

Máster Oficial Interuniversitario



UNIVERSIDAD
DE
CORDOBA

Representación y Diseño
en Ingeniería y Arquitectura

ual
uco
uma

Trabajo Fin de Máster

**Control de gálibos horizontales de
trazado ferroviario en playa de vías de
andén curvo y con pendiente
negativa, en el término municipal de
Valencia.**

Antonio
Clemente Catalán.

Curso | 2012-2013
Convocatoria | Junio

Director/es:

Fernando CARVAJAL RAMÍREZ
Francisco AGÜERA VERA

Resumen:

El propósito de este trabajo fin de máster es desarrollar un diseño ferroviario en ancho UIC (Unio Internacionale des Chemins de Fer) del canal de acceso y playa de vías, en la nueva estación de AVE en Valencia.

Debido a los fuertes condicionantes geométricos, la estación estará provista de un andén curvo en contrapendiente a su llegada a toperas. Esta geometría inusual condicionará un estudio pormenorizado de gálibos respecto de la pieza de borde de andén. De este modo se garantizará la correcta accesibilidad de los viajeros en el tramo curvo de andén.

Como datos de partida se dispone de una cartografía base de la zona a estudiar, las normas sobre geometría de vía y gálibos, al igual que las fichas técnicas y características técnicas sobre el posible material móvil que se utilizará en la explotación de dicho trazado.

Este trabajo se ha aplicado a un caso de singular geometría situado en la nueva estación de AVE en Valencia.



INDICE

1.	Introducción.....	6
1.1	Gálibo ferroviario.....	6
1.2	Tipología de la vía UIC.....	7
1.3	Diseño.....	8
2.	Materiales y métodos.....	9
2.1	Fases de desarrollo.....	9
2.2	Cartografía base.....	10
2.3	Condicionantes arquitectónicos.....	12
2.4	Determinación de gálibos.....	13
2.4.1	Norma UNE.....	14
2.5	Diseño planimétrico.....	21
2.5.1	Descripción del trazado.....	22
2.5.2	Caracterización geométrica de los ejes en planta.....	23
2.5.3	Caracterización gráfica de los ejes en planta.....	27
2.6	Diseño alimétrico.....	28
2.6.1	Descripción del trazado.....	28
2.6.2	Caracterización geométrica de los ejes en alzado.....	29
2.6.3	Caracterización gráfica de los ejes en alzado.....	31
2.7	Determinación de secciones tipo.....	35
3.	Resultados.....	41
4.	Discusión.....	41
5.	Conclusiones.....	42
6.	Referencias.....	44
	ANEXO 1- Cálculo de gálibos y caracterización geométrica.....	45
	Caracterización geométrica S-130:.....	46
	Datos generales S -130:.....	47
	Cálculo geométrico.....	48
	Holguras interiores.....	48
	Holguras exteriores.....	50
	Salientes.....	50
	Efectos cuasiestaticos.....	50
	Fenómenos aleatorios.....	50
	Cálculo del gálibo a partir del semiancho de la caja.....	51
	Caracterización geométrica S -102 S-112:.....	53
	Datos generales S -102 S-112:.....	54



Cálculo S-102 y S-112	55
Caracterización geométrica S-120 y S-121 (Material móvil más restrictivo).....	56
Cálculo S-120 y S-121 (Material móvil más restrictivo).....	57
Cálculo S-120 y S-121	58



Resumen.

El propósito de este trabajo fin de máster es desarrollar un diseño ferroviario en ancho UIC (Unio Internacionale des Chemins de Fer) del canal de acceso y playa de vías, en la nueva estación de AVE en Valencia.

Debido a los fuertes condicionantes geométricos, la estación estará provista de un andén curvo en contrapendiente a su llegada a toperas. Esta geometría inusual condicionará un estudio pormenorizado de gálibos respecto de la pieza de borde de andén. De este modo se garantizará la correcta accesibilidad de los viajeros en el tramo curvo de andén.

Como datos de partida se dispone de una cartografía base de la zona a estudiar, las normas sobre geometría de vía y gálibos, al igual que las fichas técnicas y características técnicas sobre el posible material móvil que se utilizará en la explotación de dicho trazado.

Este trabajo se ha aplicado a un caso de singular geometría situado en la nueva estación de AVE en Valencia.

Palabras clave.

Empate, Bogie, cara activa de carril, topera, disimetría,



Abstract.

The purpose of this essay is to develop a design master rail UIC (Unio Internationale des Chemins de Fer), in the new AVE station in Valencia.

Due to strong geometric conditions, the station will be provided with a curved platform with negative gradient until the end.

This unusual geometry may condition a detailed study of gauges on the platform edge piece.

This will ensure proper accessibility for travelers on the curved section of platform.

As starting data we have a mapping study area, the Common rules for infrastructure and rolling stock and technical characteristics of the railway.

This work has been applied to a case of singular geometry located in the new AVE station in Valencia.

Key words.

Distance between end axles of the vehicles, bogie, gauge, buffer stop, dissymmetry.



1. Introducción.

El transporte ferroviario de alta velocidad, está considerado como uno de los mayores avances en el transporte terrestre de pasajeros desde la segunda mitad del siglo XX.

En 2009 existían servicios de alta velocidad ferroviaria en más de 15 países de todo el mundo aunque se prevé un aumento de 25000Km de líneas nuevas hasta 2020.

En los últimos años la alta velocidad ha experimentado sus días más álgidos en el territorio nacional, situándose España en la vanguardia de la construcción y el diseño de kilómetros de vía en ancho UIC.

Dentro de este momento de desarrollo, en el mundo ferroviario, se enmarca el presente trabajo, el cual diseñará un trazado ferroviario en ancho UIC para la correcta explotación de la estación Joaquín Sorolla en Valencia.

De este modo se mostrará cada uno de los factores que intervienen a la hora de encajar un trazado ferroviario, partiendo de un diseño arquitectónico preestablecido de la estación, con andenes curvos, obligando estos a realizar un estudio de gálibos, para así asegurar un seguro embarque y desembarque desde y hacia el material rodante.

1.1 Gálibo ferroviario.

En año 1913 es la fecha en la que se inician las ideas de implantar un gálibo ferroviario común, denominado "Passe Partout International" o PPI, siendo esta fecha la que sienta los inicios de cara a la interoperabilidad del sistema ferroviario en Europa.

En 1956 la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC) publica la primera ficha UIC-505 sobre gálibos ferroviarios no aclarando el proceso de determinación de las dimensiones máximas que pueden tener los vehículos cuando se desplazan por las vías, sin que se produzca ninguna interferencias con cualquier elemento fijo.

El gálibo ferroviario se puede definir como la sección que debe de quedar libre de todo obstáculo para permitir el paso de circulación a lo largo de una línea de ferrocarril. (AENOR, 2009)

En el estudio de gálibos intervienen un gran número de variables que pueden hacer que el vehículo ocupe cualquier región del espacio de forma heterogénea. Pudiendo afectar a la posición del vehículo multitud de factores entre los que podemos destacar: la geometría de la vía, la posición del vagón respecto de la vía, o la suspensión del vehículo.

Frecuentemente cuando se realiza el estudio de gálibos se realiza desde el punto de vista estático, en este trabajo fin de máster se estudiarán los gálibos de forma cinemática, sin peralte, sin considerar las suspensiones del coche y respecto de un andén curvo de una longitud aproximada de 200m en su tramo final, con un radio de curvatura de 450m.



1.2 Tipología de la vía UIC.

Los inicios del ancho UIC empezaron en el mundo minero de Inglaterra. Las líneas férreas construidas en la época, poseían unas dimensiones de 4 pies y 8 pulgadas equivalentes a 1.422m.

En 1846 el parlamento británico fijó la construcción de líneas férreas en 1.435m con la construcción de la línea Escocia-Gales. Pero no fue hasta 1887 en la conferencia de Berna donde se estableció como ancho internacional el ancho 1.435m. Esta medida vendría a ser media pulgada más que el ancho establecido para la construcción que Stephenson adoptó para la construcción de los ferrocarriles mineros.

Hoy en día el 60% de las líneas de ferrocarril puestas en servicio poseen este tipo de dimensiones entre caras activas de carril, según muestra la Figura 1.



Figura 1.- Distancia UIC entre caras activas de carril.

En España compaginamos este tipo de ancho con el ancho ibérico con dimensiones de 1.668 según se muestra en la Figura.2

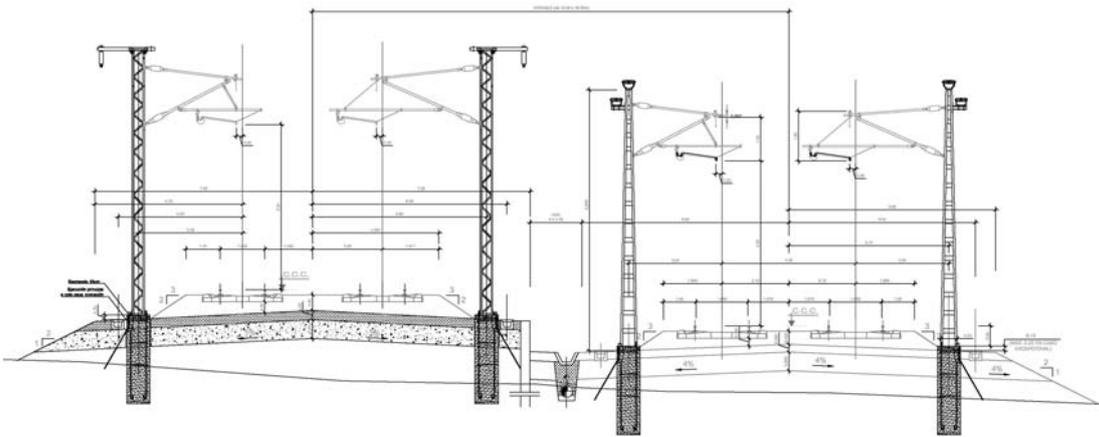


Figura 2.- Sección tipo de ancho convencional y ancho UIC

1.3 Diseño.

Conocidos los términos anteriores, el objeto del trabajo fin de máster son los siguientes:

- Realizar un diseño ferroviario desde el canal de acceso por el corredor ferroviario hasta la estación de Valencia, permitiendo una eficiente explotación ferroviaria con dobles composiciones y ramificando en su tramo final una playa de vías que permita dar acceso a todos y cada uno de los andenes prediseñados.
- Establecer un diseño analítico que permita la materialización de dicho diseño mediante alineaciones rectas y curvas tangentes a estas.
- Realización de un estudio pormenorizado de gálibos horizontales (cinemáticos), para determinar la distancia mínima permitida que debe poseer un futuro coche a su paso por una curva de radio 400m, para no interferir con la pieza de borde de andén y que garantice su seguridad.



Figura 3.- Integración urbana y modelación de la estación.

Para la consecución de estos objetivos mencionados se ha realizado:

- Elaboración de una cartografía que sirva de base para la realización del diseño, asegurando de este modo una máxima fiabilidad en el trazado final.
- Elaboración del estudio de soluciones más óptimo que permita una explotación óptima del trazado ferroviario, mediante la utilización de programas de diseño lineal de infraestructuras.
- Recopilación de las diferentes normativas existentes sobre gálibos ferroviarios y unificación tabulada del cálculo que permita la obtención de la distancia necesaria para no interferir en ningún elemento físico.

2. Materiales y métodos.

2.1 Fases de desarrollo.

El proceso de diseño llevado a cabo comprende las siguientes fases:

- Obtención de una cartografía base.
La cartografía de la zona será una de las herramientas fundamentales para alcanzar el diseño ferroviario. Esta herramienta valdrá como base para identificar trayectorias recorridas y elementos afectados.
- Condicionantes arquitectónicos.
Los elementos arquitectónicos son todas aquellas infraestructuras proyectadas, ajenas a nuestro trabajo y que de forma rigurosa e inevitable se deberá de respetar.
- Determinación de gálibos.
Debido a los condicionantes arquitectónicos y a la geometría establecida, se deberá de hacer un estudio de distancias mínimas y máximas por las que podrá discurrir el diseño.
- Diseño planimétrico
Conjunto de elementos geométricos utilizados para la definición del trazado en la dimensión X, Y.
- Diseño altimétrico.
Conjunto de elementos geométricos utilizados para la definición del trazado en la dimensión Z.
- Determinación de secciones tipo.
Conjunto de secciones transversales generalizadas que muestran la geometría del dibujo a partir de un punto kilométrico definido.

Para entender cada uno de los apartados anteriormente citados se procede a explicar con mayor detalle, incluyendo todo tipo de cálculos, cada uno de los puntos que componen las fases del diseño, estructurando estos de la misma forma que en apartado anterior.



2.2 Cartografía base.

La cartografía utilizada en el trabajo fin se máster ha sido obtenida a partir de un vuelo fotogramétrico con una escala de vuelo 1:3500. Con esta escala se obtiene una cobertura estereoscópica con pasadas rectilíneas de la zona a restituir (Figura 3).



Figura 4.- Zona de restitución.

El vuelo se realizó en color por la empresa "Spasa" en agosto del 2004.

La altura media de vuelo adoptada fue de 525 metros sobre la cota media del terreno, determinada mediante la obtención de la media de la cota más alta y la cota más baja.

La focal para la obtención de las fotografías se fijó en 153.99mm utilizándose la cámara fotogramétrica ZEISS RMK-TOP, la cual fue monada para atenuar los efectos de la vibraciones y compensar la velocidad mediante el sistema FMC (Flight Management Computer).

De este modo se obtiene una ortofoto con un formato de imagen 23x23 cm.

Se ha utilizado como sistema de referencia planimétrico el Datum ED-50 referido al elipsoide Internacional 1.924, punto fundamental en Potsdam, origen de longitudes en Greenwich y como proyección la Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM.) en su huso 30.

En altimetría las cotas se han referenciado al nivel medio del mar observado en el mareógrafo de Alicante, trasladando esta cota mediante bases NAP a la zona de ámbito del trabajo.

El sistema de coordenadas se ha materializado in-situ, mediante clavos Geopunt dispuestos estratégicamente de forma perimetral a la zona de estudio. Este sistema se ha obtenido mediante

visuales diferenciales en modo estático a la red GPS EUREF, dependiente del Instituto Geodésico Nacional (IGN).

El trabajo ha finalizado con la campaña de dotación de puntos de apoyo y posterior restitución de los pares estereoscópicos a la escala 1:500, obteniéndose un fichero de CAD con información vectorial de los elementos físicos reales del entorno.



2.3 Condicionantes arquitectónicos.

En este apartado se describirán los factores geométricos que condicionan imperativamente el diseño de la futura traza.

Entre ellos se puede distinguir:

- El inicio del trazado queda forzado por las coordenadas

$$X= 725.174,170$$

$$Y= 4.369.657,880$$

$$Z= -0,237$$

con un radio $R= -2.015,419$, por un azimut de $AZ= 15,434$ y por una pendiente de $pte=25\%$.

- A 500m del inicio de la traza existe un colector de aguas con cota 12m y un paso superior a 150m más con una cota 18m.
- Se dispone de la ubicación preestablecida de la estación de alta velocidad con una disposición de andén de 414m en forma de curva, según se puede apreciar en la figura 3, y una cota de llegada de 12.64m



Figura 5.- Emplazamiento de la estación.

2.4 Determinación de gálibos.

El diseño del trazado deberá ajustarse estrictamente a la geometría de la Estación.

Para garantizar una correcta accesibilidad de los viajeros al andén, en su último tramo curvo de 200m, se plantea el estudio de las holguras existentes entre el material móvil con el que se podrá explotar la línea, partiendo de los datos de explotación que están siendo actualmente usados en la estación Joaquín Sorolla y el borde de andén en este tramo.

Los actuales vehículos utilizados en la línea Valencia – Madrid son:

- Automotor S-130 con rodadura desplazable.
- Automotor S-102.
- Automotor S-112.

La ampliación del estudio se realizará igualmente a material móvil mucho más restrictivo como son:

- Automotor S-120.
- Automotor S-121.

La tabla 1 sirve como resumen conjunto de la información geométrica del material móvil. Esta información se ha obtenido mediante la caracterización de los diseños de los vehículos y las fichas técnicas de los mismos.

Tipología	Fabricante	Empate Locomotora (m)	Empate vagón (m)	Empate de bogie (m)	Anchura material (m)	Empate Bogie morro (m)
S-103 Velaro	Siemens	17,8	17,8	2,8	2,95	
T-250 ALVIA	Talgo (S-130)	10.66	13,10	2,8	2,96	5,77
T-350 ALVIA	Talgo (S-102, S-112)	11.03	13,14	2,65	2,96	5,84
S-120 AVANT.RD	CAF	19	19	2,8	2,92	5,3
S-121 AVANT	CAF	19	19	2,8	2,92	5,3
TRAVCA	Talgo	11	12,5	2,8	2,96	3,5
AVE SERIE 100	Alstom	14	18,7	3	2,94	3,5
S-104 AVANT	Alstom - CAF	17	18,5	2,8	2,92	5,3
S-114 AVANT	Alstom – CAF	18	18,7	2,8	2,92	5,65

Tabla 1.- Comparativo geometría material.

Renfe, 2013.



2.4.1 Norma UNE.

Desde el 3-10-2009 el marco Europeo posee la norma EN15273 la cual regula los gálibos ferroviarios. Pero es en mayo del 2011 cuando esta norma se publica de forma íntegra en sus tres fases (infraestructura y material rodante, dimensionamiento de vehículos y dimensionamiento de infraestructuras). En este trabajo fin de máster analizaremos los gálibos cinemáticos que pueden afectar respecto de un andén curvo de 200m de longitud y radio 450 y sin ausencia de peralte por las bajas velocidades a las que se circulará.

➤ Datos generales.

En este apartado se desarrollara toda la información necesaria, tanto conceptual como aritmética para poder acometer la solución final de gálibos. Toda la información expuesta en este apartado se obtiene de la EN 15273-1 apartado nº5 "Consideraciones específicas para determinación de los parámetros".

AENOR, 2009

- **Desviaciones geométricas de la caja del vehículo.**

Los desplazamientos geométricos son los producidos por la inscripción en curva de un vagón. Cuanto mayor sea el embate y menor el radio de curvatura el desplazamiento geométrico será mayor, debido a que en una curva la configuración de los coches y la cabeza tractora describirán rectas entre dos puntos de una circunferencia. Véase figura nº5 en la que se muestran las desviaciones geométricas más desfavorables en curva.

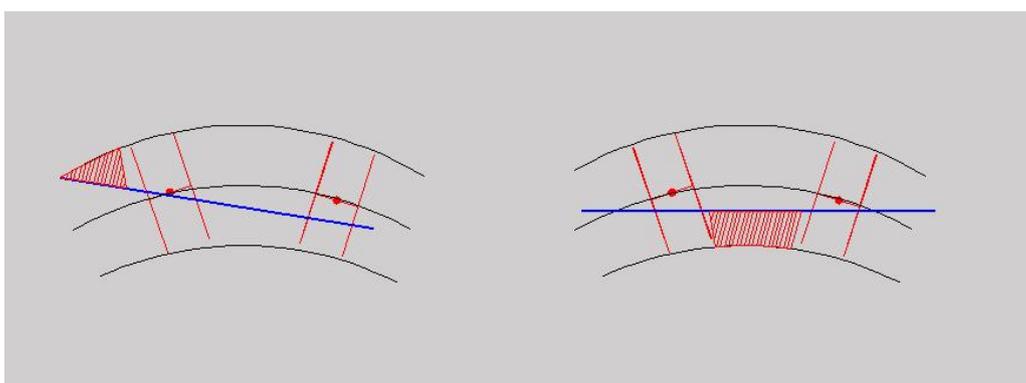


Figura 6.- Desviaciones críticas en curva.

Las desviaciones geométricas vienen definidas por dos expresiones.

- Exterior:

$$dga = \frac{n_a \cdot (a + n_a)}{2R} - \frac{p^2}{8 \cdot R} \quad [1]$$

- Interior:

$$dgi = \frac{n_i \cdot (a - n_i)}{2R} - \frac{p^2}{8 \cdot R} \quad [2]$$

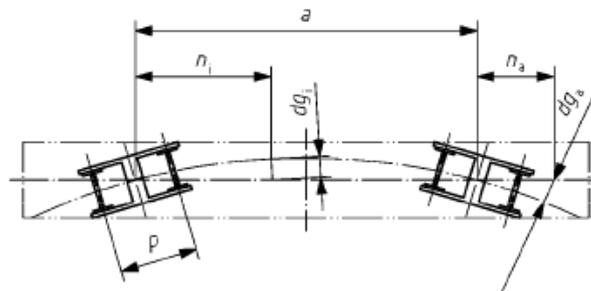


Figura 7.- Definición de parámetros (1).

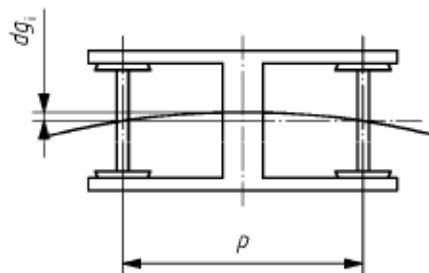


Figura 8.- Definición de parámetros (2).

Donde:

- a: Distancia entre los ejes extremos o entre pivotes de bogies (empate).
- n_a :Posición longitudinal de la sección considerada fuera de los ejes montados o de los pivotes de bogies.
- n_i :Posición longitudinal de la sección considerada entre los ejes montados o entre los pivotes de bogies.
- dga: Desviación geométrica en la sección de la posición n_a
- dgi: Desviación geométrica en la sección de la posición n_i
- p: Distancia entre los ejes extremos del bogie (empate del bogie)

- **Coefficiente de flexibilidad.**

Este coeficiente no será objeto de este estudio, puesto que en mayor medida este coeficiente se ve afectado por el peralte y el diseño planteado en el TFM carece del mismo.



- **Disimetría.**

La disimetría se entiende como el coeficiente que posee el coche o bien por un mal reparto de las carga o bien por una deficiencia en las suspensiones.

La figura 8 y la ecuación 3 lo representan de la siguiente manera:

$$\eta_0 = (1 + S) \cdot \lambda$$

[3]

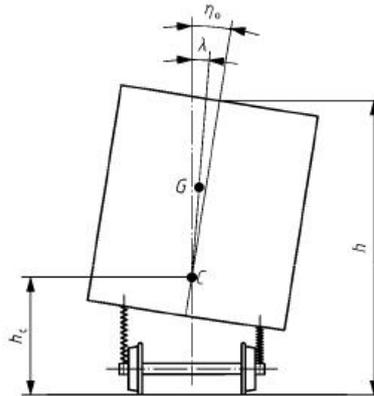


Figura 9.- Definición de parámetros.

Donde:

C: Centro de balanceo

h: Altura con respecto al plano de rodadura

Hc: Altura del centro de balanceo

G: Centro de gravedad de la caja

λ : Ángulo formado por la línea recta que une el centro de gravedad y el centro de balanceo con la vertical.

η_0 : Ángulo de disimetría debido a las tolerancias de la construcción, al ajuste de la suspensión y a un descentrado de las distribuciones de la carga.

- **Holgura entre los ejes montados y la vía.**

Las holguras son los desplazamientos transversales del eje con respecto a la vía y estas se pueden clasificar según la figura 9:

- 1 Holgura entre ejes y bastidor del bogie (q).
- 2 Holgura entre el bastidor del bogie y la caja (w).
- 3 Holgura entre ejes y vía, denominado también juego de la vía (j).

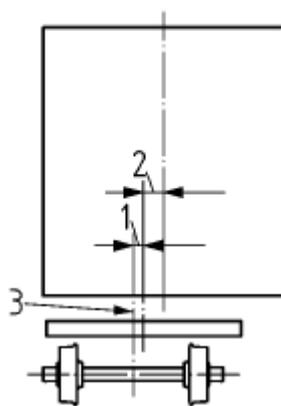


Figura 10.- Tipos de holguras.

Donde el parámetro j viene dado por la siguiente expresión:

$$j = \frac{l - d}{2}$$

[4]

Donde:

l es la anchura de la vía medida entre caras activas del carril.

d es la separación exterior entre pestañas.

Para el análisis de los términos “ q ” y “ w ” se debe de conocer el significado de los siguientes parámetros:

- **Coefficiente de inscripción.**

Para considerar la posición del vehículo de forma más desfavorable, se introduce un coeficiente que multiplicado a las holguras q y w , facilitará los desplazamiento geométricos tanto en el interior de la curva como en su exterior.

Para el interior de la curva los coeficientes vienen dados por la tabla 2 y para el exterior de la curva los coeficientes vienen dados por la tabla 3.

j	q	w
1	1	1

Tabla 2.- Coeficiente de inscripción de la parte interior de la curva.

j	q	w
$\frac{2n + a}{a}$	$\frac{2n + a}{a}$	$\frac{n + a}{a}$

Tabla 3.- Coeficiente de inscripción de la parte exterior de la curva.



- **Insuficiencia de peralte.**

El peralte es la inclinación que se le da a la vía para contrarrestar la fuerza centrífuga que fuerza al vehículo hacia el exterior de la curva. Por tanto el peralte de equilibrio es el peralte justo que permite a un vehículo dar una curva sin que se vea afectado por la fuerza centrífuga.

$$D_e = \frac{l \cdot v^2}{g \cdot R} \quad [5]$$

Donde:

l: Distancia entre ejes de carriles

v: Velocidad del tramo.

g: Gravedad

R: Radio

De esta expresión se puede obtener la aceleración centrífuga compensada con la expresión:

$$\gamma = \frac{v^2}{R} \quad [6]$$

Donde:

v: Velocidad del tramo.

R: Radio

Si se circula con un peralte menor que el de equilibrio aparece una insuficiencia de peralte y el vehículo se inclina hacia el exterior de la curva, obteniendo una aceleración centrífuga no compensada de valor:

$$\gamma' = \frac{g \cdot \varepsilon}{l} \quad [7]$$

Donde:

g: Gravedad.

l: es la anchura de la vía medida entre caras activas del carril.

ε : Diferencia de altura entre carril y andén.

La fuerza debido a la aceleración no compensada es:

$$F_{LNC} = 8 \cdot K_y \cdot q. \quad [8]$$

Siendo el valor de la rigidez lateral del muelle $K_y = 7.5 \cdot 10^6$ y sabiendo que $F = m \cdot a$

Donde despejando el valor de q se obtiene el valor del desplazamiento lateral debido a la suspensión primaria q.



De igual forma el valor del desplazamiento lateral debido a la suspensión secundaria w.

$$F_{LNC} = 4 \cdot K_Y \cdot w$$

[9]

- **Salientes.**

En caso de curva, la anchura de referencia aumenta con los llamados salientes, los cuales se clasifican según su tipo de radio, en este TFM solo es objeto de estudio los radios mayores de 250m como se muestra en la tabla numero 4.

	$h < 0.400m$	$h > 0.400m$	Pantógrafos
$R \geq 250m$	$\frac{2.5}{R} + \frac{l - 1.435}{2}$	$\frac{3.5}{R} + \frac{l - 1.435}{2}$	$\frac{2.5}{R} + \frac{l - 1.435}{2}$

Tabla 4.- Salientes según su radio.

- **Efectos cuasiestáticos.**

Los desplazamientos cuasiestáticos tienen en cuenta la suspensión del vehículo y los desplazamientos laterales que sufre un punto a una altura h definida de acuerdo con la fórmula:

$$Q_s = S \cdot \frac{l - l_0}{L} \cdot (h - h_0)$$

[10]

Donde:

S: Es el coeficiente de flexibilidad de la suspensión.

L: distancia entre ejes de carriles.

l: Déficit de altura de carril.

l₀: Déficit de peralte a colocar.

h: Altura de andén.

h₀: altura respecto al centro de gravedad respecto del carril.

La ecuación se aplicará tanto para el exceso como el defecto de peralte. Obteniendo valores de Q_s y Q_{sE}.



- **Fenómenos aleatorios.**

Los fenómenos aleatorios a considerar se pueden agrupar en dos grandes grupos siendo los siguientes:

Fenómenos aleatorios M1 son debidos a los movimientos reales de los vehículos (margen obligatorio).

T_{OSC} = Oscilaciones.

T_{SUSP} = Las disimetrías de construcción o de ajuste de los vehículos.

T_{LOAD} = Disimetría de carga.

Fenómenos aleatorios M2 gestionan de la mejor manera los márgenes para asegurar un mantenimiento de las vías (margen utilizable).

T_{TRACK} = Desplazamiento transversal de la vía entre dos periodos de mantenimiento.

T_D = Insuficiencias de peralte.

$$\sum_j = K \cdot \sqrt{\sum_N^1 T^2}$$

[11]

Siendo K un coeficiente corrector de 1.2 y T cada uno de los términos vistos anteriormente.

➤ **Cálculo del gálibo a partir del semiancho de la caja.**

Una vez conocidos todos los parámetros que influyen en el cálculo del gálibo cinemático, la fórmula que permite conocer el mismo es la siguiente:

$$b_{structure} \geq b_{RP} + S_{I/A} + Q_{I/A} + \sum_j n$$

[12]

Donde:

$b_{structure}$ = Distancia paralela al plano de rodadura entre el obstáculo y el eje de la vía

b_{RP} = Semianchura del perfil de referencia.

$S_{I/A}$ = Desviación adicional permitida en el lado exterior e interior de la curva

$Q_{I/A}$ = Desplazamiento debido al balanceo cuasiestático considerado por la infraestructura en el exterior e interior del perfil de referencia, del lado exterior e interior de la curva.

\sum_j = Sumatorio de los efectos aleatorios.



Conocidas cada una de las operaciones que intervienen en el estudio del gálibo ferroviario a partir del semiancho de la caja, se procede a desarrollar el cálculo para cada uno de los supuestos, véase Anexo 1, donde se recoge con todo tipo de detalles cada una de las operaciones necesarias para obtener dicho dato dependiendo del tipo de vehículo.

La tabla numero 5 recoge de forma resumida cada uno de los resultados de los cálculos de los gálibos, para cada una de las series analizadas.

MATERIAL RODANTE	TIPO	INTERIOR	EXTERIOR
SERIE 130	Total Estricto	1.56	1.63
	T. Mantenimiento	1.58	1.64
SERIE 102-112	Total Estricto	1.56	1.64
	T. Mantenimiento	1.58	1.65
SERIE 120	Total Estricto	1.61	1.64
	T. Mantenimiento	1.64	1.65

Tabla 5.- Resumen de gálibos para cada una de las series.

2.5 Diseño planimétrico.

En este apartado se definirá el diseño del acceso a la estación desde el punto de arranque del trazado (con los condicionantes anteriormente citados) hasta la propia estación, junto con la ramificación de la playa de vías que se adentran en la estación hasta su llegada a toperas.

El diseño planimétrico de las vías se ha realizado mediante alineaciones rectas tangenteadas por curvas, los escapes y desvíos se realizan de igual forma según la tipología del desvío y su velocidad.

Las alineaciones rectas son el elemento más sencillo que define el trazado y estas se pueden, materializar por los siguientes parámetros:

- Coordenadas de inicio y final.
- Coordenadas de inicio mas azimut y distancia.

Los arcos se pueden caracterizar por tres puntos o por coordenadas de inicio y final más su radio.

Para el trazado del eje en planta se ha considerado cada vía de forma independiente, así pues el trazado coincide con el eje de la vía cuando se trata de vía única y con el entreeje en el caso de vía doble.

Villaronte, 2012.



2.5.1 Descripción del trazado.

Para la realización de todo el diseño ferroviario se ha contado con el programa ISTRAM de la marca ISPOL debido a su gran versatilidad en el diseño de obra lineal.

Como mejor opciones se ha optado por el diseño de un total de doce ejes dispuestos de la siguiente manera:

Eje 1 y 2, son el inicio del trazado con una longitud de 1011.143 por todo el corredor ferroviario, suponiendo esta distancia la longitud necesaria para aproximarse a la playa de vías.

Los ejes del 3 al 8 son los necesarios para dar acceso a cada una de las toperas pre-diseñadas.

Los ejes 9 y 10 permiten la conexión, salvando las pilas de un viaducto existente, entre los ejes de las toperas y los ejes de aproximación a la playa de vías.

Los dos ejes restantes son utilizados como escapes entre las vías 2,3 y 4,5

Todos los ejes en el diseño están conexiados mediante desvíos, escapes de vías o travesías de unión doble.



2.5.2 Caracterización geométrica de los ejes en planta.

A continuación se procede a mostrar cual ha sido el resultado parametrizado del diseño de cada uno de los ejes, obteniendo de forma descompuesta cada uno de los listados de sus puntos singulares.

Las longitudes de las alineaciones, los radios de las curvas y los parámetros de transición vienen expresados en metros, los Pks y las coordenadas son adimensionales y el azimut viene expresado en grados centesimales.

Eje 1: Eje de aproximación a la playa de vías por el corredor ferroviario.

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	RECTA	1011.143	0	725171.928	4369657.23		15.0546
			1011.143	725408.817	4370640.23		15.0546

Tabla 6.- Caracterización geométrica en planta del eje 1.

Eje 2: Eje de aproximación a la playa de vías por el corredor ferroviario.

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	RECTA	1011.143	0	725175.816	4369656.3		15.0546
			1011.143	725412.706	4370639.3		15.0546

Tabla 7.- Caracterización geométrica en planta del eje 2.

Eje 3: Eje de aproximación a la topera nº1.

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	RECTA	2.168	0	725365.884	4370923.89		375.0972
2	CIRC.	131.29	2.168	725365.058	4370925.89	258	375.0972
3	CIRC.	12.286	133.457	725347.354	4371054.56	250	7.4932
4	RECTA	223.736	145.743	725349.096	4371066.72		10.6217
			369.478	725386.252	4371287.35		10.6217

Tabla 8.- Caracterización geométrica en planta del eje 3.

Eje 4: Eje de aproximación a la topera nº2.

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	RECTA	19.312	0	725397.733	4370842.63		372.8951
2	CIRC.	32.331	19.312	725389.757	4370860.22	260	372.8951
3	RECTA	39.511	51.643	725378.266	4370890.42		380.8114
4	CIRC.	117.065	91.154	725366.536	4370928.15	250	380.8114
5	RECTA	244.654	208.218	725358.737	4371043.88		10.6217
			452.873	725399.368	4371285.14		10.6217

Tabla 9.- Caracterización geométrica en planta del eje 4.



Eje 5: Eje de aproximación a la topera nº3.

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	RECTA	0.096	0	725414.426	4370795.91		384.2602
2	CIRC.	17.241	0.096	725414.403	4370796	-250	384.2602
3	RECTA	37.959	17.337	725409.611	4370812.56		379.8698
4	CIRC.	11.399	55.296	725397.807	4370848.64	-250	379.8698
5	CIRC.	237.89	66.695	725394.016	4370859.39	450	376.9671
6	RECTA	193.767	304.585	725371.133	4371093.4		10.6217
			498.352	725403.312	4371284.48		10.6217

Tabla 10.- Caracterización geométrica en planta del eje 5.

Eje 6: Eje de aproximación a la topera nº4.

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	RECTA	0.082	0	725421.242	4370785.87		386.5581
2	CIRC.	9.024	0.082	725421.225	4370785.95	-250	386.5581
3	RECTA	46.189	9.106	725419.175	4370794.74		384.2602
4	CIRC.	21.87	55.294	725407.871	4370839.52	-250	384.2602
5	CIRC.	225.705	77.165	725401.599	4370860.47	450	378.691
6	RECTA	202.044	302.87	725382.874	4371083.03		10.6217
			504.914	725416.427	4371282.27		10.6217

Tabla 11.- Caracterización geométrica en planta del eje 6.

Eje 7: Eje de aproximación a la topera nº5.

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	RECTA	40.647	0	725401.992	4370886.02		385.5208
2	CIRC.	164.219	40.647	725392.827	4370925.62	416.5	385.5208
3	RECTA	195.62	204.866	725387.885	4371088.7		10.6217
			400.486	725420.372	4371281.6		10.6217

Tabla 12.- Caracterización geométrica en planta del eje 7.



Eje 8: Eje de aproximación a la topera nº6.

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	RECTA	90.766	0	725410.169	4370840.75		391.235
2	CIRC.	149.826	90.766	725397.712	4370930.66	492	391.235
3	RECTA	202.316	240.593	725399.888	4371079.89		10.6217
			442.909	725433.487	4371279.39		10.6217

Tabla 13.- Caracterización geométrica en planta del eje 8.

Eje 9: Eje de conexión de vía 1 a eje 5 y 6.

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	RECTA	92	0	725408.195	4370855		191.235
2	CIRC.	93.545	92	725420.821	4370763.87	250	191.235
3	RECTA	31.628	185.546	725416.228	4370670.98		215.0561
			217.174	725408.817	4370640.23		215.0561

Tabla 14.- Caracterización geométrica en planta del eje 9.

Eje 10: Eje de conexión de vía 2 con la playa de vías

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	RECTA	360.493	0	725475.169	4371340.92		210.6326
2	CIRC.	47.281	360.493	725415.24	4370985.45	-250	210.6326
3	RECTA	43.395	407.775	725411.823	4370938.36		198.5925
4	CIRC.	17.882	451.169	725412.782	4370894.98	-225	198.5925
5	RECTA	122.73	469.052	725413.887	4370877.13		193.5328
6	CIRC.	82.824	591.781	725426.333	4370755.04	245	193.5328
7	RECTA	34.455	674.605	725420.778	4370672.79		215.0542
			709.06	725412.706	4370639.3		215.0542

Tabla 15.- Caracterización geométrica en planta del eje 10.



Eje 11: Eje de escape entre vías 2 y 3

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	CIRC.	0	0	725364.493	4370935.07	250	382.6503
2	CIRC.	69.199	0	725364.493	4370935.07	166	382.6503
3	CIRC.	56.801	69.199	725360.092	4371003.63	-1086.392	9.1884
4	CIRC.	0	126	725366.789	4371060.03	450	5.8599
			126	725366.789	4371060.03		5.8599

Tabla 16.- Caracterización geométrica en planta del eje 11.

Eje 12: Eje de escape entre vías 4 y 5.

DATO	TIPO	LONGITUD (m)	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO (m)	AZIMUT (º)
1	CIRC.	0	0	725385.707	4370964.84	416.5	391.6165
2	CIRC.	32.688	0	725385.707	4370964.84	-1352.98	391.6165
3	C IRC.	65.171	32.688	725381.024	4370997.19	236.3	390.0784
4	CIRC.	0	97.86	725379.858	4371062.14	450	7.6363
			97.86	725379.858	4371062.14		7.6363

Tabla 17.- Caracterización geométrica en planta del eje 12.



2.5.3 Caracterización gráfica de los ejes en planta.

El resultado gráfico de dicha caracterización es el siguiente:

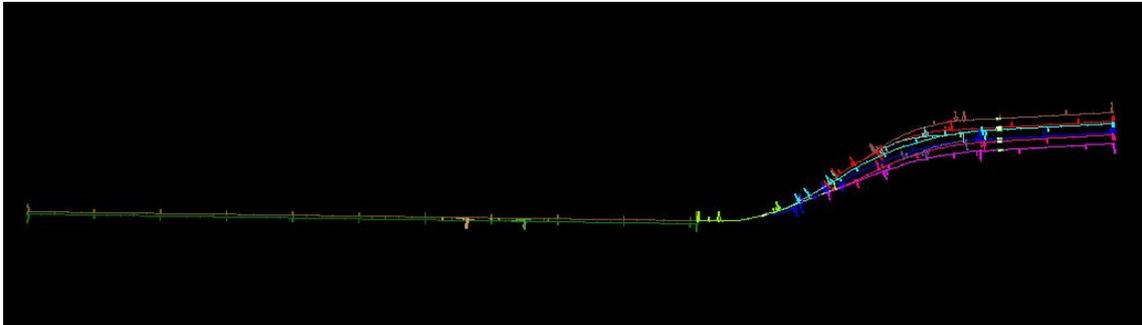


Figura 11.- Diseño de ejes parametrizados.

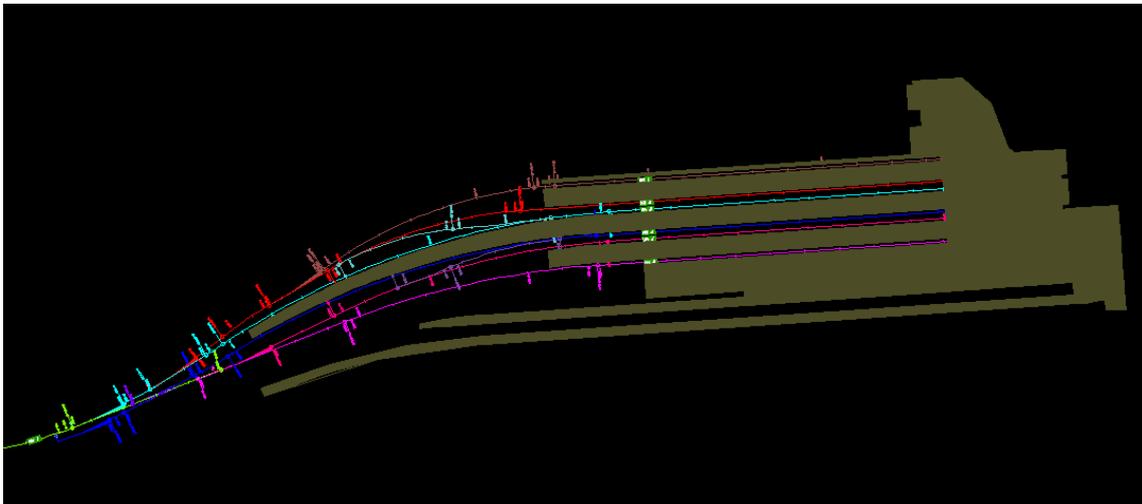


Figura 12- Diseño de ejes junto con los andenes.

2.6 Diseño altimétrico.

La geometría de los ejes en alzado se establece mediante una sucesión de rectas con diferentes pendientes, que necesitan una curva de transición que puede ser cóncava o convexa. Estas curvas de transición se caracterizan mediante parábolas de segundo grado (k_v).

Los grandes radios de curvatura, evitan, entre otros muchos efectos, los movimientos verticales anormales en los vehículos debidos a efectos dinámicos, siendo más apreciable la falta de comodidad que experimentan los viajeros en los acuerdos convexos, que en los cóncavos.

El signo de dicha inclinación depende del sentido de la circulación. El signo de K_v es negativo en el caso de que el acuerdo sea convexo y positivo para acuerdos cóncavos.

$$K_v = \frac{L}{\theta} = \frac{2 \cdot T}{\theta}$$

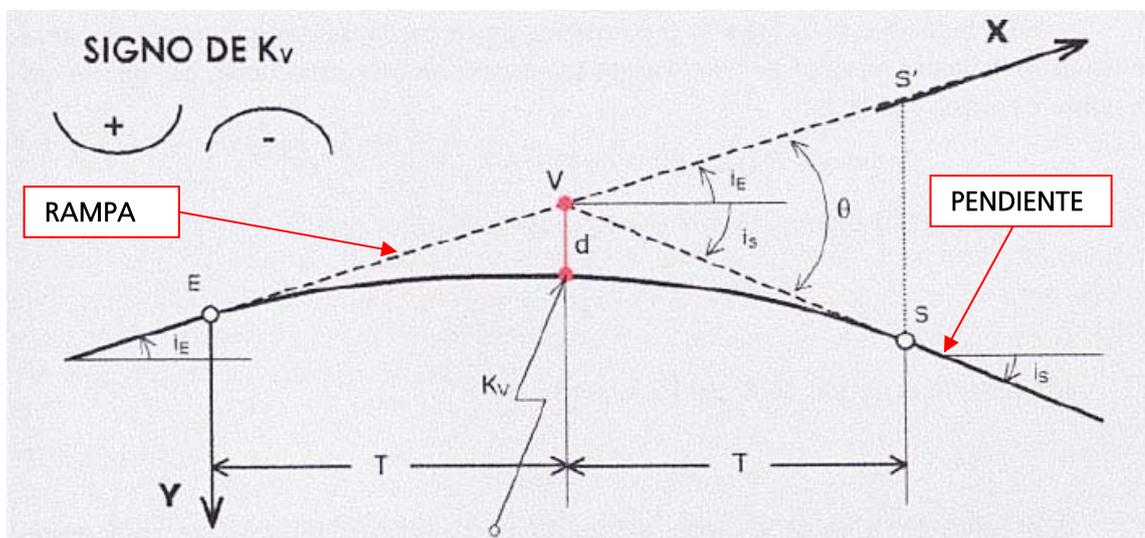


Figura 13 - Esquema de diseño altimétrico.

Se denomina rampa a los tramos en que se gana cota y pendiente a aquellos en los que se pierde.

Las rampas y pendientes surgen por la necesidad de ganar o perder cota de altura en el trazado, estando sus cambios condicionados por el terreno.

2.6.1 Descripción del trazado.

El trazado se inicia en rampa con un porcentaje del 25 por mil durante una longitud de 470m, la conexión entre ambas rectas se realiza mediante un k_v de 5000 durante una longitud de 135m, la siguiente alineación es en modo pendiente con un porcentaje del 2 por mil durante una longitud de 474m junto con un k_v 4822 en una longitud de 45m hasta su llegada a toperas a la cota 12.64 al uno por mil en rampa.

La llegada a toperas se realiza en contrapendiente del uno por mil debido a que no hay espacio suficiente para poder albergar una doble composición de 400m, salvar los condicionamientos físicos del trazado y lograr llegar a cota en toda la longitud del andén.

El resto de vías proyectan la cota de dicho perfil al suyo propio para poder mantener todas las vías en el mismo plano ferroviario.

2.6.2 Caracterización geométrica de los ejes en alzado.

La longitud de las alineaciones rectas, el parámetro y las cotas vienen designadas en metros.

La bisección del ángulo viene expresada en grados centesimales.

El Pk, la pendiente y su diferencia es adimensional.

Eje 1: Eje de aproximación a la playa de vías por el corredor ferroviario.

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK	COTA (m)		
					0.000	-0.239				
25.000	107.999	4000.000	537.626	13.201	483.626	11.851	591.626	13.093	0.364	-2.700
-2.000							1011.142	12.254		

Tabla 18.- Caracterización geométrica en alzado del eje 1.

Eje 2: Eje de aproximación a la playa de vías por el corredor ferroviario.

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK	COTA (m)		
					0.000	-0.202				
24.933432	107.734	4000.000	537.573	13.201	483.706	11.858	591.440	13.093	0.363	-2.693
-2.000000							1011.142	12.254		

Tabla 19.- Caracterización geométrica en alzado del eje 2.

Eje 3: Eje de aproximación a la topera nº1.

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK	COTA (m)		
					0.000	12.267				
1.000000	0.000	0.000	80.740	12.348	80.740	12.348	80.740	12.348	0.000	0.001
							369.478	12.640		

Tabla 20.- Caracterización geométrica en alzado del eje 3.



Eje 4: Eje de aproximación a la topera nº2.

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK	COTA (m)		
					0.000	12.267				
1.000000	0.000	0.000	80.740	12.348	80.740	12.348	80.740	12.348	0.000	0.001
1.011850							369.478	12.640		

Tabla 21.- Caracterización geométrica en alzado del eje 4.

Eje 5: Eje de aproximación a la topera nº3.

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK	COTA (m)		
					0.000	12.127				
1.023000	0.000	0.000	177.581	12.309	177.581	12.309	177.581	12.309	0.000	0.001
1.032000							498.351	12.640		

Tabla 22.- Caracterización geométrica en alzado del eje 5.

Eje 6: Eje de aproximación a la topera nº4.

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK	COTA (m)		
					0.000	12.116				
1.037160							504.415	12.639		

Tabla 23.- Caracterización geométrica en alzado del eje 6.

Eje 7: Eje de aproximación a la topera nº5.

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK	COTA (m)		
					0.000	12.222				
1.043485							400.485	12.640		

Tabla 24.- Caracterización geométrica en alzado del eje 7.

Eje 8: Eje de aproximación a la topera nº6.

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK	COTA (m)		
					0.000	12.174				
1.035895	0.000	0.000	9.478	12.184	9.478	12.184	9.478	12.184	0.000	0.002
1.053000							442.889	12.640		

Tabla 24.- Caracterización geométrica en alzado del eje 8.



Eje 9: Eje de conexión de vía 1 a eje 5 y 6.

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK			
					14.387	12.174				
-1.035895	45.000	14822.647	121.563	12.063	99.063	12.086	144.063	12.108	0.017	0.304
2.000000							217.174	12.254		

Tabla 25.- Caracterización geométrica en alzado del eje 9.

Eje 10: Eje de conexión de vía 2 con la playa de vías

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK			
					0.000	12.713				
-1.053000	5.000	64935.065	468.527	12.220	466.027	12.222	471.027	12.217	0.000	-0.008
-1.130000	5.000	58227.553	560.170	12.116	557.670	12.119	562.670	12.113	0.000	0.009
-1.044130	32.000	10512.035	612.675	12.061	596.675	12.078	628.675	12.093	0.012	0.304
2.000000							709.043	12.254		

Tabla 26.- Caracterización geométrica en planta del eje 10.

Eje 11: Eje de escape entre vías 2 y 3

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK			
					0.000	12.278				
1.007937							126.000	12.405		

Tabla 27.- Caracterización geométrica en planta del eje 11.

Eje 12: Eje de escape entre vías 4 y 5.

PENDTE.	LONG. (m)	PARAMETRO	VERTICE		ENTRAD ACUERD		SALIDA ACUERD		BISECT	DIF. PDTE
			PK	COTA (m)	PK	COTA (m)	PK			
					0.000	12.306				
1.041283							97.860	12.408		

Tabla 28.- Caracterización geométrica en planta del eje 12.

2.6.3 Caracterización gráfica de los ejes en alzado.

El resultado grafico de dicha caracterización es el siguiente:





LONGITUDINAL UIC VÍA 1

ESCALA
HORIZONTAL 1/500
VERTICAL 1/1000

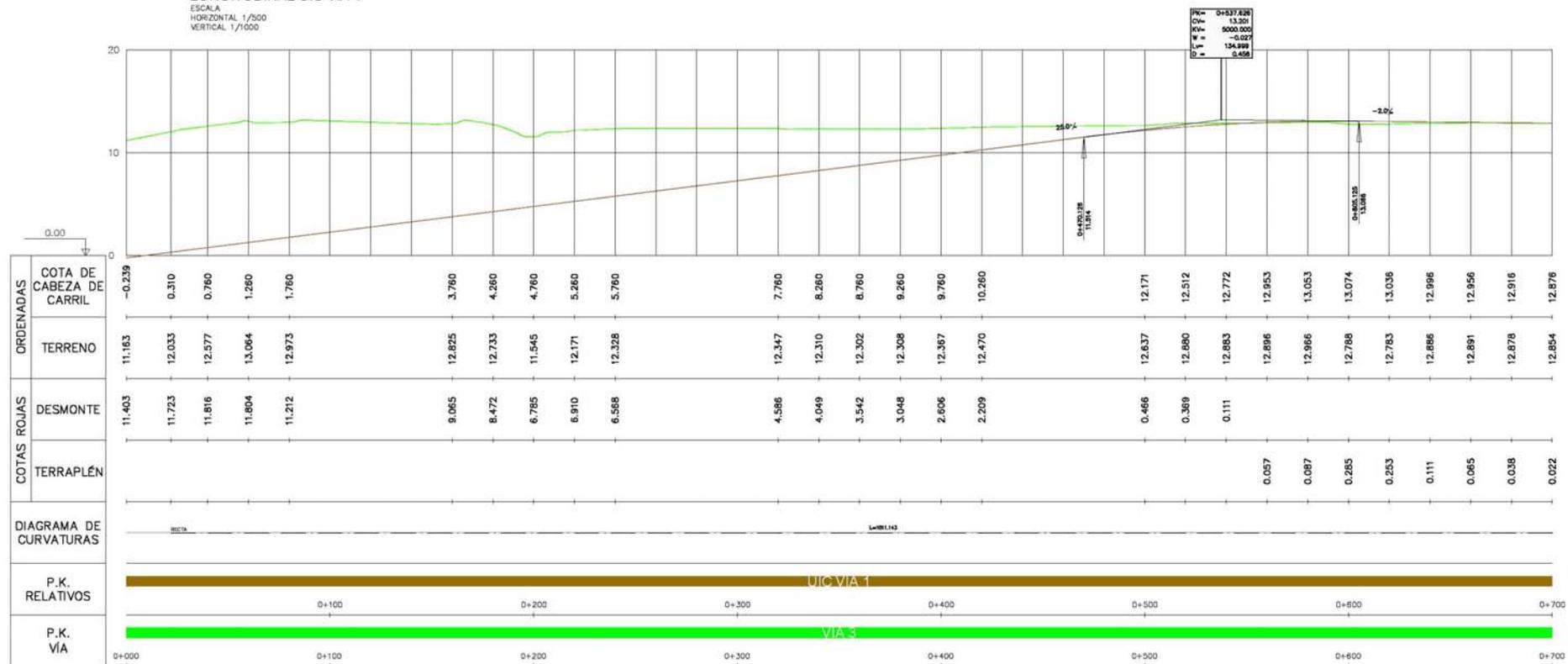
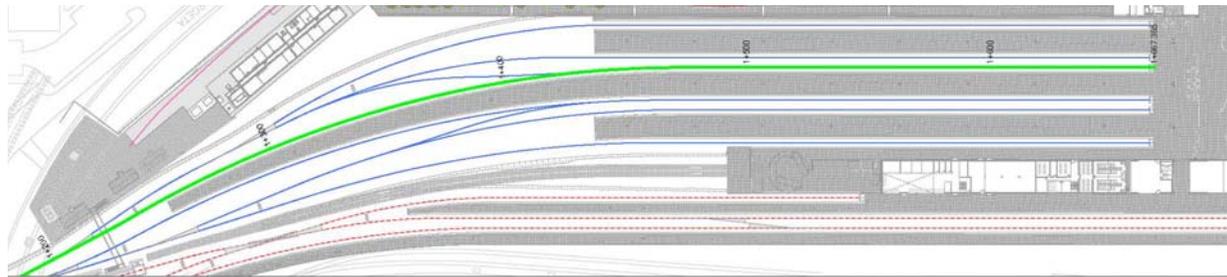


Figura 14.- Diseño longitudinal 1/3.





LONGITUDINAL VÍA 3

ESCALA
HORIZONTAL 1/500
VERTICAL 1/1000

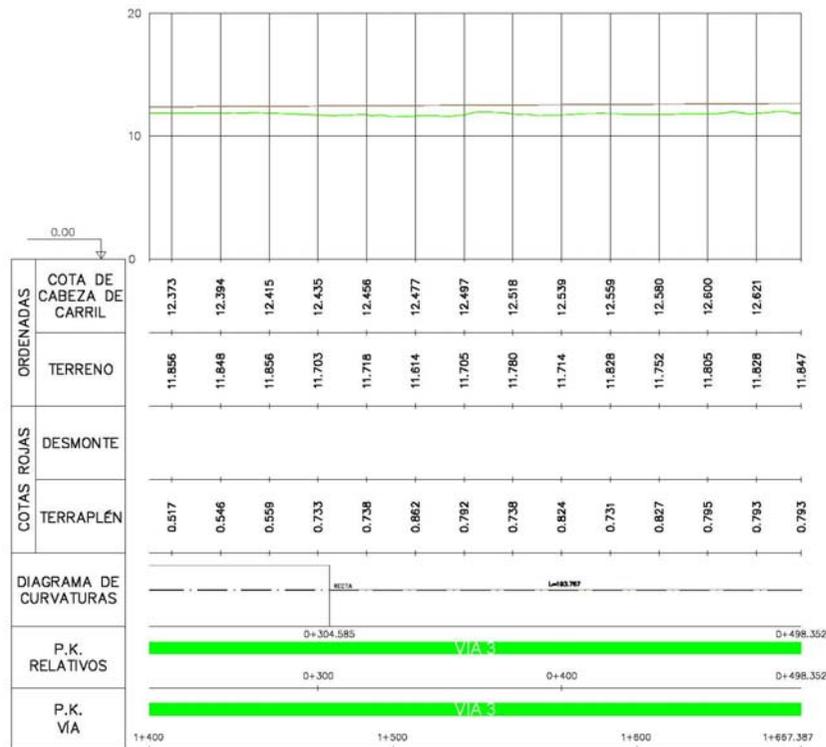


Figura 16.- Diseño longitudinal 3/3.



2.7 Determinación de secciones tipo.

Para terminar el diseño ferroviario se definirá la sección tipo que debe de aplicarse al trazado en planta y en alzado.

Debido a los condicionamientos espaciales y arquitectónicos se ha optado por la definición de seis secciones tipo, las cuales pueden agruparse en tres grupos diferentes:

- Sección tipo mediante plataforma en RHEDA 2000.
Este tipo de sección tipo se utilizara mientras el trazado ferroviario discurra de forma subterránea hasta llegar a la superficie.
- Sección tipo mediante plataforma en balasto.
Esta sección tipo será utilizada cuando el trazado discurra en superficie, en todo el recorrido intermedio del trazado.
- Sección tipo mediante plataforma en vía en placa Edilon.
Este tipo de sección tipo se utilizara en la zona cercana a toperas dado que su montaje favorece las labores de mantenimiento y limpieza.



A partir del pK 0+160 hasta el 0+220 se opta por sustituir la contrabóveda por una losa de espesor 0.7m hasta sobrepasar el nivel freático y seguidamente este espesor se reduce a 0.5m eliminándose la losa superior y quedando el trazado entre muros que secuencialmente estos se van reduciendo hasta su salida a superficie pK 0+480, según muestran las figuras 18 y 19.

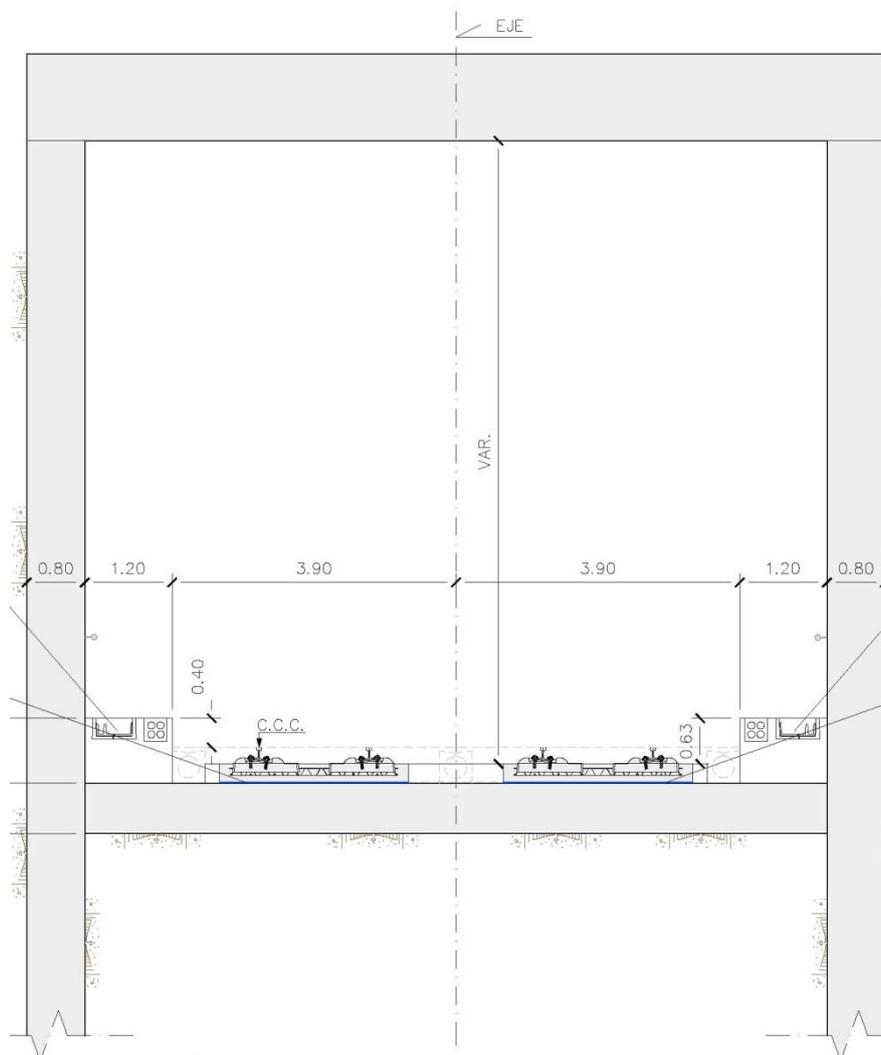


Figura 18.- Sección tipo con losa superior e inferior con vía en placa RHEDA 2000.

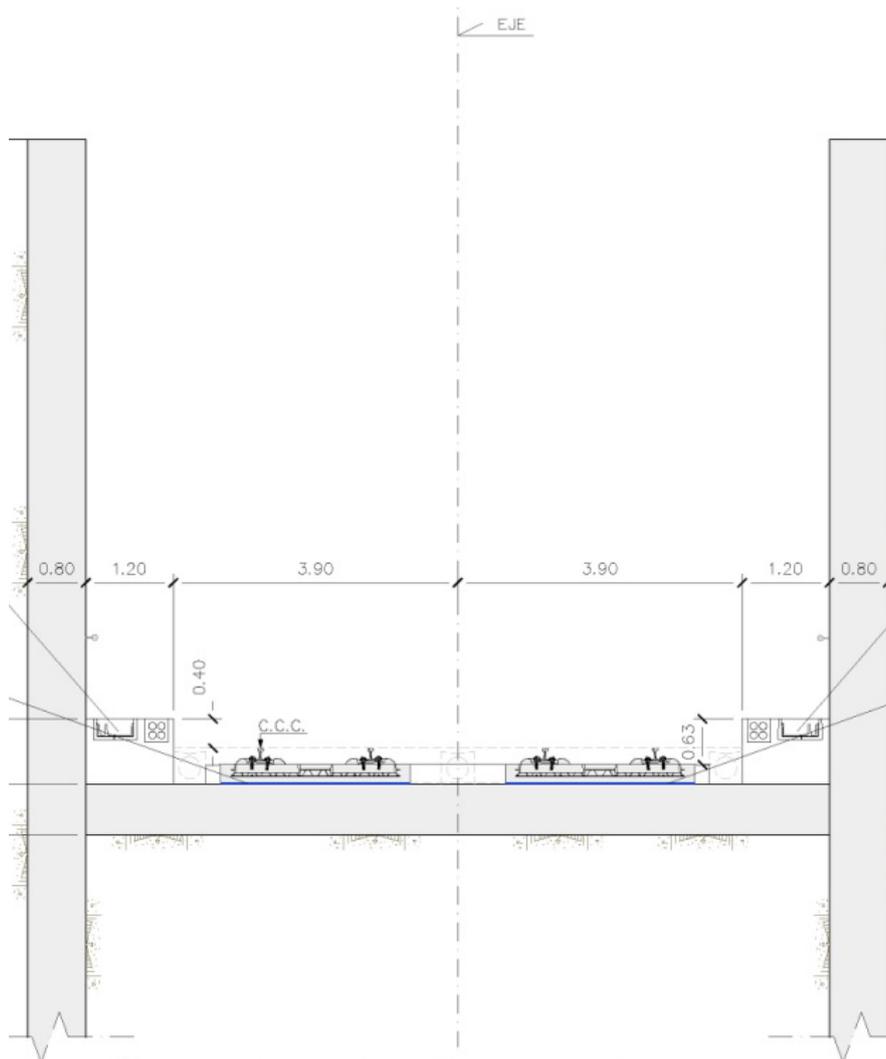


Figura 19.- Sección tipo con losa inferior con vía en placa RHEDA 2000.

Del pK 0+480 hasta el 1+011,142 el trazado discurre en superficie con una plataforma montada en balasto hasta su llegada a la plataforma en Edilon, según muestra la figura 20.

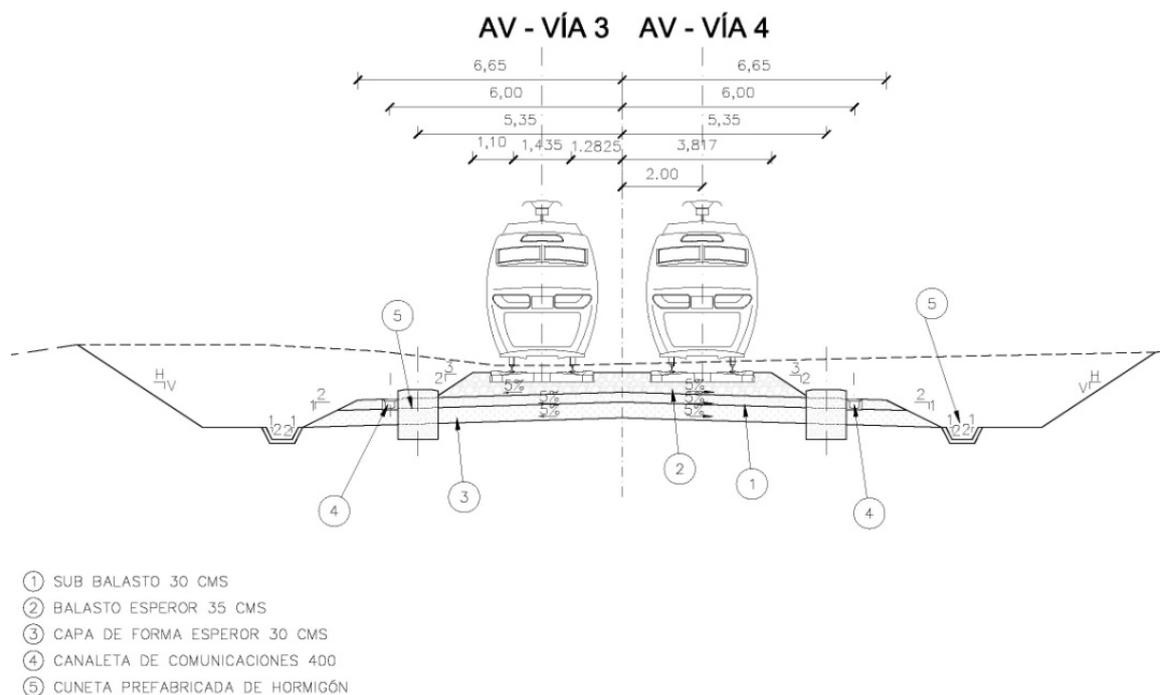
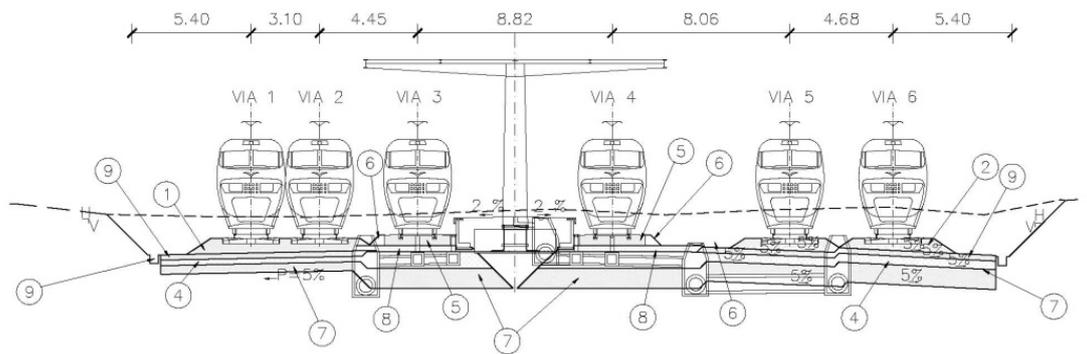


Figura 20.- Sección tipo en balasto y superficie.

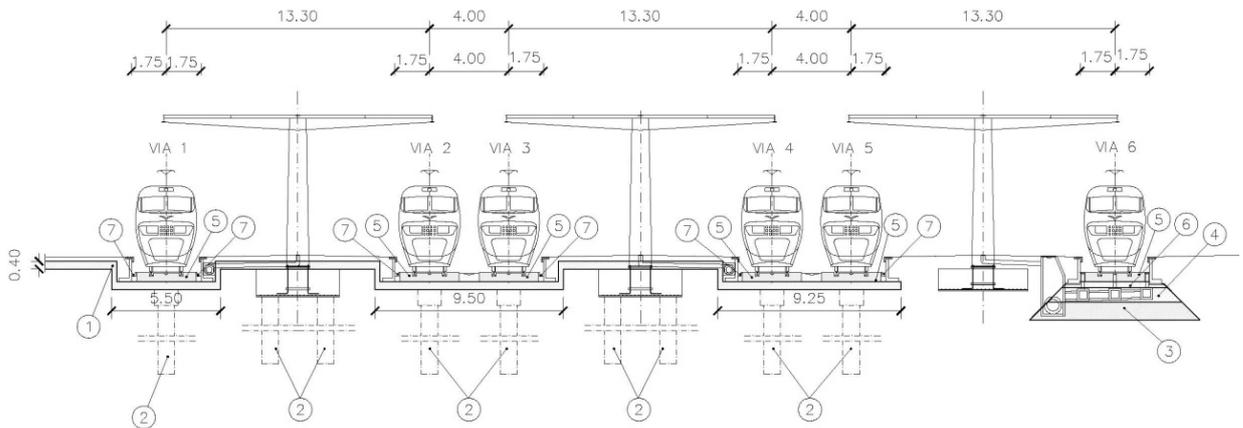
Esta misma sección se mantiene en el recto de los ejes hasta la llegada a los andenes cortos de la estación, quedando la sección tipo en la playa de vías según muestra la figura 21.



- ① BALASTO ENCOLADO SEGÚN CUÑA DE TRANSICIÓN
- ② BALASTO ESPEROR 35 CMS
- ③ GRAVA CEMENTO SEGÚN CUÑA DE TRANSICIÓN
- ④ CAPA DE FORMA 25 CMS
- ⑤ VIA EN PLACA
- ⑥ RELLENO DE HORMIGÓN HM-150
- ⑦ TERRENO SELECCIONADO 90 CMS
- ⑧ SUELO CEMENTO 30 CMS
- ⑨ CUNETETA REVESTIDA

Figura 21.- Sección tipo en balasto en superficie dentro de la playa de vías.

Desde el inicio de los andenes cortos hasta la llegada a toperas la sección tipo a utilizar es la de montaje de vía en placa Edilon, sustentada en pilotes, quedando la sección tipo de la siguiente forma:



- ① LOSA DE HORMIGÓN
- ② PILOTE
- ③ TERRENO SELECCIONADO 90 CMS
- ④ CAPA DE FORMA 25 CMS
- ⑤ VIA EN PLACA
- ⑥ SUELO CEMENTO
- ⑦ CAZ

Figura 22.- Sección tipo vía Edilon hasta la llegada a toperas.



3. Resultados.

Como resultado final se obtiene un trazado ferroviario en ancho UIC, con tres tipos de plataforma(Rheda 2000, Edilon y Balasto) con su llegada en contrapendiente a toperas y con andenes curvos que han provocado que el diseño haya sido objeto de un estudio de gálibos para su correcto trazado.

Obteniendo como resultado de gálibos:

MATERIAL RODANTE	TIPO	INTERIOR	EXTERIOR
SERIE 130	Total Estricto	1.56	1.63
	T. Mantenimiento	1.58	1.64
SERIE 102-112	Total Estricto	1.56	1.64
	T. Mantenimiento	1.58	1.65
SERIE 120	Total Estricto	1.61	1.64
	T. Mantenimiento	1.64	1.65

Tabla 5.- Resumen de gálibos para cada una de las series.

Por tanto estos datos muestran que para los vehículos previstos en la explotación de la línea (S-130, S-102 y S-112) el ancho de 1.65 es óptimo para salvaguardar la seguridad del vehículo a la pieza de borde de andén, permitiendo esta distancia un embarque y desembarque optimo a los pasajeros.

4. Discusión.

Desde el punto de vista del diseño, si se compara este trazado con el de cualquier estación en ancho UIC de España, se podrá comprobar que la tónica general es que los andenes de las estaciones se encuentren siempre en una alineación recta pudiendo ser pasante a la estación o en fondo de saco.

Generalmente las vías a su paso por los andenes poseen una pendiente nula o constate, como ejemplo tenemos las estaciones de Villena, Requena, Albacete los Llanos, Guadalajara o Segovia. Raros son los casos de encontrar un diseño ferroviario con vías haciendo su llegada en fondo de saco y con contrapendiente negativa al avance del mismo.

Todo este tipo de condicionantes es lo que hacen que este tipo de diseño difiera técnicamente de ser un trazado estandarizado.

Comparando los resultados UNE obtenidos, con los ofrecidos de forma estática en la tabla UIC-505, se puede observar que dicho gálibo supera el estático UIC-505 en 3cm, puesto que se han tenido presente el estudio desde el punto de vista cinemático y no estático, dando una mayor seguridad y fiabilidad al trazado, como muestra la figura 23.

Esto pone de manifiesto que estudiar el galibo desde el punto de vista cinemático da mayor rigor a la obtención del galibo, y permite poseer un dato que se ajustara de forma más fidedigna a la realidad.



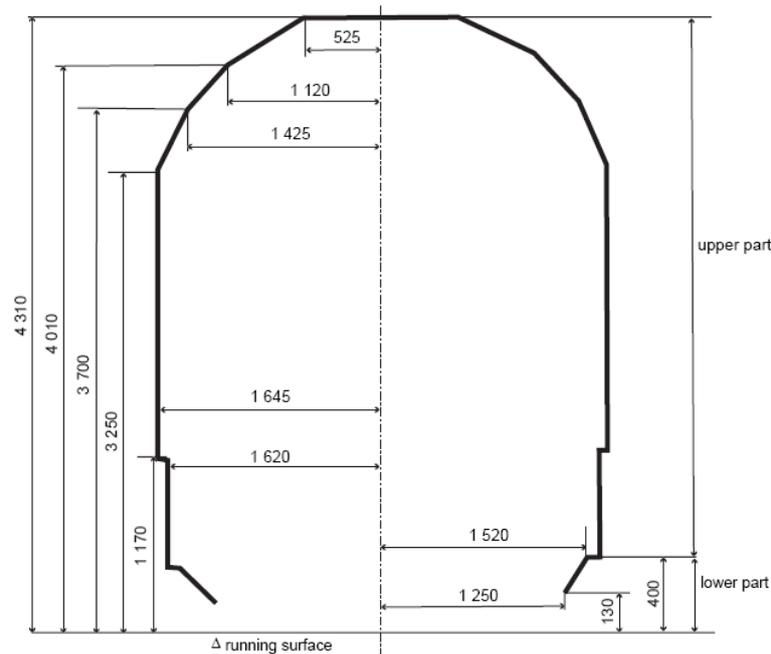


Figura 23.- Gálibos estáticos UIC-505.

5. Conclusiones.

Desde el punto de vista del diseño ferroviario, se ha logrado encajar un trazado ferroviario de la llegada a una estación con seis diferentes vías, en una longitud aproximada de kilómetro y medio, situando en el mismo los correspondientes escapes, desvíos y travesías de unión doble. Este diseño ha permitido que los vehículos hagan su llegada a toperas, de las diferentes composiciones, en contrapendiente del uno por mil y con múltiples condicionantes arquitectónicos impuestos de forma inicial

Desde el punto de vista del estudio de gálibos ferroviarios los resultados obtenidos son muy similares a los ofrecidos de forma estática en las fichas UIC-505, debido a que el vehículo viaja a velocidades de deceleración ($V_{max} = 30\text{Km/h}$) y sin peralte, teniendo presente que el trazado posee en sus dos escapes tanto de vías 2 a 3 como de 4 a 5 cambios bruscos de alineaciones dentro del ámbito del andén, que pueda forzar un movimiento inesperado de la caja del vehículo y que dicho cálculo permitirá asegurar la seguridad del vehículo así como de los viajeros.

6. Referencias.

AENOR, 2009. Railway applications - Gauges - Part 1: Structure gauges. UNE-EN15273-1, AENOR, 32-40

AENOR, 2009. Railway applications - Gauges - Part 3: Structure gauges. UNE-EN15273-3, AENOR, 29-30

Villaronte, 2012, Geometría de la vía. (Eds.), Tecnología e ingeniería ferroviaria, Delta publicaciones, Madrid, España, pp. 93-116.

Villaronte, 2012, Aparatos de vía. (Eds.), Tecnología e ingeniería ferroviaria, Delta publicaciones, Madrid, España, pp 213-247.

Renfe, 2013. Ficha técnica de material móvil, www.renfe.com/ (Accesible 24-Jun-2013)

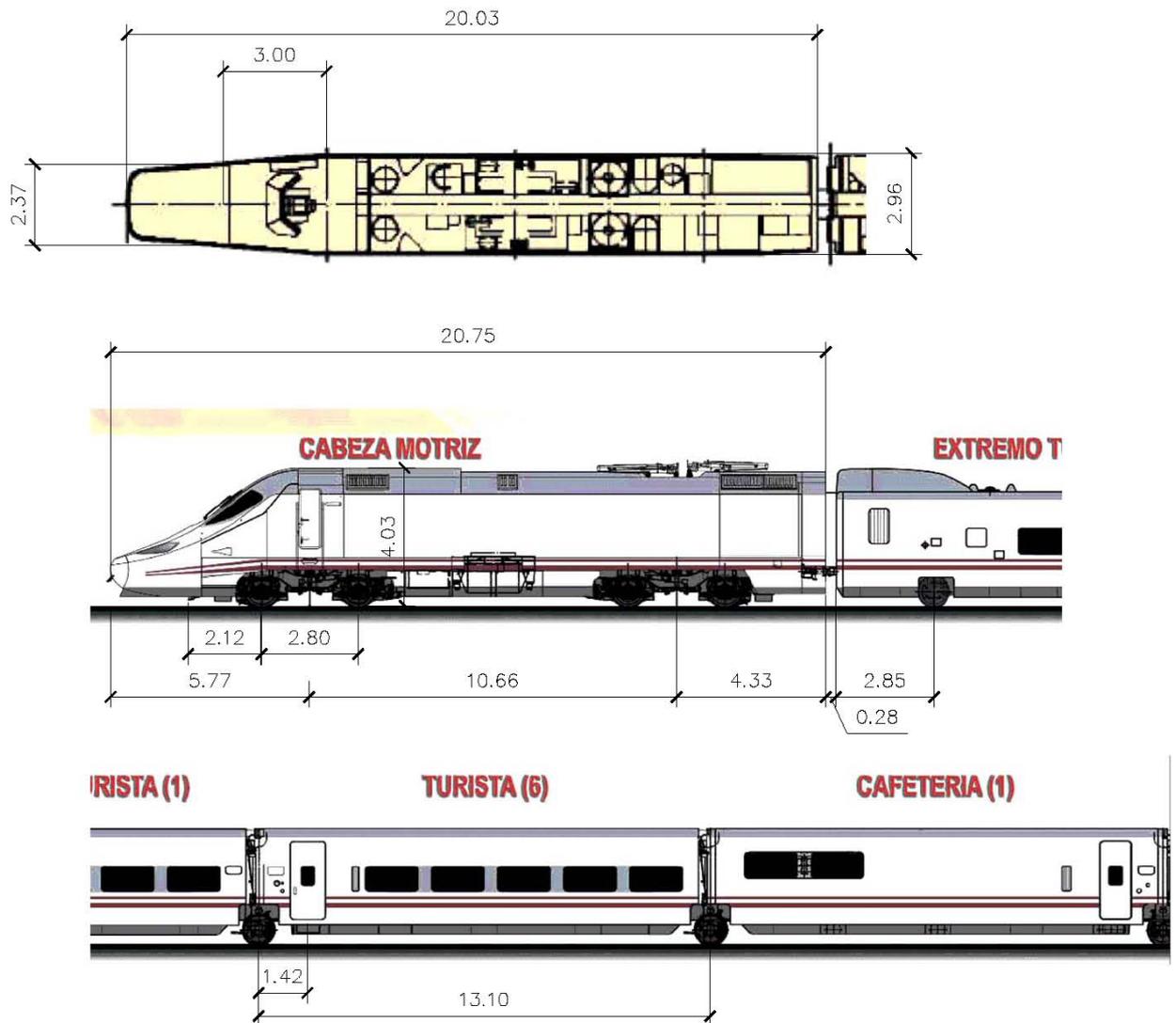


ANEXO 1- Cálculo de gálibos y caracterización geométrica.



Caracterización geométrica S-130:

El vehículo a analizar es el Talgo 250 de la serie S-130, para ello a partir de las especificaciones técnicas del vehículo se ha escalado el mismo y se han acotado cada una de las distancias susceptibles de estudio.



Datos generales S -130:

H(m)	Altura de andén	0.7600
hc(m)	Altura cdg respecto carril	0.5000
s	Coefficiente flexibilidad suspensión	0.4000
velocidad (km/k)	Velocidad del tramo de curva	30.0000
peralte de equilibrio eq (m)		0.0236
peralte real(m)		0.0000
E(m)	Exceso de altura de carril	0.0472
l(m)	Déficit de altura de carril	0.0472
E0(m)	Exceso de Peralte real a colocar	0.0236
l0(m)	Déficit de peralte real a colocar	0.0236
anc (m/s ²)	Aceleración no compensada por insuf peralte	0.1613
Fnc(N)p	Fuerza lateral no compensada susp primaria	8872.0557
Fnc(N)s	Fuerza lateral no compensada susp secundaria	7984.8502
b(m)	Ancho del vehículo	2.9600
av(m)	Distancia entre pivotes de bogies en vagón	13.1000
ap(m)	Distancia entre pivotes de bogies en locomotora	10.6600
ni	Distancia entre sección y pivote próximo. Sección interior	6.5500
ne	Distancia entre sección y pivote próximo. Sección exterior	4.4000
p	Distancia entre ejes de bogies próximos	2.8000
d	Distancia exterior entre pestañas de ruedas a 10mm bajo sup.rod.	1.4260
L	Distancia entre ejes de carriles	1.5000
ln	Distancia nominal entre cara int de carriles	1.4350
lmáx	Distancia máxima entre cara int de carriles	1.4650
q	Juego lateral entre eje y bastidor de bogie	0.0050
m(kg)	Masa del material móvil transmitido a suspensión primaria	55000.0000
m(kg)	Masa del material móvil transmitido a susp secundaria	49500.0000
Kyp(N/m)	Rigidez de un muelle de la suspensión primaria	7500000.0000
Kys(N/m)	Rigidez de un muelle de la suspensión secundaria	253000.0000
w00i	Juego lateral entre bastidor de bogie y caja en recta.z.interior.Ver tablas	0.0140
w00e	Juego lateral entre bastidor de bogie y caja en recta.z.exterior.Ver tablas	0.0140
z	Desviación respecto posic med por incl. Cuasiestática y disimetría	0.0100
R	Radio de la curva	450.0000
Td	holgura movimiento eje respecto teórico en planta	0.0250
Tc	Holgura movimiento relativo carriles resp. Teórico	0.0200
Tosci	Angulo de inclinación (°) interior curva	0.2000
Tosce	Angulo de inclinación (°) exterior curva	0.6000
Tcharge	Angulo disimetría carga	0.7700
Tsusp	Angulo ajuste suspensión	0.2300
k	coeficiente seguridad suma de cuadrados	1.2000



Cálculo geométrico.

El desarrollo de los cálculos únicamente se hará para este ejemplo y en los demás se hará únicamente la presentación de los cálculos.

dgi	0.0323
Dga	0.0858

Dgi+dgi con bogie	0.0498
Dga+dgi con bogie	0.073

$$dga = \frac{n_a \cdot (a+n_a)}{2R} - \frac{p^2}{8 \cdot R} = \frac{4.40 \cdot (10.66+4.40)}{2 \cdot 450} - \frac{2.8^2}{8 \cdot 450} = 0.073\text{m}$$

$$dgi = \frac{n_i \cdot (a-n_i)}{2R} - \frac{p^2}{8 \cdot R} = \frac{6.55 \cdot (10.66-6.55)}{2 \cdot 450} - \frac{2.8^2}{8 \cdot 450} = 0.0498\text{m}$$

Holguras interiores.

HOLGURAS INTERIORES			
Tipo	Coef. Ponderación	Valor	Valor Ponderado.
Eje de vía	1	0.0045	0.0045
Eje y bogie	1	0.0050	0.005
Bogie y caja	1	0.0079	0.0079

- Holgura entre ejes y vía (j).

$$j = \frac{l-d}{2} = \frac{1.435-1.426}{2} = 0.0045\text{m}$$

- Holgura entre ejes y vía (q).

El término q se obtiene despejando de la ecuación:

$$F_{LNC} = 8 \cdot K_Y \cdot q.$$

$$q = \frac{F_{LNC}}{8 \cdot K_Y}$$



La fuerza debido a la aceleración no compensada se obtiene conociendo la aceleración no compensada

Por tanto la ecuación que define la aceleración no compensada es:

$$\gamma' = \frac{g \cdot \varepsilon}{l}$$

Para poder tener un resultado de la siguiente expresión se debe de conocer el término ε que hace referencia al peralte de equilibrio mediante la siguiente expresión:

$$D_e = \frac{l \cdot v^2}{g \cdot R} = \frac{1.5 \cdot 30^2}{9.8 \cdot 450} = 0.0236$$

Las unidades de la velocidad hay que ponerlas en coordenadas homogéneas.

$$\gamma' = \frac{g \cdot \varepsilon}{l} = \frac{9.81 \cdot (0.0236 - 0)}{1.435} = 0.1613$$

Sabiendo que:

$$F = m \cdot a = 49500 \cdot 0.1613 = 8872.0557$$

Sustituyendo:

$$q = \frac{F_{LNC}}{8 \cdot K_Y} = \frac{8872.0557}{8 \cdot 7.5 \cdot 10^6} < 0.005 = 0.005$$

El resultado obtenido es menor que 0.005 por lo tanto se adopta este resultado ya que es la máxima deformación que se puede dar en q.

- Holgura entre el bastidor del bogie y la caja (w)

El cálculo del término w se logra mediante:

$$F_{LNC} = 4 \cdot K_Y \cdot w = \frac{F_{LNC}}{4 \cdot K_Y} = \frac{7984.85}{4 \cdot 7.5 \cdot 10^6} = 0.0079$$

Estos resultados se multiplican por el factor corrector:

Holgura	Coefficientes	Resultado	Coefficiente x Resultado
j	1	0.0045	0.0045
q	1	0.0050	0.0050
w	1	0.0079	0.0079
TOTAL			0.0174



Holguras exteriores.

Coefficiente:

$$\frac{2n + a}{a} = \frac{2 \cdot 5.77 + 10.66}{10.66} = 2.082$$

Holgura	Coefficientes	Resultado	Coefficiente x Resultado
j	2.0826	0.0045	0.0094
q	2.0826	0.0050	0.0104
w	1.5413	0.0079	0.0079
TOTAL			0.0319

Salientes.

$$\frac{3.5}{R} + \frac{l - 1.435}{2} = \frac{3.5}{450} + \frac{1.435 - 1.435}{2} = 0.0078$$

Efectos cuasiestaticos.

$$Q_{si} = S \cdot \frac{I - I_0}{L} \cdot (h - h_0) = 0.4 \cdot \frac{0.0472}{1.5} \cdot (0.76 - 0.5) = 0.0016$$

$$Q_{sa} = S \cdot \frac{E - E_0}{L} \cdot (h - h_0) = 0.4 \cdot \frac{0.0472}{1.5} \cdot (0.76 - 0.5) = 0.0016$$

Fenómenos aleatorios.

- Desplazamiento de vía.

$$T_{\text{TRACK}} = 0.025$$

- Desviación del peralte.

$$T_D = S_0 \cdot \frac{T_D}{L} \cdot h = 0.4 \cdot \frac{0.02}{1.5} \cdot 0.76 = 0.004$$



➤ Oscilaciones.

-Oscilación Interior.

Según la tabla B1 de la norma EN 15273-3:2009 los valores interiores recomendados para $T_{OSC} = 0.007$.

-Oscilación Exterior.

Según la tabla B1 de la norma EN 15273-3:2009 los valores exteriores recomendados para $T_{OSC} = 0.039$.

➤ Disimetría.

-Suspensión, Según la tabla B1 de la norma EN 15273-3:2009 los valores recomendados para $T_{SUSP} = 0.23$, este ángulo provoca un desfase en el andén de 0.0035.

-Carga, Según la tabla B1 de la norma EN 15273-3:2009 los valores recomendados para $T_{LOAD} = 0.77$, este ángulo provoca un desfase en el andén de 0.001.

Cálculo del gálibo a partir del semiancho de la caja.

Cálculo del gálibo límite a la infraestructura [m]

$$b_{structure} \geq b_{RP} + S_{I/A} + Q_{I/A} + \sum_j =$$

El gálibo estricto es el sumatorio de los M1 mientras que el gálibo de mantenimiento es el sumatorio de M1+M2.

➤ GáliboM1:

$$M1 = K \cdot \sqrt{T_{OSC}^2 + T_{SUSP}^2 + T_{LOAD}^2} =$$

- Interior:

$$M1 = 1.2 \cdot \sqrt{0.007^2 + 0.0035^2 + 0.001^2} = 0.0095$$

- Exterior:

$$M1 = 1.2 \cdot \sqrt{0.039^2 + 0.0035^2 + 0.001^2} = 0.047$$

➤ GáliboM2:

$$M2 = K \cdot \sqrt{T_{OSC}^2 + T_{SUSP}^2 + T_{LOAD}^2 + T_D^2 + T_{TRACK}^2} =$$

- Interior:

$$M2 = 1.2 \cdot \sqrt{0.007^2 + 0.0035^2 + 0.001^2 + 0.004^2 + 0.0250^2} = 0.032$$

- Exterior:

$$M2 = K \cdot \sqrt{0.0039^2 + 0.0035^2 + 0.001^2 + 0.004^2 + 0.0250^2} = 0.056$$



Interior estricto:

$$b_{structure} \geq 1.48 + (0.0498 + 0.0174) + 0.0016 + 0.0083 + 0.0095 = 1.566$$

Exterior estricto:

$$b_{structure} \geq 1.48 + (0.071 + 0.028) + 0.0016 + 0.0083 + 0.047 = 1.636$$

Interior mantenimiento:

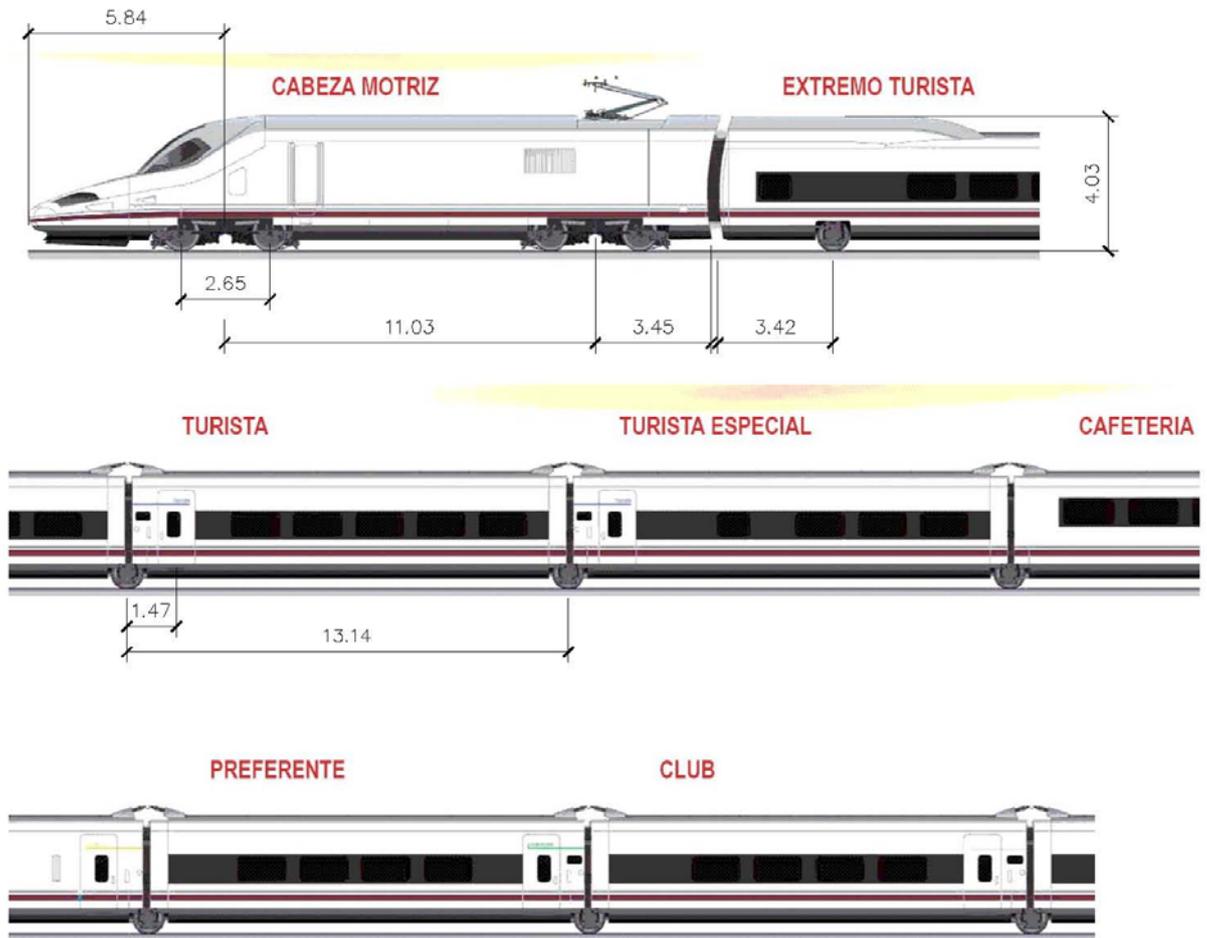
$$b_{structure} \geq 1.48 + (0.0498 + 0.0174) + 0.0016 + 0.0083 + 0.032 = 1.589$$

Exterior mantenimiento:

$$b_{structure} \geq 1.48 + (0.071 + 0.028) + 0.0016 + 0.0083 + 0.056 = 1.645$$



Caracterización geométrica S -102 S-112:



Datos generales S -102 S-112:

H(m)	Altura de andén	0.7600
hc(m)	Altura cdg respecto carril	0.5000
s	Coefficiente flexibilidad suspensión	0.4000
velocidad (km/k)	Velocidad del tramo de curva	30.0000
peralte de equilibrio eq (m)		0.0236
peralte real(m)		0.0000
E(m)	Exceso de altura de carril	0.0472
I(m)	Déficit de altura de carril	0.0472
E0(m)	Exceso de Peralte real a colocar	0.0236
I0(m)	Déficit de peralte real a colocar	0.0236
anc (m/s2)	Aceleración no compensada por insuf peralte	0.1613
Fnc(N)p	Fuerza lateral no compensada susp primaria	8872.0557
Fnc(N)s	Fuerza lateral no compensada susp secundaria	7984.8502
b(m)	Ancho del vehículo	2.9600
av(m)	Distancia entre pivotes de bogies en vagón	13.1000
ap(m)	Distancia entre pivotes de bogies en locomotora	11.0300
ni	Distancia entre sección y pivote próximo. Sección interior	6.5500
ne	Distancia entre sección y pivote próximo. Sección exterior	4.5100
p	Distancia entre ejes de bogies próximos	2.6500
d	Distancia exterior entre pestañas de ruedas a 10mm bajo sup.rod.	1.4260
L	Distancia entre ejes de carriles	1.5000
In	Distancia nominal entre cara int de carriles	1.4350
Imáx	Distancia máxima entre cara int de carriles	1.4650
q	Juego lateral entre eje y bastidor de bogie	0.0050
m(kg)	Masa del material móvil transmitido a suspensión primaria	55000.0000
m(kg)	Masa del material móvil transmitido a susp secundaria	49500.0000
Kyp(N/m)	Rigidez de un muelle de la suspensión primaria	7500000.0000
Kys(N/m)	Rigidez de un muelle de la suspensión secundaria	253000.0000
w00i	Juego lateral entre bastidor de bogie y caja en recta.z.interior.Ver tablas	0.0140
w00e	Juego lateral entre bastidor de bogie y caja en recta.z.exterior.Ver tablas	0.0140
z	Desviación respecto posic med por incl. Cuasiestática y disimetría	0.0100
R	Radio de la curva	450.0000
Td	holgura movimiento eje respecto teórico en planta	0.0250
Tc	holgura movimiento relativo carriles resp. Teórico	0.0200
Tosci	Angulo de inclinación (°) interior curva	0.2000
Tosce	Angulo de inclinación (°) exterior curva	0.6000
Tcharge	Angulo disimetría carga	0.7700
Tsusp	Angulo ajuste suspensión	0.2300
k	coeficiente seguridad suma de cuadrados	1.2000



Cálculo S-102 y S-112

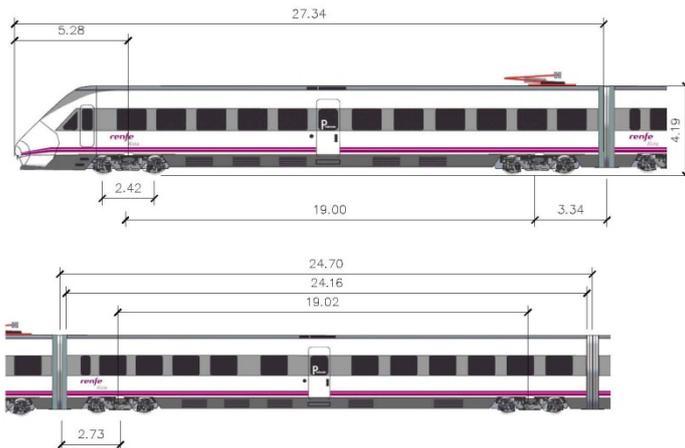
TIPO		SIMBOLO	VALOR
DESPLAZ. GEOMETRICO	INT	D _{GI}	0.0496
	EXT	D _{GA}	0.0759
HOLGURA INTERIOR.	ENTRE EJES	j	0.0045
	BAST- BOGIE	q	0.0050
	BOGIE-CAJ	w	0.0079
HOLGURA EXTERIOR.	ENTRE EJES	J	0.0082
	BAST- BOGIE	q	0.0091
	BOGIE-CAJ	w	0.0111
SALIENTES			0.0083
CUASIESTATICOS	INT	Q _{SI}	0.0016
	EXT	Q _{SE}	0.0016
ALEATORIOS	DESPLAZ. VÍA	T _{track}	0.025
	PERALTE	T _D	0.004
	OSCILACIONES INT.	T _{OSCI}	0.007
	OSCILACIONES EXT.	T _{OSCE}	0.039
	SUSPENSION	T _{SUSP}	0.0035
	CARGA	T _{LOAD}	0.001

TIPO	INTERIOR	EXTERIOR
CR material móvil	1.48	1.48
Desviac. Geom.	0.067	0.1043
Holguras		
Efecto. Cuasiestaticos	0.0016	0.0016
Salientes	0.0083	0.0083
M1	0.0095	0.0470
M2	0.0318	0.056

Total Estricto	1.565	1.641
T. Mantenimiento	1.588	1.650



Caracterización geométrica S-120 y S-121 (Material móvil más restrictivo)



Cálculo S-120 y S-121 (Material móvil más restrictivo)

H(m)	Altura de andén	0.7600
hc(m)	Altura cdg respecto carril	0.5000
s	Coefficiente flexibilidad suspensión	0.4000
velocidad (km/k)	Velocidad del tramo de curva	30.0000
peralte de equilibrio eq (m)		0.0236
peralte real(m)		0.0000
E(m)	Exceso de altura de carril	0.0472
l(m)	Déficit de altura de carril	0.0472
E0(m)	Exceso de Peralte real a colocar	0.0236
l0(m)	Déficit de peralte real a colocar	0.0236
anc (m/s ²)	Aceleración no compensada por insuf peralte	0.1613
Fnc(N)p	Fuerza lateral no compensada susp primaria	8872.0557
Fnc(N)s	Fuerza lateral no compensada susp secundaria	7984.8502
b(m)	Ancho del vehículo	2.9600
av(m)	Distancia entre pivotes de bogies en vagón	19.0000
ap(m)	Distancia entre pivotes de bogies en locomotora	19.0000
ni	Distancia entre sección y pivote próximo. Sección interior	9.5000
ne	Distancia entre sección y pivote próximo. Sección exterior	3.5000
p	Distancia entre ejes de bogies próximos	2.4200
d	Distancia exterior entre pestañas de ruedas a 10mm bajo sup.rod.	1.4260
L	Distancia entre ejes de carriles	1.5000
ln	Distancia nominal entre cara int de carriles	1.4350
lmáx	Distancia máxima entre cara int de carriles	1.4650
q	Juego lateral entre eje y bastidor de bogie	0.0050
m(kg)	Masa del material móvil transmitido a suspensión primaria	55000.0000
m(kg)	Masa del material móvil transmitido a susp secundaria	49500.0000
Kyp(N/m)	Rigidez de un muelle de la suspensión primaria	7500000.0000
Kys(N/m)	Rigidez de un muelle de la suspensión secundaria	253000.0000
w00i	Juego lateral entre bastidor de bogie y caja en recta.z.interior.Ver tablas	0.0140
w00e	Juego lateral entre bastidor de bogie y caja en recta.z.exterior.Ver tablas	0.0140
z	Desviación respecto posic med por incl. Cuasiestática y disimetría	0.0100
R	Radio de la curva	450.0000
Td	holgura movimiento eje respecto teórico en planta	0.0250
Tc	holgura movimiento relativo carriles resp. Teórico	0.0200
Tosci	Angulo de inclinación (°) interior curva	0.2000
Tosce	Angulo de inclinación (°) exterior curva	0.6000
Tcharge	Angulo disimetría carga	0.7700
Tsusp	Angulo ajuste suspensión	0.2300
k	coeficiente seguridad suma de cuadrados	1.2000



Cálculo S-120 y S-121

TIPO		SIMBOLO	VALOR
DESPLAZ. GEOMETRICO	INT	D _{GI}	0.1019
	EXT	D _{GA}	0.0859
HOLGURA INTERIOR.	ENTRE EJES	j	0.0045
	BAST- BOGIE	q	0.0050
	BOGIE-CAJ	w	0.0079
HOLGURA EXTERIOR.	ENTRE EJES	J	0.0062
	BAST- BOGIE	q	0.0068
	BOGIE-CAJ	w	0.0093
SALIENTES			0.0083
CUASIESTATICOS	INT	Q _{SI}	0.0016
	EXT	Q _{SE}	0.0016
ALEATORIOS	DESPLAZ. VÍA	T _{track}	0.025
	PERALTE	T _D	0.004
	OSCILACIONES INT.	T _{OSCI}	0.007
	OSCILACIONES EXT.	T _{OSCE}	0.039
	SUSPENSION	T _{SUSP}	0.0035
	CARGA	T _{LOAD}	0.001

TIPO	INTERIOR	EXTERIOR
CR material móvil	1.48	1.48
Desviac. Geom.	0.1193	0.1082
Holguras		
Efecto. Cuasiestaticos	0.0016	0.0016
Salientes	0.0083	0.0083
M1	0.0095	0.0470
M2	0.0318	0.056

Total Estricto	1.618	1.645
T. Mantenimiento	1.641	1.654

