

---

**ANEJO Nº 5. ESTUDIO DE TIEMPOS DE RECORRIDO**

---



## **ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA LÍNEA.....	2
2. SIMULACIÓN FERROVIARIA.....	3
2.1 Metodología.....	3
2.2 Resultados obtenidos.....	4
APÉNDICE 1. DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL MÓVIL.....	7
APÉNDICE 2: GRÁFICAS DE TIEMPO DE RECORRIDO.....	24
APÉNDICE 3: LISTADOS DE TRAZADO.....	33



## 1. INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA LÍNEA

En el presente anejo se estudia la funcionalidad y explotación de la futura línea de metro de Donostialdea. Tramo: Lugaritz-Easo. La simulación se ha realizado entre las estaciones de Lugaritz y Easo, sin considerar el tramo comprendido entre la estación de Easo y la conexión con la línea actual de Euskotren.

La nueva línea está configurada de la siguiente manera a efectos de funcionalidad y explotación:

- Longitud total entre Lugaritz y Easo:.....3.959,910 m  
Situación de las estaciones:

PARADA	P.K. INICIO	P.K. FINAL	DISTANCIA A LA ESTACIÓN ANTERIOR (m)
Lugaritz	-	-	-
Bentaberri	1+078,570	1+173,370	1.078,570
Centro/La Concha	3+081,410	3+174,010	1.908,040
Easo	3+865,110	3+959,910	691,100

Para realizar la simulación ferroviaria se ha dividido el trayecto en tres subtramos, con origen y final en el punto intermedio de cada una de las estructuras. De esta manera, la línea queda configurada de la siguiente manera.

SUBTRAMO	P.K. INICIO	P.K. FINAL	LONGITUD (m)
Lugaritz- Bentaberri	0+000	1+126	1.126
Bentaberri -Centro/La Concha	1+126	3+128	2.002
Centro/La Concha-Easo	3+128	3+912	784

## **2. SIMULACIÓN FERROVIARIA**

### **2.1 Metodología**

La velocidad de circulación del material móvil a lo largo de una vía férrea es función de dos variables fundamentales:

- La geometría de la vía.
- Las características del material móvil.

Ambas interactúan de modo que la velocidad que desarrolla el vehículo ferroviario a lo largo de un trazado no es sino el resultado de conjugar las características de una y otro.

El trazado se compone de una sucesión de elementos geométricos en planta y alzado cuyo empleo como guía por un móvil supone la aparición sobre éste de una serie de aceleraciones y esfuerzos, fruto de la presencia de curvaturas, pendientes y peraltes.

Por otro lado, la capacidad de movimiento de los móviles ferroviarios radica en la potencia de los motores de sus elementos de tracción. El comportamiento mecánico de los motores, unido a las características del material que arrastra, determina el modo de avance del móvil.

El cálculo aislado de velocidad máxima que permite cada elemento del trazado y la consideración independiente de la potencia de una locomotora y su velocidad punta permiten conocer anticipadamente cuál va a ser el comportamiento del tren a lo largo del trayecto y, en particular, las velocidades que va a desarrollar durante el mismo que, en última instancia, serán las que determinen el tiempo de viaje, parámetro éste en el que reside el auténtico interés.

Para poder conocer anticipadamente la aptitud real del trazado para ser recorrido en su conjunto a una cierta velocidad se empleará un modelo informático que permite simular la circulación de los diferentes móviles ferroviarios sobre trazados distintos. Esta simulación ofrece la posibilidad de calcular los tiempos totales o parciales de recorrido de diferentes móviles y conocer la velocidad que desarrollan en cada punto.

Con esta información pueden optimizarse las modificaciones del trazado de modo que se adecuen de una forma mucho más precisa a las exigencias reales de los móviles para circular a la velocidad especificada.

El desarrollo del programa que permite la mencionada simulación recoge los criterios habitualmente empleados relativos a seguridad de circulación, adecuada conservación de la infraestructura y comodidad de los viajeros.

## **2.2 Resultados obtenidos**

Se ha procedido a realizar las simulaciones ferroviarias que permitan obtener un intervalo de tiempos comerciales futuros que determinen, en función del material rodante, y la demanda esperada, las necesidades de unidades móviles, subestaciones, talleres y cocheras según escenarios temporales.

Para ello se han introducido todas las alineaciones en planta y alzado, así como las características del tren, las cuales se adjuntan en el Apéndice 1, según la información facilitada por CAF.

Asimismo, se introducen todos los valores máximos y excepcionales del conjunto de los parámetros que intervienen en el proyecto de un trazado en planta y alzado, los cuales determinarán la velocidad máxima de circulación en cada punto.

Las condiciones e hipótesis de simulación han sido las siguientes:

- Se ha simulado con el tren tipo de CAF que circulará por la línea, del cual se incluye la información en el Apéndice 1.
- La velocidad máxima de circulación es de 80 km/h.
- La aceleración máxima es de  $1,1 \text{ m/s}^2$ .
- La deceleración adoptada es de  $1,0 \text{ m/s}^2$ .
- Los tiempos de parada considerados en las estaciones son de 20 segundos.
- Se han simulado las situaciones correspondientes a las idas y vueltas de trenes y con detención en todas las estaciones.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

<b>SUBTRAMO</b>	<b>TIEMPO IDA (minutos y segundos)</b>	<b>TIEMPO VUELTA (minutos y segundos)</b>
Lugaritz-Bentaberri	1 min 22 sg	1 min 20 sg
Bentaberri-Centro/La Concha	1 min 54 sg	1 min 55 sg
Centro/La Concha-Easo	1 min 02 sg	1 min 10 sg

<b>TOTAL CON PARADAS</b>	4 min 58 sg	5 min 05 sg
<b>MEDIA CON PARADAS</b>	5 min 02 sg	

<b>SUBTRAMO</b>	<b>VELOCIDAD MEDIA IDA (km/h)</b>	<b>VELOCIDAD MEDIA VUELTA (km/h)</b>	<b>VELOCIDAD MEDIA (km/h)</b>
Lugaritz-Bentaberri	49,4	50,7	50,1
Bentaberri-Centro/La Concha	63,2	62,7	62,9
Centro/La Concha-Easo	45,5	40,3	42,9

<b>TOTAL CON PARADAS</b>	47,3	46,2	46,7
--------------------------	------	------	------

Los tiempos así obtenidos, son los resultantes de una circulación en la que no se producen incertidumbres, con una conducción más teórica que práctica y con unos tiempos de parada fijos.

Para aproximar mejor los tiempos comerciales es aconsejable introducir unas holguras que son variables en función de diferentes aspectos tales como los tráfico que circulan, la homogeneidad de los mismos, vía única o vía doble, la distancia de los trayectos, los ciclos del material móvil, rotaciones, etc, que inciden notablemente en la flexibilidad de la explotación.

En este caso particular, las simulaciones teóricas obtenidas, dada la homogeneidad de la explotación de la línea, tanto en cuanto a velocidad de circulación como al material rodante, la consideración de vía doble, la escasa longitud de línea (lo que favorece claramente la absorción de incidencias simplemente

gracias a una rotación de trenes que no sea estricta), etc, recomiendan holguras no muy amplias.

Si consideramos una holgura de un 5% y redondeando hacia el minuto superior **obtendríamos un tiempo comercial de 5 minutos y 17 segundos y una velocidad media de 44,4 km/h (ida y vuelta)** para una circulación con detenciones en todas las estaciones.

Es importante destacar que en este estudio no se introducen variables industriales y de vida útil relacionados directamente con los fabricantes del motor y del tren en definitiva. Es decir, que se desconoce si han de imponerse ciertas restricciones de aceleraciones, deceleraciones, velocidades máximas, etc, en base a una utilización racional o distinta del material móvil en relación a su vida útil o a su grado de conservación y de inversión económica en el mantenimiento.

En el Apéndice 2 se incluyen las gráficas de velocidad en sentidos ida y vuelta para cada una de los subtramos con la hipótesis de velocidad citada.



## **APÉNDICE 1. DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL MÓVIL**



	<b>DOCUMENTO PRESTACIONES EUSKOTREN</b>	AA.08.V2.0004	
		04_00	Pag. 2/17

### ÍNDICE

1.	LISTA DE ABREVIATURAS Y DEFINICIONES .....	3
2.	REFERENCIAS .....	4
3.	INTRODUCCIÓN.....	5
4.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA UNIDAD DE TRACCIÓN .....	6
5.	PRESTACIONES.....	8
5.1.	PRESTACIONES DE TRACCIÓN A 1500V Y TENSIONES SUPERIORES .....	8
5.2.	PRESTACIONES DE TRACCIÓN A 1275V .....	8
5.3.	PRESTACIONES DE TRACCIÓN A 1000V .....	9
5.4.	PRESTACIONES DE FRENO ELÉCTRICO .....	9
5.5.	CURVAS CARACTERÍSTICAS .....	10
5.6.	ARRANQUE DE UN TREN REMOLCANDO A OTRO EN RAMPA .....	15
5.7.	ARRANQUE DE UN TREN CON 50% DE TRACCIÓN EN RAMPA .....	16
5.8.	FRENO DE RETENCIÓN EN RAMPA DE 4% .....	17



### 1. LISTA DE ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

<b>CAF</b>	Compañía Auxiliar de Ferrocarriles
<b>EEFAE</b>	Especificación Elementos Fundamentales Acopio Exterior
<b>EMU</b>	Electrical Multiple Unit

	DOCUMENTO PRESTACIONES EUSKOTREN	AA.08.V2.0004	
		04_00	Pag. 4/17

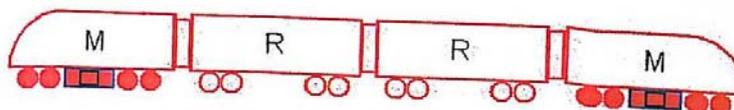
## 2. REFERENCIAS

- Ref.1. Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para el suministro de 27 EMUs.  
Junio 2008.
- Ref.2. C.E1.94.101 - Technical Specification (EEFAE) Propulsion System EMUs  
Euskotren. CAF.
- Ref.3. AA.08.V1.0001 – Aceptación Euskotren Opción B2



### 3. INTRODUCCIÓN

Este documento complementa la propuesta técnica para el suministro del equipo de tracción eléctrico de 30 EMUs para Euskotren y tiene como objeto describir las prestaciones del equipo. La configuración de la unidad es MRRM:



Los coches M son coches motores con cabina y los coches R son coches remolque.

*El equipo eléctrico definido en este documento está sujeto a eventuales actualizaciones que pudieran derivar de modificaciones en cuanto a prestaciones o diseño durante la fase de proyecto.*

*Las aceleraciones indicadas en este documento están sujetas a modificaciones por límites de adherencia.*

	<b>DOCUMENTO PRESTACIONES EUSKOTREN</b>	AA.OE.V2.0004.	
		04_00	Pag. 6/17

#### 4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA UNIDAD DE TRACCIÓN

La unidad de tracción a instalar tiene una configuración M-R-R-M con dos bogies por coche siendo los coches extremos motores con cabina (coches M), y los intermedios remolques (coches R).

Cada coche motor dispone de un cofre convertidor, compuesto por dos inversores. Cada inversor alimenta a dos de los cuatro motores de cada coche motor.

Las prestaciones de la unidad se han calculado para garantizar las prestaciones de tracción y frenado con carga máxima (correspondiente a 6 pasajeros/m<sup>2</sup> para tracción y 8 pasajeros/m<sup>2</sup> para frenado). Las prestaciones de tracción y freno se describen en detalle en apartado 5.

Para los cálculos necesarios para el dimensionamiento del equipo eléctrico se ha tenido en cuenta la estimación de masas definida en la siguiente tabla:

CONFIGURACIÓN	Tara (Tn)	C. Máxima 6p/m <sup>2</sup> (Tn)	C. Máxima 8p/m <sup>2</sup> (Tn)
M-R-R-M	130,73	176,69	188,79

Tabla 1. Estimación de masas

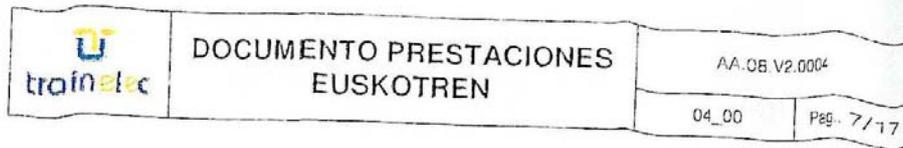
El reparto de pesos con el cual se ha realizado la estimación de las masas totales es el siguiente:

COCHE	Tara (Tn)	C. Máxima 6p/m <sup>2</sup> (Tn)	C. Máxima 8p/m <sup>2</sup> (Tn)
M1	34,82	45,66	48,55
M2	34,63	45,47	48,36
R	30,64	42,78	45,94

Tabla 2. Reparto de pesos

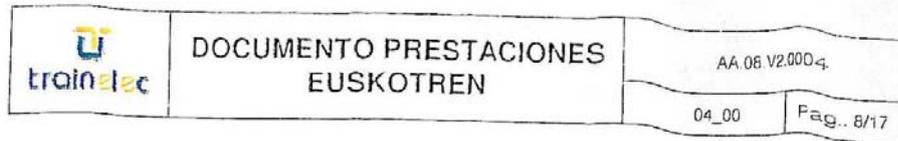
Además, se ha considerado:

- 3% de la tara adicional como tolerancia (ya incluida en las masas de las tablas anteriores)
- Masas rotativas: 10% de la Tara para coches M y 7% para coches R.
- Resistencia total al avance:  $RT(daN) = (RE + i) * P_T$ , donde:



- RE: resistencia al avance,  $2,65 + \frac{V^2}{1650}$
- V: Velocidad del tren (km/h).
- Pr: Masa del tren, sin incluir masas rotativas (Tn)
- i: suma de la rampa real (‰) y  $\frac{400}{R-20}$ , siendo R el radio de curva (m).

- Velocidad máxima de servicio: 90km/h
- Velocidad de diseño: 100km/h
- Relación de transmisión: 5,9
- Eficiencia de reductora: 0,97
- Diámetro de rueda: 850-790mm



## 5. PRESTACIONES

En este apartado se definen las prestaciones de tracción y freno del equipo eléctrico para la configuración de tren M-R-R-M. Para el cumplimiento de estas prestaciones es necesario un redimensionamiento de los elementos más limitantes de la cadena de tracción, es decir, las inductancias de filtro y las resistencias de freno.

Se definen las prestaciones de tracción a tensión mínima (1000V), de 1275V, nominal (1500V) y máxima. Para niveles de tensión inferiores a la nominal, la potencia se limita de forma lineal.

Las prestaciones de freno se presentan para una tensión de línea de 1800V.

### 5.1. PRESTACIONES DE TRACCIÓN A 1500V Y TENSIONES SUPERIORES

A continuación se definen las prestaciones de tracción para la configuración MRRM y una tensión nominal de catenaria de 1500V. La velocidad máxima de servicio es de 90km/h.

CONFIG.	Configuración		Aceleraciones (m/s <sup>2</sup> )			
	Vcat (V)	Esfuerzo máximo (KN)	Máxima	Media (0-40 km/h)	Media (0-80 km/h)	Residual (90 km/h)
MRRM	≥ 1500	213,12	1,11	1,10	0,65	0,18

Ilustración 1. Resumen de prestaciones de tracción (1500V)

La aceleración media de 0 a 40 km/h es de 1,1m/s<sup>2</sup>, requisito demandado en el pliego [Ref.1]. La aceleración nunca supera el valor máximo de 0,118g especificado en el mismo documento.

Por otro lado, la aceleración residual a 90 km/h es inferior a los 0,03g demandados en el pliego. No obstante, Euskotren dio por bueno estos valores según se muestra en el documento Ref.3.

### 5.2. PRESTACIONES DE TRACCIÓN A 1275V

A continuación se definen las prestaciones de tracción para la configuración MRRM y una tensión de catenaria de 1275V. La velocidad máxima de servicio es de 90 km/h.

CONFIG.	Configuración		Aceleraciones (m/s <sup>2</sup> )			
	Vcat (V)	Esfuerzo máximo (KN)	Máxima	Media (0-40 km/h)	Media (0-80 km/h)	Residual (90 km/h)
MRRM	1275	213,12	1,11	1,08	0,49	0,11

Ilustración 2. Resumen prestaciones de tracción (1275V)

Para tensiones inferiores a 1500V se limita la potencia máxima del motor para no alcanzar valores de corriente extremadamente altos.

	DOCUMENTO PRESTACIONES EUSKOTREN		AA.CE.V2.0004	
			04_00	Pág. 9/17

Debido a la disminución de la tensión de alimentación la aceleración media de 0 a 80km/h y la aceleración residual a 90km/h se reducen ligeramente. No obstante, la aceleración media de 0 a 40km/h se mantiene en valores similares al caso de tensión de 1500V.

### 5.3. PRESTACIONES DE TRACCIÓN A 1000V

A continuación se definen las prestaciones de tracción para la configuración MRRM y una tensión de catenaria de 1000V. La velocidad máxima de servicio es de 90 km/h.

CONFIG.	Vcat (V)	Esfuerzo máximo (KN)	Aceleraciones (m/s <sup>2</sup> )			
			Máxima	Media (0-40 km/h)	Media (0-80 km/h)	Residual (90 km/h)
MRRM	1000	213,12	1,11	0,93	0,285	0,04

Ilustración 3. Resumen prestaciones de tracción (1000V)

Para tensiones inferiores a 1500V se limita la potencia máxima del motor para no alcanzar valores de corriente extremadamente altos.

Debido a la disminución de la tensión de alimentación la aceleración media de 0 a 80km/h y la aceleración residual a 90km/h se reducen ligeramente. No obstante, la aceleración media de 0 a 40km/h se mantiene en valores similares al caso de tensión de 1500V.

### 5.4. PRESTACIONES DE FRENO ELÉCTRICO

A continuación se definen las prestaciones de freno eléctrico para el freno de servicio en configuración MRRM y para una tensión de catenaria de 1800V.

Se considera que el freno de servicio es el eléctrico con prioridad al frenado regenerativo. Se considera también que el freno eléctrico de servicio es reemplazado por freno neumático de servicio con las mismas prestaciones por debajo de la velocidad de sustitución hasta la parada total del tren.

CONFIG.	Vcat (V)	Esfuerzo máximo (KN)	Deceleraciones (m/s <sup>2</sup> )		
			Máxima	Media (0-80 km/h)	Media (0-90 km/h)
MRRM	1800	229	1,18	0,95	0,89

Ilustración 4 Resumen de prestaciones de freno

Se comprueba que, para la configuración MRRM, es necesario un cierto esfuerzo de frenado de fricción para completar el esfuerzo necesario para dar una deceleración media de 1 m/s<sup>2</sup> de 90km/h hasta la parada. Las prestaciones mostradas en la tabla anterior consideran únicamente el freno eléctrico.

	DOCUMENTO PRESTACIONES EUSKOTREN	AA.08.V2.00C4	
		04_00	Pag. 10/17

### 5.5. CURVAS CARACTERÍSTICAS

A continuación se incluyen las siguientes curvas características:

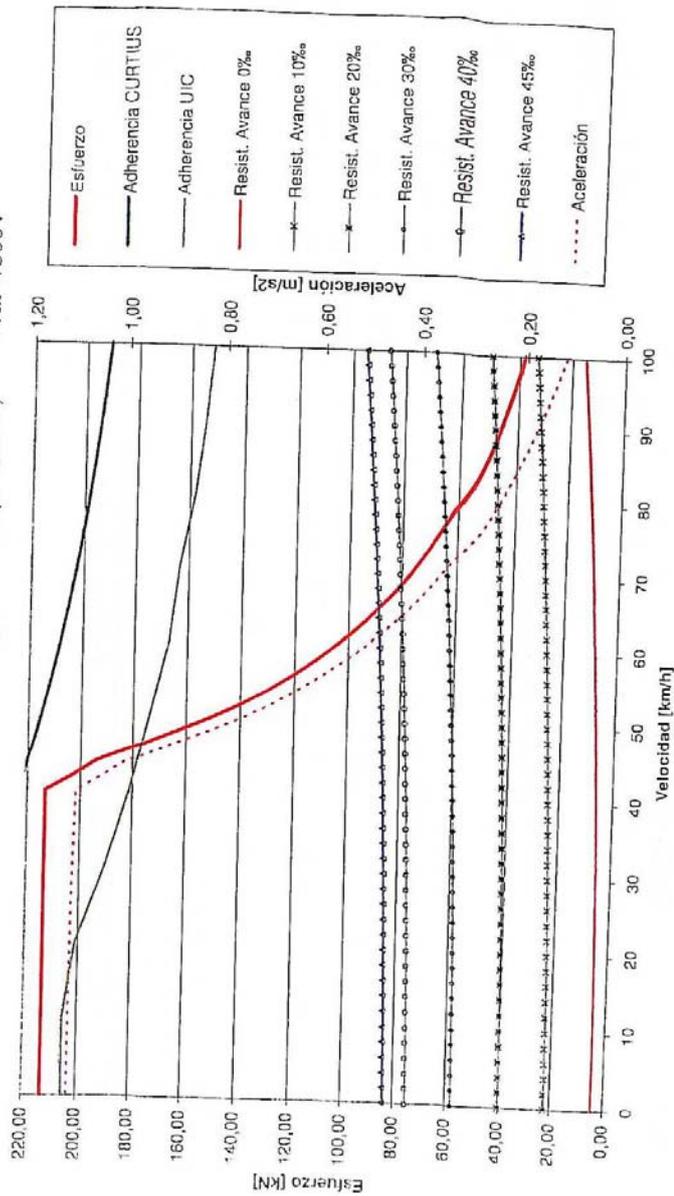
#### Configuración MRRM

- Curva característica de tracción con carga máxima (6p/m2) a 1500V.
- Curva característica de tracción con carga máxima (6p/m2) a 1275V.
- Curva característica de tracción con carga máxima (6p/m2) a 1000V.
- Curva característica de freno con carga máxima (8p/m2) a 1800V.

En las curvas características se indican las curvas de resistencia al avance para las distintas pendientes, las curvas de adherencia y la aceleración en carga máxima además de los esfuerzos de tracción y freno.

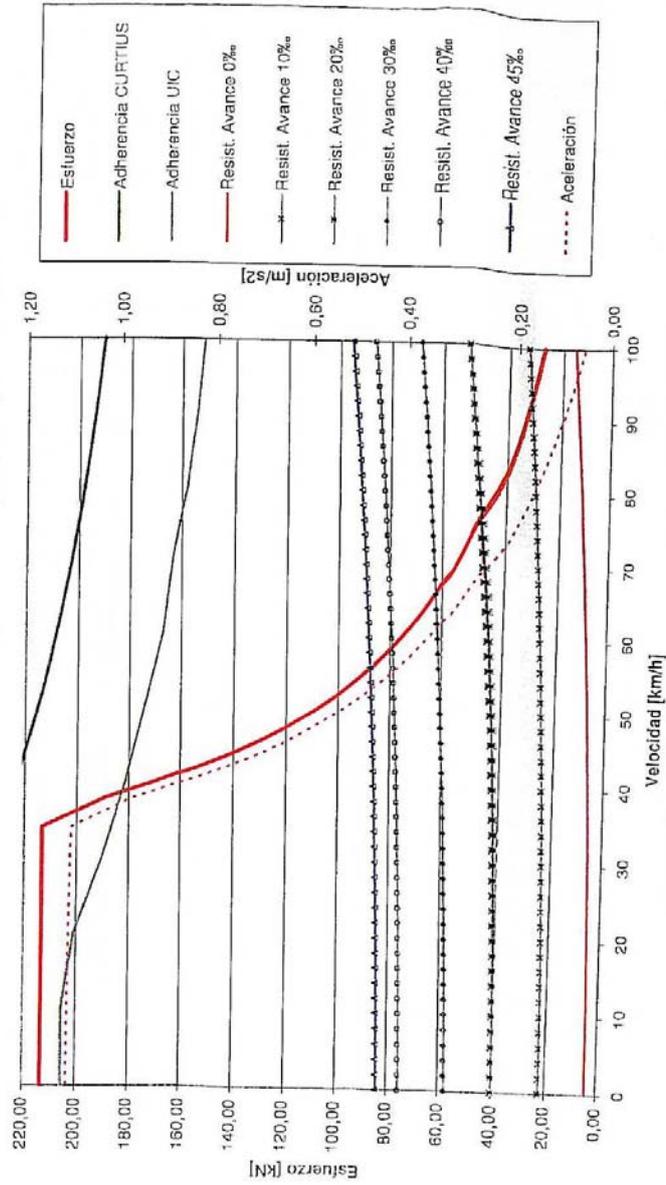
	<b>DOCUMENTO PRESTACIONES EUSKOTREN</b>	AA.08.V2.0004	
		03_00	Pag.. 11/17

**CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD DE TRACCIÓN**  
 Composición: MRRM Carga: máxima (176,69Tn) V<sub>cat</sub>=1500V



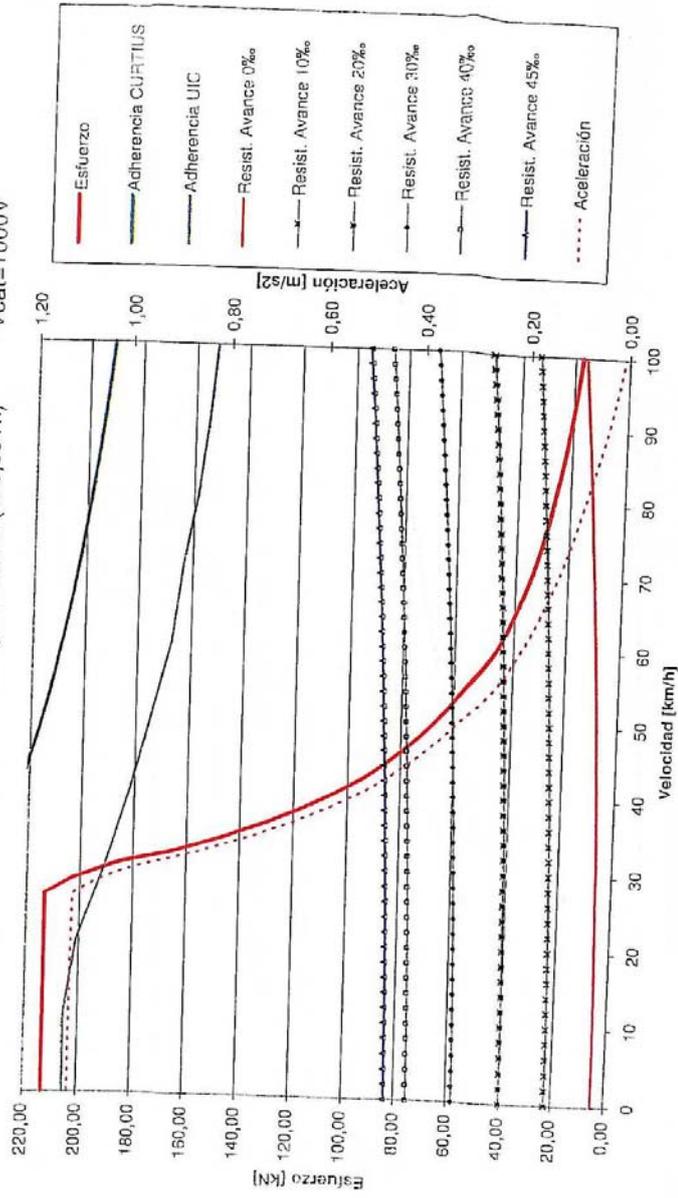
	<b>DOCUMENTO PRESTACIONES EUSKOTREN</b>		AA.08.V2.0004	
			03_00	

**CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD DE TRACCIÓN**  
 Composición: MRRM      Carga: máxima (176,69Tn)      V<sub>cat</sub>=1275V



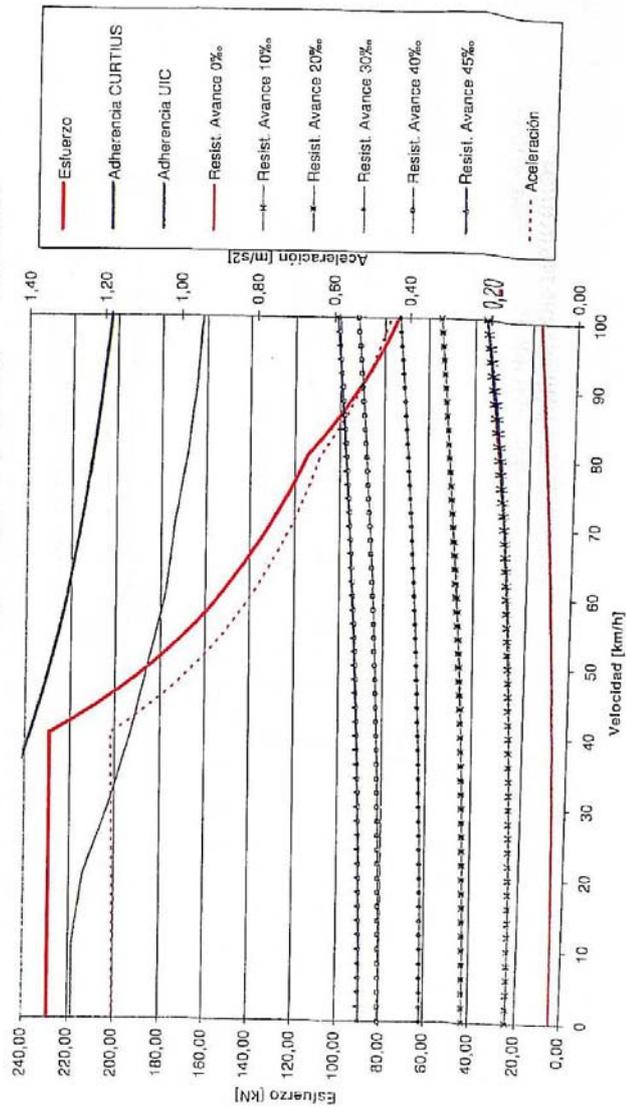
	<b>DOCUMENTO PRESTACIONES EUSKOTREN</b>		
	AA.08.V2.0004	03_00	Pag. 13/17

**CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD DE TRACCIÓN**  
 Composición: MRRM      Carga: máxima (176,69Tn)      V<sub>cat</sub>=1000V



	<b>DOCUMENTO PRESTACIONES EUSKOTREN</b>		
	AA.08.V2.0004	03_00	Pag. 14/17

**CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD DE TRACCIÓN EN FRENO**  
 Composición: MRRM Carga excepcional (188,79Tn) V<sub>cat</sub>=1800V





### 5.6. ARRANQUE DE UN TREN REMOLCANDO A OTRO EN RAMPA

En este capítulo se demuestra analíticamente que con las prestaciones presentadas es posible que una unidad en tara remolcando a otra unidad cargada con 8 personas/m<sup>2</sup> arranque en una rampa con una pendiente del 4%.

- Configuración de tren: MRRM (remolcando a otra unidad MRRM). 8 Motores.
- Tensión de catenaria: 1500V.
- Carga en tara: 130,73 Tn (unidad remolcadora)
- Carga máxima W3 (8p/m<sup>2</sup>): 188,79 Tn (unidad remolcada).
- 3% Tara adicional (ya considerado en las masas anteriores).
- Masas rotativas: 10% del peso en tara de los coches motores y 7% en los coches remolque.
- Resistencia al avance (fórmula definida anteriormente).
- Pendiente del 4%. Ángulo de 2.29 grados.

La fuerza resistiva del tren es:

$$F_{res}(kN) = \left(2,65 + \frac{V^2}{1650} + i + \frac{400}{R-20}\right) \cdot Pr = \left(2,65 + 40 + \frac{400}{80-20}\right) \cdot 319,52 / 100 = 157,58 kN$$

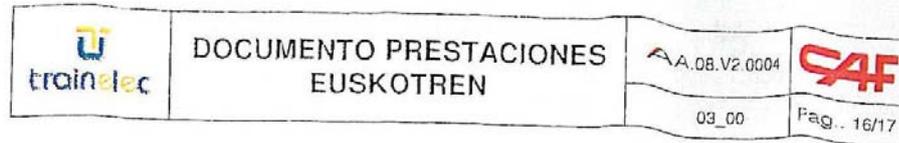
Se ha considerado un radio de curva de 80m, mínimo del recorrido según pliego, por ser el caso más desfavorable.

En este caso los ocho motores de la unidad darán un esfuerzo en llanta de 192kN.

La aceleración producida sería:

$$F = M_{din} \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{M_{din}} = \frac{192 - 157,58}{341,98} = 0,10 m / s^2$$

El valor de aceleración obtenido se considera suficiente para poder arrancar en las condiciones descritas. Este valor de aceleración se consigue siempre y cuando el valor del coeficiente de adherencia sea igual o superior a 0,28. Es un valor de adherencia muy alto. En esta situación entrará en acción el sistema antipatinaje que limitará el esfuerzo con el objetivo de conseguir que el tren no patine.



### 5.7. ARRANQUE DE UN TREN CON 50% DE TRACCIÓN EN RAMPA

En este capítulo se demuestra analíticamente que con las prestaciones presentadas es posible que una unidad en condiciones de carga AW3 (8 personas/m<sup>2</sup>) arranque en una rampa con una pendiente del 4%.

- Configuración de tren: MRRM con 50% de la tracción. 4 Motores.
- Tensión de catenaria: 1500V.
- Carga máxima W3 (8p/m<sup>2</sup>): 188,79 Tn.
- 3% Tara adicional (ya considerado en la masa anterior).
- Masas rotativas: 10% del peso en tara de los coches motores y 7% en los coches remolque.
- Resistencia al avance (fórmula definida anteriormente).
- Pendiente del 4%. Ángulo de 2.29 grados.

La fuerza resistiva del tren es:

$$F_{res}(kN) = \left(2,65 + \frac{v^2}{1650} + i + \frac{400}{R-20}\right) \cdot Pr = \left(2,65 + 40 + \frac{400}{80-20}\right) \cdot 188,79 / 100 = 93,10 kN$$

Se ha considerado un radio de curva de 80m, mínimo del recorrido según pliego, por ser el caso más desfavorable.

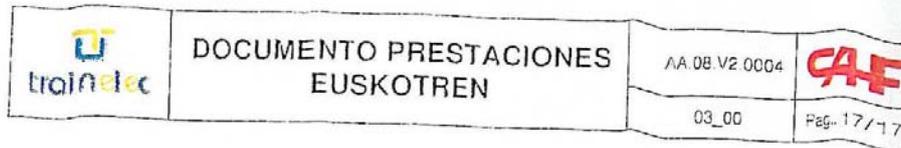
Para estas condiciones de modo degradado, se definirá una curva de tracción en la cual los motores den un esfuerzo superior al definido en la curva de prestaciones durante los primeros instantes. El modo en que se comunicará al equipo de tracción que debe aplicar ese extra esfuerzo se definirá en una fase de proyecto más avanzada.

En este caso los cuatro motores de la unidad darán un esfuerzo en llanta de 114kN.

La aceleración producida sería:

$$F = M \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{M} = \frac{114 - 93,10}{200,02} = 0,10 m/s^2$$

El valor de aceleración obtenido se considera suficiente para poder arrancar en las condiciones descritas. Este valor de aceleración se consigue siempre y cuando el valor del coeficiente de adherencia sea igual o superior a 0,24. En caso de que sea necesario, entrará en acción el sistema antipatinaje que limitará el esfuerzo con el objetivo de conseguir que el tren no patine.



### 5.8. FRENO DE RETENCIÓN EN RAMPA DE 4%

En este capítulo se demuestra analíticamente que con las prestaciones presentadas es posible retener el tren con el freno de retención (eléctrico) en condiciones de carga AW3 (8 personas/m<sup>2</sup>) en una rampa con una pendiente del 4% a 50km/h.

- Configuración de tren: MRRM. 8 Motores.
- Tensión de catenaria: 1800V.
- Carga máxima W3 (8p/m<sup>2</sup>): 188,79 Tn.
- 3% Tara adicional (ya considerado en la masa anterior).
- Masas rotativas: 10% del peso en tara de los coches motores y 7% en los coches remolque.
- Resistencia al avance (fórmula definida anteriormente).
- Pendiente del 4%. Ángulo de 2.29 grados.

La fuerza resistiva del tren es:

$$F_{res}(kN) = \left(2,65 + \frac{V^2}{1650} - i - \frac{400}{R - 20}\right) \cdot P_T = \left(2,65 + \frac{50^2}{1650} - 40 - \frac{400}{80 - 20}\right) \cdot 188,79 / 100 = -80,24 kN$$

Se ha considerado un radio de curva de 80m, mínimo del recorrido según pliego, por ser el caso más desfavorable.

El esfuerzo en el freno generado por los 8 motores operativos a 50km/h es: 183,20 kN.

La aceleración producida sería:

$$F = M_{din} \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{M_{din}} = \frac{183,20 + (-80,24)}{200,02} = 0,51 m / s^2$$

Tal y como se aprecia en los cálculos, el freno de retención (eléctrico) es capaz de retener la UT a 50km/h en las condiciones arriba descritas. Este valor de aceleración se consigue siempre y cuando el valor del coeficiente de adherencia sea igual o superior a 0,19.

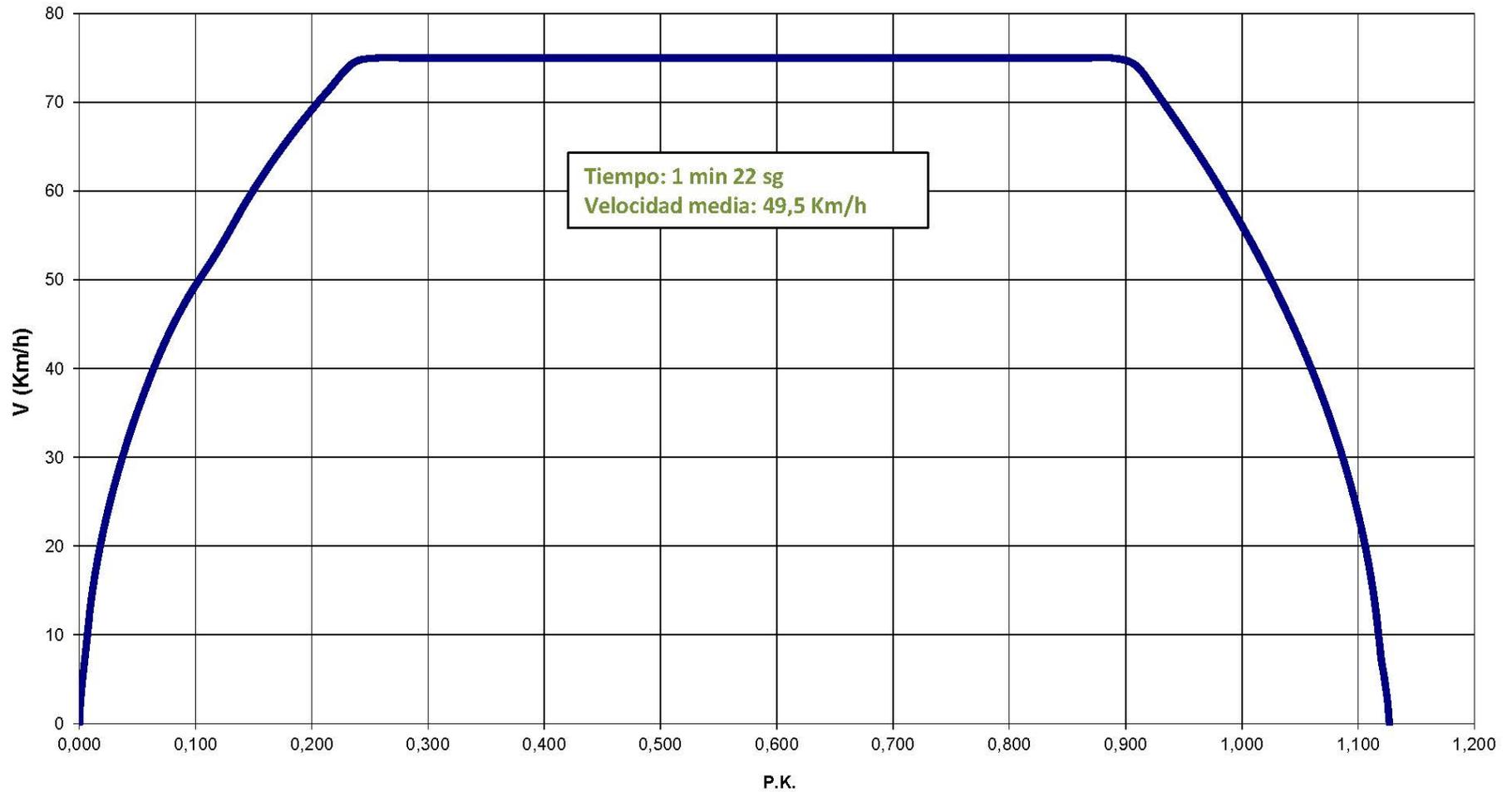
## **APÉNDICE 2: GRÁFICAS DE TIEMPO DE RECORRIDO**



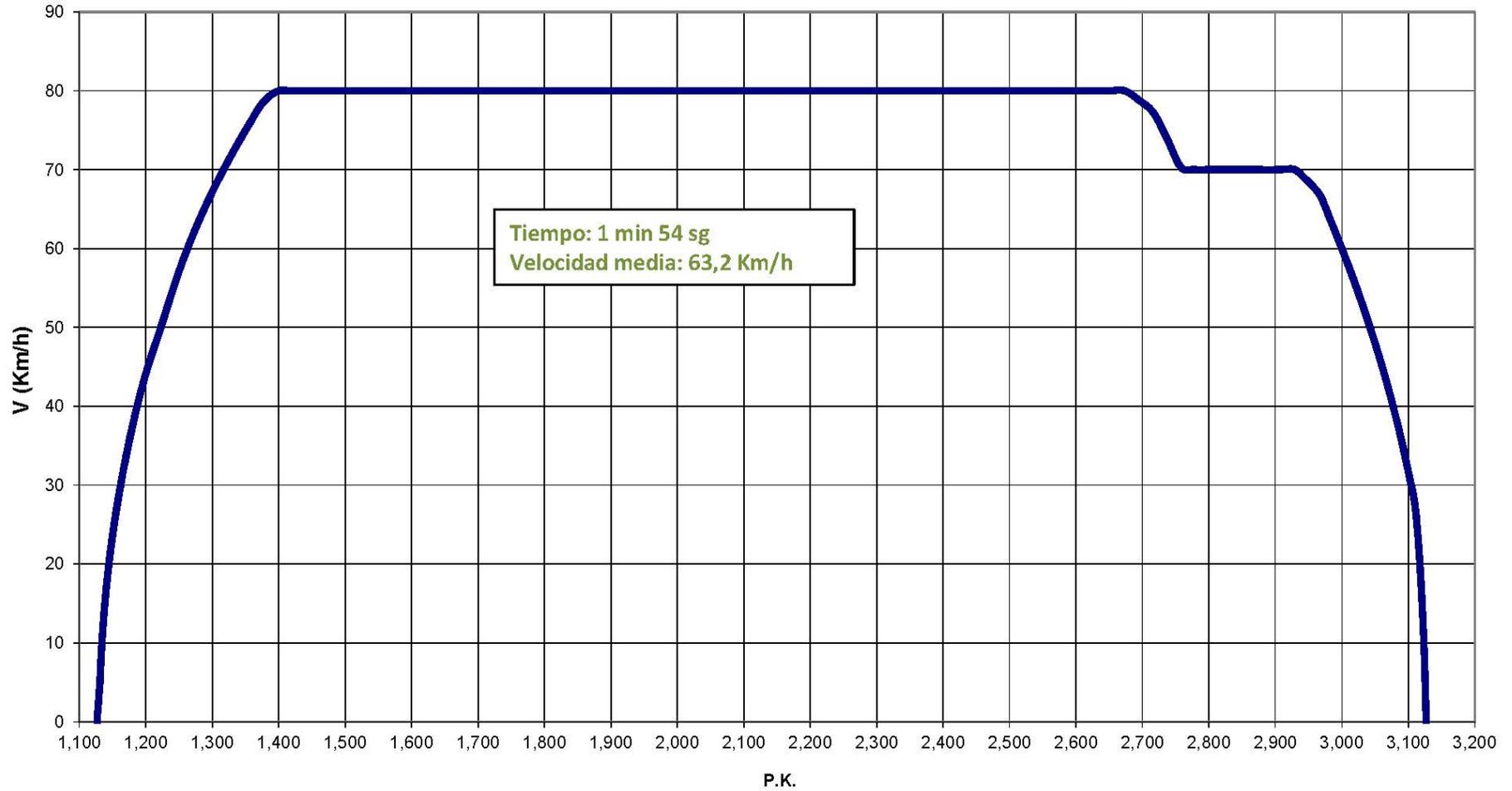
**Ida**



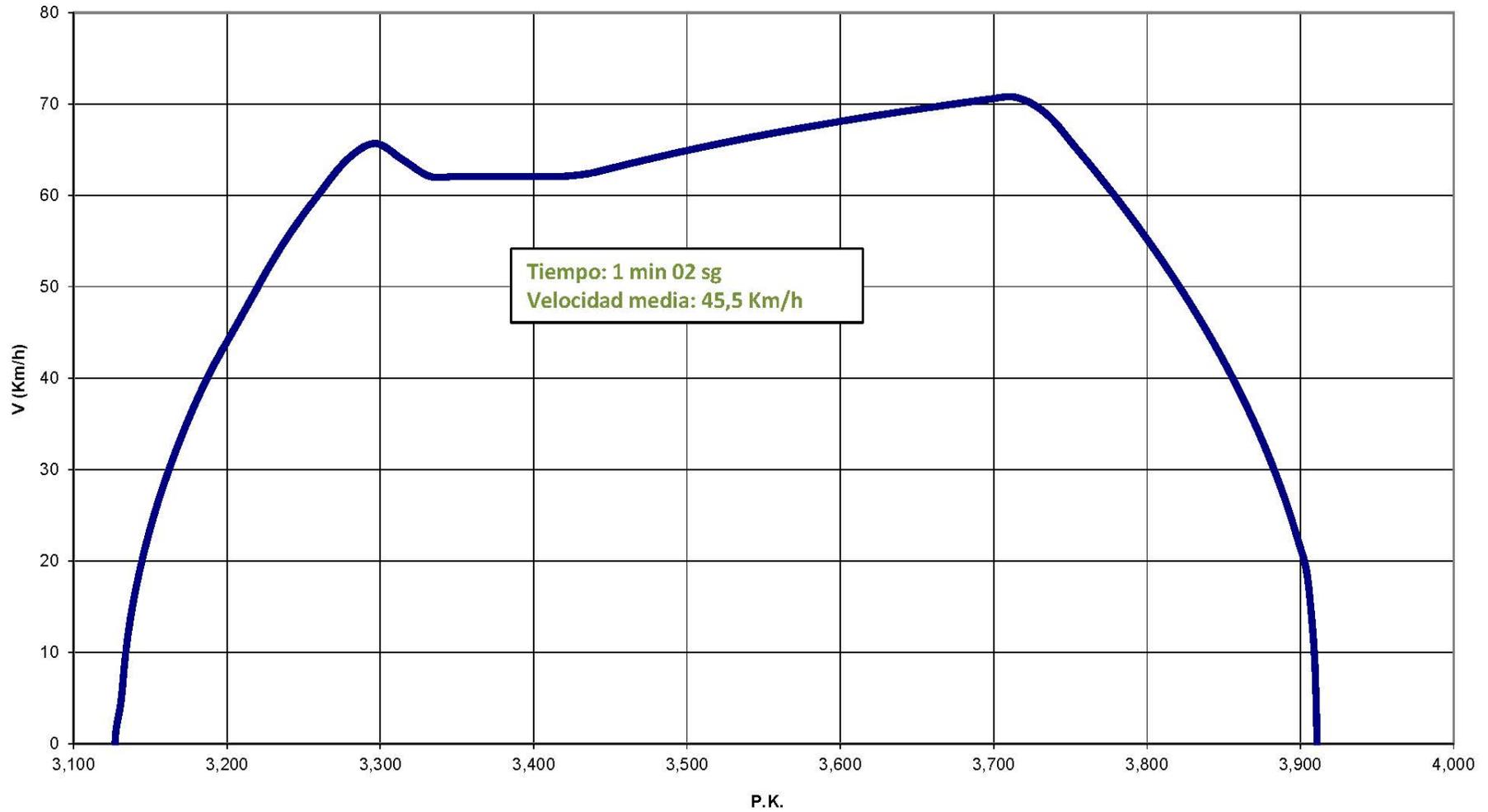
**ESTUDIO INFORMATIVO DEL TRAMO LUGARITZ - EASO**  
**Subtramo 1 (Lugaritz - Bentaberri)**  
**Sentido: IDA**



**ESTUDIO INFORMATIVO DEL TRAMO LUGARITZ - EASO**  
**Subtramo 2 (Bentaberri - Centro/La Concha)**  
**Sentido: IDA**



**ESTUDIO INFORMATIVO DEL TRAMO LUGARITZ- EASO**  
**Subtramo 3 (Centro/La Concha - Easo)**  
**Sentido: IDA**

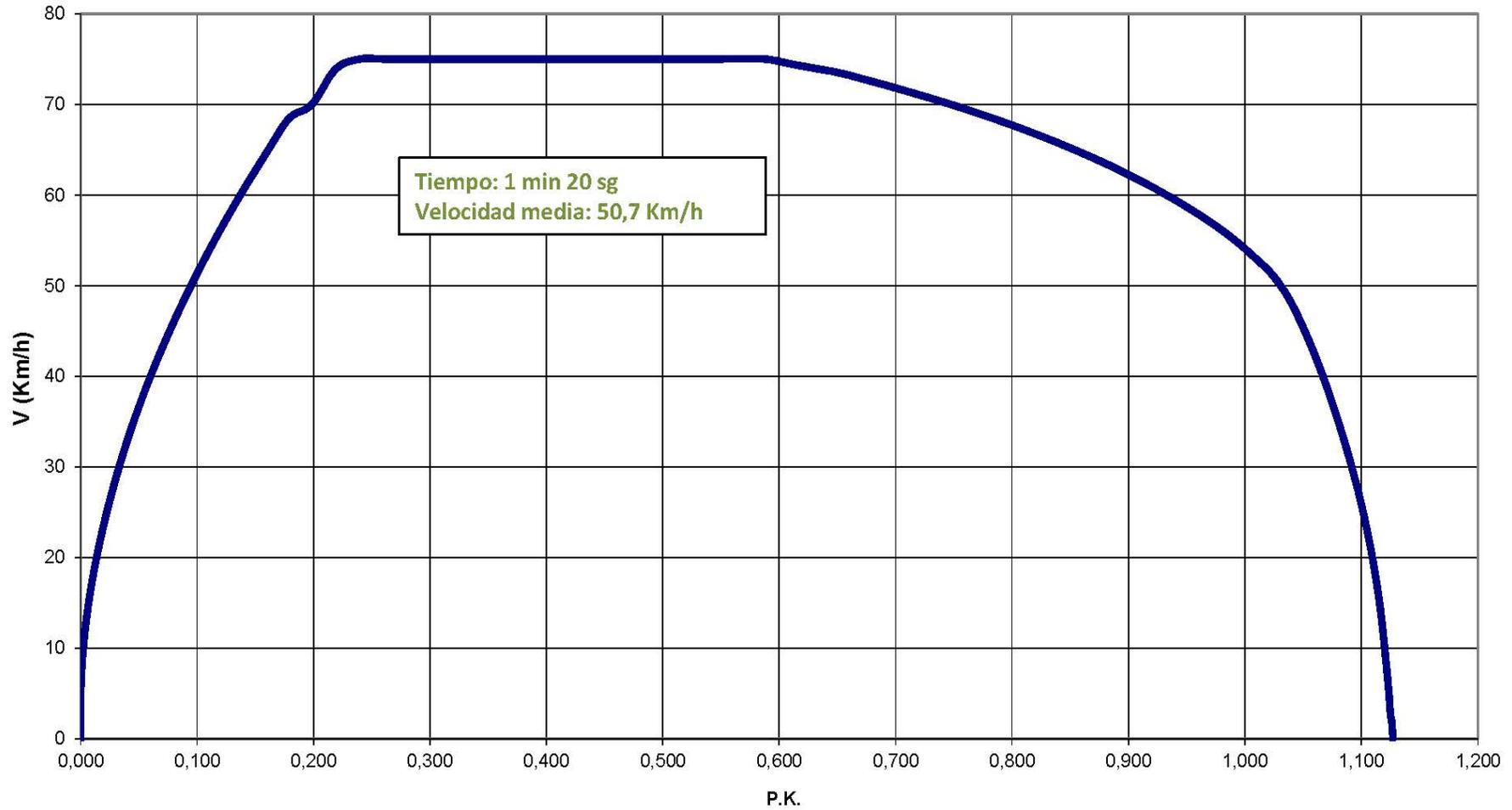




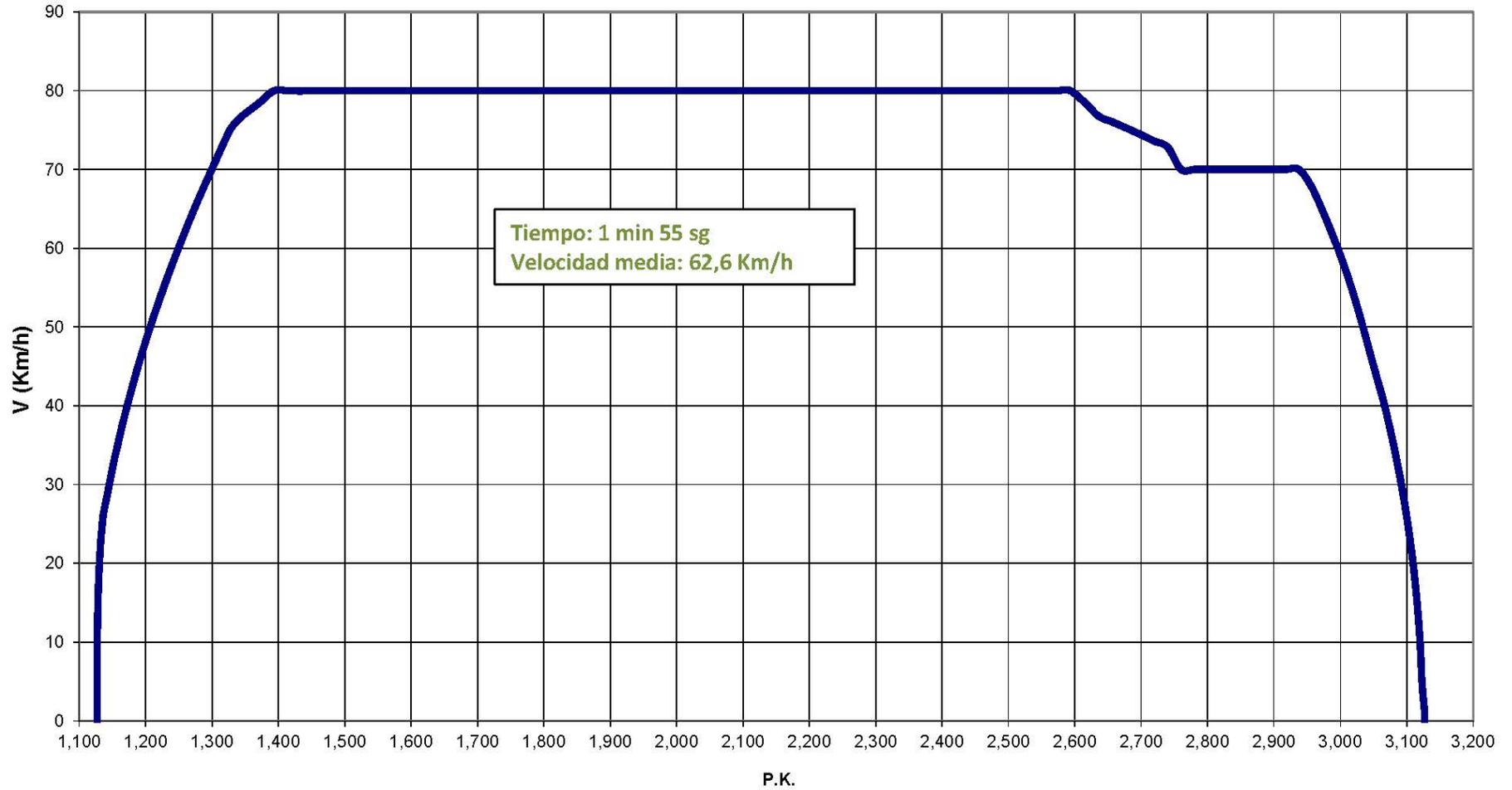
**Vuelta**



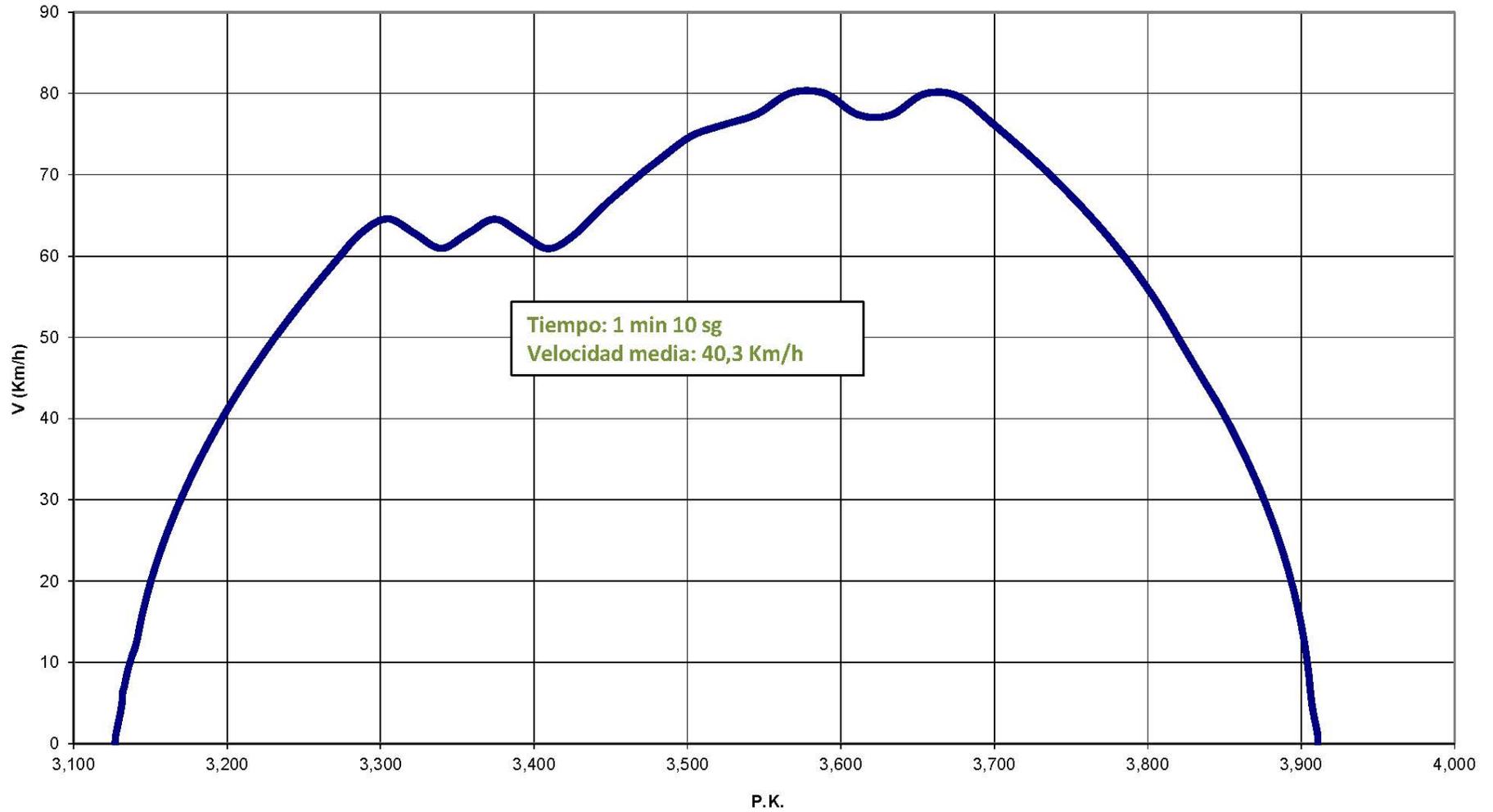
**ESTUDIO INFORMATIVO DEL TRAMO LUGARITZ - EASO**  
**Subtramo 1 (Lugaritz - Bentaberri)**  
**Sentido: VUELTA**



**ESTUDIO INFORMATIVO DEL TRAMO LUGARITZ - EASO**  
**Subtramo 2 (Bentaberri - Centro/La Concha)**  
**Sentido: VUELTA**



**ESTUDIO INFORMATIVO DEL TRAMO LUGARITZ- EASO**  
**Subtramo 3 (Centro/La Concha - Easo)**  
**Sentido: VUELTA**





## **APÉNDICE 3: LISTADOS DE TRAZADO**



## **1. Alineaciones en planta**



Istram 11.12.12.03 30/01/15 10:33:18 817  
 PROYECTO : C.101435  
 EJE: 2: LUGARITZ-BENTABERRI

pagina 1

=====  
 \* \* \* LISTADO DE LAS ALINEACIONES \* \* \*  
 =====

DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	PARAMETRO	AZIMUT	Cos/Xc/Xinf	Sen/Yc/Yinf
1	RECTA	13.608	0.000	581298.778	4795247.672			40.4954	0.5940625	0.8044189
	CLOT.	15.000	13.608	581306.862	4795258.619		54.772	40.4954	581306.862	4795258.619
2	CIRC.	421.256	28.608	581315.621	4795270.795	-200.000		38.1080	581150.396	4795383.492
	CLOT.	62.000	449.864	581163.011	4795583.094		111.355	304.0182	581101.127	4795580.603
3	RECTA	13.031	511.864	581101.127	4795580.603			294.1506	-0.9957818	-0.0917531
	CLOT.	65.000	524.895	581088.151	4795579.408		116.833	294.1506	581088.151	4795579.408
4	CIRC.	340.830	589.895	581023.273	4795576.791	210.000		304.0030	581036.469	4795786.376
	CLOT.	65.000	930.725	580827.858	4795810.491		116.833	7.3265	580841.918	4795873.881
5	RECTA	131.275	995.725	580841.918	4795873.881			17.1789	0.2665831	0.9638119
			1127.000	580876.914	4796000.405			17.1789		

Istram 11.12.12.03 30/01/15 13:26:55 817  
 PROYECTO : C.101435  
 EJE: 3: BENTABERRI - LA CONCHA

pagina 1

=====  
 \* \* \* LISTADO DE LAS ALINEACIONES \* \* \*  
 =====

DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	PARAMETRO	AZIMUT	Cos/Xc/Xinf	Sen/Yc/Yinf
1	RECTA	44.053	1127.000	580876.914	4796000.405			17.1796	0.2665939	0.9638090
	CLOT.	65.000	1171.053	580888.658	4796042.864		127.475	17.1796	580888.658	4796042.864
2	CIRC.	254.882	1236.053	580908.669	4796104.656	250.000		25.4557	581138.948	4796007.334
	CLOT.	65.000	1490.935	581101.240	4796254.474		127.475	90.3609	581166.055	4796258.675
3	RECTA	310.329	1555.935	581166.055	4796258.675			98.6370	0.9997708	0.0214085
	CLOT.	70.000	1866.264	581476.313	4796265.319		236.643	98.6370	581476.313	4796265.319
4	CIRC.	723.104	1936.264	581546.261	4796267.838	-800.000		95.8518	581494.170	4797066.140
	CLOT.	70.000	2659.367	582153.644	4796613.267		236.643	38.3090	582191.568	4796672.097
5	RECTA	20.384	2729.367	582191.568	4796672.097			35.5238	0.5294963	0.8483122
	CLOT.	66.500	2749.751	582202.361	4796689.389		107.877	35.5238	582202.361	4796689.389
6	CIRC.	205.382	2816.251	582241.009	4796743.374	175.000		47.6196	582369.292	4796624.343
	CLOT.	66.500	3021.633	582429.435	4796788.683		107.877	122.3341	582488.401	4796758.171
7	RECTA	38.867	3088.133	582488.401	4796758.171			134.4299	0.8572850	-0.5148421
			3127.000	582521.721	4796738.161			134.4299		

Istram 11.12.12.03 30/01/15 13:26:55 817  
 PROYECTO : C.101435  
 EJE: 4: LA CONCHA - EASO

pagina 1

=====  
 \* \* \* LISTADO DE LAS ALINEACIONES \* \* \*  
 =====

DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	PARAMETRO	AZIMUT	Cos/Xc/Xinf	Sen/Yc/Yinf
1	RECTA	43.167	3127.000	582521.721	4796738.161			134.4284	0.8572970	-0.5148221
	CLOT.	62.000	3170.167	582558.728	4796715.938		96.437	134.4284	582558.728	4796715.938
2	CIRC.	132.430	3232.167	582609.461	4796680.504	150.000		147.5852	582507.494	4796570.492
	CLOT.	62.000	3364.597	582657.228	4796561.567		96.437	203.7904	582645.095	4796500.885
3	RECTA	14.502	3426.597	582645.095	4796500.885			216.9472	-0.2630726	-0.9647760
	CLOT.	50.000	3441.099	582641.280	4796486.894		193.649	216.9472	582641.280	4796486.894
4	CIRC.	283.249	3491.099	582628.664	4796438.514	-750.000		214.8251	583358.420	4796265.435
	CLOT.	50.000	3774.348	582616.268	4796157.219		193.649	190.7822	582624.579	4796107.917
5	RECTA	86.654	3824.348	582624.579	4796107.917			188.6601	0.1771859	-0.9841774
			3911.003	582639.933	4796022.634			188.6601		



## **2. Estado de rasantes**



Istram 11.12.12.03 30/01/15 10:33:36 817  
 PROYECTO : C.101435  
 EJE: 2: LUGARITZ-BENTABERRI

pagina 1

=====

\* \* \* ESTADO DE RASANTES \* \* \*

=====

PENDIENTE (%)	LONGITUD (m.)	PARAMETRO ( kv )	VÉRTICE		ENTRADA AL ACUERDO		SALIDA DEL ACUERDO		BISECT. (m.)	DIF.PEN ( % )
			PK	Z	PK	Z	PK	Z		
					0.000	14.310				
0.500000	75.000	2000.000	101.733	14.819	64.233	14.631	139.233	13.600	0.352	-3.750
-3.250000	65.000	2000.000	1050.000	-16.000	1017.500	-14.944	1082.500	-16.000	0.264	3.250
0.000000							1127.000	-16.000		

Istram 11.12.12.03 30/01/15 13:29:20 817  
 PROYECTO : C.101435  
 EJE: 3: BENTABERRI - LA CONCHA

pagina 1

=====  
 \* \* \* ESTADO DE RASANTES \* \* \*  
 =====

PENDIENTE (%)	LONGITUD (m.)	PARAMETRO ( kv )	VÉRTICE		ENTRADA AL ACUERDO		SALIDA DEL ACUERDO		BISECT. (m.)	DIF.PEN ( % )
			PK	Z	PK	Z	PK	Z		
					1127.000	-16.000				
0.000000	70.000	2000.000	1205.300	-16.000	1170.300	-16.000	1240.300	-17.225	0.306	-3.500
-3.500000	125.000	2500.000	1466.046	-25.126	1403.546	-22.939	1528.546	-24.189	0.781	5.000
1.500000	292.500	6500.000	2189.130	-14.280	2042.880	-16.474	2335.380	-18.667	1.645	-4.500
-3.000000	84.000	1200.000	2873.336	-34.806	2831.336	-33.546	2915.336	-33.126	0.735	7.000
4.000000	48.000	1200.000	3055.986	-27.500	3031.986	-28.460	3079.986	-27.500	0.240	-4.000
0.000000							3127.000	-27.500		

Istram 11.12.12.03 30/01/15 13:29:12 817  
 PROYECTO : C.101435  
 EJE: 4: LA CONCHA - EASO

pagina 1

=====  
 \* \* \* ESTADO DE RASANTES \* \* \*  
 =====

PENDIENTE (%)	LONGITUD (m.)	PARAMETRO ( kv )	VÉRTICE		ENTRADA AL ACUERDO		SALIDA DEL ACUERDO		BISECT. (m.)	DIF.PEN ( % )
			PK	Z	PK	Z	PK	Z		
					3127.000	-27.500				
0.000000	45.000	1200.000	3197.785	-27.500	3175.285	-27.500	3220.285	-28.344	0.211	-3.750
-3.750000	99.000	1200.000	3301.235	-31.379	3251.735	-29.523	3350.735	-29.152	1.021	8.250
4.500000	54.000	1200.000	3843.444	-6.980	3816.444	-8.195	3870.444	-6.980	0.304	-4.500
0.000000							3911.000	-6.980		