

# Lomotora Naval 1322 de FEVE. Reforma, funcionamiento, prestaciones

## *FEVE's Naval Locomotive 1322. Alteration, operation and performance*

Francisco Barberly Tortosa\*

*Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III, Madrid, 28911, Madrid*

---

### Resumen

El artículo describe las diferentes fases de la reforma completa de una locomotora de maniobras diésel de vía métrica del año 1966. También explica de forma general el funcionamiento del vehículo ya reformado y expone sus nuevos parámetros de funcionamiento, indicando los conceptos más importantes para el cálculo de prestaciones ferroviarias.

Palabras clave: Locomotora, FEVE, Reforma, Prestaciones, Maniobras

### Abstract

*The article describes the different phases of the complete alteration of a metric gauge diesel shunting locomotive built in 1966. It also explains the operation of the renovated vehicle and presents the new operating parameters, indicating the most important concepts of the calculation of railway performances.*

*Keywords: Locomotive, FEVE, alteration, performance, Shunting*

---

## 1. Introducción

Este artículo resume el proyecto fin de carrera Locomotora Naval 1322 de FEVE: Reforma, funcionamiento, prestaciones, basado en los trabajos de reforma que fueron realizados durante el año 2010 para la recuperación de la locomotora por parte de la empresa Intervías. El propósito del proyecto, además de describir estos trabajos, ha sido detallar el funcionamiento de la locomotora renovada y calcular sus prestaciones.

### *1.1. Encargo de la reforma*

La empresa propietaria de la locomotora Naval 1322 es FEVE (Ferrocarriles de Vía Estrecha), que es una compañía estatal dependiente del Ministerio de Fomento. FEVE gestiona la mayor parte de la red española de vía métrica, incluyendo el material rodante que circula por ellas. Esta red se encuentra principalmente en el norte de la península, atravesando las comunidades autónomas de Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco y Castilla y León; aunque también incluye una línea de vía métrica ubicada en Murcia.

La reforma de la locomotora se enmarca dentro del conjunto de proyectos realizados o encargados por FEVE durante los años 2009, 2010 y 2011 para la conservación de su patrimonio histórico. Otro de los trabajos efectuados dentro de este grupo fue la remodelación de la locomotora de vapor VA8, que se muestra en la figura 1.1 y que fue presentada en octubre de 2011.



Fig. 1. Locomotora de vapor VA8

Mediante la reforma de la locomotora Naval, FEVE tenía como objetivo devolverla al servicio, ya que había sido retirada de circulación a principios de los años noventa. Se pretendía de esta forma reutilizar la locomotora para realizar maniobras en talleres y para remolcar una composición de cuatro coches antiguos de pasajeros, configurando así un pequeño tren turístico. Este tren efectuaría trayectos entre el Museo de Ferrocarril de Cistierna y el Museo de la Siderurgia y Minería de Sabero. Cistierna y Sabero son dos municipios de la provincia de León.

### 1.2. Historia de la locomotora Naval 1322

La locomotora Naval 1322 fue adquirida en 1966 por la operadora privada de vía estrecha Ferrocarriles de La Robla, que en 1972 se integraría en FEVE. Estaba incluida en un lote de 8 unidades del mismo modelo que se matricularon en la compañía de La Robla con los números de serie 201-208. Una vez que FEVE se hizo cargo de la empresa, se registraron como 1318-1325. El lote a su vez formó parte de las 25 locomotoras del mismo tipo que varias compañías ferroviarias de vía métrica adquirieron en la década de 1960. Estas 25 unidades permitieron la retirada del servicio de las últimas locomotoras de vapor de vía métrica que todavía circulaban por el norte de España. En este aspecto, tienen un importante valor histórico. (1)

Las 25 locomotoras fueron montadas en los talleres de Sestao (Vizcaya) de la Sociedad Española de Construcción Naval siguiendo un diseño de la compañía inglesa YEC (Yorkshire Engine Company), una empresa ferroviaria ya desaparecida que estaba situada en Sheffield, un municipio perteneciente al condado de South Yorkshire, Inglaterra. Las 25 locomotoras eran prácticamente iguales, solo se diferenciaban en el motor. De ellas, doce incorporaban un motor diésel Rolls & Royce C6SFL de 164KW con seis cilindros en línea. El resto, entre las que se encuentra la 1322, también tenían un motor diésel Rolls & Royce del mismo tipo, pero era el modelo C6TFL de 210KW, más potente.

Durante sus años de servicio, la Naval 1322 fue utilizada para maniobras y transporte de viajeros en trayectos cortos. Se retiró de la circulación a principios de la década de 1990 en el depósito de Cistierna, donde permaneció hasta la fecha de inicio de la reforma de la que trata este proyecto, a finales de 2009.

### 1.3. Objetivos de la reforma de la Naval

Desde un punto de vista técnico, la finalidad de la reforma fue transformar la locomotora 1322 para que fuera compatible con el sistema de circulación actual de FEVE, manteniendo al mismo tiempo su estética original. Para ello, se desinstalaron todos los equipos de la locomotora, ya que estaban inservibles, y se montaron otros nuevos. Solo se conservaron algunos componentes mecánicos como el bastidor o el rodaje. Además, la

locomotora fue pintada con un diseño que recuerda el aspecto que tenía cuando pertenecía a Ferrocarriles de La Robla, que es diferente al que se dispuso con FEVE.

Los trabajos de renovación se realizaron en talleres de Reinosa (Cantabria), pero se organizaron y planificaron desde una oficina de Madrid. En estas oficinas se proyectó la nueva disposición de la locomotora, se seleccionaron los nuevos equipos, se diseñaron nuevas piezas y en definitiva, se determinaron las nuevas características de la Naval.

La distancia entre las oficinas y el taller supuso un problema que se solucionó con el uso del programa Inventor, de Autodesk. Mediante este programa se creó un modelo en tres dimensiones con las medidas originales de la locomotora, lo que permitió diseñar la disposición de los equipos de una forma mucho más rápida y efectiva. Los nuevos elementos que eran instalados en la locomotora real iban siendo incluidos poco a poco en el modelo. Cuando se concluyó la reforma se obtuvo una representación tridimensional bastante realista de la Naval. En las figuras 2, 3 y 4 se muestran imágenes de la Naval en su estado original, del modelo tridimensional y del aspecto después de la reforma.



Fig. 2. Locomotora Naval 1322 antes de la reforma



Fig. 3. Modelo tridimensional de la Naval



*Fig. 4. Locomotora Naval 1322 reformada*

## **2. Descripción de la reforma**

La Naval es una locomotora diésel de vía métrica. Puede circular indistintamente en ambos sentidos, contando con seis marchas en ambos casos. La reforma permitió adaptar a la locomotora a la red de FEVE, ya que se incluyeron todos los elementos de seguridad necesarios para ello. Inicialmente, la Naval disponía de un motor Rolls & Royce que luego fue sustituido por un motor Volvo TAD-750VE de 200 KW y 6 cilindros en línea.

### *2.1. Estado inicial*

El estado de la locomotora antes de comenzar los trabajos de reforma era ruinoso, como se observa en la figura 5 Según FEVE, la Naval había estado 13 años a la intemperie antes de la renovación. Durante esos años, sufrió continuados actos de vandalismo. La mayoría de sus piezas estaban oxidadas y los sistemas estaban irreparables debido a la falta de mantenimiento.



*Fig. 5. Estado inicial de la locomotora Naval*



## 2.2. Primeros trabajos de reforma: transporte, desmontaje, chorreado y lijado

Los trabajos de reforma se iniciaron con el transporte de la locomotora desde Cistierna, donde había pasado los últimos 13 años, hasta Reinoso, donde se realizarían la mayor parte de las tareas de remodelación.

Una vez en el taller de Reinoso, se procedería al desmontaje completo de todas sus piezas, unas para ser sustituidas, y otras para ser arregladas o mejoradas. Después del desmontaje, el aspecto de la locomotora era el de la figura 6.



Fig. 6. Locomotora desmontada

Realizado el desmontaje, se dispuso a la corrección de abolladuras en las distintas piezas de la carrocería, bastidor y otras partes mecánicas de la locomotora que serían reutilizadas. Se les aplicó un chorro de arena para eliminar óxidos, y un lijado, para eliminar los defectos que aun estuvieran presentes, quedando la carrocería y el bastidor como se muestra en la figura 7.



Fig.7. Locomotora desmontada, después de los primeros tratamientos

## 2.3. Fase de diseño, adquisición y montaje de nuevos componentes

El siguiente paso en los trabajos fue la selección y adquisición de los nuevos elementos y sistemas de la locomotora. Para ello se hicieron cálculos de prestaciones, de frenado, de carga, etc., todo con el fin de definir

los componentes más apropiados para permitir el funcionamiento correcto y seguro. De esta forma, se decidió la distribución de los nuevos elementos de la locomotora y se diseñaron los sistemas de sujeción necesarios.

A continuación, se inició el montaje de los elementos principales. Se colocó el motor, la caja de cambios y el resto de nuevos equipos. También se volvieron a montar los ejes originales con las ruedas, el grupo cónico inicial, y la timonería de freno también original. Finalmente, se montó todo el cableado conectando los sistemas para permitir su control, y se colocaron los conductos de la red de aire comprimido y del grupo motriz. En la figura 8 se muestra el motor Volvo antes de que fuera instalado.



Fig. 8. Motor Volvo TAD-750VE

#### 2.4. Fase final

Cuando la locomotora ya tenía la mayoría de los nuevos elementos instalados, se aplicaron los tratamientos superficiales que quedaban. Las piezas de la carrocería y el bastidor, que ya habían sido chorreadas y lijadas, fueron emplastecidas, imprimadas y pintadas. La locomotora se pintó según encargo: los bajos, de color negro, y el resto, según un esquema proporcionado por FEVE.

Una vez terminados los trabajos de pintado y de instalación, la locomotora quedó lista y se transportó de Reinos a El Berrón (Asturias), donde FEVE realizaría las pruebas necesarias para su aprobación para la circulación. En la figura 9 se muestra el estado final de la cabina, y en la figura 10, la descarga de la locomotora renovada en su destino: El Berrón.



Fig. 9. Detalle de la cabina pintada con todos los mandos instalados



Fig. 10. Descarga de la locomotora en los talleres de El Berrón

### 3. Funcionamiento y partes de la locomotora

En la figura 11 también se presenta un esquema con la locomotora seccionada. Los componentes indicados en la figura son elementos del sistema de tracción (número 1), del sistema de freno (número 2), de los sistemas de seguridad (número 3), de los sistemas de comunicación (número 4), de los sistemas auxiliares (número 5), del sistema de control (número 6), de la cabina (número 8), de las suspensiones (número 9), de las conexiones con vagones o coches (número 10) y del bastidor y la carrocería (número 11).

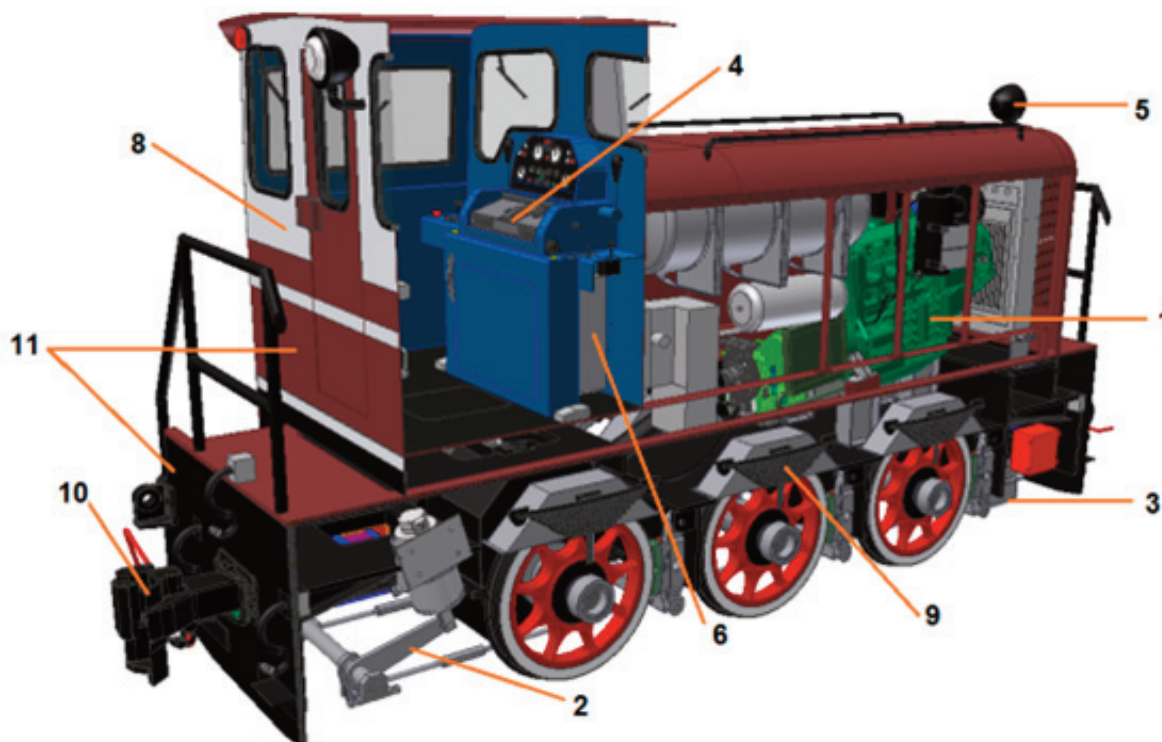


Fig. 11. Esquema de la locomotora

Observando la figura 11, puede comprenderse el funcionamiento de la locomotora a grandes rasgos. El elemento que aporta movimiento a la locomotora es el sistema de tracción, compuesto a su vez por el sistema motriz (conjunto motor y transmisión) y el rodaje. El conjunto motor produce el giro de un cigüeñal que conecta con la transmisión, que consta de una caja de cambios, un eje cardan y un grupo cónico. Estos elementos

comunican el movimiento del motor a un rodaje formado por tres ejes de rodadura y bielas tractoras, permitiendo que sus ruedas rueden por la vía.

Otra de las principales funciones de la locomotora es la del frenado. El sistema de freno se compone de una red neumática que suministra aire a unos cilindros. Estos cilindros accionan una timonería que transmite el movimiento a unas zapatas que actúan sobre las ruedas, reduciendo su velocidad de giro mediante rozamiento. La locomotora dispone de varios tipos de freno: de servicio o de emergencia (según la fuerza y el tiempo de aplicación), y automático o directo (según se aplique a una composición o solo a la locomotora).

Desde la cabina, el maquinista controla la tracción, el frenado y otros sistemas de la locomotora. Además, cuenta con indicadores que le permiten obtener la información necesaria para una circulación segura por vía y para conocer el estado de los componentes que pueden fallar.

Para evitar accidentes, la locomotora cuenta con dos sistemas de seguridad: ASFA y hombre muerto, que entre otras cosas, permiten aplicar el freno durante la circulación en el caso de que el maquinista quede temporalmente imposibilitado para la conducción.

Todas las funciones motrices, de freno, de seguridad y de aviso son gestionadas en última instancia por un automático que establece las relaciones entre los diferentes equipos. En la figura 12 se explica mediante un diagrama de flujos las distintas relaciones que existen entre los diferentes sistemas de la locomotora.

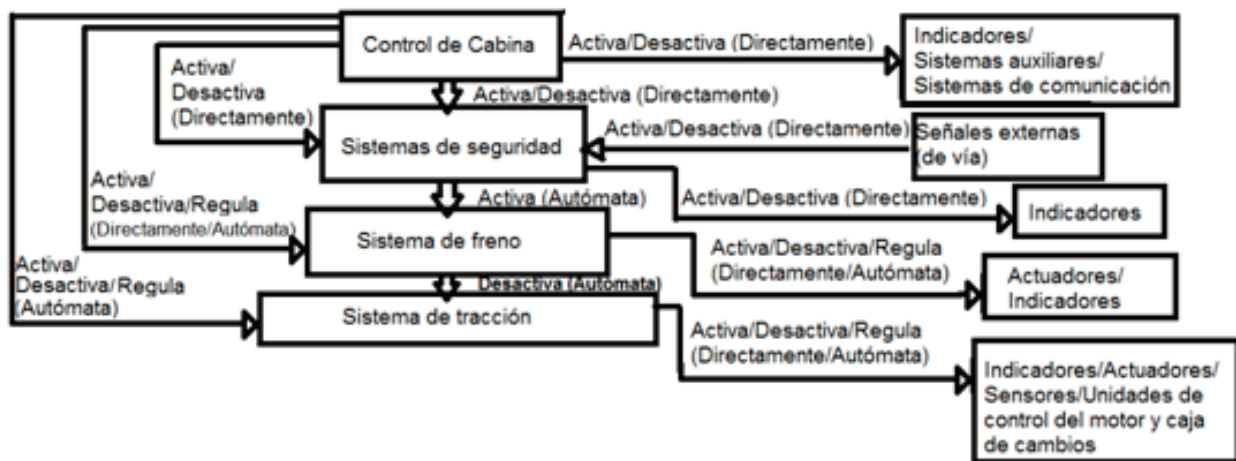


Fig. 12. Diagrama de gestión de la locomotora. Se indica si los controles se realizan mediante elementos internos a los sistemas (Directamente), o si se hace mediante el automático (Automata)

## 4. Prestaciones

La determinación de las prestaciones de un vehículo ferroviario requiere la consideración que varias variables que determinan en mayor o menor medida su comportamiento dinámico. Este artículo no hace una descripción rigurosa de todos los conceptos que deben tenerse en cuenta para el cálculo de prestaciones de tracción y frenado, ya que eso supondría extenderse demasiado, pero sí que se tratan los aspectos más generales.

### 4.1. Prestaciones de tracción

El objetivo básico de la obtención las prestaciones de tracción es determinar si un vehículo puede circular por un tramo de vía satisfaciendo ciertas condiciones. Para ello se calcula la fuerza que éste puede aportar para su movimiento y se compara con las fuerzas resistentes que se espera que se tenga durante el avance. Mediante esta primera comparación, pueden obtenerse algunas características importantes de los vehículos, como su



velocidad, aceleración, carga y rampa máximas.

El primer aspecto que es necesario conocer para hacer posible la determinación de las prestaciones es la resistencia al avance. Esta resistencia depende de los rozamientos producidos en el vehículos al rodar (en ruedas y rodamientos); del aire in filtrado por las rejillas de ventilación; de la presión, fricción y velocidad del aire circulante alrededor de la locomotora; de los radios de las curvas trazadas; de las aceleraciones y masas aceleradas; de la rampa o pendiente superadas, y de la carga soportada. Cada una de estas variables está definida por una fórmula, siendo la resistencia total la suma de cada una de ellas. (2)

La fórmula siguiente indica las componentes resistentes cuando no existen curvas, rampas ni aceleraciones. Pueden observarse tres términos, que representan la resistencia mecánica (producida por el rozamiento generado el rodar); la resistencia a la entrada de aire, y la aerodinámica (debida a la circulación del aire). Los símbolos que aparecen en la fórmula corresponden a los diferentes parámetros que determinan cada una de las componentes, pero no es necesario conocerlos para tener una idea general de cómo se realiza el cálculo de prestaciones.

$$R_{\text{avance recta}} = A + BV + CV^2 = 9800 \cdot \left( \xi \cdot M + \frac{r_{\text{aer}}}{R_{\text{rueda}}} \cdot (M - M_{\text{no.suspendida}}) \cdot \mu_{\text{rod}} \right) + Q \cdot 0,34 + T_f \cdot C \cdot (V + V_v \cdot \sigma)^2$$

Una vez que se ha estimado la resistencia que debe superar un vehículo para recorrer un determinado tramo, se calcula su fuerza motriz en función del par y número de revoluciones de su sistema motor, teniendo en cuenta la relación de transmisión entre el motor y el rodaje. De esta forma, se obtiene la fuerza motriz según la velocidad del vehículo. Además, es importante tener en cuenta el límite adherente, que hace que determinados valores de la fuerza motriz no estén limitados por la fuerza aportada por el motor, sino por la relación adherente entre las ruedas y el carril.

La fuerza motriz y la resistencia al avance dependen de la velocidad del vehículo. Debido a ello, pueden representarse en una gráfica conjunta desde la que se pueden determinar gráficamente algunos datos de interés, como la velocidad, rampa y aceleración máximas limitadas por las resistencias y la fuerza motriz. Estas características también pueden determinarse aplicando fórmulas, lo que es aconsejable ya que los resultados obtenidos así son más precisos.

#### 4.2. Prestaciones de frenado

La capacidad de frenado de una locomotora o tren es una de sus magnitudes más importantes, ya que determina su seguridad en circulación. Existen tres principales tipos de frenado cuyas prestaciones deben ser calculadas: el freno de servicio, que es el que se utiliza en ocasiones normales; el de urgencia, para situaciones en que se requiera una mayor deceleración, y el de estacionamiento, que evita el movimiento cuando el vehículo está en reposo. Las fuerzas de frenado de urgencia, servicio y estacionamiento tienen un valor que establece el fabricante y que deben satisfacer las exigencias de la administración ferroviaria por donde se circule.

Las prestaciones más importantes que dependen de las fuerzas de frenado son la distancia de frenado y el coeficiente de frenado. A la hora de determinar si las fuerzas de frenado del vehículo son apropiadas, debe comprobarse si producen bloqueo de rueda y si cumplen con las exigencias en cuanto a distancias de frenado y coeficiente de freno de los administradores de las líneas por donde circule. (3)

#### 4.3. Prestaciones de la locomotora Naval

Los resultados de prestaciones obtenidos para la locomotora se basan en las consideraciones que se han indicado muy resumidamente en los apartados 4.1 y 4.2. Se han utilizado muchos parámetros que no han sido explicados por no ser completamente necesarios para una comprensión general del proyecto.

En la figura 13 se indican los diferentes valores de la resistencia al avance (sin tener en cuenta el paso por curvas o la aceleración). La figura 14 representa la fuerza motriz aportada por el motor y la limitación adherente (que en este caso no ejerce ninguna influencia), y en la 15 se muestra la carga máxima remolcable por la locomotora en función de la velocidad y la rampa. Finalmente, en las tablas 1 y 2 se recogen los valores más importantes de las prestaciones de tracción y frenado.

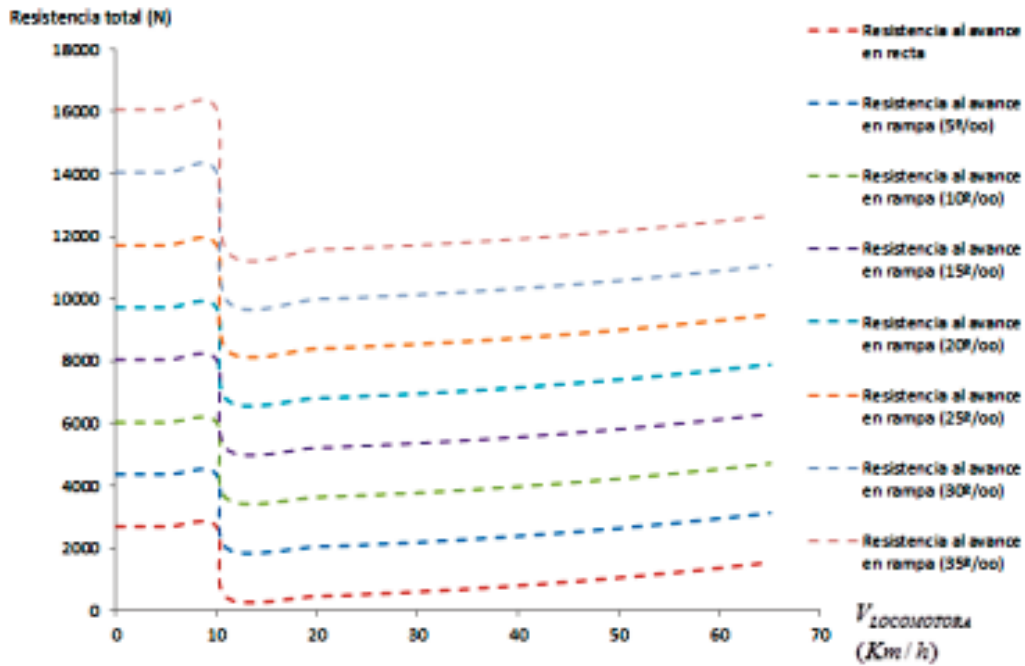


Fig. 13. Resistencia total al avance de la locomotora. Se consideran las resistencias en recta, en rampa y en el arranque en función de la velocidad y la rampa.

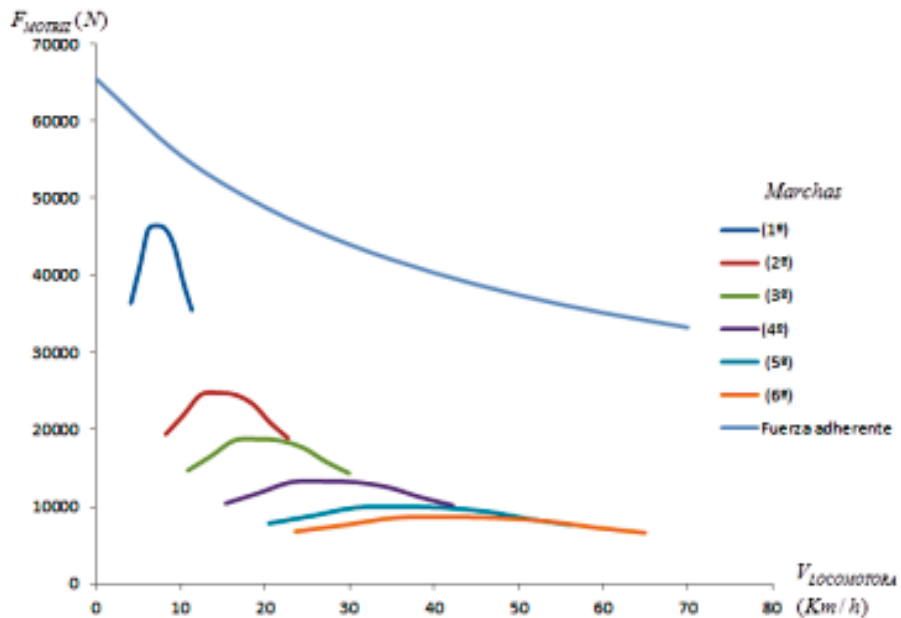


Fig. 14. Fuerza motriz y límite adherente en función de la velocidad y la relación de transmisión.

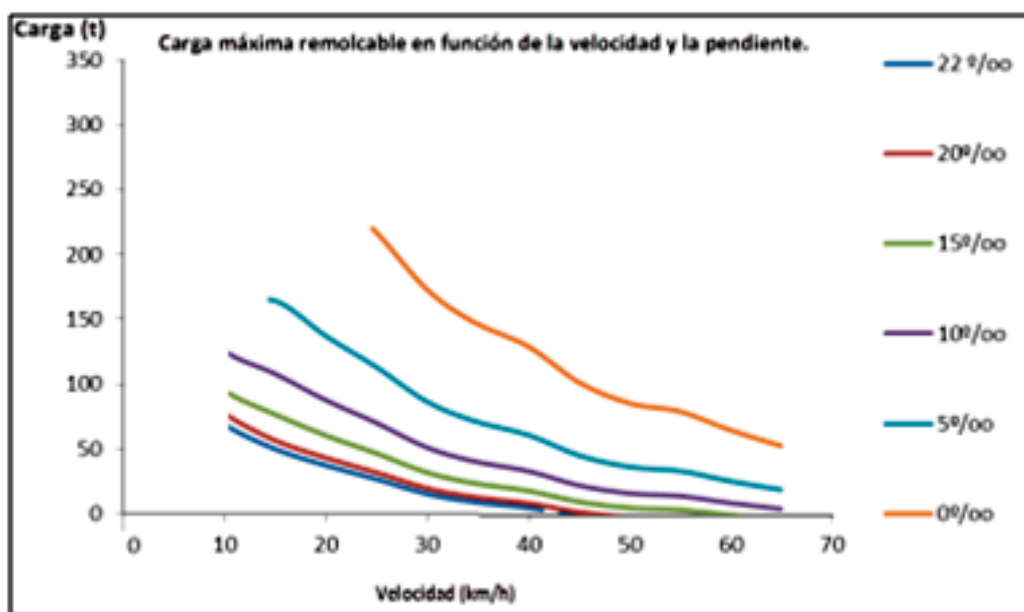


Fig. 15. Carga máxima remolcable para diferentes rampas. El valor máximo es de 216,7t y se da a 25km/h y 0 milésimas de rampa.

Tabla 1. Principales parámetros de las prestaciones de tracción

Fuerza motriz máxima (a 7 km/h)	47783,96 N
Máxima rampa abordable (a 7 km/h)	130,69 daN/t
Velocidad máxima	67,93 km/h
Aceleración máxima absoluta (a 7 Km/h)	1,24 m/s <sup>2</sup>
Carga máxima remolcable (a 25 km/h y 0 daN/t de pendiente)	216,7 t

Tabla 2. Principales parámetros de las prestaciones de frenado

Fuerza de freno de urgencia	13778,89 N
Fuerza de freno de servicio máxima	11482,41 N
Fuerza de freno de estacionamiento	10798,5 N
Coefficiente de frenado en freno de urgencia (valor aproximado)	41,24%
Coefficiente de frenado en freno de servicio (valor aproximado)	34,38%
Coefficiente de frenado en freno de estacionamiento	16,17%
Deceleración de urgencia	0,41 m/s <sup>2</sup>
Deceleración de servicio máxima	0,34 m/s <sup>2</sup>
Distancia máxima de frenado de urgencia (sin rampa, a 67,93 km/h)	481,42 m
Distancia máxima de frenado de servicio (sin rampa, a 67,93 km/h)	664,79 m

## 5. Conclusión

El objetivo de este artículo ha sido resumir en muy pocas líneas las fases más importantes de la reforma de una locomotora, indicando además los principales conceptos que sirven para determinar las nuevas características tras la reforma. También se han descrito alguna de las últimas técnicas para los trabajos de fabricación y reforma, como el uso del programa Inventor de Autodesk para el diseño de componentes.

Mediante la determinación de las prestaciones, se ha permitido establecer las capacidades de la locomotora para su explotación. De esta forma, se ha aportado a FEVE la información necesaria para que pueda obtener el máximo rendimiento de la locomotora, garantizando una circulación segura y sin problemas.

## 6. Referencias

[1] “Proyectos de conservación de elementos del Patrimonio Industrial Histórico ferroviario Vía Métrica” [en línea]. Vía Libre. Madrid, 15 noviembre 2010 [ref. de 15 septiembre 2011]. Disponible en internet: <[http://www.vialibre-ffe.com/pdf/Patrimonio\\_feve.pdf](http://www.vialibre-ffe.com/pdf/Patrimonio_feve.pdf)>.

[2] García Álvarez, A., “Dinámica de los trenes de alta velocidad”. 6º ed. Madrid: Fundación de los ferrocarriles Españoles, 2010. 99 p. Serie Documentos de explotación técnica y económica. ISBN: 9788489649620.

[3] Álvarez Mantas, D.; Luque Rodríguez, P., “Ingeniería e Infraestructura de los Transportes”. 1ºed. Oviedo: Universidad de Oviedo, 2003. 578 p. ISBN: 9788483173657.