



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica
Superior d'Enginyeria
Informàtica

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica
Universitat Politècnica de València

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Informática

Autor: Javier Cruz Selvi

Tutor: Santiago Escobar Román

2016-2017

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

Resumen

Testeo, depuración, análisis, corrección son los sustantivos que mejor definen la actividad realizada en el presente trabajo.

Se ha tratado de llevar a la práctica los conceptos teóricos aprendidos durante las clases en la rama de Ingeniería del Software, adaptándose a los requerimientos de una empresa, por lo que se ha tenido la perspectiva de la aplicación de esos conceptos en el mundo laboral real.

Desde comprobar la adecuación de una herramienta de software a su manual de funcionamiento y a las normativas de calidad que le son aplicables, pasando por el testeo del código, hasta la puesta en marcha de una nueva funcionalidad para dicha herramienta pasando por las distintas etapas del proceso de desarrollo de software, son las actividades que se muestran en este trabajo.



Tabla de contenidos

Contenido

1.	Introducción	7
2.	La empresa Stadler.....	8
3.	Evaluación de la herramienta de simulación de ferrocarriles	10
3.1	Estructura de la herramienta de simulación	10
3.2	Evaluación de la interfaz y del funcionamiento de la herramienta	12
3.3	Propuestas de mejora para la herramienta.....	41
3.4	Evaluación del manual de la herramienta	42
3.4.1	Correcciones a introducir en el manual.....	42
3.4.2	Mejoras a introducir en el manual	44
4.	Adaptación del software de simulación de ferrocarriles a la normativa CLC-TS 50591:2013 48	
4.1	La normativa CLC-TS 50591:2013.....	48
4.2	Estructura de la normativa CLC-TS 50591:2013	49
4.3	Adaptación del software de simulación de ferrocarriles a la normativa.....	50
5.	Aplicación del proceso de evaluación a una herramienta creada desde cero.....	67
5.1	Ejemplo de depuración.	68
5.2	Implementación de una nueva funcionalidad.	69
5.3	Proceso de desarrollo de la nueva funcionalidad.	70
5.3.1	Especificación funcional.	70
5.3.1.1	Propuesta de interfaz.....	70
5.3.1.2	Obtención de información.	71
5.3.1.3	Realización de cálculos	71
5.3.1.4	Cálculo de pendientes y velocidad.	72
5.3.1.5	Adecuación de los tramos a la ruta.....	72
5.3.1.6	Consulta de los resultados obtenidos por el usuario.....	73
5.3.2	Interfaz definitiva de la aplicación.	75
5.3.3	Documentación de la nueva funcionalidad.....	76
5.3.3.1	Comentarios sobre el código implementado.....	79
5.3.3.1.1	Obtención de los datos	79
5.3.3.1.2	Procesamiento de los datos	80
5.3.3.1.3	Conexión con la base de datos	80

5.3.3.1.4	Detección de las líneas de tren	81
5.3.4	Verificación de las funcionalidades.....	82
5.3.5	Validación de la nueva funcionalidad con el usuario.	82
6.	Bibliografía	83



1. Introducción

En el presente trabajo se van a exponer las tareas realizadas mediante la colaboración con la empresa de ferrocarriles Stadler Rail Valencia.

Dada la importancia que tiene la innovación en el sector de los ferrocarriles, la empresa Stadler está continuamente desarrollando nuevas soluciones para sus clientes. Igualmente, con el objetivo de dotar de la máxima calidad a sus productos, se centra en el cumplimiento riguroso de lo establecido en las distintas normativas que se aplican a sus productos.

El presente trabajo resulta pues de la aplicación de esos dos objetivos de innovación y del cumplimiento de las normativas y estándares vigentes.

Las tareas realizadas con la empresa se pueden dividir en tres bloques claramente diferenciados.

En el primero de ellos se aborda la evaluación de una herramienta de simulación de ferrocarriles, en la que tras introducir diversos datos referentes a la configuración de la locomotora y de los vagones, la herramienta estimaba el consumo del ferrocarril en cuestión teniendo en cuenta el perfil de la ruta previamente introducido.

En el segundo de los bloques se aborda la adecuación de la mencionada herramienta de simulación a la normativa CLC-TS 50591. Esta normativa pretende que la herramienta de simulación abarque distintos aspectos a tener en cuenta para que el cálculo del consumo de energía por el ferrocarril sea lo más ajustado a la realidad posible.

En el tercero de los bloques se propuso al estudiante la realización de una aplicación en el lenguaje de programación Matlab, para que tuviera una visión de conjunto de los distintos pasos que hay que seguir a la hora de crear una herramienta de software, desde la especificación de requisitos, codificación, testeo, hasta llegar a la validación con el usuario.

2. La empresa Stadler

La empresa Stadler Rail Valencia se encuentra ubicada en la localidad de Albuixech, en el polígono industrial del Mediterráneo.

Se trata de una empresa multinacional con sede en Bussnang (Suiza) que cuenta con delegaciones en numerosos países, entre ellos: Australia, Alemania, Italia, Algeria, Holanda, Austria, entre otros.

Su cometido es la fabricación de vehículos para el sector ferroviario, haciendo de la innovación su seña de identidad.

La empresa cuenta actualmente con unos 6.000 trabajadores repartidos por sus distintas sedes a lo largo del todo el mundo, los cuales tienen distintas cualificaciones profesionales, desde técnicos especialistas para las fábricas de montaje, hasta los ingenieros de distintas ramas que se encargan de diseñar los vehículos.

Stadler Rail tiene a más de 150 investigadores e ingenieros a su servicio para potenciar el desarrollo de nuevas tecnologías en sus ferrocarriles.

Con carácter previo a su adquisición por la empresa suiza, la fábrica de ferrocarriles valenciana ha tenido distintos propietarios.

Sus orígenes se remontan a 1897 cuando empezó con el nombre de Talleres Devis. En 1929 los fabricantes valencianos cobraron cierta notoriedad en el mercado de los productos ferroviarios, siendo de destacar su labor en la reparación de vagones y consiguiendo expandirse a nivel internacional.

En 1947, tras fusionarse con una empresa catalana, pasó a conocerse como MACOSA (Material y Construcciones SA), momento a partir del cual se consolida como proveedora de material para ferrocarriles.

En el año 1989, la empresa fue comprada por la multinacional francesa Alstom, siendo a partir de 1997 cuando se desplaza a su actual ubicación en Albuixech, donde cuenta con unas instalaciones más modernas.

Más adelante, en el año 2005, la empresa competidora en el sector ferroviario, Vossloh, adquirió a la compañía, renombrándola como Vossloh España. Gracias a esta compra, la empresa pudo acceder a sus nuevos estándares de tecnología y junto con la experiencia de sus trabajadores, logró consolidarse como líder en el sector de las locomotoras eléctricas y diésel.

En fechas recientes, concretamente el 1 de enero de 2016, la empresa cambió de manos nuevamente, pasando a formar parte del grupo Stadler Rail AG.

El principal **objetivo** de la empresa es ser líder en el suministro de material rodante en España y en otros mercados, contribuyendo al liderazgo mundial de Stadler Rail AG mediante una estrategia de calidad, dirigida a ofrecer productos innovadores y competitivos, de acuerdo con las expectativas y exigencias técnicas, sociales y medioambientales del siglo XXI.

3. Evaluación de la herramienta de simulación de ferrocarriles

En esta sección se va analizar la manera en la que se ha procedido a llevar a cabo la evaluación de una herramienta que permite realizar una estimación del consumo energético de los ferrocarriles.

3.1 Estructura de la herramienta de simulación

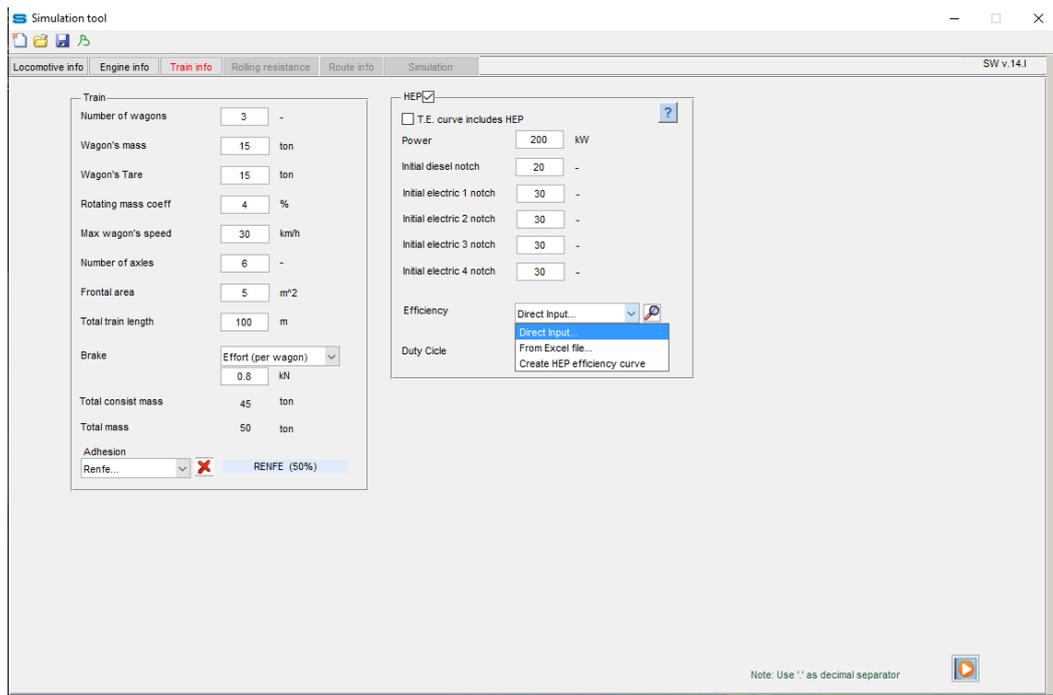
La empresa Stadler dispone de un software que permite realizar la simulación, en cuanto al consumo de diésel o de electricidad, de sus locomotoras. Esta herramienta de simulación es propiedad de la empresa Stadler y, por lo tanto, no es de dominio público, así que no es posible facilitar un enlace a la misma. La herramienta cuenta con un manual de uso interno para la empresa con el que se ha trabajado. A los efectos de realizar este trabajo, la empresa facilitó el acceso a la herramienta mediante su instalación en un ordenador portátil proporcionado por la misma a los técnicos de la ETSInf.

Constituye una potente herramienta que permite arrojar datos necesarios para el funcionamiento y mejora de sus ferrocarriles.

Esta herramienta está desarrollada en el lenguaje de programación Matlab.

Para su manejo, el usuario cuenta con una serie de menús activados por pestañas en los que hay que introducir los datos correspondientes a la locomotora de la cual se quieren extraer las conclusiones, tales como longitud, número de ejes, superficie de su parte delantera, entre otros.

Aquí podemos apreciar una captura de la interfaz de la herramienta.



La evaluación de la herramienta se realizó teniendo en cuenta dos aspectos.

Por un lado, se evaluó el diseño de la interfaz desde el punto de vista del usuario y se testaron los posibles bugs que pudiera tener la aplicación.

Por otro lado, se realizó un examen de la herramienta para comprobar que la misma se adecuaba a lo que establecía el manual confeccionado por la empresa en cuanto a su funcionamiento.

3.2 Evaluación de la interfaz y del funcionamiento de la herramienta

A la hora de realizar la evaluación de la interfaz de la herramienta se siguieron las pautas explicadas en la asignatura de Interfaces persona computador, estudiada durante el Grado de Ingeniería Informática.

De esta manera se resaltaron aquellos aspectos de la interfaz que no funcionaban correctamente o que debían cambiarse para que la interacción con el usuario fuera la correcta, así como aquellas partes de la interfaz y aquellas funciones de la herramienta que no eran acordes con el manual de la misma elaborado por la empresa.

La metodología empleada para realizar la evaluación consistió en introducir parámetros en la herramienta para observar su comportamiento.

En el caso de que se detectara alguna anomalía, la forma de proceder consistía en explicar los pasos realizados previamente y realizar una captura de pantalla con el mensaje de error que daba la aplicación.

A continuación se exponen trece fallos detectados durante la evaluación de la herramienta:

1. Estando en cualquiera de las ventanas de la aplicación, por ejemplo, Locomotive info, Engine info o Train info,..., si se pasa el ratón sobre el botón de siguiente ventana, siempre aparece un texto que indica “Go to train info”, cuando debería apuntar a la ventana siguiente a la que nos encontramos.

2. Al cargar una simulación por lotes mediante el botón “Simulate” de la ventana “Batch” con un número de vagones de 0 1 2 3 4, la herramienta dio un error indicando que no se habían introducido suficientes argumentos.

¿Se puede indicar cualquier número de vagones cuando este número lo introducimos separado por un espacio?

Aquí se aprecian los datos introducidos:

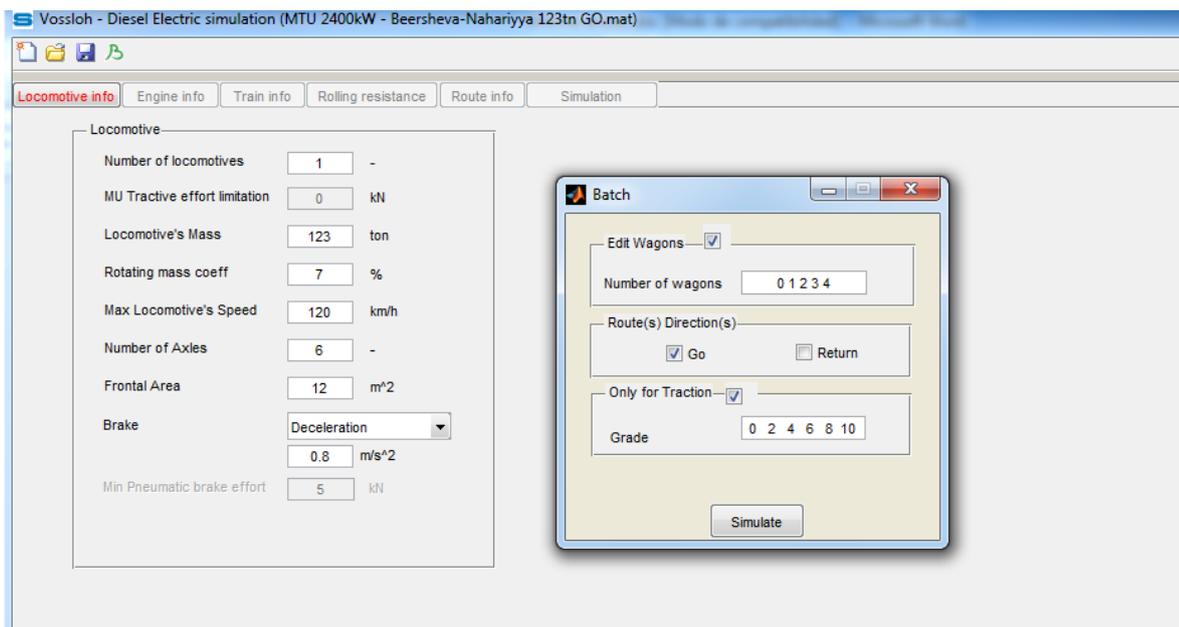


Figura 1

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

- De acuerdo con lo dicho en la página 24 del manual en su penúltimo párrafo, cuando no se han introducido datos en los archivos Excel y se hace click sobre el icono de la lupa, debería aparecer un mensaje de error con un aviso, sin embargo, este mensaje no aparece. Lo que se muestra es el archivo Excel vacío de contenido. Igualmente, cuando faltan datos por introducir no aparece ese mensaje de error como se dice en ese párrafo. Sí que aparece cuando hemos guardado el Excel sin datos o faltando algún dato pero no al hacer click sobre ese icono. En la Figura 2 se muestra cómo no aparece ningún mensaje de error cuando faltan datos por introducir.

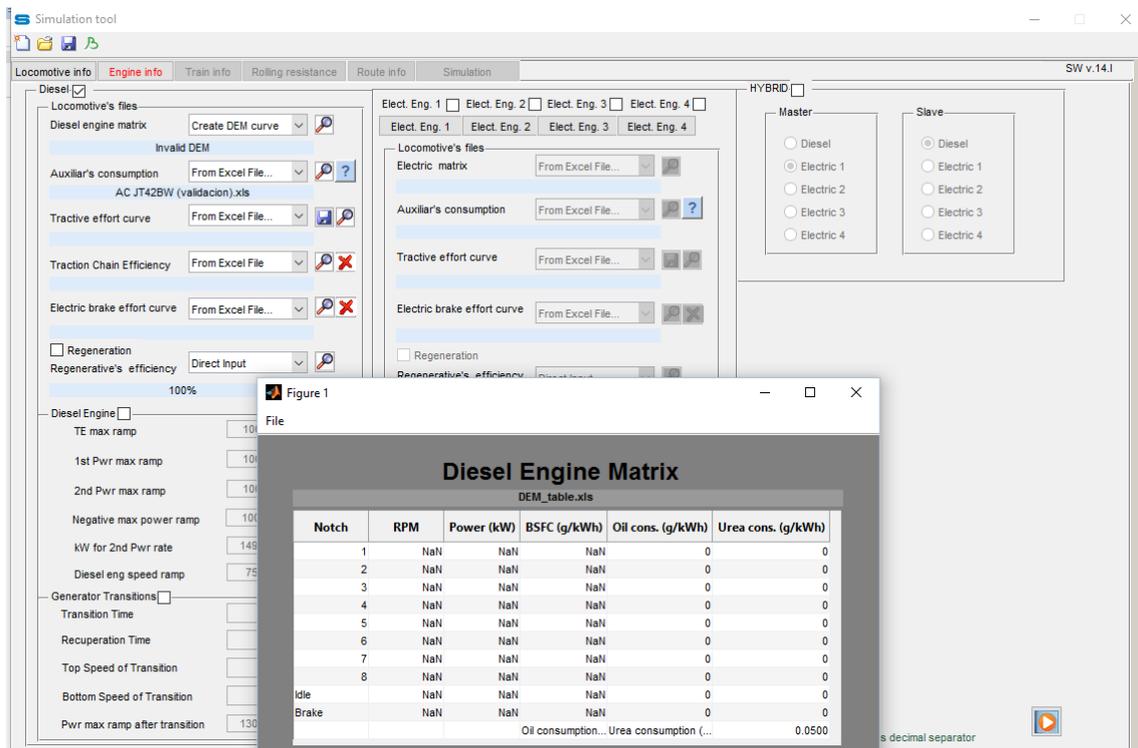


Figura 2

4. En la página 24 en su último párrafo, cuando se selecciona la opción Advanced Settings en la curva de esfuerzo tractor, aún después de haber introducido todos los datos, nos aparece un aviso de que faltan datos por introducir. Para que funcione hay que volver a hacer click en la opción Max. Tractive effort. En la Figura 3 se muestra cómo pese a haber introducido todos los datos, nos salta un mensaje de error advirtiendo de que hay que introducir todos los datos.

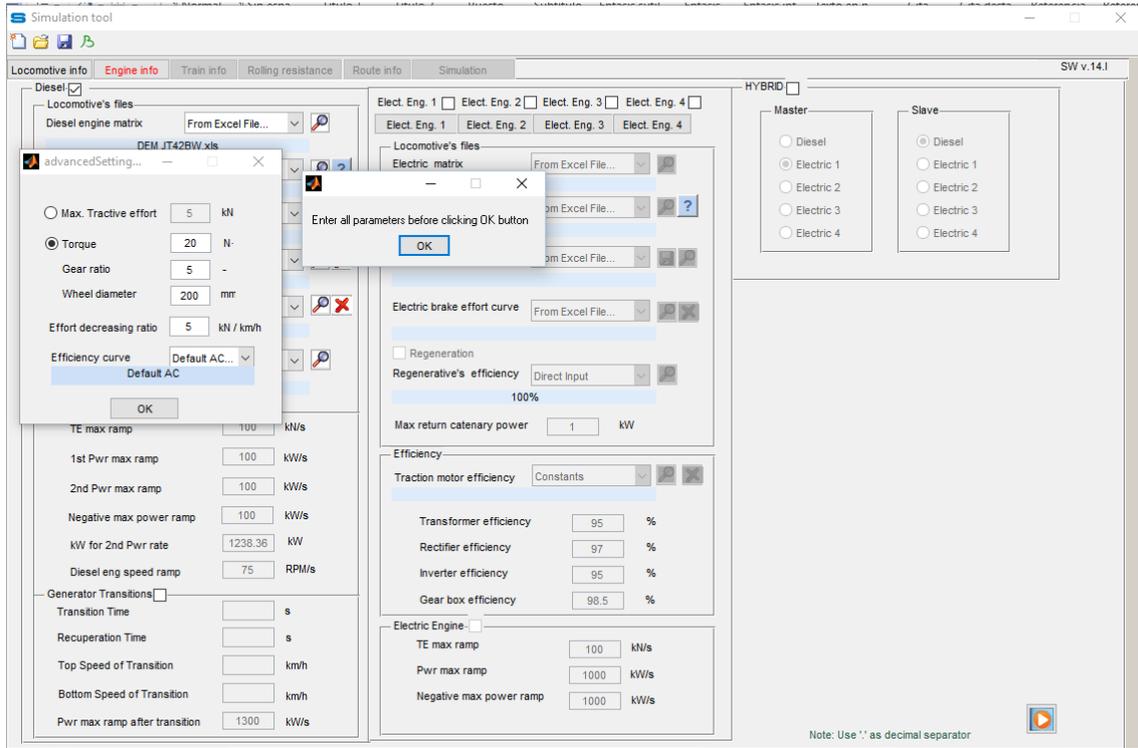


Figura 3

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

5. Cuando se selecciona un archivo de Excel en el panel Efficiency de los motores eléctricos, para el Tractor motor Efficiency, el nombre del archivo seleccionado no aparece reflejado en la línea azul que está debajo del desplegable, por lo que no se sabe si se ha seleccionado o no.

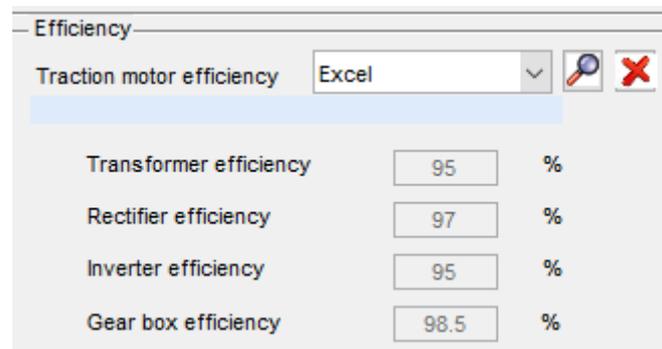


Figura 4

6. Tras haber probado distintas configuraciones en el panel Train info, en el punto de Traction Chain Efficiency, ya que al introducir los datos desde archivos de Excel saltaban advertencias de que los cálculos podían resultar erróneos con los valores introducidos, como sucede en el punto 4 de este documento, finalmente con los datos que se muestran en la Figura 5, ha resultado el siguiente error:

Aquí podemos apreciar los valores introducidos:

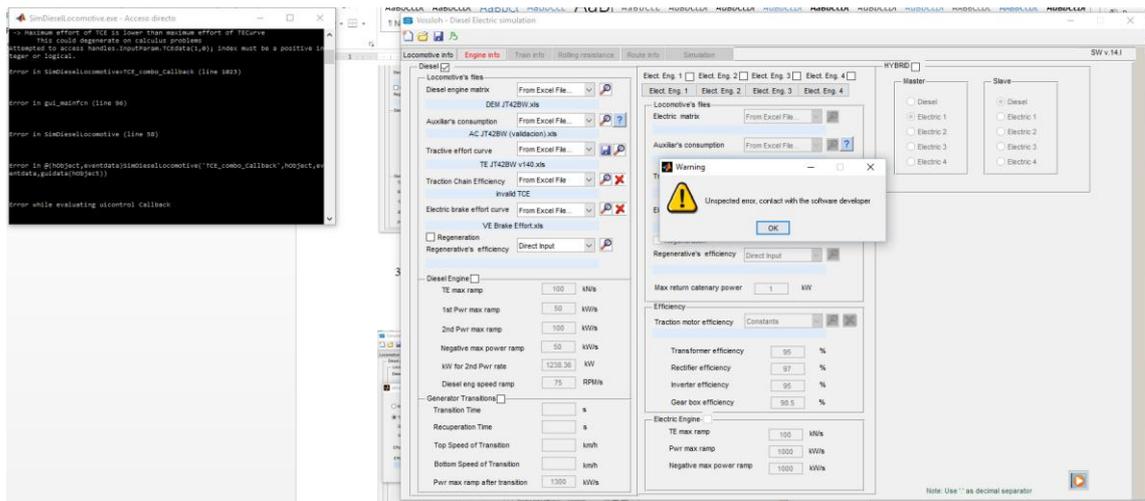


Figura 5

Al introducir los mismos datos de nuevo para ver si se volvía a producir el error, se ha obtenido un resultado negativo.

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

7. En la página 35 del manual, en el apartado relativo a los parámetros del HEP (Head-end Power), concretamente en el punto de “Efficiency”, se dice “Se pueden introducir seleccionando una de las cuatro posibilidades del desplegable:”.

En el simulador solo se aprecian **tres posibilidades** en dicho desplegable, cómo se aprecia en la Figura 6, no encontrándose la opción de seleccionar desde una base de datos.

¿Incoherencia del manual o del simulador?

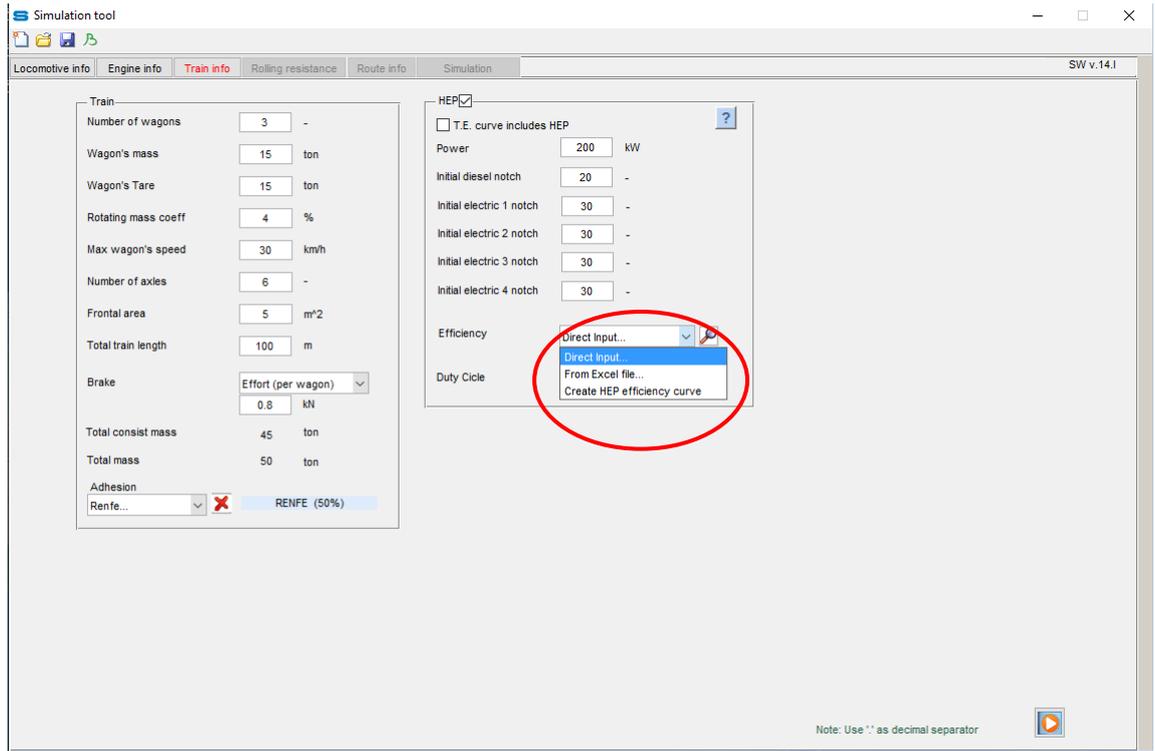


Figura 6

8. Entre los parámetros del HEP, en el apartado relativo a “Efficiency”, cuando se carga un archivo de Excel y después se presiona el botón lupa para su visualización, nos aparece una ventana donde podemos optar entre el motor diésel, eléctrico número 1 u otros, como se muestra en la Figura 7. Si hacemos click sobre “Other”, aparece otra ventana en la que podemos optar entre los motores eléctricos 2,3 y 4, como se muestra en la Figura 8, pero sin embargo, no se nos da la opción de volver a la anterior ventana para seleccionar cualquiera de las otras opciones.

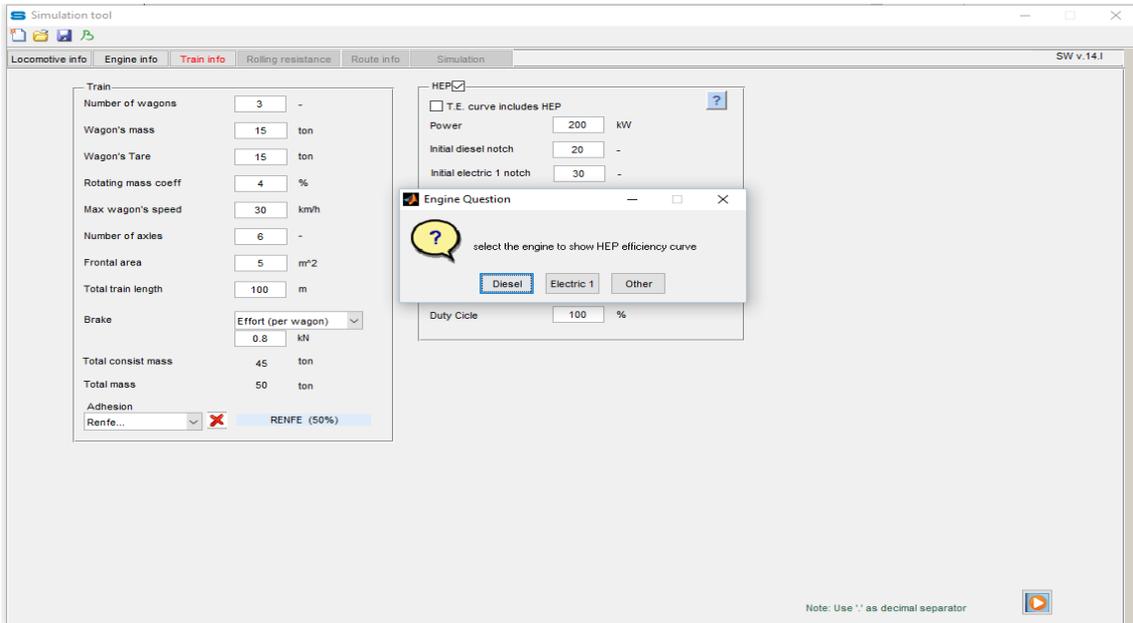


Figura 7

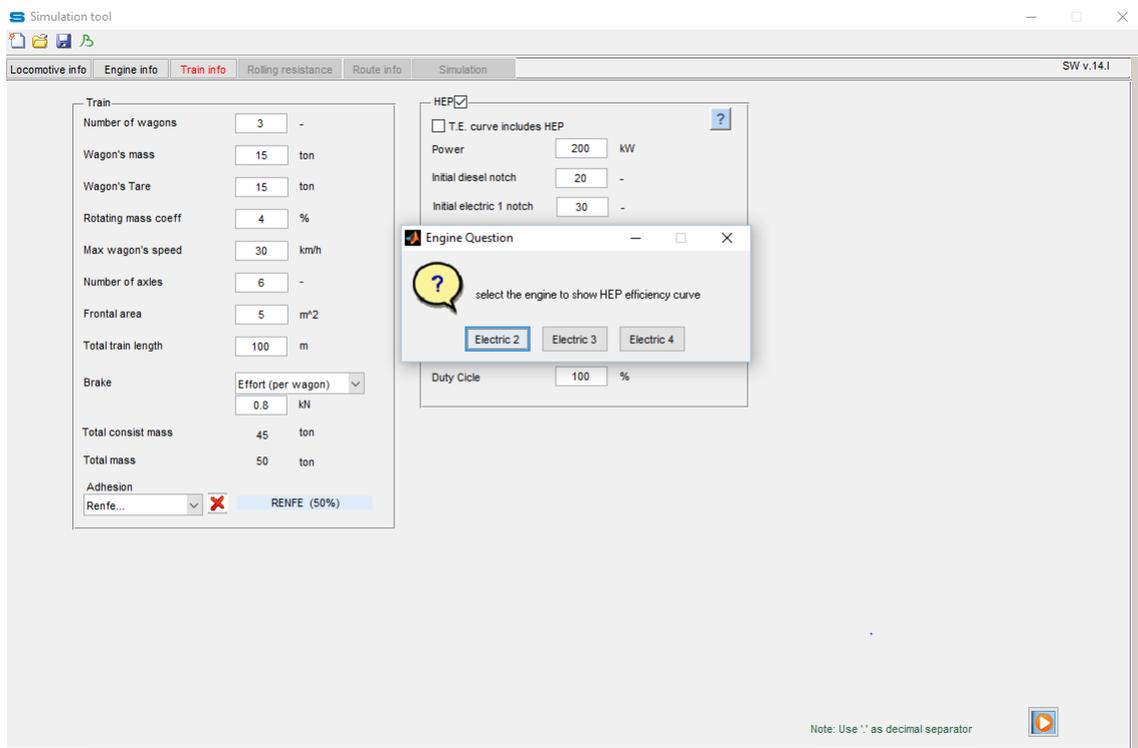


Figura 8

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

- Dentro de la pantalla “Train info”, después de haber rellenado todos los parámetros y, a falta de rellenar el parámetro de “Adhesion”, cuando para este parámetro se ha seleccionado la fórmula de Renfe, con el valor por defecto del 33%, el sistema ha dado el error indicado en la Figura 10.

Como se ha visto en las figuras anteriores, la herramienta tiene varias pestañas en las que se tienen que ir introduciendo los datos. En este caso, se habían introducido los datos mostrados en las siguientes capturas, Figuras 9.

En la Figura 9 se han pasado los datos correspondientes a la pestaña de “Engine info”, en la que se encuentran los parámetros de los motores, sean diésel o eléctricos.

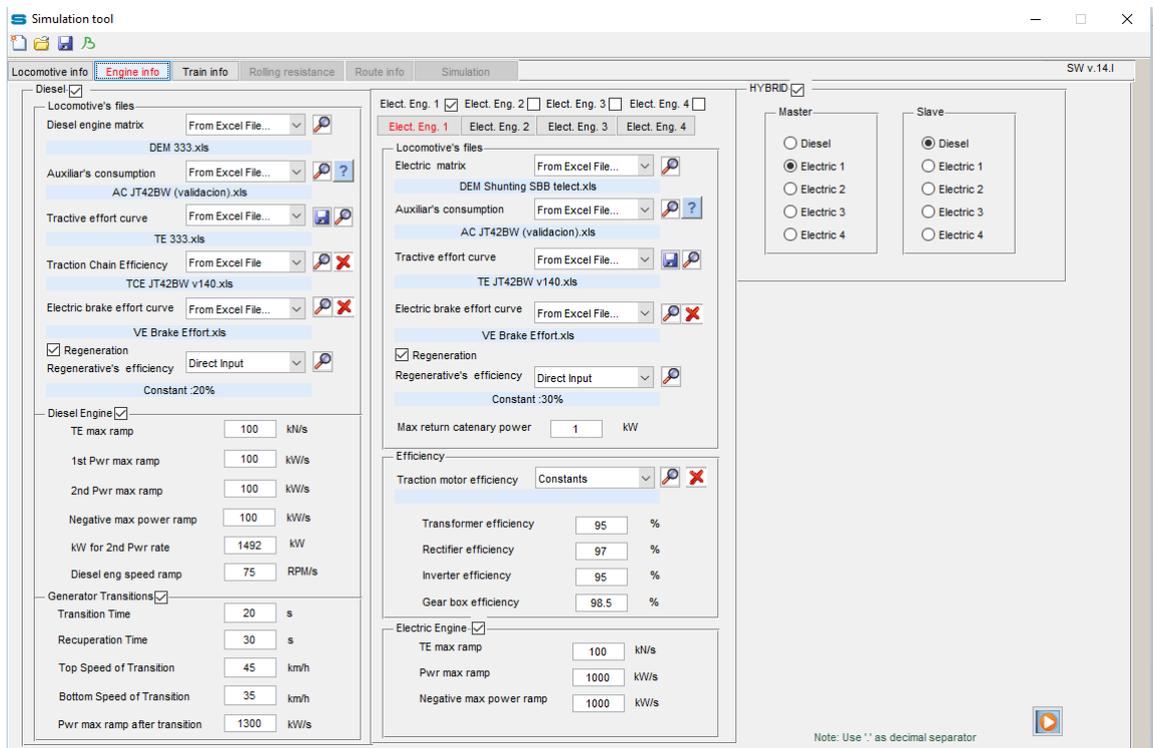


Figura 9

A continuación se muestra el error y los datos introducidos en la pantalla “Train info”, tratándose de los datos relativos al tren en general, así como de las marchas del motor eléctrico o HEP (Head-End Power), entre los que encontramos los siguientes:

- número de vagones
- masa de los vagones
- tara de los vagones
- coeficiente de la masa rodante
- número de ejes
- área frontal
- tamaño total del tren
- tipo de freno
- masa total del tren
- las marchas de cada uno de los cuatro motores eléctricos.

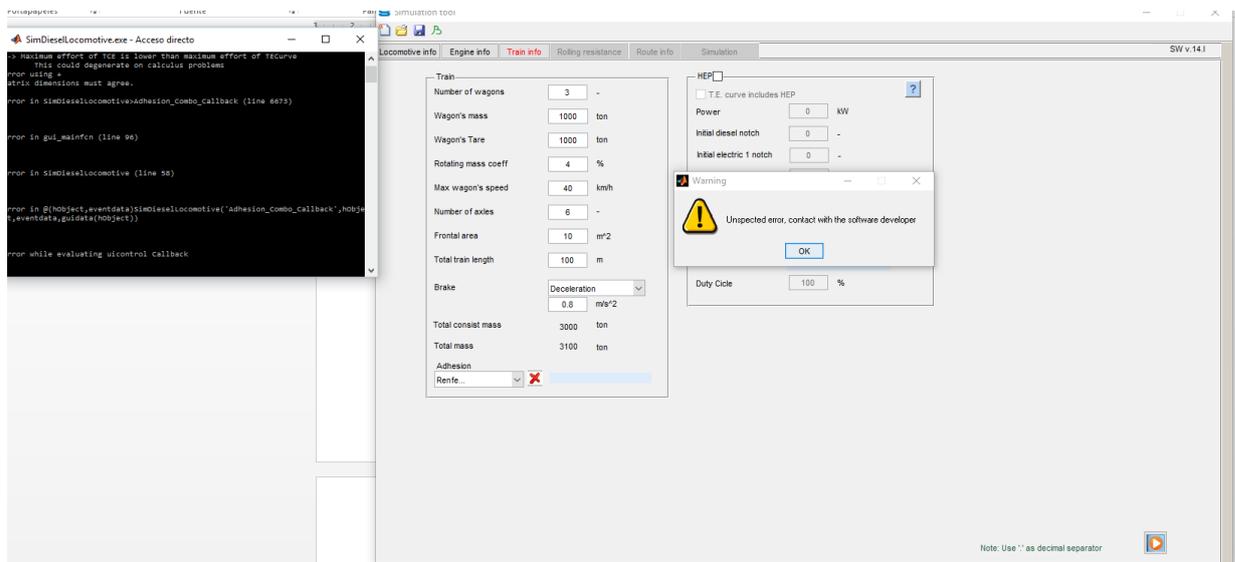


Figura 10

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

Después de haber cambiado ciertos valores, como por ejemplo el correspondiente a la masa de los vagones, pasando de 1000 a 100 Ton, tal como se aprecia en la Figura 11, correspondiente a la pestaña de “Locomotive info” el error ha vuelto a ocurrir, como se muestra en la Figura 12.

En la pestaña “Locomotive info”, se introducen los datos relativos a la locomotora, entre los que encontramos los siguientes:

- número de locomotoras
- limitación del esfuerzo tractor
- masa de la locomotora
- coeficiente de masas rodantes
- velocidad máxima de la locomotora
- número de ejes
- área frontal
- tipo de freno

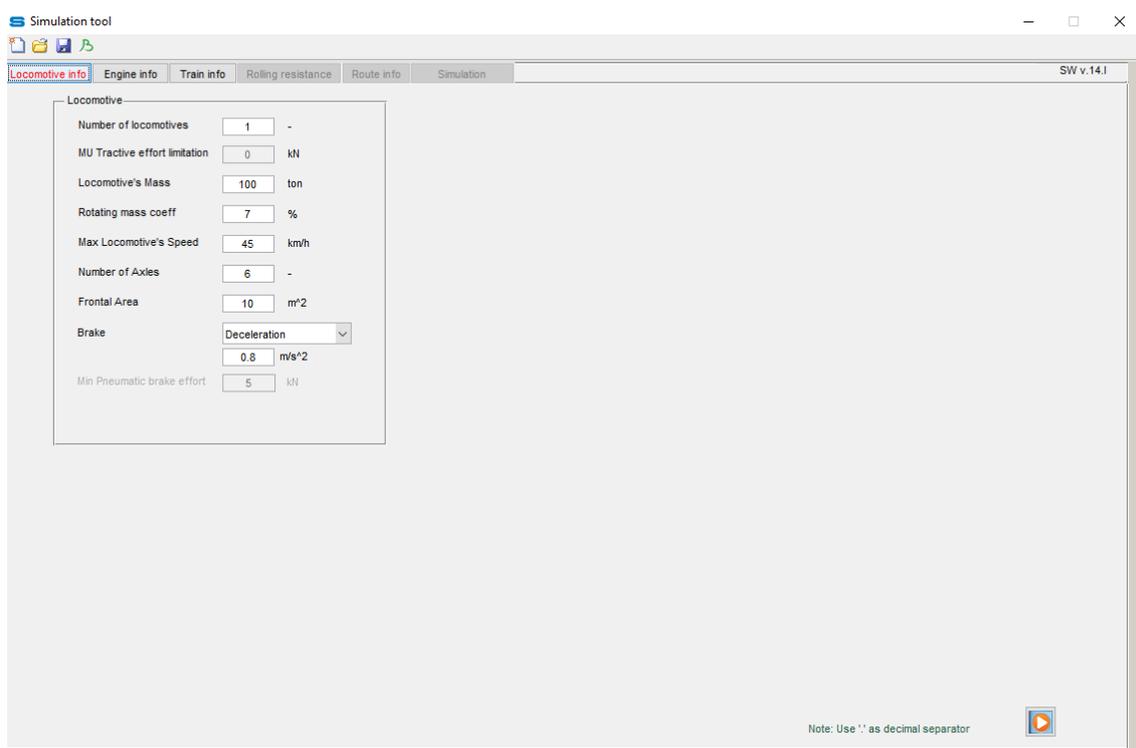


Figura 11

Los datos pertenecientes a la pestaña “Engine info” se han mantenido igual que en la Figura 9 y por eso no se reproduce la captura correspondiente.

En esta captura se aprecia el error arriba mencionado.

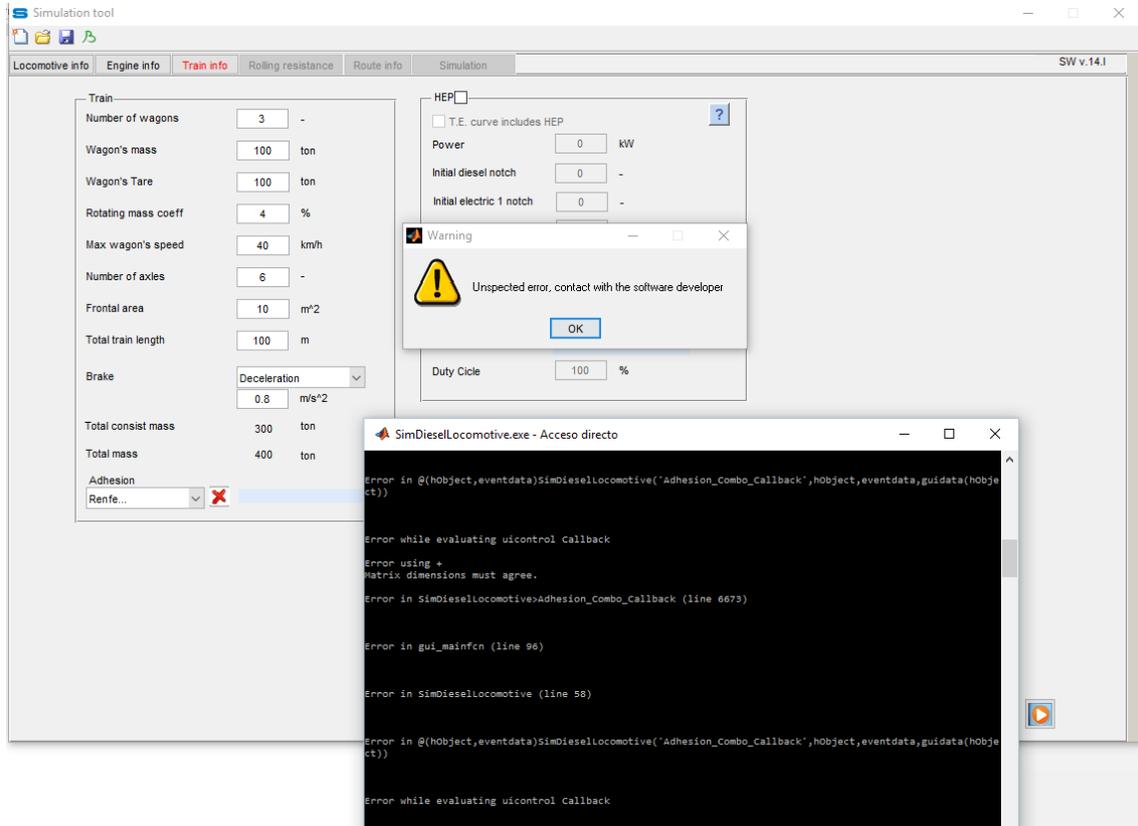


Figura 12

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

Sin embargo, con otra configuración, mostrada en la Figura 13, no se ha producido el error en la pantalla de “Train info”. Los datos son distintos a los introducidos en la Figura 9, solo se mantiene el valor del tipo de freno.

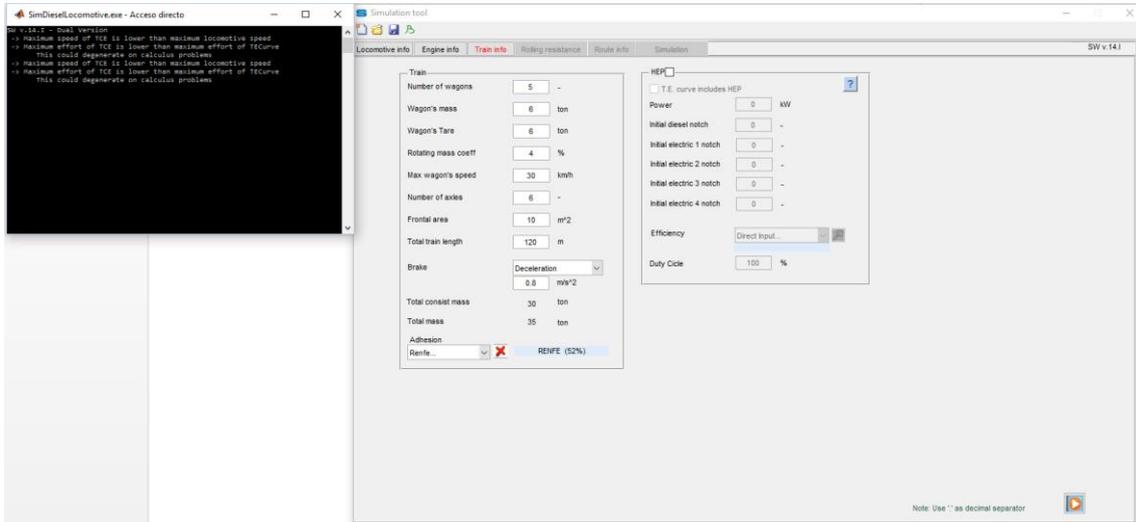


Figura 13

Y en las pantallas anteriores se habían introducido los datos de las Figuras 14 y 15.

En la pantalla de “Locomotive info”, se han cambiado todos los datos con respecto a los introducidos en la Figura 11.

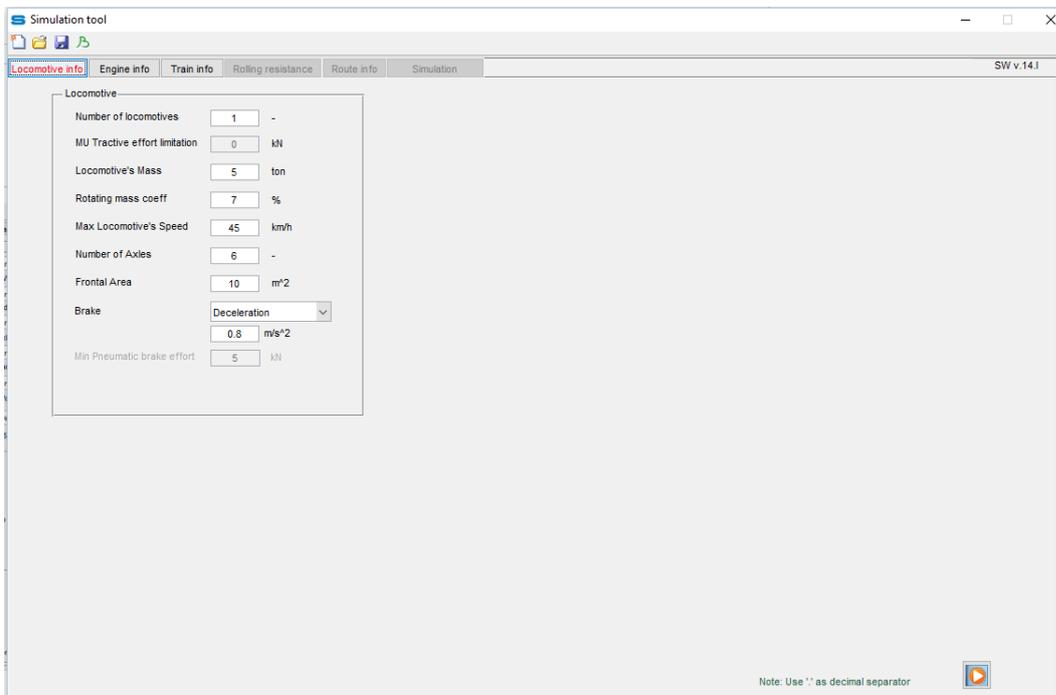


Figura 14

En la pantalla de “Engine info” se han cambiado todos los datos con respecto a los introducidos en la Figura 9.

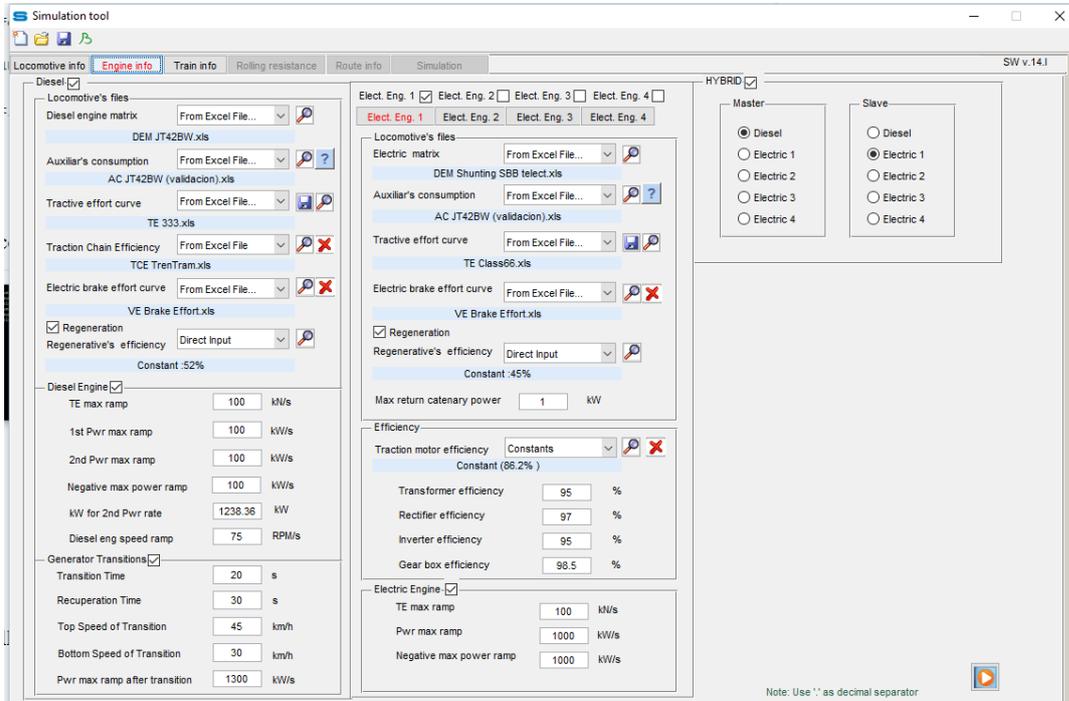


Figura 15

- Al proceder a realizar una simulación con los datos mostrados en las siguientes capturas se ha producido el error mostrado en la Figura 16. Cabe señalar que antes de mostrar el mensaje de error, ha aparecido una ventana de alerta en la que se decía que el valor del HEP no era adecuado. Se ha cambiado el valor de Power en la pantalla de HEP de 2000 por 500 kW, se ha pulsado el botón de simulación y acto seguido ha saltado el error.

Como ya se ha visto en el error anterior, en la herramienta hay varias pestañas en las que se van introduciendo los datos necesarios para realizar la simulación. Las pestañas son las siguientes:

En la pantalla Locomotive Info, se han introducido los mismos valores que en el caso del error anterior.

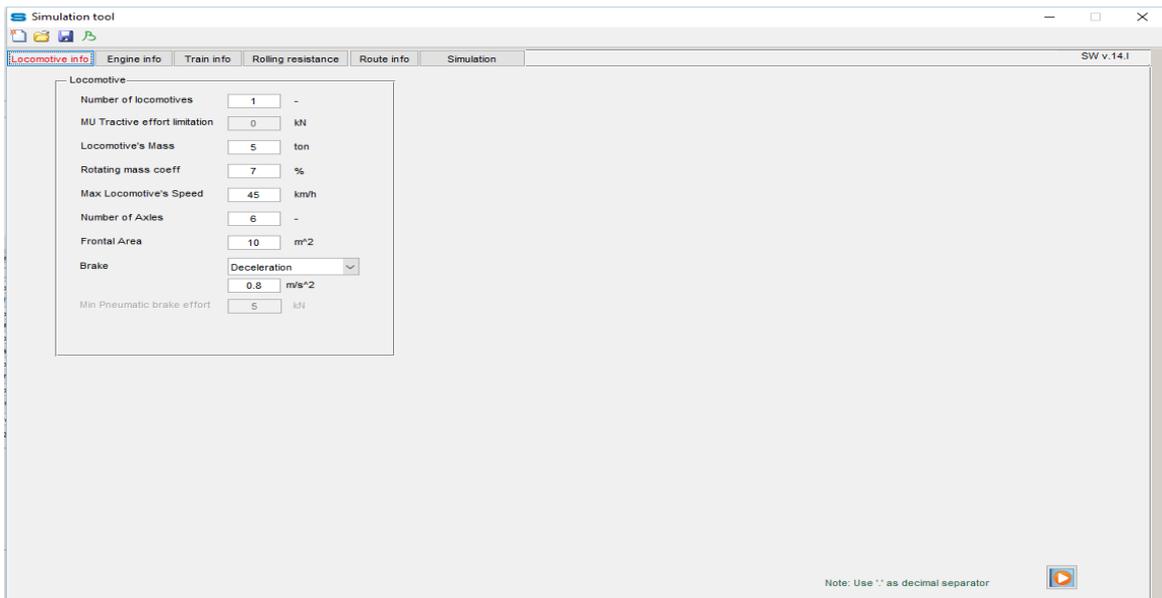


Figura 16

En la pantalla Engine info, resumiendo, se introducen los datos relativos a los parámetros de los tipos de motor de la locomotora, ya sea diésel o eléctrico. En este caso, se han seleccionado tanto el motor diésel como uno de los motores eléctricos para la realización de la simulación.

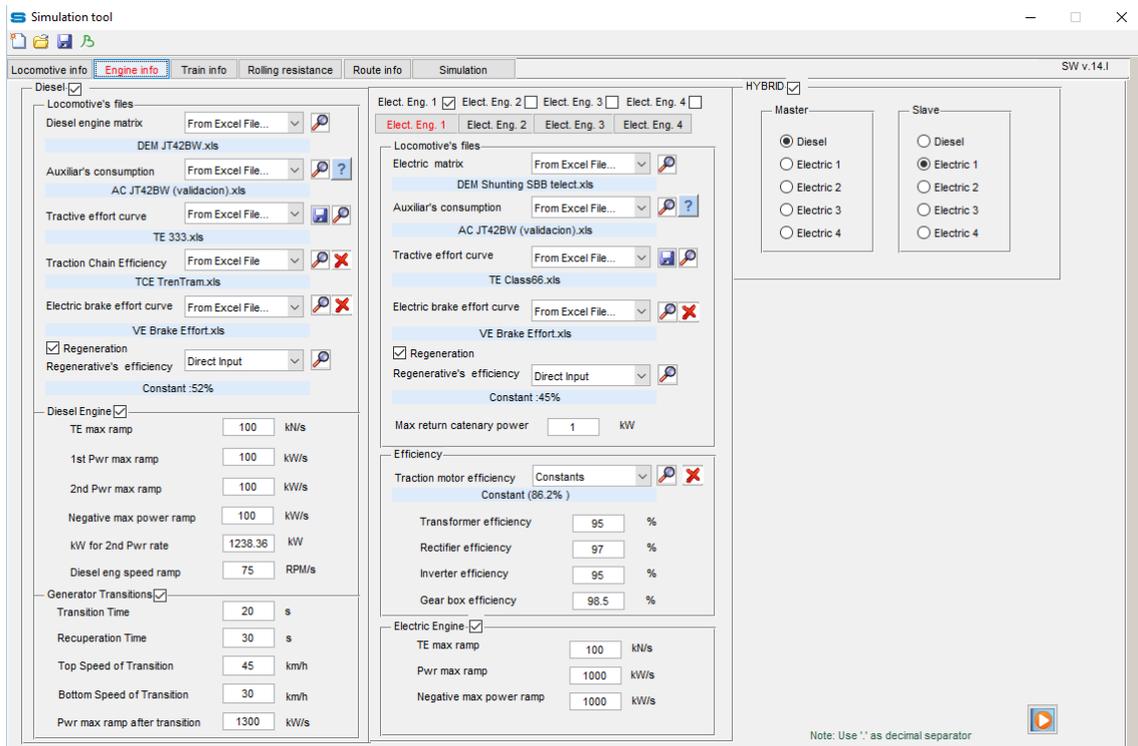


Figura 17

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

En la pantalla de Train info, se introducen los datos relativos al tren en general, así como a las marchas del motor eléctrico o HEP (Head-End Power), entre los que encontramos los siguientes, con los valores mostrados en la Figura 18:

- número de vagones,
- masa de los vagones
- tara de los vagones
- coeficiente de la masa rodante
- número de ejes
- área frontal
- tamaño total del tren
- tipo de freno
- masa total del tren
- las marchas de cada uno de los cuatro motores eléctricos.

En esta pestaña se ha seleccionado también la opción de Head-End Power, con los distintos valores para cada una de las marchas del motor eléctrico.

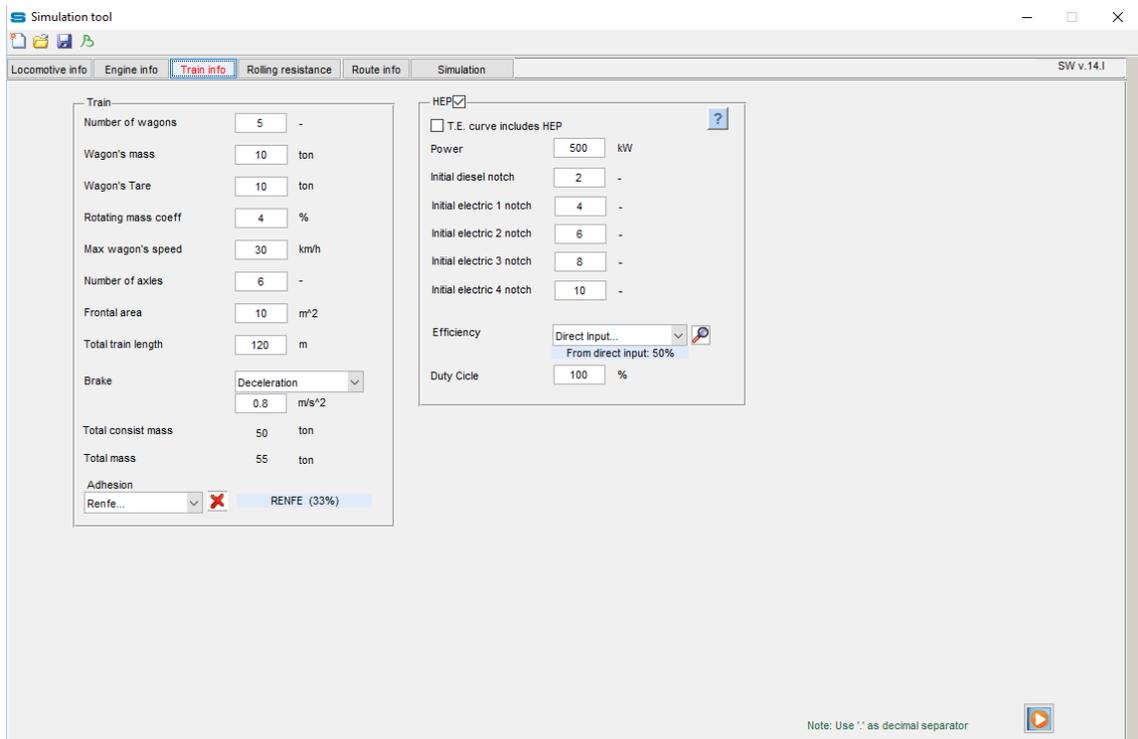


Figura 18

En la pantalla de Rolling resistance, se introducen los siguientes datos, con los valores de la Figura 19, destacar que se ha optado para el cálculo por la fórmula de Davis Canada:

- resistencia al avance
- fórmula de resistencia rodante de la locomotora
- fórmula de resistencia del tren

The screenshot shows the 'Rolling resistance' configuration window in the 'Simulation tool'. The window has a menu bar with 'Locomotive info', 'Engine info', 'Train info', 'Rolling resistance', 'Route info', and 'Simulation'. The version 'SW v.14.1' is displayed in the top right corner.

STARTING RESISTANCE

From Databa... RA_renfex.xls

WIND SPEED

20 km/h
Positive wind means head wind in go direction

LOCOMOTIVE

Locomotive Rolling Resistance

DAVIS CANADA...
 $R = 517.3559 + 0.45666 v + 0.037022 v^2$ [N]

Locomotive Coefficients: Reset Loco Coefficients

Coef A	Coef B	Coef C	Coef D	Coef Aerodynamic	Coef Units
0.75	8.1646	0.00931	0.00037739	0.0013	Kg / Tn

Multiple Unit

Coef Units: Kg / Tn
Vel Units: km/h

Frontal Area (L) 10 Weight per axle (W) 0.83333 Number of axles (n) 6

TRAIN

Train Rolling Resistance

DAVIS CANADA... Freight Radii Coefficient 698.606
Add to slope as: (RadiiCoef) / Radii [m]
 $R = 2770.7168 + 4.5666 v + 1.2039 v^2$ [N]

Train Coefficients: Reset Train Coefficients

Coef A	Coef B	Coef C	Coef D	Coef Units
0.75	8.1646	0.00931	0.0024544	Kg / Tn

Coef Units: Kg / Tn
Vel Units: km/h

Frontal Area (Sec) 10 Weight per axle (W) 1.6667 Number of axles (n) 6

Note: Use '.' as decimal separator

Figura 19

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

En la pantalla Route info, se introducen los datos siguientes, cuyos valores se muestran en la Figura 20:

- grado de inclinación de la ruta
- altura de la vía
- ancho de la vía
- aceleración no compensada
- temperatura ambiente
- gráfica con el perfil de la ruta

Se ha seleccionado que el perfil de la ruta no sea uno fijo sino que se ha proporcionado el de una ruta determinada, en este caso, la ruta Deventry-Grangemouth.

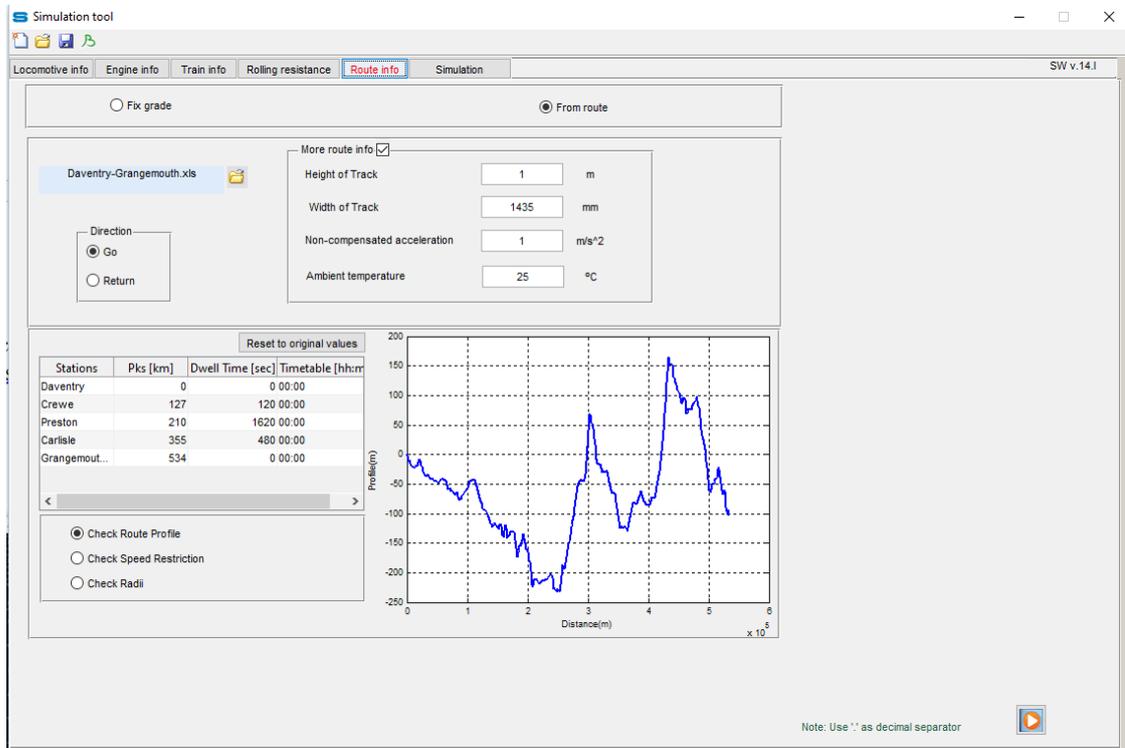


Figura 20

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

11. En la pantalla en la que se eligen los motores eléctricos, como se muestra en la Figura 22, cuando se selecciona un motor del 2 al 4 y se selecciona un archivo Excel en los desplegable de la sección de Locomotive's files, el archivo aparentemente se carga puesto que si se hace click sobre la lupa se puede ver el archivo, pero sin embargo, no aparece el nombre del archivo cargado en la línea azul que está debajo del nombre del parámetro. En el caso del motor 1 sí que aparece este nombre.

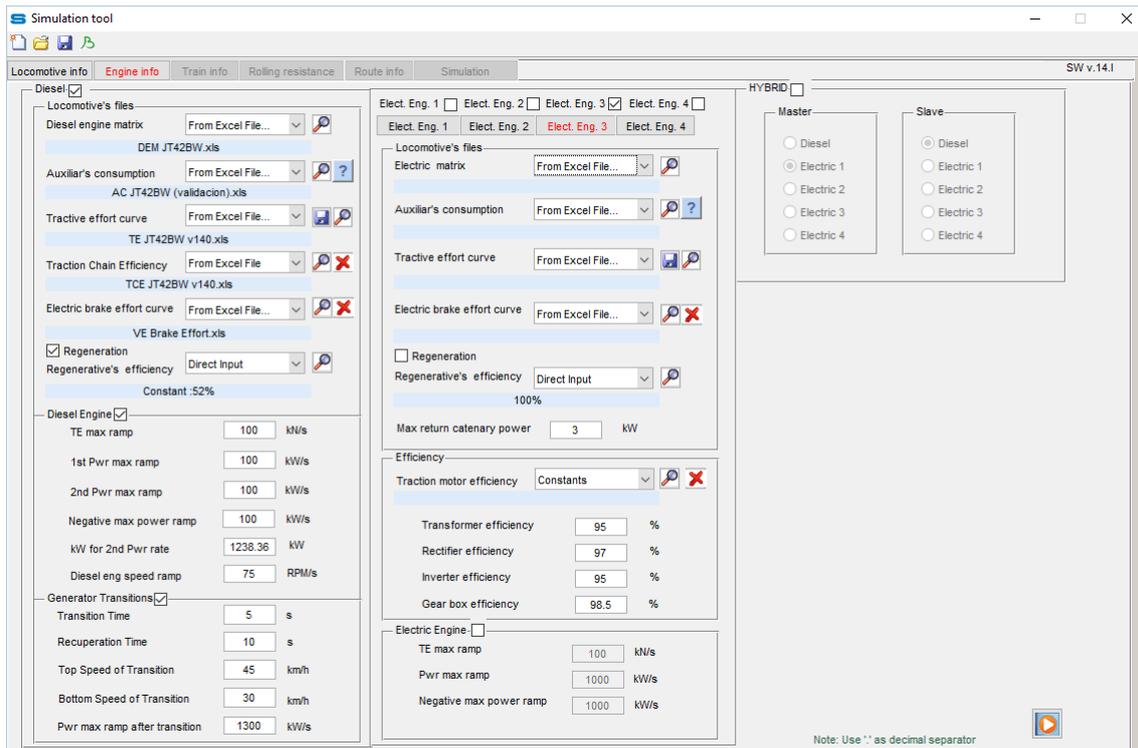


Figura 22

12. Al intentar realizar una simulación con los datos mostrados en las Figuras 23 a 27, se ha producido el error mostrado en la Figura 28.

Se reproducen a continuación las capturas con los datos introducidos en cada una de las pestañas descritas anteriormente.

Con respecto al error número 10, en la pestaña correspondiente a “Locomotive info”, sólo cambia el valor de la masa de la locomotora.

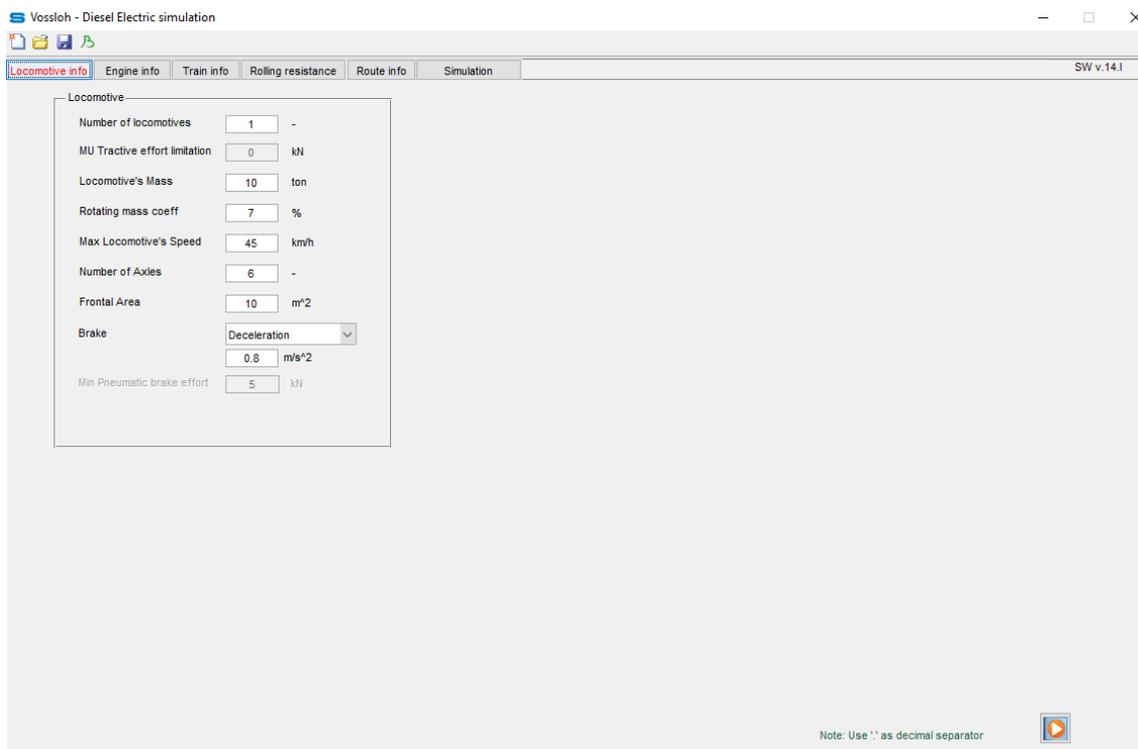


Figura 23

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

En la pestaña de “Engine info” se han introducido valores completamente distintos a los introducidos en el error número 10 para detectar nuevos errores.

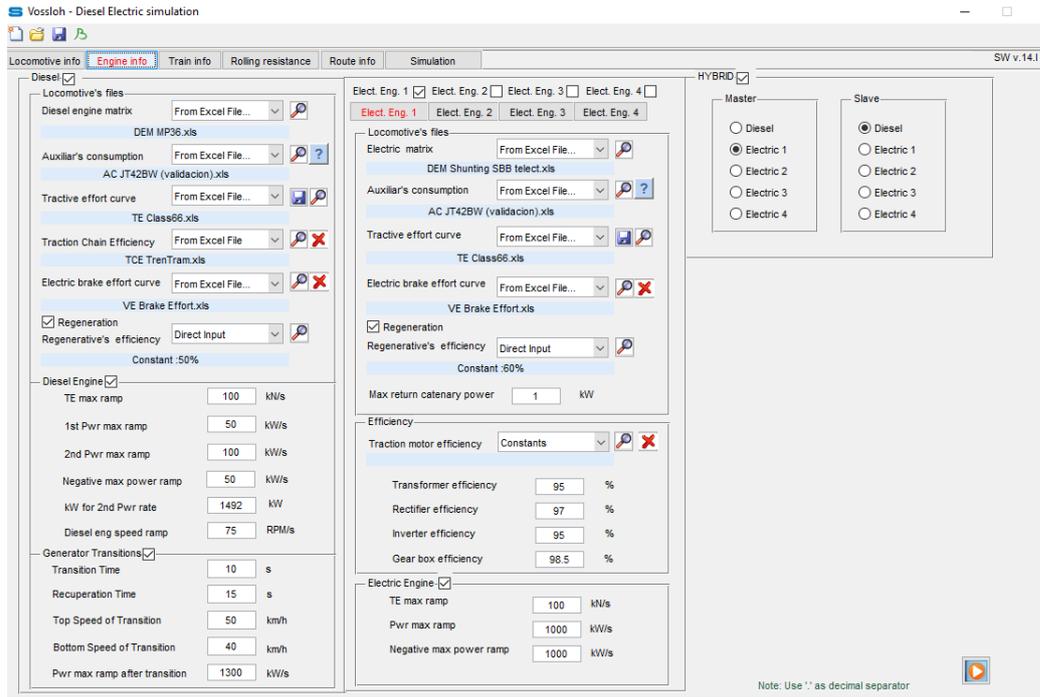


Figura 24

Igualmente, en la pestaña de “Train info”, los valores son absolutamente distintos a los introducidos en el error número 10.

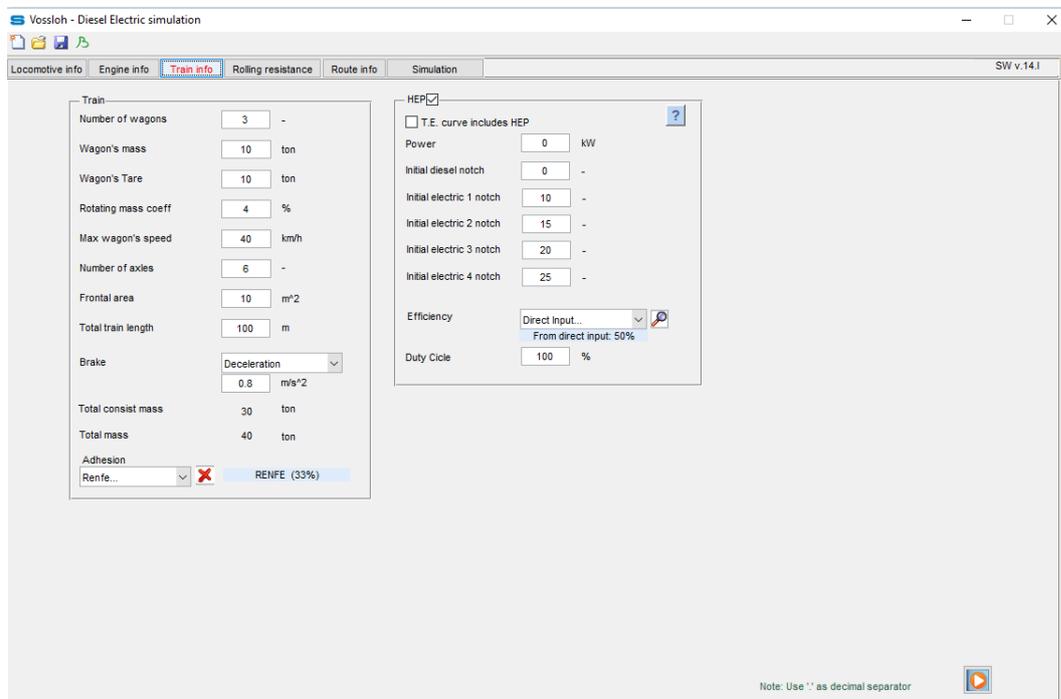


Figura 25

Los valores de la pestaña “Rolling resistance” son iguales a los introducidos en el error número 10.

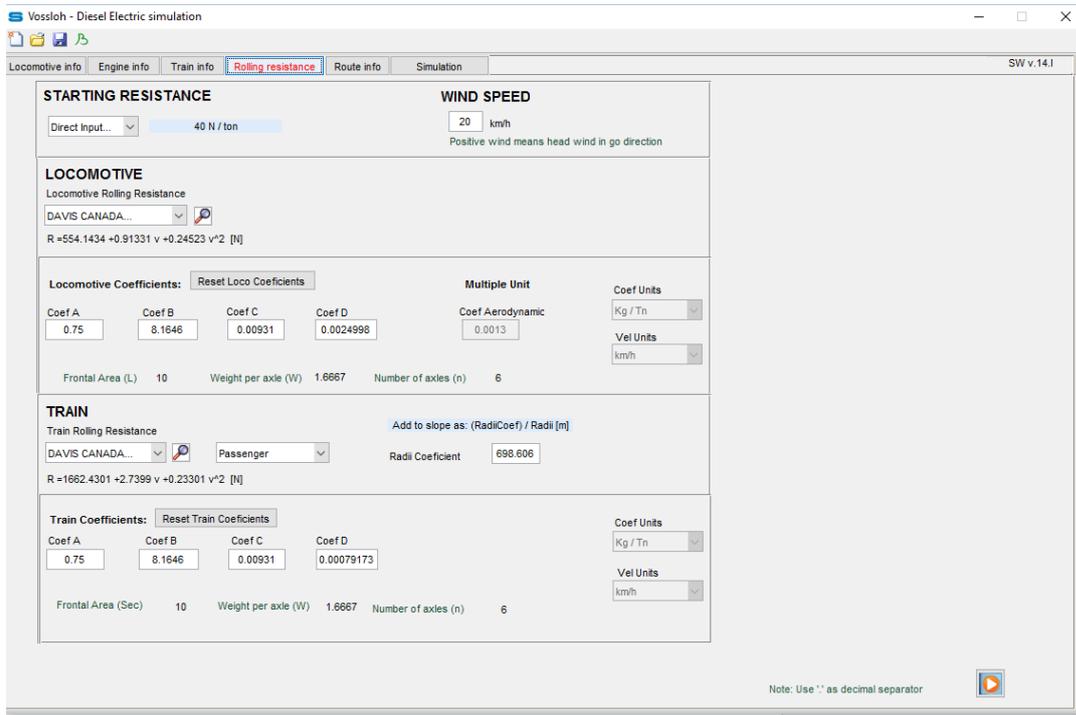


Figura 26

En la pestaña de “Route info”, se opta por cargar el perfil de la ruta directamente desde un archivo, en este caso, la ruta es la de Chertal-Blandain.

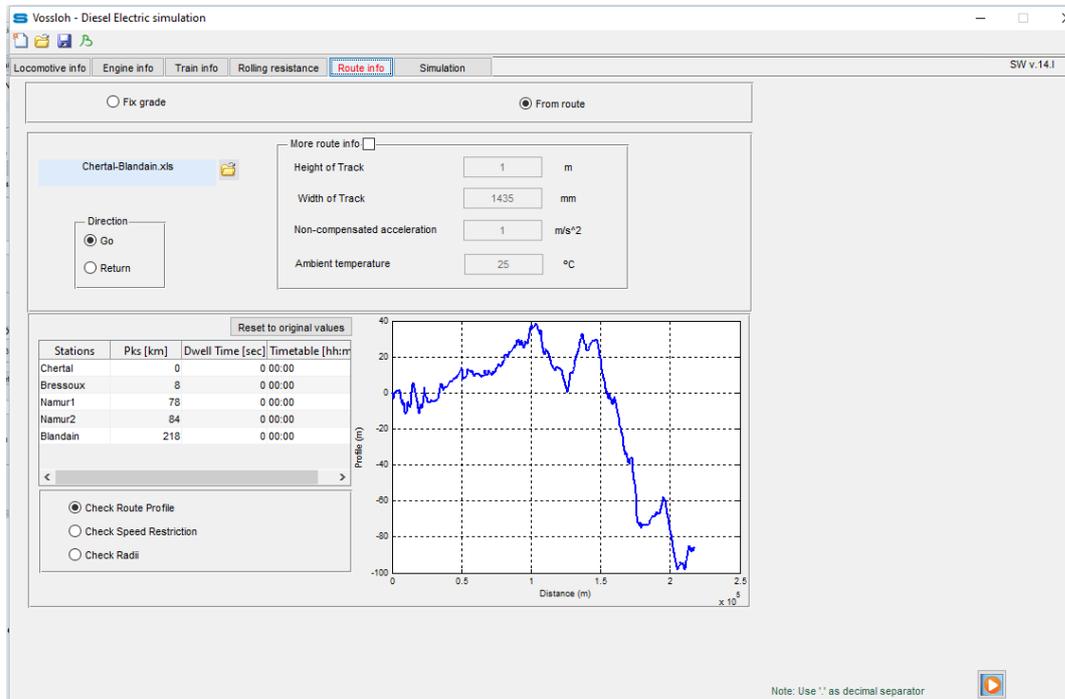


Figura 27

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

A continuación se reproduce el error que salta al iniciar la simulación.

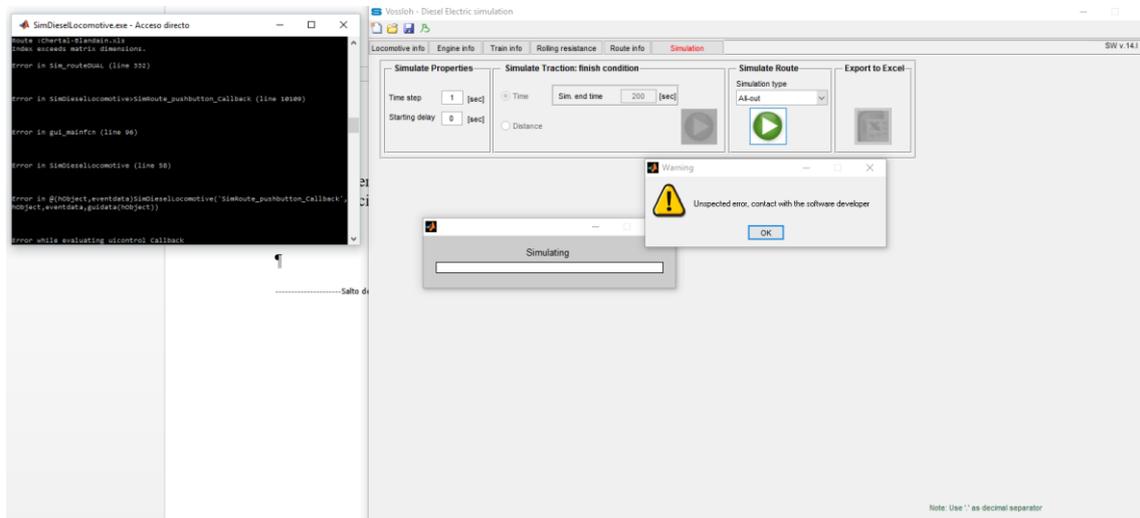


Figura 28

13. La aplicación no hace lo que se dice en la página 45 del manual, puesto que después de ejecutar una simulación con la opción “Fix Grade” activada, no aparece la imagen que se muestra en la ilustración 63 del manual, correspondiente a la gráfica de velocidad frente a tiempo.

Los datos introducidos en el programa son los mostrados en las Figuras de la 29 a la 33.

En esta captura se muestra cómo los datos introducidos en la pantalla “Locomotive info” cambian con respecto a los del error anterior, en cuanto a la masa de la locomotora y la velocidad máxima de la misma.

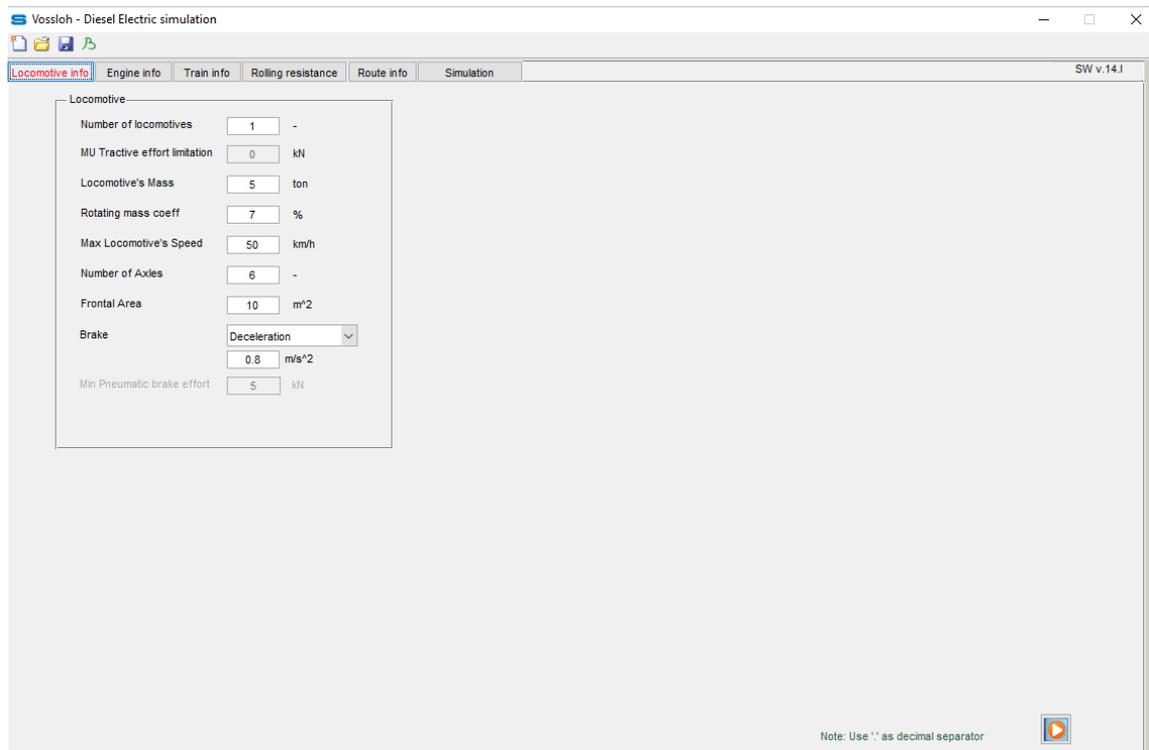


Figura 29

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

En esta pestaña, a diferencia de los datos introducidos en la correspondiente al error número 12, se dejan para el apartado del motor diésel los valores por defecto y no se selecciona motor eléctrico.

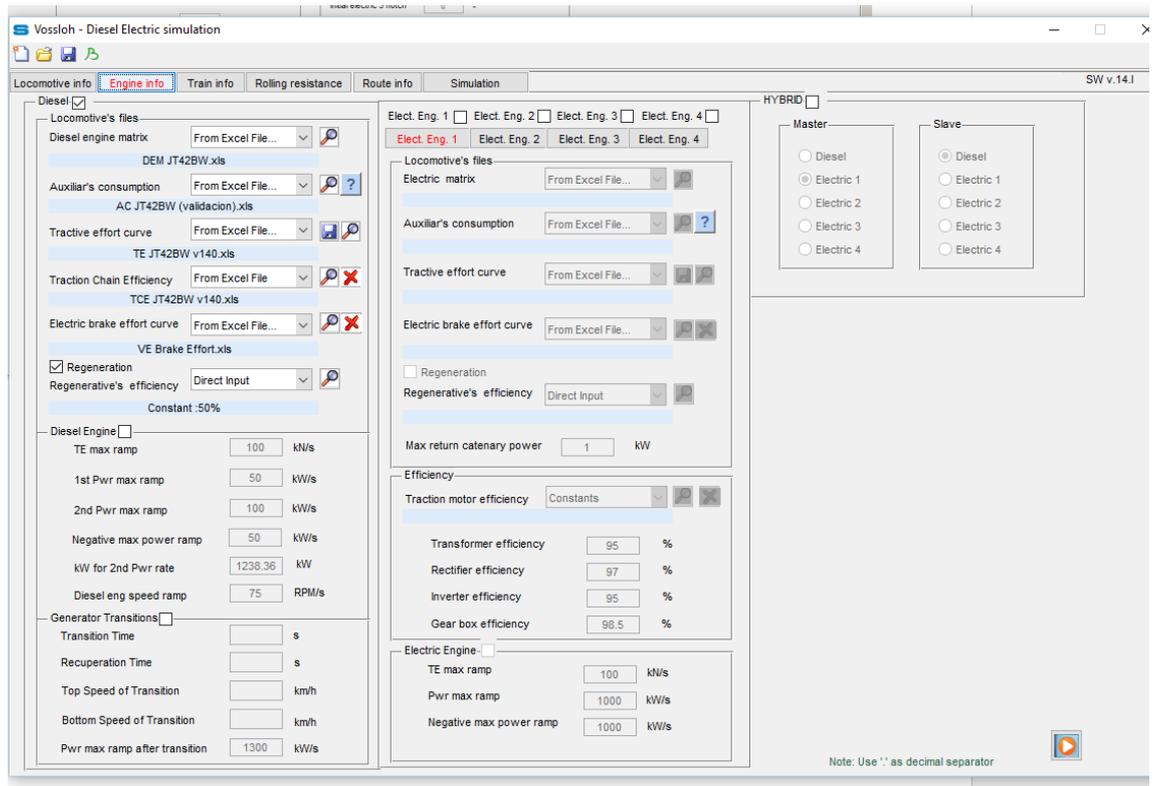


Figura 30

Los datos de la pestaña "Train info" cambian con respecto a los del error número 12 y no se selecciona la opción de HEP.

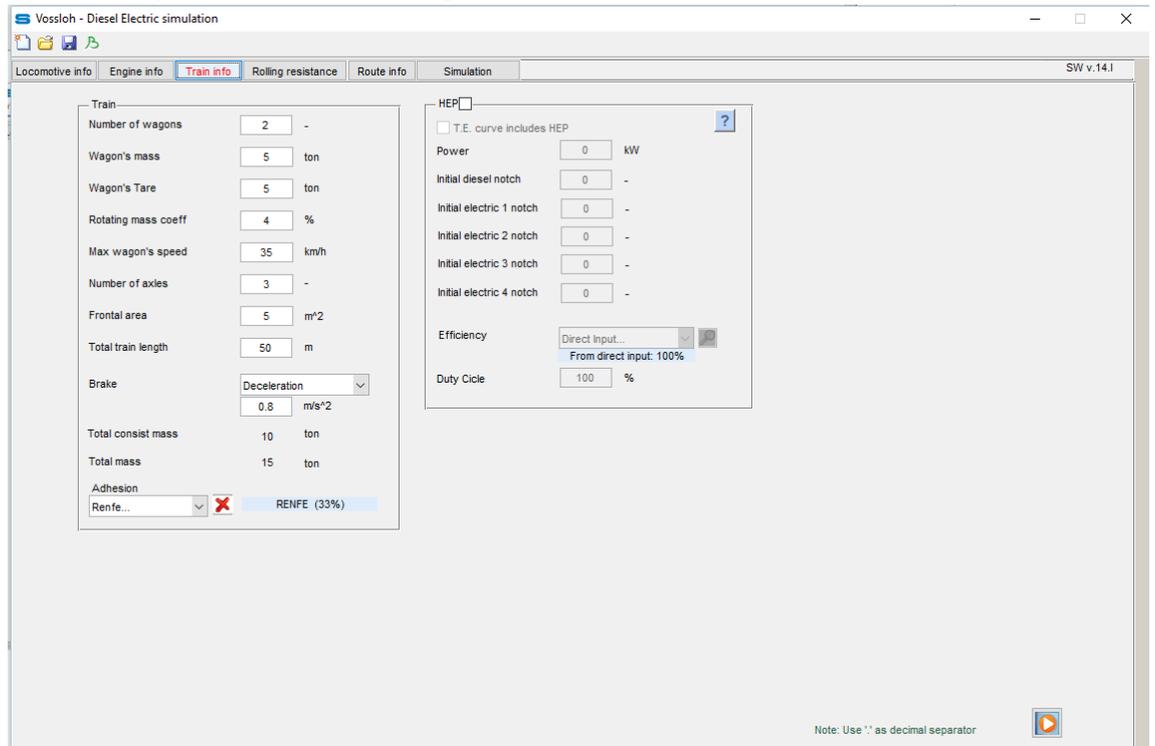


Figura 31

En la pestaña de “Rolling resistance”, se selecciona la fórmula de Davis en lugar de la de Davis Canada del error número 12.

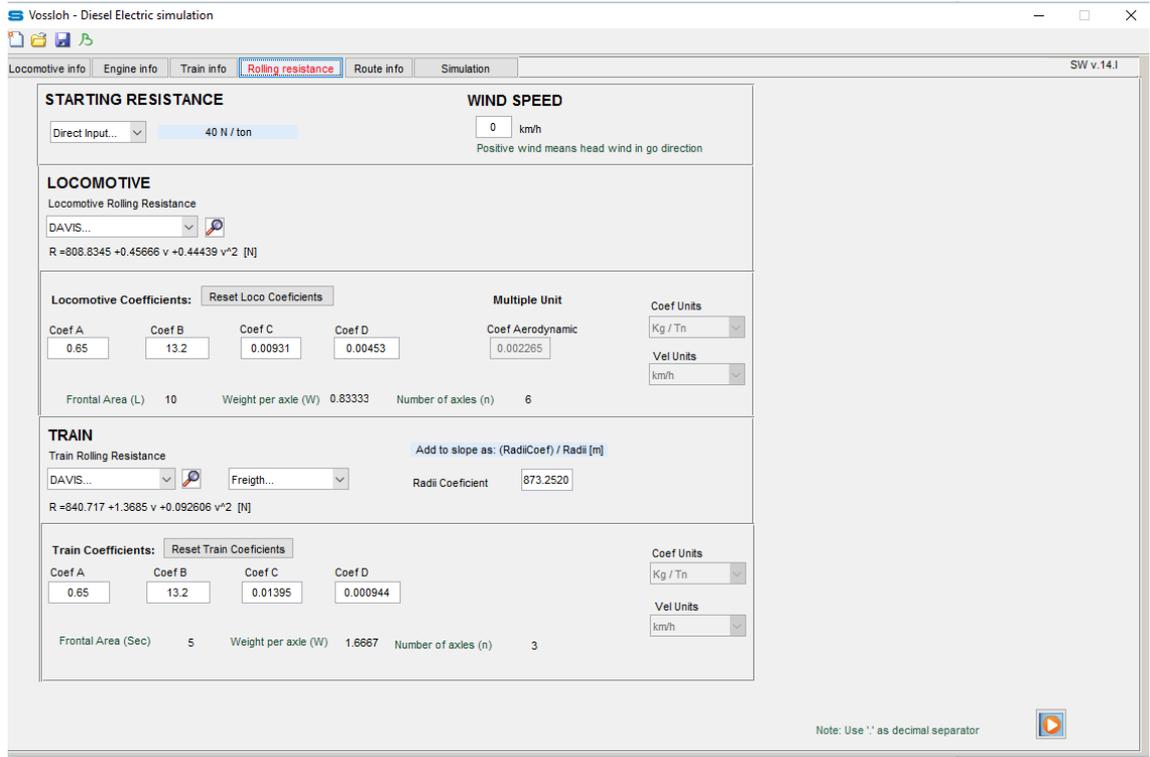


Figura 32

En la pestaña de “Route info” se selecciona de opción de pendiente fija a un 10 %.

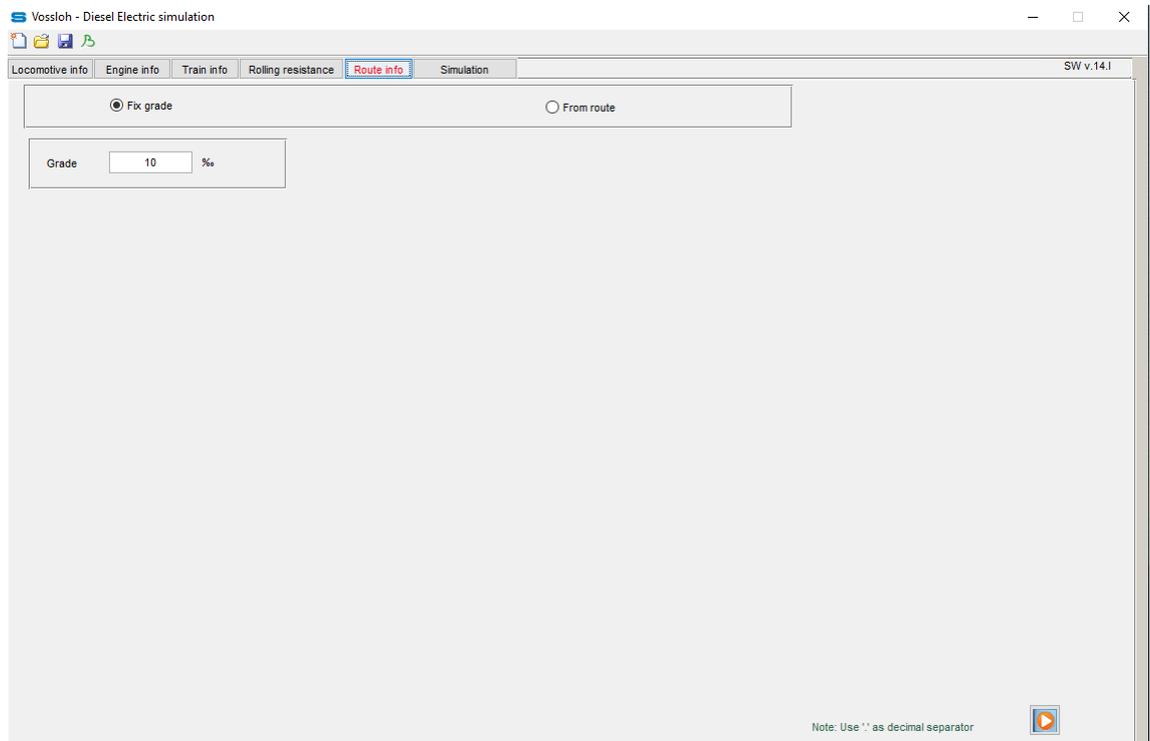


Figura 33



EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

En esta captura se aprecia como después de haber acabado la simulación, no se muestra la gráfica de velocidad frente a tiempo que debería de aparecer.

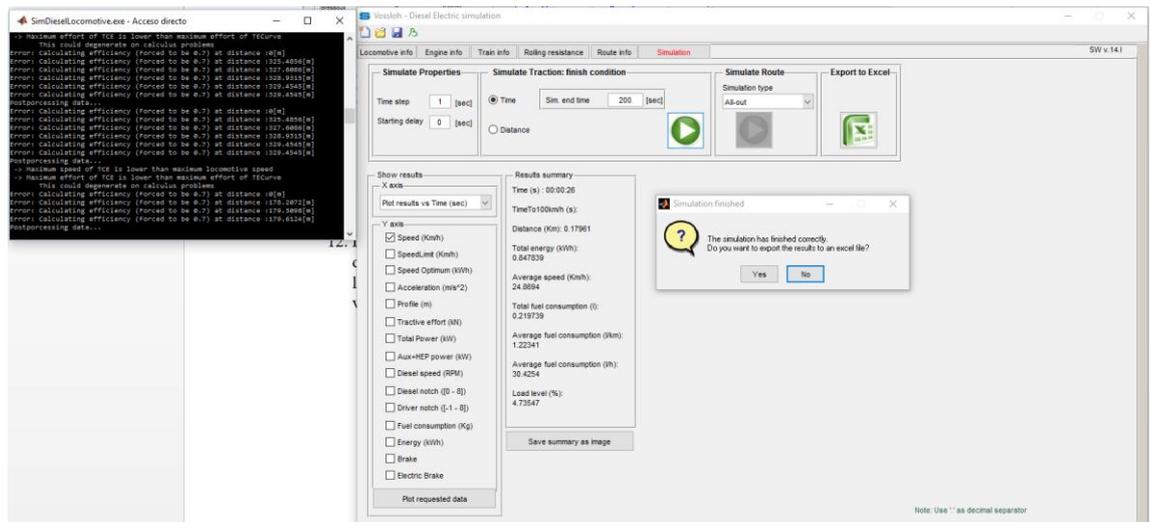


Figura 34

3.3 Propuestas de mejora para la herramienta

Junto a la labor de observación de los posibles errores que hubiera en la herramienta, se realizaron una serie de propuestas de mejora que se reproducen a continuación:

1. Al introducir una serie de valores incorrectos, la aplicación informa de que esos valores pueden producir un cálculo erróneo, pero se nos avisa a través de la consola, con lo que si el usuario no le presta atención, puede pasar por alto esa información. Sería aconsejable que saltara un cartel de aviso para informar al usuario. El error salta cuando en el apartado de “Locomotive’s files”, se selecciona el archivo Excel para el Traction Chain Efficiency llamado “TCE TrenTram.xls” que se muestra en la Figura 35:

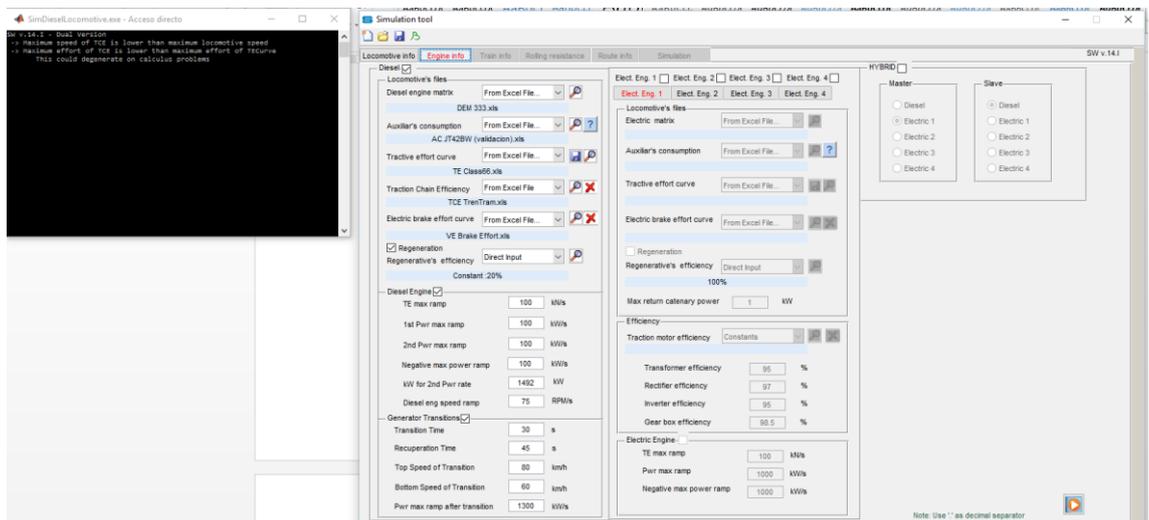


Figura 35

2. Se podría implementar un botón en la pantalla de simulación o bien en la propia barra de progreso de la simulación que permitiera cancelar ésta, en caso de que se demorara mucho en su ejecución.
3. Una mejora relativa a dar más claridad y hacer más intuitiva la interfaz de usuario podría consistir en usar un icono distinto para el botón de “siguiente ventana” puesto que este icono nos recuerda más bien al símbolo de Windows Media Player o al botón de play de cualquier reproductor de vídeo, como se muestra en la Figura 36. Sería más conveniente una flecha o añadir al botón actual algún texto indicando “siguiente ventana” o similar.

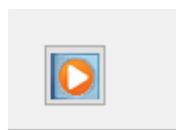


Figura 36

3.4 Evaluación del manual de la herramienta

3.4.1 Correcciones a introducir en el manual.

Además de comprobar la adecuación de la herramienta a su manual, se procedió a revisar este mismo a los efectos de subsanar los posibles errores sintácticos y ortográficos que pudiera contener en su redacción.

El resultado de este examen fue el siguiente:

1. En la página 15 del manual, en el punto 3.1.2.1.1 debe separarse del motor.
2. En la página 21 del manual, cuando se habla de la “Efficiency curve”, se dice que en el menú desplegable pueden seleccionarse cinco opciones, cuando solo pueden seleccionarse cuatro.
3. En la página 22 del manual, en el apartado **Default AC**, faltaría el punto relativo a Equipotent efficiency.
4. En la página 25 se dice que los parámetros del motor diésel están en la parte superior derecha cuando este panel se encuentra en la parte izquierda a mitad.
5. En la página 34, 3.1.3.2, Parámetros del HEP, 1º párrafo, se dice que “bajo el panel anterior se encuentra el panel HEP”, cuando este último panel está a la derecha del panel relativo a los parámetros del tren.
6. En la página 34, en el apartado de “TE curve includes HEP”, en la sexta línea hay que cambiar “esta casilla no tienen” por “esta casilla no tiene”.
7. En la página 38 donde se hace referencia a la ilustración 52 que refleja distintos valores a elegir para el coeficiente C para la fórmula Davis Canada, en la figura en la primera columna dice “Degree of Streamlining”, cuando debería decir “Degree of Streamlinig”.
8. En la página 38 hay un error en cuanto a la imagen correspondiente a la ecuación de RENFE para locomotoras puesto que esta ecuación no aparece reflejada.
9. En la página 39, hay un error en cuanto que dice: “El panel train es muy similar al panel Train...”, cuando se entiende que éste debería referirse al panel Locomotive.
10. En la página 51, cuando se habla de la curva de eficiencia de la cadena de tracción, se usan las siglas TCE curve de “Traction chain efficiency”, cuando en las plantillas del archivo ejecutable, se usa la expresión TCP. En el manual se hace uso de la expresión TCE, luego la corrección en su caso debería llevarse a cabo en el nombre de las tablas de ejemplo de la base de datos.
11. En la página 53 cuando se habla de la tabla del motor diésel, en la línea 6 cuando se hace referencia por segunda vez a la columna C, se entiende que debería referirse a la columna D.
12. En las páginas 54 y 55, en las ilustraciones 77 y 78 no se muestra ninguna línea de ejemplo en las gráficas.
13. En la página 55, cuando se hace referencia a Temperature for maximum use factor, hay que corregir el símbolo °C.

14. En la página 59, cuando se habla de la tabla del motor eléctrico, se usan las siglas EEM table, cuando en las plantillas se usan las siglas PEM table, lo cual puede inducir a error. En el manual se hace uso de la expresión EEM (Electric engine effort), luego la corrección en su caso debería llevarse a cabo en el nombre de las tablas de ejemplo de la base de datos.
15. En la misma página, en la línea 6, cuando se habla de la columna C por segunda vez, se entiende que debería referirse a la columna D.
16. En la página 49, primer párrafo, última línea, se dice que a la hora de guardar el resumen se muestra una ventana del explorador de ficheros donde aparece por defecto como “summary AAAAMMDD HHMMSS” y la carpeta destino “C:\”. Cuando he procedido a guardarlo el nombre del fichero por defecto ha sido de AAAAMMDD sin que apareciera la palabra summary ni los HHMMSS. Por otro lado, al menos en el caso de tener instalado el simulador desde un ejecutable, la carpeta de destino es aquella desde la que se ha instalado el ejecutable y no C:\.
17. En la página 62 del manual, en el apartado relativo a Engine Statistics, en la línea 3 se dice: “Esta información está separa...”, cuando debería decir: “Esta información está separada...”.

3.4.2 Mejoras a introducir en el manual

Igual que con la herramienta, se realizaron una serie de propuestas de mejora para que el manual resultara más cómodo de entender para el usuario.

1. En la página 16 del manual, cuando se habla de la Traction Chain Efficiency debería aclararse al usuario que el orden de introducción de los datos de los valores para los distintos apartados del panel Locomotive's files es muy importante y puede afectar al resultado del Traction Chain Efficiency.
2. En la página 17 se habla de la opción de regeneration que se activa con un check y de la regenerative's efficiency. ¿No debería de estar activa esta opción únicamente cuando se hace check sobre la primera? Sería aconsejable deshabilitar la opción de Regenerative's efficiency en el caso de que el check de Regeneration no haya sido seleccionado.
3. En la página 23 se echa en falta una separación más clara entre los distintos apartados a los que se hace referencia en la página 16. En este caso no hay una separación clara entre aquello de lo que se habla en la página 22 y el comienzo de la explicación del apartado de "Auxiliar's consumption" de la página siguiente. Haría falta usar letra en negrita o abrir un apartado nuevo.
4. En la página 23, cuando se selecciona la opción "Direct input" en "Auxiliar's consumption" aparece una ventana en la que podemos introducir dos valores distintos, un número entero o un porcentaje. Leyendo el manual queda claro qué es lo que se puede introducir, pero en la ventana no queda tan claro. Una sugerencia sería establecer un rango de valores para la primera opción.
5. En la página 24, cuando se dice "Cuando se carga una curva...", debería indicarse mediante la opción "From Excel File" para dar una mayor claridad.
6. Igualmente en ese mismo párrafo, faltaría indicar que el 0, 1 o 2 se introducirían en la columna RPM relation. Sería oportuno el hecho de poder modificar los archivos Excel cargados al hacer click sobre el icono de la lupa.
7. En la página 24, en relación a la ilustración 31 en que se nos muestra la imagen que aparece cuando clicamos en el botón de interrogante, el hecho de que aparezca una barra de herramientas es algo que puede desorientar al usuario puesto que puede pensar que a través de esa ventana debe introducir algún dato, cuando esta ventana es solo de carácter informativo. Debería aparecer solamente un panel informativo.

Una posible solución a este punto así como al punto 12, después de haber intentado lograr que apareciera una imagen en Matlab sin la barra de herramientas, consiste en utilizar un Message Dialog Box como el que se muestra a continuación para distintas situaciones:

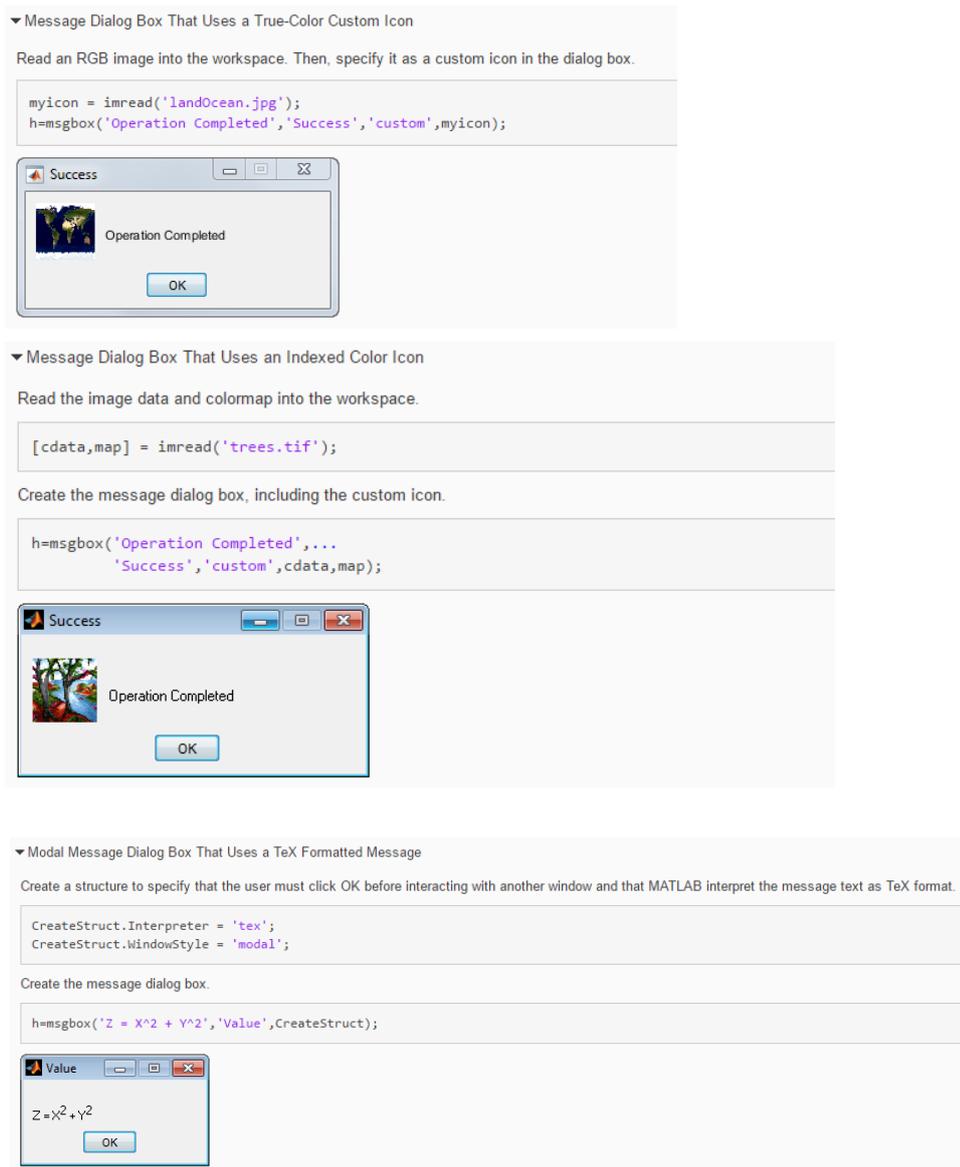


Figura 37

Mediante esta opción es posible introducir una imagen y texto sin que aparezca ninguna barra de herramientas que pueda confundir al usuario. Esta misma solución podría adoptarse para las imágenes que aparecen en la pantalla de Rolling Resistance tanto en los apartados Locomotive como Train cuando se hace click sobre la lupa para ver las distintas fórmulas que se ofrecen.

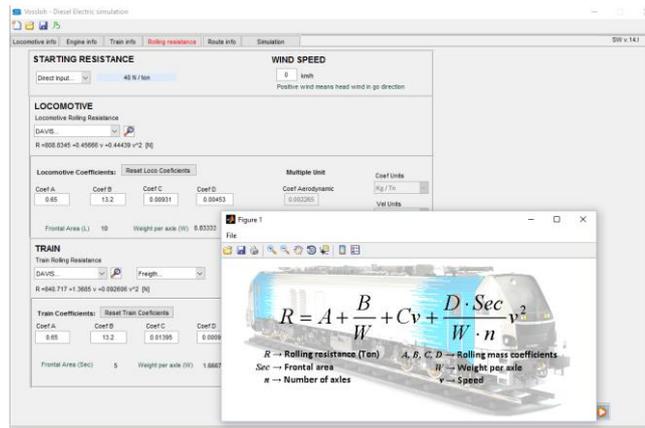


Figura 38

8. En el penúltimo párrafo de la página 24, se hace referencia a unas casillas para mostrar los datos introducidos. Se intuye que es el icono de la lupa, sin embargo, para una mayor claridad debería mostrarse ese icono.
9. Haría falta explicar al final de la página 24 que el icono de la X es para eliminar o borrar los ficheros seleccionados.
10. En la página 27 en el párrafo de abajo se dice que “es necesario activar el check que aparece en la parte superior remarcado en rojo”, sin embargo, en la aplicación no aparece nada marcado en color rojo. ¿Fallo de la aplicación o del manual? Si no se hace click sobre el Elect. Eng de debajo, no aparece nada en color rojo.
Debería añadirse en el manual a continuación de la frase “activar el check que aparece en la parte superior remarcado en rojo”, las palabras: “en la imagen de arriba”
11. Después de la página 30 del manual, teóricamente debería de darse una pequeña explicación del panel HYBRID, que aparece a la derecha del panel de selección de motores eléctricos y que se refiere a la selección de motores como maestro o esclavo.
12. Con relación a lo que se expone en la página 35 del manual, hay que hacer referencia a que cuando se hace click sobre el icono de la interrogación en el panel del HEP, nos aparece una ventana informativa, que al igual que lo comentado en el punto 6 de las mejoras, debería de eliminarse la barra de herramientas para no desorientar al usuario sobre la utilidad de esa ventana.

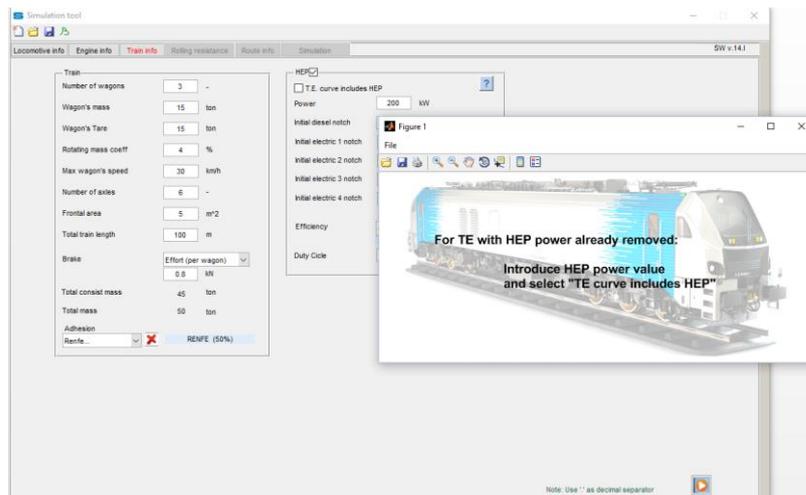


Figura 39

13. En la página 52 se echa en falta mencionar que la explicación se refiere al archivo TE Curve de las plantillas.
14. A partir de la página 60 del manual se encuentran las tablas de Excel que representan el formato de los archivos de exportación. Se puede observar cómo en el manual los distintos conceptos que aparecen en los gráficas, como por ejemplo, en la páginas 62 y 63 están escritos por un lado en español en el manual y sin embargo en las gráficas están escritos en inglés, lo cual puede confundir un poco al usuario. También se observa que entre esos conceptos que se desglosan en el manual, en ocasiones hay algunos que en lugar de estar escritos es español siguiendo una cierta coherencia, están escritos es inglés, como ocurre con los siguientes términos: total energy, energy dynamic brake, net energy. Sin embargo, a partir de la página 65, los conceptos desglosados ya no están en español como en las páginas anteriores sino que están en inglés con lo que se rompe de nuevo la coherencia.

4. Adaptación del software de simulación de ferrocarriles a la normativa CLC-TS 50591:2013

En este apartado se va a analizar la adecuación de la herramienta de simulación de ferrocarriles, vista en el punto 3, a la normativa CLC-TS 50591:2013, usada para determinar el consumo energético de los ferrocarriles.

Hay que señalar que la normativa CLC-TS 50591:2013 es de pago, habiéndose proporcionado la misma por la empresa Stadler para poder realizar el estudio de adaptación. Se realizaron diversas reuniones con el tutor de la empresa para que explicara el contenido de la misma.

4.1 La normativa CLC-TS 50591:2013

La especificación técnica contenida en la normativa CLC-TS 50591:2013 se aplica para la especificación y verificación del consumo de energía de los ferrocarriles.

Establece un criterio del consumo de energía de los ferrocarriles para calcular la energía total consumida, bien en el pantógrafo o bien desde el depósito de combustible, sobre un perfil de servicio predefinido, para asegurar que los resultados son directamente comparables y son representativos del comportamiento real del ferrocarril.

Esta especificación técnica proporciona el marco que da una guía para la generación de valores de comportamiento de la energía que sean comparables para los trenes y las locomotoras en una base común y a partir de ahí, proporciona la posibilidad de hacer pruebas de comparación y mejora de la eficiencia energética de los vehículos ferroviarios.

4.2 Estructura de la normativa CLC-TS 50591:2013

La normativa comienza con un apartado de términos y definiciones necesarios para entender los conceptos del ámbito ferroviario.

Seguidamente, se realiza una descripción de la infraestructura, en la cual se establecen entre otras cuestiones, las unidades de medida que han de ser utilizadas en el software de simulación.

La normativa distingue los requisitos que se han de tener en cuenta a la hora de realizar las medidas o pruebas según que el vehículo se encuentra en marcha realizando una ruta, o bien, se encuentre en reposo.

En el primer caso se tienen en cuenta aspectos como el número de paradas que tiene que realizar el tren, tiempo que está parado, la carga total del ferrocarril, el modo de conducción, entre otros aspectos.

En el segundo caso, los aspectos considerados son diferentes, pues se tiene en cuenta el tiempo total de precalentamiento o pre-enfriamiento, refiriéndose al tiempo que han de estar los aparatos de aire acondicionado internos del ferrocarril para alcanzar la temperatura adecuada antes de emprender la marcha. Se tiene en cuenta también el tiempo durante el cual los trenes están en su aparcamiento o en modo hibernación.

Otros aspectos que la norma establece que hay que tener en cuenta a la hora de realizar los cálculos son las condiciones medioambientales, pues por ejemplo, la temperatura ambiente, la humedad, la velocidad del aire, influyen en el consumo de energía del vehículo.

Finalmente, la normativa contiene una serie de indicaciones que se han de seguir a la hora de verificar y realizar el post-procesado de los datos obtenidos junto con una serie de tablas anexas en las que se codifican los diferentes parámetros que pueden influir a la hora de realizar el cálculo.

4.3 Adaptación del software de simulación de ferrocarriles a la normativa

Como se ha señalado más arriba, el software de simulación de ferrocarriles empleado por la empresa Stadler permite conocer el consumo energético así como otros datos del durante el recorrido de un vehículo concreto.

Para ello hay que introducir una serie de datos como se ha mencionado y el programa nos devuelve el resultado procesado a través de un documento de Excel.

El objetivo de la realización de la tarea de evaluación en esta parte consistió en comprobar que el programa cumplía con los requisitos establecidos por la normativa CLC-TS 50591:2013, tanto en los datos de entrada como en los datos de salida.

Para ello se comprobó punto por punto lo establecido en la normativa con el formato utilizado por el programa.

Como consecuencia del estudio se consiguieron los siguientes resultados necesarios para adaptar la herramienta a la normativa, distinguiéndose entre los inputs (datos introducidos en el programa) y los outputs (datos generados por el programa.)

Para una mayor claridad del estudio, se indica el nombre del elemento del programa o de la normativa afectado, su localización y aquellos aspectos en los que cambia con respecto a la normativa (apartado comentarios).

Se muestra a continuación el resultado del análisis efectuado:

Inputs.

1.

Nombre elemento: Locomotive's mass.

Unidades: Tn

Localización en la norma: Apartado 6.2.3

Localización donde debería aparecer en el programa: La norma no cambia su ubicación en el programa.

Comentarios: Cambian las unidades, puesto que la norma lo pide en kg y se introduce en Tn.

2.

Nombre elemento: Nominal voltage.

Unidades: V

Localización en la norma: A.2 – E01

Localización donde debería aparecer en el programa: Electric engine –Locomotive files.

Comentarios: El elemento no existe en la norma. La norma exige distinguir según el sistema sea de corriente continua o corriente alterna.

3.

Nombre elemento: Nominal frequency.

Unidades: Hz

Localización en la norma: A.2 – E02

Localización donde debería aparecer en el programa: Electric engine – Locomotive files

Comentarios: El elemento no existe en la norma.

4.

Nombre elemento: Nominal frequency.

Unidades: Hz

Localización en la norma: A.2 – E02

Localización donde debería aparecer en el programa: Electric engine – Locomotive files

Comentarios: El elemento no existe en la norma.

5.

Nombre elemento: Mean voltage at pantograph

Unidades: V

Localización en la norma: A.2 – E03

Localización donde debería aparecer en el programa: Electric engine – Locomotive files

Comentarios: El elemento no existe en la norma.

6.

Nombre elemento: Neutral sections

Unidades: M

Localización en la norma: A.2 – E03

Localización donde debería aparecer en el programa: Electric engine – Locomotive files

Comentarios: El elemento no existe en el programa. La norma exige que se indique la posición y tamaño de las secciones neutrales.

7.

Nombre elemento: Wagon's mass

Unidades: Ton

Localización en la norma: 6.2.3

Localización donde debería aparecer en el programa: La norma no cambia su ubicación en el programa.

Comentarios: Cambian las unidades, la norma exige la masa en kg.

8.

Nombre elemento: Total consist mass

Unidades: Ton

Localización en la norma: 6.2.3

Localización donde debería aparecer en el programa: La norma no cambia su ubicación en el programa.

Comentarios: Cambian las unidades, la norma exige la masa en kg.

9.

Nombre elemento: Total consist mass

Unidades: Ton

Localización en la norma: 6.2.3

Localización donde debería aparecer en el programa: La norma no cambia su ubicación en el programa.

Comentarios: Cambian las unidades, la norma exige la masa en kg.

10.

Nombre elemento: Load conditions in passenger service(multiple units).

Unidades: Ton

Localización en la norma: A.4 – S04

Localización donde debería aparecer en el programa: Train

Comentarios: No existe el elemento en el programa. La norma exige la masa total de pasajeros.

11.

Nombre elemento: Passenger load conditions-occupancy according to number of seats

Unidades: % (total passenger occupancy rate).

Localización en la norma: A.4 – S06

Localización donde debería aparecer en el programa: Train

Comentarios: No existe el elemento en el programa. La norma exige indicar el ratio de ocupación de los pasajeros.

12.

Nombre elemento: Comfort function duration in service operation

Unidades: hh:mm:ss

Localización en la norma: A.4 – S07

Localización donde debería aparecer en el programa: Train

Comentarios: No existe el elemento en el programa. La norma que se indique la duración del conjunto total de los elementos de confort durante el servicio: calefacción, ventilación, aire acondicionado, luz, entretenimiento y paneles informativos.

13.

Nombre elemento: Comfort function profile for in-service operation(load)

Unidades: % del efecto nominal de las funciones de confort

Localización en la norma: A.4 – S08

Localización donde debería aparecer en el programa: Train

Comentarios: No existe el elemento en el programa. La norma exige el perfil de carga acumulado para el conjunto de las funciones de confort durante el servicio.

14.

Nombre elemento: Running resistance vs speed

Unidades: kN – km/h

Localización en la norma: 6.2.3

Localización donde debería aparecer en el programa: Train

Comentarios: No existe el elemento en el programa. La norma exige que para los trailers se indique este valor.

15.

Nombre elemento: Total distance

Unidades: Km

Localización en la norma: 5.2

Localización donde debería aparecer en el programa: Route info

Comentarios: No existe el elemento en el programa. Se puede saber la distancia total por el último pk, pero podría indicarse directamente en una casilla.

16.

Nombre elemento: Tunnels location

Unidades: Km

Localización en la norma: 5.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Route info

Comentarios: No existe el elemento en el programa.

17.

Nombre elemento: Tunnels length

Unidades: m

Localización en la norma: 5.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Route info

Comentarios: No existe el elemento en el programa.

18.

Nombre elemento: Cross section area of each tunnel

Unidades: m²

Localización en la norma: 5.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Route info

Comentarios: No existe el elemento en el programa.

19.

Nombre elemento: Curve location

Unidades: km

Localización en la norma: 5.4

Localización donde debería aparecer en el programa: Route info

Comentarios: El elemento existe aunque no se muestra directamente a través de la IU.

20.

Nombre elemento: Radius of the curve

Unidades: m

Localización en la norma: 5.4

Localización donde debería aparecer en el programa: Route info

Comentarios: El elemento existe aunque no se muestra directamente a través de la IU.

21.

Nombre elemento: Pre-heating duration

Unidades: hh:mm:ss

Localización en la norma: A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Simulation

Comentarios: El elemento no existe en el programa, puesto que se pide que se calcule el consumo de energía cuando el tren está parado sin tripulación ni pasajeros a bordo.

22.

Nombre elemento: Pre-cooling duration

Unidades: hh:mm:ss

Localización en la norma: A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Simulation

Comentarios: El elemento no existe en el programa. Exigido para cuando el tren está en estacionario.

23.

Nombre elemento: Pre-heating profile

Unidades: % of nominal effect of comfort functions

Localización en la norma: A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Simulation

Comentarios: El elemento no existe en el programa. Exigido para cuando el tren está en estacionario.

24.

Nombre elemento: Pre-cooling profile

Unidades: % of nominal effect of comfort functions

Localización en la norma: A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Simulation

Comentarios: El elemento no existe en el programa. Exigido para cuando el tren está en estacionario.

25.

Nombre elemento: Cleaning period duration

Unidades: hh:mm:ss

Localización en la norma: A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Simulation

Comentarios: El elemento no existe en el programa. Exigido para cuando el tren está en estacionario.

26.

Nombre elemento: Cleaning period profile

Unidades: hh:mm:ss

Localización en la norma: A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Simulation

Comentarios: El elemento no existe en el programa. Exigido para cuando el tren está en estacionario.

27.

Nombre elemento: Parking period load profile

Unidades: % of nominal effect of comfort functions

Localización en la norma: A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Simulation

Comentarios: El elemento no existe en el programa. Exigido para cuando el tren está en estacionario.

28.

Nombre elemento: Humidity

Unidades: % relative humidity

Localización en la norma: A.6

Localización donde debería aparecer en el programa: Route info

Comentarios: El elemento no existe en el programa. La normativa lo exige para calcular el consumo de energía cuando el tren está en estacionario.

29.

Nombre elemento: Sunlight

Unidades: W/m²

Localización en la norma: A.6

Localización donde debería aparecer en el programa: Route info

Comentarios: El elemento no existe en el programa. La normativa lo exige para calcular el consumo de energía cuando el tren está en estacionario.

Como resultado del estudio de los inputs del programa, se puede apreciar que se detectó aproximadamente una treintena de elementos que, o bien no estaban presentes en la herramienta, o bien sí que estaban indicados pero existía un error en el formato de las unidades de medida empleadas.

Outputs.

1.

Nombre elemento: Route length

Unidades: Km

Localización en la norma: 7.5 y A.2

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: En el Excel con los resultados de la simulación no aparece la distancia total de la ruta directamente indicada como tal.

2.

Nombre elemento: Tunnel profile (length

Unidades: Km

Localización en la norma: 7.5 y A.2

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel con los resultados.

3.

Nombre elemento: Tunnel profile(cross section área)

Unidades: m²

Localización en la norma: 7.5 y A.2

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel con los resultados.

4.

Nombre elemento: Nominal voltage

Unidades: V

Localización en la norma: 7.5 y A.3

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel con los resultados.

5.

Nombre elemento: Nominal frequency

Unidades: Hz

Localización en la norma: 7.5 y A.3

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel con los resultados.

6.

Nombre elemento: Mean voltage at pantograph

Unidades: V

Localización en la norma: 7.5 y A.3

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel con los resultados.

7.

Nombre elemento: Neutral sections

Unidades: m

Localización en la norma: 7.5 y A.3

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel con los resultados.

8.

Nombre elemento: Stand still time on the route

Unidades: hh:mm:ss

Localización en la norma: 7.5 y A.4

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: Este elemento aparece en el Excel de resultados con el nombre Dwell time.

9.

Nombre elemento: Load conditions in passenger service

Unidades: T

Localización en la norma: 7.5 y A.4

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece en el Excel de resultados un apartado con la carga total representada por los pasajeros.

10.

Nombre elemento: Load conditions in service (locomotives

Unidades: T

Localización en la norma: 7.5 y A.4

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece en el Excel de resultados un apartado con la carga total representada por los vagones y los pasajeros.

11.

Nombre elemento: Passenger load conditions-occupancy according to number of seats.

Unidades: %

Localización en la norma: 7.5 y A.4

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece en el Excel de resultados un apartado con el ratio de ocupación de los pasajeros.

12.

Nombre elemento: Comfort function duration in service operation .

Unidades: hh:mm:ss

Localización en la norma: 7.5 y A.4

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece en el Excel de resultados un apartado con la duración total del conjunto de las funciones de confort durante el servicio del tren.

13.

Nombre elemento: Comfort function profile for in-service operation

Unidades: % of nominal effect of comfort functions

Localización en la norma: 7.5 y A.4

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

14.

Nombre elemento: Pre-heating and pre-cooling duration

Unidades: hh:mm:ss

Localización en la norma: 7.5 y A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

15.

Nombre elemento: Pre-heating and pre-cooling load profile

Unidades: % of nominal effect of comfort functions

Localización en la norma: 7.5 y A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

16.

Nombre elemento: Cleaning period duration

Unidades: hh:mm:ss

Localización en la norma: 7.5 y A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

17.

Nombre elemento: Cleaning period load profile

Unidades: % of nominal effect of comfort functions

Localización en la norma: 7.5 y A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

18.

Nombre elemento: Parking period duration (hibernating)

Unidades: hh:mm:ss

Localización en la norma: 7.5 y A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

19.

Nombre elemento: Parking period load profile

Unidades: % of nominal effect of comfort functions

Localización en la norma: 7.5 y A.5

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

20.

Nombre elemento: Humidity

Unidades: % relative humidity

Localización en la norma: 7.5 y A.6

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

21.

Nombre elemento: Sunlight

Unidades W/m^2

Localización en la norma: 7.5 y A.6

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

22.

Nombre elemento: Head wind

Unidades: Km/h

Localización en la norma: 7.5 y A.6

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

23.

Nombre elemento: Length of the train

Unidades: m

Localización en la norma: 7.5 b)

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

24.

Nombre elemento: Number of driven and not driven axes

Unidades: Numero entero

Localización en la norma: 7.5 b)

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

25.

Nombre elemento: Maximum mechanical braking effort

Unidades: No indicado

Localización en la norma: 7.5 b)

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados.

26.

Nombre elemento: Power needs of the parked train

Unidades: kW or kg of fuel oil/h

Localización en la norma: 7.5 e)

Localización donde debería aparecer en el programa: Informe final o Excel con los resultados

Comentarios: No aparece este elemento en el Excel de resultados

En este caso, como resultado del estudio, afloraron una veintena de elementos que debían estar presentes en el documento de Excel que la herramienta de simulación genera después de haber realizado los cálculos pertinentes, de modo que esos elementos faltantes no son tenidos en cuenta para el cálculo energético de los ferrocarriles.

En conclusión, puede decir que la normativa requiere de un cierto trabajo de adaptación para responder a los requisitos exigidos por la normativa antes citada.

5. Aplicación del proceso de evaluación a una herramienta creada desde cero

La última y más interesante tarea realizada en la colaboración con Stadler, consistió en llevar a cabo un testeo a nivel de código de una herramienta de la empresa que permitía la detección de radios de curvatura a partir de los datos de GPS obtenidos a partir de una ruta realizada por un ferrocarril. Una vez testada, se amplió su funcionalidad con la posibilidad de detectar las estaciones de ferrocarril que correspondían a cada archivo de datos de GPS.

La herramienta estaba realizada en Matlab y para hacer el testeo se empleó el debugger que lleva incorporado el propio Matlab.

Stadler proporcionó parte del código para implementar la detección de las estaciones pero en lenguaje C#, por lo que hubo que aprender ciertos conceptos de este lenguaje de programación.

Esta actividad resultó de interés puesto que se pusieron en práctica los conceptos teóricos aprendidos en la asignatura de primer cuatrimestre de Mantenimiento y Evolución de Software de la rama de Ingeniería del Software.

5.1 Ejemplo de depuración.

Mediante la herramienta de depuración se encontraron y se pudieron resolver algunos errores.

Citar a modo de ejemplo el problema que presentaban algunos archivos de datos de GPS que al aplicar cierto algoritmo en el programa que realizaba una suma de elementos previamente elevados al cuadrado, devolvía como resultado algunos elementos repetidos, lo cual más adelante causaba un problema al aplicar una función de interpolación de Matlab, que no admitía estos valores repetidos.

Como solución, se buscaron los índices de los valores que estaban repetidos y fueron eliminados.

Para ello se hizo uso de la función “unique” que implementa Matlab para encontrar los índices que estaban repetidos.

Por razones de confidencialidad de la empresa Stadler Rail Valencia, tanto en este apartado como en los siguientes, no se van a reproducir los fragmentos de código afectados.

5.2 Implementación de una nueva funcionalidad.

Una vez subsanados los errores detectados en la herramienta de detección de radios de curvatura, se procedió a ampliar la misma con una nueva funcionalidad.

Se trató de realizar una serie de algoritmos que, a partir de los datos GPS recibidos, pudieran detectar las estaciones por las que pasaba la ruta en cuestión, junto con el cálculo de las distancias entre los distintos puntos GPS y la determinación de la línea de ferrocarril a la que pertenecían las estaciones detectadas.

Como se ha comentado, para implementar esta nueva funcionalidad, la empresa Stadler proporcionó parte de los algoritmos en lenguaje C#, que hubo que adaptar para que funcionaran en Matlab.

Finalmente, los datos obtenidos se guardarían en una base de datos desde la misma aplicación en Matlab.

Este paso revistió de cierta dificultad ya que hubo que profundizar mucho más en el estudio del lenguaje de programación de Matlab, así como en el uso de ciertas herramientas como la interfaz de usuario, que hubo que crear.



5.3 Proceso de desarrollo de la nueva funcionalidad.

5.3.1 Especificación funcional.

Siguiendo el proceso de creación de software desde un principio, se realizó un documento de especificación de funciones que realizaría la aplicación.

Este documento serviría para que el cliente, en este caso la empresa, tuviera conocimiento de las funciones que implementaría la aplicación.

5.3.1.1 Propuesta de interfaz

Para definir la especificación funcional del programa de obtención de rutas, vamos a partir de un mockup de la interfaz de usuario principal.

1 68-007-datagps10112.gz

2 50 %

3

4

5 Consultar rutas por Vehículo ▼
 Fecha ▼
 Línea ▼

En esta interfaz el usuario tendrá la posibilidad de seleccionar en primer lugar uno o varios archivos de datos gps que tendrá almacenados en su ordenador.

Haciendo click en el botón “Seleccionar fichero” se abrirá un explorador de archivos a través del cual podrá seleccionar los archivos deseados.

A continuación, una vez seleccionados los archivos de datos de gps que se van a utilizar para calcular la ruta, el usuario simplemente tendrá que hacer click sobre el botón “Calcular ruta”.

5.3.1.2 Obtención de información.

A partir de este momento, el programa obtendrá de la información contenida en los archivos gps los siguientes datos:

- a) Radios de curvatura del proyecto [m].
- b) Pendientes. [%]
- c) Límite de velocidad de la vía [km/h]
- d) Tramos de recorrido [m].

Mientras se ejecuta el programa y realiza los cálculos oportunos, se mostrará una barra de progreso indicando el porcentaje avanzado.

5.3.1.3 Realización de cálculos

El código que se va a utilizar para obtener los datos mencionados, va a funcionar de la siguiente manera.

En primer lugar, para calcular el radio de curvatura, se llamará a la clase `Curve_Program.m` de Matlab, la cual llama a su vez a las clases siguientes:

- `Kurvenberechnung.m`, que crea una matriz con todos los datos importantes de las curvas. Esta clase llama a su vez a las siguientes:
 - `cartesian_y_interpolacion.m`, que lee los datos de longitud, latitud y heading del archivo que antes hemos seleccionado.
 - `Extremwertversuch`, que busca datos extremos en los ficheros seleccionados.
 - `Create_Textfile.m`, que imprime los datos obtenidos.
 - `Darstellung_GoogleEarth.m`, que escribe los datos de las curvaturas en un fichero de Google Earth.
- `Kurvengleich.m`, que compara las curvas existentes entre dos rutas, de modo que si encuentra mejores datos de curvas en una de las rutas, sustituye el radio de dicha curva en la ruta que contiene peores datos. Esta clase llama a su vez a las siguientes:
 - `Gleich.m`, que compara si los datos que se le pasan son iguales o no.



- Fall3.m, que dadas una ruta 1 y una ruta 2, cambia una curva del primero, en dos curvas del segundo.
- Fall3_2.m, que divide una curva en dos partes.
- Fall4.m.
- Create_Textfile.m, que imprime los resultados por pantalla.
- Darstellung_GoogleEarth.m, que escribe los datos de las curvaturas en un fichero de Google Earth.

Tras la ejecución de este código, obtenemos los radios de curvatura de la ruta en cuestión, de modo que cada cambio en el radio de curvatura nos indicará un tramo distinto.

5.3.1.4 Cálculo de pendientes y velocidad.

El siguiente paso consiste en obtener las pendientes. Para ello, crearemos una nueva clase en Matlab “CalculoPendientes.m”, que irá filtrando los datos de altitud de los archivos de gps, de modo que si detecta que en cierto momento hay un aumento en el valor de dichos datos significará que se ha producido un cambio en la pendiente, lo que nos indicará el comienzo de un nuevo tramo. Del mismo modo, se filtrará el momento en que la altitud disminuye para calcular el final de dicho tramo.

A continuación se obtendrá el cálculo de la velocidad límite de la vía. Para calcular este dato, se creará una clase “CalculoVelocidadLimite” y se procederá del mismo modo que para la clase anterior. Se filtrarán los datos de velocidad de los archivos de gps, comparando estos datos para obtener un patrón que nos indique el valor más alto de velocidad que se da durante x kilómetros, de modo que el cambio en la velocidad máxima en un determinado punto, nos indicará la existencia de un nuevo tramo.

Para cada uno de los casos se guardará el registro del punto kilométrico exacto en el que tiene lugar el hecho que determina la existencia de un nuevo tramo, como puede ser el punto el que de pronto aumenta la altitud de manera considerable.

5.3.1.5 Adecuación de los tramos a la ruta

Una vez obtenidos los tramos, se pasará a la siguiente fase en la que se comprobará si dichos tramos coinciden con alguna de las líneas.

Para esto se llamará al código de obtención de los trips, que tendrá una clase FindTrips.m que llevará a cabo las siguientes acciones al efecto.

- Obtener las estaciones del día anterior al que se refiere el archivo de datos gps.
- Obtener las estaciones del día siguiente al que se refiere el archivo de datos gps.
- Obtener las estaciones del mismo día al que se refiere el archivo de datos gps.

- Crear una lista de estaciones con todas las estaciones obtenidas en los tres puntos anteriores.
- Crear una lista de registros de ruta con todos los datos del día actual, del pasado y del siguiente.
- Determinar para cada estación por la que ha pasado el tren si coincide con alguna estación de la línea, determinar si pertenece al día actual y si quedan suficientes estaciones en la lista para compararlas con las de la línea.
- En caso de que la estación coincida en los requisitos del punto anterior se crea un nuevo “trip”.
- Se continúa con el resto de estaciones hasta que se acaba la lista.

5.3.1.6 Consulta de los resultados obtenidos por el usuario

Una vez obtenidos los datos de radio de curvatura, pendiente, velocidad y tramos de recorrido, el usuario de la aplicación podrá previsualizar los mismos por pantalla o bien podrá exportarlos a un fichero de ruta.

La aplicación dispondrá de una ventana en la que se mostrarán los eventos que vayan sucediendo así como los errores que surjan, de manera que el usuario tenga conocimiento en todo momento de qué está ocurriendo.

Igualmente el usuario podrá consultar la información de la base de datos filtrando por vehículo, fechas o líneas.

Se utilizará como base de datos MySQL y para posibilitar su funcionamiento con nuestra aplicación de Matlab, se necesitará de un conector ODBC a través del cual configuraremos la conexión.

La interacción al seleccionar cualquiera de las opciones (vehículo, fechas o líneas) con la base de datos se hará a través de los callbacks correspondientes.

De este modo el código de cualquier consulta a la base de datos tendrá que tener en primer lugar, una sentencia para establecer la conexión con la misma:

```
Conn = database ('Configurador_rutas', 'root', '123456');
```

Seguidamente nos guardamos en una variable el valor que introduce el usuario en la base de datos:

```
Vehicle = get(handles.vehiculo, 'String');
```

Efectuamos la consulta Sql:

```
query= 'select * from vehicles';
```



Ejecutamos la consulta:

```
cursor = exec (conn, query);
```

Guardamos el resultado de la consulta en una variable:

```
valor = fetch(cursor);
```

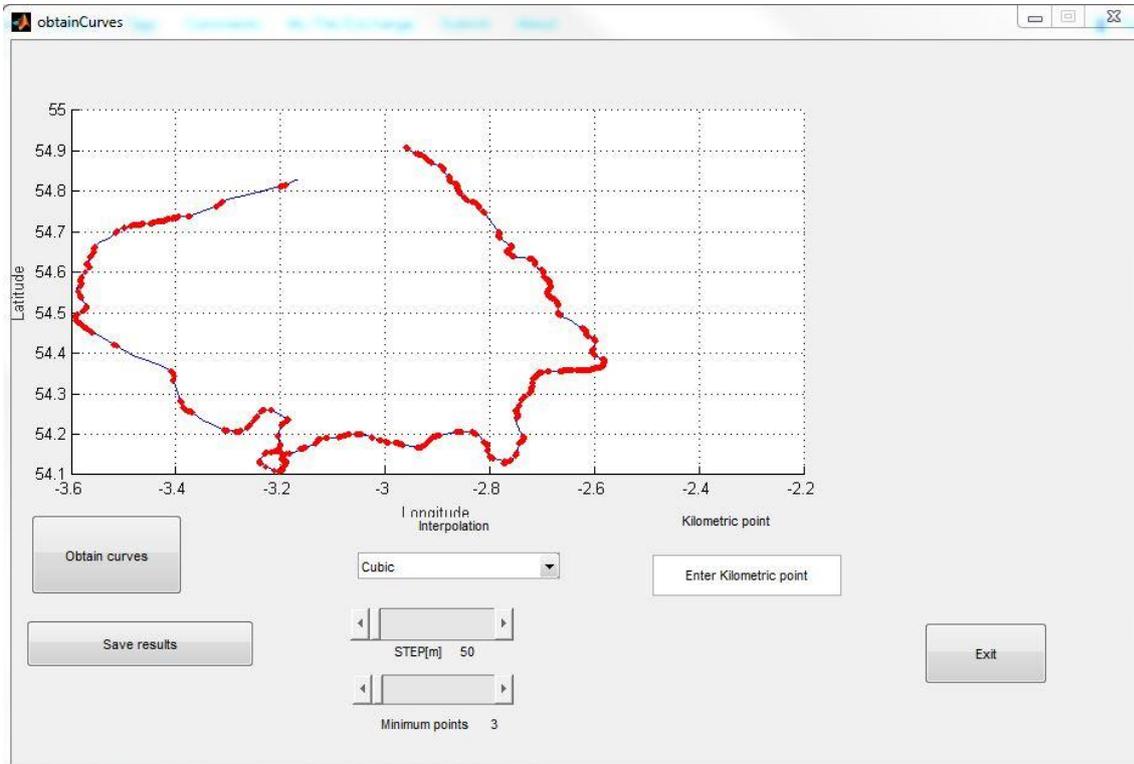
Se repetirá este proceso para cada una de las consultas que queramos realizar.

Una vez obtenida la información de la base de datos, esta se podrá mostrar a través de una gráfica, al igual que se podrá hacer con los resultados que se acaban de calcular por la aplicación.

Para ello, definiremos dos variables, x e y, a las que atribuiremos los valores que queramos representar, por ejemplo, radio de curvatura en eje x y distancia en eje y. Mediante la función plot de Matlab se mostrarán estos datos en forma de gráfica.

5.3.2 Interfaz definitiva de la aplicación.

Se muestra a continuación la apariencia que tiene la interfaz de la aplicación.



Se observa un botón de nombre “Obtain curves”, donde al hacer click sobre él el usuario, se abre una ventana de selección de ficheros para que el usuario pueda introducir el fichero de datos GPS que desee.

El dibujo mostrado en la interfaz es el resultado del cálculo de los radios de curvatura de la ruta en cuestión.

5.3.3 Documentación de la nueva funcionalidad.

Se documenta a continuación el modo cómo se han implementado las nuevas funciones que ha de realizar la herramienta.

En el siguiente documento se van a mostrar paso a paso los distintos pasos seguidos para elaborar el programa de detección de rutas.

En primer lugar hay que tener en cuenta que el programa se conecta a una base de datos de MySQL para almacenar la información. A la hora de implementar la base de datos se tienen que tener en cuenta las siguientes notas:

1. Los archivos datagps tienen que estar almacenados en la siguiente carpeta para que el programa pueda cargarlos en la base de datos: C:\Program Files\MySQL\MySQL Server 5.7\Uploads
2. El programa puede generar las tablas correspondientes a cada archivo datagps. A la hora de generar una tabla común para todos los archivos datagps en la base de datos habrá que descomentar una parte del código que nos permite ir agregando las tablas que se van creando a la tabla “general” en la base de datos y que se encuentra en la parte final del bloque de código destinado al acceso a la base de datos. Si se ejecuta esta parte de código sin que haya una tabla almacenada en la base de datos, no funcionará.
3. El programa permite crear nuevas tablas para insertarlas en la base de datos desde Matlab. Para ello se pide al usuario el nombre que quiere asignar a la tabla correspondiente.
4. El usuario ha de introducir la ubicación del lugar en que se encuentra el archivo datagps como se ha indicado en el punto 1. El programa crea un diálogo en el que el usuario podrá indicar esta ubicación. Deberá introducir el texto entre comillas simples para que se pueda reconocer correctamente la ubicación indicada.

Ej: 'C:\Program Files\MySQL\MySQL Server 5.7\Uploads\'
5. El programa también pide al usuario que introduzca la id del vehículo al que corresponde el archivo datagps con que se está trabajando, para que este dato conste en la tabla de la base de datos a efectos de identificación.

La conexión con la base de datos se realiza con una herramienta encontrada en la sección de File Exchange de Matlab, llamada adodb_tools.

La herramienta se puede descargar gratuitamente de la web de Mathworks mediante un simple registro en ella.

Con la descarga obtenemos cuatro archivos:

- adodb_connect.m
- adodb_query.m
- adodb_tutorial_script.m
- adodb_update_blob.m

Estos archivos han de copiarse en el directorio en el cual ejecutamos nuestro proyecto de Matlab.

Como último paso para que funcione la conexión con la base de datos de MySQL, tendremos que acceder al administrador de origen de datos ODBC de Windows para indicarle los controladores de nuestra base de datos.

Más abajo se explica cómo se realiza la conexión con la base de datos en el entorno de Matlab.

Presentamos a continuación unas capturas de pantalla de la base de datos antes y después de que se introduzcan los datos en ella. En la primera captura (Figura 40) se aprecia que la columna de distancia y la que le sigue de estaciones no contienen ningún elemento. En la segunda captura (Figura 41) se muestra la tabla completa con los datos de distancias, estaciones e identificación de vehículos.

EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS FERROVIARIOS

The screenshot shows the SQL Server Enterprise Manager interface. The central pane displays a query: `SELECT * FROM projectocurvas.datags2;`. Below the query, the 'Result Grid' shows a table with columns: `idatags`, `timestamp`, `latitude`, `longitude`, `altitude`, `speed`, `satellites`, `heading`, `mag_heading`, `distance`, and `stations`. The data rows show values for these columns, with some cells containing NULL. The bottom pane shows the 'Output' window with an 'Action Output' table:

#	Time	Action	Message	Duration / Fetch
30	10:54:29	SELECT * FROM projectocurvas.datags2 LIMIT 0, 50000	20662 row(s) returned	0.047 sec / 0.577 sec
31	10:56:27	TRUNCATE 'projectocurvas'.datags'	OK	0.000 sec
32	10:57:04	LOAD DATA LOCAL INFILE 'C:\Program Files\Microsoft SQL Server\5.7\Load	11709 row(s) affected, 64 warning(s): 1261 Row 1 doesn't contain data for all columns	3.682 sec

Figura 40

The screenshot shows the SQL Server Enterprise Manager interface. The central pane displays a query: `SELECT * FROM projectocurvas.datags2;`. Below the query, the 'Result Grid' shows a table with columns: `idatags`, `timestamp`, `latitude`, `longitude`, `altitude`, `speed`, `satellites`, `heading`, `mag_heading`, `distance`, `stations`, and `idVehicle`. The data rows show values for these columns, with some cells containing NULL. The bottom pane shows the 'Output' window with an 'Action Output' table:

#	Time	Action	Message	Duration / Fetch
30	10:54:29	SELECT * FROM projectocurvas.datags2 LIMIT 0, 50000	20662 row(s) returned	0.047 sec / 0.577 sec
31	10:56:27	TRUNCATE 'projectocurvas'.datags'	OK	0.000 sec
32	10:57:04	LOAD DATA LOCAL INFILE 'C:\Program Files\Microsoft SQL Server\5.7\Load	11709 row(s) affected, 64 warning(s): 1261 Row 1 doesn't contain data for all columns	3.682 sec

Figura 41

5.3.3.1 Comentarios sobre el código implementado

Pasamos seguidamente a comentar los métodos empleados para realizar el programa.

Todos los métodos se han creado dentro de una misma clase en el programa de detección de curvas.

5.3.3.1.1 Obtención de los datos

En primer lugar, lo que se hace es recibir los datos con todas las estaciones y todas las líneas que nos vienen dados en dos archivos .csv, mediante la función xlsread de Matlab.

A continuación se filtran los archivos anteriores para obtener los datos de latitud, longitud, radio y nombre de las estaciones. Despreciaremos la primera fila de estos archivos por ser la correspondiente al texto en que se nos indica a qué corresponde cada columna.

Haremos lo mismo con los datos recibidos del archivo .csv que contiene las líneas de ferrocarril.

Seguidamente, haremos una transformación de los datos correspondientes a la latitud, longitud y radio, de formato celda a formato matriz para poder trabajar con ellos mediante la función cell2mat de Matlab.

Los datos de latitud y longitud que nos vienen en el archivo datagps están en una sola fila y múltiples columnas, por lo que tenemos que transponer la matriz en la que vienen y pasarlos a formato de varias filas y una sola columna.

Estos datos de latitud y longitud (tanto los extraídos del archivo de estaciones, como los recibidos del archivo datgps) vienen en formato de coordenadas polares, por lo que tenemos que pasarlos a datos correspondientes al sistema cartesiano, aplicando la fórmula matemática por la que se multiplica cada dato de latitud y longitud por el resultado de dividir el número pi entre 180.

Recogemos en una serie de variables el tamaño de la matriz correspondiente a los datos de latitud del archivo datagps, así como el tamaño de la matriz correspondiente a los datos de latitud extraídos del archivo .csv con los datos de estaciones. Inicializamos a ceros, con objeto de precargar datos en memoria en Matlab y que no se tenga que cambiar el tamaño de la matriz constantemente, una variable llamada nDistance, con el tamaño correspondiente al número de puntos gps que se han recogido en el archivo datagps correspondiente. Finalmente inicializamos a cero una variable para contar las estaciones encontradas.



5.3.3.1.2 Procesamiento de los datos

Mediante un bucle for calculamos la distancia que hay entre cada uno de los puntos gps del archivo datagps y las estaciones del archivo .csv. Para ello, se aplica una fórmula que usa los datos de latitud y longitud de cada punto gps y de cada estación, que por razones de confidencialidad de la empresa no podemos reproducir.

Si la distancia calculada entre el punto gps y la estación es menor o igual que el radio de actuación de una estación, se puede considerar que hemos encontrado para ese punto gps una estación.

En caso de que para un punto del archivo datagps no se haya encontrado ninguna estación, pondremos un “null” para este punto.

Mediante la función unique de Matlab descartamos los nombres de estaciones que están repetidos.

Seguidamente, haciendo uso de la misma fórmula que para el punto anterior, vamos a calcular la distancia que hay entre cada uno de los puntos gps del archivo datagps. Mediante un bucle for calculamos la distancia entre dos puntos gps consecutivos.

5.3.3.1.3 Conexión con la base de datos

Una vez que se han encontrado las estaciones y calculado la distancia entre los puntos gps, se abre la conexión con la base de datos y se crea una tabla en la cual insertar los datos obtenidos.

Para ello, se abre una ventana de diálogo para que el usuario pueda insertar el nombre de la tabla que quiere crear.

A continuación, se crearía la tabla y se abriría de nuevo conexión con la base de datos, se crearían dos ventanas de diálogo con el usuario para pedirle la ubicación del archivo datagps y así poder cargar su contenido en la base de datos.

También se abriría una segunda ventana de diálogo para que el usuario introdujera el nombre de la tabla en la que se va a cargar los datos, de esta manera se puede usar el código para introducir datos en tablas distintas.

Como la identificación de cada vehículo va a variar, se permite al usuario que mediante una ventana de diálogo introduzca la identificación que le quiera dar en la base de datos.

Seguidamente, se introducen en la base de datos los nombres de las estaciones encontradas, para ello, mediante un bucle for se recorre la matriz de estaciones que se había creado anteriormente y se va insertando la estación, mediante una consulta de tipo update, en el lugar que le corresponde en la base de datos, acorde con el punto gps que se identifica con el atributo iddatagps de la tabla en la base de datos.

De manera similar a la anterior se van a introducir los datos de las distancias entre puntos gps en la base de datos, con un bucle for que recorre la matriz de distancias guardadas anteriormente. En este caso, hay que hacer una pequeña transformación puesto que el dato es de tipo numérico y para insertarlo en la base de datos tiene que ser de tipo string.

Finalmente, se permite al usuario que copie una de las matrices generadas con todos los datos y que la inserte en la tabla general, para ello se le pide al usuario que introduzca el nombre de la tabla que quiere pasar a la tabla general.

5.3.3.1.4 Detección de las líneas de tren

Una vez terminada la fase de inserción en la base de datos, el programa nos va a permitir encontrar las líneas para las que alguna de sus estaciones se corresponden con las encontradas en el archivo datagps.

Vamos a tener una matriz con todas las estaciones encontradas y otra matriz con las estaciones que corresponden a cada línea.

Mediante dos bucles for anidados vamos a ir comparando los nombres de las estaciones de cada matriz mediante la función strcmp de Matlab, que en el caso que la comparación sea exitosa, nos devolverá un 1.

Si hemos encontrado una comparación con éxito, nos guardamos el nombre de la línea en una matriz y el nombre de la estación que coincide en otra matriz distinta, en el caso de que no se encuentre ninguna línea, se pondrá un null en su lugar.

De esta manera logramos obtener las líneas de las que algunas de las estaciones detectadas forman parte y finaliza así nuestro programa.



5.3.4 Verificación de las funcionalidades.

La verificación de cada una de las nuevas funcionalidades implementadas se realizaba iterativamente a medida que se iban implementando y se tenían que desarrollar nuevas funcionalidades, de esta manera, se comprobaba el correcto funcionamiento de los algoritmos ya implementados, teniendo en cuenta en todo momento el documento de especificación de funcionalidades arriba mencionado.

5.3.5 Validación de la nueva funcionalidad con el usuario.

Finalmente, al efecto de comprobar que las nuevas funcionalidades implementadas cumplen con lo que el usuario, en este caso la empresa Stadler, deseaba, se realiza con el tutor de la misma la validación de las mencionadas funcionalidades.

Se concluye que la herramienta desempeña sus funciones de la manera requerida por la empresa.

6. Bibliografía

- Spiegel, M. & Abellanas, L.: "*Fórmulas y tablas de matemática aplicada*", Ed. McGraw-Hill, 1988. [ISBN 84-7615-197-7](#).
- Specification and verification of energy consumption for railway rolling stock. BSI Standards Publication. PD CLC/TS 50591:2013.
- Manual de usuario del software de simulación de locomotoras diesel-eléctricas. Stadler, 2015.
- Jon Skeet: "*C# in dept*", Manning Publications, 2014. ISBN 9781617291340.
- Javier García de Jalón, José Ignacio Rodríguez, Jesús Vidal: "*Aprenda Matlab 7.0 como si estuviera en primero*", Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, 2005.