



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ANEJO Nº7

ALTERNATIVAS Y ANÁLISIS MULTICRITERIO

Autor:

Victor Manuel Ramos Melendez

Tutor:

Francisco Javier Camacho Torregrosa

Cotutor:

David Llopis Castelló





ÍNDICE

1. Introducción	4
2. Criterios de diseño	4
2.1. Velocidad de proyecto	4
2.2. Normativa de trazado	4
2.2.1. Planta	4
2.2.2. Alzado	5
2.2.3. Sección transversal	5
3. Alternativas propuestas	5
3.1 Alternativa 1	6
3.2 Alternativa 2	7
3.3 Alternativa 3	8
3.4 Alternativa 4	9
4. Análisis multicriterio	10
4.1. Criterios	10
4.2. Normalización	11
4.3. Ponderación	13
4.4. Análisis de los resultados	14
5. Conclusión	14



1. Introducción

En el presente anejo se presentarán las distintas alternativas diseñadas para la mejora de la seguridad y el confort del trazado de la carretera CV-790. Definidas las distintas alternativas, se ha realizado un análisis multicriterio para identificar la mejor solución de trazado.

2. Criterios de diseño

2.1. Velocidad de proyecto

Para la carretera original se ha estimado que la velocidad de proyecto es de 40 Km/h debido a que a lo largo de todo su trazado cuenta con radios reducidos de hasta 25 metros, es por esto por lo que su velocidad de proyecto asociada es la mínima dispuesta en la normativa correspondiente a los 40 Km/h mencionados.

Para las alternativas planteadas, esta velocidad no cambia en ninguna de ellas, pues la carretera CV-790 es una carretera bastante encajonada en un terreno accidentado, lo que obliga a que su traza se adapte a las líneas de nivel lo máximo posible evitando movimientos de tierras excesivos, lo que resulta en un trazado bastante sinuoso y radios reducidos.

2.2. Normativa de trazado

En el diseño de cada una de las alternativas que a continuación se plantearán, se ha seguido la Norma 3.1 IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras del Ministerio de Fomento. Esta normativa se divide en dos partes principalmente, la planta y el alzado.

2.2.1. Planta

A la hora de diseñar en planta hay 3 criterios que se deben de tomar en cuenta: (i) las longitudes mínimas y máximas en rectas, (ii) radio mínimo y el criterio de los radios consecutivos, (iii) los parámetros en las clotoides. A continuación, se detallarán más a fondo:

- Longitud máxima y mínima en rectas: Las longitudes de las rectas se limitan en mínimos para que así se produzca una acomodación y una adaptación a la

conducción, como también se limitan en máximos para evitar problemas relacionados con el cansancio y excesos de velocidad.

Debido a que la velocidad de proyecto en cada una de las alternativas es de 40 Km/h, estas longitudes serán las mismas en todas ellas.

$$L_{\min,s} = 55.6 \text{ m}$$

$$L_{\min,c} = 111.2 \text{ m}$$

$$L_{\max} = 668 \text{ m}$$

- Radio mínimo y radios consecutivos: Cada velocidad de proyecto cuenta con un radio mínimo asociado. En el caso de una velocidad de 40 km/h este radio es de 50 metros, el menor establecido en la normativa para carreteras del grupo 3, es por esto que, para el cumplimiento de la normativa, se debe disponer de radios de esta magnitud o mayores.

En cuanto a los radios consecutivos, estos se disponen cuando se unan dos alineaciones curvas, que cuando cuenten con una recta intermedia de longitud inferior a 400 metros la relación de radios de las curvas no sobrepasará los valores obtenidos de la expresión indicados en el punto 4.5 Coordinación entre alineaciones curvas consecutivas de la Norma 3.1 I.C Trazado, de la Instrucción de Carreteras, mostrados en la Tabla 1. Si la recta intermedia entre dos curvas es mayor de 400m el radio de curvas adyacentes debe ser superior a 300 m.

- Parámetros en clotoides: Las clotoides, o curvas de acuerdo, tienen el objetivo de evitar que se produzcan discontinuidades en la curvatura en el trazado, este tipo de curvas deberán utilizarse cuando se dispongan curvas circulares de menor de dos mil quinientos metros (<2500). En la CV-790 no se dispondrán curvas de radios tan elevados por lo que, para el cumplimiento de la normativa, cada curva debe estar compuesta por una consecución de Clotoide – Curva Circular – Clotoide.

Para la obtención de los parámetros, se recurrirá a las ecuaciones del punto 4.4.3 Parámetro y longitud mínima de la Norma 3.1 Trazado, de la Instrucción de Carreteras.



R (m)	R' (m)
50-450	$\frac{41}{65} * R + \frac{110}{13} \leq R' < \frac{65}{41} * R - \frac{550}{41}$
450-700	$\frac{41}{65} * R + \frac{110}{13} \leq R' < \frac{22}{5} * R - 1280$
700-1800	$\frac{5}{22} * R + \frac{3200}{11} \leq R' < \frac{22}{5} * R - 1280$

Tabla 1: Relación entre radios de curvas circulares consecutivas Fuente: Norma 3.1 I.C

2.2.2. Alzado

Para el diseño del alzado se han tenido en cuenta los criterios de inclinación de la rasante, en donde el máximo para una C-40 es de 7% en casos normales y del 10% en casos excepcionales y debidamente justificados, mientras que la mínima inclinación es de 0.5% pudiendo reducirse a 0.2% igualmente en casos excepcionales justificados.

También, se han considerado los parámetros mínimos en los acuerdos por visibilidad, los cuales varían dependiendo de si este es cóncavo o convexo (mostrados en Tabla 2). Por otra parte, se ha tenido en cuenta el criterio por percepción, el cual indica que la longitud del acuerdo debe ser mayor que la velocidad de proyecto (40km/h).

GRUPO	VELOCIDAD DE PROYECTO (V _p) (km/h)	ACUERDOS CONVEXOS		ACUERDOS CÓNCAVOS	
		K _v (m) Parada	K _v (m) Adelantamiento	K _v (m) Parada	K _v (m) Adelantamiento
3	40	250	300	760	2 400

Tabla 2: Parámetros mínimos de los acuerdos verticales para disponer de visibilidad de parada y adelantamiento Fuente: Norma 3.1 I.C

2.2.3. Sección transversal

Para el diseño de sección transversal se ha tenido en cuenta sus elementos y dimensiones.

Según la Norma 3.1 I.C Trazado de la Instrucción de Carreteras, debido a que la carretera CV-790 es una carretera convencional, debe disponer únicamente de un carril por sentido, con una anchura por carril de entre 3 y 3.5 metros. A continuación, la berma puede disponerse de una longitud de 0,5 metros ya que como indica la norma, en terrenos con relieves accidentados y una intensidad media diaria (IMD) de tráfico menor de 3000 veh/día, esta reducción es posible. Finalmente, el arcén se dimensiona con una anchura reducida de 0,25 metros debido al poco espacio que se dispone, utilizándose así únicamente para la colocación de señales de tráfico.

3. Alternativas propuestas

En cada una de las propuestas se ha buscado la mejora tanto en la normativa como en la consistencia, la cual se define como el grado de adecuación entre las expectativas de los conductores y el comportamiento de la carretera. Dando lugar a trazados más o menos adaptados a la carretera actual. A continuación, se presentan y describen brevemente cada una de estas alternativas.

Las actuaciones propuestas en cada una de las alternativas van desde actuaciones más localizadas a actuaciones más integrales, es decir, desde diseños respetando y siguiendo al máximo el trazado actual a uno con mayor libertad.

En cuanto a la consistencia se ha seguido la Norma 3.1 de la Instrucción de Carreteras, en donde indica que los umbrales para su análisis local (entre elementos consecutivos) son: consistencia buena cuando deceleración < 10 km/h, pobre cuando deceleración >20 km/h, aceptable cuando deceleración entre 10 km/h y 20 km/h.

De igual manera, se ha tenido en cuenta la consistencia global, la cual se define como la relación entre la velocidad de operación media y la tasa de deceleración media de los conductores. Para esto se ha utilizado el modelo de Camacho-Torregrosa (2015) en donde los umbrales son: Buenas cuando consistencia > 3,25 s^{1/3}, Pobre cuando C < 2,55 s^{1/3}, aceptable cuando C entre 2,55 s^{1/3} y 3,25 s^{1/3}. Siendo C el valor de consistencia global.

3.1 Alternativa 1

Con una velocidad de proyecto de 40Km/h, esta alternativa se ha diseñado con el objetivo de realizar la menor cantidad de modificaciones posibles a lo largo de la carretera, en donde dichos cambios son ligeros pero significativos, buscando así mejorar la consistencia localmente en los puntos más sensibles de la carretera gastando la menor cantidad de recursos posibles y generando muy pocos movimientos de tierras con el fin de hacerla una alternativa bastante económica.

Debido a que esta alternativa tiene cambios puntuales a lo largo de la carretera, su cumplimiento de normativa es bastante escaso al igual que su trazado original, ya que las modificaciones se han realizado únicamente en curvas en donde la consistencia estaba catalogada como pobre, habiendo en algunos casos deceleraciones antes de llegar a la curva de hasta 35 Km/h.

Si bien se ha logrado reducir la deceleración de los conductores, no se ha logrado obtener una consistencia aceptable en estos tramos, manteniéndose las deceleraciones en las transiciones recta-curva más crítica en torno a los 30 km/h valores los cuales se encuentran muy lejos de una consistencia aceptable.

Esta alternativa cuenta con 2.000 metros de carretera aproximadamente, en donde se pueden observar tres zonas de cambios. La primera, entre el PK 1+785 y el PK 2+740, en donde se han aumentado ligeramente los radios desviando el eje de la carretera actual.

La segunda zona, comprendida entre el PK 3+460 y el PK 4+420 se han realizado cambios en ciertas curvas. En unas curvas se han aumentado sus radios para así poder garantizar una deceleración menos pronunciada (Imagen 1), mientras que en otras se ha incluido las clotoides de entrada y salida asociadas a cada curva circular, hecho que ha desviado el eje de la traza acondicionada con respecto a la actual (Imagen 2).

Finalmente, entre el PK 5+335 y el PK 5+550 se han realizado los mismos cambios mencionados anteriormente, aumentando radios e incluyendo clotoides, generándose así pequeños cambios al trazado.



Imagen 1: Cambios en curvas de Alternativa 1 cerca PK 4+300 Fuente: Elaboración propia



Imagen 2: Cambios en curvas de Alternativa 1 cerca PK 3+700 Fuente: Elaboración propia

3.2 Alternativa 2

La segunda alternativa propuesta se ha diseñado con el objetivo de mejorar la carretera haciendo que esta cumpla la normativa vigente en cuanto a su trazado de planta y alzado. Sin diferir mucho de la carretera actual, esta alternativa se ha sometido a cambios ligeros, disponiendo de radios más abiertos en ciertas zonas, así como de curvas circulares con sus curvas de transición o clotoides tanto de entrada como de salida. Esto ha hecho que el eje de la traza se desvíe en ciertas zonas una magnitud de 1 metro hacia alguno de sus lados, o en ciertas curvas que se desvíe hasta 5 metros.

En esta alternativa, si bien se ha mejorado el cumplimiento de la normativa, aún tiene zonas encajonadas tanto por el terreno natural como por las viviendas a sus alrededores, por lo que en estas zonas se ha tenido que seguir el trazado de la carretera tal cual estaba con anterioridad, aunque no cumpliera la normativa bajo ningún concepto.

En cuanto a la consistencia, la mayoría de las zonas mejoran con los cambios adaptándose a la normativa, sin embargo, aún quedan zonas sensibles en las que el descenso de la velocidad es tan elevado como en la carretera original. En estas zonas se recomienda colocar señales de tráfico advirtiendo a los conductores que deben decelerar para así evitar accidentes en la vía.

Esta alternativa tiene siete pequeñas zonas y una mas extensa sometidas a cambios, lo que conforma un total de aproximadamente 2.600 metros acondicionados. Entre las zonas de extensión reducidas están entre el PK 0+360 y el PK 0+790 en donde se ha ampliado el radio de las dos curvas que dispone e incluyendo sus clotoides asociadas (Imagen 3).

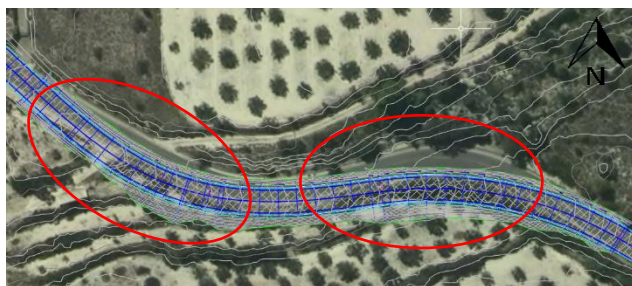


Imagen 3: Cambios en curvas de Alternativa 2 ampliación de radios Fuente: Elaboración propia

Entre el PK 1+356 y el PK 2+680 se encuentra la zona mas amplia de actuación, en esta área de igual manera se han aumentado los radios de ciertas curvas e incluido clotoides de entrada y salida (Imagen 4).

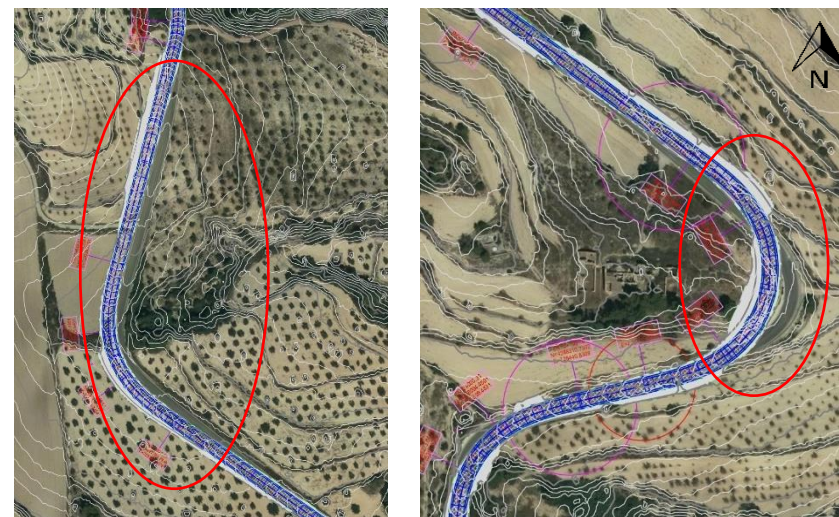


Imagen 4: Cambios de Alternativa 2 ampliación radio reducido Fuente: Elaboración propia

En la zona encajonada de difícil actuación, debido a su trazado bastante sinuoso, un conductor no puede alcanzar grandes velocidades, por lo que aquí, aunque no cumpla normativa, no supone un riesgo de seguridad. Sin embargo, la entrada y salida a esta zona si que se ha tratado, ampliando los radios de dichas zonas (Imagen 5).



Imagen 5: Cambios en curvas de Alternativa 2 ampliación de radios. Fuente: Elaboración propia

En torno al PK 4+500, también se han realizado actuaciones de ampliación de radios, en este caso, debido al escaso espacio entre curvas, únicamente se ha realizado esta modificación, siendo imposible la inclusión de clotoides (Imagen 6).



Imagen 6: Cambios de Alternativa 2 ampliación radio reducido Fuente: Elaboración propia

3.3 Alternativa 3

Para la alternativa 3, se ha optado por darle más libertad al trazado, permitiendo a este desviarse aún más del trazado original. Esto ha permitido que la normativa se pueda cumplir con mayores garantías en las zonas modificadas en torno al PK 0+300, el PK 0+880, el PK 1+900, el PK 2+785, el PK 2+350, el PK 3+900 y el PK 5+100. También en las zonas encajonadas en donde la traza no puede variar considerablemente, se han realizado cambios menores. Esta cantidad de modificaciones se traduce aproximadamente en 3.390 metros de carretera.

En esta alternativa, además de garantizar el cumplimiento de la normativa en la mayoría de su trazado, se ha puesto bastante énfasis en mejorar la consistencia local, tanto en los puntos críticos de deceleraciones de hasta 35 km/h hasta los puntos en donde la consistencia se clasifica como pobre por deceleraciones de velocidad ligeramente por

encima de los 20 Km/h, umbral que separa consistencia pobre y aceptable. Luego de realizar los cambios y adaptaciones pertinentes, se ha logrado obtener una consistencia local aceptable a lo largo de toda la carretera, no dejando así ningún punto pobre, lo que se traduce en una mejora considerable en la seguridad vial. Un punto favorable para la alternativa 3 es que, a pesar de desviar su traza con respecto a la carretera original, el movimiento de tierras, teniendo en cuenta la longitud de los tramos modificados, no es excesivo, pudiendo además compensar las tierras, es decir, prácticamente todo el material que se excava en desmonte se usa de relleno en terraplenes.

Entre los cambios más destacados que se han realizado en esta alternativa son entre el PK 1+530 y el PK 2+350 en donde se han introducido curvas nuevas y ampliado el radio de otras, todas con sus respectivas clotoides asociadas (Imagen 7).



Imagen 7: Cambios de Alternativa 3 ampliación de curvas Fuente: Elaboración propia

Otro de los cambios importantes se produce en la zona encajonada entre el PK 2+680 y el PK 3+480, en donde las curvas de entrada y salida se han modificado, situando radios más grandes desviando la traza en la entrada y salida de esta zona (Imagen 8).

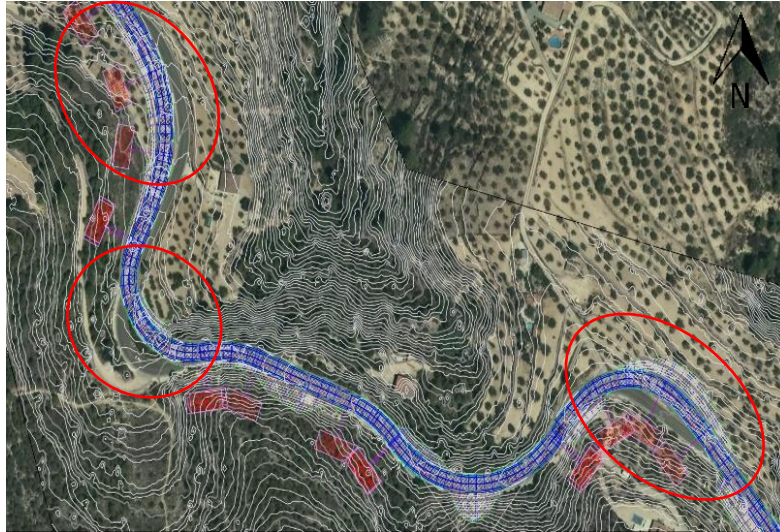


Imagen 9: Cambios de Alternativa 3 zona encajonada Fuente: Elaboración propia

En torno al PK 4+530 se han introducido dos curvas antes de otra muy cerrada, lo que permite que conductores reduzcan su velocidad antes de llegar a esta curva peligrosa (Imagen 10).

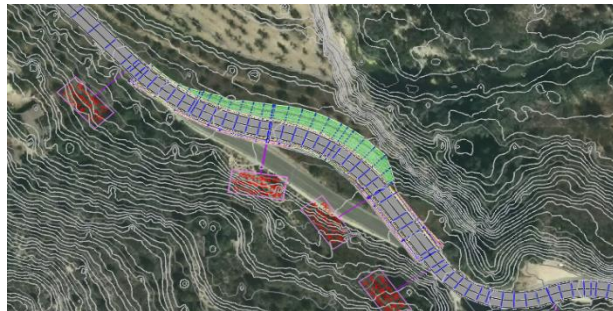


Imagen 10: Cambios de Alternativa 3 inclusión de curva Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en el PK 5+100 se ha eliminado una consecución de curvas de poca utilidad, reduciéndolo únicamente a 2 curvas circulares con sus respectivas clotoides (Imagen 11).



Imagen 11: Cambios en curvas de Alternativa 3 eliminación de curvas Fuente: Elaboración propia

3.4 Alternativa 4

Por último, en la alternativa 4, se ha buscado un diseño en donde, además del cumplimiento de la normativa y la consistencia local, se resuelvan los problemas en cuanto a la consistencia global, esto debido a que si bien, la consistencia local puede ser aceptable en ciertas zonas, si globalmente la carretera cuenta con una consistencia pobre, el conductor no tendrá un buen confort a la hora de recorrer la carretera.

Es por esto por lo que el trazado se ha desviado considerablemente de la carretera, ya que, siguiendo la traza de la carretera actual es imposible el cumplimiento de este parámetro, aun así, con cambios más considerables que en las demás alternativas, la consistencia global aceptable no se ha logrado, debido a que para este criterio mejor se deben de realizar cambios de mayor envergadura que ya se catalogarían como de una variante y no como de un acondicionamiento.

Por otro lado, la consistencia local a lo largo de toda la traza se ha clasificado como aceptable, así como la normativa también se ha cumplido en gran medida de toda la carretera. Además, los movimientos de tierras, aunque son elevados, se han compensado los volúmenes de tierras de desmonte y terraplén, evitando así el costo de transporte de tierras a vertedero.

Entre los cambios más importantes planteados en esta alternativa están la ampliación de radios reducidos, reducción y eliminación de curvas consecutivas excesivas, inclusión de clotoides en curvas circulares, desvío de traza original para cumplimiento de normativa (Imagen 12 y 13). Estos cambios se traducen en un total de aproximadamente 4.100 metros de carretera acondicionada.

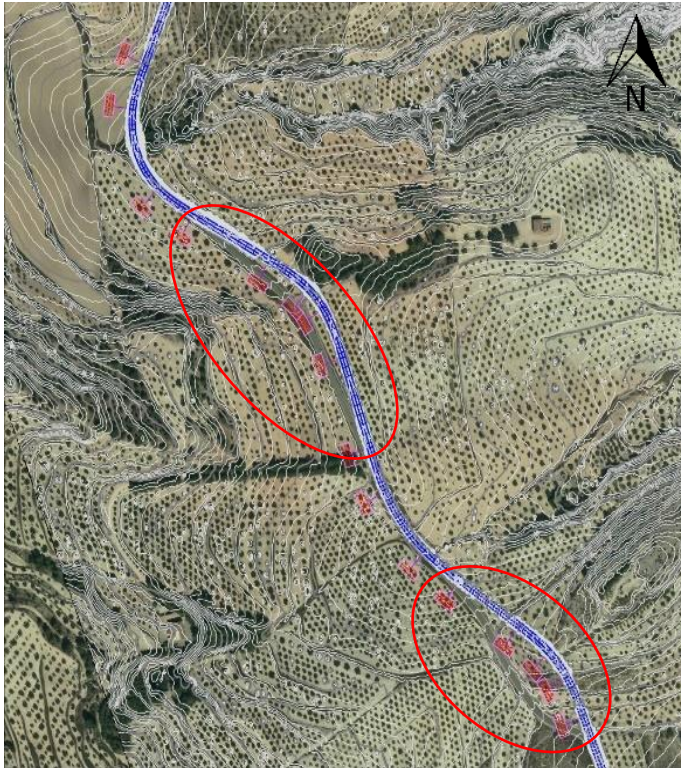


Imagen 12: Ampliación de curvas de Alternativa 4 Fuente: Elaboración propia

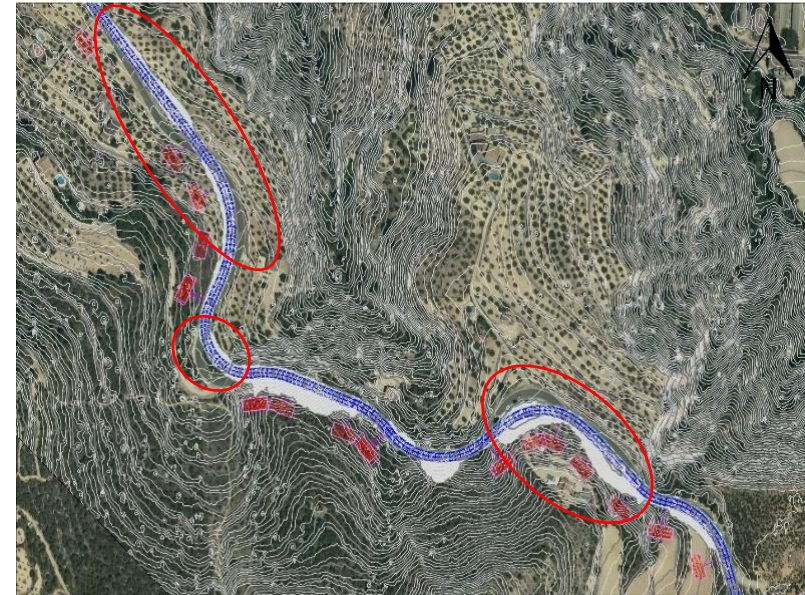


Imagen 13: Cambio en zona encajonada y alrededores en Alternativa 4 Fuente: Elaboración propia

4. Análisis multicriterio

Una vez explicadas cada una de las propuestas diseñadas, se procede a la elección de la alternativa más satisfactoria. Para esto se ha realizado un análisis multicriterio, el cual es una herramienta de gran utilidad que ayuda en el proceso de la toma de decisiones. Este análisis consiste en la elección de criterios de importancia a la hora de realizar una carretera. Estos pueden estar enfocados al usuario, al cumplimiento de leyes y normativas, medio ambiente o cualquier otro aspecto que se considere importante a la hora de escoger una alternativa u otra.

4.1. Criterios

Para que cada uno de los criterios tenga una valoración más específica y representativa, se ha decidido crear subcriterios por lo que habrá dos niveles de análisis: el primero para dar



valor a los criterios y el segundo para darle valor a cada alternativa. Los criterios y subcriterios son:

- **Precio:** Ya que cada una de las alternativas cuenta con el mismo paquete de firme y explanada, el precio vendrá marcado por el movimiento de tierras que genera cada una de las alternativas y la distancia de carretera que tendrá que realizarse desde cero, es decir, aquellos tramos cuya ejecución conste de realización de explanada y el paquete de firme completo y no únicamente la regeneración de la rodadura. Dentro de este criterio se analizará:
 - Movimiento de tierras que supondrá cada una de las alternativas, valorado en la cantidad medida en m³ que se moverán en desmonte y terraplén. A mayor movimiento de tierras, mayor coste de la alternativa.
 - Cantidad de tierras faltantes o restantes en función de la relación entre desmonte y terraplén, valorado en m³.
 - Kilómetros de carretera nueva, en donde se valorará la distancia de carretera que necesitará la realización de todo el paquete de firme y explanada.
- **Confort:** Con este criterio se pretende valorar cómo se sentirá el usuario al circular por la carretera. Dentro de este criterio se analizará:
 - Rango de radios a lo largo de toda la carretera, en donde se pretende analizar y valorar si el conductor tendrá grandes cambios en la carretera haciéndolo decelerar y acelerar o si en cambio, podrá mantener una velocidad constante y cómoda. Medida en metros, producto de la diferencia entre el radio medio y el mínimo o máximo.
 - Distancia media entre vértice de acuerdo verticales, en donde a mayor distancia, mayor comodidad para el conductor.
 - Cantidad de curvas que presenta la totalidad del trazado, en donde si bien es sabido que debe de tener una cantidad mínima de curvas para controlar la velocidad y fatiga del conductor, estas tampoco pueden ser excesivas.
 - Velocidad de operación media de la carretera. A partir de la velocidad de operación a lo largo de todo el trazado.
- **Seguridad vial:** Para el criterio de la seguridad vial, se tendrá en cuenta la consistencia de la carretera, tanto local como globalmente.

- Este criterio se valorará localmente en base a la cantidad de tramos catalogados como de consistencia pobre. Modelo de Lamm et al. (1988)
- Globalmente, se estudiará cuál tiene un valor de consistencia mayor, ya que, a mayor consistencia, mayor seguridad en la carretera. Modelo de Camacho Torregrosa (2015)

- **Impacto ambiental y sobre el entorno:** Como último criterio se tiene el impacto que genera el acondicionamiento con el ambiente y su entorno. En este criterio se tendrán en cuenta:
 - Integración paisajística de la alternativa, valorado del 1 al 4 dependiendo de qué tan afectado se ve el paisaje debido a los desmontes o terraplenes que genere cada uno de ellos y cuánto se pueden adaptar al entorno. Este es un criterio subjetivo valorado visualmente.
 - Aprovechamiento de la carretera actual de cada una de las alternativas representado en porcentaje.
 - La movilidad y adaptación que habrá que hacer a los distintos accesos a viviendas o intersecciones, valorado en cantidad.
 - Zonas invadidas por el nuevo trazado en cada una de las alternativas planteadas. Debido a que en ciertas zonas el acondicionamiento sucede pasa por el mismo eje, mas no por la misma cota. Produciéndose así ningún tipo de invasión al terreno, pero sin posibilidad de aprovechar el trazado actual.

4.2. Normalización

Una vez definidos los criterios y subcriterios, se procede a darle valor a cada uno de estos. Debido a que no todos los criterios son valorados en las mismas unidades (estos pueden ser en m³, porcentaje, nivel de consistencia, etc) es necesario la normalización de los criterios. La normalización es necesaria también ya que, dependiendo del subcriterio, que un valor sea elevado puede ser poco satisfactorio como en el caso del movimiento de tierras, mientras que, en otros casos, que el nivel sea elevado es algo favorable, como en el caso de la consistencia con los modelos utilizados.

Cuando un valor que sea más elevado es la situación más favorable, se maximiza:



$$C_n = \frac{x - \text{Peor } C}{\text{Mejor } C - \text{Peor } C} \times 10$$

Cuando la situación más favorable es un valor más bajo, se minimiza:

$$C_n = \frac{x - \text{Mejor } C}{\text{Peor } C - \text{Mejor } C} \times 10$$

De esta manera se obtienen el siguiente “conjunto de tablas 1”.

Económico								
SUB-CRITERIO	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado
Movimiento de tierra	27150	9.11	42870.9	7.14	63986.1	4.50	93166.9	0.85
Sobranje/déficit	11480	0.43	1414.89	8.82	7010.38	4.16	8509.59	2.91
Kms carretera nueva	2040	6.57	2596	5.63	3937	3.37	4097	3.10
Confort								
SUB-CRITERIO	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado
Variación del Rad medio/ Rad min	59	0.33	48	4.00	48	4.00	49	3.67
Variación del Rad medio/ Rad max	163	0.31	162	0.46	116	7.54	111	8.31
Distancia media entre vertice de acuerdos	8	3.33	6	6.67	4	10.00	4	10.00
Velocidad de recorrido	68.36	3.36	67.93	2.93	71.88	6.88	72.33	7.33
Cantidad consecutivas	61	1.33	54	3.67	41	8.00	42	7.67
Seguridad vial								
SUB-CRITERIO	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado
Consistencia local Pobre	21	1	11	4.76	0	10	0	10
Consist Local >30 Km/h	8	1	5	3.75	0	10	0	10
Consistencia Global	2.19	3.45	2.19	3.45	2.28	5.09	2.32	5.82
Impacto ambiental y sobre el entorno								
SUB-CRITERIO	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado	Valor	Normalizado
Integración paisajística	4	10	3	6.67	1	0	2	3.33
Aprovechamiento carretera actual	65.66	6.57	56.3	5.63	33.72	3.37	31	3.1
Movilidad de accesos	1	9.00	4	6.00	3	7.00	6	4.00
Zonas invadidas	1	10	2	6.67	3	3.33	4	0

Conjunto Tabla 1: Valoración y normalización de criterios.

Fuente: Elaboración propia

Una vez normalizados los valores de los criterios, se deben ponderar, debido a que no cada subcriterio dentro de los criterios tiene el mismo peso. En otras palabras, hay subcriterios que influyen más o menos a la hora de decidirse por una alternativa.

Para este proceso también se ha realizado una tabla en donde a cada criterio se le ha dado un peso. El conjunto de Tabla 2 muestra los valores normalizados antes y después de ser ponderados con su peso correspondiente.

- Económico:
 - Movimiento de tierras: 50%. Supondrá el mayor coste de la actuación
 - Kms de carretera nueva: 30%. El paquete de firmes y realización de la explanada también genera un coste considerable pero no de la misma magnitud que todo el movimiento de tierras.
 - Sobranje o déficit de tierras: 20%. De ser grandes cantidades, la adquisición de tierras de préstamo o transporte a vertedero no influye tanto como las dos anteriores.
- Confort
 - Variación de radios: 50%. Debido a que a los conductores los factores que más le generan incomodidad es la variabilidad de las curvas
 - Acuerdos verticales: 20%. Debido a que acuerdos muy seguidos genera inconformidad al usuario.
 - Velocidad de recorrido: 10%. Se le ha dado poco peso debido a que la variación entre velocidades no es muy significativa.
 - Cantidad de curvas: 20%. Que haya un exceso de curvas genera molestia en los conductores
- Seguridad Vial
 - Consistencia local Pobre: 40%. Ya que una consistencia clasificada como pobre genera un posible peligro en el trazado.
 - Consistencia local > 30 km/h: 40%. Por la naturaleza del trazado, muchos tramos cuentan con una deceleración mayor de 30km/h entre elementos consecutivos generando un peligro inminente.
 - Consistencia local: 20%. Una consistencia global pobre también es sinónimo de peligro en la carretera, sin embargo, al no lograr una consistencia global aceptable en ninguna alternativa, no se le da un peso significativo
- Impacto ambiental
 - Integración paisajística: 35%. Actualmente se debe buscar que toda obra civil este integrada con su entorno



- **Aprovechamiento carretera actual: 35%.** Mientras mas de aproveche el trazado actual, menos impacto se generará sobre el ambiente.
- **Movilidad de accesos: 15%.** Mover un acceso afecta no únicamente la carretera acondicionada, al ser algo evitable se le da valor menor.
- **Zonas invadidas: 15%.** Para garantizar la seguridad en el acondicionamiento gran parte de zonas debe de ser invadida por lo que se le da poco peso.

Económico									
SUB-CRITERIO	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
		Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado
Movimiento de tierra	0.5	9.11	4.55	7.14	3.57	4.50	2.25	0.85	0.43
Sobranter/déficit	0.2	0.43	0.09	8.82	1.76	4.16	0.83	2.91	0.58
Kms carretera nueva	0.3	6.57	1.97	5.63	1.69	3.37	1.01	3.10	0.93
TOTAL PONDERADO			6.61		7.02		4.09		1.94
Confort									
SUB-CRITERIO	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
		Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado
Variación del Rad medio/ Rad min	0.25	0.33	0.08	4.00	1.00	4.00	1.00	3.67	0.92
Variación del Rad medio/ Rad max	0.25	0.31	0.08	0.46	0.12	7.54	1.88	8.31	2.08
Distancia media entre vertice de acuerdos	0.2	3.33	0.67	6.67	1.33	10.00	2.00	10.00	2.00
Velocidad de recorrido	0.1	3.36	0.34	2.93	0.29	6.88	0.69	7.33	0.73
Cantidad de curvas	0.2	1.33	0.27	3.67	0.73	8.00	1.60	7.67	1.53
TOTAL PONDERADO			1.43		3.48		7.17		7.26
Seguridad vial									
SUB-CRITERIO	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
		Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado
Consistencia local Pobre	0.4	1.00	0.40	4.76	1.90	10.00	4.00	10.00	4.00
Consist Local >30 Km/h	0.4	1.00	0.40	3.75	1.50	10.00	4.00	10.00	4.00
Consistencia Global	0.2	3.45	0.69	3.45	0.69	5.09	1.02	5.82	1.16
TOTAL PONDERADO			1.49		4.10		9.02		9.16
Impacto ambiental y sobre el entorno									
SUB-CRITERIO	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
		Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado
Integración paisajística	0.35	10.00	3.50	6.67	2.33	0.00	0.00	3.33	1.17
Aprovechamiento carretera actual	0.35	6.57	2.30	5.63	1.97	3.37	1.18	3.10	1.09
Movilidad de accesos	0.15	9.00	1.35	6.00	0.90	7.00	1.05	4.00	0.60
Zonas invadidas	0.15	10.00	1.50	6.67	1.00	3.33	0.50	0.00	0.00
TOTAL PONDERADO			8.65		6.20		2.73		2.85

Conjunto Tabla 2: Ponderación de subcriterios dentro de criterios Fuente: Elaboración propia

4.3 Ponderación

Finalmente, una vez normalizado cada uno de los subcriterios y asignados sus pesos dentro de los criterios principales, se procede a ponderar estos criterios dentro del análisis global de las alternativas.

Con el fin de tomar una decisión más parcial y correctamente fundamentada, para la realización del análisis multicriterio, se ha tenido en cuenta el punto de vista de distintos decisores, en donde, dependiendo del tipo de persona y su actividad, dará una ponderación distinta de cada uno de los criterios.

Específicamente se ha tenido en cuenta 4 tipo de decisores:

- **Promotor:** El promotor le dará más importancia al aspecto económico y al referente con la seguridad de los conductores, dando menos peso al confort o a la afección del paisaje.
 - Criterio económico: 40%
 - Criterio de confort: 10%
 - Criterio de seguridad vial: 35%
 - Criterio de Impacto: 15%
- **Usuario:** Este tipo de decisor les dará mayor importancia a los criterios referentes a la seguridad vial y al confort, restando importancia al impacto ambiental y al criterio económico.
 - Criterio económico: 10%
 - Criterio de confort: 40%
 - Criterio de seguridad vial: 40%
 - Criterio de Impacto: 10%
- **Paisajista:** Definido como el tipo de decisor que se preocupa por el medio ambiente y las afecciones negativas o positivas que puede tener el acondicionamiento al entorno. Tendrá en cuenta como criterio más importante el de la afección al paisaje y entorno, luego la seguridad del usuario y finalmente con una menor importancia el aspecto económico y de confort.
 - Criterio económico: 10%
 - Criterio de confort: 15%



- Criterio de seguridad vial: 30%
- Criterio de Impacto: 45%
- Neutral: Este tipo de decisor no le da más o menos importancia a ninguno de los criterios, considerando que cada uno de los criterios es igual de importante que el otro.
 - Criterio económico: 25%
 - Criterio de confort: 25%
 - Criterio de seguridad vial: 25%
 - Criterio de Impacto: 25%

Realizando los análisis correspondientes a cada tipo de decisor se han obtenido los siguientes resultados mostrados de la tabla 1 a la tabla 4.

Promotor (más valor a criterio económico y seguridad)									
CRITERIO	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
		Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado
Económico	0.4	6.61	2.64	7.02	2.81	4.09	1.64	1.94	0.78
Confort	0.1	1.43	0.14	3.48	0.35	7.17	0.72	7.26	0.73
Seguridad Vial	0.35	1.49	0.52	4.10	1.43	9.02	3.16	9.16	3.21
Impacto Ambiental	0.15	8.65	1.30	6.20	0.93	2.73	0.41	2.85	0.43
TOTAL PONDERADO			4.61		5.52		5.92		5.14

Tabla 1: Ponderación de Criterios según Promotor. Fuente: Elaboración propia

Usuario (más valor a criterio al confort y seguridad)									
CRITERIO	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
		Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado
Económico	0.1	6.61	0.66	7.02	0.70	4.09	0.41	1.94	0.19
Confort	0.4	1.43	0.57	3.48	1.39	7.17	2.87	7.26	2.90
Seguridad Vial	0.4	1.49	0.60	4.10	1.64	9.02	3.61	9.16	3.67
Impacto Ambiental	0.1	8.65	0.86	6.20	0.62	2.73	0.27	2.85	0.29
TOTAL PONDERADO			2.69		4.35		7.16		7.05

Tabla 2: Ponderación de Criterios según Usuario. Fuente: Elaboración propia

Paisajista (más valor a criterio de impacto y seguridad)									
CRITERIO	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
		Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado
Económico	0.1	6.61	0.66	7.02	0.70	4.09	0.41	1.94	0.19
Confort	0.15	1.43	0.21	3.48	0.52	7.17	1.08	7.26	1.09
Seguridad Vial	0.3	1.49	0.45	4.10	1.23	9.02	2.71	9.16	2.75
Impacto Ambiental	0.45	8.65	3.89	6.20	2.79	2.73	1.23	2.85	1.28
TOTAL PONDERADO			5.21		5.24		5.42		5.32

Tabla 3: Ponderación de Criterios según Paisajista. Fuente: Elaboración propia

Neutral (mismo valor a cada criterio)									
CRITERIO	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
		Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado	Sin ponderar	Ponderado
Económico	0.25	6.61	1.65	7.02	1.76	4.09	1.02	1.94	0.48
Confort	0.25	1.43	0.36	3.48	0.87	7.17	1.79	7.26	1.81
Seguridad Vial	0.25	1.49	0.37	4.10	1.02	9.02	2.25	9.16	2.29
Impacto Ambiental	0.25	8.65	2.16	6.20	1.55	2.73	0.68	2.85	0.71
TOTAL PONDERADO			4.54		5.20		5.75		5.30

Tabla 4: Ponderación de Criterios Neutral. Fuente: Elaboración propia

4.4 Análisis de los resultados

Analizando los datos obtenidos anteriormente se puede apreciar como cada una de las alternativas son mejor o peor dependiendo del punto de vista del decisor.

Desde el punto de vista del promotor, la alternativa 3 resulta ser la mejor opción, esto se debe a que esta alternativa a pesar de no estar bien valorada en el tema económico (criterio de mayor peso según este tipo de decisor), resulta bastante segura (criterio también muy bien valorado), por lo que compensa el déficit a nivel económico.

Desde el punto de vista del usuario tanto la alternativa 3 como la alternativa 4 tienen una valoración bastante elevada. Esto debido a que son las dos alternativas que mayores cambios tienen siendo más cómodas para los conductores. Si bien la alternativa 4 es ligeramente superior a la alternativa 3, cualquiera de las dos alternativas sería viable desde este punto de vista.

Desde la posición del paisajista, todas las alternativas están considerablemente cercanas en su valoración, estando las alternativas 1, 3 y 4 bastante cerca entre ellas. Desde este punto de vista, la ejecución de cualquiera de estas tres opciones es igual de viable.

Desde un punto de vista neutral la alternativa mejor valorada es la número 3 teniendo mejor equilibrio entre los cuatro criterios planteados por lo que sería la más adecuada para su ejecución.

5. Conclusión

Una vez realizado el análisis multicriterio desde el punto de vista de cada decisor se concluye que la alternativa número 3 es la más viable para su desarrollo y ejecución, esto debido a que es la mejor valorada considerando los aspectos económico y neutral, también



quedando muy bien valorada teniendo en cuenta los criterios tanto paisajísticos como de seguridad y confort.