



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

ABORDAJE DEL PROYECTO CONSTRUCTIVO DE UN
CAMINO DESDE LA ÓPTICA DE LAS EMISIONES DE
GASES DE EFECTO INVERNADERO.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

AUTOR/A: García Cascant, Alejandro

Tutor/a: Torregrosa Soler, Juan Bautista

Cotutor/a externo: CARBONELL CASTELLO, JOSE

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Resumen TFG



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica
i del Medi Natural

ABORDAJE DEL PROYECTO CONSTRUCTIVO DE UN CAMINO DESDE LA ÓPTICA DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.

Nombre:

Alejandro García Cascant

Tutor:

Juan Bautista Torregrosa Soler

Cotutor:

José Carbonell Castelló

Escuela:

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

Titulación:

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

La lucha contra el **cambio climático** es, hoy por hoy, una de las principales prioridades de la comunidad internacional por sus efectos sobre la viabilidad de los ecosistemas y sobre la propia habitabilidad de nuestro planeta.

Esta lucha, que se estructura en acciones de adaptación y mitigación, supone la incorporación de una nueva perspectiva en la toma de decisiones con el objetivo de minimizar la **emisión de gases efecto invernadero** y el consumo energético. De estas formas, la concepción circular de los proyectos y la toma de decisiones en función de la potencial emisión de GEI y del **consumo energético** se van imponiendo en los procesos productivos agrarios y de planificación del territorio rural. En este contexto, los caminos

rurales constituyen uno de los principales elementos por su doble función: la estructural y la productiva.

Por ello se aborda el proyecto de un camino rural en el que se estudien las alternativas viables en función de su ciclo de vida y su **impacto sobre el cambio climático**, medido en **CO2** y energía embebida.

Palabras clave: Cambio climático; emisión de gases efecto invernadero; impacto cambio climático medido en CO2 y energía embebida; caminos rurales; repavimentación de firmes.

ABORDATGE DEL PROJECTE CONSTRUCTIU D'UN CAMÍ DESDE L'ÒPTICA DE LES EMISIONS DE GASOS D'EFECTE INVERNACLE

La lluita contra el canvi climàtic es, avuí dia, una de les principals prioritats de la comunitat internacional pels seus efectes sobre la viabilitat dels ecosistemes i sobre la pròpia habitabilitat del nostre planeta.

Aquesta lluita, que s'estructura amb accions d'adaptació i mitigació, suposa la incorporació d'una nova perspectiva en la presa de decisions amb l'objectiu de minimitzar l'emissió de gasos d'efecte invernacle i el consum energètic. D'aquesta manera, la concepció circular dels projectes i la presa de decisions en funció de la potencial emissió de GEI i del consum energètic van imposant-se en els processos productius agraris i de planificació del territori rural. En aquest context, els camins rurals constitueixen un dels elements principals per la seua doble funció: l'estructural i la productiva.

Per aquesta raó, s'aborda el projecte d'un camí rural on s'estudiïn les alternatives viables en funció del seu cicle de vida i el seu impacte sobre el canvi climàtic, mesurat en CO2 i energia embebuda.

APPROACH TO THE CONSTRUCTION PROJECT OF A ROAD FROM THE PERSPECTIVE OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS.

The fight against **climate change** is, today, one of the main priorities of the international community due to its effects on the viability of ecosystems and on the habitability of our planet.

This fight, which is structured in adaptation and mitigation actions, involves the incorporation of a new perspective in decision-making with the aim of minimizing the **emission of greenhouse gases** and energy consumption. In this way, the circular conception of projects and decision-making based on the potential emission of GHG and **energy consumption** is being imposed in agricultural production processes and planning of rural territory. In this context, rural roads constitute one of the main elements due to their double function: structural and productive.

For this reason, the project of a rural road is addressed in order to study viable alternatives based on its life cycle and its **impact on climate change**, measured in **CO2** and embedded energy.

Key words: Climate change; emission of greenhouse gases; impact climate change, measured in CO2 and embedded energy; rural roads; pavement resurfacing.

AGRADECIMIENTOS

Una vez terminado el trabajo final de carrera, hecho la mirada hacia atrás y aún recuerdo la preocupación e indecisión durante algunos años por realizar el TFG. El no saber de qué hacerlo, cuando empezar o si seré capaz de llevarlo a cabo.

Me gustaría más que agradecer, en primer lugar a mi tutor, Juan Bautista Torregrosa Soler, por aceptar la propuesta de tutorizar mi trabajo final de carrera, por el tiempo empleado en este y por la comprensión en los momentos que los agobios venían a la cabeza.

En segundo lugar, y no por ello menos importante, a José Carbonell Castelló, por su ayuda incondicional, dedicación y paciencia en los momentos más críticos, porque sin su ayuda este trabajo no habría sido el mismo, por servirme de guía durante el trabajo y durante el desarrollo del grado; muchas gracias por todo!

Y finalmente a mi familia, mis padres y mi hermana, por haber estado a mi lado en las buenas y en las malas, por todo el apoyo incondicional mostrado durante tanto el TFG como en el grado, aunque algunas veces un poco estresante, pero mostrando la preocupación, importancia y confianza que depositan en mí.

Muchas gracias.

Contenido

1.- OBJETO DE PROYECTO	4
2.- ANTECEDENTES	4
2.1.- Crisis climática.....	5
2.2.- Caracterización de los caminos rurales.....	5
2.3.- Emisiones en el sector del transporte.....	6
2.4- Estrategias de reducción de emisiones en el ciclo de vida de los caminos	6
2.4.1.- Estrategias de reducción de emisiones basadas en la relación pavimento/neumático.	7
3.- LEGISLACIÓN DE APLICACIÓN Y REFERENCIAS.....	8
Referencias.....	9
4.- ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	10
4.1.- Determinación de la longitud de los caminos rurales.....	10
4.2.- Uso de los caminos rurales en la comarca de El Comtat	11
4.3.- Cálculo de emisiones de GEI	19
4.4.- Auscultación de los de los caminos rurales de la comarca de El Comtat	21
4.5.- Cálculo del exceso de emisiones por el mal estado de los caminos rurales de El Comtat	24
5.- DISEÑO DE ALTERNATIVAS.....	24
5.1.- Propuesta de soluciones	25
5.2.- Desarrollo proyecto tipo en secciones viarias	26
5.2.1.- Cálculo de la Intensidad Media Diaria (IMD)	26
5.2.2.- Estudio geotécnico.....	28
5.2.3.- Descripción de las secciones	28
5.2.4.- Ciclo de vida de las secciones	30
6.- CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE CO2 EQUIVALENTE EN LAS SECCIONES TIPO	30
6.1.- Metodología y desarrollo.....	30
6.2.- Resultados.....	32
ANEXO PLIEGO DE CONDICIONES	34
1.- DEFINICIÓN Y CONDICIONES DE LAS PARTIDAS DE OBRA EJECUTADAS.....	34
1.1.- Demolición de elementos de vialidad, arrancada de pavimentos o soleras o desmontaje de pavimentos.....	34
1.2.- Repaso y compactación de suelo de zanja de más de 2 metros de anchura, con medios mecánicos y compactación del 95% del PM.....	34
1.3.- Pavimentos de hormigón.....	35
1.4.- Subbases o bases de zahorra para pavimentos.	37

1-5.- Mezcla bituminosa en caliente para capas de rodadura	39
1-6.- Fresado de capa de rodadura de mezcla bituminosa	41
ANEXO PRESUPUESTO.....	43
ANEXO I Estimación parcelas de los grupos de cultivo	45
ANEXO II Labores en los cultivos.....	52
Cereales:.....	52
Frutales seco y regadío:.....	52
Cultivos forrajeros:.....	52
Viñedo:	52
Hortalizas:.....	53
Olivar:	53
ANEXO III. Desplazamientos a parcela.	56
ANEXO IV Tipificación del parque móvil agrario	63
Turismos	63
Tractor	63
Furgón o Camión:	63
ANEXO V Informes de evaluación del estado de los firmes	64
Camino rural en Muro del Alcoy (El Comtat)	64
ANEXO VI Cálculo de caminos principales en los municipios.....	65
ANEXO VII Ensayo de carga con placa.....	66
ANEXO VIII Datos ambientales de las partidas de obra necesarias	67
Caso 1: Camino de hormigón en muy mal estado	67
Caso 2: Camino de asfalto en muy mal estado	68
Caso 3: Repavimentación camino con mezcla bituminosa	70
PLANOS.....	72

Índice de Tablas

Tabla 1 Longitud de caminos rurales por municipio. Elaboración propia.....	11
Tabla 2 Caracterización de cultivos en el TM de Agres. Elaboración propia.	12
Tabla 3 Determinación de trabajos agronómicos en función del grupo de cultivo. Elaboración propia.	13
Tabla 4 Desplazamientos a parcela por tipo de cultivo. Elaboración propia.....	13
Tabla 5. Distribución de parcelas seco/regadío por municipio. Fuente: Elaboración propia.	14
Tabla 6. Estimación de parcelas por tipo de cultivo, uso y municipio. Elaboración propia.	15
Tabla 7. Estimación de visitas a parcelas por tipo de cultivo, uso y municipio. Elaboración propia.	16
Tabla 8. Distancias medias recorridas. Fuente: Elaboración propia.	17

Tabla 9. Distribución de distancias recorridas en Agres por tipo de vehículo. Fuente: Elaboración propia.	18
Tabla 10. Distribución de distancias recorridas en El Comtat por tipo de vehículo. Fuente: Elaboración propia.	18
Tabla 11. Caracterización de emisiones. Fuente: Elaboración propia.	19
Tabla 12. Pendientes medias. Fuente: Elaboración propia.	20
Tabla 13. Distribución de emisiones por tipo de vehículo. Fuente: Elaboración propia.	21
Tabla 14. Distribución de soluciones de restauración por municipio. Fuente: Elaboración propia.	24
Tabla 15. IMD por municipio. Fuente: Elaboración propia.	27
Tabla 16. Cuantificación de CO2 equivalente de sección hormigón en muy mal estado. Fuente: Elaboración propia.	31
Tabla 17. Cuantificación de CO2 equivalente de sección mezcla bituminosa en muy mal estado. Fuente: Elaboración propia.	32
Tabla 18. Cuantificación de CO2 equivalente repavimentación. Fuente: Elaboración propia. ..	32
Tabla 19. Tabla resumen de emisiones por restauración de firmes. Fuente: Elaboración propia.	33
Tabla 20. Labores por cultivo. Fuente: Elaboración propia.	53
Tabla 21. Viajes en tractor a las parcelas. Fuente: Elaboración propia.	53
Tabla 22. Viajes en tracto+remolque. Fuente: Elaboración propia.	54
Tabla 23. Viajes en furgón o camión. Fuente: Elaboración propia.	54
Tabla 24. Tabla 24. Desplazamientos a parcela en función del tipo de cultivo. Fuente: Elaboración propia.	62

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Variación interanual de las emisiones brutas de GEI (expresado en porcentaje). Fuente: MITECO.	5
Gráfico 2. Secciones según el PG3. Fuente: Ministerio de Fomento.	26
Gráfico 3. Clasificación del tráfico. Fuente: Ministerio de Fomento.....	27

1.- OBJETO DE PROYECTO

El proyecto que nos ocupa tiene como objeto:

- Analizar el estado de los caminos rurales de la comarca del El Comtat fijando protocolo de revisión de elementos críticos.
- Evaluar la afección que tiene su estado en el incremento de consumo de combustible de las acciones de transporte asociadas a la actividad agraria de la comarca.
- Cuantificar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI en adelante) que suponen este incremento de uso de combustible relacionado con el mal estado de los caminos.
- Analizar alternativas de restauración de los caminos en función del ciclo de vida de las mismas, empleando para ello la cuantificación del CO_{eq} embebido en cada operación unitaria.
- Definir las secciones tipo a emplear en la restauración, valorarlas y desarrollar el pliego de condiciones para su ejecución.

2.- ANTECEDENTES

En presente proyecto se encarga por parte de la Administración Comarcal para solicitar el acceso a la financiación de los fondos Next Generation¹ de la UE, concretamente para acceder al Mecanismo para la Recuperación y la Resiliencia (MRR), que tiene como finalidad apoyar la inversión y las reformas en los Estados Miembros para lograr una recuperación sostenible y resiliente, al tiempo que se promueven las prioridades ecológicas y digitales de la UE.

Los caminos rurales son una infraestructura que se incardina con exactitud en lo dispuesto en el punto j) del artículo 88, Obras clasificadas de interés general, de la Ley 5/2019, de 28 de febrero, de estructuras agrarias de la Comunitat Valenciana, por ser “obras que beneficien las condiciones sociales, económicas y ambientales del espacio agrario y del medio rural y que se estimen necesarias para la actuación de la conselleria competente en materia de agricultura”, pues debe reconocerse que la red de caminos rurales de la Comunitat Valenciana es una infraestructura básica y estratégica para afianzar la sostenibilidad de las explotaciones que componen el sistema agrario valenciano.

En este sentido, la inversión en la mejora y el mantenimiento de los caminos rurales representa una inversión sostenible, conforme a los parámetros establecidos por la Ley de Estructuras Agrarias por los beneficios económicos que implica (reducción de costes de la actividad agrícola), sociales (permite el acceso al territorio) y ambientales (reduce las emisiones de CO₂).

¹ Situación figurada para dar cumplimiento a los contenidos formales que debe reunir un trabajo de carácter profesional. Tanto la situación como los datos relativos al solicitante son inventados.

2.1.- Crisis climática

En la actualidad, la crisis climática y sus consecuencias, además de ser considerado por la sociedad como un problema de primer orden, es el origen de gran número de acciones de las administraciones públicas para mitigar su efecto y para la adaptación de nuestros sistemas productivos, del medio ambiente y de nuestras vidas a esta situación.

Debido al constante crecimiento de la presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera se están percibiendo consecuencias directas como el aumento de la temperatura media global o la mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos que afectan directamente a la vida de las personas. Es por ello por el que las inversiones que se plantean van encaminadas a un cambio del modelo productivo en el que en análisis del ciclo de vida de las soluciones gane protagonismo y complemente en análisis técnico y económico de la inversión.

Los GEI son los responsables del efecto invernadero, y más en concreto, la emisión de CO₂; pues este, a fechas de 2020, representa el 77.7% de las emisiones de GEI a la atmósfera, como se puede observar en el siguiente gráfico.

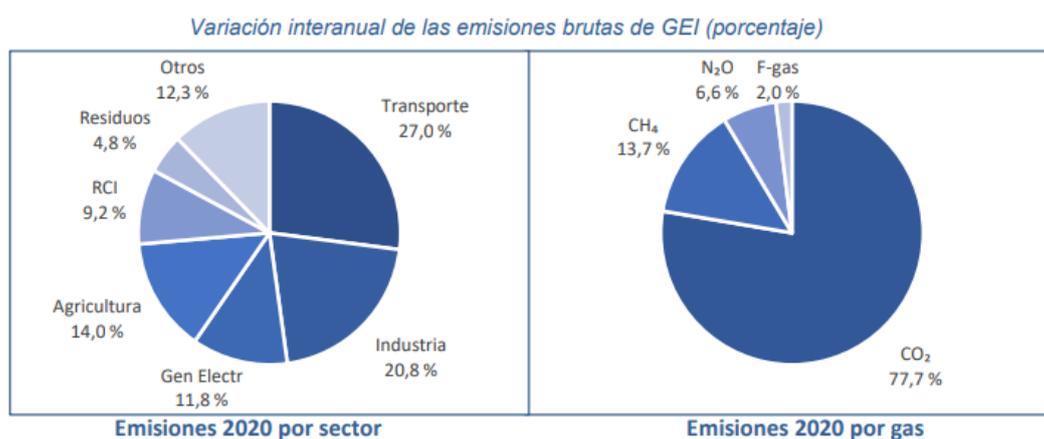


Gráfico 1. Variación interanual de las emisiones brutas de GEI (expresado en porcentaje). Fuente: MITECO.

Como se puede comprobar en el gráfico de las emisiones por sector (izquierda), el sector del transporte es el más influyente en las emisiones de GEI a la atmósfera. Sector que se emplea como referencia para el presente análisis.

Así pues, cualquier reducción en este sector será una reducción de magnitudes notables en las emisiones globales de CO₂.

2.2.- Caracterización de los caminos rurales

El Dr. Ingeniero Agrónomo Rafael Dal-Ré, nos describe en su libro Caminos Rurales, Proyecto y Construcción, como a finales de los años cincuenta y principios de los sesenta se produce un incremento hasta antes nunca visto en la necesidad de construcción de nuevos caminos rurales

o acondicionamiento de los existentes por la implantación masiva de maquinaria agrícola derivada del desarrollo de nuevas zonas regables y el incremento de las superficies de las parcelas en las zonas afectadas por la concentración parcelaria.

Desde este momento, los caminos rurales constituyen una infraestructura rural básica y fundamental y, además, se motiva la reconsideración de la tecnología para su implantación y desarrollo utilizada hasta aquél momentos.

Adelantando las conclusiones, algunos de los caminos rurales analizados en peor estado, podrían tener su origen en dicha época.

Como define la diputación foral de Álava, (*Caminos Rurales*, n.d.) los *“caminos rurales son las vías de comunicación de titularidad pública que enlazan núcleos de población y carreteras con fincas rústicas, ríos, bosques, montes, terrenos comunales o pastizales y están destinados preferentemente al servicio de las fincas o de las explotaciones agrarias”*

Es pues, la ramificación de esos caminos, la que posibilita el acceso a cualquier parcela.

2.3.- Emisiones en el sector del transporte

Según el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2020) las *“emisiones del transporte en España en el año 2014 fueron de 77,2 MtCO_{2-eq}, habiéndose incrementado casi en un 50% desde 1990 como consecuencia del incremento en la demanda de movilidad de pasajeros y mercancías.”*

El dato que nos ocupa influye fuertemente al sector del transporte, plasmando la gran red que genera el transporte y las dimensiones de este.

Es evidente que las emisiones de GEI dependen de un gran número de factores, como la potencia de tracción, obsolescencia del parque móvil o, directamente, por el incremento del transporte por carretera de mercancías, pero numerosas evidencias técnicas y científicas apuntan al mal estado de los firmes como un factor a considerar dentro del cómputo global del incremento de dichas emisiones.

2.4- Estrategias de reducción de emisiones en el ciclo de vida de los caminos

El número de kilómetros de la red viaria española no ha variado significativamente en el transcurso de los últimos años.

No obstante, la mayor parte del presupuesto público destinado al transporte por carretera está destinado a la conservación de las mismas y, básicamente, a la conservación de los firmes, por su afección directa con la tasa de mortalidad por accidentes y por la reducción del ruido.

Por otra parte, desde que la reducción de combustibles fósiles constituye una prioridad, y más actualmente, al soportar un incremento desorbitado de sus precios derivados de la invasión rusa a Ucrania, la restauración de firmes se empieza a percibir como un elemento asociado a la

competitividad de nuestras empresas por el ahorro del combustible y por la reducción de los derechos de emisión que soporta el sector, además de, evidentemente, constituir una reducción de GEI.

En este contexto, la Asociación Europea de Asfalto y Pavimentación (EAPA) cuantifica en 28 millones las toneladas de CO₂ del transporte por carretera que pueden evitarse sólo con la conservación. Los datos plasman una realidad que, en materia de conservación, puede ser un importante foco a nivel de inversión en materia de reducción de emisiones.

Además, según un estudio realizado por (López Redondo, n.d.) se pueden llegar a ahorrar 1.600.000 toneladas de CO₂ anuales, conclusiones del estudio “Análisis de la relación entre el estado de conservación del pavimento, el consumo de combustible y las emisiones de los vehículos”.

Este estudio confirma que en vehículos ligeros las emisiones de CO₂ disminuyen una media de 3.5% al circular por asfalto bien conservado, llegando a 4% en vehículos pesados.

De hecho, en pavimentos con un deterioro estructural importante, los vehículos ligeros llegan a emitir hasta un 9% de CO₂ más, y un 6% los vehículos pesados.

En pavimentos con deterioro superficial las limitaciones ascienden un 5 y 4% más para cada uno de los vehículos.

En España, en la última auditoría, se estimaba que en torno al 53% de las carreteras del país presentaban deterioros importantes en el pavimento, repavimentación de las cuales reduciría las emisiones de CO₂ un 6%.

Además, el mal estado de las carreteras destaca aspectos de los vehículos como neumáticos y suspensiones además de comprometer la seguridad, efectos concomitantes que incrementarían el efecto que tiene sobre el clima el mal estado de nuestras carreteras, pues reducen la vida útil de los vehículos que transitan por ellas.

El estudio citado es el que se emplea como referencia en el presente proyecto, estimando en un 4% como módulo de incremento de emisiones y considerando posibles incrementos del 50% por el singular mal estado de los caminos.

Este estudio nos sirve de guía y de sustente, para confirmar la utilidad e importancia del proyecto a realizar y su perfecto acomodo en los objetivos de los planes Next Generation, pues coinciden con sus objetivos.

2.4.1.- Estrategias de reducción de emisiones basadas en la relación pavimento/neumático.

En cuanto a la relación del neumático con el pavimento (PVI), esta se reduce a tres factores:

La aspereza (accidentalidad o suavidad del camino) característicos aspectos como las grietas, baches o la rugosidad.

La textura (abrasividad de la superficie) que determina la tracción del vehículo en condiciones mojadas.

La deflexión (flexión del pavimento bajo el peso de un vehículo) importante en vehículos pesados, y determinada por el tiempo y diseño del pavimento. Por esta razón, los vehículos trabajan más cuando la desviación (deflexión) del pavimento es mayor.

Consecuentemente, el consumo excesivo de combustible y por tanto, las emisiones generadas pueden reducirse con carreteras rígidas (llegando a reducir el consumo de los camiones de 40t hasta un 4%) y pavimentos suaves.

Como apunte, cabe destacar el caso de California, que, mediante un estudio realizado por el departamento de transportes de California, descubrieron que el PVI representaba el 1% del consumo total de combustible en las carreteras de California, un total de 3.785,40 millones de litros de combustible anuales.

Concluimos que las acciones de diseño y mantenimiento de las carreteras pueden reducir el uso de combustibles y, por tanto, las emisiones de GEIS.

3.- LEGISLACIÓN DE APLICACIÓN Y REFERENCIAS

- Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras.
- Ley 6/1991 de la Generalitat Valenciana, de 27 de marzo, de carreteras de la Comunidad Valenciana.
- PPTG para obras de conservación de carreteras.
- Orden de 28 de noviembre de 2008, de la Conselleria d'Infraestructures i Transport, por la que se aprueba la norma de secciones de firmes de la Comunitat Valenciana.
- Decreto 49/2013, de 12 de abril, del Consell, por el que se aprueba el Catálogo del Sistema Viario de la Comunitat Valenciana.
- Caminos Rurales. Proyectos y construcción. MAPA-IRYDA-Mundi-Prensa. 2003.
- Carreteras urbanas. Recomendaciones para su planeamiento y proyecto. MOPT. 1992.
- Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio, de estudios y proyectos de carreteras. MOPU. Octubre 1990.
- Metodología para la evaluación de proyectos de inversión en carreteras. MOPU. 1980.
- PPTG para obras de carreteras y puentes (PG-3) y para obras de conservación de carreteras (PG-4)
- Orden FOM/3460/2003, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la norma 6.1 IC secciones de firme, de la instrucción de carreteras.
- Orden de 2 de julio de 1976 por la que se confiere efecto legal a la publicación del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes de la Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales (P. G. 3)
- Orden de 28 de septiembre de 1989 por la que se modifica el artículo 104 del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes.

- Orden FOM/475/2002, de 13 febrero, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes relativos a hormigones y aceros.
- Orden FOM/1382/2002, de 16 mayo, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes relativos a la construcción de explanaciones, drenajes y cimentaciones.
- Orden FOM/2523/2014, de 12 de diciembre, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a materiales básicos, a firmes y pavimentos, y a señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos.
- Orden FOM/510/2018, de 8 de mayo, por la que se modifica la Orden FOM/2523/2014, de 12 de diciembre, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a materiales básicos, a firmes y pavimentos, y a señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos.
- Orden FOM/3459/2003, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la norma 6.3 IC: rehabilitación de firmes, de la instrucción de carreteras.
- NLT-357/98 Ensayo de carga con placa.
- Masas máximas por eje permitidas RD 2822/1998.

Referencias

- Poor road quality costs consumers at the pump and boosts greenhouse emissions²
- Impacts of Road Grade on Fuel Consumption and Carbon Dioxide Emissions Evidenced by Use of Advanced Navigation Systems³.
- Impact of Road Quality, Traffic Management and Driver Training on Vehicular Emissions and Fuel Economy- An Experimental Study on Indian Roads⁴.
- Rigid Roads Can Reduce Fuel Consumption⁵.
- Así es cómo el estado de la carretera influye en las emisiones de los coches⁶.
- Categoría de vehículos en España⁷.
- Consumo y emisiones de CO₂.⁸
- Manual de Aspectos Constructivos de Caminos Naturales⁹.
- Base de Precios para proyectos del Programa de Caminos Naturales¹⁰.

² <https://eu.usatoday.com/story/opinion/2018/09/18/fuel-efficiency-greenhouse-gas-emissions-study-road-quality-construction-column/1330154002/>

³ https://www.researchgate.net/publication/238197050_Impacts_of_Road_Grade_on_Fuel_Consumption_and_Carbon_Dioxide_Emissions_Evidenced_by_Use_of_Advanced_Navigation_Systems

⁴ https://www.researchgate.net/publication/288204528_Impact_of_Road_Quality_Traffic_Management_and_Driver_Training_on_Vehicular_Emissions_and_Fuel_Economy-An_Experimental_Study_on_Indian_Roads

⁵ <https://www.wired.com/2012/05/rigid-roads-can-reduce-fuel-consumption/>

⁶ <https://movilidadelectronica.com/asi-es-como-el-estado-de-la-carretera-influye-en-las-emisiones-de-los-coches/>

⁷ <https://www.itvtresaguas.es/conoce-la-clasificacion-de-los-tipos-de-vehiculos-en-espana/>

⁸ <https://coches.idae.es/consumo-de-carburante-y-emisiones>

⁹ https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/210225_manualasconstructivos_2020_tcm30-559615.pdf

¹⁰ https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/210225_base_de_precios_tcm30-559613.pdf

- Guía metodológica para la elaboración de Proyectos de Caminos Naturales Guía metodológica para la elaboración de Proyectos de Caminos Naturales¹¹.

4.- ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Los estudios referenciados en los antecedentes nos aportan la información de referencia para la aplicación de ésta en los estudios de misiones de los vehículos agrarios.

El estudio se realiza en la comarca del Comtat (Alicante) Comunidad Valenciana.

Se realiza el proyecto mediante el desarrollo de unos datos base que se disponen de las poblaciones de la comarca.

4.1.- Determinación de la longitud de los caminos rurales

A partir de la herramienta Visor GVA, se ha podido acceder a la capa de “caminos”:

Red de transporte >> Transporte carretera >> Sistema viario >> Caminos

Esta capa ha sido integrada por el Instituto Cartográfico Valenciano a partir de la integración de los datos provenientes de las siguientes fuentes: Institut Cartogràfic Valencià Centro de Gestión i Seguridad Vial (CEGESEV) Servicio de Planificación (Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio) Servicio de Gestión del Transporte Público (Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio) Servicio de Administración de Puertos y Aeropuertos (Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio) Servicio de Explotación de Puertos (Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio) Instituto Geográfico Nacional (IGN) Dirección General del Catastro Instituto Nacional de Estadística (INE) Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) Ferrocarriles de la Generalitat Valenciana (FGV) Enaire. Gestor de navegación aérea de España.

Una vez obtenida, mediante la herramienta QSIG se han filtrado las longitudes de caminos por municipios, pues los trazados de los caminos no están unidos, sino que son, en su mayoría polilíneas asiladas. Es decir, se puede obtener la longitud total de caminos, pero no se dispone de metadatos para catalogarlos, lo que supone una carestía a la hora de catalogarlos adecuadamente y referenciarlos, pues se consideran iguales los caminos particulares de acceso a la parcela que los caminos comunales. Empleando un símil, no podemos distinguir entre las arterias o los vasos capilares, lo que nos obliga a realizar tratamientos de la información que se expresan el posteriores puntos del presente proyecto.

¹¹ https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/guiametodologicaparaelaboraciondeproyectos_tcm30-564051.pdf

Con las salvedades expuestas, se obtienen los siguientes resultados:

MUNICIPIO	LONG. DE CAMINO (km)
Agres	116,79
Alcocer de Planes	20,99
Alcoleja	47,58
Alfafara	63,57
Almudaina	37,99
Balones	42,31
Benasau	32,12
Beniarrés	56,83
Benilloba	37,80
Benillup	12,93
Benimarfull	30,37
Benimassot	38,00
Cocentaina	238,81
Fageca	20,99
Famorca	8,40
Gaianes	44,02
Gorga	37,35
l'Alqueria d'Asnar	4,55
Lorcha/l'Orxa	55,75
Millena	34,34
Muro de Alcoy	115,16
Planes	181,68
Quatretondeta	61,77
Tollos	52,98
TOTAL	1.393,07

Tabla 1 Longitud de caminos rurales por municipio. Elaboración propia.

4.2.- Uso de los caminos rurales en la comarca de El Comtat

Conocer el uso de los caminos rurales de El Comtat constituye el punto inicial para evaluar el potencial ahorro de emisiones y, a la vez, conocer la intensidad media diaria (IMD) que nos permita calcular, en su momento, la sección de firme oportuna a partir del PG3, que es la legislación de referencia.

Dado que no se dispone de recursos para poder instalar contadores de vehículos durante un tiempo determinado, pues además los datos podrían ser poco significativos porque el uso de esta infraestructura rural depende de los cultivos que atienda y la época de año en el que nos encontremos, pues agrónicamente hablando no en todos los momentos del ciclo de cultivo se requiere la misma atención, se desarrolla una metodología indirecta basada en el mapa de

cultivos y la estimación de viajes a la parcela en función de las necesidades agronómicas por tipo de cultivo.

A partir del Informe del Sector Agrario que publica anualmente la Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica, se puede obtener la superficie de cultivos por municipio, que se incluyen como ANEXO I Estimación de parcelas de los grupos de cultivo.

Se dispone de la siguiente información por municipio:

MUNICIPIO	GRUPO DE CULTIVO	CULTIVO	SECANO (hectáreas)	REGADIO (hectáreas)	SUPERFICIE CULTIVADA (hectáreas)
AGRES	OLIVAR	OLIVAR DE A. PARA ACEITE	345	67	412
AGRES	CULTIVOS INDUSTRIALES	GIRASOL	35	37	72
AGRES	FRUTALES	ALMENDRO	65	2	67
AGRES	CEREALES PARA GRANO	CEBADA	57	0	57
AGRES	CEREALES PARA GRANO	TRIGO	27	0	27
AGRES	FRUTALES	MANZANO	13	5	18
AGRES	FRUTALES	CEREZO Y GUINDO	12	3	15
AGRES	FRUTALES	CIRUELO	7	2	9
AGRES	FRUTALES	MELOCOTONERO	6	3	9
AGRES	CULTIVOS FORRAJEROS	OTROS FORRAJES VARIOS	6	0	6
AGRES	FRUTALES	PERAL	3	2	5
AGRES	FRUTALES	NOGAL	3	2	5
AGRES	VIÑEDO	UVA TRANSF. CULTIVO UNICO	4	0	4
AGRES	OLIVAR	OLIVAR ACEITUNA DE MESA	4	0	4
AGRES	CEREALES PARA GRANO	AVENA	3	0	3
AGRES	HORTALIZAS	TOMATE	0	2	2
AGRES	HORTALIZAS	CEBOLLA	0	2	2
AGRES	VIÑEDO	VIVEROS VID	0	2	2
AGRES	CULTIVOS FORRAJEROS	ESPARCETA	1	0	1
AGRES	HORTALIZAS	PIMIENTO	0	1	1
AGRES	HORTALIZAS	CALABAZA	0	1	1

Tabla 2 Caracterización de cultivos en el TM de Agres. Elaboración propia.

Como puede entenderse, en función de cada tipo de cultivo y de la condición de la parcela (secano o regadío) se realizarán una serie de visitas a la parcela.

Analizando todos los grupos de cultivo, se caracterizan las siguientes operaciones básicas, que son la referencia para estimar el número de visitas que va a requerir cada parcela en función de su condición (secano o regadío) y tipo de cultivo.

Labores	cereales	frutales	almendros	forrajeras	viñedo	hortalizas	olivar
1	arado o labreo	poda invernal	poda	preparación lecho de siembra + herbicida presiembra	Poda a mano	Preparación del terreno+abonado orgánico	Poda
2	sementera o siembra	trituration	trituration	siembra	Laboreo o control por herbicida	binado	triturar poda
3	abonado preemergencia	abonado	abonado	abonado	segundo laboreo preinvernal	recolección	abonado
4	escarda	aplicación insecticida	tratamiento herbicida	tratamiento postemergencia	vendimia en verde o aclareo		labores de labreo
5	siega o recolección	abonado+fungicida	labores de labreo	recolección	vendimia		aplicación producto fitosanitario
6		recolección	recolección fruto		abonado		posible 2ndo laboreo
7					tratamiento al mildiu		recolección

Tabla 3 Determinación de trabajos agronómicos en función del grupo de cultivo. Elaboración propia.

En función de las labores requeridas, se realizará un número de visitas a la parcela ANEXO II Labores en los cultivos así como visitas diarias a la parcela para las labores menores o control de la producción.

A partir del desarrollo que puede seguirse en el citado anexo, se obtiene por municipio una tabla como la que se presenta:

s anuales	cereales	frutales secano	frutales regadío	almendros secano	almendros regadío	forrajeras	viñedo	hortalizas	olivar secano	viveros	olivar regadío
Coche personal	15	55	100	55	100	15	55	270	55	360	100
Tractor	5	4	4	4	4	4	4	2	5	0	5
Tractor + remolque	1	0	0	1	1	1	1	0	2	0	2
Furgo o camión	0	1	1	0	0	0	0	1	0	15	0

Tabla 4 Desplazamientos a parcela por tipo de cultivo. Elaboración propia.

Como se observa, en los desplazamientos a las parcelas se ha diferenciado el tipo de vehículo a emplear, pues en función del trabajo a realizar se podrá emplear uno u otro. Dicha discriminación es de especial importancia pues es necesaria para caracterizar la carga por eje de los vehículos que van a transitar por el camino, pues es un factor a considerar en el proceso de dimensionado del firme según la normativa de aplicación.

Por otro lado, dado que la información desarrollada viene referida a la parcela y al tipo de cultivo y esta información no está disponible en las estadísticas oficiales o en la información accesible de la GVA, se debe desarrollar una metodología para su determinación de forma indirecta.

Para este cálculo se parte del número de parcelas en secano y regadío por municipio, información que se obtiene a partir del volcado de la información del SIGPAC y su tratamiento mediante herramientas de información geográfica. En este caso se emplea el programa QGIS, mediante el cual, y de forma directa, se obtiene el total de elementos (parcelas) que tienen como propiedad ser de secano o considerarse de regadío.

Población	Total parcelas secano	Total parcelas regadío
AGRES	2.512	73
ALCOCER DE PLANES	427	11
ALCOLEJA	1.384	14
ALFAFARA	1.337	5
ALMUDAINA	1.602	0
ALQUERIA D'ASNAR (L')	66	8
BALONES	1.778	8
BENASAU	1.953	0
BENIARRÉS	3.570	33
BENILLOBA	1.276	0
BENILLUP	562	2
BENIMARFULL	1.160	0
BENIMASSOT	1.082	1
COCENTAINA	5.090	62
FACHECA	901	1
FAMORCA	607	0
GAIANES	1.941	1
GORGA	1.623	7
LORCHA/ORXA (L')	1.802	6
MILLENA	1.383	0
MURO DE ALCOY	2.963	38
PLANES	5.113	27
QUATRETONDETA	1.735	3
TOLLOS	616	0

Tabla 5. Distribución de parcelas secano/regadío por municipio. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, a partir de las estadísticas oficiales podemos determinar qué porcentaje de parcelas son de secano y regadío respectivamente al igual que la distribución porcentual de parcelas por tipos de cultivos. Es decir, si sabemos el número de parcelas de secano y de regadío, la cantidad de hectáreas de secano y de regadío y la cantidad de hectáreas por cada tipo de cultivo, se puede estimar la cantidad de parcelas por cada tipo de cultivo en secano y en regadío, e incluso, la dimensión media de cada parcela en por tipo de cultivo tanto en secano como en regadío.

Es evidente que esta simplificación en la caracterización no es precisa, pero sí responde a una tendencia significativa, por lo que el error absoluto esperable puede ser considerado como asumible para el problema que se pretende resolver.

Población	ha secano	ha regadío	Total parcelas secano	Total parcelas regadío
AGRES	591	131	2.512	73

Tamaño medio de parcela de secano: 0,2352 hectáreas.

Tamaño medio de parcela de regadío: 0,5573 hectáreas.

MUNICIPIO	GRUPO DE CULTIVO	CULTIVO	SECANO (hectáreas)	% respecto total secano	REGADIO (hectáreas)	% respecto total regadío	SUPERFICIE CULTIVADA (hectáreas)	Estimación parcelas secano	Estimación parcelas regadío
AGRES	Olivar	Olivar de a. Para aceite	345	58,38%	67	51,15%	412	1. 467	38
AGRES	Cultivos industriales	Girasol	35	5,92%	37	28,24%	72	149	21
AGRES	Frutales	Almendro	65	11,00%	2	1,53%	67	277	2
AGRES	Cereales para grano	Cebada	57	9,64%	0	0,00%	57	243	0
AGRES	Cereales para grano	Trigo	27	4,57%	0	0,00%	27	115	0
AGRES	Frutales	Manzano	13	2,20%	5	3,82%	18	56	3
AGRES	Frutales	Cerezo y guindo	12	2,03%	3	2,29%	15	52	2
AGRES	Frutales	Ciruelo	7	1,18%	2	1,53%	9	30	2
AGRES	Frutales	Melocotonero	6	1,02%	3	2,29%	9	26	2
AGRES	Cultivos forrajeros	Otros forrajes varios	6	1,02%	0	0,00%	6	26	0
AGRES	Frutales	Peral	3	0,51%	2	1,53%	5	13	2
AGRES	Frutales	Nogal	3	0,51%	2	1,53%	5	13	2
AGRES	Viñedo	Uva transf. Cultivo único	4	0,68%	0	0,00%	4	18	0
AGRES	Olivar	Olivar aceituna de mesa	4	0,68%	0	0,00%	4	18	0
AGRES	Cereales para grano	Avena	3	0,51%	0	0,00%	3	13	0
AGRES	Hortalizas	Tomate	0	0,00%	2	1,53%	2	0	2
AGRES	Hortalizas	Cebolla	0	0,00%	2	1,53%	2	0	2
AGRES	Viñedo	Viveros vid	0	0,00%	2	1,53%	2	0	2
AGRES	Cultivos forrajeros	Esparceta	1	0,17%	0	0,00%	1	5	0
AGRES	Hortalizas	Pimiento	0	0,00%	1	0,76%	1	0	1
AGRES	Hortalizas	Calabaza	0	0,00%	1	0,76%	1	0	1

Tabla 6. Estimación de parcelas por tipo de cultivo, uso y municipio. Elaboración propia.

Si esta información (número de parcelas por tipo de cultivo en secano o en regadío) se cruza con las necesidades de acceso a la parcela indicadas en la Tabla 4 Desplazamientos a parcela por tipo de cultivo. Elaboración propia. se puede calcular el número de desplazamientos por tipo de vehículo y municipio.

MUNICIPIO	GRUPO DE CULTIVO	CULTIVO	Total visitas parcela (coche) en secano	Total visitas parcela (Tractor) en secano	Total visitas parcela (Tractor + remolque) en secano	total visitas parcela (Furgón o camión) en secano	Total visitas parcela (coche) en regadío	Total visitas parcela (Tractor) en regadío	Total visitas parcela (Tractor + remolque) en regadío	Total visitas parcela (Furgón o camión) en regadío
AGRES	Olivar	Olivar de a. Para aceite	80. 685	7. 335	2. 934	0	3. 800	190	76	0
AGRES	Cultivos industriales	Girasol	2. 235	596	149	0	0	84	21	0
AGRES	Frutales	Almendro	15. 235	1. 108	0	277	200	8	0	2
AGRES	Cereales para grano	Cebada	3. 645	1. 215	243	0	0	0	0	0
AGRES	Cereales para grano	Trigo	1. 725	575	115	0	0	0	0	0
AGRES	Frutales	Manzano	3. 080	224	0	56	300	12	0	3
AGRES	Frutales	Cerezo y guindo	2. 860	208	0	52	200	8	0	2
AGRES	Frutales	Ciruelo	1. 650	120	0	30	200	8	0	2

AGRES	Frutales	Melocotonero	1.430	104	0	26	200	8	0	2
AGRES	Cultivos forrajeros	Otros forrajes varios	390	104	26	0	0	0	0	0
AGRES	Frutales	Peral	715	52	0	13	200	8	0	2
AGRES	Frutales	Nogal	715	52	0	13	200	8	0	2
AGRES	Viñedo	Uva transf. Cultivo único	990	72	18	0	0	0	0	0
AGRES	Olivar	Olivar aceituna de mesa	990	90	36	0	0	0	0	0
AGRES	Cereales para grano	Avena	195	65	13	0	0	0	0	0
AGRES	Hortalizas	Tomate	0	0	0	0	540	4	0	2
AGRES	Hortalizas	Cebolla	0	0	0	0	540	4	0	2
AGRES	Viñedo	Viveros vid	0	0	0	0	110	8	2	0
AGRES	Cultivos forrajeros	Esparceta	75	20	5	0	0	0	0	0
AGRES	Hortalizas	Pimiento	0	0	0	0	270	2	0	1
AGRES	Hortalizas	Calabaza	0	0	0	0	270	2	0	1

Tabla 7. Estimación de visitas a parcelas por tipo de cultivo, uso y municipio. Elaboración propia.

La información completa para toda la comarca se adjunta como ANEXO III. Desplazamientos a parcela.

Una vez conocidos todos los desplazamientos para dar servicio al conjunto de las explotaciones de cada municipio resta por determinar el número de kilómetros de circulación por caminos rurales que este uso implica.

Para este caso se podría emplear un sistema de información geográfica para determinarlos de forma directa, pero al tener una información no operable (se trata de trazas no conectadas) no puede desarrollarse un modelo para tal fin. Por este motivo se debe de volver a desarrollar una metodología para la estimación indirecta de este valor ya que sí se dispone de información de partida útil para este fin.

Para ello se considera que núcleo urbano se sitúa en el centro del área de la población y consideramos un área circular. Con ello podemos estimar el radio medio de desplazamiento máximo. En este cálculo también se realiza la simplificación de que después de cada visita a cada parcela se vuelve al punto de origen, cuestión que en la realidad no tiene que ser necesariamente de esta forma, sino que puede irse de una parcela a otra; no obstante la estructura de la propiedad de la comarca y las experiencias del que redacta el presente proyecto es que las parcelas se encuentran separadas entre sí, es decir no están agrupadas siguiendo un orden lógico o esperable, sino que más bien responde a una distribución aleatoria, por lo que la simplificación sigue siendo válida a efectos de conocer un valor medio.

Geoméricamente hablando, la distancia media sería justamente la mitad del radio de esta circunferencias, pero la distancia real dista significativamente de ésta, pues los caminos no discurren en línea recta y en terreno llano, sino que salvan diferencias de cota y el trazado se ajusta a las curvas de nivel para seguir trayectos de cota más o menos constante y, además, el camino también responde a cuestiones geográficas y de la propiedad, bordeando con ello parcelas, propiedades y otras limitaciones. Es por ello por lo que se estima ubicar el desplazamiento medio en $\frac{3}{4}$ del radio calculado.

Población	Distancia a parcela	Distancia Ida/vuelta
AGRES	2,30	4,60
ALCOCER DE PLANES	0,99	1,98
ALCOLEJA	1,95	3,91
ALFAFARA	2,05	4,10
ALMUDAINA	1,36	2,73
ALQUERIA D'ASNAR (L')	0,79	1,58
BALONES	1,73	3,47
BENASAU	1,62	3,23
BENIARRÉS	2,17	4,35
BENILLOBA	1,64	3,28
BENILLUP	1,02	2,05
BENIMARFULL	1,12	2,24
BENIMASSOT	1,49	2,98
COCENTAINA	3,83	7,66
FACHECA	1,62	3,23
FAMORCA	1,43	2,86
GAIANES	1,40	2,80
GORGA	1,77	3,54
LORCHA/ORXA (L')	2,66	5,32
MILLENA	1,63	3,26
MURO DE ALCOY	3,02	6,04
PLANES	2,99	5,98
QUATRETONDETA	1,96	3,91
TOLLOS	2,00	4,01

Tabla 8. Distancias medias recorridas. Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecido este dato, sumamos los kilómetros recorridos por población y se procede a multiplicar los kilómetros totales de cada vehículo por la distancia de ida y vuelta de la población a la parcela y viceversa.

MUNICIPIO	GRUPO DE CULTIVO	CULTIVO	Kilómetros anuales coche	Kilómetros anuales vehículos agrarios (Tractor)	Kilómetros anuales vehículos agrarios (Tractor + remolque)	Kilómetros anuales vehículos agrarios (Furgón o camión)
AGRES	Olivar	Olivar de a. Para aceite	388.719,63	34.622,89	13.849,16	0,00
AGRES	Cultivos industriales	Girasol	10.283,34	3.128,71	782,18	0,00
AGRES	Frutales	Almendro	71.017,19	5.134,77	0,00	1.283,69
AGRES	Cereales para grano	Cebada	16.770,82	5.590,27	1.118,05	0,00
AGRES	Cereales para grano	Trigo	7.936,81	2.645,60	529,12	0,00
AGRES	Frutales	Manzano	15.551,55	1.085,85	0,00	271,46
AGRES	Frutales	Cerezo y guindo	14.079,21	993,83	0,00	248,46
AGRES	Frutales	Ciruelo	8.511,94	588,93	0,00	147,23
AGRES	Frutales	Melocotonero	7.499,71	515,32	0,00	128,83
AGRES	Cultivos forrajeros	Otros forrajes varios	1.794,41	478,51	119,63	0,00
AGRES	Frutales	Peral	4.209,96	276,06	0,00	69,02

AGRES	Frutales	Nogal	4.209,96	276,06	0,00	69,02
AGRES	Viñedo	Uva transf. Cultivo unico	4.555,04	331,28	82,82	0,00
AGRES	Olivar	Olivar aceituna de mesa	4.555,04	414,09	165,64	0,00
AGRES	Cereales para grano	Avena	897,20	299,07	59,81	0,00
AGRES	Hortalizas	Tomate	2.484,57	18,40	0,00	9,20
AGRES	Hortalizas	Cebolla	2.484,57	18,40	0,00	9,20
AGRES	Viñedo	Viveros vid	506,12	36,81	9,20	0,00
AGRES	Cultivos forrajeros	Esparceta	345,08	92,02	23,01	0,00
AGRES	Hortalizas	Pimiento	1.242,28	9,20	0,00	4,60
AGRES	Hortalizas	Calabaza	1.242,28	9,20	0,00	4,60

Tabla 9. Distribución de distancias recorridas en Agres por tipo de vehículo. Fuente: Elaboración propia.

Sumando los desplazamientos por tipo de vehículo y municipio, se obtiene el siguiente cuadro resumen:

Población	Kilómetros anuales coche	Kilómetros anuales vehículos agrarios (Tractor)	Kilómetros anuales vehículos agrarios (Tractor + remolque)	Kilómetros anuales vehículos agrarios (Furgón o camión)
AGRES	642.789,55	56.565,30	16.738,62	2.245,31
ALCOCER DE PLANES	72.624,61	4.184,21	1.366,35	186,14
ALCOLEJA	316.387,39	26.529,04	8.977,14	863,34
ALFAFARA	295.954,43	26.569,64	7.754,26	557,98
ALMUDAINA	292.981,10	20.474,86	5.863,99	1.453,72
ALQUERIA D'ASNAR (L')	38.462,16	561,32	196,07	20,56
BALONES	380.519,66	28.619,63	7.784,54	2.289,57
BENASAU	366.779,13	31.185,76	11.766,14	442,60
BENIARRÉS	932.476,37	76.805,47	28.376,60	1.438,83
BENILLOBA	250.563,72	19.931,76	6.072,88	1.048,18
BENILLUP	63.800,49	5.357,36	1.608,85	268,48
BENIMARFULL	179.704,99	12.055,68	3.368,07	803,41
BENIMASSOT	178.233,10	15.660,56	5.430,70	515,37
COCENTAINA	2.637.860,36	191.173,51	66.194,60	6.536,70
FACHECA	160.303,39	14.230,52	5.144,18	342,51
FAMORCA	95.723,77	8.616,28	3.309,11	85,88
GAIANES	305.674,70	26.102,31	8.709,17	1.058,20
GORGA	442.789,35	27.692,49	9.030,08	1.123,00
LORCHA/ORXA (L')	576.491,28	46.883,49	16.379,95	1.521,98
MILLENA	271.925,44	21.554,15	7.165,19	852,92
MURO DE ALCOY	1.116.379,13	89.123,01	32.890,13	1.722,15
PLANES	1.870.104,63	142.749,74	39.655,03	10.825,33
QUATRETONDETA	391.409,33	33.561,66	12.742,56	402,85
TOLLOS	136.002,32	12.007,16	4.232,16	356,69
TOTALES	12.015.940,40	938.194,89	310.756,37	36.961,71

Tabla 10. Distribución de distancias recorridas en El Comtat por tipo de vehículo. Fuente: Elaboración propia

Lo que alcanza un total de **13.301.853,37 km** anuales en desplazamientos por caminos rurales en toda la comarca de El Comtat.

4.3.- Cálculo de emisiones de GEI

Las necesidades de transporte varían en función del tipo de operación que se tenga que hacer; de este modo, en unos casos (la mayoría) bastará con ir a la parcela con un turismo y en otras ocasiones se requerirá tractores, furgones o camiones.

Resulta evidente que no todos los vehículos contaminan por igual, por lo que se han caracterizado, desde el punto de vista de las emisiones potenciales los distintos vehículos a emplear, desarrollo que se incluye en el ANEXO IV Tipificación del parque móvil agrario con el objetivo de homogenizar el consumo y poder calcular las emisiones generadas.

Tal y como se apunta en los antecedentes, empleando la metodología propuesta se determina que por cada litro de gasoil se emiten un total de 2640 gramos de CO₂-eq.

Tomamos este dato de referencia y la información estimada para cada vehículo tipificado, se calculan las emisiones de CO₂-eq.

Visitas anuales	Consumo (l/100km)	Consumo (l/h)	Emisiones (gCO ₂ /l)	Velocidad en los caminos rurales (Km/h)
Turismo	4,35		2. 640	
Tractor	20	5	2. 690	25
Tractor + remolque	30	7,5	2. 690	20
Furgo o camión	8,9		2. 640	

Tabla 11. Caracterización de emisiones. Fuente: Elaboración propia.

No obstante, estos valores han sido obtenidos mediante ensayos normalizados que obvian el modo de conducción (que en el caso que nos ocupa es no profesional y por lo tanto menos eficiente) y la pendiente (pues se hacen en bancos de prueba y no en medio real). Por ello se debe proceder a realizar una mayoración de las emisiones obtenidas en función de la morfología del terreno, adoptando un factor de ponderación del 1.5 en poblaciones con una pendiente media de entre el 5 y el 10% y un factor de 2 en poblaciones en las que las pendientes medias superan el 10%, debido al aumento del consumo por mayores aceleraciones, frenadas y arrancadas y el requerimiento de mayor potencia para superar las pendientes.

A partir de la información geográfica accesible de Instituto Cartográfico Valenciano se obtiene el siguiente cuadro de pendientes medias expresadas en %:

MUNICIPIO	PENDIENTE
Agres	13,61
Alcocer de Planes	6,28
Alcoleja	17,25
Alfafara	13,10
Almudaina	15,64
Balones	14,76
Benasau	17,07
Beniarrés	13,99
Benilloba	10,55
Benillup	16,32
Benimarfull	8,17
Benimassot	14,74
Cocentaina	14,49
Fageca	18,24
Famorca	20,44
Gaianes	12,39
Gorga	11,20
l'Alqueria d'Asnar	6,63
Lorcha/l'Orxa	19,81
Millena	15,53
Muro de Alcoy	11,78
Planes	14,85
Quatretondeta	18,93
Tollos	17,64

Tabla 12. Pendientes medias. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente de mayoran las emisiones con un coeficiente de 1,5 (es decir, se incrementan un 50%) por efecto de la obsolescencia del parque móvil, ya que, según (Agroclm, 2020) la edad media de la maquinaria agrícola (tractores) en España es de 15 años. En estos últimos años, los consumos de los nuevos vehículos han disminuido notablemente por la incorporación de nueva tecnología, por lo que es de esperar dicho consumo mayor al teórico.

De esta forma, en función de las emisiones de CO_{2-eq} por litro de combustible, el consumo de los vehículos, la velocidad media y la corrección por pendiente y obsolescencia del parque móvil, se calculan las emisiones totales y para cada uno de los vehículos.

Población	Emisiones vehículo propio (gCO ₂ /l)	Emisiones Tractores (gCO ₂ /l)	Emisiones Tractor + remolque (gCO ₂ /l)	Emisiones furgoneta-camión (gCO ₂ /l)	Emisiones/población (gCO ₂ /l)	Ponderación pendiente	Emisiones ponderadas pendiente	Emisiones totales (Kg)
AGRES	73.817.952,28	30.432.129,59	13.508.063,38	527.558,49	118.285.703,73	2	236.571.407,46	354.857,11
ALCOCER DE PLANES	8.340.210,45	2.251.103,57	1.102.646,56	43.735,64	11.737.696,23	1,5	17.606.544,34	26.409,82
ALCOLEJA	36.333.928,01	14.272.622,35	7.244.548,56	202.849,52	58.053.948,43	2	116.107.896,86	174.161,85
ALFAFARA	33.987.407,19	14.294.465,82	6.257.691,57	131.102,71	54.670.667,28	2	109.341.334,56	164.012,00
ALMUDAINA	33.645.949,26	11.015.472,87	4.732.236,58	341.566,76	49.735.225,48	2	99.470.450,96	149.205,68
ALQUERIA D'ASNAR (L')	4.416.994,55	301.989,23	158.225,34	4.829,68	4.882.038,81	1,5	7.323.058,21	10.984,59
BALONES	43.698.878,06	15.397.360,95	6.282.123,27	537.957,46	65.916.319,74	2	131.832.639,48	197.748,96
BENASAU	42.120.915,32	16.777.937,04	9.495.272,98	103.994,05	68.498.119,38	2	136.996.238,76	205.494,36

BENIARRÉS	107.085.586,19	41.321.341,76	22.899.913,89	338.066,47	171.644.908,31	2	343.289.816,63	514.934,72
BENILLOBA	28.774.737,34	10.723.288,57	4.900.816,03	246.279,94	44.645.121,88	2	89.290.243,76	133.935,37
BENILLUP	7.326.848,12	2.882.257,27	1.298.338,92	63.082,68	11.570.526,99	2	23.141.053,99	34.711,58
BENIMARFULL	20.637.321,33	6.485.953,76	2.718.032,42	188.770,00	30.030.077,51	1,5	45.045.116,27	67.567,67
BENIMASSOT	20.468.288,94	8.425.382,09	4.382.577,01	121.090,31	33.397.338,34	2	66.794.676,68	100.192,02
COCENTAINA	302.931.884,06	102.851.349,93	53.419.046,02	1.535.862,58	460.738.142,58	2	921.476.285,16	1.382.214,43
FACHECA	18.409.241,41	7.656.020,15	4.151.356,98	80.477,28	30.297.095,82	2	60.594.191,65	90.891,29
FAMORCA	10.992.917,66	4.635.560,93	2.670.452,71	20.177,56	18.319.108,86	2	36.638.217,71	54.957,33
GAIANES	35.103.682,37	14.043.041,10	7.028.298,08	248.635,06	56.423.656,61	2	112.847.313,22	169.270,97
GORGA	50.849.928,64	14.898.559,63	7.287.276,80	263.860,93	73.299.626,01	2	146.599.252,02	219.898,88
LORCHA/ORXA (L')	66.204.258,44	25.223.316,10	13.218.620,93	357.605,32	105.003.800,79	2	210.007.601,58	315.011,40
MILLENA	31.227.918,05	11.596.134,11	5.782.304,30	200.402,25	48.806.758,71	2	97.613.517,41	146.420,28
MURO DE ALCOY	128.204.979,53	47.948.178,57	26.542.335,34	404.637,43	203.100.130,87	2	406.200.261,74	609.300,39
PLANES	214.762.815,31	76.799.357,85	32.001.608,39	2.543.520,18	326.107.301,73	2	652.214.603,47	978.321,91
QUATRETONDETA	44.949.447,16	18.056.174,77	10.283.245,09	94.653,51	73.383.520,52	2	146.767.041,04	220.150,56
TOLLOS	15.618.506,34	6.459.851,66	3.415.355,49	83.807,41	25.577.520,89	2	51.155.041,78	76.732,56

Tabla 13. Distribución de emisiones por tipo de vehículo. Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo un total de 6.397 T de emisiones de CO₂-eq por año.

4.4.- Auscultación de los de los caminos rurales de la comarca de El Comtat

Según la **ORDEN FOM/3459/2003, DE 28 DE NOVIEMBRE, POR LA QUE SE APRUEBA LA NORMA 6.3 IC: REHABILITACIÓN DE FIRMES, DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS (BOE DE 12 DE DICIEMBRE DE 2003)**: “La necesidad de una rehabilitación estructural se planteará si concurre alguna de las circunstancias siguientes:

1. Agotamiento estructural del firme.
2. Previsión de crecimiento importante de la intensidad de tráfico pesado.
3. Gastos excesivos de conservación ordinaria.
4. Afección significativa a la vialidad de las actuaciones de conservación ordinaria.”

Para determinar si concurren estas circunstancias y, sobre todo, si el estado del firme es deficiente desde el punto de vista de eficiencia en la conducción, se realiza un estudio de campo en el que se realiza un muestreo aleatorio de los caminos rurales de la comarca del Comtat en el que se desarrollan las siguientes cuestiones para la evaluación y categorización de los firmes según la norma anteriormente descrita.

– **Características del firme existente y estado del pavimento:**

- Sección estructural del firme de la calzada y de los arcenes (naturaleza y espesor de sus capas).
- Características de los materiales.
- Fecha de puesta en servicio.
- Tipos y fechas de realización de las distintas actuaciones de conservación o de rehabilitación del firme desde su construcción.

- Otras informaciones disponibles (inspección visual previa, auscultaciones, etc.) sobre el estado del firme y del pavimento, de las que se intentará obtener la evolución estructural y superficial mediante la comparación de las características determinadas en diferentes campañas.
- **Entorno:**
 - Características geométricas (sección transversal y perfil longitudinal).
 - Características de la explanada.
 - Drenaje y su comportamiento, con definición de las zonas de posible acumulación de agua superficial o subterránea.
 - Condiciones climáticas de la zona.
 - Naturaleza del tramo (urbano, interurbano, ...).
- **Solicitaciones del tráfico:**
 - Intensidad y composición del tráfico, fundamentalmente del pesado, incluyendo previsiones sobre su evolución a medio y largo plazo, partiendo, si existen, de datos estadísticos.

En el ANEXO V Informes de evaluación del estado de los firmes se adjunta un estudio tipo realizado, así como en el presente link la totalidad de informes realizados (10):

<https://www.dropbox.com/sh/9gv4ijtfbgfskt/AAC1iZPUpVPXANeulktLwPRTa?dl=0>

Con carácter general, la caracterización de los firmes de los caminos rurales de El Comtat es:

- **Características del firme existente y estado del pavimento:**
 - Sección estructural del firme de la calzada notablemente degradada, capa de rodadura con un grado de desagregación importante (áridos sueltos). Inexistencia de arcenes y drenajes.
 - Materiales desgastados que superan la vida útil y que difícilmente cumplen sus funciones estructurales y funcionales.
 - Parcheados difuminados ejecutados de forma incorrecta. Sin un plan de mantenimiento o rehabilitación.
 - Zonas con socavones, agujeros, desplazamientos del material, zonas con total ausencia de capa de rodadura y falta de señalización.
- **Entorno:**
 - Las características geométricas se mantienen conforme a los trazados originales.
 - La explanada se encuentra en la mayoría de las ocasiones en buen estado, consecuencia, sin duda, de que, en la mayoría de casos, nos encontramos ante caminos existentes desde mucho tiempo atrás, por lo que su configuración se mantiene estable.

- Drenajes suficientes excepto en periodos de lluvias torrenciales, que no desaguan suficientemente provocando arrastras y erosiones. Es un caso origen de muchas patologías.
- Lluvias torrenciales cada vez más frecuentes y heladas cada vez menos habituales.

– **Solicitaciones del tráfico:**

- Coherente a lo descrito en los anteriores puntos de la memoria.

A partir de la información geográfica de la que se dispone, la revisión de imágenes satélite de uso público y el muestreo realizado, se estima de forma indirecta las necesidades de actuación sobre el total de los caminos rurales de El Comtat a partir de las siguientes aproximaciones:

- Un tercio de los caminos rurales son particulares, por lo que las administraciones públicas no pueden actuar en ellos.
- Un 15% de los caminos de titularidad pública se encuentran en buen estado, por lo que no precisan actuación alguna.
- Los caminos que requieren actuación se estiman relacionados con la pendiente media del municipio, ya que a cuanto mayor sea ésta, mayor desgaste se prevé. De entre los caminos en muy mal estado, se estima que el 25% son caminos de hormigón, mientras que el resto son de materiales bituminosos.
- El resto de caminos que requieren actuación no presentan patologías no estructurales.

Municipio	Long. De camino (km)	Caminos particulares (km)	Caminos públicos en buen estado (km)	Caminos públicos con necesidades de actuación (km)	Caminos públicos caso 1 (km)	Caminos públicos caso 2 (km)	Caminos públicos caso 3 (km)
l'Alqueria d'Asnar	4,554	1,518	0,683	2,353	0,039	0,229	2,085
Famorca	8,398	2,799	1,260	4,339	0,222	0,000	4,117
Benillup	12,930	4,310	1,940	6,681	0,272	0,000	6,408
Alcocer de Planes	20,987	6,996	3,148	10,843	0,170	0,651	10,023
Fageca	20,989	6,996	3,148	10,844	0,495	0,000	10,350
Benimarfull	30,373	10,124	4,556	15,693	0,320	1,412	13,960
Benasau	32,119	10,706	4,818	16,595	0,708	0,498	15,389
Millena	34,343	11,448	5,151	17,744	0,689	0,665	16,390
Gorga	37,346	12,449	5,602	19,295	0,540	3,763	14,992
Benilloba	37,802	12,601	5,670	19,531	0,515	0,879	18,137
Almudaina	37,987	12,662	5,698	19,627	0,767	1,914	16,946
Benimassot	37,997	12,666	5,700	19,632	0,724	0,000	18,908
Balones	42,315	14,105	6,347	21,863	0,807	1,312	19,744
Gaianes	44,020	14,673	6,603	22,744	0,705	0,171	21,868
Alcoleja	47,582	15,861	7,137	24,584	1,060	0,553	22,971
Tollos	52,984	17,661	7,948	27,375	1,207	0,000	26,168
Lorcha/l'Orxa	55,746	18,582	8,362	28,802	1,426	0,648	26,728
Beniarrés	56,831	18,944	8,525	29,363	1,027	1,542	26,794
Quatretondeta	61,767	20,589	9,265	31,913	1,510	0,718	29,685
Alfafara	63,569	21,190	9,535	32,844	1,076	3,202	28,566

Muro de Alcoy	115,160	38,387	17,274	59,499	1,753	4,016	53,730
Agres	116,788	38,929	17,518	60,340	2,053	4,978	53,310
Planes	181,678	60,559	27,252	93,867	3,485	13,376	77,005
Cocentaina	238,808	79,603	35,821	123,384	4,471	34,239	84,674
TOTAL	1.393,07	464,36		719,75	26,04	74,77	618,95

Tabla 14. Distribución de soluciones de restauración por municipio. Fuente: Elaboración propia.

4.5.- Cálculo del exceso de emisiones por el mal estado de los caminos rurales de El Comtat

Como se ha citado anteriormente, según el estudio realizado por (López Redondo, n.d.) se cifra en un 4% el exceso de consumo de combustible en pavimentos reformados, valor que se emplea como referencia en el presente proyecto.

Según los cálculos descritos en el apartado 4.3.- Cálculo de emisiones de GEI, el exceso de emisiones por el mal estado de los caminos rurales es de 255,90 toneladas de CO_{2-eq} al año.

Esta cantidad, debe ser considerada a lo largo del ciclo de vida de las distintas soluciones que se pueden adoptar que, según el PG3, son firmes de hormigón o de materiales bituminosos.

Diversos autores y normas de aplicación establecen vidas útiles de 40 años para el hormigón y 30 años para los materiales bituminosos, por lo que el exceso de emisiones provocado a lo largo de la vida útil del firme es de 10.235 toneladas de CO_{2-eq} en el caso de hormigón y de 7.676 toneladas de CO_{2-eq} en el caso de materiales bituminosos.

Tal y como se ha señalado en el punto 4.4.- Auscultación de los de los caminos rurales de la comarca de El Comtat, aproximadamente 1/3 de la longitud total de los caminos rurales son de titularidad privada, por lo que no cabe margen de actuación en ellos, por lo que **el valor de referencia para calcular la afección de la restauración de firmes será de 6.823 toneladas de CO_{2-eq} en el caso de hormigón y de 5.117 toneladas de CO_{2-eq} en el caso de materiales bituminosos.**

5.- DISEÑO DE ALTERNATIVAS

Las alternativas estudiadas y consideradas son los firmes bituminosos y los de hormigón, cada cual con sus ventajas e inconvenientes. Generalmente, prima el firme bituminoso, excepto en zonas de elevada pendiente, pendientes expuestas al sol y terrenos inestables.

Esto es debido a que los caminos rurales tienen unas calzadas estrechas y en el caso de caminos con pendientes elevadas, donde abundan las curvas, las máquinas extendedoras de asfalto no pueden maniobrar. Además, en las zonas muy expuestas a la radiación solar (orientación sur/este) los materiales bituminosos se degradan mucho más rápidamente, observando

procesos de fluidificación de la capa de rodadura (el asfalto se derrite y se escurre) y fenómenos de cristalización, que hacen que el material se vuelva frágil y se descomponga más rápidamente.

De entre las ventajas del hormigón destaca el estudio de (Sergio Carrascón Ortiz, n.d.) en el que se concluye que el proceso de recarbonatación de los firmes de hormigón a lo largo de su vida útil, reabsorbe entre un 10 y 25% de la cantidad total de CO₂ liberado durante el proceso de producción.

Se ha demostrado, que la cantidad de CO₂ capturado después de 40 años por un muro de 20cm de espesor y con ambos lados expuestos, captura 20 kg de CO₂ por m³ de hormigón.

Llevando estos datos a nuestro objeto de estudio, un pavimento de hormigón está expuesto solamente por una cara y por ello, el CO₂ capturado está en torno a 10kg/m³, que corresponde con un 5% del CO₂ necesario para la producción de cemento para la misma superficie de pavimento. Cabe añadir que después de la vida útil del hormigón, este se puede triturar y, como la superficie total está en contacto con la atmósfera, continúa existiendo un alto potencial de captación de CO₂, pudiéndose absorber entre 15 y 35 kg por m³ en periodos de 2 a 3 años.

Cabe destacar que este proceso no es perjudicial para el acero de las estructuras armadas, ya que el proceso se lleva a cabo en los primeros 5-10mm de espesor en contacto con la atmósfera. Como apuntábamos anteriormente, el secuestro de CO₂ es limitado, porque simplemente los primeros mm son los que sufren dicho proceso, pero aun así, esto implica un ahorro importante.

Además, existen otros aspectos como la rigidez o la economía circular que hacen del hormigón una alternativa interesante para los caminos rurales.

No obstante, las alternativas son las definidas en el Pliego General de Carreteras (PG3), por lo que sólo se puede estudiar como alternativa la solución de firme bituminoso y la de firme de hormigón.

5.1.- Propuesta de soluciones

Se asigna la posibilidad de empleo de una solución o la otra en función de las condiciones del terreno, la climatología y el trazado.

Las soluciones adoptadas en general, se pueden resumir en:

- Se utilizará el firme de asfalto en la mayoría de situaciones, a no ser que, el terreno lo impida.
- En este caso, por pendientes muy pronunciadas (mayor rigidez del hormigón) pendientes expuestas al sol (El material bituminoso es una mezcla plástica, que puede deformarse con altas temperaturas) o alternativas que se consideren.

5.2.- Desarrollo proyecto tipo en secciones viarias

Con objeto de calcular las emisiones en los procesos de repavimentación de los firmes, se necesitan conocer las características de los firmes.

Según la norma 6.1 IC:

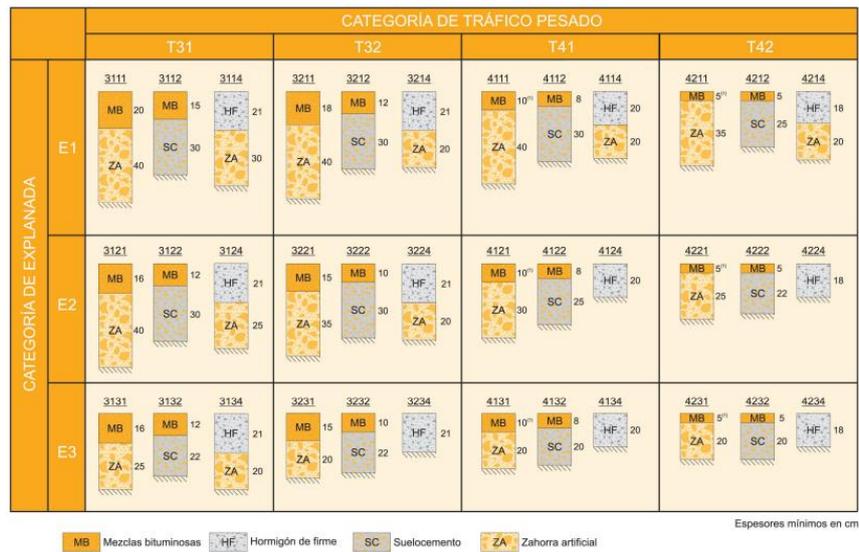


Gráfico 2. Secciones según el PG3. Fuente: Ministerio de Fomento.

Para conocer la sección de los firmes debemos caracterizar los vehículos pesados y la explanada con la que se cuenta.

5.2.1.- Cálculo de la Intensidad Media Diaria (IMD)

La IMD es un parámetro ampliamente conocido y actualizado para la red de carreteras públicas, pero inexistente para la red de caminos rurales, por ello, y ante la falta de fondos, incluso la ineficacia de éstos para calcularla en el caso de la tipología de vía que nos ocupa, nos obliga, de nuevo a diseñar un modelo para el cálculo indirecto de la misma.

En este caso, a partir de las imágenes satélite y de la información geográfica obtenida del Instituto Cartográfico Valenciano, se han localizado de visu los caminos principales de cada municipio, es decir, aquellos caminos con origen en el casco urbano que se van ramificando hasta alcanzar todas las parcelas agrarias. Es decir, las arterias principales de comunicación del medio agrario.

Conocidas las vías de mayor intensidad de paso y el número total de pases por año, se puede calcular la IMD:

Población	Total pases población anuales (vehículos pesados)	IMD vehículos pesados	Nº Caminos principales	IMDp caminos principales
AGRES	32064	87,85	5	17,57
ALCOCER DE PLANES	5686	15,58	4	3,89
ALCOLEJA	18158	49,75	3	16,58
ALFAFARA	16782	45,98	5	9,20
ALMUDAINA	19314	52,92	4	13,23
ALQUERIA D'ASNAR (L')	938	2,57	2	1,28
BALONES	20988	57,50	3	19,17
BENASAU	26590	72,85	4	18,21
BENIARRÉS	48784	133,65	6	22,28
BENILLOBA	15878	43,50	4	10,88
BENILLUP	7648	20,95	2	10,48
BENIMARFULL	14524	39,79	4	9,95
BENIMASSOT	14210	38,93	2	19,47
COCENTAINA	67170	184,03	7	24,66
FACHECA	11992	32,85	4	8,21
FAMORCA	8332	22,83	3	7,61
GAIANES	25140	68,88	5	13,78
GORGA	20812	57,02	5	11,40
LORCHA/ORXA (L')	23766	65,11	3	21,70
MILLENA	18114	49,63	3	16,54
MURO DE ALCOY	40364	110,59	7	15,80
PLANES	61400	168,22	3	56,07
QUATRETONDETA	23758	65,09	3	21,70
TOLLOS	8104	22,20	3	7,40

Tabla 15. IMD por municipio. Fuente: Elaboración propia.

Mediante los IMDp calculados, se procede a categoriza el tráfico según la norma 6.1 IC:

TABLA 1.B – DIVISIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 Y T4

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO (*)	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 25	< 25

Gráfico 3. Clasificación del tráfico. Fuente: Ministerio de Fomento.

IMDp:

Media	15,71
Máxima	56,07

En el caso que nos encontramos todos los firmes se categorizan como T42, excepto Planes al que correspondería un firme tipo T32.

5.2.2.- Estudio geotécnico

Para definir la categoría de la explanada, según la norma 6.1 IC, debemos apoyarnos con un estudio geotécnico ANEXO VII (Ensayo de carga con placa) el cual, según su módulo de compresibilidad, definiremos la categoría de la explanada en E1, E2 o E3.

CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
E_{v2} (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300

En la zona del Comtat, se distinguen perfectamente dos zonas geológicamente distintas separadas por el curso del río Serpis, que separa la comarca en dos partes. El margen izquierdo del río, es un afloramiento rocoso y la margen derecha de terreno predominantemente margoso-argiloso.

Los ensayos de carga con placa de la margen izquierda arrojan valores superiores a los 500 MPa, incluso dada la naturaleza rocosa del terreno en algunos puntos, se ha decidido no realizar dicho ensayo, pues se conoce que el valor será superior a los 1000 MPa.

En la margen derecha, los ensayos realizados, arrojan un módulo de deformación en el segundo ciclo de carga de acuerdo con la NLT-357, que oscila entre 315 y 372 MPa.

Por lo tanto, de acuerdo con la norma 6.1 IC, nos encontramos en la totalidad de los caminos, en categoría de explanada E3.

Estos resultados son lógicos y comprensibles, pues, como se ha indicado en el punto 4.4.- Auscultación de los de los caminos rurales de la comarca de El Comtat las explanadas se observan todas estables y correctamente formadas, sin ninguna duda fruto de trabajar sobre caminos existentes desde mucho tiempo atrás, y por lo tanto son caminos estables, que discurren sobre trazados donde la capa freática no influye y están compactados por el tránsito desde que existen vehículos a motor e incluso con muchísima más antigüedad.

5.2.3.- Descripción de las secciones

En el caso del diseño de las secciones hay poca alternativa, pues están definidas por la normativa de referencia.

En este caso, y como ya se ha calculado, nos encontramos en una tipología T42 E3, por lo que se puede repavimentar mediante Zahorra + Mezcla Bituminosa los firmes asfálticos y mediante Zahorra (presente en el terreno) + Hormigón de firme los firmes de hormigón. Se adjuntan los planos de las secciones de los firmes.

No obstante, la inspección de los caminos, nos arroja la siguiente casuística en la que se puede evitar la capa de zahorra al existir y ser válida mecánica y funcionalmente, tal y como muestran los resultados de los sondeos geotécnicos.

SECCIÓN 1: Camino de hormigón en muy mal estado:

Esta sección tipo comprende las siguientes actuaciones:

- Demolición de pavimento de hormigón de hasta 20 cm de espesor, de ancho más de 2 m con retroexcavadora con martillo rompedor y carga sobre camión con medios mecánicos.
- Transporte de residuos a instalación autorizada de gestión de residuos, con camión de 12 t y tiempo de espera para la carga a máquina, con un recorrido de más de 5 y hasta 10 km
- Repaso y compactación de suelo de zanja de más de 2 m de anchura, con medios mecánicos y compactación del 95 % PM
- Pavimento de hormigón vibrado de hormigón para pavimentos HF-3,5 MPa de resistencia a flexotracción y consistencia plástica, extendido desde camión, tendido y vibrado con extendedora, estriado longitudinal y juntas cortadas en fresco

Caso 2: Camino de asfalto en muy mal estado

- Demolición de pavimento de mezcla bituminosa de hasta 10 cm de espesor, de ancho más de 2 m con retroexcavadora con martillo rompedor y carga sobre camión con medios mecánicos
- Transporte de residuos a instalación autorizada de gestión de residuos, con camión de 12 t y tiempo de espera para la carga a máquina, con un recorrido de más de 5 y hasta 10 km
- Base de zahorras artificial procedente de áridos reciclados de hormigón colocada con motoniveladora y compactado del material al 98% del PM
- Pavimento de mezcla bituminosa drenante tipo PA 11 B 50/70 para capa de rodadura, con betún asfáltico de penetración y árido calcáreo, para una capa de rodadura de 4 cm de espesor

Caso 3: Repavimentación camino con mezcla bituminosa

- Fresado por cm de espesor de pavimento de mezclas bituminosas y carga sobre camión
- Transporte de residuos a instalación autorizada de gestión de residuos, con camión de 12 t y tiempo de espera para la carga a máquina, con un recorrido de más de 5 y hasta 10 km

- Pavimento de mezcla bituminosa drenante tipo PA 11 B 50/70 para capa de rodadura, con betún asfáltico de penetración y árido calcáreo, para una capa de rodadura de 4 cm de espesor

5.2.4.- Ciclo de vida de las secciones

Para la exposición de las conclusiones y aseveraciones realizadas nos basamos en un estudio realizado por el Cimbéton, el Centro de Información del Cemento y sus Aplicaciones de Francia, cuyo objetivo era comparar el comportamiento medioambiental de los firmes de hormigón frente los bituminosos (Firmes asfálticos).

Según este estudio, la vida útil de los firmes de hormigón oscila entre 40-55 años.

Nos situamos en el caso más desfavorable, admitiendo como 40 años la vida útil de los firmes de hormigón.

Para los firmes bituminosos, este mismo estudio define como ciclo de vida de los bituminosos en 30 años.

Se adopta la solución como 30 años.

6.- CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE CO2 EQUIVALENTE EN LAS SECCIONES TIPO

6.1.- Metodología y desarrollo

Dado que se conocen las secciones tipo que se van a emplear en la restauración de los caminos rurales de la comarca de El Comtat, se va a emplear la base de datos BEDEC del Instituto de la Construcción de Cataluña que dispone de datos ambientales asociados a los elementos que permiten conocer los valores de impacto relativos consumo de energía, emisiones de CO2 equivalente, masa, residuos generados con su clasificación CER, % contenido de materia primaria, % contenido reciclado, coste total para el usuario (CTU), a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura. En el ANEXO VIII Datos ambientales de las partidas de obra necesarias se detalla la metodología, origen y empleo de esta base de datos.

De esta forma, empleando esta base de datos para cada partida de obra definida anteriormente, obtenemos:

SECCIÓN 1: Camino de hormigón en muy mal estado:

En el caso de caminos de hormigón en muy mal estado se procederá a la restauración total del mismo, que implica la demolición del camino existente, el transporte de los residuos a gestor

autorizado, el repaso y compactación de la zanja y la construcción de la sección de firme de hormigón diseñada en cumplimiento del PG3.

CASO 1: CAMINO DE HORMIGÓN EN MUY MAL ESTADO							
			Potencial de calentamiento global (kg CO2eq)				
Descripción partida	Medición	Unidades	Producto	Construcción	Uso	Final de vida	TOTAL (kg CO2eq)
Demolición de pavimento de hormigón de hasta 20 cm de espesor, de ancho más de 2 m con retroexcavadora con martillo rompedor y carga sobre camión con medios mecánicos	4,00	m2	0,00	8,44	0,00	0,00	33,78
Transporte de residuos a instalación autorizada de gestión de residuos, con camión de 12 t y tiempo de espera para la carga a máquina, con un recorrido de más de 5 y hasta 10 km	0,80	m3	0,00	8,48	0,00	0,00	6,78
Repaso y compactación de suelo de zanja de más de 2 m de anchura, con medios mecánicos y compactación del 95 % PM	4,00	m2	0,00	1,09	0,00	0,00	4,38
Firme rígido para tráfico pesado T42, de hormigón vibrado HF-4 MPa de resistencia a flexotracción sobre explanada E3, sección del firme 4124 según la DGC 3.1-IC/2016	4,00	m3	65,11	0,86	0,00	0,00	263,88
						TOTAL	308,81

Tabla 16. Cuantificación de CO2 equivalente de sección hormigón en muy mal estado. Fuente: Elaboración propia.

Caso 2: Camino de asfalto en muy mal estado

En el caso de caminos asfaltados en muy mal estado se procederá a la restauración total del mismo, que implica la demolición del camino existente, el transporte de los residuos a gestor autorizado, el repaso y compactación de la zanja y la construcción de la sección de firme de materiales bituminosos diseñada en cumplimiento del PG3.

CASO 2: CAMINO DE ASFALTO EN MUY MAL ESTADO							
			Potencial de calentamiento global (kg CO2eq)				
Descripción partida	Medición	Unidades	Producto	Construcción	Uso	Final de vida	TOTAL (kg CO2eq)
Demolición de pavimento de mezcla bituminosa de hasta 10 cm de espesor, de ancho más de 2 m con retroexcavadora con martillo rompedor y carga sobre camión con medios mecánicos	4,00	m2	0,00	2,05	0,00	0,00	8,19
Transporte de residuos a instalación autorizada de gestión de residuos, con camión de 12 t y tiempo de espera para la carga a máquina, con un recorrido de más de 5 y hasta 10 km	1,00	m3	0,00	8,48	0,00	0,00	8,48
Base de zahorras artificial procedente de áridos reciclados de hormigón colocada con	0,80	m3	5,11	2,96	0,00	0,00	6,46

motoniveladora y compactado del material al 98% del PM							
Pavimento de mezcla bituminosa drenante tipo PA 11 B 50/70 para capa de rodadura, con betún asfáltico de penetración y árido calcáreo, para una capa de rodadura de 5 cm de espesor	4,00		1,66	0,20	0,00	0,00	7,44
TOTAL							30,56

Tabla 17. Cuantificación de CO2 equivalente de sección mezcla bituminosa en muy mal estado. Fuente: Elaboración propia.

Caso 3: Repavimentación camino con mezcla bituminosa

En el caso de caminos asfaltados en que presenten básicamente una degradación superficial y las irregularidades que se presenten no tengan origen estructural, bastará con el fresado del firme bituminoso, el transporte de los residuos a gestor autorizado, el repaso y compactación de la subbase y la construcción del pavimento de mezcla bituminosa diseñada en cumplimiento del PG3.

CASO 3: CAMINO DE ASFALTO NECESITADO DE MANTENIMIENTO							
Descripción partida	Medición	Unidades	Potencial de calentamiento global (kg CO2eq)				TOTAL (kg CO2eq)
			Producto	Construcción	Uso	Final de vida	
Fresado por cm de espesor de pavimento de mezclas bituminosas y carga sobre camión	20,00	cm*m2	0,00	0,18	0,00	0,00	3,69
Transporte de residuos a instalación autorizada de gestión de residuos, con camión de 12 t y tiempo de espera para la carga a máquina, con un recorrido de más de 5 y hasta 10 km	0,20	m3	0,00	8,48	0,00	0,00	1,70
Repaso y compactación de suelo de zanja de más de 2 m de anchura, con medios mecánicos y compactación del 95 % PM	4,00	m2	0,00	1,09	0,00	0,00	4,38
Pavimento de mezcla bituminosa drenante tipo PA 11 B 50/70 para capa de rodadura, con betún asfáltico de penetración y árido calcáreo, para una capa de rodadura de 5 cm de espesor	4,00		1,66	0,20	0,00	0,00	7,44
TOTAL							17,20

Tabla 18. Cuantificación de CO2 equivalente repavimentación. Fuente: Elaboración propia.

6.2.- Resultados

Municipio	Emisiones restauración caminos públicos caso 1 en t de co2 eq	Emisiones restauración caminos públicos caso 2 en t de co2 eq	Emisiones restauración caminos públicos caso 3 en t de co2 eq
l'Alqueria d'Asnar	15,533	9,046	46,263
Famorca	88,359	0,000	91,376
Benillup	108,581	0,000	142,216

Alcocer de Planes	67,806	25,655	222,435
Fageca	197,046	0,000	229,699
Benimarfull	127,689	55,692	309,820
Benasau	282,109	19,631	341,536
Millena	274,472	26,238	363,745
Gorga	215,330	148,368	332,735
Benilloba	205,349	34,657	402,520
Almudaina	305,791	75,457	376,083
Benimassot	288,292	0,000	419,642
Balones	321,536	51,726	438,190
Gaianes	280,820	6,726	485,336
Alcoleja	422,426	21,812	509,803
Tollos	481,067	0,000	580,756
Lorcha/l'Orxa	568,251	25,554	593,188
Beniarrés	409,224	60,786	594,657
Quatretondeta	601,682	28,314	658,813
Alfafara	428,628	126,273	633,981
Muro de Alcoy	698,413	158,368	1192,468
Agres	817,958	196,297	1183,129
Planes	1388,826	527,448	1709,025
Cocentaina	1781,361	1350,125	1879,227
TOTAL	10.376,557	2.948,173	13.736,642

Tabla 19. Tabla resumen de emisiones por restauración de firmes. Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, **las emisiones totales por los trabajos de rehabilitación de los caminos rurales de la comarca de El Comtat ascienden a 27.376,363 T de CO₂-eq.**

Lo que, tomando como referencia el inventario nacional de emisiones a la atmósfera, constituiría el 0,00985% del total de las emisiones. Si se particulariza en el sector de la industria manufacturera y la construcción (en el inventario nacional se contabiliza de esta manera), constituiría el 0,0673%.

Teniendo en cuenta que, tal y como se ha calculado en el punto

4.5.- Cálculo del exceso de emisiones por el mal estado de los caminos rurales de El Comtat el mal estado de los caminos supone un exceso de emisiones de GEI de entre 6.823 y 5.117 toneladas de CO₂-eq en función del material empleado, se puede concluir, que emprender un plan de restauración estructural y funcional de los caminos rurales que ahora están transitables, pero se encuentran en mal estado, ahorrará, de entrada, entre un 20% y un 25% de emisiones de GEI a la posibilidad de esperar a que los caminos resulten intransitables.

Este ahorro de emisiones se calcula a modo de “foto fija” actual, por lo que se ha de entender que no realizar estas actuaciones y postergar la restauración hasta que el camino resulte impracticable, supondrá mayores emisiones de GEI al implicar actuaciones de mayor calado (como los casos 1 y 2).