

ANEJO 3

TRAZADO

Estudio básico del nuevo ramal ferroviario en la línea C3 de cercanías entre el P.K. 78+000 de la línea 310 Utiel-Valencia F.S.L. y el Centro Comercial Bonaire (T.M. de Aldaya, Valencia)

Álvaro Ibáñez Cerrillo

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	PARÁMETROS INICIALES DEL TRAZADO	5
2.1	Parámetros funcionales	7
2.2	Parámetros geométricos.....	7
3.	PARÁMETROS DE DISEÑO DEL TRAZADO.....	7
3.1	TRAZADO EN PLANTA.....	8
	Peralte	8
	Peralte teórico aproximado	8
	Peralte práctico	8
	Longitud de las curvas de transición	9
	Criterio de confort por elevación de la rueda exterior	9
	Criterio de seguridad frente a alabeo	10
	Criterio de confort por sobreaceleración.....	10
	Criterio de confort por insuficiencia de peralte respecto al tiempo.....	11
	Velocidad máxima en curva	13
	Criterio de confort.....	13
	Velocidad mínima en curva.....	13
	Variación del peralte respecto a la longitud	13
	Variación del peralte respecto al tiempo.....	14
	Exceso de peralte	14
	Parámetros de las clotoides	15
3.2	TRAZADO EN ALZADO	16
	Rampas de diseño	16
	Radio en acuerdo vertical.....	16
	Longitud del acuerdo vertical.....	17
4.	DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO EN PLANTA Y EN ALZADO.....	18
4.1	Planta.....	18
4.2	Alzado.....	19
5.	EXPLOTACIÓN FERROVIARIA	20

Índice de figuras

Figura 1. Vista general del trazado en planta del nuevo ramal ferroviario al C.C. Bonaire. Para consulta de mayor detalle, acudir al Documento 2. Planos “Plano 1. Planta general”. (Fuente: Elaboración propia mediante Civil 3D 2022)..... 5

Figura 2. Perfil de velocidades máximas del nuevo ramal. (Fuente: Elaboración propia en Excel) 21

Índice de tablas

Tabla 1. Datos preliminares. (Fuente: Elaboración propia)	6
Tabla 2. Valores máximos de asc para cada tipo de tren. (Fuente: Apuntes asignatura Ferrocarriles 3º GIC).....	6
Tabla 3. Parámetros funcionales para planta. (Fuente: N.A.P 1-2-1.0 y elaboración propia)	7
Tabla 4. Parámetros funcionales para alzado. (Fuente: N.A.P 1-2-1.0 y elaboración propia).....	7
Tabla 5. Parámetros geométricos para planta. (Fuente: N.A.P 1-2-1.0 y elaboración propia)	7
Tabla 6. Parámetros geométricos para alzado. (Fuente: N.A.P 1-2-1.0 y elaboración propia)	7
Tabla 7. Parámetros de las curvas de transición existentes. (Fuente: Elaboración propia)	15
Tabla 8. Estado de alineaciones en planta para la vía general. (Fuente: Civil 3D y elaboración propia)	18
Tabla 9. Estado de alineaciones en planta para la vía de apartado. (Fuente: Civil 3D y elaboración propia)	18
Tabla 10. Estado de rasantes en alzado para la vía general y apartado. (Fuente: Civil 3D y elaboración propia)	19

1. INTRODUCCIÓN

El fin del presente anejo es definir geométricamente los ejes en planta y en alzado de la alternativa propuesta como más idónea en el anterior anejo para el estudio básico del nuevo ramal ferroviario al C.C. Bonaire.

En primer lugar, se tendrán en cuenta parámetros geométricos y funcionales de trazado iniciales que han sido adoptados de la Norma ADIF Plataforma N.A.P. 1-2-1.0 “Metodología para el diseño del trazado ferroviario”.

A continuación se calcularán los distintos parámetros para el diseño del trazado, así como las correspondientes comprobaciones que aseguren que son correctos para los condicionantes geométricos y funcionales iniciales.

Por último se describirá minuciosamente el trazado en planta y en alzado, incluyendo un resumen de los parámetros de mayor importancia en los respectivos estados de alineaciones, y se calculará la velocidad de explotación de la línea.



Figura 1. Vista general del trazado en planta del nuevo ramal ferroviario al C.C. Bonaire. Para consulta de mayor detalle, acudir al Documento 2. Planos “Plano 1. Planta general”. (Fuente: Elaboración propia mediante Civil 3D 2022)

2. PARÁMETROS INICIALES DEL TRAZADO

En este primer apartado se van a indicar los parámetros preliminares, funcionales y geométricos del nuevo trazado de ferrocarril a estudiar.

En cuanto a los criterios preliminares, el nuevo ramal ferroviario al C.C. Bonaire estará dotado de plataforma apta para vía única sin electrificar de ancho ibérico (1668 mm), con traviesa monobloque de hormigón polivalente para un posible cambio a ancho estándar (1435 mm) en el futuro. Se elige la opción de emplear carril del tipo UIC 54, dureza 90 en barras de 288 m de longitud soldadas en taller, todo ello para reducir al máximo las soldaduras en vía por su

elevado coste. Por tanto, el ancho de la cabeza de carril será de 70 mm y la separación entre carriles (s) de $1668+70=1738$ mm.

Se ha escogido una velocidad de proyecto máxima de partida (V_p) de 100 km/h, aunque debido a la corta longitud del ramal y las características de operación previstas, se verá reducida. Los trenes que inicialmente emplearían la nueva infraestructura en exclusiva serán de cercanías diésel tipo A (aceleración sin compensar $a_{sc}=1$ m/s²), concretamente los automotores de la serie 592.0 de Renfe.

DATOS PRELIMINARES		
V_p (km/h,m/s)	100	27,78
Ancho de vía (mm)	Ibérico	1668
Ancho cabeza de carril (mm)	UIC 54	70
s (mm,m)	1738	1,74
asc (m/s ²)	Tren tipo A	1

Tabla 1. Datos preliminares. (Fuente: Elaboración propia)

Tipo de tren	Máxima a_{sc} (m/s ²)
N	0,65
A	1,00
B	1,20
C	1,50
D	1,80

Tabla 2. Valores máximos de asc para cada tipo de tren. (Fuente: Apuntes asignatura Ferrocarriles 3º GIC)

Por otro lado, los criterios funcionales y geométricos se van a recopilar, como ya se ha mencionado en la introducción, de la Norma ADIF Plataforma N.A.P. 1-2-1.0, escogidos para una $V_p=100$ km/h y ancho de vía ibérico (1668 mm). A continuación se describirán brevemente cada uno de los parámetros para posteriormente clasificarlos en tablas según sean valores de referencia, normales o excepcionales.

- I: Insuficiencia de peralte máxima (mm).
- E: Exceso de peralte máximo (mm).
- dD/dt : Variación máxima del peralte respecto al tiempo (mm/s).
- dI/dt : Variación máxima de la insuficiencia de peralte respecto al tiempo (mm/s).
- a_v : Aceleración vertical máxima al paso por un acuerdo en alzado (m/s²) (C: Convexo, U: Cóncavo).
- D: Peralte máximo (mm).
- Longitud mínima de las alineaciones en planta de curvatura constante (m).
- dD/ds : Variación máxima del peralte respecto a la longitud (mm/m).
- R: Radio mínimo de las alineaciones circulares en planta (m).
- i: Rampa máxima de diseño (milésimas) (vías generales, tráfico de viajeros exclusivo).
- Longitud mínima de acuerdos verticales (m).
- Longitud mínima de alineaciones con rasante constante (m).
- R_v : Radio mínimo en acuerdos verticales (m) (C: Convexo, U: Cóncavo).

2.1 Parámetros funcionales

Trazado en planta			
	REFERENCIA	NORMAL	EXCEPCIONAL
I (mm)	115	175	175
E (mm)	104	115	138
dD/dt (mm/s)	58	58	69
dI/dt (mm/s)	63	63	115

Tabla 3. Parámetros funcionales para planta. (Fuente: N.A.P 1-2-1.0 y elaboración propia)

Trazado en alzado			
	REFERENCIA	NORMAL	EXCEPCIONAL
av (m/s ²)	0,22	0,31	0,51C/0,59U

Tabla 4. Parámetros funcionales para alzado. (Fuente: N.A.P 1-2-1.0 y elaboración propia)

2.2 Parámetros geométricos

Trazado en planta			
	REFERENCIA	NORMAL	EXCEPCIONAL
D (mm)	150	160	180
Lmín curv cte (m)	50	33,33	20
dD/ds (mm/m)	1,15	2,3	2,65
R (m)	250	190	150

Tabla 5. Parámetros geométricos para planta. (Fuente: N.A.P 1-2-1.0 y elaboración propia)

Trazado en alzado			
	REFERENCIA	NORMAL	EXCEPCIONAL
i (milésimas)	25	30	35
Lmín ac vert (m)	20	20	20
Lmín rasante cte (m)	50	33,33	20
Rv (m)	3500	2500	1500C/1300U

Tabla 6. Parámetros geométricos para alzado. (Fuente: N.A.P 1-2-1.0 y elaboración propia)

3. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL TRAZADO

El segundo apartado del presente anejo tiene como objetivo calcular los distintos e imprescindibles parámetros para un correcto diseño del nuevo trazado ferroviario. Cada uno de ellos se verá sometido a comprobaciones con respecto a los parámetros funcionales y geométricos iniciales para cumplir la normativa especificada anteriormente.

3.1 TRAZADO EN PLANTA

Peralte

Es el desnivel producido por la elevación del carril exterior respecto al carril interior en un plano normal al eje de la vía. Es necesario para, en primer lugar, compensar total o parcialmente la fuerza centrífuga que se origina al paso del ferrocarril por una curva. Así se consigue que el peso del material rodante y de la aceleración centrífuga sean aproximadamente normales al plano de rodadura, reduciendo así la aceleración centrífuga.

Por otra parte, también es necesario para el equilibrio en la distribución de cargas entre ambos carriles, reduciendo el desgaste del carril y del material rodante y manteniendo el confort de los viajeros.

El peralte constante aparece en trazados en planta curvos, siendo nulo en rectas. Se producirá una transición del peralte en las curvas de transición (clotoides) situadas entre rectas y curvas.

A continuación se van a calcular los dos tipos de peraltes, teórico aproximado y práctico, para las dos únicas curvas presentes en el trazado objeto del estudio básico.

Peralte teórico aproximado

Para el cálculo del peralte teórico aproximado se emplea la siguiente expresión:

$$\frac{v^2}{g \times R} = \frac{h}{s}$$

Dónde:

- $v=V_p=27,78$ m/s (velocidad máxima de la curva)
- $g=9,81$ m/s² (aceleración de la gravedad)
- $R_{C1}=300$ m $R_{C2}=400$ m (radios previstos inicialmente en las curvas)
- $s=1,74$ m
- h (m): peralte teórico

Tras operar, los resultados obtenidos han sido los siguientes:

$$h_{C1} = 0,456 \text{ m} = 456 \text{ mm}$$

$$h_{C2} = 0,342 \text{ m} = 342 \text{ mm}$$

Peralte práctico

Para el cálculo del peralte práctico se emplea la misma fórmula que para el peralte teórico aproximado, pero la velocidad máxima se calcula multiplicando la velocidad anterior por la raíz de dos tercios ($v = \sqrt{\frac{2}{3}} V_p$). Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

$$h_{C1} = 0,304 \text{ m} = 304 \text{ mm}$$

$$h_{c2} = 0,228 \text{ m} = 228 \text{ mm}$$

En la tabla 4 del apartado anterior se puede observar que el valor de referencia para el peralte (D) es de 150 mm, y el excepcional de 180 mm. Ambas curvas superan ampliamente estos valores, por lo que se debe reducir la velocidad máxima para que cumplan la normativa. En principio, se podría plantear un cambio de trazado para aumentar los radios de las curvas. No obstante, es una opción muy complicada de realizar debido a la limitada distancia en línea recta entre la actual línea férrea 310 y el centro comercial Bonaire, además de que los trenes estarán obligados a circular a menor velocidad de la considerada como máxima inicial (100 km/h) por la distancia de frenado necesaria antes de la estación.

Por tanto, se elige la opción de reducir la velocidad máxima de las curvas. Para ello, se va a suponer un peralte (D) de 150 mm en ambas curvas (el máximo recomendado), y a partir de la fórmula de la aceleración sin compensar se calculará la nueva velocidad máxima en ambas. Para su resolución, se requiere también el valor de la aceleración sin compensar, dónde se va a elegir el valor para trenes tipo A por ser los presentes actualmente en la línea 310 ($a_{sc}=1 \text{ m/s}^2$).

$$a_{sc} = \frac{V^2}{R} - \frac{D \times g}{s}$$

Dónde:

- a_{sc} (m/s^2)
- V (m/s)
- R (m)
- D (m)
- g (m/s^2)
- s (m)

Despejando la velocidad (V), los resultados de las nuevas velocidades máximas de paso para trenes tipo A han sido los siguientes:

$$V_{c1} = 23,53 \text{ m/s} = 84,71 \text{ km/h (D=150 mm)}$$

$$V_{c2} = 27,17 \text{ m/s} = 97,8 \text{ km/h (D=150 mm)}$$

Longitud de las curvas de transición

El siguiente parámetro a calcular es la longitud de las curvas de transición. Para ello, se obtendrá en primer lugar con el criterio de confort de elevación de la rueda exterior, para después comprobar los resultados con el resto de los criterios de confort (sobrealceleración e insuficiencia de peralte en la unidad de tiempo) y el de seguridad frente a alabeo.

Criterio de confort por elevación de la rueda exterior

La expresión para calcular la longitud de transición aconsejable es la siguiente:

$$L_{ac} = 10 \times V \times D$$

Y para el cálculo de la longitud de transición mínima:

$$L_{\min} = 8 \times V \times D$$

Dónde:

- L (m)
- V (km/h): velocidad de paso máxima por la curva
- D (m)

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

Curva 1: V=84,71 km/h D=0,15 m: L_{ac}=127,06 m; L_{min}=101,65 m: **L_{CT1}=127 m**

Curva 2: V=97,8 km/h D=0,15 m: L_{ac}=146,7 m; L_{min}=117,36 m: **L_{CT2}=146 m**

Por tanto, se elige una longitud de las curvas de transición para la curva 1 de 127 m y de 146 m para las existentes en la curva 2.

A continuación, se comprobarán estos resultados con el resto de criterios de confort y seguridad. Las longitudes de las curvas de transición que se obtengan deben ser en todos los casos menores a las anteriormente calculadas.

Criterio de seguridad frente a alabeo

La fórmula para el cálculo de este criterio es la siguiente:

$$L = \frac{D}{i_L}$$

Dónde:

- i_L=4 mm/m (alabeo máximo permitido)
- D=150 mm para ambas curvas
- L (m)

El resultado ha sido el siguiente:

$$L = 37,5 \text{ m} \leq L_{CT}$$

Se puede comprobar, por tanto, que las longitudes de las curvas de transición elegidas cumplen con el criterio de seguridad frente a alabeo.

Criterio de confort por sobreaceleración

La normativa N.R.V. 0-2-0.0 da la expresión para calcular las longitudes de transición según este criterio:

$$L \geq \frac{1}{1,44} \times \left(\frac{V^3}{R} - \frac{V \times D \times g}{s} \right)$$

Donde:

- L (m)
- V (m/s)
- D (m)
- g (m/s²)
- s (m)
- R (m)

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

Curva 1: L≥16,33 m

Curva 2: L≥18,86 m

Como se puede apreciar, las longitudes de transición calculadas en el criterio de elevación de la rueda exterior son mayores que las mínimas calculadas por este criterio y por tanto lo cumplen.

Criterio de confort por insuficiencia de peralte respecto al tiempo

En el último criterio a comprobar se debe calcular la variación de la insuficiencia de peralte respecto al tiempo (dl/dt) y compararla con los valores máximos dados en la Tabla 3 del presente anejo.

En primer lugar se va a calcular la insuficiencia de peralte mediante la siguiente fórmula:

$$D + I = q_e \times \frac{V^2}{R}$$

Donde:

- D (mm)
- I (mm)
- $q_e=13,7 \text{ mm.m.h}^2.\text{km}^2$ para ancho ibérico
- V (km/h)
- R (m)

Despejando la insuficiencia de peralte se obtienen los siguientes resultados:

Curva 1: I=177,69 mm

Curva 2: I=177,59 mm

Acudiendo a la tabla 2 del apartado 2 del presente anejo se puede ver que el valor máximo de referencia de la insuficiencia de peralte es de 115 mm, y el normal y excepcional de 175 mm, por tanto el valor calculado no cumple con lo especificado en la normativa.

Es por ello que se deben reducir de nuevo las velocidades máximas de paso por ambas curvas. Con el objetivo de homogeneizar la velocidad máxima de todo el tramo, teniendo la misma velocidad máxima en ambas curvas, y aproximando a las futuras condiciones de explotación, dónde los trenes deberán reducir rápidamente la velocidad al comenzar a circular por el nuevo

ramal ya que es en fondo de saco y solo tiene una longitud de 1221 m, la nueva velocidad máxima unificada que se ha elegido es la siguiente:

$$V_{C1}=70 \text{ km/h; } 19,45 \text{ m/s}$$

$$V_{C2}=70 \text{ km/h; } 19,45 \text{ m/s}$$

Volviendo a calcular la fórmula anterior para estas nuevas velocidades, se obtienen los valores de insuficiencia de peralte que aparecen a continuación:

$$\text{Curva 1: } I=73,76 \text{ mm}$$

$$\text{Curva 2: } I=17,83 \text{ mm}$$

Al volver a comparar con los valores de la tabla 2 del apartado 2 del presente anejo se observa que ahora sí son bastante menores a los especificados por la normativa.

Por tanto, en las comprobaciones que se efectuarán a partir de este punto se emplearán las nuevas velocidades máximas de paso por las curvas ($V_{C1}=70 \text{ km/h}$ y $V_{C2}=70 \text{ km/h}$).

En este punto podría plantearse la posibilidad de reducir peraltes y longitudes de curvas de transición para la nueva velocidad máxima. Sin embargo, no resulta necesario ya que las nuevas longitudes mínimas de transición seguirán siendo inferiores a las que han sido adoptadas, y adoptando el peralte máximo (150 mm) se está del lado de la seguridad. Tampoco será necesario, por tanto, volver a realizar las comprobaciones anteriores.

Una vez calculada la insuficiencia de peralte, se procede a hallar la variación de la insuficiencia de peralte respecto al tiempo, para la cual se aplica la siguiente expresión:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I \times V}{L \times 3,6} \times 10^3$$

Donde:

- dI/dt (mm/s)
- I (m)
- V (km/h)
- L (m)

Los valores de la variación de insuficiencia de peralte respecto al tiempo obtenidos han sido los siguientes:

$$\text{Curva 1: } dI/dt= 11,29 \text{ mm/s}$$

$$\text{Curva 2: } dI/dt= 2,37 \text{ mm/s}$$

La tabla 2 del presente anejo muestra que el valor máximo de referencia de dI/dt es 63 mm/s, por lo que los valores obtenidos para ambas curvas cumplen.

Como conclusión, se ha comprobado que las longitudes de las curvas de transición cumplen el criterio de seguridad y los tres de confort garantizando el correcto diseño del trazado.

Velocidad máxima en curva

Llegados a este punto, se procede a comprobar si las velocidades máximas de paso elegidas para las curvas son correctas según dos criterios. En primer lugar, el criterio de seguridad define la velocidad máxima para evitar que el vehículo ferroviario vuelque. En segundo lugar, el criterio de confort proporciona la velocidad máxima para no sobrepasar los valores máximos de la aceleración sin compensar (a_{sc}).

Para simplificar las comprobaciones, únicamente se realizará la del criterio de confort al ser más restrictivo, ya que antes se producirá la pérdida de confort que de seguridad. Al cumplirse este criterio automáticamente se cumplirá el de seguridad.

Criterio de confort

Para comprobar este criterio se va a calcular la aceleración sin compensar mediante la misma expresión que se empleó en el punto del peralte práctico. Se han obtenido los siguientes resultados para cada curva:

$$\text{Curva 1: } a_{sc} = 0,41 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Curva 2: } a_{sc} = 0,1 \text{ m/s}^2$$

Se puede observar que los valores son inferiores a los máximos para todos los tipos de trenes (tipo N= 0,65 m/s²; tipo A= 1 m/s²; tipo B= 1,2 m/s²; etc.) y por tanto las velocidades máximas preestablecidas cumplen el criterio de confort y de seguridad.

Velocidad mínima en curva

La velocidad mínima debe limitarse en curva para evitar el desgaste excesivo que sufre el hilo bajo si los trenes circulan a velocidades demasiado reducidas. Para calcularla, se aplicará el criterio de economía para la limitación de la a_{sc} a un valor de -0,59 m/s². Este valor será sustituido en la fórmula ya vista de la aceleración sin compensar y se hallará la velocidad mínima para cada curva.

$$-0,59 = \frac{V_{min}^2}{R} - \frac{D \times g}{s}$$

Los resultados han sido los siguientes:

$$\text{Curva 1: } V_{min} = 8,76 \text{ m/s; } 32 \text{ km/h}$$

$$\text{Curva 2: } V_{min} = 10,11 \text{ m/s; } 36 \text{ km/h}$$

Variación del peralte respecto a la longitud

El cálculo de la variación del peralte respecto a la longitud de la curva de transición se efectúa mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{dD}{ds} = \frac{D}{L}$$

Dónde:

- dD/ds (mm/m)
- D (mm)
- L (m)

Se calcula el valor para cada curva, dónde existen las mismas longitudes de curvas de transición de entrada y salida:

Curva 1: $dD/ds=1,18$ mm/m

Curva 2: $dD/ds=1,02$ mm/m

Comprobando estos resultados con los valores máximos indicados en la tabla 4 del inicio del presente anejo, resulta que el primero es ligeramente superior al valor máximo de referencia (1,15 mm/m), pero menor que el normal (2,3 mm/m), y el segundo es inferior al valor máximo de referencia. Por tanto, las curvas de transición cumplen con dicha limitación.

Variación del peralte respecto al tiempo

También se va a comprobar la variación del peralte respecto al tiempo, calculándola para cada curva de transición y comparando posteriormente con los valores máximos determinados por la normativa. Para calcularla se aplica la siguiente expresión:

$$\frac{dD}{dt} = \frac{D \times V}{L \times 3,6} \times 10^3$$

Donde:

- dD/dt (mm/s)
- D (m)
- V (km/h)
- L (m)

Los resultados han sido los siguientes:

Curva 1: $dD/dt= 22,96$ mm/s

Curva 2: $dD/dt= 19,97$ mm/s

Ambos resultados cumplen con las condiciones impuestas por la normativa al no superar el valor máximo de referencia establecido en la tabla 2 (58 mm/s).

Exceso de peralte

A continuación se calculará el exceso de peralte aplicando la siguiente fórmula:

$$D - E = q_e \times \frac{Vmin^2}{R}$$

Donde:

- D (mm)
- E (mm)
- $q_e=13,7 \text{ mm.m.h}^2.\text{km}^2$
- V_{\min} (km/h)
- R (m)

Despejando el exceso de peralte se obtienen los siguientes resultados:

Curva 1: E= 103,24 mm

Curva 2: E= 105,61 mm

Acudiendo a la tabla 2 del apartado 2 del presente anejo se puede observar que el valor máximo de referencia del exceso de peralte es de 104 mm y el normal de 115 mm, por tanto los valores calculados cumplen con lo especificado en la normativa al situarse por debajo del valor de referencia en la primera curva y ligeramente por encima en la segunda.

Parámetros de las clotoides

Para finalizar, se va a calcular el parámetro de las clotoides (curvas de transición) únicamente, no siendo necesaria ninguna comprobación al efectuarse con datos ya calculados y comprobados en el presente anejo. La expresión a emplear es la siguiente, estando todos los valores en metros:

$$A^2 = L \times R$$

Para cada curva de transición se han obtenido los siguientes parámetros:

Curva transición 1 (Curva 1): A=195,19 m

Curva de transición 2 (Curva 1): A=195,19 m

Curva de transición 3 (Curva 2): A=241,66 m

Curva de transición 4 (Curva 2): A=241,66 m

Para finalizar, y con el objetivo de ayudar a la correcta comprensión de todos los resultados anteriores, a continuación se muestra una tabla resumen de todos los parámetros obtenidos para las curvas de transición existentes en el trazado, ordenadas de menor a mayor P.K.:

CURVA DE TRANSICIÓN	D curva circular (mm)	L (m)	I (mm)	dl/dt (mm/s)	Vmax (km/h)	Vmin (km/h)	asc (m/s ²)	dD/ds (mm/m)	dD/dt (mm/s)	E (mm)	A (m)
1	150	127	73,76	11,29	70	32	0,41	1,18	22,96	103,24	195,19
2	150	127	73,76	11,29	70	32	0,41	1,18	22,96	103,24	195,19
3	150	146	17,83	2,37	70	36	0,1	1,02	19,97	105,61	241,66
4	150	146	17,83	2,37	70	36	0,1	1,02	19,97	105,61	241,66

Tabla 7. Parámetros de las curvas de transición existentes. (Fuente: Elaboración propia)

3.2 TRAZADO EN ALZADO

Rampas de diseño

El terreno por el que discurre el eje del nuevo ramal ferroviario al C.C. Bonaire es fundamentalmente llano con muy pequeñas variaciones de cota, que van aumentando muy ligeramente desde el comienzo hasta el final de la traza. En el P.K. 0+000 el terreno tiene una cota de 54,8 m, y en el P.K. 1+220 (final) de 60,7 m. Es por ello que se ha diseñado un trazado con una rampa (i_e) ascendente del 0,58 %, o lo que es lo mismo, 5,8 milésimas, hasta el P.K. 0+767. En este punto comienza el único acuerdo vertical existente, convexo, necesario para reducir la rampa (i_s) ascendente a 0,06 % (0,6 milésimas) desde el P.K. 0+894 hasta el final del trazado, que coincide con la zona dónde se ubicará la nueva estación, con su vía de apartado y desvío correspondiente. La vía de apartado tendrá el mismo valor de rampa que la definida para la vía general e indicada anteriormente. En resumen, los dos valores de rampa que se han adoptado para el trazado han sido los siguientes:

$$i_e = 5,8 \text{ milésimas}; i_s = 0,6 \text{ milésimas}$$

Comparando estos valores con los máximos indicados en la tabla 5 del inicio del presente anejo, se puede comprobar que están muy por debajo y por tanto cumplen con la normativa.

Sin embargo, los valores máximos de referencia, normal y excepcional indicados en la tabla están referidos a vías generales. La norma N.A.P. 1-2-1.0 también indica los valores máximos de rampa en desvíos y vías dónde se estacionan trenes durante cierto periodo de tiempo. Para vías de estacionamiento el valor máximo de referencia que indica la norma es de 2 milésimas. También se requiere una pendiente mínima para el adecuado drenaje. Por tanto el valor adoptado para el tramo de la estación (0,6 milésimas) también cumple con la normativa.

Radio en acuerdo vertical

El radio de curvatura (R_v) del único acuerdo vertical presente en todo el trazado ferroviario puede obtenerse a partir de la siguiente expresión que de la normativa N.A.P. 1-2-1.0:

$$R_v = \frac{1}{12,96 \times a_v} \times V^2$$

Donde:

- R_v (m)
- a_v (m/s^2)
- $V = 70 \text{ km/h}$ (consideramos la máxima por ser más limitante, aunque será inferior)

Se tiene una segunda incógnita, la aceleración vertical a_v . Se va a suponer el valor máximo de referencia indicado en la tabla 3 del inicio del presente anejo ($0,22 \text{ m/s}^2$), al igual que se ha hecho con la velocidad.

El resultado ha sido el siguiente:

$$R_v = 1718,57 \text{ m}$$

Acudiendo a la tabla 5 del apartado 2 del presente anejo se puede observar que el radio mínimo de referencia es de 3500 m y el normal de 2500 m, por lo que el valor calculado no cumple con la normativa.

A pesar de no tener el radio limitación máxima, por facilidad constructiva se va tomar el siguiente valor próximo al mínimo de referencia:

$$R_v=4000 \text{ m}$$

Longitud del acuerdo vertical

A continuación se va a calcular la longitud del acuerdo vertical a partir de la siguiente fórmula:

$$R_v = \frac{L_v}{\theta}$$

Donde:

- $\theta = i_s - i_e$: ángulo que forman las rasantes de entrada y salida del acuerdo (radianes)
- $i_s = 0,06 \% = 0,0006$ (pendiente de salida)
- $i_e = 0,58 \% = 0,0058$ (pendiente de entrada)
- $R_v = 4000 \text{ m}$
- $L_v (\text{m})$

Despejando la longitud del acuerdo vertical se obtiene el siguiente resultado:

$$L_v=20,8 \text{ m}$$

La tabla 5 del presente anejo muestra que el valor mínimo de referencia, normal y excepcional de L_v es 20 m, por tanto, cumple pero de forma muy ajustada. De nuevo del lado de la seguridad y como el radio puede ser ampliado libremente se decide aplicar el siguiente valor:

$$R_v= 5000 \text{ m}$$

Despejando por segunda vez en la fórmula anterior se obtiene el siguiente valor de longitud:

$$L_v= 26,4 \text{ m}$$

Ahora sí, el margen desde el valor mínimo ha aumentado y se ha decidido que estos valores serán los definitivos.

Por último, regresando al punto anterior (2), se puede volver a calcular la expresión del R_v para despejar el valor definitivo de la aceleración vertical, que será el siguiente:

$$a_v= 0,0756 \text{ m/s}^2$$

Comparando este valor con el máximo de referencia indicado en la tabla 3 del inicio del presente anejo, se puede comprobar que está muy por debajo y por tanto cumple con la normativa.

4. DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO EN PLANTA Y EN ALZADO

Una vez calculados, comprobados y/o indicados los parámetros iniciales y de diseño del trazado del nuevo ramal ferroviario al C.C. Bonaire, en este tercer apartado del Anejo 3 se describirá minuciosamente el trazado tanto en planta como en alzado, indicando las principales características y condicionantes que han llevado a la consecución del diseño final.

4.1 Planta

En primer lugar se adjuntan los estados de alineaciones del eje de la vía general del nuevo ramal, así como el eje de la vía de apartado situada en los últimos centenares de metros y coincidiendo con la nueva estación del centro comercial:

Número de elemento	Tipo de elemento	P.K. inicial (m)	P.K. final (m)	Longitud (m)	Radio (m)	A (m)
1	Recta	0+000,00	0+001,31	1,309		
2	Clotoide	0+001,31	0+128,31	127		195,192
3	Curva circular	0+128,31	0+295,38	167,066	300	
4	Clotoide	0+295,38	0+422,38	127		195,192
5	Recta	0+422,38	0+437,86	15,489		
6	Clotoide	0+437,86	0+583,86	146		241,661
7	Curva circular	0+583,86	0+751,36	167,497	400	
8	Clotoide	0+751,36	0+897,36	146		241,661
9	Recta	0+897,36	1+220,93	323,567		

Tabla 8. Estado de alineaciones en planta para la vía general. (Fuente: Civil 3D y elaboración propia)

Número de elemento	Tipo de elemento	P.K. inicial (m)	P.K. final (m)	Longitud (m)	Radio (m)	A (m)
1	Curva circular	0+000,00	0+035,65	35,654	500	
2	Recta	0+035,65	0+060,30	24,646		
3	Curva circular	0+060,30	0+103,19	42,886	600	
4	Recta	0+103,19	0+321,13	217,948		

Tabla 9. Estado de alineaciones en planta para la vía de apartado. (Fuente: Civil 3D y elaboración propia)

Gran parte de la información que aparece a continuación se puede visualizar también en los planos de trazado en planta ubicados en el Documento nº2: Planos.

El trazado del nuevo ramal ferroviario parte paralelo a la línea nº 310 de ADIF, aproximadamente a la altura del P.K. 78+530, punto que se considera el P.K. 0+000 de la nueva línea. Tras un pequeño tramo recto paralelo a esta línea, el trazado gira rápidamente hacia el noroeste, situándose en este punto la primera curva circular (a derechas) de 167 metros de longitud y 300 metros de radio. Al inicio y final de esta se disponen curvas de transición de 127 metros de longitud. En torno al P.K. 0+180, en plena curva, se construirá el paso superior de la carretera convencional “Camino del Coscollar” que incluirá también la vía ciclo-peatonal Aldaya-Bonaire.

Tras esta primera curva circular y curvas de transición, se dispone una corta alineación recta de 15,5 metros, que es seguida de manera inmediata por la segunda curva del nuevo trazado.

Esta segunda curva circular (a izquierdas) gira hacia el oeste con un radio de 400 metros y 167,5 metros de longitud, muy similar a la anterior. También es necesario disponer de curvas de transición al inicio y fin de esta que tendrán una longitud de 146 metros cada una.

Al finalizar la segunda curva de transición, en el P.K. 0+900 se inicia el desvío hacia la vía de apartado de la nueva estación, y 20 metros más adelante se construirá el paso inferior de la carretera convencional C.C. Bonaire – Carretera CV-413 y la vía ciclo-peatonal anteriormente mencionada para salvar la traza.

Por economía y compatibilidad con las características propias de la línea, se ha decidido instalar un desvío tipo A, concretamente el modelo DS-A-54-500-0,085-22-D (proporcionado por la normativa N.A.V. 3-6-0.1), por lo que la velocidad máxima por desviada será de 30 km/h (también por la general) y se construirá con traviesas de madera. Tiene una longitud total de 45,093 metros y el radio de la vía desviada es de 500 metros.

Tras un pequeño tramo recto, se dispone en la vía desviada una curva circular de 43 metros de longitud y 600 metros de radio, sin curvas de transición, para llegar finalmente a la última alineación recta de 218 metros de longitud, de los cuales 200 metros serán de estacionamiento útil.

Por último, y volviendo a la vía general, tras el desvío de 45 metros de longitud (en recta, vía directa), se llega a la última alineación recta de 275 metros de longitud, de los cuales, como en el caso de la desviada, 200 serán de estacionamiento útil. El trazado finaliza en el P.K. 1+220,93.

Se dispondrá de un entreaje de 4,52 metros entre ambas vías de estacionamiento, cumpliendo con el valor mínimo de referencia según la normativa N.A.P. 1-2-1.0 de 4 metros. Además, se dejará un margen de 10 metros de longitud entre el extremo del tren y las toperas de final de vía, cumpliendo con el mínimo de 5 metros indicado por esta misma normativa.

4.2 Alzado

Tal y como se realizó en la planta, primeramente se adjunta el estado de rasantes del eje de la vía general. El de la vía de apartado no es necesario, ya que tiene las mismas cotas y rasante que la general desde el P.K. 0+900 hasta el P.K. 1+220,93.

Número de elemento	Tipo de elemento	P.K. inicial (m)	P.K. final (m)	Longitud (m)	Pendiente de entrada (%)	Pendiente de salida (%)	Kv (m)
1	Rasante	0+000,00	0+817,44	817,441			
2	Acuerdo convexo	0+817,44	0+843,86	26,423	0,58	0,06	50
3	Rasante	0+843,86	1+220,93	377,064			

Tabla 10. Estado de rasantes en alzado para la vía general y apartado. (Fuente: Civil 3D y elaboración propia)

Gran parte de la información que aparece a continuación se puede visualizar también en los planos de perfil ubicados en el Documento nº2: Planos.

Al encontrarse con un terreno prácticamente llano en la totalidad del eje de la nueva traza, se ha diseñado un perfil con rampa ascendente muy suave, en ligero terraplén de entre 1 y 2 metros sobre el terreno original para asegurar la instalación de posibles obras de drenaje

transversal. Tras atravesar el único acuerdo vertical existente, se llega a los últimos centenares de metros con la rampa aún más suavizada debido a las restricciones que imponen las vías de estacionamiento.

El P.K. 0+000 del nuevo trazado ferroviario tiene una cota de 54,9 msnm (metros sobre el nivel del mar), igual que la que tiene el trazado de la línea 310 en ese mismo punto (P.K. 78+530). A partir de ahí, la nueva traza comienza el ligero ascenso con una pendiente constante del 0,58% (5,8 milésimas) en un tramo de 817 metros, hasta llegar a una cota de 59,7 msnm.

Desde ese punto, que es el P.K. 0+817,44, comienza el acuerdo vertical convexo, cuya longitud es de 26,4 metros y tiene un radio de 5000 metros.

Al finalizar, en el P.K. 0+843,86 (cota 59,8 msnm), la rampa de salida es del 0,06 % (0,6 milésimas), dispuesta tan pequeña para cumplir con la normativa en vías de estacionamiento y no nula para asegurar un correcto drenaje. Así pues, se mantiene esta rampa constante hasta el final del trazado en el P.K. 1+220,93, es decir, en el último tramo de 377 metros. En este último punto se llega hasta una cota de 60 msnm.

5. EXPLOTACIÓN FERROVIARIA

Para finalizar el presente anejo, se va a calcular la velocidad real de explotación que tendrá el nuevo tramo ferroviario. Ya se calculó en el apartado de parámetros de diseño la velocidad máxima del tramo de acuerdo a la máxima permitida en las curvas, que es de 70 km/h. No obstante, todos los trenes deberán finalizar el tramo en el P.K. 1+211 con velocidad nula, ya que es en “fondo de saco” y todos paran en la estación del C.C. Bonaire ubicada en ese punto. Los cálculos y resultados se van a referir a la cabeza del tren en sentido ascendente de P.K., y a la cola del tren en sentido descendente de P.K.

Tanto para los trenes que circulan todo el tramo por la vía general como los que pasan a la desviada al llegar a la estación, se supone que la velocidad de entrada al ramal será la máxima de 70 km/h, por lo que el enlace con la línea 310 deberá proyectarse en otro estudio independiente al actual de tal manera que cumpla con este requisito. Se adopta una aceleración y deceleración de los trenes de $0,8 \text{ m/s}^2$, al ser la más usual en trenes de cercanías del núcleo de Valencia.

Se debe llegar al P.K. 1+211 (o P.K. 0+311 de la vía desviada) con 0 km/h. Sin embargo, la velocidad máxima de paso por el desvío para todos los trenes, independientemente se desvíen o no, es de 30 km/h, por lo que en el P.K. 0+890 los trenes deberán haber frenado hasta esa velocidad. Se adopta esta velocidad máxima también para la vía general no por limitaciones técnicas propias del desvío, sino para unificar la velocidad en ambas vías y en todos los casos de operación ferroviaria, ya que la distancia de frenado sería muy similar al tener que frenar del todo en ambos casos al finalizar el tramo y no supondría apenas reducción de tiempo de viaje.

Realizando los cálculos pertinentes, se obtiene que para reducir la velocidad de 70 a 30 km/h se necesitan 14 segundos, y una distancia de 272,3 metros. Por todo ello, restándole al P.K.

0+890 esa distancia, se obtiene que en el P.K. 0+618 los trenes comienzan a frenar, un poco antes de la mitad de la segunda curva circular.

Para los trenes que realizan el mismo recorrido pero en sentido inverso se obtienen los mismos resultados, ya que en el P.K. 0+618 se alcanzará la velocidad máxima.

Los peraltes que se propusieron en apartados anteriores del presente anejo (160 mm) son para una velocidad de proyecto de 70 km/h. Si los trenes circularan realmente a velocidades inferiores a esta por las curvas, se podría modificar el valor de D acorde con la velocidad de explotación prevista finalmente. Sin embargo, como la velocidad se reduce a partir de la mitad de la segunda curva, no se va reducir el valor del peralte previsto inicialmente, ya que en parte de ella se circulará a la velocidad máxima de 70 km/h.

Por último, mencionar que el tiempo calculado que tardan los trenes en recorrer por completo el nuevo ramal ferroviario se estima en 83 segundos (1 minuto y 23 segundos), de acuerdo con las condiciones de explotación expuestas anteriormente.

A continuación, se muestra el gráfico del perfil de velocidades máximas de la línea.

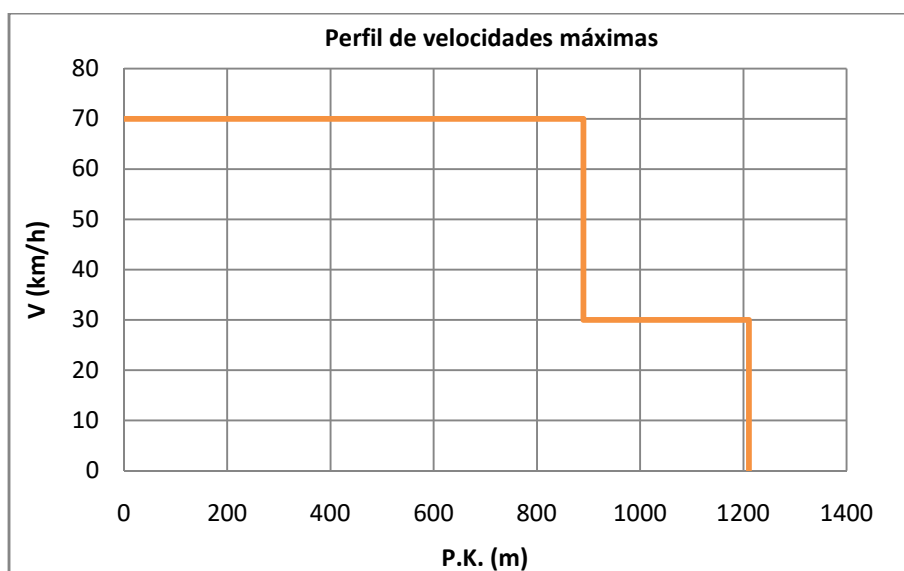


Figura 2. Perfil de velocidades máximas del nuevo ramal. (Fuente: Elaboración propia en Excel)

