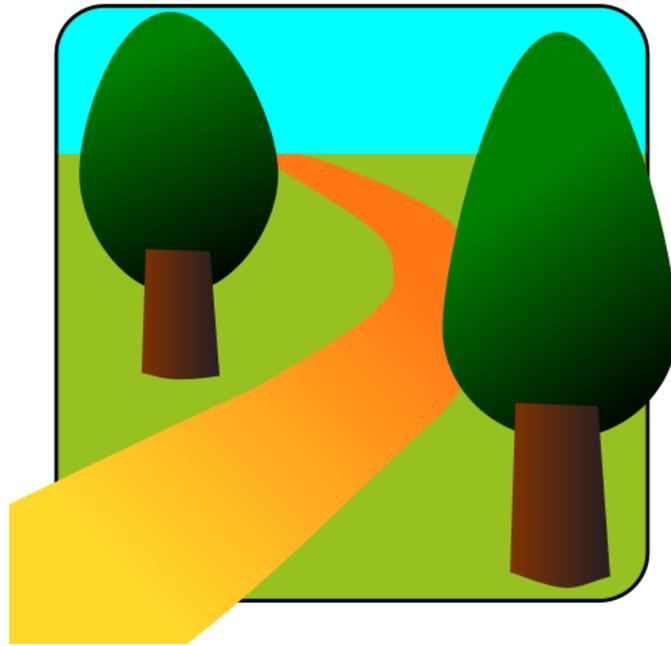




**La Rioja**



**PANOimagen**



# ***FOREST ROAD DESIGNER V3.0***

*Complemento QGIS para el diseño y planificación de vías  
forestales*

**MANUAL DE USUARIO v3.5**

*Junio de 2023*

Copyright: (C) 2022 by PANOimagen S.L.



<http://www.panoimagen.com/index.php/es/>

## HISTORIAL DE CAMBIOS

VERSIÓN	FECHA PUBLICACIÓN	CAMBIO
1.0	29/9/2017	Primera publicación y revisión
1.1	05/10/2017	Correcciones tipográficas
3.0	01/03/2022	Nuevos elementos
3.1	03/03/2022	Nuevas imágenes y revisión
3.2	17/08/2022	Nuevos elementos
3.3	27/10/2022	Correcciones tipográficas
3.4	17/11/2022	Nuevos elementos
3.5	01/06/2023	Nuevos elementos

## ÍNDICE

I.	DESCRIPCIÓN Y UTILIDAD .....	2
	Interfaz de usuario.....	3
	Descripción de los objetos de la interfaz:.....	6
II.	FUNCIONAMIENTO .....	7
	• PROCESO INTERACTIVO .....	7
	• PROCESO POR LOTES .....	8
	Parámetros de diseño básicos (Tipos predefinidos).....	8
	Parámetros de diseño avanzados.....	9
III.	EMPLEO DE FOREST ROAD DESIGNER.....	9
	a. Datos de partida: Capas.....	9
	b. Datos de partida: Parámetros de diseño básicos (Tipos predefinidos) .....	10
	c. Datos de partida: Parámetros de diseño avanzados .....	10
	d. Requisitos de los datos de partida:.....	18
	e. Resultados: .....	19
	f. Recomendaciones:.....	22
	g. Problemas en el diseño creado:.....	23
IV.	LICENCIA .....	24
ANEXO I	Parámetros de diseño básicos (Tipos predefinidos) .....	25
	Tipo de vehículo .....	25
	Todo Terreno: .....	25
	Autobomba / camión forestal: .....	25
	Camión trailer:.....	25
	Parámetros de frecuencia cambio dirección / rasante .....	25
	Frecuencia Alta / Alta:.....	25
	Frecuencia Alta / Media:.....	25
	Frecuencia Media / Media:.....	26
	Frecuencia Baja / Media:.....	26
	Frecuencia Media / Baja:.....	26
	Frecuencia Baja / Baja: .....	26
	Relación factores limitantes .....	26

Equilibrado:.....	26
Pendiente:.....	26
Radio de giro:.....	26
<b>ANEXO II Índice de calidad del trazado .....</b>	<b>26</b>
<b>ANEXO III Algoritmo de proceso.....</b>	<b>27</b>
Interfaz algoritmo de proceso.....	28
Descripción de los objetos de la interfaz.....	29
Interfaz salida de resultados .....	30
<b>ANEXO IV Instrucciones instalación plugin FRD .....</b>	<b>31</b>
Desde repositorio de QGIS.....	31
Desde archivo .zip.....	32
Nota sobre la instalación .....	32
<b>ANEXO V Guía rápida uso Forest Road Designer .....</b>	<b>33</b>
<b>INTERFAZ DE USUARIO .....</b>	<b>33</b>
Descripción de los objetos de la interfaz:.....	36
<b>SELECCIÓN DE CAPAS Y DIRECTORIO DE SALIDA .....</b>	<b>37</b>
<b>MODOS DE FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>37</b>
PROCESO INTERACTIVO .....	37
PROCESO POR LOTES .....	38
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>

## I. DESCRIPCIÓN Y UTILIDAD

*Forest Road Designer* (FRD) es un complemento desarrollado en entorno Python para su utilización en el Software QGIS<sup>1</sup> (operativo desde la versión 3.16.10), cuyo objetivo es servir de apoyo a técnicos y gestores en la fase inicial del diseño y planificación de vías forestales. Esta herramienta ha sido desarrollada por PANOimagen S.L. por demanda de la Dirección General de Medio Natural del Gobierno de La Rioja y financiada por la Dirección General de Tecnologías de la Información y la Comunicación.

La idea original de *Forest Road Designer* parte de la extensión Peger<sup>2</sup> para ESRI Arcview, y su desarrollo viene motivado de la necesidad de tener una herramienta libre, que sirva a los gestores y técnicos como apoyo a la hora de diseñar y planificar vías forestales, de forma rápida y sencilla. La herramienta trabaja sobre modelos digitales del terreno (MDT o DTM) lo que supone un importante avance respecto a Pegger, en lo que a resolución del resultado se refiere, dado que se analiza el terreno punto a punto, dejando de lado las curvas de nivel.

*Forest Road Designer* genera en su proceso dos capas de tipo vectorial (“*ESRI Shapefile*”), una de tipo punto, que contiene los puntos con la ruta óptima de la vía diseñada, y otra de tipo polilínea que contiene dicha ruta, pero de forma simplificada.

Este plugin no viene integrado en QGIS por defecto. Una vez instalado desde el repositorio de complementos de QGIS, aparecerá el icono correspondiente en la barra de herramientas de la interfaz de QGIS, desde el cual, podremos empezar a usarlo.

Este complemento lleva integrado dos modos de funcionamiento. En uno de ellos (“proceso por lotes”) se ha implementado un algoritmo de optimización, que busca, de entre todas las posibles soluciones para ir de un punto a otro del terreno, la mejor de ellas, tendiendo a minimizar la distancia recorrida y cumpliendo a su vez una serie de especificaciones dadas por el usuario (pendiente máxima y mínima admisible para el trazado, radio mínimo de giro, altura de desmonte y terraplén...). En el otro modo (“proceso interactivo”) el usuario crea una ruta añadiendo segmentos con longitud y pendiente fija (variable en cada paso).

*Forest Road Designer* presenta una interfaz de usuario muy sencilla e intuitiva (Imagen 1), en la cuál es necesario especificar una serie de capas y parámetros de diseño, que se van a explicar más adelante.

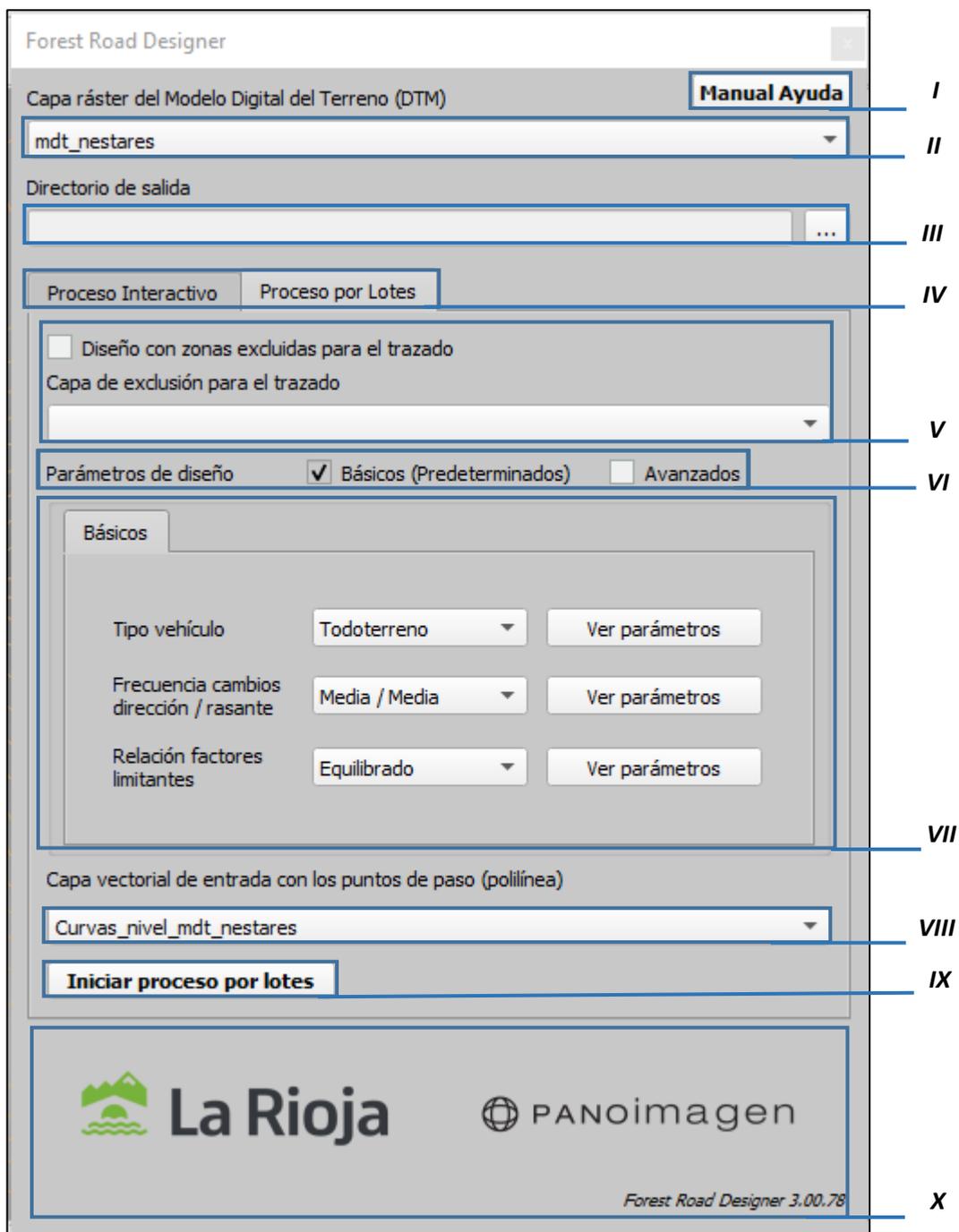
---

<sup>1</sup> <http://qgis.org/es/site/index.html>

<sup>2</sup> <http://www.ruraltech.org/tools/pegger/>

## Interfaz de usuario

Imagen 1. Aspecto de la interfaz gráfica del complemento *Forest Road Designer*



Parámetros de diseño  Básicos (Predeterminados)  Avanzados

**XI** Pendiente / Radio Desmontes Dirección / Rasante Optimización

Pendiente mínima admisible 0.00°  **XII**

Pendiente máxima admisible 7.13°  **XIII**

**XIV** Radio mínimo de giro Info  **XV**

Parámetros de diseño  Básicos (Predeterminados)  Avanzados

**XVI** Info

**RADIOS MINIMOS DE GIRO DE LOS VEHÍCULOS DE DISEÑO (METROS)**

Vehículo- Tipo	Radio Interior (m)	Radio de Diseño(m)
Automóvil, P	4.2 (4.7)	7.3 (7.3)
Autobús Sencillo, BUS	7.4	12.8
Camión Sencillo, SU	8.5 (8.7)	12.8 (12.8)
Camión Articulado, WB-15	5.8 (6.0)	13.7 (13.7)
Camión Articulado, WB-19	2.8	13.7
Camión Articulado, WB-20	0	13.7

Fuente: AASHTO. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 22

**XVII**  **XVIII**

Parámetros de diseño  Básicos (Perfiles)  Avanzados

**XIX** Pendiente / Radio Desmontes Dirección / Rasante Optimización

**XX**  Activar opciones de desmonte / terraplén

Ancho de pista  **XXI**

**XXII** Desmonte H:V  H :  V 0.00 ° Hmax  **XXIII**

**XXIV** Terraplén H:V  H :  V 0.00 ° Hmax  **XXV**

Parámetros de diseño  Básicos (Perfiles)  Avanzados

Pendiente / Radio Desmontes Dirección / Rasante Optimización **XXVI**

Dentro de los límites establecidos en los parámetros de diseño de la vía, se puede favorecer un resultado con mayor o menor frecuencia de cambios de rasante y/o de dirección disminuyendo o aumentando los valores en estas penalizaciones

Penalización máx. por cambio de dirección  **XXVII**

Penalización max. por cambio de rasante  **XXVIII**

Parámetros de diseño  Básicos (Predeterminados)  Avanzados

Pendiente / Radio    Desmontes    Dirección / Rasante    **Optimización** XXIX

Longitud segmento mínima  XXX

Factor tolerancia resultado (0.0m²)  XXXI

Peso relativo entre los distintos factores limitantes del diseño

Pendiente     Radio     Desmonte/Terraplén  XXXII

Parámetros de diseño  Básicos (Perfiles)  Avanzados

**Básicos** XXXIII

Tipo vehículo   XXXIV

Frecuencia cambios dirección / rasante   XXXV

Relación factores limitantes   XXXVI    XXXVII

**Proceso Interactivo**    Proceso por Lotes XXXVIII

Longitud de segmento (en proyección)  XXXIX

Pendiente  XL

Desnivel  XLI

    XLII

XLIII

## Descripción de los objetos de la interfaz:

- I. Botón acceso al Manual de Usuario.
- II. Desplegable para especificar la capa ráster del modelo digital del terreno (MDT).
- III. Directorio donde se guardarán los resultados del diseño.
- IV. Pestañas para selección de proceso por lotes o proceso interactivo.
- V. Desplegable para especificar la capa vectorial con las áreas de exclusión para el diseño del trazado. (Formato "ESRI Shapefile" de tipo polígono o multipolígono).
- VI. Determinación tipo parámetros de diseño (básicos /avanzados) (proceso por lotes).
- VII. Panel de especificación de parámetros de diseño (proceso por lotes).
- VIII. Desplegable para especificar la capa vectorial de puntos de paso (polilínea) (proceso por lotes).
- IX. Botón para iniciar el proceso por lotes (proceso por lotes).
- X. Logos y versión
- XI. Etiqueta de grupo de pendiente/radio (parámetros avanzados)
- XII. Casilla para especificar el valor mínimo de pendiente admisible para el trazado
- XIII. Casilla para especificar el valor máximo de pendiente admisible para el trazado
- XIV. Botón de información sobre radios de giro.
- XV. Casilla para especificar el valor mínimo de radio de giro.
- XVI. Etiqueta de grupo de información sobre radios de giro.
- XVII. Tabla de información sobre radios de giro.
- XVIII. Botón regreso a la pestaña de pendiente/radio de giro.
- XIX. Etiqueta de grupo de parámetros desmonte/terraplén (parámetros avanzados).
- XX. Casilla para activar las opciones de desmonte/terraplén.
- XXI. Casilla para determinar el ancho de la pista.
- XXII. Casillas para establecer la pendiente de desmonte (H, V).
- XXIII. Casilla para especificar la altura máxima de desmonte.
- XXIV. Casilla para establecer la pendiente del terraplén (H,V).
- XXV. Casilla para especificar la altura máxima del terraplén.
- XXVI. Etiqueta de grupo de parámetros de dirección/rasante (parámetros avanzados).
- XXVII. Casilla para especificar el valor de la penalización por cambios de dirección.
- XXVIII. Casilla para especificar el valor mínimo de pendiente admisible para el trazado.
- XXIX. Etiqueta de grupo de parámetros de optimización.
- XXX. Casilla para especificar la longitud mínima del segmento en la ruta.

- XXXI. Casilla para especificar el factor de tolerancia para la simplificación de la polilínea de resultado. A la izquierda de esta casilla se muestra la equivalencia del factor especificado según la unidad definida en el mapa.
- XXXII. Casillas para establecer el peso relativo entre los factores limitantes del diseño.
- XXXIII. Etiqueta de grupo de parámetros básicos (parámetros básicos).
- XXXIV. Desplegable para seleccionar el tipo de vehículo.
- XXXV. Desplegable para seleccionar la frecuencia de los cambios de dirección/rasante.
- XXXVI. Desplegable para seleccionar la relación entre los factores limitantes.
- XXXVII. Botones para visualizar los parámetros del perfil seleccionado.
- XXXVIII. Etiqueta de grupo de Proceso Interactivo.
- XXXIX. Casilla para determinar la longitud del segmento (en proyección).
  - XL. Casilla para determinar la pendiente.
  - XLI. Etiqueta con desnivel resultante a partir de la longitud y la pendiente seleccionada.
  - XLII. Botones para iniciar y cancelar el proceso interactivo.
  - XLIII. Botón para finalizar el diseño del proceso interactivo.

## II. FUNCIONAMIENTO

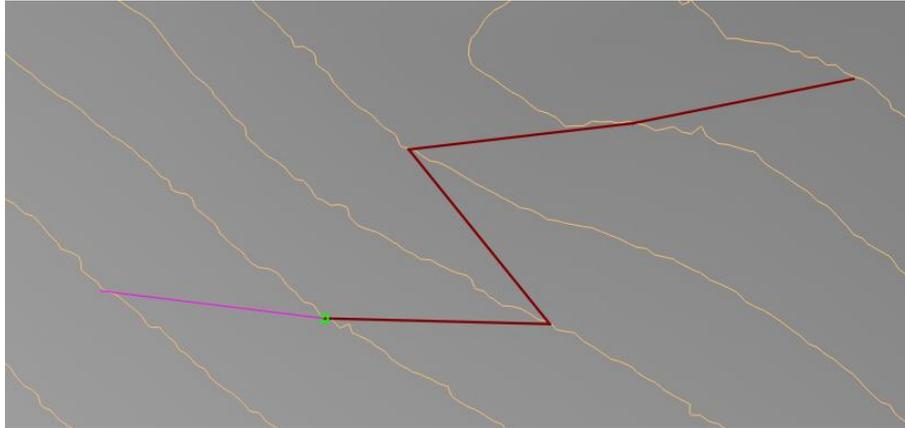
Este complemento admite distintos modos de utilización: un modo en el que el usuario asiste el diseño mediante la adición/eliminación de tramos (llamado “proceso interactivo”), y otro modo llamado “proceso por lotes”, en el cual el usuario únicamente especifica el punto de inicio, final y los puntos intermedios de paso, siendo estos últimos opcionales.

En el “proceso por lotes” la herramienta admite la posibilidad de añadir una capa vectorial de tipo polígono (formato “ESRI Shapefile”) con áreas a excluir del diseño del trazado (ver V. Imagen 1). De esta forma es posible limitar el paso del trazado diseñado por determinadas áreas (cauces, zonas inundables, zonas húmedas, áreas de interés especial por diversos factores...).

### • PROCESO INTERACTIVO

En este modo, el usuario va asistiendo el diseño del trazado mediante la adición/eliminación de tramos con el ratón, indicando la dirección y/o el punto de llegada del tramo/tramos correspondientes.

Una vez ajustados los parámetros de diseño (Longitud de segmento y Pendiente), el proceso se inicia pulsando en el botón “Iniciar el proceso de diseño” (ver XLII. Imagen 1). El cursor del ratón cambia entonces a una forma de cruceta y mediante el botón izquierdo del ratón, se procede a fijar el primer punto del trazado. Mediante el movimiento del ratón, se puede ver la predicción del siguiente segmento a añadir, que vendrá señalada mediante una línea fina de color verde en caso de trayectoria descendente o morada en caso de trayectoria ascendente.



**Imagen 2.** Trazado y predicción modo interactivo

A partir de aquí se van añadiendo o eliminando tramos según se necesite:

- Botón izquierdo de ratón: Añade tramos.
- Botón derecho de ratón: Elimina el último tramo añadido.

En cualquier momento se pueden variar los parámetros de diseño para la generación del siguiente tramo.

En el caso en el que se utilice alguna herramienta propia de QGIS (“Acercar capa”, “Desplazar mapa”, ...) que desactive el proceso, se podrá volver a él pulsando en el botón de inicio de proceso de diseño que habrá cambiado a “Continuar Proceso”.

Una vez se ha terminado el diseño se puede cerrar la edición, pulsando en “Fin captura (ver IX. Imagen 1) y se crearán entonces los archivos de salida con el trazado.

En cualquier momento se puede cancelar el proceso de diseño mediante el botón correspondiente (ver XVIII. Imagen 1).

## • PROCESO POR LOTES

En este modo es necesario seleccionar la capa vectorial que contiene los puntos de inicio y final del trazado (y opcionalmente puntos de paso intermedios). Dicha capa vectorial debe ser de tipo polilínea (en formato “ESRI Shapefile”) y puede estar grabada en disco o ser un archivo en memoria.

Dentro del funcionamiento del proceso por lotes existen dos posibilidades:

### Parámetros de diseño básicos (Tipos predefinidos)

Si se utiliza esta opción el usuario deberá elegir entre las posibilidades que aparecen en los distintos desplegables.

Una vez seleccionados los tipos se pulsa en el botón “Iniciar el proceso de diseño” y la aplicación va a generar como resultado tres pares de capas vectoriales. Cada par de capas está formado por una capa de tipo punto, que es el resultado bruto, donde los puntos indican la ruta óptima, y otra capa, de tipo polilínea que indica dicha ruta. Estos tres pares de capas responden al uso de distintos parámetros para cada una y que está detallado en el Anexo I.

## Parámetros de diseño avanzados

En este modo el usuario, al igual que en el proceso interactivo, debe ajustar en primer lugar los parámetros del diseño.

Una vez hecho esto, se pulsa en el botón “Iniciar el proceso de diseño” y la aplicación va a generar como resultado dos capas vectoriales: una capa de tipo punto, que es el resultado bruto, donde los puntos indican la ruta óptima, y otra capa, de tipo polilínea que indica dicha ruta y que se carga en la interfaz de QGIS una vez finaliza el proceso.

## III. EMPLEO DE FOREST ROAD DESIGNER

### a. Datos de partida: Capas

*Forest Road Designer* requiere de una serie de archivos o capas para su funcionamiento:

- **Modelo Digital del Terreno (MDT o DTM):** MDT en formato ráster (GEOtiff/ascii) del que la aplicación sacará la información altitudinal del terreno. Es importante tener en cuenta la resolución y la escala del MDT. Por ejemplo, para una escala 1:5000 se recomiendan modelos con resolución 2mx2m. La resolución de dicha capa tendrá influencia en el resultado y en el tiempo de su obtención. El empleo de modelos digitales del terreno con alta resolución puede ralentizar en exceso el proceso.

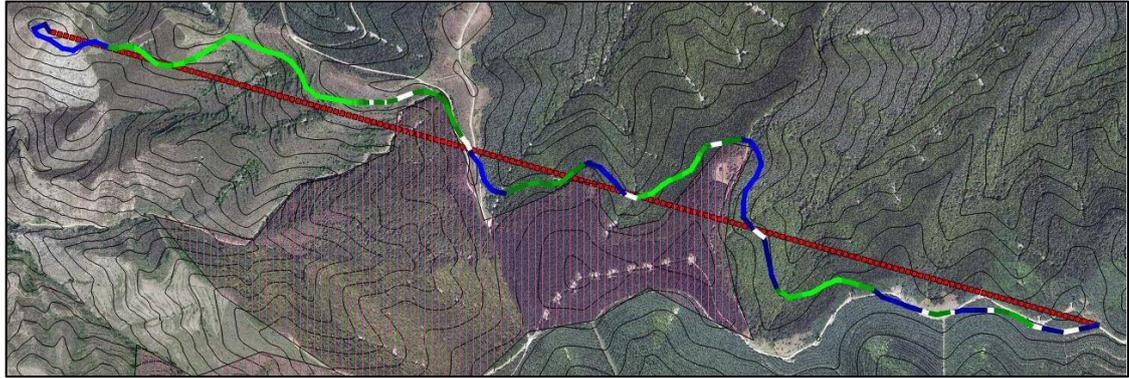
Es obligatorio que el modelo digital del terreno sea una capa almacenada en disco y su resolución vertical y horizontal debe ser similar, es decir, la diferencia entre alto y ancho de los píxeles no debe ser mayor del 5 %.

- **Polígono/s de exclusión [opcional]:** *Forest Road Designer* admite la posibilidad de excluir ciertas zonas del trazado, como ya se ha indicado previamente. Las zonas de exclusión deben estar definidas geográficamente mediante una capa vectorial (formato “ESRI shapefile”) de tipo polígono o multipolígono. La aplicación evitará el trazado por dentro de estas zonas (Imagen 3 e Imagen 4).

Esta capa es necesario que esté almacenada en disco para que la función sea operativa.



Imagen 3. Trazado de vía sin incluir áreas de exclusión al trazado



**Imagen 4.** Trazado de vía incluyendo áreas de exclusión. La aplicación traza la vía evitando entrar en el área rallada verticalmente

- **Puntos de ruta o de paso:** Sólo para el modo automático (proceso por lotes). Esta capa, con formato “ESRI Shapefile” de tipo polilínea debe tener al menos un segmento, que indica el punto de salida y de llegada, pudiendo tener más de un segmento siendo los puntos intermedios puntos de paso obligados para el trazado que se quiere diseñar. Aunque la capa de los puntos de ruta de tipo polilínea presente más de un segmento, es decir, más de 2 puntos, es obligatorio que esta capa presente solamente un único elemento (“feature”).

Esta capa puede ser tanto una capa en memoria como una capa almacenada en disco.

#### b. Datos de partida: Parámetros de diseño básicos (Tipos predefinidos)

Se pueden seleccionar distintas opciones que determinan los parámetros con los que se van a obtener las capas resultantes.

**Tipo de vehículo:** Determina el radio de giro y las pendientes máxima y mínima, así como el tamaño de vecindad.

**Frecuencia cambios de dirección/rasante:** Influye en la frecuencia de cambios de dirección y rasante.

**Relación factores limitantes:** Determina la importancia relativa entre los factores limitantes de radio y pendiente.

En el Anexo I se detallan los distintos tipos con los parámetros predefinidos para cada caso.

#### c. Datos de partida: Parámetros de diseño avanzados

El complemento requiere de una serie de parámetros, que tendrán influencia en el resultado obtenido y que es necesario ajustar por el usuario, no obstante, al abrir la aplicación, se cargan unos valores por defecto. Se describen brevemente en este apartado los distintos parámetros.

- **Pendiente máxima:**  
Pendiente máxima admisible para el diseño del trazado. El valor de la pendiente se especifica en porcentaje (metros verticales / 100 metros horizontales). A la izquierda de la casilla correspondiente aparece el equivalente en grados sexagesimales.

- **Pendiente mínima:**

Pendiente mínima admisible para el diseño del trazado. El valor de la pendiente mínima se puede anular especificando el valor 0.0 en la casilla correspondiente. El valor de la pendiente se especifica en porcentaje (metros verticales / 100 metros horizontales). A la izquierda de la casilla correspondiente aparece el equivalente en grados sexagesimales.

- **Radio mínimo de giro:**

Radio mínimo de giro entre los segmentos del trazado. El valor se expresa en las unidades propias del mapa de entrada.

**RADIOS MINIMOS DE GIRO DE LOS VEHÍCULOS DE DISEÑO (METROS)**

Vehículo- Tipo	Radio Interior (m)	Radio de Diseño(m)
Automóvil, P	4.2 (4.7)	7.3 (7.3)
Autobús Sencillo, BUS	7.4	12.8
Camión Sencillo, SU	8.5 (8.7)	12.8 (12.8)
Camión Articulado, WB-15	5.8 (6.0)	13.7 (13.7)
Camión Articulado, WB-19	2.8	13.7
Camión Articulado, WB-20	0	13.7

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 22

**Imagen 5.** Tabla orientativa sobre radios mínimos de giro por tipo de vehículo.

- **Ancho de pista:**

Ancho de pista. Necesaria para el cálculo del desmonte/terraplén. El valor se expresa en las unidades propias del mapa de entrada.

- **Ángulo de desmonte:**

Ángulo de desmonte. Se introduce mediante los parámetros H (horizontal), V (vertical). Se muestra el ángulo obtenido en grados sexagesimales.

- **Altura máxima de desmonte:**

Altura máxima de desmonte. El valor se expresa en las unidades propias de mapa de entrada.

- **Ángulo de terraplén:**

Ángulo de terraplén. Se introduce mediante los parámetros H (horizontal), V (vertical). Se muestra el ángulo obtenido en grados sexagesimales.

- **Altura máxima de terraplén:**

Altura máxima de terraplén. El valor se expresa en las unidades propias del mapa de entrada.

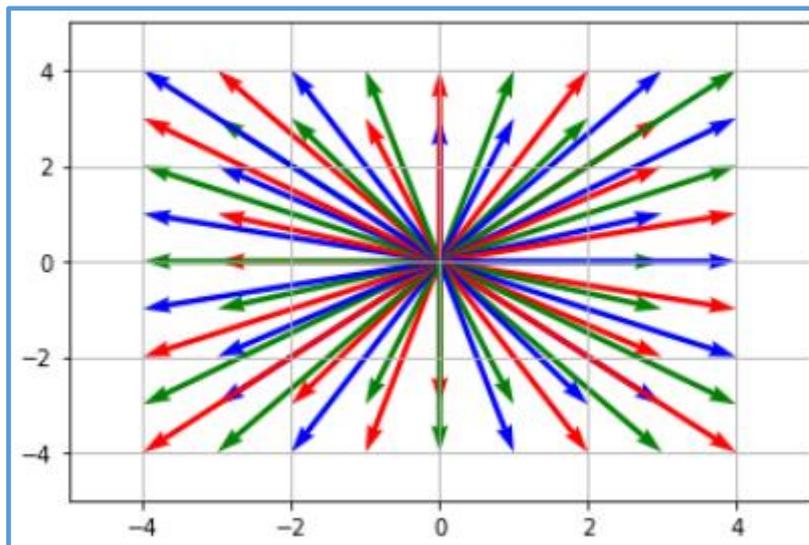
- **Longitud de segmento mínima:**

Este parámetro interviene en el área de búsqueda de la aplicación sobre el modelo digital del terreno (MDT), es decir, el conjunto de puntos que inspecciona el algoritmo de búsqueda. La aplicación desde el punto de origen, o desde un punto intermedio del trazado, analiza las posibles rutas a seguir en un área vecina teniendo en cuenta el parámetro de longitud mínima y la resolución espacial del modelo digital del terreno.

Este parámetro influye significativamente en el resultado obtenido, así como en el tiempo de procesado. La herramienta va analizando las zonas en las que puede moverse,

cumpliendo con las limitaciones establecidas (pendiente, radio, desmonte/terraplén...) y de ellas se selecciona mejor opción, así sucesivamente hasta completar la ruta.

En la imagen siguiente (Imagen 6) se muestra a modo de ejemplo el esquema de puntos candidatos para este parámetro de diseño. El punto central muestra la posición actual, siendo las flechas coloreadas la representación de las direcciones y puntos de búsqueda, de los que se seleccionan los puntos candidatos (que cumplen las especificaciones del diseño).



**Imagen 6.** Ejemplo de la estructura de un ráster y del tamaño de vecindad en la búsqueda de la ruta óptima. Longitud mínima de segmento = 3

La aplicación seleccionará el punto, que cumpliendo con las especificaciones del diseño presente la mejor opción de desplazamiento desde el actual (punto central).

Nótese, que valores muy bajos de longitud de segmento mínimo limitan mucho el movimiento, dado que la zona explorada es menor, sin embargo, el trazado de la vía se acerca con mayor detalle a las características del terreno, como se aprecia en las imágenes siguientes (Imagen e Imagen ), frente a mayores valores de longitud de segmento mínimo, para lo que el terreno explorado es mayor, pero despreciándose y simplificándose las particularidades del terreno (Imagen 7 y 8). Valores muy bajos de longitud mínima de segmento pueden provocar también que no se encuentre una ruta óptima.

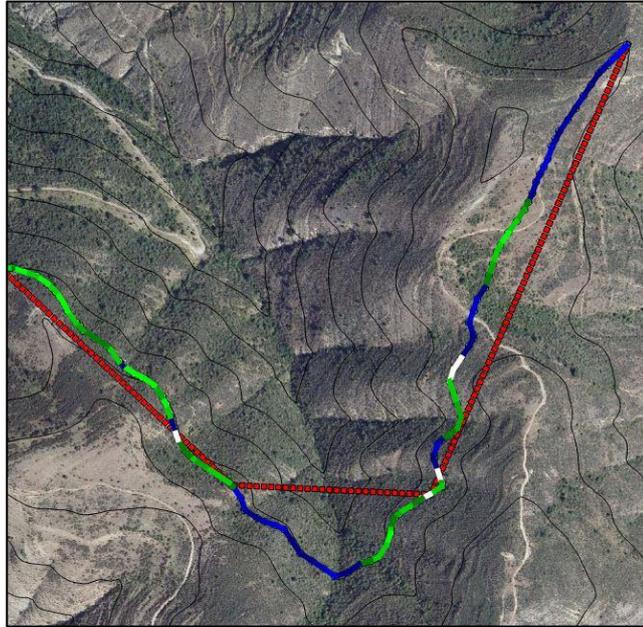


Imagen 7. Trazado resultante con longitud de segmento mínima 3.

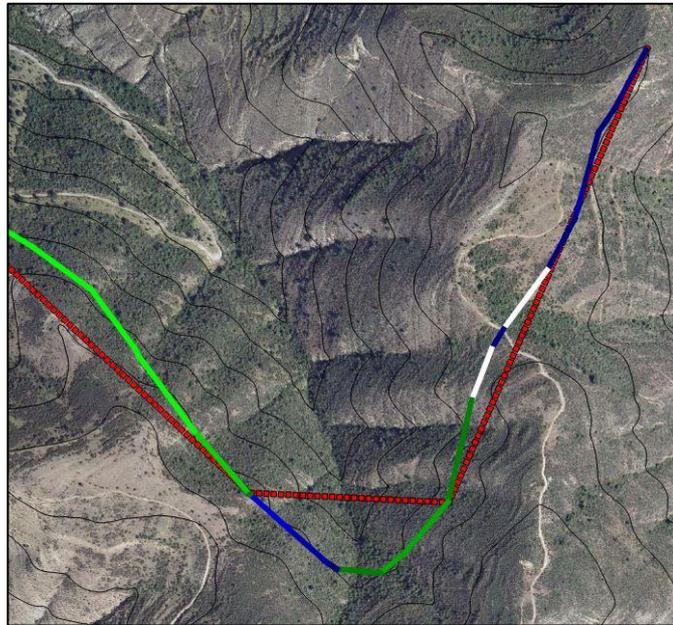


Imagen 8. Trazado resultante con longitud de segmento mínima 15

- ❖ **Valor recomendado:** en función del resultado que se desea obtener:
- Para resultados que reflejen más fielmente la realidad del terreno valores bajos de vecindad (2 - 5).
  - Para zonas de orografía accidentada valores altos de vecindad (> 5).
  - Para trayectos cortos valores bajos de vecindad (2 - 5).
  - Para trayectos largos valores altos de vecindad (> 5).

- Si se utiliza el parámetro de radio mínimo de giro es recomendable aumentar el valor de longitud mínima de segmento proporcionalmente. Si no se sigue esta recomendación podrían obtenerse entonces resultados poco útiles. La casilla correspondiente en el formulario advertirá al usuario mediante el color rojo si no se sigue esta recomendación.

Téngase en cuenta también la resolución del modelo digital del terreno (MDT). Con MDT de resoluciones bajas (25 m/pixel) no conviene aumentar en exceso el tamaño de longitud mínima de segmento (máx. recomendado 15).

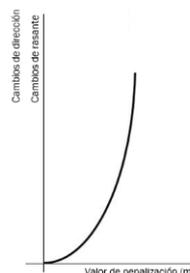
Por último, señalar que es conveniente trabajar con MDT de calidad, dado que el empleo de MDT con malos filtrados de vegetación-suelo en el proceso de su elaboración no originan resultados aceptables.

- **Penalización al cambio de dirección y al cambio de rasante:**

A continuación, se van a tratar los factores de penalización, por cambio de dirección y por cambio de rasante, siendo éstos los parámetros del diseño más complejos de entender en un primer momento, pero que, una vez que se comprende su funcionamiento, probar con distintos valores va a dar lugar a los resultados deseados.

Se ha considerado la inclusión de estos dos factores de penalización en el proceso para poder modificar los trazados sin necesidad de modificar los puntos de ruta. Nos permiten además diseñar trazados con mayor criterio técnico. Antes de entrar en cada factor de penalización, se va a explicar el caso general.

Las penalizaciones consideradas se manejan en las unidades propias del mapa (ej. metros), dado que es una magnitud fácil de entender en el diseño de vías y que la herramienta escoge el diseño que menor longitud presenta. Las penalizaciones siguen una distribución parabólica (Imagen 9), de forma que conforme nos vayamos acercando al caso extremo (giros de 180°, cambios de rasante de máx. pendiente en subida a máx. pendiente en bajada) más penalización se le va a asignar.



**Imagen 9.** Función parabólica empleada para cuantificar la penalización en metros (x) en función del valor del parámetro a penalizar (y)

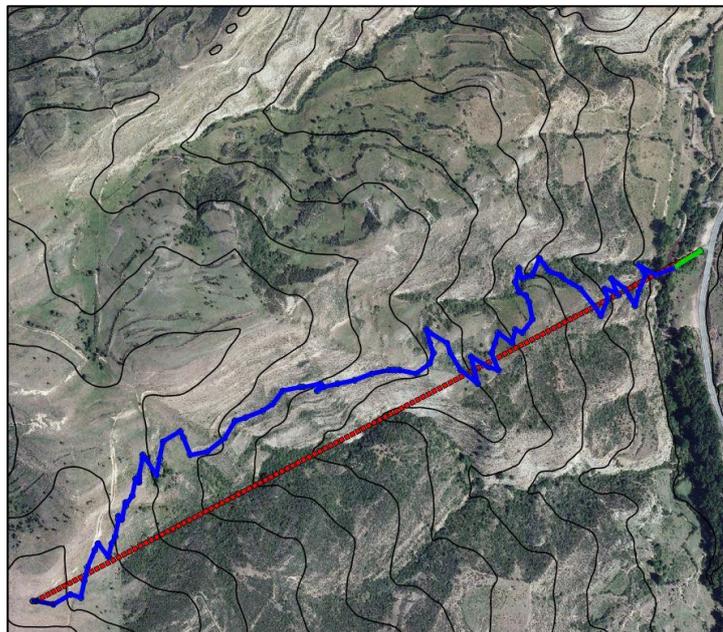
El funcionamiento es el siguiente:

A la hora de seleccionar un trazado u otro de todos los posibles, si se le ha dado un valor de penalización de X metros, el trazado que presente la particularidad a penalizar, verá aumentada su longitud en función del valor de la particularidad y la distribución parabólica. Debido a esa penalización, que se contabiliza en metros, dicho trazado verá aumentada su longitud, por lo que será otro trazado el elegido pues la distancia recorrida será menor al no tener penalizaciones.

- **Penalización por cambio de dirección:**

Este parámetro condiciona el número de curvas o cambios de dirección del trazado. El parámetro alcanza el valor máximo de penalización para curvas de 180° (cambios de dirección), por tanto, si el trazado presenta un gran número de curvas cerradas, conforme se va aumentando el valor de la penalización (en metros), el trazado ve aumentada su longitud, por lo que se tenderá a diseñar un trazado con menor presencia de curvas. Esto hace que un trazado con menos curvas, pero con mayor longitud pueda ser el elegido, dado que se le aplican menos penalizaciones.

Gráficamente se observa lo comentado en las imágenes siguientes, donde se ve, en primer lugar, un trazado diseñado con un valor de penalización de 0 metros por cambio de dirección, lo que origina un trazado excesivamente serpenteante con una consecución de curvas - contra curvas - tramos rectos excesivamente cortos no adecuada técnicamente y de corta longitud (Imagen ).



**Imagen 9.** Trazado resultante para un factor de penalización de cambio de dirección de 0 metros.

Al aumentar la penalización, por ejemplo, a 40 metros por cambio de dirección, el trazado resultante aplicando dicha penalización (Imagen ) presenta un menor número de curvas y una longitud total menor.

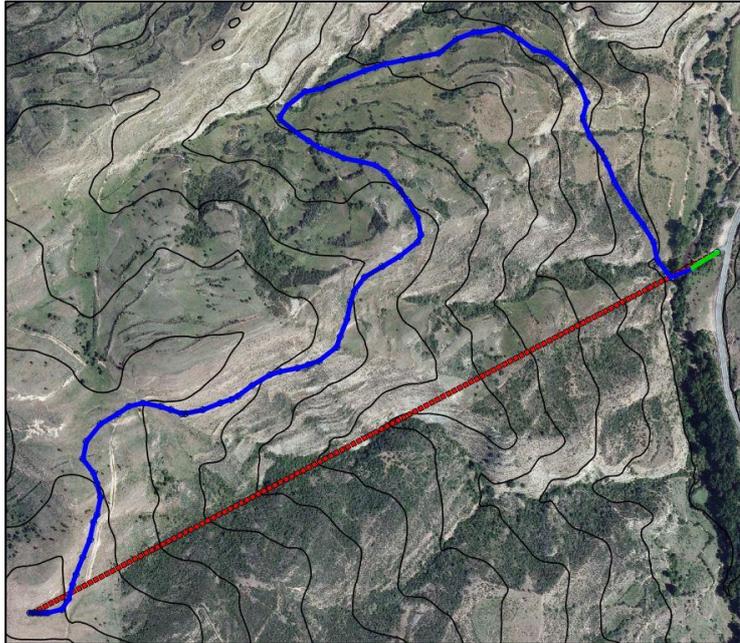


Imagen 10. Trazado resultante para un factor de penalización de cambio de dirección de 40 metros.

En resumen, a mayores valores de penalización por cambio de dirección obtendremos un trazado con menos cambios de dirección. Con valores de penalización de 0, obtenemos trazados con excesivas curvas y con tramos rectos entre curva y curva excesivamente cortos en la mayor parte de los casos.

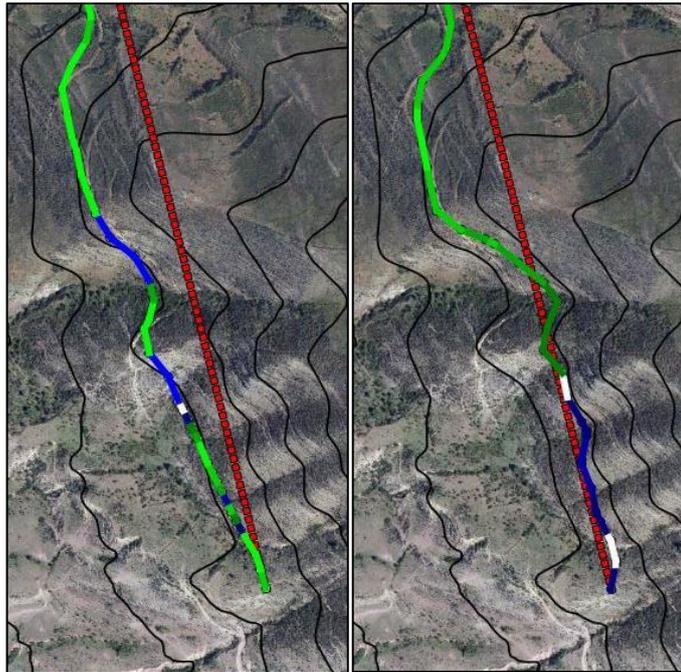
- ❖ **Valor recomendado:** En función de la orografía y del trazado buscado. Como valor general se puede tomar un valor de penalización de 40 metros, aumentándose éste en zonas de orografía accidentada y reduciéndose en zonas más llanas.
- **Penalización por cambio de rasante:**

Este factor interviene en el trazado de vías que presentan cambios de rasante (subida-bajada consecutiva). Respecto al diseño final, este parámetro de penalización tiene menor influencia que el factor anterior de penalización a los cambios de dirección, no obstante, su inclusión origina trazados de mejor calidad.

Al penalizar la presencia de cambios de rasante se mejoran los trazados en pasos de cauces y cruces de vaguadas, como puede observarse en la imagen siguiente (Imagen 1), evitándose además trazados con alta presencia de tramos de bajada-subida consecutiva.

Como se aprecia (Imagen 1) en el trazado con penalización al cambio de rasante se reducen los tramos consecutivos de subida-bajada y se evitan cortes innecesarios a las curvas de nivel.

- ❖ **Valor recomendado:** En función de la orografía y del trazado deseado. Cuando los trazados se diseñen siguiendo curvas de nivel se recomienda aumentar el valor (orientativo: 20 - 40 m) así como para el cruce de arroyos y vaguadas.



**Imagen 11.** Trazado con penalización de 0 metros al cambio de rasante (izda.) y con penalización al cambio de rasante (dcha.)

- **Tolerancia de la polilínea de resultado:**

De las dos capas que genera la aplicación, la primera capa contiene todos los puntos de la ruta óptima, a la que se denomina también como resultado bruto (“raw”) de la optimización, es decir, todos los puntos seleccionados por la aplicación tras el proceso de optimización. Esta capa, contiene una considerable cantidad de puntos, por lo que es posible hacer una simplificación de la misma a la hora de obtener la capa de tipo línea, que es finalmente la que nos va a indicar el trazado de la vía óptimo.

Es, en el paso de la capa de puntos bruta a la capa de tipo polilínea donde interviene la variable de tolerancia de la polilínea de resultado, para poder realizar la simplificación en el paso de una capa a otra, de forma que los puntos se unen creando líneas, que son los tramos del trazado de la vía.

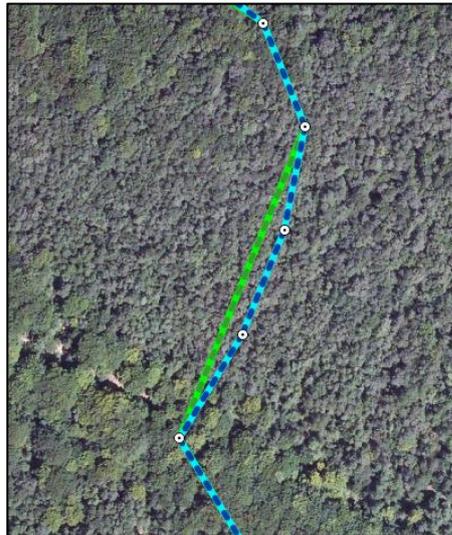
El método de simplificación empleado en la herramienta es un método basado en área, que computa la distancia entre los distintos puntos y los ángulos, de forma que la aplicación elimina los puntos cuya área (cada punto se analiza con los dos colindantes) es menor que la especificada. Una descripción más detallada de la simplificación puede consultarse en el siguiente enlace:

<http://web.archive.org/web/20100428020453/http://www2.dcs.hull.ac.uk/CISRG/publications/DPs/DP10/DP10.html>

Especificando un valor nulo de tolerancia, obligamos a que la polilínea de resultado pase por todos los puntos del resultado bruto de la optimización, mientras que valores altos de tolerancia permiten unir distintos puntos no consecutivos, saltándose puntos intermedios y además permiten que tramos curvos de radios altos se simplifiquen en rectas, lo que condiciona que trazados diseñados con altos valores de tolerancia presenten tramos rectos de mayor longitud, así como un menor número total de tramos, debido a que se unen los puntos saltándose alguno de los intermedios. Un ejemplo se muestra a continuación (Imagen ), dónde se aprecian por un lado los puntos brutos (☉)

pág. 17

que definen la ruta óptima, la polilínea final sin simplificar (en tonos azules) y la polilínea con simplificación (en tonos verdes).



**Imagen 12.** Ejemplo de simplificación de la polilínea de resultado con el trazado de la vía, en verde polilínea simplificada, en azul polilínea sin simplificar

- ❖ **Valor recomendado:** En función del resultado que se desea obtener. Por defecto el valor es 0. Valores recomendados como norma general son tolerancias de 0 y 1, dado que a mayores valores la simplificación es elevada y el resultado acaba no representando la ruta optimizada que representa la capa de puntos. Para trazados largos, sí es recomendable aumentar el valor de dicha tolerancia, con el objetivo de reducir el número de elementos (“features”) de la polilínea de resultado y así el tamaño del archivo.
- **Peso relativo entre los distintos factores limitantes del diseño**

Una vez determinados los parámetros limitantes del diseño (pendiente, radio de giro, desmonte/terraplén) podemos variar la importancia relativa (peso) de estas limitaciones en el resultado final. Mediante las casillas correspondientes podemos establecer la importancia que va tener cada parámetro limitante respecto a los otros dos. Esto sólo afecta cuando, en las rutas calculadas por el algoritmo, no es posible cumplir con todas las limitaciones en todos los puntos y el algoritmo debe decidir una ruta en la que uno o varios requisitos no son cumplidos en algún (o algunos) puntos.

#### d. Requisitos de los datos de partida:

Para un correcto funcionamiento de la herramienta *Forest Road Designer* es necesario que los datos de partida dados por el usuario (capas y parámetros de diseño) tengan unas características concretas. A continuación, se tratan los principales requisitos:

- Las capas de entrada (MDT, puntos de ruta o de paso y áreas de exclusión al trazado) deben tener el mismo sistema de referencia geográfico. Este sistema de referencia será además el que se le asigne a la capa de puntos y de polilínea de resultado.

- Los puntos dados en la polilínea de entrada deben estar contenidos en la extensión del modelo digital del terreno, es decir, no se pueden dar puntos de entrada en áreas donde no exista información altitudinal (MDT).
- Las capas vectoriales de entrada (polilínea con los puntos de paso y áreas de exclusión) no deben estar en modo de edición.
- La polilínea de entrada no debe tener más de un elemento ("feature"). En el caso en el que tenga más de un elemento ("feature") se realiza el diseño para uno solo de éstos.
- La capa que contiene los puntos de ruta puede estar grabada en disco o puede ser una capa en memoria. Sin embargo, la capa de las áreas de exclusión y el modelo digital del terreno (MDT) deben estar obligatoriamente grabados en disco.
- La capa de las áreas de exclusión admite más de un elemento ("feature").
- El modelo digital del terreno debe estar en formato GEOTiff o ascii, no admitiéndose como entrada servicios WMS o WFS de modelos de elevaciones. El MDT o DTM debe tener poca diferencia entre su resolución vertical y horizontal, es decir la diferencia entre el alto y ancho de los píxeles debe ser baja (< 5 %).

#### e. Resultados:

Una vez finalizado el proceso se visualizará un mensaje con un resumen del resultado obtenido.

En dicho resumen aparecerá:

- Distancia origen-destino.
- Desnivel neto.
- Distancia recorrida total.
- Desnivel acumulado.
- Desnivel acumulado medio.
- Número de penalizaciones pendiente.
- Número de penalizaciones radio (si aplica).
- Número de penalizaciones desmonte/terraplén (si aplica).
- Número de giros.
- Índice de calidad de trazado (ver Anexo II).

Además, *Forest Road Designer* creará una o varios pares de capas vectoriales, que pueden ser almacenadas en disco en el directorio especificado (ver III. Imagen 1). Para cada par, en primer lugar, se carga en el visor la capa de bruta de los puntos resultado de la optimización, posteriormente se carga la capa de polilínea simplificada.

La capa de puntos contiene la ruta óptima del trazado de la vía. Esta capa sólo será accesible durante la sesión vigente. Por otro lado, la capa de tipo polilínea contiene la ruta

definitiva tras la simplificación de acuerdo con el valor de tolerancia de la polilínea de resultado especificado en la interfaz del plugin.

A las salidas generadas por la herramienta se les asigna un nombre de archivo en el que figuran los diferentes parámetros utilizados y un identificador numérico que indica el orden de creación de acuerdo con las salidas ya existentes en el mismo directorio de salida y con las mismas pendientes de diseño, así como si se trata de la salida bruta (puntos) o la simplificada (polilínea) de la siguiente forma:

#### Proceso interactivo:

- **“frd\_raw\_num\_01.shp”** → Capa de puntos (bruta). Esta es la capa que contiene todos los puntos del trazado óptimo. Es una capa provisional.
- **“frd\_L\_{length}\_S\_{slope}\_num\_{id}.shp”** → Capa de polilínea, siendo {length} la longitud del segmento (en proyección) del diseño, {slope} la pendiente del diseño (en porcentaje e {id} el orden de creación en el directorio. Esta es la capa que une los puntos del trazado generado. Los valores “length” y “slope” son los correspondientes a los parámetros del último tramo incluido en el trazado.

#### Proceso por lotes:

- **“frd\_raw\_S\_{min}\_{max}\_R\_{rad}\_W\_{w\_road}\_C\_{cut}\_HC\_{hcut}\_F\_{fill}\_HF\_{hfill}\_FAC\_{p}\_{r}\_{c}\_num\_{id}.shp”** → Capa de puntos (bruta), siendo {min} la pendiente mínima del diseño, {max} la pendiente máxima del diseño, {rad} el radio de giro, {w\_road} ancho de pista, {cut} desmonte, {hcut} altura desmonte, {fill} terraplén, {hfill} altura de terraplén, {p} factor relativo pendiente, {r} factor relativo radio, {c} factor relativo desmonte/terraplén e {id} el orden de creación en el directorio. Esta es la capa que contiene todos los puntos del trazado óptimo.
- **“frd\_S\_{min}\_{max}\_R\_{rad}\_W\_{w\_road}\_C\_{cut}\_HC\_{hcut}\_F\_{fill}\_HF\_{hfill}\_FAC\_{p}\_{r}\_{c}\_num\_{id}.shp”** → Capa de polilínea (simplificada), siendo {min} la pendiente mínima del diseño, {max} la pendiente máxima del diseño, {rad} el radio de giro, {w\_road} ancho de pista, {cut} desmonte, {hcut} altura desmonte, {fill} terraplén, {hfill} altura de terraplén, {p} factor relativo pendiente, {r} factor relativo radio, {c} factor relativo desmonte/terraplén e {id} el orden de creación en el directorio. Esta es la capa que une los puntos del trazado óptimo.

En el caso de que algún parámetro de diseño no haya sido establecido (ej. opciones de desmonte/terraplén), no aparecerá en el nombre del archivo creado.

Además, en la tabla de atributos de la capa de tipo polilínea creada, se genera variada información de cada tramo, que puede ayudar a seleccionar un trazado frente a otro, detectar puntos críticos o incluso para el replanteo del trazado en campo. Dicha información se presenta de forma individualizada para cada segmento o elemento de dicha capa (“feature”). La información que se añade a la tabla de atributos es:

- **FID: Feature Identification.** Valor numérico único que identifica a cada tramo, por orden y de forma consecutiva, segmento o elemento (“feature”).
- **start\_x:** Coordenada X del punto de inicio del tramo.

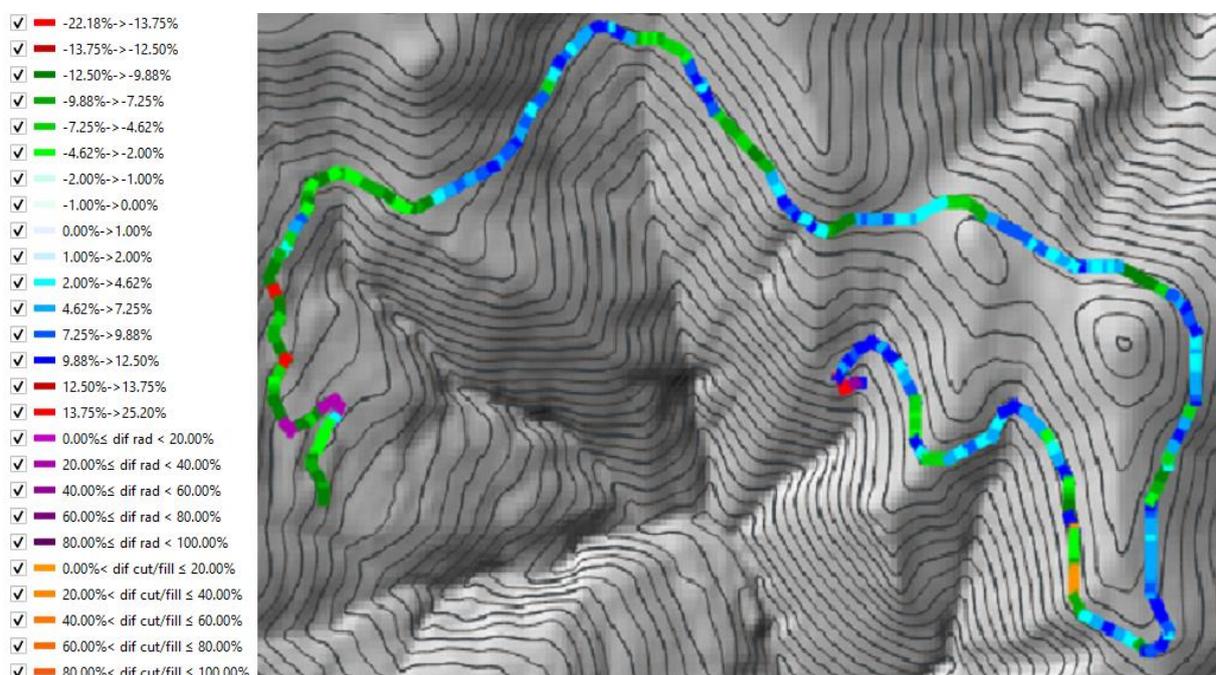
- **arri\_x:** Coordenada X del punto final del tramo.
- **start\_y:** Coordenada Y del punto de inicio del tramo.
- **arri\_y:** Coordenada Y del punto final del tramo.
- **start\_z:** Coordenada Z del punto de inicio del tramo.
- **arri\_z:** Coordenada Z del punto final del tramo.
- **proj\_d\_m:** Longitud proyectada del tramo en la unidad de medida establecida.
- **cum\_pr\_m:** Distancia proyectada acumulada en unidad de medida establecida.
- **real\_d\_m:** Longitud real del tramo en unidad de medida establecida.
- **cum\_re\_m:** Longitud real acumulada en unidad de medida establecida.
- **slope\_p:** Pendiente del tramo en porcentaje.
- **slope\_d:** Pendiente del tramo en grados sexagesimales.
- **z\_var:** Variación altitudinal entre el punto de inicio y el punto final del tramo en unidad de medida establecida.
- **radius\_m:** Radio de giro del tramo en unidad de medida establecida en relación al siguiente segmento.
- **h\_cutfill:** Altura desmonte/terraplén (máximo entre la de desmonte o terraplén) unidad de medida establecida.
- **cut\_fill:** Angulo de desmonte o terraplén (máximo entre desmonte o terraplén).
- **radius\_avg:** Radio medio del giro (curva) al que pertenece el segmento
- **turn\_num:** Número del giro (curva) al que pertenece el segmento

**En el proceso por lotes**, cuando se carga la capa de tipo polilínea al finalizar el proceso de diseño del trazado, ésta se carga con una simbología por defecto, categorizada de acuerdo con el valor de pendiente (en %) de cada tramo. En la imagen siguiente (Imagen 13) se puede observar un ejemplo de esta categorización.

Se han establecido 7 gamas de colores que son:

- Gama de verdes: Se aplican a los tramos de bajada (conforme a la dirección de la vía creada). En total se establecen cuatro niveles, de acuerdo a los valores de pendiente mínima y máxima establecidos por el usuario antes de lanzar el proceso.
- Blanco: Se les asigna este color a los tramos de baja pendiente, en torno al 0 %. El intervalo comprende valores positivos y negativos en torno a la pendiente nula.
- Gama de grises. Se les asigna a los tramos que están por debajo de la pendiente mínima cuando este límite está definido.

- Gama de azules: Se aplican a los tramos de subida (conforme a la dirección de la vía creada). En total se establecen cuatro niveles, de acuerdo a los valores de pendiente mínima y máxima establecidos por el usuario antes de lanzar el proceso.
- Rojo: Se aplica a los tramos que superan la pendiente máxima admisible, tanto en subida como en bajada. En total se establecen dos gamas de rojos para tramos de subida y para tramos de bajada.
- Gama de violetas: Se aplica a los tramos donde no se cumple con el mínimo radio de giro exigido.
- Gama de naranjas: Se aplican a los tramos donde no se cumple con las limitaciones de desmonte/terraplén.



**Imagen 13.** Ejemplo de la simbología del trazado diseñado por la herramienta *Forest Road Designer* en QGIS con sus respectivas clases de pendiente en porcentaje.

## f. Recomendaciones:

Se dan una serie de recomendaciones para el manejo de la herramienta *Forest Road Designer*:

Proceso por lotes:

- Puede que QGIS no responda mientras se diseña el trazado, se recomienda ser paciente a que la aplicación acabe el proceso.
- Para trayectos largos el tiempo de proceso puede ser grande y los resultados obtenidos, aunque útiles, poco “intuitivos”. Se recomienda en esos casos, dividir el trayecto en

tramos evitando dar puntos de paso muy cercanos entre ellos o bien añadir zonas de exclusión para acotar los resultados.

- En terrenos muy accidentados se recomienda el empleo de la aplicación con longitud mínima de segmento mayor que para zonas más llanas.
- Se recomienda evitar el uso indiscriminado de las opciones de ruta (terraplén y desmonte) ya que añaden un gran aumento operacional en el proceso con el consiguiente consumo de recursos (y tiempo) del equipo.
- Se recomienda que el parámetro de tamaño de longitud mínima de segmento sea igual o mayor que el radio de giro ya que de otro modo pueden darse resultados poco útiles (la aplicación advertirá al usuario si es el caso).
- Si se observan problemas con polilíneas con puntos de paso, dividir esas polilíneas en tramos simples.
- Se recomienda el uso de “zonas de exclusión” para acotar la zona de cálculo y obtener soluciones más útiles para solucionar el problema real.
- Por último, recordar que el plugin es una herramienta de ayuda que trata de encontrar la “mejor ruta” con las limitaciones y condiciones establecidas. Ello no significa que sea la única ruta válida. Pueden existir muchas otras soluciones que cumplan con las limitaciones y condiciones. Por ello se recomienda la variación de las condiciones (ej. Penalización por cambio de dirección, cambio de rasante, pesos de las limitaciones, puntos de paso intermedios, zonas de exclusión...) de modo que el resultado, siendo también válido, sea más útil para nuestro problema “real”.

Proceso interactivo:

- Si se observa que la predicción del siguiente segmento no resulta útil o no aparece, se recomienda ir variando alguno de los parámetros hasta que el plugin encuentre una solución útil.
- Aunque el plugin está preparado para que interactúe con herramientas externas (mover mapa, zoom a la capa...) conviene no abusar de estas opciones ya que en algún caso podría haber alguna interacción no deseada.
- Si se desean activar otros plugins o herramientas para trabajar con las capas que genera el Forest Road Designer, conviene hacerlo tras finalizar el proceso de diseño para que no se produzcan interacciones no deseadas y se produzca un error en QGIS. (Esta recomendación es válida también para el proceso por lotes, aunque en este caso los errores son menos probables).

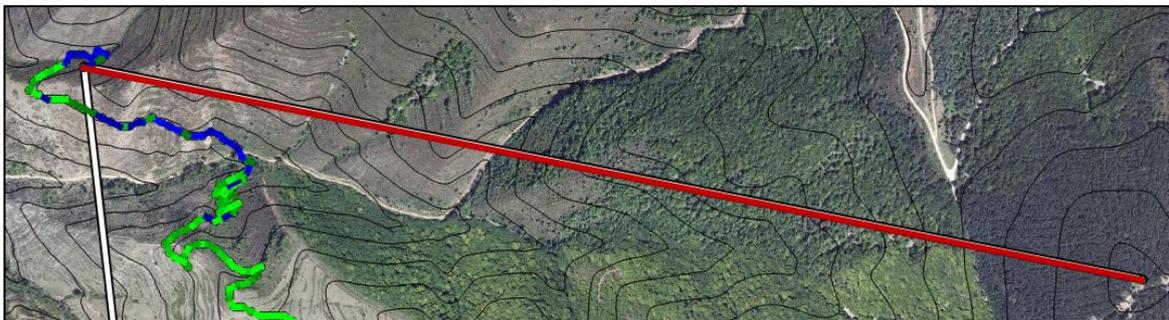
#### g. Problemas en el diseño creado:

En ciertas ocasiones pueden darse situaciones en las que *Forest Road Designer* no encuentre una ruta que cumpla con los parámetros de diseño. Estos casos suelen presentarse principalmente en los siguientes casos, bien individuales o la combinación de ellos:

- Cuando el usuario especifica una longitud de segmento mínima muy pequeña en un terreno de orografía accidentada.

- Cuando se especifican determinados puntos intermedios, dado que la herramienta se fuerza a pasar por dicho punto y puede darse la situación de que no es un punto accesible.
- En MDT de baja calidad en los que no se ha realizado un correcto filtrado de puntos suelo-vegetación.
- Pueden surgir problemas en los puntos de paso intermedio a causa del radio de giro mínimo impuesto.

En estos casos la aplicación se detiene en el punto problemático y termina el diseño con una línea resaltada en rojo para lo que queda de diseño del trayecto (Imagen 3). A la hora de realizar la simplificación de la polilínea de resultado, si el valor asignado a la tolerancia de la polilínea de resultado es alto pueden darse situaciones en las que aparezcan tramos en rojo, es decir que no cumplen con la pendiente admisible especificada para el trazado.



**Imagen 3.** Caso para el cuál el optimizador no encuentra la ruta óptima. En blanco con borde negro la capa de entrada con los puntos de ruta, en verde-azul la ruta diseñada por la aplicación, en rojo tramo no procesado

## IV. LICENCIA

Esta herramienta es libre, se puede distribuir y/o modificar bajo los términos de la licencia GNU<sup>3</sup> (*General Public License*) publicada por la Fundación de Software Libre, ya sea la versión 2.0, o (si lo prefiere) cualquier versión posterior.

**Copyright:** (C) 2022 by PANOimagen S.L.

**Email:** [info@panoimagen.com](mailto:info@panoimagen.com)

---

<sup>3</sup> <https://www.gnu.org/>

## ANEXO I Parámetros de diseño básicos (Tipos predefinidos)

En este anexo se detalla el valor de los parámetros correspondientes a las opciones establecidas para los distintos tipos seleccionables.

### Tipo de vehículo

#### Todo Terreno:

- Pendiente mínima 1%
- Radio mínimo de giro 8 um (unidades métricas)
- Parámetro tamaño de vecindad 8
- Pendiente máxima:
  - Resultado 1: 8%
  - Resultado 2: 12%
  - Resultado 3: 15%

#### Autobomba / camión forestal:

- Pendiente mínima 1%
- Radio mínimo de giro 10 um (unidades métricas)
- Parámetro tamaño de vecindad 10
- Pendiente máxima:
  - Resultado 1: 6%
  - Resultado 2: 8%
  - Resultado 3: 12%

#### Camión trailer:

- Pendiente mínima 1%
- Radio mínimo de giro 12 um (unidades métricas)
- Parámetro tamaño de vecindad 12
  - Pendiente máxima:
    - Resultado 1: 6%
    - Resultado 2: 8%
    - Resultado 3: 12%

### Parámetros de frecuencia cambio dirección / rasante

#### Frecuencia Alta / Alta:

- Penalización dirección: 0 um / 180°
- Penalización rasante: 0 um / cambio max pendiente

#### Frecuencia Alta / Media:

- Penalización dirección: 0 um / 180°
- Penalización rasante: 20 um / cambio max pendiente

**Frecuencia Media / Media:**

- Penalización dirección: 20 um / 180°
- Penalización rasante: 20 um / cambio max pendiente

**Frecuencia Baja / Media:**

- Penalización dirección: 40 um / 180°
- Penalización rasante: 20 um / cambio max pendiente

**Frecuencia Media / Baja:**

- Penalización dirección: 20 um / 180°
- Penalización rasante: 40 um / cambio max pendiente

**Frecuencia Baja / Baja:**

- Penalización dirección: 40 um / 180°
- Penalización rasante: 40 um / cambio max pendiente

## Relación factores limitantes

**Equilibrado:**

- Factor pendiente: 1
- Factor radio: 1

**Pendiente:**

- Factor pendiente: 5
- Factor radio: 1

**Radio de giro:**

- Factor pendiente: 1
- Factor radio: 5

## ANEXO II Índice de calidad del trazado

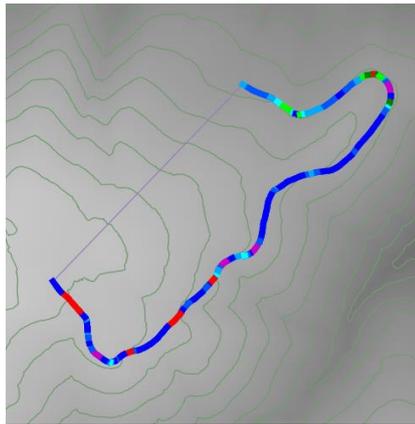
Una vez se ha obtenido la capa vectorial resultado, se calcula el índice de calidad de trazado a partir de la fórmula

$$CT = \frac{Rm}{n^{\circ} \text{ curvas/km}}, \text{ donde}$$

CT = calidad de trazado

Rm = radio medio de las curvas

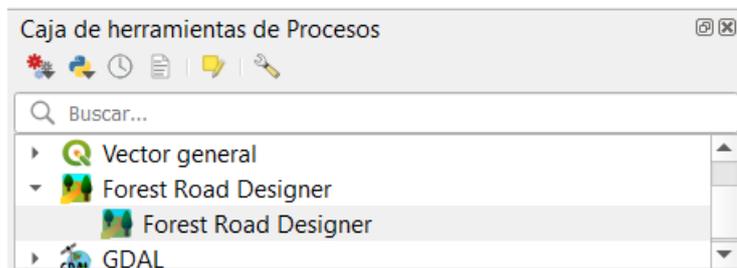
En esta aplicación se considera que se ha realizado un giro cuando el cambio en la dirección de la trayectoria es igual o superior a 30 °



**Imagen 15.** Ejemplo de cálculo de calidad de trazado. En la imagen dcha se observan las curvas detectadas en el trazado. Giros hacia la izda color morado. Giros hacia la dcha color fucsia. Sin giro color verde.

## ANEXO III Algoritmo de proceso

Forest Road Designer tiene la posibilidad de ser ejecutado desde el panel “caja de herramientas de Procesos” que aparece habitualmente en la parte derecha de la interface de QGIS.



**Imagen 16** Caja de herramientas de Procesos

El uso de esta posibilidad está restringido al modo de parámetros de diseño avanzados con el modo de proceso por lotes. De este modo, será necesario introducir manualmente los valores de los parámetros.

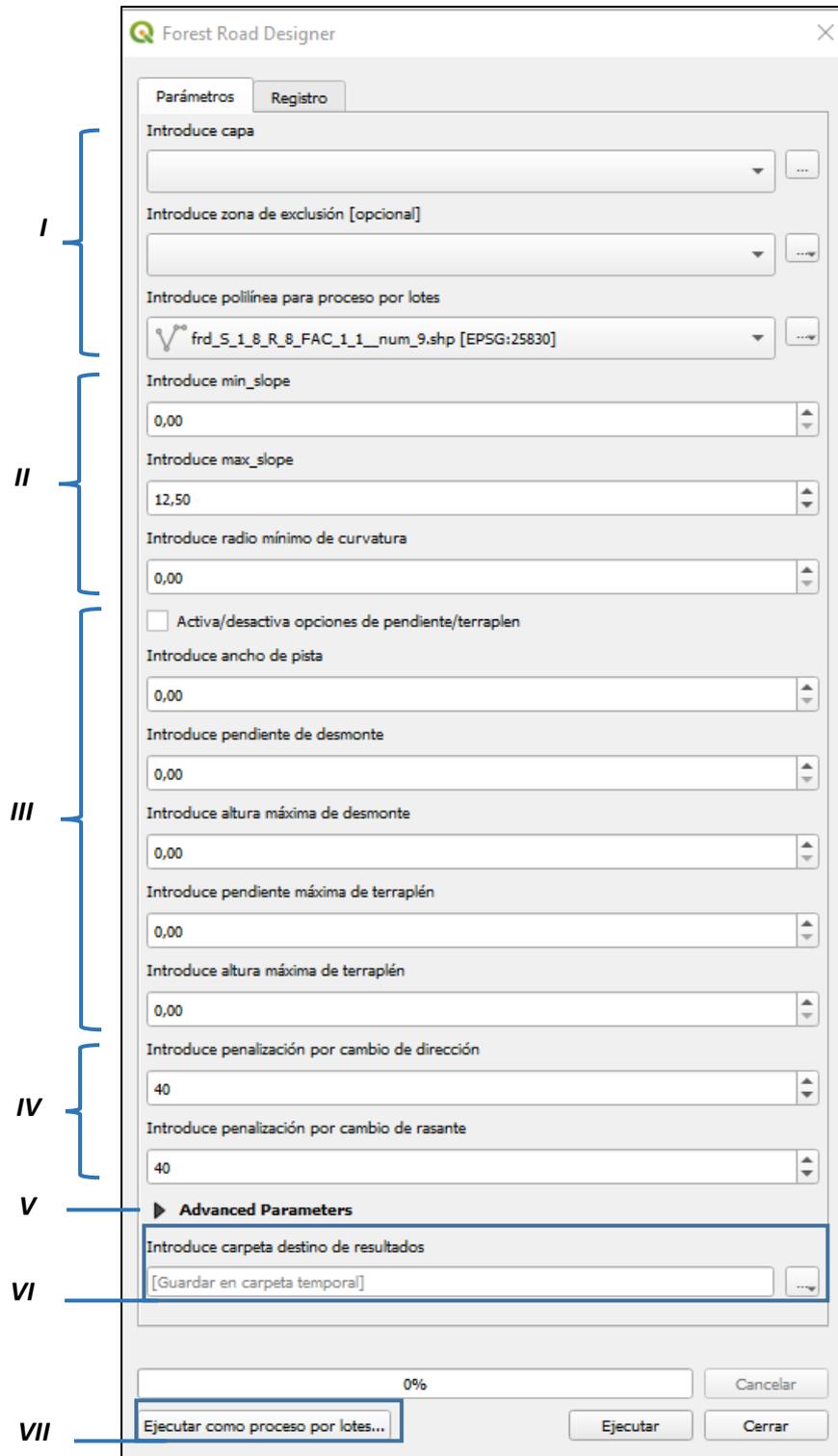
Una vez se accede a la interfaz, se rellenan los diferentes campos del formulario. Es necesario indicar la capa vectorial de entrada, los puntos de ruta o paso y opcionalmente la capa de exclusión. De igual manera se determinan los parámetros de diseño teniendo en cuenta que para la consideración de los parámetros de desmonte / terraplén habrá que dejar activada la casilla correspondiente. Los parámetros de optimización de la ruta se encuentran activando el desplegable “Advanced Parameters”. Por otro lado, es importante determinar la carpeta de destino de resultados ya que, de otro modo, estos se guardarán en una carpeta temporal por defecto.

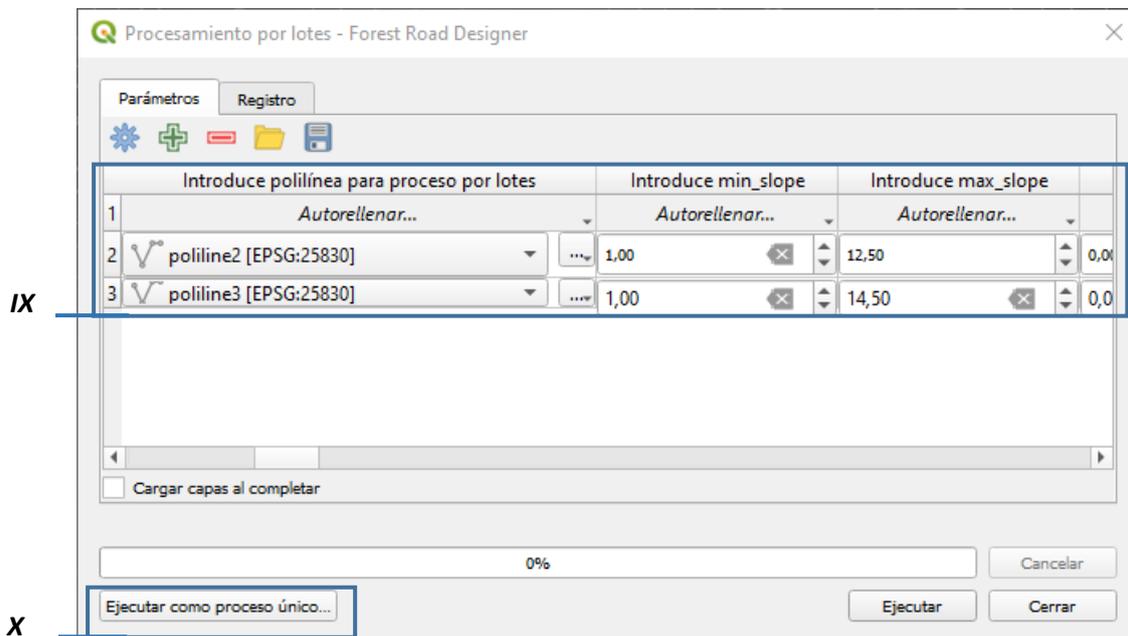
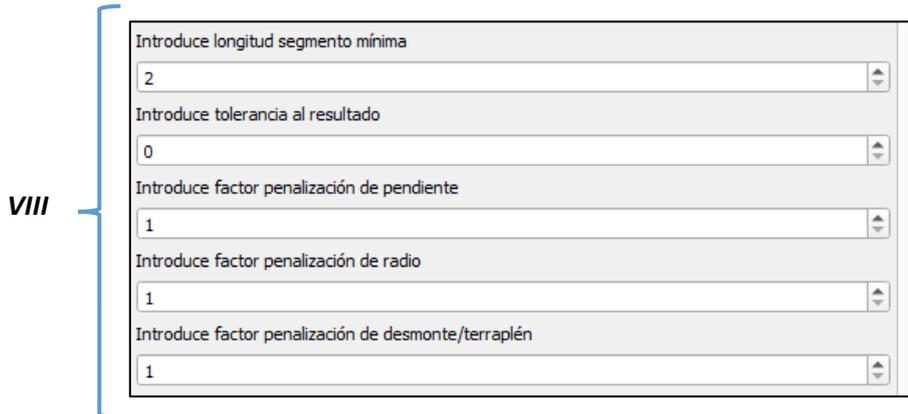
Existe la posibilidad de ejecutar varios procesos como lote. Para ello hay que activar la casilla de “ejecutar proceso por lotes...” (Ver VII, imagen 17). En esta interfaz, cada línea se

corresponde con un proceso de modo que basta rellenar las casillas de cada línea y añadir (o eliminar) líneas de procesos.

### Interfaz algoritmo de proceso

Imagen 17. Aspecto de la interfaz del algoritmo de proceso de Forest Road Designer





## Descripción de los objetos de la interfaz

- I. Selectores de capas de entrada, zona de exclusión y polilínea
- II. Parámetros de pendiente y radio de giro
- III. Parámetros de pendiente / terraplén
- IV. Parámetros cambios de dirección y rasante
- V. Pestaña activación parámetros avanzados (optimización)
- VI. Selector de carpeta de destino de resultados
- VII. Activador de la opción de ejecución de lote de procesos
- VIII. Parámetros de optimización
- IX. Pestañas de introducción de parámetros para el procesamiento por lotes
- X. Activador de la opción de ejecución de único proceso

## Interfaz salida de resultados

En este modo de uso del plugin, una vez obtenidos los resultados, estos se pueden visualizar en la pestaña “Registro” de la interfaz. Si ha habido algún problema en el proceso, también aparecerá en esta ventana.

```

Parámetros Registro
Cargando las capas resultantes

Procesando algoritmo 2/2...
Algoritmo 'Forest Road Designer' comenzando...
Parámetros de entrada:
{'ACTIVATED_ROAD_OPTIONS': False,
'CUTFILL_PENALTY': 1,
'CUT_ANGLE': 0.0,
'CUT_HMAX': 0.0,
'EXCLUDED_INPUT': None,
'FILL_ANGLE': 0.0,
'FILL_HMAX': 0.0,
'INPUT': 'pnoa_2016_río_556_4678_elevacion_039f7eef_d67f_4bd1_b07d_dd295c0c548e',
'MAX_SLOPE': 14.5,
'MIN_CURVE_RADIUS': 0.0,
'MIN_SLOPE': 1.0,
'OUTPUT_DIR': 'C:/Users/chovi/OneDrive/Documents/SalidasFRD/salidas_FRD/salidas_FRD/salidas_FRD',
'PENALTY_FACTOR_XY': 40,
'PENALTY_FACTOR_Z': 40,
'POLILINE': 'poliline3_3bd9ab10_784e_4964_911e_ba245a1f187c',
'POLILINE_THRESHOLD': 0,
'RADIUS_PENALTY': 1,
'SEMI_SIZE': 3,
'SLOPE_PENALTY': 1,
'W_ROAD': 0.0}

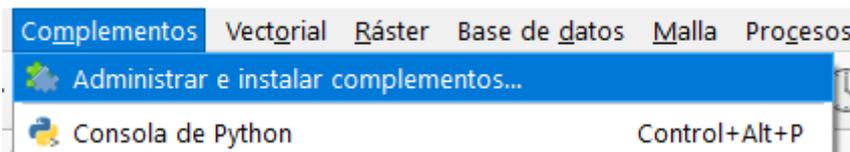
..outputFolder..1.. C:/Users/chovi/AppData/Local/Temp/tmpc4j8a34mfrd
..outputFolder.type.. <class 'str'>
..outputFolder.type.. salidas_FRD
input_dtm Type is <class 'qgis_core.QgsRasterLayer'>
exclusion_areas_layer Type is <class 'NoneType'>
input_v_layer Type is <class 'qgis_core.QgsVectorLayer'>
check_road_options False
..simplified_layer.isValid() True
..featureCount 148
..simplified_layer.summary {'straight_distance': 208.38665984174708, 'total_cumsum': 274.50199591146924, 'total_acumulative_slope': 19.7647699999999316, 'raw_slope': -14.890014000000065, 'average_slope': 0.07145377737379079, 'average_acum_slope': 0.07200228156582779, 'total_curves': 76, 'total_slope_pen': 0, 'total_rad_pen': 0, 'total_cutfill_pen': 0, 'twist_number': 20, 'track_quality': 0.09101076483968377}
..outputFolder.. C:/Users/chovi/OneDrive/Documents/SalidasFRD/salidas_FRD/salidas_FRD/salidas_FRD
Distancia origen-destino 208.39m
Distancia recorrido total 274.50m
Desnivel neto -14.89m
Desnivel acumulado 19.76m
Desnivel medio neto 0.07m
Desnivel medio acumulado 0.07m
Número penalizaciones pendiente 0
Número de giros 20
Índice de calidad de trazado 0.09
Algoritmo Forest Road Designer ejecutado correctamente...
Execution completed in 4.86 seconds
Resultados:
{'OUTPUT_DIR': 'C:/Users/chovi/OneDrive/Documents/SalidasFRD/salidas_FRD/salidas_FRD/salidas_FRD'}

Cargando las capas resultantes
Batch execution completed in 22.71 seconds
    
```

Imagen 18. Salida de resultados

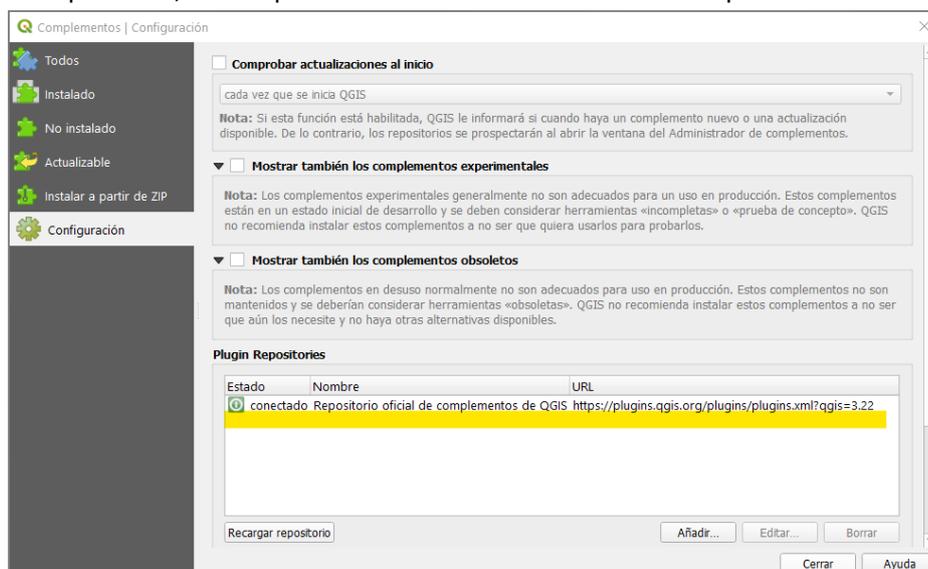
## ANEXO IV Instrucciones instalación plugin FRD

1. Abrir aplicación QGIS
2. Pulsar en “Complementos -> Administrar e instalar complementos...”

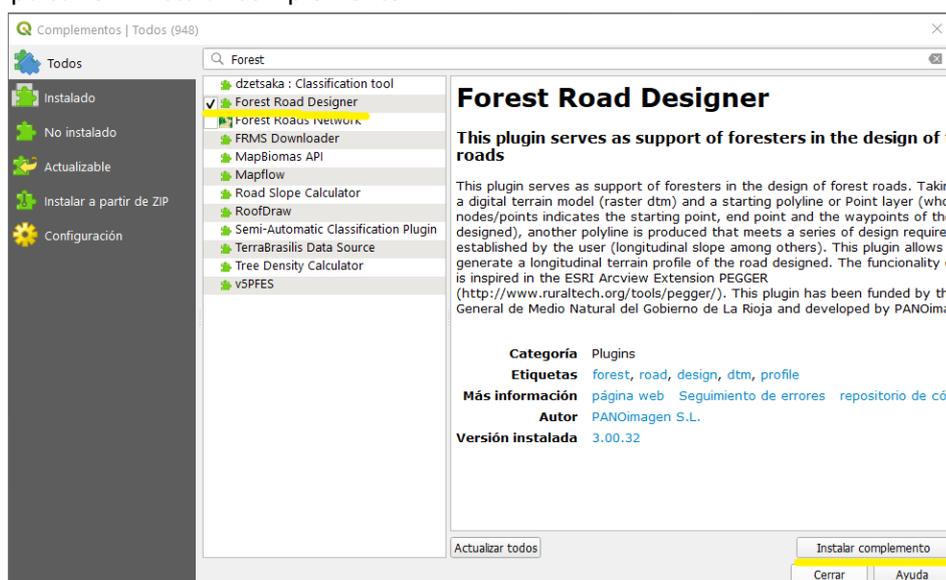


### Desde repositorio de QGIS

3. Situar en “Configuración” y comprobar que aparece la conexión al repositorio de QGIS. Si nos indican otro repositorio, habrá que añadirlo mediante el botón correspondiente.



4. En la pestaña “Todos” buscar el plugin usando la casilla de búsqueda y una vez seleccionado, se instala al pulsar en “instalar complemento”

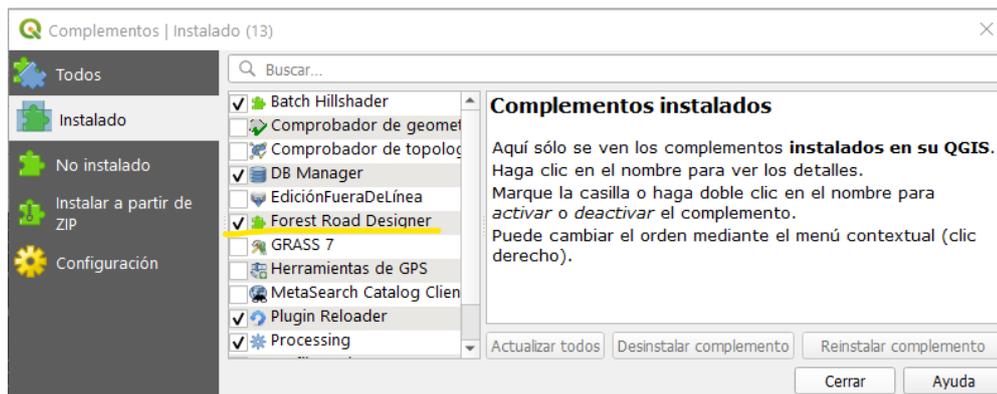


## Desde archivo .zip

3. Situarse en “Instalar a partir de ZIP”, indicar la ruta donde se encuentra el archivo .zip mediante el selector de carpetas y pulsar en “Instalar complemento”

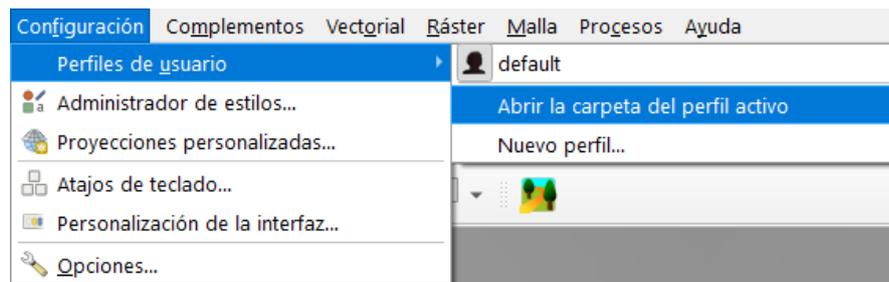


4. Una vez instalado, hay que reiniciar QGIS y volver a la pestaña “Complementos -> Administrar e instalar complementos...” y situarse en la pestaña “Instalado”. Aquí deberá aparecer el plugin y se activará pulsando en la casilla correspondiente.



## Nota sobre la instalación.

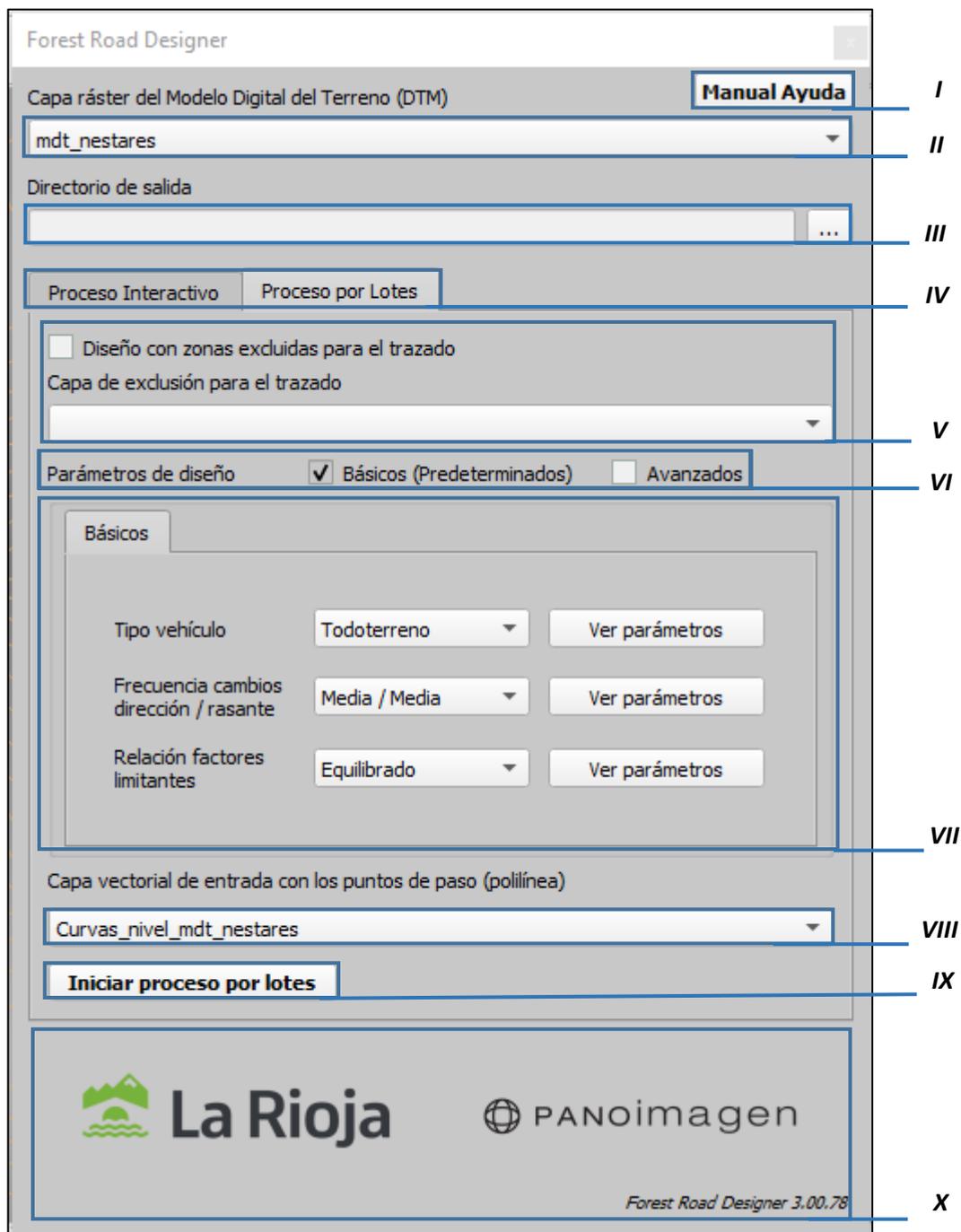
En algún caso puede ocurrir que el programa no pueda desinstalar una versión anterior de un plugin debido a problemas de permisos en la carpeta de instalación. En este caso hay que eliminar manualmente la carpeta que contiene dicho plugin. Generalmente basta con ir a la carpeta del perfil activo, y acceder a la carpeta “python” y dentro de ésta, a la carpeta “plugins” donde están alojadas las carpetas de cada plugin.



## ANEXO V Guía rápida uso Forest Road Designer

### INTERFAZ DE USUARIO

Imagen 4. Aspecto de la interfaz gráfica del complemento *Forest Road Designer*



Parámetros de diseño  Básicos (Predeterminados)  Avanzados

**XI** Pendiente / Radio Desmontes Dirección / Rasante Optimización

Pendiente mínima admisible 0.00°  **XII**

Pendiente máxima admisible 7.13°  **XIII**

**XIV** Radio mínimo de giro   **XV**

Parámetros de diseño  Básicos (Predeterminados)  Avanzados

**XVI** Info

**RADIOS MINIMOS DE GIRO DE LOS VEHÍCULOS DE DISEÑO (METROS)**

Vehículo- Tipo	Radio Interior (m)	Radio de Diseño(m)
Automóvil, P	4.2 (4.7)	7.3 (7.3)
Autobús Sencillo, BUS	7.4	12.8
Camión Sencillo, SU	8.5 (8.7)	12.8 (12.8)
Camión Articulado, WB-15	5.8 (6.0)	13.7 (13.7)
Camión Articulado, WB-19	2.8	13.7
Camión Articulado, WB-20	0	13.7

Fuente: AASHTO. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 22

**XVIII**

Parámetros de diseño  Básicos (Perfiles)  Avanzados

**XIX** Pendiente / Radio Desmontes Dirección / Rasante Optimización

**XX**  Activar opciones de desmonte / terraplén

Ancho de pista  **XXI**

**XXII** Desmonte H:V  H :  V 0.00° Hmax  **XXIII**

**XXIV** Terraplén H:V  H :  V 0.00° Hmax  **XXV**

Parámetros de diseño  Básicos (Perfiles)  Avanzados

Pendiente / Radio Desmontes Dirección / Rasante Optimización **XXVI**

Dentro de los límites establecidos en los parámetros de diseño de la vía, se puede favorecer un resultado con mayor o menor frecuencia de cambios de rasante y/o de dirección disminuyendo o aumentando los valores en estas penalizaciones

Penalización máx. por cambio de dirección  **XXVII**

Penalización max. por cambio de rasante  **XXVIII**

Parámetros de diseño  Básicos (Predeterminados)  Avanzados

Pendiente / Radio    Desmontes    Dirección / Rasante    **Optimización** XXIX

Longitud segmento mínima  XXX

Factor tolerancia resultado (0.0m²)  XXXI

Peso relativo entre los distintos factores limitantes del diseño

Pendiente     Radio     Desmonte/Terraplén  XXXII

Parámetros de diseño  Básicos (Perfiles)  Avanzados

**Básicos** XXXIII

Tipo vehículo   XXXIV

Frecuencia cambios dirección / rasante   XXXV

Relación factores limitantes   XXXVI    XXXVII

**Proceso Interactivo**    Proceso por Lotes XXXVIII

Longitud de segmento (en proyección)  XXXIX

Pendiente  XL

Desnivel  XLI

    XLII

XLIII

### Descripción de los objetos de la interfaz:

- I. Botón acceso al Manual de Usuario.
- II. Desplegable para especificar la capa ráster del modelo digital del terreno (MDT).
- III. Directorio donde se guardarán los resultados del diseño.
- IV. Pestañas para selección de proceso por lotes o proceso interactivo.
- V. Desplegable para especificar la capa vectorial con las áreas de exclusión para el diseño del trazado. (Formato “ESRI Shapefile” de tipo polígono o multipolígono).
- VI. Determinación tipo parámetros de diseño (básicos /avanzados) (proceso por lotes).
- VII. Panel de especificación de parámetros de diseño (proceso por lotes).
- VIII. Desplegable para especificar la capa vectorial de puntos de paso (polilínea) (proceso por lotes).
- IX. Botón para iniciar el proceso por lotes (proceso por lotes).
- X. Logos y versión.
- XI. Etiqueta de grupo de pendiente/radio (parámetros avanzados).
- XII. Casilla para especificar el valor máximo de pendiente admisible para el trazado
- XIII. Botón de información sobre radios de giro.
- XIV. Casilla para especificar el valor mínimo de radio de giro.
- XV. Etiqueta de grupo de información sobre radios de giro.
- XVI. Tabla de información sobre radios de giro.
- XVII. Botón regreso a la pestaña de pendiente/radio de giro.
- XVIII. Etiqueta de grupo de parámetros desmonte/terraplén (parámetros avanzados).
- XIX. Casilla para activar las opciones de desmonte/terraplén.
- XX. Casilla para determinar el ancho de la pista.
- XXI. Casillas para establecer la pendiente de desmonte (H, V).
- XXII. Casilla para especificar la altura máxima de desmonte.
- XXIII. Casilla para establecer la pendiente del terraplén (H, V).
- XXIV. Casilla para especificar la altura máxima del terraplén.
- XXV. Etiqueta de grupo de parámetros de dirección/rasante (parámetros avanzados).
- XXVI. Casilla para especificar el valor de la penalización por cambios de dirección.
- XXVII. Casilla para especificar el valor mínimo de pendiente admisible para el trazado.
- XXVIII. Etiqueta de grupo de parámetros de optimización.
- XXIX. Casilla para especificar la longitud mínima del segmento en la ruta.

- XXXI. Casilla para especificar el factor de tolerancia para la simplificación de la polilínea de resultado. A la izquierda de esta casilla se muestra la equivalencia del factor especificado según la unidad definida en el mapa.
- XXXII. Casillas para establecer el peso relativo entre los factores limitantes del diseño.
- XXXIII. Etiqueta de grupo de parámetros básicos (parámetros básicos).
- XXXIV. Desplegable para seleccionar el tipo de vehículo.
- XXXV. Desplegable para seleccionar la frecuencia de los cambios de dirección/rasante.
- XXXVI. Desplegable para seleccionar la relación entre los factores limitantes.
- XXXVII. Botones para visualizar los parámetros del perfil seleccionado.
- XXXVIII. Etiqueta de grupo de Proceso Interactivo.
- XXXIX. Casilla para determinar la longitud del segmento (en proyección).
  - XL. Casilla para determinar la pendiente.
  - XLI. Etiqueta con desnivel resultante a partir de la longitud y la pendiente seleccionada.
  - XLII. Botones para iniciar y cancelar el proceso interactivo.
  - XLIII. Botón para finalizar el diseño del proceso interactivo.

## SELECCIÓN DE CAPAS Y DIRECTORIO DE SALIDA

Como paso previo a la ejecución del plugin es necesario seleccionar:

- Capa ráster del modelo digital del terreno (MDT) (Ver II Imagen 19).
- Directorio de salida donde se guardarán los resultados (ver III Imagen 19).

## MODOS DE FUNCIONAMIENTO

Existen dos modos de funcionamiento: **proceso interactivo** y **proceso por lotes** (ver IV. Imagen 19).

### PROCESO INTERACTIVO

Pestaña “Proceso interactivo” (ver XXXVIII. Imagen 19).

Determinar parámetros para el diseño:

- Longitud de segmento (en proyección).
- Pendiente.

Botón “Iniciar el proceso de diseño” (ver XLII. Imagen 19). Fija el primer punto del trazado mediante el botón izquierdo del ratón.

- Movimiento de ratón: Genera la predicción del siguiente segmento.
- Botón izquierdo de ratón: Inicia del diseño y añade tramos.
- Botón derecho de ratón: Elimina el último tramo añadido.
- Botón “Fin captura” (ver XLIII. Imagen 19) cierra la edición y se crean los archivos de salida con el trazado.

- Botón “Cancelar proceso de edición” (ver XLII. Imagen 19) Cancelar el proceso de diseño.

### PROCESO POR LOTES

Pestaña “Proceso por lotes” (ver IV. Imagen 19).

Se introduce la capa vectorial con los puntos origen y final de trazado (opcionalmente puntos de paso intermedios) (Ver VIII Imagen 19).

Botón “Iniciar el proceso de diseño” (ver IX. Imagen 19). Inicia el proceso.

### Parámetros de diseño

Selección del tipo de parámetros que vamos a utilizar: básicos o avanzados (Ver VI Imagen 19).

### Parámetros de diseño avanzados

En este caso habrá que especificar los parámetros de diseño manualmente. Navegando por las diferentes pestañas del panel de parámetros, se determina el valor de cada parámetro. Para cada parámetro existe un valor por defecto.

- **Pendiente / Radio:** Valores para las pendientes máxima y mínima admisibles y el radio mínimo de giro.  
Si se introduce radio mínimo de giro, según su valor, posteriormente habrá que modificar el valor del parámetro “Tamaño de vecindad” en la pestaña “Optimización” (Ver XXVII. Imagen 19) para evitar trazados resultantes poco útiles. Si su valor es 0 no intervendrá en el proceso.
- **Desmontes:** Valores para pendiente de terraplén / desmonte, alturas máximas y ancho de la vía. Para que se tengan en cuenta estos parámetros, debe estar marcada la casilla de activación de opciones (ver XVII Imagen 19). Una vez activada la casilla, habrá que especificar **todos** los valores.
- **Dirección / Rasante:** Valores para “suavizar” los trazados resultantes tanto en cambios de dirección como en cambios de rasante. Los valores 0 en general son poco recomendables. Valores muy altos pueden dificultar en ocasiones obtener un trazado útil.
- **Optimización:** La “Longitud de segmento mínima” influye en la longitud mínima entre los puntos de paso del trazado resultante y el radio de giro posible. Si se ha establecido un radio de giro mínimo, habrá que aumentar la longitud mínima hasta alcanzar el valor de dicho radio. (Si la casilla está en color rojo, aumentar el valor hasta que quede en los colores iniciales) (Ver XXX Imagen19).  
El “Factor de tolerancia” influye en los parámetros obtenidos en el resultado final, (número de giros, penalizaciones, calidad de trazado). Aumentar su valor, disminuye el número de tramos y puede alterar el trazado de algunos tramos curvos.  
Mediante los parámetros de “peso relativo de factores limitantes” se provoca que ese factor limitante tenga más importancia en el proceso de generación de la ruta resultado. El factor “Desmonte/terraplén” sólo se activará si la casilla “Activar opciones de desmonte / terraplén” de la pestaña “Desmontes” está activada (ver XVII Imagen19).

### Parámetros de diseño básicos

En este caso los parámetros de diseño están preestablecidos y al final del proceso darán como resultado tres pares de capas vectoriales.

**Tipo de vehículo:**

**Todo Terreno:**

- Pendiente mínima 1%
- Radio mínimo de giro 8 um (unidades métricas)
- Parámetro tamaño de vecindad 8
- Pendiente máxima:
  - o Resultado 1: 8%
  - o Resultado 2: 12%
  - o Resultado 3: 15%

**Autobomba / camión forestal:**

- Pendiente mínima 1%
- Radio mínimo de giro 10 um (unidades métricas)
- Parámetro tamaño de vecindad 10
- Pendiente máxima:
  - o Resultado 1: 6%
  - o Resultado 2: 8%
  - o Resultado 3: 12%

**Camión tráiler:**

- Pendiente mínima 1%
- Radio mínimo de giro 12 um (unidades métricas)
- Parámetro tamaño de vecindad 12
- Pendiente máxima:
  - o Resultado 1: 6%
  - o Resultado 2: 8%
  - o Resultado 3: 12%

**Parámetros de frecuencia cambio dirección / rasante**

**Frecuencia Alta / Alta:**

- Penalización dirección: 0 um / 180°
- Penalización rasante: 0 um / cambio max pendiente

**Frecuencia Alta / Media:**

- Penalización dirección: 0 um / 180°
- Penalización rasante: 20 um / cambio max pendiente

**Frecuencia Media / Media:**

- Penalización dirección: 20 um / 180°
- Penalización rasante: 20 um / cambio max pendiente

**Frecuencia Baja / Media:**

- Penalización dirección: 40 um / 180°
- Penalización rasante: 20 um / cambio max pendiente

**Frecuencia Media / Baja:**

- Penalización dirección: 20 um / 180°

- Penalización rasante: 40 um / cambio max pendiente

**Frecuencia Baja / Baja:**

- Penalización dirección: 40 um / 180°
- Penalización rasante: 40 um / cambio max pendiente

**Relación factores limitantes**

**Equilibrado:**

- Factor pendiente: 1
- Factor radio: 1

**Pendiente:**

- Factor pendiente: 5
- Factor radio: 1

**Radio de giro:**

- Factor pendiente: 1
- Factor radio: 5

## RESULTADOS

Una vez finalizado el proceso se visualizará un mensaje con un resumen del resultado obtenido.

En dicho resumen aparecerá:

- Distancia origen-destino
- Desnivel neto
- Distancia recorrida total
- Desnivel acumulado
- Desnivel acumulado medio
- Número de penalizaciones pendiente
- Número de penalizaciones radio (si aplica)
- Número de penalizaciones desmonte/terraplén (si aplica)
- Número de giros
- Índice de calidad de trazado \*

Se cargan en el panel de capas los pares de capas resultantes con la simbología asociada y la información de cada tramo en la tabla de atributos. Tres pares en el caso de parámetros básicos y un par en los demás casos. Para cada par resultante la capa de puntos contiene la ruta óptima del trazado de la vía. Esta capa sólo será accesible durante la sesión vigente. La otra capa de tipo polilínea contiene la ruta definitiva tras la simplificación de acuerdo con el valor de tolerancia de la polilínea de resultado especificado en la interfaz del plugin.

\*\* fórmula Calidad de Trazado

$$CT = \frac{Rm}{n^{\circ} \text{ curvas/km}}, \text{ donde}$$

CT = calidad de trazado

Rm = radio medio de las curvas

En esta aplicación se considera que se ha realizado un giro cuando el cambio en la dirección de la trayectoria es igual o superior a 30 °.