgo Pendular (gálibo UIC, pendular, 13.140 mm de cuerda máxima): 2.950 mm de anchura.
- Talgo 350 (galibo UIC, pendular, 13.140 mm de cuerda máxima): 2.942 mm de anchura.
- Tren japonés N700: anchura de 3.660 mm (asientos de tres: 440-460-440 mm); tren japonés serie 700: 3.680 mm (asientos de tres: 430-460-460 mm).
- Trenes suecos ordinarios: 3.100 mm; trenes suecos de gálibo ancho: 3.450 mm.
- Dinamarca: trenes S-ban, 3.600 mm.
- Dinamarca: trenes IC3, 3.100 mm.
- Noruega: coches camas, 3.240 mm.
- Alemania: ICE 1, 3.070 mm.
- Holanda: SM90 caja ancha, 3.200 mm.
- Regina sueco: anchura exterior, 3.450; anchura interior, 3.190 mm.
- El ancho del gálibo cinemático UIC (GC) es de 3.290 mm.

2.7. Ejemplos de buenas prácticas en el terreno de la habitabilidad de los trenes

Seguidamente se recogen algunos ejemplos de buenas prácticas en la habitabilidad de los trenes.

| | |
|--|---|
| BPH1 | Diferente anchura interior del tren. Ampliación de la anchura a la altura del apoyabrazos |
|  | |
| <p>En el tren de la serie 120 se ha dispuesto el saliente de la ventanilla por encima del apoyabrazos en una forma que permite que el ancho útil del tren sea máximo en la zona de los codos, que es aquella en la que presenta la cota antropométrica más restrictiva. La idea muestra que, con ajustes puntuales, no es preciso realizar ampliaciones o aumentos generalizados del tamaño para conseguir una determinada habitabilidad, ya que las necesidades no suelen ser uniformes en toda la altura o anchura del tren.</p> | |

BPH2

Equipamiento en lavabo. Dispensadores automáticos



En el tren de alta velocidad japonés Max E4 de la compañía Japan East (foto de la izquierda), los dispensadores del lavabo (agua, jabón y aire para el secado) están integrados en una única pieza y se accionan por la presencia de las manos bajo cada uno de ellos, de forma que el viajero sólo tiene que mover las manos unos centímetros bajo el dispensador para que salgan el jabón, el agua y el aire del secado. Es una solución muy cómoda para el viajero, compacta y con facilidad para la limpieza, además de ser segura, al no tener grifos o elementos salientes. Por contraste, en el tren español de la serie 120 (foto derecha) la jabonera y el grifo son de accionamiento manual y las toallas son de papel.

| | |
|---|-----------------------------|
| BPH3 | Espacios para los equipajes |
|  | |
| <p>Los espacios para equipajes son importantes para los viajeros, especialmente en los servicios de media y larga distancia. Casi todos los trenes disponen de espacios para bolsos de mano sobre los asientos, pero estos espacios no son accesibles para bultos grandes, y resultan incluso peligrosos por la posibilidad de que caigan desde ellos equipajes durante la marcha. Por ello, es muy frecuente que los trenes dispongan de espacios específicos para los equipajes, dispuestos generalmente en columnas en uno de los extremos del coche. Debe valorarse que en la medida en que se puedan dejar los equipajes al nivel del suelo, será más cómodo para el viajero. Por ello, los bultos pequeños deben ir más arriba, y así la altura de las baldas debe ser decreciente con la distancia al piso. Además, es importante para la seguridad de los viajeros que exista posibilidad de control visual de los equipajes desde los asientos de los equipajes, por lo que los paramentos que separan estos espacios de las salas de viajeros deben ser transparentes (como ocurre en el equipajero del tren de la serie 102 a la izquierda, y no como en el tren Arco, a la derecha, que es opaco). Incluso es recomendable que la parte inferior de los equipajeros sobre los asientos sea transparente o traslúcida.</p> | |

BPH4

Espacio para las piernas



Algunos aviones han empezado a implantar asientos en los que se optimiza la profundidad del respaldo a la altura de las rodillas, de forma que se consigue una mayor longitud libre para las rodillas con un mismo paso entre asientos. En la imagen, uno de estos asientos en un A 319 de Iberia, con 690 mm libres frente a 720 mm de paso, lo que supone que la profundidad del asiento es de tan solo 300 mm frente a los 600 a 900 mm normales. Ello permite, con el mismo espacio libre entre asientos, aumentar en un 4 y un 9% la capacidad. La bolsa portarrevistas se sube a una cota superior, y se estrecha el asiento en la zona central (aunque sigue siendo algo estrecha para la distancia horizontal entre ambas rodillas).

2.7.1. Comparación de los atributos entre diversos vehículos y normas

Ancho del asiento entre apoyabrazos

| Tabla 35 - Ancho del asiento entre apoyabrazos | | |
|--|--------------|---------------------|
| | <i>Valor</i> | <i>Calificación</i> |
| Calificación 10 | 539 | 10,0 |
| UIC mínimo obligatorio 1 ^a clase | 500 | 7,8 |
| <i>Antropométrica máxima</i> | 488 | 7,1 |
| LD Serie 120 (Renfe LD) Turista | 482 | 6,8 |
| UIC mínimo recomendado 2 ^a clase | 480 | 6,7 |
| Serie 598 (Renfe Media Distancia) | 470 | 6,1 |
| HS LD Serie 100 (Renfe AVE) Turista | 460 | 5,6 |
| HS LD Serie 102 (Renfe AVE) Turista | 460 | 5,6 |
| Calificación 5 | 450 | 5,0 |
| HS LD Serie 103 (Renfe AVE) Turista | 450 | 5,0 |
| HS MD Serie 104 (Renfe AVE) Turista | 450 | 5,0 |
| LD Serie 130 (Renfe LD) Turista | 450 | 5,0 |
| Reglamento 36, clase III | 450 | 5,0 |
| UIC mínimo obligatorio 2 ^a clase | 450 | 5,0 |
| <i>Antropométrica P99</i> | 445 | 0,8 |
| Calificación 0 | 444 | 0,0 |
| <i>Antropométrica P95</i> | 417 | 0,0 |
| Reglamento 36, clases I y II | 400 | 0,0 |
| <i>Antropométrica media</i> | 365 | 0,0 |

Anchura de la plaza

| Tabla 36 - Anchura de la plaza | | |
|---|--------------|---------------------|
| | <i>Valor</i> | <i>Calificación</i> |
| <i>Antropométrica máxima</i> | 645 | 10,0 |
| Calificación 10 | 635 | 10,0 |
| HS LD Serie 103 (Renfe AVE) Turista | 627 | 9,2 |
| JAA recomendado | 608 | 7,3 |
| Calificación 5 | 585 | 5,0 |
| HS LD Serie 102 (Renfe AVE) Turista | 580 | 4,3 |
| LD Serie 130 (Renfe LD) Turista | 580 | 4,3 |
| <i>Antropométrica P99</i> | 573 | 3,3 |
| HS LD Serie 100 (Renfe AVE) Turista | 560 | 1,4 |
| LD Serie 120 (Renfe LD) Turista | 558 | 1,1 |
| Calificación 0 | 550 | 0,0 |
| <i>Antropométrica P95</i> | 542 | 0,0 |
| Serie 598 (Renfe Media Distancia) | 540 | 0,0 |
| Reglamento 36, Clases I, II y III asientos individuales | 500 | 0,0 |
| <i>Antropométrica media</i> | 457 | 0,0 |
| Reglamento 36, Clases I, II y III asientos agrupados | 450 | 0,0 |

Espacio libre entre asientos enfrentados

| Tabla 37 - Espacio libre entre asientos enfrentados | | |
|--|--------------|---------------------|
| | <i>Valor</i> | <i>Calificación</i> |
| HS LD Serie 103 (Renfe AVE) | 1.530 | 10,0 |
| HS MD Serie 104 (Renfe AVE) | 1.525 | 10,0 |
| Calificación 10 | 1.500 | 10,0 |
| HS LD Serie 102 (Renfe AVE) | 1.450 | 5,0 |
| UIC mínimo obligatorio | 1.450 | 5,0 |
| Calificación 5 | 1.450 | 5,0 |
| LD Serie 130 (Renfe LD) | 1.450 | 5,0 |
| LD Serie 120 (Renfe LD) | 1.450 | 5,0 |
| HS LD Serie 100 (Renfe AVE) | 1.390 | 3,0 |
| Calificación 0 | 1.300 | 0,0 |
| Serie 598 (Renfe Media Distancia) | 830 | 0,0 |
| <i>Antropométrica máxima</i> | <i>686</i> | <i>0,0</i> |
| <i>Antropométrica P99</i> | <i>667</i> | <i>0,0</i> |
| <i>Antropométrica P95</i> | <i>644</i> | <i>0,0</i> |
| <i>Antropométrica media</i> | <i>590</i> | <i>0,0</i> |

Espacio libre entre asientos en línea

| Tabla 38 - Espacio libre entre asientos en línea | | |
|--|--------------|---------------------|
| | <i>Valor</i> | <i>Calificación</i> |
| LD Serie 130 (Renfe LD) Turista | 930 | 10,0 |
| HS MD Serie 104 (Renfe AVE) Turista | 915 | 10,0 |
| HS LD Serie 102 (Renfe AVE) Turista | 890 | 10,0 |
| Calificación 10 | 836 | 10,0 |
| Serie 598 (Renfe Media Distancia) | 830 | 9,8 |
| HS LD Serie 103 (Renfe AVE) Turista | 820 | 9,4 |
| LD Serie 120 (Renfe LD) Turista | 803 | 8,8 |
| UIC mínimo 1 ^a clase | 790 | 8,3 |
| Autobús Mercedes OC-500 48 pl., 12,8 m | 790 | 8,3 |
| Autobús Mercedes OC-500 48 pl., 12,8 m | 780 | 7,9 |
| Autobús Mercedes O-580 Travego 50 pl., 14 m | 770 | 7,6 |
| Autobús Mercedes O-404 60 pl., 15 m | 760 | 7,2 |
| JAA ideal | 747 | 6,7 |
| Autobús Setra 417-HDH Conf. St 54 pl., 13,8 m | 740 | 6,5 |
| Autobús Setra 319-GT-HD 60 pl., 15 m | 740 | 6,5 |
| HS LD Serie 100 (Renfe AVE) Turista | 740 | 6,5 |
| JAA mínimo | 711 | 5,4 |
| UIC mínimo 2 ^a clase | 700 | 5,0 |
| Calificación 5 | 700 | 5,0 |
| <i>Antropométrica máxima</i> | 686 | 3,6 |
| Reglamento 36, clases II y III | 680 | 3,0 |
| <i>Antropométrica P99</i> | 667 | 1,7 |
| CAA Airworthiness Notice 64 | 660 | 1,0 |
| Calificación 0 | 650 | 0,0 |
| Reglamento 36, clase I | 650 | 0,0 |
| <i>Antropométrica P95</i> | 644 | 0,0 |
| <i>Antropométrica media</i> | 590 | 0,0 |

3. INDICADORES DE ACCESIBILIDAD



Entendemos por “accesibilidad” la facilidad para entrar y salir del tren y para moverse dentro del mismo para cualquier usuario, incluyendo a las personas discapacitadas.

El transporte de viajeros debe contar entre sus cualidades la de ser accesible, de la misma forma que ha de ser cómodo, seguro y puntual. La accesibilidad no es sólo una necesidad de justicia social (para no discriminar a las personas de movilidad reducida) sino también una necesidad comercial, pues los viajeros la aprecian como un atributo de máxima importancia que puede llegar a influir en su elección de modo de transporte, especialmente en personas de edad avanzada que tienen dificultades para moverse.

Relación de la accesibilidad con otros indicadores

Una mejora de *accesibilidad* normalmente supone una menor *capacidad* ya que se destina más espacio a elementos como plataformas, pasillos y plazas y aseos para PMR.

En ciertos casos puede suponer mayor *habitabilidad*, por ejemplo si la mejora de la accesibilidad proviene de la mayor anchura de los pasillos.

No existe relación directa entre *accesibilidad* y las prestaciones y la productividad del tren, pero sí indirecta, porque una mayor *accesibilidad* supone menos tiempo de parada en las estaciones, lo que suele implicar un aumento de la velocidad media.

Este indicador se estructura en dos indicadores de segundo nivel:

1. Accesibilidad de la población general (entre la que se pueden encontrar personas con dificultades de movilidad)
2. Accesibilidad de personas que utilizan sillas de ruedas.

3.1. Accesibilidad de la población general

Los indicadores de *tercer nivel* en que se descompone el indicador de accesibilidad general son:

1. Paso libre de las puertas de acceso
2. Número de las puertas de acceso
3. Distancia entre tren y andén (vertical y horizontal)
4. Ancho de los pasillos y de los pasos entre coches
5. Ancho de las puertas interiores del tren (intercirculación y aseos).

Como elementos moduladores pueden citarse:

- Mecanismo de apertura de puertas
- Contraste cromático en las puertas exteriores del tren
- Señales audibles en las puertas
- Señalización en braille de los mecanismos de apertura y cierre de puertas.

3.1.1. Paso libre de las puertas de acceso

El *paso libre de las puertas de acceso* debe permitir a los viajeros, junto con sus equipajes, acceder y abandonar el tren en un tiempo aceptable y sin dificultades.

Se toma como medida del paso libre el punto de menor anchura en toda la altura de la puerta por debajo de la altura de 2.000 mm.

Las puertas pueden ser *sencillas* (aquellas por las que puede entrar o salir una persona en cada momento) o *dobles* (aquellas por las que pueden entrar o salir varias personas a la vez).

Obsérvese que para medir el tiempo de parada necesario para entrar y salir los viajeros lo relevante es la “puerta crítica”, es decir aquella que atiende a mayor número de plazas ocupadas (pues es la que determina el tiempo de parada); sin embargo, en el caso de la accesibilidad se considera la “puerta media”, ya que permite tener una visión de la accesibilidad media del tren (cada viajero “se beneficia” de una mayor o menor accesibilidad según la puerta que emplee).

Normas sobre el paso libre de las puertas de acceso

Según la norma UIC, “las puertas de acceso deben dejar un paso libre de 800 mm de ancho, como mínimo, a la apertura” (UIC 560, art. 1.5.3, obligatorio). La ETI de 2014 relativa a la accesibilidad del sistema ferroviario de la Unión para las personas con discapacidad y las personas de movilidad reducida fija el ancho mínimo de 800 mm de anchura libre utilizable cuando las puertas estén abiertas (4.2.2.3.2.)

En el caso de los autobuses, el paso libre de puertas de acceso debe ser como mínimo de 650 mm en puertas simples y 1.200 mm en dobles (Reglamento 36, art. 5.6.3.1., obligatorio).

COST 335: Passengers' Accessibility of Heavy, Rail Systems. Final Report of the Action (European Commission. DGT, 1999) prescribe una anchura mínima libre para el paso de 800 mm, con recomendación de paso mínimo de 850 mm.

Características antropométricas de la población española

Las cotas antropométricas más relacionadas con este indicador son el “ancho entre codos” y la “anchura de caderas de pie”, cuyos valores en la población española están recogidos en las siguientes tablas:

Tabla 39 - Anchura entre codos

| | <i>Media</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 457,852 | 645,000 | 335,000 | 367,000 | 461,000 | 542,000 | 573,820 |
| <i>Hombres</i> | 477,510 | 645,000 | 357,280 | 398,000 | 479,000 | 550,600 | 585,440 |
| <i>Mujeres</i> | 420,302 | 596,000 | 322,800 | 346,000 | 419,500 | 500,000 | 532,270 |

Cotas en mm. Distancia máxima horizontal entre las superficies laterales de ambos epicóndilos laterales. Fuente: MTAS (2003)

Tabla 40 - Anchura de caderas, de pie

| | <i>Media</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 343,296 | 552,000 | 288,240 | 306,000 | 342,000 | 385,000 | 403,760 |
| <i>Hombres</i> | 345,023 | 552,000 | 294,000 | 310,000 | 344,000 | 383,000 | 402,000 |
| <i>Mujeres</i> | 340,005 | 457,000 | 280,940 | 299,000 | 337,000 | 388,000 | 415,360 |

Cotas en mm. Distancia horizontal máxima entre caderas o muslos. Fuente: MTAS (2003)

Puede observarse que en todos los casos la anchura de los codos es mayor que la de las cadera, por lo que, al emplearse en lo sucesivo la anchura más desfavorable, se utilizará la de los codos.

Calificaciones adoptadas

Las calificaciones adoptadas para los valores entre los cuales se interpolará cualquier valor intermedio se definen con los siguientes criterios:

- Para puertas sencillas:
 - Calificación “0”: sería aquella que corresponde al valor máximo de la anchura de caderas o entre codos de cualquier persona de la muestra, incrementado en 100 mm para tomar en consideración la anchura de la ropa, bolsillos, etc., y el mínimo margen para pasar por la puerta sin tener que girarse.
 - Calificación “5”: sería aquella que corresponde al valor máximo de la anchura de caderas o entre codos de cualquier persona de la muestra, incrementado en 155 mm.

- Calificación "10": corresponde a la misma cota antropométrica con un incremento de 355 mm. Valores superiores no aportan ninguna mejora, pues se aleja a las personas de los elementos de agarre y además existe la posibilidad de que sea usado por dos personas a la vez, reduciendo la accesibilidad.
- Para puertas dobles:
 1. Calificación "0": corresponde al valor doble del valor máximo de la anchura de caderas o entre codos del percentil 95.
 2. Calificación "5": corresponde al valor doble del valor máximo de la anchura de caderas o entre codos del percentil 99 más una holgura de 52 mm.
 3. Calificación "10": se calcula como la anchura entre codos del 99% del grupo más desfavorable multiplicado por 2 y con un incremento de 500 mm.

Tabla 41 - Ancho útil de las puertas de acceso al tren - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|-----------------------------------|--------------|----------|--------------|
| <i>Valor puerta sencilla (mm)</i> | ≤ 745 | 800 | ≥ 1.000 |
| <i>Valor puerta doble (mm)</i> | ≤ 1.084 | 1.200 | ≥ 1.670 |

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Número de puertas de acceso



El número de puertas de acceso al tren contabiliza las puertas, por costado, que se emplean normalmente para acceso y desalojo del mismo por los viajeros. No se

incluyen, por tanto, las puertas utilizadas exclusivamente por el personal de a bordo, por el maquinista o para la carga de equipajes o del servicio de restauración.

Cada puerta sencilla (<1.200 mm) se contabiliza como una *puerta equivalente*, mientras que las dobles (≥1.200 mm) se contabilizan como dos *puertas equivalentes*. El valor se refiere al cociente entre las *plazas equivalentes* del tren y el número de *puertas equivalentes* por costado.

Normas sobre número de puertas de acceso

En el caso de los autobuses, el Reglamento 36 establece el mínimo número de puertas de servicio, entendiendo por tales aquellas puertas que usan los viajeros en circunstancias normales y con el conductor sentado.

Tabla 42 - Número de puertas de acceso, autobuses

| <i>Número de viajeros</i> | <i>Número mínimo de puertas de servicio</i> | | |
|---------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|
| | <i>Clase I (urbano)</i> | <i>Clase II (metropolitano)</i> | <i>Clase III (interurbano)</i> |
| 23-45 | 1 | 1 | 1 |
| 46-70 | 2 | 1 | 1 |
| 71-100 | 3 | 2 | 1 |
| >100 | 4 | 3 | 1 |

Fuente: Reglamento 36, Adenda (2002)

El número mínimo de puertas de servicio en cada sección rígida de un autobús articulado o en un autocar debe ser uno (Reglamento 36, art. 5.6.1.2., obligatorio) y una puerta doble debe contabilizarse como dos puertas (Reglamento 36, art. 5.6.1.8., obligatorio).

Calificaciones adoptadas

Al asignar calificaciones entendemos que el viajero valora no esperar para entrar y salir del tren y además que otros no interfieran con él. La estimación puede realizarse a partir de los tiempos de entrada y salida de los viajeros. Para calcular el tiempo que puede considerarse como normal consideramos que la anchura de puertas para media distancia y larga distancia sea 800 mm, y para urbano y cercanías 1.200 mm; la altura del piso sobre el andén, que sea de 500 mm para servicios de media distancia y larga distancia, y de 100 mm para urbanos y cercanías, equipaje medio (BM) para media distancia y larga distancia y equipaje pequeño (BS) para urbano y cercanías. Asimismo se supone que el número de viajeros subidos y bajados es el 30% del total de plazas del tren y el 40% en urbano y cercanías. Los tiempos que se fijan son 60 segundos para la calificación “0”, 40 segundos para la calificación “5” y 20 segundos para la calificación “10”.

Tabla 43 - Número de puertas de acceso al tren - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------------------------|----------|----------|-----------|
| Urbano y cercanías (plazas/puerta eq) | ≥180 | 120 | ≤60 |
| MD y LD (plazas/puerta eq) | ≥ 75 | 50 | ≤25 |

Fuente: Elaboración propia

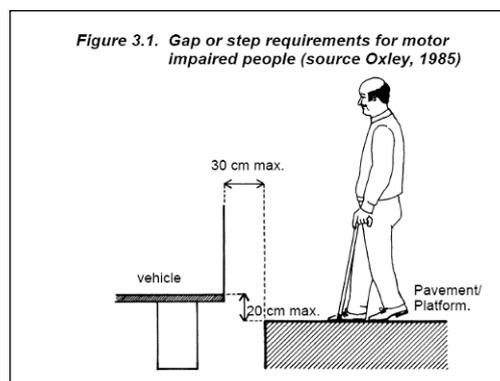
3.1.3. Distancias entre tren y andén

La *distancia entre el tren y el andén* hace referencia a las distancias horizontal y vertical medidas desde el piso del tren en la plataforma hasta el andén y cómo se salvan las mismas.

Indicadores de tercer nivel

El indicador de segundo nivel *distancias entre el tren y el andén* se desagrega en otros de tercer nivel, que son los siguientes:

- Distancia en horizontal entre el piso del tren en la plataforma y el andén
- Distancia en vertical entre el piso del tren en la plataforma y el andén.



Distancias recomendadas en el informe de la Acción COST 335 (European Commission. DGT, 1999) sobre accesibilidad de vehículos ferroviarios

Distancia en horizontal entre tren y andén

La distancia en horizontal entre tren y andén debe permitir a cualquier viajero subir y bajar del tren sin dificultades. Se mide desde el primer escalón o estribo situado por encima del andén hasta el borde del andén de una estación con andén en alineación recta.

La distancia medida en horizontal entre el borde del andén y el eje de la vía es definida como estándar (característico de la infraestructura) para el servicio de que se trate. En este estudio, y para trenes que circulan por líneas convencionales y de alta velocidad, se supone que esta distancia horizontal entre el borde del andén y el eje de la vía es de 1.650 mm.

Características antropométricas de la población española

La cota antropométrica más relacionada con este indicador es la “longitud del pie”, cuyos valores en la población española están recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 44 - Longitud del pie

| | <i>Min</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 175.000 | 306.000 | 210.000 | 221.000 | 253.000 | 279.000 | 289.780 |
| <i>Hombres</i> | 196.000 | 306.000 | 220.300 | 234.000 | 60.000 | 281.500 | 291.000 |
| <i>Mujeres</i> | 175.000 | 285.000 | 199.580 | 214.650 | 237.000 | 257.000 | 267.140 |

Cotas en mm. Distancia máxima desde la parte posterior del talón hasta la punta del dedo más largo del pie (primero o segundo), medido paralelamente al eje longitudinal del pie. Fuente: MTAS (2003)

Normas y recomendaciones sobre distancia horizontal

COST 335 (European Commission. DGT, 1999) recomienda una distancia horizontal máxima de 300 mm.

La ETI de 2014 relativa a la accesibilidad del sistema ferroviario de la Unión para las personas con discapacidad y las personas de movilidad reducida fija una distancia máxima de 200 mm en vía recta y de 290 mm en vía de curva de 300 mm (4.2.2.9.)

Calificaciones adoptadas

Las calificaciones adoptadas para los valores entre los cuales se interpolará cualquier valor intermedio son las siguientes:

- La calificación “0” corresponde a valores mayores de la cota recomendada por COST 335 (European Commission. DGT, 1999), es decir, 300 mm
- La calificación “5” corresponde al valor de la ETI de 2014, es decir, 200 mm
- La calificación “10” corresponde a la longitud mínima del pie de las personas de la muestra de MTAS (2003), es decir, 175 mm.

**Tabla 45 - Distancia en horizontal entre tren y andén (en recta) -
Calificaciones adoptadas**

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≥ 300 | 200 | ≤ 175 |

Fuente: Elaboración propia

Distancia en vertical entre tren y andén

La distancia en vertical entre tren y andén debe permitir a cualquier viajero entrar y salir del tren con pocas dificultades.

Esta distancia se mide desde el piso del tren en la plataforma hasta el andén de la estación considerada como representativa del servicio de que se trate. También es relevante la distancia vertical entre el andén y el primer escalón de acceso al tren. En efecto, es importante que haya la menor altura posible (siendo lo deseable que se encuentre a la altura del piso) pero a su vez, si ha de haber escalones (que es algo

que puede depender no solo del tren sino del andén), que la altura del comienzo de la escalera sea lo menor posible sobre el andén.

En este caso, y para la altura del piso, se considera como valor óptimo el 100, es decir, que el piso (en su posición nominal) se encuentre a 100 mm sobre el andén (no puede estar a la misma altura, puesto que si no hay dispositivos especiales de compensación del recorrido vertical de la suspensión, debe evitarse que el piso quede por debajo del andén cuando el tren vaya cargado al máximo y con las ruedas con máximo desgaste; cuanto mayor sea la altura positiva, menos calificación, pero también baja la calificación el estar el piso por debajo).

Normas sobre distancia en vertical entre tren (o el escalón inferior) y andén

La norma UIC no se refiere a la distancia vertical admisible sino a la forma de salvarla con escalones, al establecer que: “la disposición de los estribos de los coches debe ser de 3 peldaños (4 niveles) espaciados lo más regularmente posible. En relación con los bordes de los tres peldaños, debe presentar una inclinación uniforme que forme un ángulo máximo (ángulo de inclinación) de 59° con la horizontal, debiéndose buscar un ángulo de inclinación lo más reducido posible. El nivel inferior debe estar situado a unos 565 mm sobre el carril y el cuarto nivel debe situarse a nivel del suelo del coche” (Ficha UIC 560, art. D.4.2.1, obligatorio). Como se observa, subyace la suposición de que el andén más bajo puede estar a 550 mm y establece un margen de 15 mm.

La ETI de 2014 relativa a la accesibilidad del sistema ferroviario de la Unión para las personas con discapacidad y las personas de movilidad reducida fija una altura aceptable para el primer escalón de entre +230 y -160 con respecto a la altura del andén, siendo la altura del andén aceptable de 550 o de 760 mm sobre la cabeza del carril (4.2.2.9.)

COST 335 (European Commission. DGT, 1999) recomienda una distancia vertical máxima de 200 mm.

Calificaciones adoptadas

Los valores adoptados para los puntos entre los cuales se interpolará cualquier valor son los siguientes:

Tabla 46 - Distancia en vertical entre el piso del tren y andén (situado a 550 o 760 mm) - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|--------------|------------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≥600 y ≤-150 | 400 y - 50 | 0 - 100 |

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al primer escaln, los valores adoptados son los siguientes:

**Tabla 47 - Distancia en vertical entre el primer escaln del tren y andn
(situado a 550 o 760 mm) - Calificaciones adoptadas**

| <i>Calificacin</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|--------------------|--------------------------|------------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≥ 250 y ≤ -170 | 230 y -160 | 0 - 100 |

Fuente: Elaboracin propia

3.1.4. Escalones

Los cambios de nivel en los accesos a los trenes suponen una de las mayores barreras, sobre todo si se hace con equipajes o en el caso de personas mayores. Adem, como ya se ha comentado en este estudio, tiene gran influencia en los tiempos de entrada y salida a los trenes.

Los fabricantes de material mvil, junto con los propietarios de las infraestructuras, deben tener como objetivo que los trenes queden a la misma altura que los andenes y, por tanto, no sean necesarios los escalones. Sin embargo, es muy frecuente que sea preciso disponer de varios escalones para acceder al tren. Adem de por la altura total de la escalera y del primer escaln, la accesibilidad est condicionada por la forma y tamao de los escalones.

Puesto que si un tren tiene varios escalones stos pueden tener diferentes medidas, se tomar aqu el ms desfavorable para asignar las calificaciones.

Las dimensiones que se estudian de un escaln son la *huella* o distancia en el plano del escaln en el que se asienta el pie, y la *tabica* o proyeccin vertical del escaln.

En edificacin, la relacin adecuada entre huella (*h*) y tabica (*t*) de un escaln viene dada por la frmula:

$$600 \leq 200 \times t + h \leq 650$$

Donde *t* es la medida de la tabica (mm), y *h* es la medida de la huella (mm)

Tabica

Huella



Medida de la huella

La medida de la huella hace referencia a la profundidad de los escalones. Es la distancia horizontal entre el punto más profundo de la huella del escalón hasta el borde del mismo.

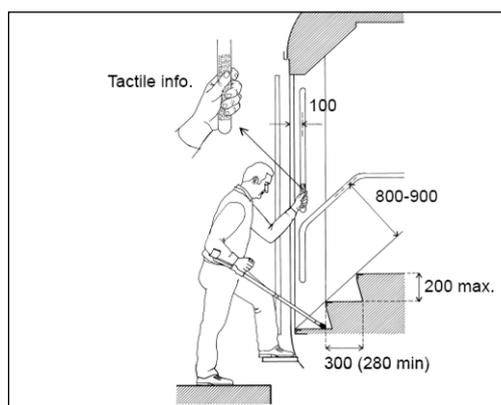
Normas sobre la medida de la huella

Para el ferrocarril la norma UIC establece que “La profundidad mínima de los peldaños debe ser de 200 mm” (UIC 560, art. 4.2.4, obligatorio).

La ETI de 2014 relativa a la accesibilidad del sistema ferroviario de la Unión para las personas con discapacidad y las personas de movilidad reducida fija una huella mínima de 240 mm (4.2.2.11.2).

Las recomendaciones sobre accesibilidad del Departamento de Transporte del Reino Unido indican que “la profundidad mínima de los escalones debe ser de al menos 300 mm” (Department of Transport, 1998).

COST 335 (European Commission. DGT, 1999) recomienda una huella de 300 mm y una tabica máxima de 200 mm. También prescribe las posiciones y longitudes de las necesarias barras de apoyo (véase figura).



En el caso de los autobuses, “La profundidad mínima de la huella debe ser de al menos 300 mm” (Reglamento 36, art. 5.2.1.2, obligatorio)

La altura máxima y mínima y la profundidad mínima de los escalones de las puertas de servicio y emergencia se presentan en la siguiente tabla (Reglamento 36, art. 5.7.7.1, obligatorio).

Tabla 48 - Medida de los escalones prescritas en los autobuses

| | | <i>Clase I</i> | <i>Clase II</i> | <i>Clase III</i> |
|--------------------------------------|--------------------|----------------|-----------------|------------------|
| <i>Primer escalón desde el suelo</i> | Altura máx. (mm) | 360 (1) | 400 (1) (2) | |
| | Profund. mín. (mm) | 300 | | |
| <i>Otros escalones</i> | Altura máx. (mm) | 250 (3) | 350 | |
| | Altura mín. (mm) | 120 | | |
| | Profund. mín. (mm) | 200 | | |

Notas: (1) 700 mm en el caso de puertas de emergencia; (2) 430 mm en el caso de vehículos que tienen sólo suspensión mecánica; (3) 300 mm en el caso de escalones de las puertas que se encuentran detrás de un único eje. Fuente: Reglamento 36

Calificaciones adoptadas

Las calificaciones adoptadas para los valores entre los cuales se interpolan los demás:

- Calificación "0": se corresponde a la cota mínima indicada por la UIC reducida un 12,5%.
- Calificación "5": se corresponde a la cota mínima establecida por la ETI2014.
- Calificación "10": se corresponde con el valor recomendado por (Transportation Research Board, 2003) y por COST 335 (European Commission, 1999).

Tabla 49 - Medida de la huella de los escalones - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | 175 | 240 | 300 |

Fuente: Elaboración propia

Medida de la tabica

La medida de la tabica hace referencia a la altura de los escalones. Es la distancia vertical desde la superficie del escalón a una línea imaginaria trazada horizontalmente desde la superficie del siguiente escalón o el piso.



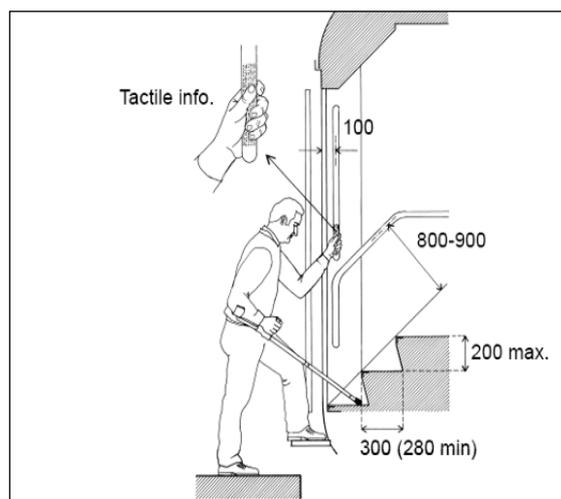
Escalones de acceso a un autobús todo terreno que se emplea para visitas turísticas a la Sierra de Cazorla. En la imagen puede apreciarse cómo una gran altura a salvar (alrededor de 1.600 mm), un número alto de escalones (5 en este caso) y una gran tabica de los mismos (hasta 310 mm) constituyen un inconveniente serio para la accesibilidad; y, desde luego, hacen al vehículo inhábil para personas con dificultades de movilidad.

Normas sobre la medida de la tabica

Para el ferrocarril, la norma UIC establece que "la distancia de peldaño a peldaño (altura de los peldaños) debe ser de 230 mm" (Ficha UIC 560, art. 4.2.4, obligatorio).

La ETI de 2014 relativa a la accesibilidad del sistema ferroviario de la Unión para las personas con discapacidad y las personas de movilidad reducida fija una tabica máxima de 200 mm, admitiéndose hasta un máximo de 230 mm si puede demostrarse que con este incremento se evita un escalón (4.2.2.11.2).

Las recomendaciones sobre accesibilidad del Departamento de transporte del Reino Unido indican que “cada escalón no debe tener más de 200 mm de altura” (Department of Transport, 1998) y la misma cota es recomendada por COST 335 (European Commission. DGT, 1999).



Calificaciones adoptadas

Los valores adoptados para los puntos entre los cuales se interpolará cualquier valor son los siguientes:

- Calificación “0”: se adopta el valor indicado por la norma UIC incrementado en 70 mm.
- Calificación “5”: se adopta el valor máximo prescrito por la norma UIC que coincide con el valor máximo excepcional de la ETI de 2014.
- Calificación “6”: se adopta el valor recomendado por (Transportation Research Board, 2003) y por COST 335 (European Commission. DGT, 1999) que coincide con el de la ETI de 2014.
- Calificación “10”: se adopta el valor recomendado en el sector de la edificación.

Como se puede observar, para este indicador, de modo excepcional se indica también un valor al que se asigna la calificación 6, ya que es más restrictiva que la cota UIC, pues como indica Transportation Research Board (2003), en coincidencia con COST 335 (European Commission. DGT, 1999), cualquier persona con problemas de movilidad tendrá dificultades si se tiene que enfrentar a escalones con una altura superior a 200 mm, principalmente si no puede agarrarse a los pasamanos.

Tabla 50 - Dimensión de la tabica de los escalones - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | 300 | 230 | 200 | 160 |

Fuente: Elaboración propia

3.1.5. Anchura de los pasillos y de los pasos entre coches

Anchura de los pasillos

La anchura *del pasillo* hace referencia a pasillos longitudinales de los coches y se mide entre los apoyabrazos de los asientos. Debe permitir a los viajeros transitar por el interior del tren sin golpearse con los asientos.



Normas sobre la anchura de los pasillos

La norma UIC establece que “La anchura mínima del pasillo debe ser para pasillos centrales (medido entre los brazos de los asientos) de 520 mm” (Ficha UIC 567, art. D.2.10.1.1).

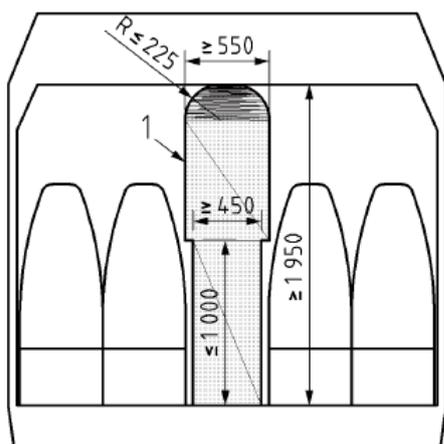
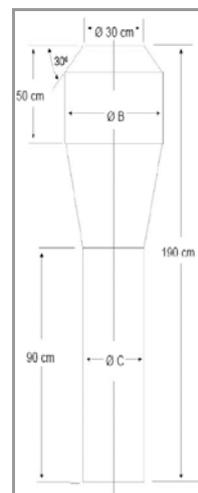
La ETI de 2014 relativa a la accesibilidad del sistema ferroviario de la Unión para las personas con discapacidad y las personas de movilidad reducida fija una anchura mínima del pasillo de 450 mm hasta la altura del 1.000 mm sobre el piso; y una anchura mínima de 550 mm por encima de esta altura y hasta la de 1.950 mm sobre el suelo, por encima de la cual se cierra con un semicírculo de menos de 225 mm de radio (4.2.2.6.).

Para los aviones no existe ninguna recomendación referente a esta dimensión.

Tabla 51 - Anchura de pasillo en autobuses y trenes

En el caso de los autobuses, el Reglamento 36 establece que el pasillo debe permitir un gálibo constituido por dos cilindros coaxiales, entre los cuales se intercala un tronco de cono invertido, que tenga como mínimo las siguientes dimensiones:

| | Clase I (urbano) | Clase II (metropolitano) | Case III (interurbano) |
|--------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|
| B (mm) | 550 | 550 | 450 |
| C (mm) | 450 | 350 | 300 |



Fuente: Reglamento 36 (autobuses) y ETI de 2014 PMR (trenes)

Características antropométricas de la población española

Dado en el punto en el que se mide este indicador (a la altura de los apoyabrazos), la cota antropométrica más relacionada es la “anchura de caderas de pie”, cuyos valores en la población española están recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 52 - Anchura de caderas, de pie

| | Media | Máx. | P1 | P5 | P50 | P95 | P99 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Total | 343,296 | 552,000 | 288,240 | 306,000 | 342,000 | 385,000 | 403,760 |
| Hombres | 345,023 | 552,000 | 294,000 | 310,000 | 344,000 | 383,000 | 402,000 |
| Mujeres | 340,005 | 457,000 | 280,940 | 299,000 | 337,000 | 388,000 | 415,360 |

Cotas en mm. Distancia horizontal máxima entre caderas o muslos. Fuente: MTAS (2003)

Es preciso observar, sin embargo, que la anchura a la altura de los codos es mayor que la anchura a la altura de las caderas, por lo que es recomendable dotar de una mayor anchura al pasillo en cotas por encima de 900 milímetros sobre el suelo.

Tabla 53 - Anchura entre codos

| | <i>Media</i> | <i>Máx.</i> | <i>P1</i> | <i>P5</i> | <i>P50</i> | <i>P95</i> | <i>P99</i> |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| <i>Total</i> | 457,852 | 645,000 | 335,000 | 367,000 | 461,000 | 542,000 | 573,820 |
| <i>Hombres</i> | 477,510 | 645,000 | 357,280 | 398,000 | 479,000 | 550,600 | 585,440 |
| <i>Mujeres</i> | 420,302 | 596,000 | 322,800 | 346,000 | 419,500 | 500,000 | 532,270 |

Cotas en mm. Distancia máxima horizontal entre las superficies laterales de ambos epicóndilos laterales. Fuente: MTAS (2003)

Calificaciones adoptadas para la anchura del pasillo por debajo de 900 mm

Para las calificaciones concedidas a los valores entre los cuales se interpolará cualquier valor se aplican los siguientes criterios:

- Calificación "0": sería aquel valor que corresponde al ancho de caderas de pie del 95% de la población del género más desfavorable, incrementado en 80 mm en concepto de margen dinámico para facilitar el movimiento.
- Calificación "5": corresponde al valor de la anchura de caderas de pie del 99% del género más desfavorable, incrementado con un margen de 80 mm.
- Calificación "10": corresponde a la misma cota antropométrica con un margen de 200 mm.

Tabla 54 - Anchura del pasillo por debajo de 900 mm - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 468 | 495 | ≥ 615 |

Fuente: Elaboración propia

Calificaciones adoptadas para la anchura del pasillo por encima de 900 mm

Por encima de 900 mm sobre el suelo se requiere una mayor anchura en el pasillo en coherencia con la mayor anchura entre codos con respecto a la anchura entre caderas

- Calificación "0": para anchura menor de 491 mm, que se corresponde con el percentil 50 de la anchura entre codos, más 30 mm de margen dinámico.
- Calificación "5": para la anchura de 582 mm, que se corresponde con el percentil 95 de la anchura entre codos, más 40 mm de margen dinámico.
- Calificación "10": para anchura superior a 604 mm, que se corresponde con el percentil 99 de la anchura entre codos más 60 mm de margen dinámico.

Tabla 55 - Anchura del pasillo por debajo de 900 mm - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 450 | 582 | ≥ 604 |

Fuente: Elaboración propia

Anchura de los pasos entre coches

La anchura *de los pasos entre coches* hace referencia a la disponibilidad de espacio en anchura en los pasos entre coches. Esta anchura se mide a la altura de los codos.

Calificaciones adoptadas

Las calificaciones adoptadas para los valores entre los cuales se interpolará cualquier valor intermedio se fijan con los siguientes criterios:

- Calificación "0": sería aquel valor que corresponde a la anchura entre codos del 95% de la población, incrementada en 100 mm en concepto de margen.
- Calificación "5": corresponde al valor de la anchura entre codos del 99% del grupo de género más desfavorable, incrementado en 300 mm.
- Calificación "10": corresponde a la misma cota antropométrica con un incremento de 400 mm.

De acuerdo con estos criterios, las calificaciones asignadas a los valores relevantes son las siguientes:

Tabla 56 - Ancho de los pasos entre coches - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 642 | 885 | ≥ 985 |

Fuente: Elaboración propia

3.1.6. Anchura de las puertas interiores del tren

La anchura *de las puertas interiores del tren* hace referencia tanto a la de las puertas de intercomunicación de coches como de acceso a otros servicios dentro del tren.

En principio, las necesidades de anchura libre de estas puertas son menores que las de acceso al tren, por cuanto al paso por ellas los viajeros llevan normalmente menos equipaje y además no suelen coincidir con discontinuidades en altura.

Indicadores de tercer nivel.- El indicador de segundo nivel *ancho de las puertas interiores del tren* se desagrega en otros de tercer nivel, que son los siguientes:

- ancho de puertas de intercomunicación de coches,
- ancho de otras puertas interiores.

Ancho de puertas de intercomunicacin de coches

La anchura de *puertas de intercomunicacin de coches* debe permitir a cualquier viajero transitar sin dificultad. Se mide a la altura de los codos.

Normas sobre ancho de puertas de intercomunicacin de coches

Las normas UIC establecen: “La puerta corredera debe dejar un paso libre de 750 mm como mnimo a la apertura” (Ficha UIC 560 art. 5.2.2, obligatorio), “Se recomienda dejar un paso libre de 960 mm” (Ficha UIC 560 art. 5.2.2.1, recomendacin). La ETI de 2014 de PMR exige tan solo 550 mm hasta la altura de 1.950 mm y un mnimo de 800 mm si han de usarse para sillas de ruedas (4.2.2.6.)

Caractersticas antropomtricas de la poblacin espaola

Las cotas antropomtricas ms relacionadas con este indicador son la “anchura entre codos” y la “anchura de caderas de pie” cuyos valores en la poblacin espaola estn recogidos en las tablas incluidas en los apartados anteriores.

Calificaciones adoptadas

Las calificaciones adoptadas para los valores entre los cuales se interpolar cualquier valor intermedio responden a los siguientes criterios:

- Calificacin “0”: sera para aquel valor que corresponde a la anchura mnima solicitada por la ETI de 2014 de PMR.
- Calificacin “5”: Se asigna al valor requerido por la ETI de 2014 para el paso con silla de ruedas.
- Calificacin “10”: se asigna al valor de la anchura entre codos del 99% del grupo de gnero ms desfavorable, incrementado en 300 mm.

Con estos criterios, los valores a los que corresponde cada calificacin son los que sealan en la tabla.

Tabla 57 - Ancho de puertas de intercomunicacin - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificacin</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|--------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 550 | 800 | ≥ 885 |

Fuente: Elaboracin propia

Anchura de otras puertas interiores

La anchura de otras puertas interiores contempla aquellas puertas de paso dentro de los coches de viajeros que dan acceso a aseos, cambiadores de bebes, compartimentos, etc. Se mide tambin a la altura de los codos.

Normas de ancho de otras puertas interiores

En el caso del ferrocarril, para las puertas de compartimentos “se recomienda realizar el paso libre de manera que haya una anchura de 580 mm como mnimo” (UIC 560, art. 6.1.5., recomendacin).



Para las puertas de aseos la norma indica “La puerta debe asegurar un paso libre de 500 mm como mínimo de ancho” (UIC 560, art. 6.4.2., recomendación).

Características antropométricas de la población española

La cota antropométrica más relacionada con este indicador es la “anchura entre codos”, cuyos valores se han presentado ya anteriormente.

Calificaciones adoptadas

Los valores adoptados para los puntos entre los cuales se interpolará cualquier valor son los siguientes:

- Calificación “0”: sería aquel valor que corresponde a la anchura entre codos del 95% de la población, incrementada en 50 mm en concepto de margen.
- Calificación “5”: corresponde al valor de la anchura entre codos del 99% del grupo más desfavorable, incrementado en 100 mm.
- Calificación “10”: corresponde a la misma cota antropométrica con un incremento de 300 mm.

Tabla 58 - Ancho de puertas de intercomunicación - Calificaciones adoptadas

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | 592 | 685 | 885 |

Fuente: Elaboración propia

3.1.7. Factores moduladores de accesibilidad

Los factores moduladores de accesibilidad están relacionados con aspectos que son importantes para las personas con discapacidad acústica o visual.

Mecanismo de apertura de puertas

Los mecanismos de apertura de puertas se pueden dividir en: a) automáticos (que son aquellos que permiten la apertura de la puerta sin ejercer fuerza los viajeros y que además permiten el bloqueo por velocidad o desde la cabina por el maquinista o jefe de tren); y b) manuales (si es el viajero el que tiene que abrirlas empleando su propia fuerza).

Los mecanismos automáticos de apertura, además de aportar seguridad, resultan más cómodos, especialmente cuando los viajeros llevan equipaje o cuando la distancia desde el andén hasta el mecanismo de accionamiento de la puerta es alta.

COST 335 (European Commission. DGT, 1999) recomienda que los accionamientos de control de las puertas operables con la palma de una mano no requieran de una fuerza máxima superior a 10N para ser activados. Señala también que la altura máxima de los accionamientos no debe ser superior a 1.300 mm, con recomendación de altura máxima no superior a 1.200 mm.

Tabla 59 - Automatismo de apertura de puertas - Factores adoptados

| <i>Factor modulador</i> | <i>Urbano y cercanías</i> | <i>Media distancia</i> | <i>Larga distancia</i> |
|---------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Apertura automática de puertas</i> | 1,4 | 1,2 | 1,1 |

Fuente: Elaboración propia

Contraste cromático en las puertas exteriores del tren

Las personas con discapacidad visual pueden tener problemas para encontrar las puertas exteriores de los trenes en el tiempo establecido para la entrada y salida de viajeros. Por ello, es conveniente resaltar las puertas mediante el empleo de pinturas que contrasten con los paramentos verticales de los trenes. Esta característica es importante en todos los tipos de trenes, pero sobre todo en aquellos en los que los tiempos de parada son cortos (urbanos y cercanías).

Tabla 60 - Contraste cromático en las puertas exteriores del tren - Factores adoptados

| <i>Factor modulador</i> | <i>Urbano y cercanías</i> | <i>Media distancia</i> | <i>Larga distancia</i> |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Dispone de contraste</i> | 0,8 | 0,9 | 1 |

Fuente: Elaboración propia

Señales audibles en las puertas

Para los usuarios con discapacidad visual se hace necesario que las puertas de los trenes estén dotadas de señales acústicas que indiquen que se va a proceder al cierre de las puertas y otras que se emitan sólo durante el tiempo en el que las puertas permanecen abiertas y que facilite a dichos usuarios localizarlas. Dichas señales se han de poder percibir, tanto estando dentro como desde fuera del vehículo.

Tabla 61 - Señales audibles en las puertas - Factores adoptados

| <i>Factor modulador</i> | <i>Urbano y cercanías</i> | <i>Media distancia</i> | <i>Larga distancia</i> |
|------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Dispone de señales audibles</i> | 0,7 | 0,8 | 0,9 |

Fuente: Elaboración propia

Señalización en braille de los mecanismos de apertura y cierre de puertas

Para los usuarios con discapacidad visual es importante que los trenes cuenten con señalización en *código braille* de los mecanismos de apertura de puertas.

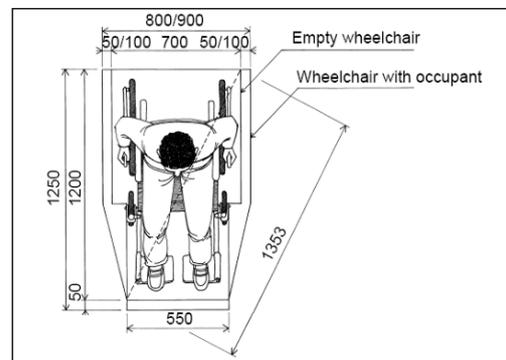
Tabla 62 - Señalización en braille de los mecanismos de apertura y cierre de puertas - Factores adoptados

| <i>Factor modulador</i> | <i>Urbano y cercanías</i> | <i>Media distancia</i> | <i>Larga distancia</i> |
|--------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Dispone de señalización</i> | 1 | 0,9 | 0,9 |

Fuente: Elaboración propia

3.2. Accesibilidad de personas en silla de ruedas

Las personas que se mueven en sillas de ruedas tienen unas necesidades de accesibilidad diferentes a las de aquellas que se mueven a pie. Por ello, y para estudiar estas necesidades, se aportan unas dimensiones de referencia que resultan de interés para el espacio mínimo ocupado por una persona en silla de ruedas, asumiendo en este sentido la recomendación de *ISO Standard 7193: Wheelchairs - Maximum overall dimensions ISO (1985)*, que se muestra en la figura.



Indicadores de segundo nivel

Los indicadores de segundo nivel en que se descompone el indicador de accesibilidad para personas en silla de ruedas son unos relativos al acceso y desalajo del tren, y otros al movimiento dentro del tren:

- Anchura útil de las puertas de acceso al tren para sillas de ruedas
- Distancia entre tren y andén para sillas de ruedas
- Ancho de los pasos y puertas interiores para sillas de ruedas.

Como elementos moduladores se considerarán el porcentaje de puertas, pasillos y zonas que son accesibles en silla de ruedas.

3.2.1. Anchura útil de las puertas de acceso al tren para personas en silla de ruedas

La *anchura útil de las puertas de acceso al tren para personas en silla de ruedas* hace referencia a la cota de anchura de las puertas de acceso al tren y se entiende que se refiere a las situadas en cada uno de los costados del tren, en el caso habitual de que se entre y se salga por uno de los dos costados del tren de forma alternativa por uno y otro.

La anchura útil de las puertas de acceso al tren para personas en silla de ruedas debe permitir a los viajeros que emplean silla de ruedas en sus desplazamientos acceder y abandonar el tren en un tiempo aceptable y sin dificultades. Se toma como medida el punto de menor anchura de la puerta.

Normas sobre la anchura útil de las puertas de acceso al tren para personas en silla de ruedas

Según la norma ISO 7193, “para permitir el desplazamiento de una silla de ruedas maniobrada manualmente por el viajero accionando las llantas de las grandes ruedas portadoras, deberá preverse a cada lado un espacio libre mínimo de 50 mm y, de todos modos, preferentemente de 100 mm. Esto implica un paso libre necesario en las puertas de 750 mm y preferentemente de 800 mm”.

Calificaciones adoptadas

Los valores adoptados para los puntos entre los cuales se interpolará cualquier valor se calculan con los siguientes criterios:

- Para las puertas sencillas:
 - Calificación “0”: será para aquel valor que no permite acceder con una silla de ruedas de 690 mm.
 - Calificación “5”: corresponde a aquel valor que permite pasar una silla de ruedas con un margen para las manos de 50 mm a cada lado, es decir 800 mm.
 - Calificación “10”: se fija para el valor 900 mm, que permiten un margen de 100 mm a cada lado.

Tabla 63 - Ancho útil de las puertas de acceso al tren para personas en silla de ruedas - Calificaciones adoptadas

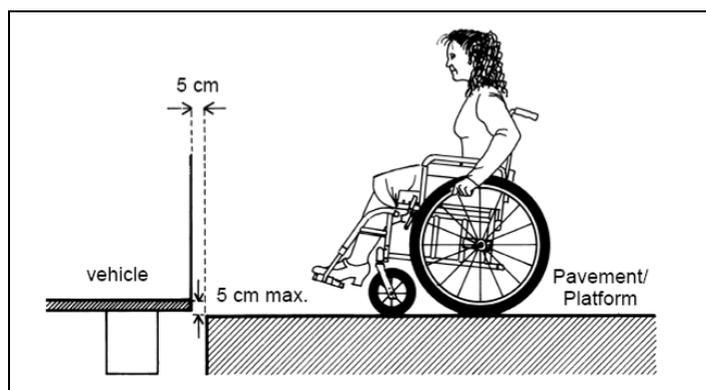
| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|--------------------------|------------|----------|------------|
| <i>Valor puerta (mm)</i> | ≤ 690 | 800 | ≥ 900 |

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Distancia entre el tren y el andén para personas en silla de ruedas

La *distancia entre el tren y el andén* hace referencia a las distancias horizontal y vertical medidas desde el piso del tren en la puerta hasta el andén, y a cómo se salvan las mismas.

COST 335 (European Commission. DGT, 1999) recomienda una distancia máxima de 50 mm, tanto en vertical como en horizontal.



Calificaciones adoptadas

Los valores adoptados para los puntos entre los cuales se interpolará cualquier valor son los siguientes:

- La calificación “0” se corresponde con una distancia vertical de 200 mm y horizontal de 200 mm.
- La calificación “5” se otorga cuando tanto la distancia en vertical como en horizontal es de 50 mm, según COST 335 (European Commission. DGT, 1999).
- La calificación “10” se da en aquellos casos en los que las dos distancias son igual a 0 o existe rampa escamoteable de acceso al tren.

Tabla 64 - Distancia entre tren y andén para personas en silla de ruedas - Calificaciones adoptadas

| Calificación | 0 | 5 | 10 |
|----------------|--|--|--|
| Distancia (mm) | Distancia vertical ≥ 200 Distancia horizontal ≥ 200 | Distancia vertical =50 Distancia horizontal =50 | Distancia vertical =0 Distancia horizontal =0 Existe rampa |

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Pasos libres y puertas interiores para personas en sillas de ruedas

Normas sobre la anchura del pasillo

La orden de 3 de marzo de 1980 sobre características de los accesos, aparatos elevadores y condiciones interiores de las viviendas para minusválidos proyectadas en inmuebles de protección oficial (BOE n^o 067, de 18 de marzo de 1980) establece que la anchura libre de puertas situadas en zonas comunes sea de 800 mm.

La norma UIC establece que “En los coches construidos después del 1 de enero de 1982, las puertas de los grandes compartimentos que deban ser franqueadas por las sillas de ruedas que respondan a la norma ISO 7193, deben ofrecer un paso libre de una anchura mínima de 720 mm” (UIC 560, 6.2.2., obligatoria).

“En cuanto a los coches construidos antes del 1 de enero de 1982, se admite un paso libre de una anchura de 700 mm” (UIC 560, 6.2.2.1., recomendada).

“Se recomienda prever un paso libre de una anchura de 800 mm” (UIC 560, 6.2.2.2., recomendada).

Calificaciones adoptadas

Los valores adoptados para los puntos entre los cuales se interpolará cualquier valor se calculan con los siguientes criterios:

- La calificación “0” sería aquel valor que corresponde a un ancho por el que no cabe una silla de ruedas, es decir, 690 mm.
- La calificación 5 corresponde a aquel valor que permite pasar una silla de ruedas con un margen de 50 mm a cada lado, es decir, 800 mm.
- El “10” se fija en 900 mm, que permite un margen de 100 mm a cada lado.

**Tabla 65 - Paso libre y puertas interiores para personas en sillas de ruedas -
Calificaciones adoptadas**

| <i>Calificación</i> | <i>0</i> | <i>5</i> | <i>10</i> |
|---------------------|----------|----------|-----------|
| <i>Valor (mm)</i> | ≤ 690 | 800 | ≥ 900 |

Fuente: Elaboración propia

3.3. Necesidades de personas que se desplazan en sillas de ruedas y de movilidad reducida

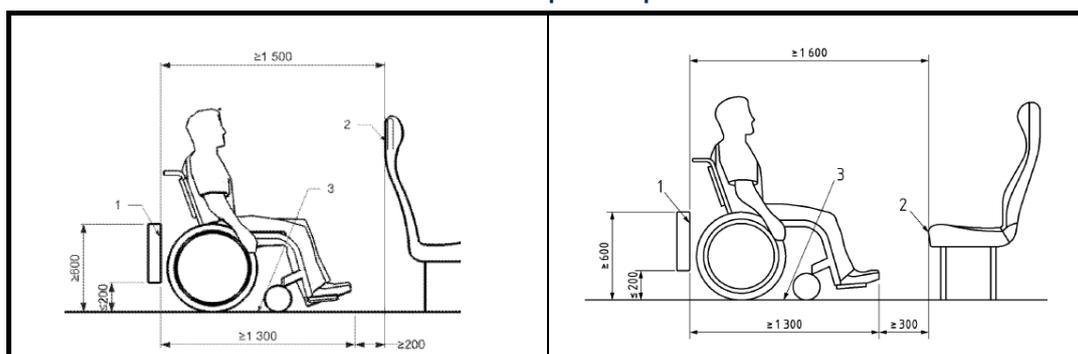
Lo deseable sería que todo el tren fuera accesible para personas que se desplazan en silla de ruedas, pero ello reduciría de forma importante la eficiencia del tren y su capacidad, por lo que en la práctica se asume que los espacios para personas que viajan en sillas de ruedas o tienen movilidad reducida abarquen solamente una parte del tren.

En este sentido, COST 335 (European Commission. DGT, 1999) recomienda lo siguiente (ratificado por la ETI de 2014 de PMR):

- Reserva de asientos para personas con discapacidad. Se recomienda identificar un número determinado de asientos como reservados para personas con dificultades de movilidad. Aunque esta es una decisión directamente relacionada con la operación posterior del tren por parte de la empresa transportista, tiene ciertas implicaciones previas para el diseño interior de los trenes (en lo que se refiere a diseño y especificidades de esas plazas). Es importante notar que COST 335 (European Commission. DGT, 1999) se refiere en este aspecto a reserva y adecuación de asientos, y no a reserva de espacios para una silla de ruedas.

- Se recomienda reservar un 10% de los asientos del tren (con un mínimo de 8 asientos por coche) para uso prioritario de personas con limitaciones de movilidad.
- Reserva en todos los trenes, nuevos o reformados, de espacios para silla de ruedas. Para garantizar la no discriminación de estos usuarios, se recomienda introducir espacios reservados en las diferentes clases del tren (no sólo en una). La ETI exige un espacio en trenes de menos de 30 metros de longitud; dos espacios en trenes entre 30 y 205 metros de longitud; tres espacios en trenes entre 205 y 300 metros y 4 espacios en trenes de más de 300 metros.
- Según la ETI de 2014, “a lo largo de todo el espacio para silla de ruedas, la anchura será de 700 mm entre el nivel del suelo y una altura mínima de 1 450 mm, con una anchura adicional de 50 mm a cada lado para las manos, adyacente a un obstáculo que no deje sitio para las manos del usuario de la silla de ruedas (por ejemplo, una estructura o pared) desde una altura de entre 400 mm y 800 mm sobre el nivel del suelo (si un lado de la silla de ruedas es contiguo al pasillo no será necesario el espacio adicional de 50 mm para ese lado de la silla de ruedas, que ya dispone de espacio libre).

Tabla 66 - Dimensiones de los espacios para sillas de ruedas



Fuente: ETI, 2014 PMR

- Se recomienda reservar al menos dos espacios para silla de ruedas, que además deben ir contiguos, ya que se sugiere que dos personas con discapacidad pueden viajar juntas.
- No se considera necesario dedicar espacios para silla de ruedas en todos los coches del tren.

Los accesos desde la puerta de entrada el tren hacia las plazas y espacios reservados para personas con discapacidad deben trazar un camino para el usuario con una dirección única, sin tener que realizar retrocesos o maniobras dentro del tren.

3.4. Ejemplos de buenas prácticas en el terreno de la accesibilidad de los trenes

Seguidamente se recogen algunos ejemplos de buenas prácticas en la accesibilidad de los trenes.

| | |
|--|--|
| BPA1 | Entrada sin discontinuidad vertical en trenes Talgo, series 102 y 130 |
|  |  <p>El diseño simultáneo de la altura de los andenes de las nuevas líneas de alta velocidad españolas y de los trenes Talgo de alta velocidad con la misma altura de piso (760 mm) ha permitido que el acceso a estos trenes sea sumamente fácil, cómodo y rápido.</p> <p>Además, el estribo escamoteable, que según la norma debe estar a 565 mm, establece una protección para la escasa distancia horizontal impuesta por el gálibo.</p> |

BPA2

Piso bajo en Metros Ligeros de Madrid



Las unidades de Metro Ligero que circulan en la Comunidad de Madrid, Citadis (Alstom), disponen de piso bajo continuo, lo que facilita el acceso a las mismas.

BPA3

Zona reservada para personas en silla de ruedas en Metro de Madrid



Las unidades modernas de Metro de Madrid y las de Metro Ligero disponen de espacios reservados para personas en silla de ruedas. Están dotados de un apoyo isquiático en el que puedan acomodarse los invidentes manteniendo su perro guía entre las piernas.

| | |
|--|--|
| BPA4 | Paso continuo entre coches |
|  |  <p data-bbox="869 792 1402 1256">Los trenes continuos en los que los viajeros no perciben la separación entre coches aumentan la accesibilidad, la seguridad de los viajeros, y la capacidad. Además, permiten un mejor reparto de los viajeros en el tren. Estas configuraciones son posibles tanto en trenes articulados (como el Civia de la izquierda) como en trenes no articulados (como el del Metro de Barcelona de la foto derecha).</p> |

BPA5

Anticipación en la altura de andenes y de los pisos de los trenes



El GIF decidió en 1996 que los andenes de las nuevas líneas de alta velocidad habrían de estar a 760 mm en lugar de a 550 mm como estaban anteriormente. Ello ha hecho posible que a los trenes Talgo de las series 130 y 102/112 los viajeros puedan entrar a nivel y que en el resto de los trenes (series 102, 103 y 120) haya un escalón menos de los que hay en andenes de 550 mm. La decisión requirió asumir que durante un tiempo el Talgo III, con el piso más bajo que la nueva cota de andén podría quedar algo por debajo del andén, como se ve en la foto de la izquierda tomada en la estación de Lleida. Sin embargo, en el futuro, durante muchos años millones de viajeros evitarán un escalón. En la misma línea de anticipación, el tren Civia fue diseñado (1995) para poder entrar de forma óptima desde andenes a 680 mm (altura unificada para cercanías). Sin embargo, los planes de recrecido se retrasaron y cuando el Civia entró en servicio (2004) resultaba inhábil en ciertos andenes a 300 mm y de difícil acceso en los 550 mm. No obstante, las ventajas del acceso cuando los andenes se unifican en 680 mm (véase foto de la derecha) compensan las dificultades transitorias.

| | |
|--|---|
| BPA6 | Rampas escamoteables en Metro de Madrid |
|  A photograph showing a person in a wheelchair using a retractable ramp to board a train. The ramp is extended from the train door to the platform. The person is wearing a yellow shirt and is pushing the wheelchair up the ramp. The train door is open, and the platform is visible in the background. | |
| <p>Las unidades de la serie 3000 de Metro de Madrid (CAF, 2006) disponen en las puertas más cercanas a la cabina de conducción de rampas escamoteables para salvar la distancia entre los coches y el andén, lo que permite entrar en los trenes con sillas de ruedas, cosa que no es posible si hay una separación entre coche y andén por pequeña que sea.</p> <p>Foto: Mintra</p> | |

| | |
|---|--|
| BPA7 | Dispositivos de apertura de puertas en Metro de Madrid |
|  A close-up photograph of the door opening mechanism on a train. The door is partially open, and the internal mechanism is visible. There are yellow handrails on either side of the door. The door has a blue and yellow color scheme. There are also some signs and markings on the door. | |
| <p>Las unidades de la serie 3000 de Metro de Madrid (CAF, 2006) disponen de señalización en braille y luminosa en los dispositivos de apertura de puertas.</p> | |

BIBLIOGRAFÍA

European Commission. DGT (1999): *COST 335: Passengers' accessibility of heavy rail systems: final report of the action*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

García Álvarez, A., Cillero Hernández, A. y Rodríguez Jericó, P. (1998): *Operación de trenes de viajeros. Claves para la gestión avanzada del ferrocarril*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

García Álvarez, A. (2006): *Explotación económica y regulación del transporte de viajeros por ferrocarril en el nuevo escenario competitivo*. Barcelona: El Cep i la Nansa edicions.

Jung, E. S. et al. (1998): "Coach design for the Korean high-speed train: a systematic approach to passenger seat design and layout", *Applied Ergonomics*, N° 6, December, 507-519.

MTAS (2004): *Aspectos antropométricos de la población laboral española*. Madrid: Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

Quigley, C. et al. (2001): *Anthropometric study to update minimum aircraft seating standards*, EC1270, ICE Ergonomics Ltd.

Transportation Research Board (2003): *Transit capacity and quality service*. Washington: TRB.

Wardman, M., Whelan, G. (2001) Valuation of improved railway rolling stock: A review of the literature and new evidence. *Transport Reviews*, 21 (4), 415-448.

NORMATIVA

Civil Aviation Authority (1989): *CAA Airworthiness Notice 64 - Minimum Space for Seated Passengers.*

Department of Transport (1998): *Rail Vehicle Accessibility Regulations (RVAR).*

ISO (1985): *ISO Standard 7193: Wheelchairs - Maximum overall dimensions.*

Reglamento nº 36 anejo al Acuerdo de Ginebra del 20 de marzo de 1958. *Adopción de prescripciones técnicas uniformes aplicables a los vehículos de ruedas y a los equipos y piezas que pueden montarse o utilizarse en estos, y sobre las condiciones de reconocimiento recíproco de las homologaciones concedidas conforme a dichas prescripciones.*

Acuerdo de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) sobre la adopción de prescripciones técnicas uniformes aplicables a los vehículos de ruedas

International Union of Railways (UIC) (1990): *UIC Leaflet 563: Fittings provided in coaches in the interests of hygiene and cleanliness.*

International Union of Railways (UIC) (2002): *UIC Leaflet 560: Doors, footboards, windows, steps, handles and handrails of coaches and luggage vans.*

International Union of Railways (UIC) (2004): *UIC Leaflet 567: General provisions for coaches.*

Reglamento (UE) Nº 1300/2014 de la Comisión, de 18 de noviembre de 2014, sobre la especificación técnica de interoperabilidad (ETI) relativa a la accesibilidad del sistema ferroviario de la Unión para las personas con discapacidad y las personas de movilidad reducida.

colección

MONOGRAFÍAS

del FERROCARRIL

INGENIERÍA / ARQUITECTURA

Este documento es parte de la Memoria del proyecto de investigación “Metodología para la evaluación de las prestaciones y eficiencia de los trenes de viajeros”, un estudio impulsado por la Fundación de los Ferrocarriles Españoles que en 2008 obtuvo el VIII Premio Talgo a la Innovación Tecnológica (el máximo galardón del sector ferroviario). El estudio pretendía servir de guía para evaluar cómo se adapta el material rodante a las necesidades de operadores y viajeros. Ha sido adecuado en 2015 de acuerdo con las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad de 2014.

El objetivo fundamental de la presente publicación es establecer unos parámetros que contribuyan a mejorar la calidad del servicio ferroviario, definiendo indicadores que afectan directamente al confort del viajero, como son la habitabilidad y la accesibilidad.

Esta publicación forma parte de la Colección “Monografías del Ferrocarril”, Serie “Ingeniería / Arquitectura”, que edita la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

Edita:



FUNDACIÓN DE LOS
FERROCARRILES
ESPAÑOLES