



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

ACONDICIONAMIENTO Y MEJORA DE LA CARRETERA JV-2226(T.M. DE LA GUARDIA DE JAÉN)

Alumno: Jose Manuel Cabrera Espinosa

Tutor: Prof. D. Pedro J. Castro Guzmán
Dpto: Ingeniería Cartográfica, Geodésica y
Fotogrametría

Septiembre, 2023



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesica y Fotogrametría

Don PEDRO JACINTO CASTRO GUZMÁN , tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: ACONDICIONAMIENTO Y MEJORA DE UN TRAMO DE LA CARRETERA JV-2224 (T.M. de La Guardia de Jaén), que presenta JOSE MANUEL CABRERA ESPINOSA, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, 28/08/2023

El alumno:

JOSE MANUEL CABRERA ESPINOSA

Los tutores:

PEDRO JACINTO CASTRO GUZMÁN

INDICE

1. MEMORIA	7
1.1. Introducción.....	7
1.2. Objetivo.....	9
1.3. Justificación.....	11
1.4. Localización	13
1.5. Metodología y Toma de Datos	15
1.6. Diseño del Vial	19
1.7. Cubicación	22
1.8. Presupuesto	23
2. ANEJOS.....	24
2.1. Estudios Previos.....	24
2.1.1. Situación y Descripción de la zona	24
2.1.2. Características actuales de la carretera JV-2226	26
2.1.3. Recopilación de Información.....	29
2.1.4. Estudio para planificación de Vuelo	33
2.2. Trabajo de Campo.....	43
2.2.1. Materialización de los Puntos de Apoyo	46
2.2.2. Levantamiento Topográfico con RPAS.....	49
2.3. Trabajo de Gabinete	51
2.3.1. Procesado de Imágenes.....	51
2.3.2. Cartografía	60
2.3.3. Diseño Geométrico	64
2.3.4. Cálculo de Volúmenes	69
3. PLANOS	72
4. PLIEGO DE CONDICIONES	73
4.1. Definición y Alcance del Pliego	73
4.2. Prescripciones Técnicas para la elaboración de la Cartografía	74
4.3. Prescripciones Técnicas para el Trazado.....	76
4.3.1. Objetivo y Ámbito de Aplicación	76
4.3.2. Clases de Carreteras y Tipo de Proyectos	77
4.3.3. Datos Básicos para el Estudio del Trazado	78
4.3.4. Trazado en Planta.....	81
4.3.5. Trazado en Alzado	84

4.3.6. Sección transversal	87
5. PRESUPUESTO	89
5.1. Trabajos de Campo	89
5.2. Trabajos de Gabinete	91
5.3. Presupuesto de Ejecución Material	94
5.4. Presupuesto de Ejecución por Contrata	94
5.5. Presupuesto FINAL.....	95
6. BIBLIOGRAFIA	96

Contenido de Ilustraciones

Ilustración 1.1. Fotografía zona del Proyecto	11
Ilustración 1.2. Fotografía zona del Proyecto	11
Ilustración 1.3. Fotografía zona del Proyecto	12
Ilustración 1.4. Situación Jaén sobre Google Earth	13
Ilustración 1.5. Ubicación sobre Mapa Topográfico Nacional 1:25.000	13
Ilustración 1.6. Ubicación sobre Google Earth	14
Ilustración 1.7. Mapa de Trafico de la DGC 2019	20
Ilustración 1.8. Diseño de sección tipo	21
Ilustración 1.9. Cubicación por perfiles transversales	22
Ilustración 1.10. Cubicación por perfiles transversales	22
Ilustración 2.1. Hoja MTN 1:50.000	25
Ilustración 2.2. Acceso zona sur sobre Google Earth	25
Ilustración 2.3. Acceso norte sobre Google Earth	26
Ilustración 2.4. Listado Red Provincial de Vías de Interés Agrario 2020.	26
Ilustración 2.5. Gráfico de elevación de carretera JV- 2226	27
Ilustración 2.6. Hoja MTN50 Formato Vectorial	29
Ilustración 2.7. Digitalización sobre Ortofotografía PNOA máxima actualidad	30
Ilustración 2.8. Eje digitalizado sobre MDS05	30
Ilustración 2.9. Reseña estación permanente UJAE.	31
Ilustración 2.10. Portada Instrucción de Carreteras Norma 3.1 – IC.	32
Ilustración 2.11. Controladora Trimble TSC3	33
Ilustración 2.12. Receptor Trimble R2	33
Ilustración 2.13. Equipo RPAS Phantom 4 RTK.	34
Ilustración 2.14. Restricciones aéreas sobre zona de interés	37
Ilustración 2.15. Distribución de puntos de apoyo	38
Ilustración 2.16. Esquema espacio imagen – espacio objeto	39
Ilustración 2.17. Zonas de Vuelo	40
Ilustración 2.18. Esquema vuelo adaptativo	41
Ilustración 2.19. Esquema vuelo sobre plano	41
Ilustración 2.20. MDS y zonas de vuelo Global Mapper	42
Ilustración 2.21. Equipo GNSS en trípode de pinza sobre marca de punto de apoyo	44
Ilustración 2.22. Marca de punto de apoyo fotografía aérea	44
Ilustración 2.23. Esquema funcionamiento equipo GNSS RTK	45
Ilustración 2.24. Esquema funcionamiento RPAS RTK	45
Ilustración 2.25. Equipo GNSS en trípode de pinza sobre marca de punto de apoyo	46
Ilustración 2.26. Equipo GNSS en trípode de pinza y marca de punto de apoyo	47
Ilustración 2.27. Puntos singulares en terreno para puntos de control	47
Ilustración 2.28. Puntos de apoyo en zonas de vuelo	48
Ilustración 2.29. Telemetría en vuelo sobre ortofotografía	49
Ilustración 2.30. Telemetría en vuelo y vista desde cámara	50
Ilustración 2.31. Relación entre sistema imagen y sistema píxel	51
Ilustración 2.32. Nube de puntos densa	54
Ilustración 2.33. Diferencia entre MDS y MDT	54
Ilustración 2.34. Nube de puntos dispersa	56
Ilustración 2.35. Visualización de marcas de puntos	57
Ilustración 2.36. Visualización de marcas de puntos	57
Ilustración 2.37. Comparación de precisiones	57
Ilustración 2.38. Comparación de precisiones	57

Ilustración 2.39. Nube de puntos densa y coloreada	58
Ilustración 2.40. MDS generado	58
Ilustración 2.41. Ortofotografía generada	58
Ilustración 2.42. Características del procesamiento con Agisoft Metashape	59
Ilustración 2.43. Composición entre ortofoto y nube densa de puntos	60
Ilustración 2.44. Precisión de MDS generado en Agisoft	61
Ilustración 2.45. Digitalización de obra de fábrica	61
Ilustración 2.46. Triangulación entre puntos del terreno	62
Ilustración 2.47. Puntos generados sobre terreno	62
Ilustración 2.48. Curvado generado	62
Ilustración 2.49. DWG de zona cartografiada y curvado	63
Ilustración 2.50. DWG de zona cartografiada	63
Ilustración 2.51. Precisión final del modelo modificado	63
Ilustración 4.1. Diseño sección tipo	76
Ilustración 4.2. Esquema acuerdo vertical	85

Contenido de Tablas

Tabla 1.1. Características generales del nuevo vial	22
Tabla 1.2. Resultado de cubicación	23
Tabla 2.1. Precisión de equipo Trimble	34
Tabla 2.2. Características cartográficas RPAS	35
Tabla 2.3. Características cámara Phantom 4	35
Tabla 2.4. Parámetros cámara Phantom 4	42
Tabla 2.5. Ecuaciones para cálculo de parámetros de vuelo	43
Tabla 2.6. Coordenadas de puntos de apoyo y precisiones	48
Tabla 2.7. Características grupo de norma de nuevo vial	64
Tabla 2.8. Listado puntos nueva alineación	65
Tabla 2.9. Listado puntos nueva rasante	66
Tabla 2.10. Listado puntos nuevo eje	69
Tabla 2.11. Movimiento de tierras	69
Tabla 2.12. Volumen de firme	69
Tabla 2.13. Listado de movimiento de tierras	71
Tabla 4.1. Longitud máxima y mínimas para rectas	82
Tabla 4.2. Inclinación de rasantes	84
Tabla 4.3. Elementos y dimensiones de carretera	88

1. MEMORIA

1.1. Introducción

Los grandes avances de la tecnología en el ámbito de la topografía, estos últimos años, aportan un desarrollo de técnicas que nos dan una gran ventaja en la captura de datos en comparación con las técnicas topográficas clásicas. Se puede obtener una gran cantidad de datos en periodos cortos de tiempo con un gran nivel de detalle y precisión.

Este proyecto aborda la aplicación de este tipo de técnicas, sobre el estudio de superficies y generación de productos cartográficos.

Hablamos de una simbiosis entre técnicas con equipo GNSS terrestre y vuelo con RPAS (del inglés Remotely Piloted Aircraft System) para la toma de datos. Ambos métodos comparten la misma forma de trabajo en su ejecución.

La virtud de utilizar imágenes aéreas de una zona es la cantidad de información captada. Con dichas imágenes se puede obtener una gran cantidad de productos gracias a la fotogrametría.

La fotogrametría es una técnica que tiene como objetivo el estudio y la definición, con precisión, de la forma, las dimensiones y/o la posición en el espacio de un objeto, a través de los datos obtenidos de una o varias fotografías.

La fotogrametría aérea proviene de una vista aérea para el mapeo de terrenos, espacios y relieves. Hoy en día una aeronave puede poseer cámaras que ayudan a capturar fotografías recogiendo los datos necesarios para generar mapas 2D y 3D.

Una de las principales aplicaciones de la fotogrametría son los resultados topográficos que permiten medir coordenadas en tres dimensiones que, además, da como resultado la representación compleja de un objeto en un documento de fácil manejo. A ello se une el carácter instantáneo del registro, con la consiguiente agilidad para procesar la información frente a la topografía clásica.

Son muchas las ventajas de este tipo de técnicas frente a la topografía clásica como puede ser la agilidad y rapidez en la toma de datos. También facilita el trabajo en terrenos de difícil acceso y más en la actualidad, en la que el uso de un RPAS en fotogrametría permite llegar a todo tipo de lugares. Ganamos así en seguridad del topógrafo, eficiencia del trabajo, valor visual, plazos de entrega.

Esta metodología irá apoyada con técnicas GNSS para conseguir la precisión deseada en la toma de datos debido a los errores centimétricos que pueden existir en el registro de las imágenes durante el vuelo.

La utilización de técnicas terrestres y aéreas para captura de datos, en una obra como es el caso de una carretera, tiene como objetivo principal el estudio de la zona de

actuación para así realizar la toma de decisiones oportunas como puede ser el diseño de un nuevo vial, cálculo del volumen de tierra que se ha de mover, encaje con otras vías de comunicación, etc.

Con topografía convencional se obtiene solamente unas coordenadas de cada punto tomado mediante equipo terrestre GNSS, sin embargo, mediante fotogrametría aérea podemos obtener una cantidad de datos considerable en un área extensa, por ello el levantamiento topográfico con RPAS representa una excelente alternativa permitiendo generar el trabajo de manera rápida con niveles de precisión muy aceptables.

En este proyecto se propone el acondicionamiento y mejora de la carretera JV-2226 que une el término municipal de La Guardia de Jaén con la carretera JV-2224 en dirección a Puerto Alto.

1.2. Objetivo

Se pretende realizar un proyecto de acondicionamiento. Este tiene la finalidad de modificar las características de la carretera existente mejorando los tiempos de recorrido, nivel de servicio y seguridad de la circulación.

Para ello se realiza el estudio de un nuevo vial sobre la zona de actuación.

Este nuevo diseño del vial está regido por la Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras. Dicha norma surge a partir de las numerosas actuaciones llevadas a cabo en proyectos de carreteras, lo cual ha permitido acumular importantes experiencias en lo que al trazado de estas se refiere.

Con este fin se planteará un trabajo de campo en el que se realiza la toma de los datos para la obtención de toda la información necesaria de la zona objeto de estudio para poder realizar el cálculo, diseño, cartografía y elementos que interactúan en el diseño de un nuevo vial.

El trabajo topográfico comienza con el estudio de la zona de actuación sobre una cartografía a pequeña escala, el Mapa Topográfico Nacional 1/50.000, y el 1/25.000 para un mayor detalle en las primeras fases, y sobre el modelo digital de terreno de Andalucía generado a partir de fotografías aéreas a escala 1:20.000.

Con la utilización de la fotogrametría, en este proyecto se intenta dar una alternativa a los métodos convencionales de medidas de una superficie debido a su eficiencia tanto en rapidez como en precisión.

Actualmente el diseño de una carretera involucra varios procedimientos, comenzando con una toma de datos y finalizando con un producto final a partir del cual se llevará a cabo la ejecución de la obra.

Dentro de los procedimientos fundamentales necesarios en un proyecto de este ámbito, se encuentra el diseño de obra lineal.

En todo proyecto de ejecución de una obra lineal necesitamos varios elementos básicos a partir de los cuales podremos realizar el diseño del nuevo trazado y el cálculo de la cantidad de tierra que se debe trabajar para obtener el resultado requerido. Estos conceptos son:

- Alineaciones: El eje de la obra lineal.
- Perfiles: Alineaciones verticales que se utilizan para definir las elevaciones de superficie a lo largo del eje.
- Superficie: Utilizada para derivar alineaciones, perfiles y explanación de la obra.
- Ensamblajes: Representan la sección tipo de la obra.

- Subensamblajes: Cada una de las partes que se emplean para la definición de la sección transversal de la obra lineal.

Una vez se ha determinado los parámetros y características del diseño del nuevo vial, se puede observar el impacto sobre el terreno de la ejecución de la obra. Para ello se realiza el estudio, a lo largo de todo el nuevo perfil, de las zonas afectadas por desmonte y terraplén; obteniéndose como resultado el volumen en metros cúbicos de terreno afectado.

El método más utilizado para realizar este cálculo se basa en la comparación de perfiles transversales. Es el método más empleado debido a su versatilidad y relativa precisión en comparación con los demás, ya que cuando hablamos de una obra de gran magnitud longitudinal los errores en el cálculo de los volúmenes de desmonte y terraplén se compensan.

Ha de ser planificado con la mayor precisión posible para permitir un correcto gasto en la construcción de las vías.

El objetivo de los trabajos anteriormente mencionados es la obtención de una cartografía actual de la zona de estudio y a partir de ahí, una cartografía con el diseño final del vial encajado.

Debido al avance de las tecnologías la generación de la cartografía se realiza en formato digital, generando como productos, modelos digitales, ortofotografías, servicios web de mapas y todo tipo de productos relacionados con la información geográfica y cartográfica.

Con la obtención de la ortofotografía se genera una imagen total de la zona. Esta imagen está totalmente corregida de distorsión por lo que se trata de una imagen medible de la cual extraer la información deseada.

Por otro lado, al generar un modelo de la superficie en 3D y la ortofotografía se puede restituir los elementos de interés para la obtención de la cartografía.

Con la realización de este proyecto se pretende poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el estudio de esta carrera, especialmente los ámbitos relacionados con la realización de un levantamiento topográfico y procesamiento, planificación y ejecución de vuelos fotogramétricos.

1.3. Justificación

La realización de este trabajo surge de la necesidad de una considerable mejora en el tramo que ocupa el vial objeto de estudio.

La zona elegida ha sido el tramo de carretera nacional que une el Termino Municipal de la Guardia de Jaén y la carretera nacional JV – 2224. Se trata de un vial en el que el problema principal encontrado es el ancho de su calzada. También encontramos zonas de acentuadas curvas con poca visibilidad, lo que hace peligroso la circulación.



Ilustración 1.1. Fotografía zona del Proyecto



Ilustración 1.2. Fotografía zona del Proyecto

A la situación actual del vial sumamos la constante circulación de tráfico agrario debido a que se trata de una zona en su mayoría de cultivo de olivar. Surge la necesidad de mejorar la fluidez del tráfico y la seguridad a la hora de rodar o caminar por esta zona.

En las varias visitas a terreno encontramos que esta zona se utiliza por sus vecinos para actividades al aire libre, por lo que estudiaremos la forma de habilitar un carril bici mejorando la seguridad a la hora de realizar dichas actividades.



Ilustración 1.3. Fotografía zona del Proyecto

Al tratarse de una alineación de más de 5 km decidimos realizar la toma de datos mediante vuelo con UAV lo que nos permite la obtención de una gran cantidad de datos en un tiempo reducido, accediendo a lugares de gran dificultad para realizar el levantamiento debido a grandes diferencias de altura, acceso a fincas privadas, zonas erosionadas de forma agresiva, etc.

1.4. Localización



Ilustración 1.4. Situación Jaén sobre Google Earth

La zona objeto de estudio se encuentra en la provincia española de Jaén, una de las 50 provincias en las que se divide España. Se encuentra situada entre la depresión Bética y la cordillera Subbética en la zona Sureste de la península.

Concretamente la zona se encuentra entre el Termino Municipal de La Guardia de Jaén, situado a unos 10 km al Sureste de la ciudad de Jaén, y la carretera JV-2224, que va desde la zona residencial del Puente de la Sierra a la pedanía de Puerto Alto, ambos en la provincia de Jaén y situados al sur de la ciudad.

En la cartografía oficial nuestra zona de estudio está localizada en la hoja 0947-3 del Mapa Topográfico Nacional 1:25.000, (MTN25).

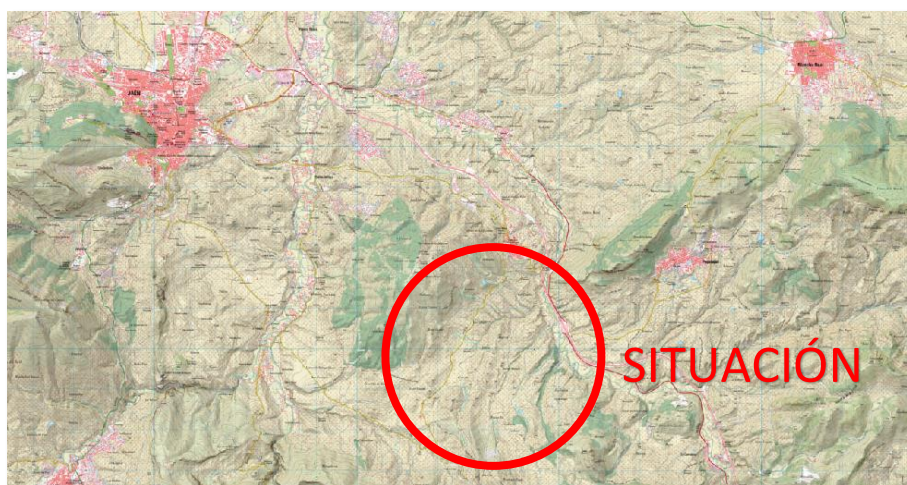


Ilustración 1.5. Ubicación sobre Mapa Topográfico Nacional 1:25.000

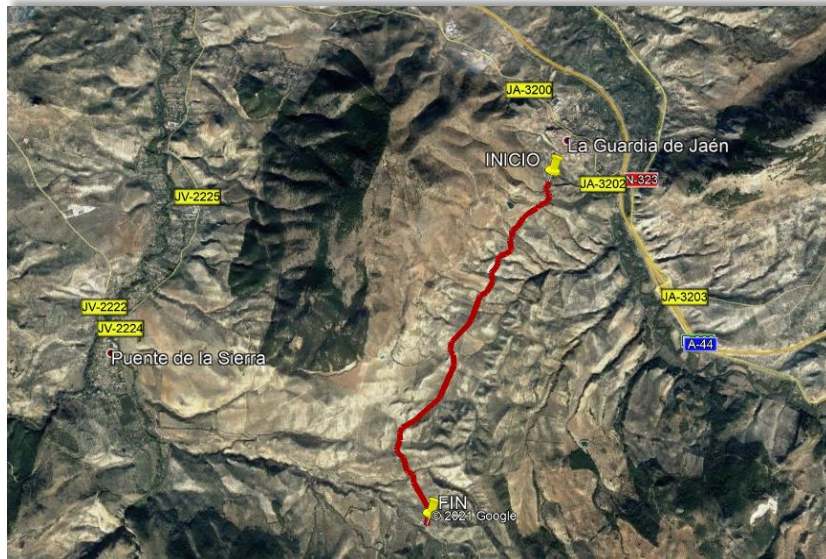


Ilustración 1.6. Ubicación sobre Google Earth

Se realiza una visita a la zona de actuación para observar las distintas posibilidades que ofrece el terreno, las alternativas a seguir en el trazado del nuevo vial, metodología a usar para el levantamiento y distintos problemas que pudieran surgir en los trabajos de campo.

1.5. Metodología y Toma de Datos

Este proyecto se centra en una metodología que ha evolucionado con los años llegando al punto de ser un recurso muy utilizado para la obtención de modelos digitales y todo tipo de información detallada del terreno.

El uso de la fotogrametría mediante fotografías con RPAS proporciona la obtención de una cantidad de datos, con buenas precisiones, muy superior a los datos obtenidos con topografía clásica.

Para la obtención de nuestro producto final el primer paso es realizar una planificación previa de los pasos a seguir y método de trabajo. La toma de datos en este caso es mediante fotografías aéreas que tendrán información de posicionamiento a la hora de la toma.

Dichas fotografías son procesadas con software específico generando un modelo de superficie filtrado de vegetación y una ortofotografía en la cual poder realizar medidas reales de los elementos del terreno.

Con los productos obtenidos mediante fotogrametría se genera una cartografía actual de lo existente en la zona de estudio a partir de la cual realizar extracción de información o cálculos necesarios.

Con la cartografía y la superficie actual se realiza un diseño del vial mejorado, generando un eje nuevo, perfil longitudinal, ensamblajes y subensamblajes, y los elementos característicos que tendrá la carretera final. Todo ello ha de cumplir la normativa vigente, en el caso de España se trata de la Instrucción de Carreteras Norma 3.1.

De esta manera se crea un trabajo de obra lineal. Con esta nueva obra surgen cambios en el terreno según los elementos determinados. Se ha de realizar una modificación de la superficie existente atendiendo a los taludes generados obteniendo una superficie modificada que servirá para realizar la comparativa con la superficie de partida y así poder calcular la cantidad de terreno correspondiente a desmonte y a terraplén.

La obtención de la cantidad de terreno a desplazar se extrae de un listado completo a partir de perfiles transversales.

Un perfil transversal se define como una sección de dos dimensiones en un elemento tridimensional, de esta manera se pueden conocer los elementos característicos y su comportamiento en el punto de sección.

Con la unión de todos estos perfiles se calcula la cantidad de tierra a mover en terraplén y desmonte. Dichos cálculos han de ser equilibrados, siendo la cantidad de terreno desmontado igual a la cantidad de terreno terraplenado.

- **Requisitos generales del proyecto y elección de la metodología a emplear.**

Para la toma de datos las opciones son muy diversas:

La primera opción sería la utilización de estación total. Esta metodología se descarta desde el primer momento debido al tiempo necesario y el trabajo que conlleva realizar un levantamiento de estas dimensiones, ya que en la actualidad se cuenta con tecnología que facilita mucho el trabajo.

La segunda opción que se tiene en cuenta es realizar el levantamiento mediante técnicas GNSS con correcciones en tiempo real. Dicha técnica es la más utilizada en todo tipo de trabajos topográficos. Se realiza toma de datos de toda la zona centrándose en elementos característicos como puede ser el borde de aglomerado de la carretera, cunetas, obras de fábrica, taludes y puntos de relleno de la zona de estudio. Esta metodología es una buena solución para realizar el levantamiento ya que requiere de un nivel medio de trabajo y tiempo a emplear.

Por último, la opción que se estudia es el uso de fotogrametría para generar los distintos productos cartográficos necesarios. La fotogrametría es la técnica que permite hacer reconstrucciones de terrenos y medidas a partir de imágenes aéreas. Es un proceso en el que el objetivo principal es convertir datos bidimensionales (imágenes planas) en información cartográfica/tridimensional. Con esta técnica se realizan mediciones de grandes extensiones de terreno en un tiempo muy inferior.

Tras analizar cada estilo de levantamiento la opción elegida para este trabajo es mediante vuelo con RPAS. Se generan productos cartográficos con precisiones alrededor de los 2 cm y la cantidad de trabajo, tiempo y peligrosidad es muy reducida en comparación con las metodologías anteriores.

Para garantizar el éxito del levantamiento debemos cumplir con los requisitos identificados tras la realización de inspecciones previas en la zona para determinar la situación, precisiones a la hora de obtener el producto deseado, etc.

Al realizar un levantamiento con RPAS debemos determinar la altura de vuelo, solape entre imágenes, áreas de despegue en distintas zonas, elementos que puedan ocasionar un accidente, o zonas de pérdida de cobertura. La aeronave utiliza el método RTK (Tiempo Real) obteniendo correcciones de un receptor fijo mientras se realiza la toma de fotografías.

El levantamiento irá apoyado en tecnología GNSS, colocando puntos de apoyo a lo largo del vial. Para la toma de estos datos utilizaremos el método RTK (Tiempo Real) obteniendo correcciones de un receptor fijo mientras otro receptor toma los datos necesarios.

- **Planificación del vuelo.**

A la hora de realizar el plan de vuelo debemos tener en cuenta la resolución que se pretende obtener, la ubicación de la zona a representar, previsión meteorológica y zonas de restricción al vuelo fotogramétrico.

Se programa la misión mediante waypoint con la ayuda de software específico de planificación de vuelos.

En el vuelo se define la ruta a seguir, velocidad de vuelo, inclinación de la cámara y modelo digital de superficie al que la aeronave se irá adaptando continuamente para una adecuada toma de imágenes.

Debemos tener en cuenta a la hora de la toma de datos, los parámetros geométricos de la planificación. Con esto debemos definir los solapes longitudinal y transversal para aplicar el principio de visión estereoscópica a los fotogramas. Definimos también el GSD (Ground Sample Distance) el cual define la distancia de muestreo en el terreno.

En una primera visita a campo, se comprueban los distintos desniveles y las distintas elevaciones de la zona. Esto nos ayudara con la disposición de los puntos de apoyo necesarios. El estudio de la disposición de los puntos de apoyo viene condicionado por los elementos del terreno ya que se debe asegurar su visualización desde el aire teniendo en cuenta la altura de vuelo media a la que se realizan este tipo de trabajos.

En la segunda visita a la zona de actuación se implanta la red de puntos de apoyo, se distribuyen veinte en la zona de estudio disponiéndolas de forma que engloben totalmente la zona de actuación, teniendo en cuenta que se encuentren en sitios con buena visibilidad y libres de obstáculos que impidan su visualización en las fotografías.

Distribuidos, materializados y tomados los puntos de apoyo se procede al levantamiento topográfico de la zona delimitada en el estudio previo de la propuesta del vial. El levantamiento topográfico de la zona de actuación se realiza mediante vuelo con RPAS empleando el método RTK (Real Time Kinematic).

Para ello se utiliza una base de referencia, elegida por proximidad, y la aeronave hará como equipo móvil, que recibe las correcciones de la base de referencia. De esta manera conseguiremos unas precisiones centimétricas en la posición de la aeronave.

Esta forma de trabajo está basada en el mismo principio en el que se trabaja con equipos terrestres.

Se procede a la planificación del vuelo antes de volver a visitar la zona de trabajo. Es en este momento cuando calcularemos los parámetros de vuelo, así tales como altura de vuelo, solapes longitudinal y transversal, tiempo de vuelo, numero de pasadas, etc.

- **Ejecución del plan de vuelo y captura de imágenes.**

Una vez planificada la misión estamos preparados para ir a campo y ejecutar el vuelo. Este se realizará de forma totalmente autónoma, siempre con la posibilidad de tomar el control de la aeronave.

Ya en gabinete realizamos la descarga de las imágenes tomadas y los datos referidos a la cámara y a los parámetros del vuelo. Podremos empezar con el procesado de las imágenes para obtener como resultado una ortofotografía y el modelo de superficie sobre el que trabajar.

Obtenido el resultado del levantamiento realizamos los planos de la zona, se procede al diseño del nuevo vial y obtención del volumen de tierras, al cálculo del presupuesto y a la redacción de la memoria y pliego de condiciones del proyecto.

Una vez se ha realizado el plan de vuelo y se han ubicado los puntos de apoyo se procede a cargar la misión y los ajustes de los parámetros en la aeronave para ejecutar el vuelo de forma automática. La aeronave utiliza el método RTK (Tiempo Real) obteniendo correcciones de un receptor fijo mientras se realiza la toma de fotografías.

En la ejecución del vuelo se realizan las fotografías según lo programado. Podremos visualizar en tiempo real toda la información de telemetría, estado del aparato y posición de este.

1.6. Diseño del Vial

Para la realización de un nuevo diseño de una obra lineal en primer lugar es necesario conocer los requisitos que se han de cumplir según lo establece la norma.

En España la norma vigente es la Instrucción de Carreteras, Norma 3.1. En este documento se puede encontrar los valores máximos y mínimos que hacen referencia al diseño de una alineación, de los acuerdos verticales, transiciones, carriles y elementos que componen una obra lineal.

Estos parámetros están condicionados por la velocidad de proyecto y varían según el tipo de carretera considerada.

La propuesta óptima obedece a dos criterios fundamentales:

- EL vial cumple con los objetivos que previamente se ha fijado, atendiendo al documento “Pliego de Condiciones” del proyecto, el que se desarrolla las prescripciones técnicas de la cartografía obtenida, así como la norma 3.1 de la Instrucción de carreteras para el diseño del vial.
- La propuesta debe ser viable, para ello se intenta equilibrar el movimiento de tierras, de manera que no haya una desproporción entre el desmonte y terraplén que ocasione que esta no sea rentable económicamente.

El diseño de una carretera responde a una necesidad justificada social y económicamente. Ambos conceptos se relacionan para establecer las características técnicas y físicas que debe tener la carretera que se proyecta para conseguir que los resultados sean óptimos, en una solución técnica y económica en beneficio de la comunidad que requiere del servicio.

Para alcanzar el objetivo buscado debemos evaluar los parámetros que definirán las características del proyecto. Para ello tendremos en cuenta:

- Estudio de la demanda de tránsito. El Índice Medio Diario Anual de Tránsito representa el promedio del volumen diario para todos los días del año previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea de la importancia de la vía en la sección considerada. La carretera se diseña para un volumen de tránsito.

Según el Mapa de Trafico de la DGC. Año 2019 no se dispone de información sobre el tránsito de vehículos en la carretera estudiada debido a ser, dicho transito muy reducido. Información consultada en la página del ministerio de fomento.



Ilustración 1.7. Mapa de Trafico de la DGC 2019

- La velocidad de diseño. La velocidad de diseño es un factor muy importante para establecer las características del trazado en planta, elevación, y sección transversal de la carretera. Para este proyecto la velocidad de diseño escogida es de 50 Km/h.

Definida la velocidad del diseño para la circulación del tránsito, se procede al diseño del eje nuevo de la carretera, siguiendo el trazado en planta compuesto por tramos rectos (en tangente) y por tramos con curvas. Similarmente igual ocurre con el trazado vertical, con tramos en pendiente rectas y pendientes curvas.

- La sección transversal. Se refiere a la sección de las dimensiones que debe tener la sección transversal de la carretera en las secciones rectas y los diversos tramos a lo largo de la carretera proyectada.

Para dimensionar la sección transversal se tendrá en cuenta que las carreteras de bajo volumen de tránsito solo requerirán una calzada de dos carriles, uno para cada sentido.

El ancho de la carretera podrá contener un espacio lateral a cada lado para bermas, ubicación de guardavías, muros de seguridad, señales y cunetas.

La sección transversal resultante será más amplia en las zonas planas en concordancia con la mayor velocidad del diseño. En zonas onduladas y accidentadas, tendrá que restringirse para evitar los altos costes de construcción.

Para un buen diseño de carreteras de bajo volumen de tránsito haremos hincapié en:

- Limitar al mínimo el ancho de la carretera para restringir el área alterada.
- Evitar la alteración de los patrones naturales de drenaje.
- Evitar terrenos escarpados con taludes de más del 60%.
- Evitar problemas como zonas inundadas o inestables.
- Usar ángulos de talud estables en cortes y rellenos.

En este proyecto la sección transversal diseñada consta de:

- Calzada única con dos carriles de 3.5 m de ancho, uno para cada sentido, y en el lateral de la zona oeste un carril bici de 1.5 m de ancho.
- Como elemento para separar los carriles de circulación de los vehículos y el carril bici, se implanta un bordillo de 0,40 m de ancho y una profundidad de 0,40 m para separar la circulación de vehículos del tránsito sobre la vía ciclista.
- Para la intersección con el terreno se parte de un arcén de 0,5 m que realiza su unión con el terreno mediante un talud de intersección de 0.5 m con pendiente 2:1.
- Para concluir con la intersección entre el nuevo vial y el terreno existente se opta por taludes de desmonte 1:1 y taludes de terraplén de 2:1.

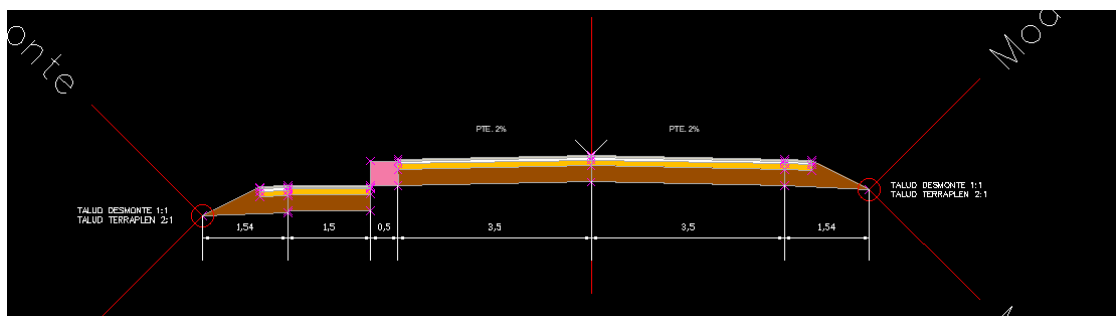


Ilustración 1.8. Diseño de sección tipo

Debemos de tener en cuenta por último la distancia de visibilidad. Esto es la longitud continua hacia delante de la carretera, que es visible al conductor para poder ejecutar con seguridad las diversas maniobras a que se ve obligado o decida efectuar.

El nuevo diseño del vial consta de las siguientes características generales:

Longitud Total:	4.956 m
Pendiente maxima:	5.67%
Pendiente mínima:	0.60%
Radio Máximo:	280 m
Radio Mínimo:	95 m

Tabla 1.1. Características generales del nuevo vial

1.7. Cubicación

En todo tipo de proyectos sobre obras lineales se mueven grandes volúmenes de tierra. Antes de iniciar el proyecto de construcción, el topógrafo debe determinar la configuración de la superficie del terreno. Esto tiene la finalidad de poder calcular el volumen de materiales que se debe retirar o agregar en cada zona de la obra.

Cuando hablamos de movimiento de tierras estaremos tratando con los conceptos de desmonte y terraplén.

En este caso optaremos por el método de cubicación por medio de perfiles transversales. Este método es el usado en carreteras, vías férreas, canales, obras lineales en general.

Los volúmenes se determinan considerando el área de cada dos secciones transversales consecutivas y la distancia entre ellas. Cada sección comprende el perfil del terreno y el perfil de la rasante, las cuales van dibujadas en el plano formando una figura cuya área medimos.

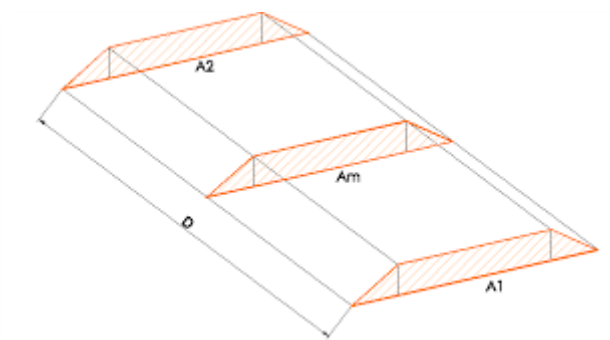


Ilustración 1.9. Cubicación por perfiles transversales

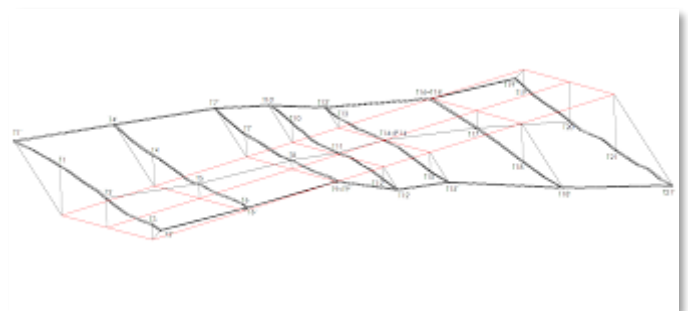


Ilustración 1.10. Cubicación por perfiles transversales

Como resultado de emplear este método de cálculo de cubicación se obtiene:

Área de desmonte (Metros cuadrados)	Volumen de desmonte (Metros cúbicos)	Área de terraplén (Metros cuadrados)	Volumen de terraplén (Metros cúbicos)
20200.32	170033.4	22632.74	181052.36

VOLUMEN DE BASE-SUB BASE	VOLUMEN DE PAVIMENTO
21222.45	3537.54

Tabla 1.2. Resultado de cubicación

1.8. Presupuesto

En la actualidad, según la web del Colegio Oficial de Ingeniería Geomática y Topográfica se ha de tener en cuenta factores indispensables a la hora de realizar el cálculo de los honorarios en un determinado trabajo.

En primer lugar, el precio de un levantamiento topográfico dependerá del trabajo a realizar. No es lo mismo realizar un levantamiento de 1 hectárea que de una zona cuya extensión sea de 300 hectáreas. De igual manera, no tendrá el mismo coste un trabajo sobre un terreno accesible, regular y de fácil tránsito, que una zona abrupta donde la dificultad del levantamiento conlleve dificultad y peligrosidad.

Otro factor fundamental es el equipo y tecnología utilizada en el trabajo. Los instrumentos para realizar un trabajo han de tener la precisión necesaria para cumplir con lo demandado.

Dentro del presupuesto también ha de ir incluidos los gastos referidos al transporte, dietas y materiales necesarios para la elaboración del trabajo.

En consonancia con los factores anteriores cabe destacar para determinar el costo mínimo en los honorarios, la experiencia del técnico o ingeniero que desempeñe el trabajo. Esto influirá en la calidad y tiempo de ejecución de las labores a realizar.

Para determinar un resultado final se puede establecer el cálculo de distintas formas. Existen presupuestos basados en el número de horas empleadas para la realización de los trabajos exigidos. Se realiza una estimación de las jornadas en la que se puede realizar el trabajo, proporcionando el coste unitario por jornada a emplear y desglosando que se incluye en ese coste, siendo la jornada de ocho horas.

Este tipo de presupuestos son más comunes en trabajos de poca duración.

Sin embargo, para trabajos más extensos en el tiempo, la forma común de presentar un presupuesto será por mes de trabajo. Es una forma de presentación del presupuesto similar a la anteriormente mencionada, con la salvedad que en este caso se incluye el coste referido al mes completo.

Para este proyecto el presupuesto propuesto se presenta según jornadas de trabajo y el precio de la jornada se ha obtenido bajo consulta a una oficina técnica dedicada a este tipo de trabajos topográficos y al listado de precios ofrecido por el Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.

Se impondrá la condición del cobro de la jornada completa como mínimo si los trabajos a desempeñar en el día no llegaran a ocupar las 8 horas de una jornada completa.

RESUMEN	IMPORTE
TRABAJOS DE CAMPO	1392
TRABAJOS DE GABINETE	3587.24
EJECUCION MATERIAL	4940
EJECUCION POR CONTRATA	6224.4
PRESUPUESTO FINAL	7531.52

El total de este proyecto asciende a la cifra de **ESIETE MIL QUINIENTOS TREINTA Y UN EUROS CON CINCUENTA Y DOS CENTIMOS.**

Se presenta una descomposición detallada de este presupuesto en el apartado 5.PRESUPUESTO de este proyecto.

2. ANEJOS

2.1. Estudios Previos

2.1.1. Situación y Descripción de la zona

En la cartografía ya existente, como el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50000 editado por el IGN (Instituto Geográfico Nacional), tenemos ubicada la zona en la hoja número 0947.

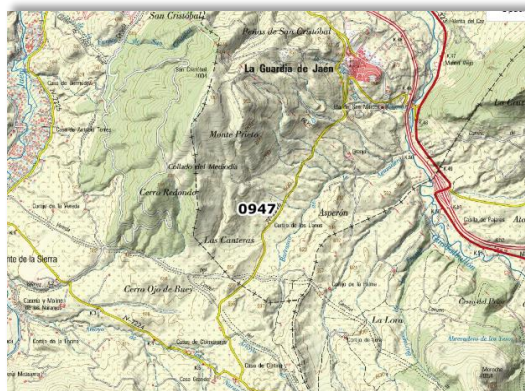


Ilustración 2.1. Hoja MTN 1:50.000

En el estudio previo de la zona antes de realizar la primera visita a campo se presta atención a los distintos accesos a la zona, de esta manera se optimiza el tiempo de llegada.

Tiene acceso por la zona sur desde la carretera JV-2224 circulando en sentido este-oeste por la misma.

Dicho acceso tiene como coordenadas geográficas aproximadas:

Latitud: $37^{\circ}41'50.95''$ N

Longitud $3^{\circ}42'51.22''$ O



Ilustración 2.2. Acceso zona sur sobre Google Earth

Tiene acceso por la zona norte en la intersección con el camino V-164, salida sur de La Guardia de Jaén.

Dicho acceso tiene como coordenadas geográficas aproximadas:

Latitud: $37^{\circ}44'14.99''$ N

Longitud 3º41'47.59" O



Ilustración 2.3. Acceso norte sobre Google Earth

Nos encontramos con una longitud de **5.640 m** según listado de la red provincial de vías de interés agrario sacado de la página web de la diputación de Jaén. Este listado tiene actualización del año 2020.

RED PROVINCIAL DE VÍAS DE INTERÉS AGRARIO					TOTAL=	668.180
Carretera	Denominación	Inicio	Final	Long. Tot. Inventariada		
JV-2031	Lopera a la Antigua N-IV	Lopera	JV-2050 (Ant. N-IV)	4.450		
JV-2044	Escañuela a Pachena	Escañuela	Camino de Granada	4.470		
JV-2050	Enlace A-4 a la A-6175 (antigua N-IV)	A-4	A-6175	17.350		
JV-2121	Tomedonjimeno a Lendínez	A-306	A-6052 (Lendínez)	14.080		
JV-2131	Los Valencianos en Martos	A-3052	JA-3308 (Monte Lope Álvarez)	10.740		
JV-2200	A-306 (Pilar de Moya) a la JV-2121	A-306 (Pilar de Moya)	JV-2121	5.030		
JV-2210	JA-3305 a Baños de Martos	JA-3305 (Martos)	Baños de Martos	2.010		
JV-2222	Puente de la Sierra a Otiñar	JA-3210	Otiñar	4.580		
JV-2224	Puente de La Sierra a Puerto Alto	JA-3209 (Puente de la Sierra)	Puerto Alto	6.770		
JV-2226	La Guardia a Puerto Alto	La Guardia	JV-2224 (Puerto Alto)	5.640		
JV-2227	Acceso a Cárcel	N-323a	JA-3206 (Cárcel)	3.680		
JV-2228	Campillo de Arenas a Casablanca	Campillo de Arenas	Cortijo Casablanca	3.940		
JV-2233	A-316 a Vado de Santa Rosa	A-316	JA-4310 (Vado de Sta. Rosa)	2.600		
JV-2234	Alcaudete a Río San Juan	N-432 (Alcaudete)	P.K. 4.83 (La Tejera Alta)	4.830		
JV-2235	Alcaudete a Fuente del Espino	Alcaudete	P.K. 9.21 (Arroyo del Puente Nuevo)	9.210		
JV-2236	San José a Puente Suárez	JA-4305	JA-5300 (Puente Suárez)	3.080		
JV-2237	Acceso a Fuente Alamo desde la A-339	A-339	Fuente Alamo	6.840		
JV-2238	Alcalá la Real a Las Grajeras	N-432a (Alcalá la Real)	JA-4307 (Las Grajeras)	10.900		
JV-2242	Alcalá la Real a La Rodiza	A-336 (Alcalá la Real)	La Rodiza	6.080		

Ilustración 2.4. Listado Red Provincial de Vías de Interés Agrario 2020.

2.1.2. Características actuales de la carretera JV-2226

En la actualidad está clasificada como carretera convencional. Pertenece a la Red Intercomarcal de carreteras de la Junta de Andalucía.

Sirve principalmente como acceso a las zonas de uso agrario de los alrededores, todas ellas como cultivo de olivar.

El tráfico, por lo tanto, en su mayoría suelen ser vehículos pesados y vehículos agrícolas, limitando su peso a 16 toneladas y la velocidad máxima a

Este tipo de tráfico dificulta la circulación por este vial debido a las dimensiones del ancho de la calzada actual, velocidad máxima, visibilidad y otros factores que hacen de la JV-2226 una zona con cierto riesgo para circular.

Sumamos a lo anterior que es una zona donde vecinos salen a caminar o a practicar ciclismo. Debido a la proliferación de los aficionados a este tipo de actividades se contempla el diseño de un trazado que contenga un carril bici.

Se trata de un vial con un ancho total de la calzada entre 3.5 m y 4 m, sin arcones ni bermas.

Aunque nos podemos encontrar con tramos rectos de cierta longitud también nos encontramos tramos con sucesiones de curvas con mínima visibilidad que resultan ser de cierto riesgo.

También existen tramos en los que las condiciones del firme están muy deterioradas.

Actualmente cabe destacar la falta de señalización en todo el trayecto, tanto señalización vertical como en el mismo firme.

Se encuentra en una zona con bastantes irregularidades y cambios de pendiente del terreno.



Ilustración 2.5. Gráfico de elevación de carretera JV- 2226

- Reportaje fotográfico de la zona:



2.1.3. Recopilación de Información

En primer lugar, organizamos el flujo de trabajo a realizar. Para ello comenzamos realizando un estudio de la zona desde gabinete como toma de contacto, ya que aún no tenemos datos tomados en campo. Nos ayudamos de la cartografía ya existente como el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50000 editado por el IGN (Instituto Geográfico Nacional).

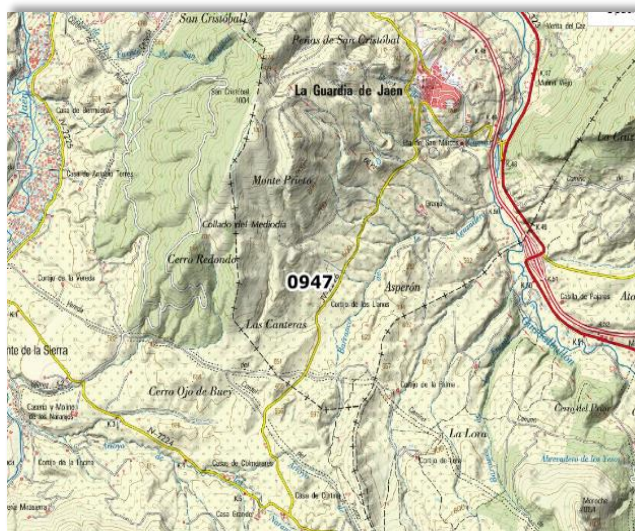


Ilustración 2.6. Hoja MTN50 Formato Vectorial

Para ayudarnos en este primer estudio utilizamos la aplicación de Autodesk Civil 3D y su función de conexión al servicio WMS (Web Map Service) para digitalizar el eje del vial sobre la ortofotografía de máxima actualidad del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).

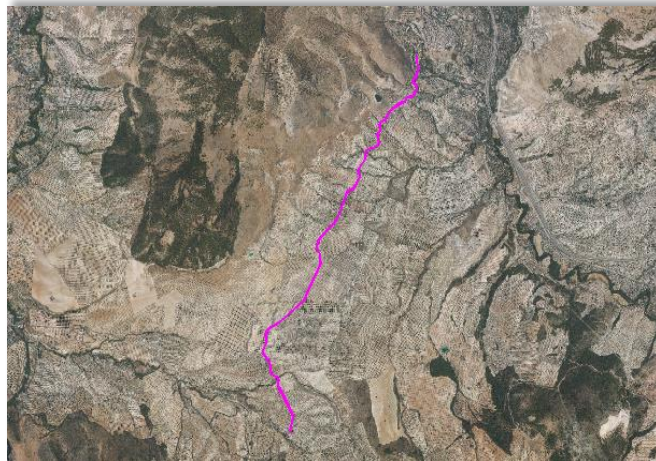


Ilustración 2.7. Digitalización sobre Ortofotografía PNOA máxima actualidad

Una vez obtenida la digitalización del eje vamos a estudiar los desniveles que se producen a lo largo del recorrido. Para ello nos servimos de la aplicación QGIS, donde abrimos el modelo de superficies descargado del CNIG y el eje digitalizado en formato DXF.

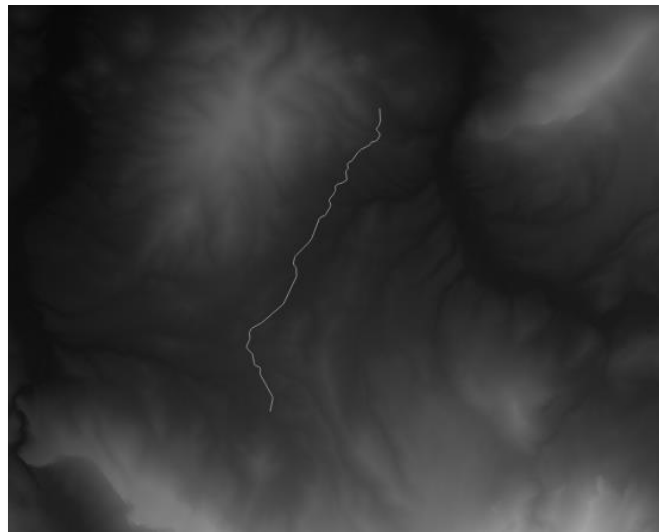


Ilustración 2.8. Eje digitalizado sobre MDS05

Localizamos los vértices de la RAP (Red Andaluza de Posicionamiento) para obtener la reseña de la base con la cual vamos a trabajar. En este caso, por aproximación, utilizaremos el vértice situado en la Universidad de Jaén (UJAE).

RED ANDALUZA DE POSICIONAMIENTO	
	
Estación permanente de Jaén (Fecha última actualización: 13/10/2020)	
ORTOFOTO 	SITUACIÓN VERTICE: UJAE NOMBRE: Jaén Nº IERS DOMES: 13458M001 PROVINCIA: Jaén MUNICIPIO: Jaén HOJA MTN-50: 947
FOTOGRAFÍA DE CAMPO 	UBICACIÓN: Colegio Mayor Domingo Savio de la Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas. Ctra.de Madrid, s/n. C.P.: 23071 – Jaén. CONSTRUCCIÓN: Centrado forzado montado sobre monolito de hormigón con forma cilíndrica de 1.00 m de altura y 0.30 m de diámetro colocado sobre la cubierta del edificio.
MAPA DE SITUACIÓN 	INSTRUMENTACIÓN RECEPTOR: Leica GR50 ANTENA: LEIAR20 LEIM ESTACIÓN METEOROLÓGICA: Paroscientific MET3 REGISTROS: Presión, humedad y temperatura
COORDENADAS ETRS89 (ETRF00 Época 2017.0)	
CARTESIANAS X(m): 5036325,101 Y(m): -332899,154 Z(m): 3887177,045	
GEODÉSICAS	
DECIMAL LATITUD: 37,787760661 LONGITUD: -3,761727761 H ELIPS (m): 527,754	SEXAGESIMAL LATITUD: 37° 47' 15,93838" N LONGITUD: 3° 46' 54,21994" O
UTM HUSO 30 X UTM 30 (m): 431168,522 Y UTM 30 (m): 4182554,777	
INFORMACIÓN ADICIONAL	
INSTITUCIÓN RESPONSABLE: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). Consejería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades. C/ Leonardo De Vinci, nº 21 (Pabellón de Nueva Zelanda) Isla de La Cartuja. 41092 Sevilla. España	
E-MAIL RAP: rap.ieca@juntadeandalucia.es	
WEB RAP: http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/rap	

Ilustración 2.9. Reseña estación permanente UJAE.

Recopilamos por último la normativa vigente la cual rige las características de los trabajos que vamos a realizar. Dicha norma es **“ORDEN DE 27 DE DICIEMBRE DE 1999 POR LA QUE SE APRUEBA LA NORMA 3.1-IC TRAZADO, DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS (BOE DE 2 DE FEBRERO DE 2000)”**.



Ilustración 2.10. Portada Instrucción de Carreteras Norma 3.1 – IC.

2.1.4. Estudio para planificación de Vuelo
2.1.4.1.- Instrumentación y Software Empleado

i) **La instrumentación utilizada es:**

- Receptor Trimble R2 dotado de radio y modem.
- Controladora electrónica Trimble TSC3.
- DJI Phantom 4 RTK, Aeronave Cuadricóptero.

ii) **Características de la instrumentación:**

- Receptor Trimble R2 y controladora Trimble TSC3:

Las precisiones planimétricas y altimétricas que se obtienen con este receptor son centimétricas utilizando el método RTK (Tiempo Real) obteniendo correcciones de un receptor fijo mientras otro receptor toma los datos necesarios.



Ilustración 2.11. Controladora Trimble TSC3



Ilustración 2.12. Receptor Trimble R2

Posicionamiento RTK²	
Exactitud horizontal	10 mm + 1 ppm RMS
Exactitud vertical	20 mm + 1 ppm RMS
RTK de red²	
Exactitud horizontal	10 mm + 0,5 ppm RMS
Exactitud vertical	20 mm + 0,5 ppm RMS

Tabla 2.1. Precisión de equipo Trimble

- DJI Phantom 4 RTK:

En este proyecto la aeronave utilizada es el Phantom 4 RTK de la marca DJI. Este aparato está especialmente diseñado para trabajos de topografía a un nivel profesional debido al sensor de su cámara, que se asemeja lo máximo posible a las cámaras métricas utilizadas en fotogrametría clásica.

Esta aeronave tiene un peso de 1391 g con una velocidad máxima de 50 km/h. Cuenta con un módulo integrado RTK que proporciona información de posición a nivel centimétrico en tiempo real.



Ilustración 2.13. Equipo RPAS Phantom 4 RTK.

Funciones de cartografía

Precision de cartografía**	La precision de la cartografía cumple los requisitos exigidos para la Clase III de los estandares de precision para ortofotografías digitales de la ASPRS ** La precision real dependerá de las condiciones de iluminacion y de los patrones del suelo, la altitud de la aeronave, el software de cartografía utilizado y otros factores externos de la grabación.
Tamaño de pixel del suelo (GSD)	(H/36.5) cm/pixel, Donde H es la altitud de la aeronave relativa a la escena grabada (expresada en metros)
GNSS RTK de alta precision multisistema y multifrecuencia	Frecuencia utilizada: GPS: L1/L2; GLONASS: L1/L2; BeiDou: B1/B2; Galileo*: E1/E5a Tiempo de primer posicionamiento: < 50 s Vertical 1.5 cm + 1 ppm (Media cuadratica); Horizontal 1 cm + 1 ppm (Media cuadratica) 1 ppm indica un incremento del error de 1 mm por cada 1 km de movimiento de la aeronave.

Tabla 2.2. Características cartográficas RPAS

Cuenta con una cámara:

camara	phantom 4 pro
altura sensor (mm)	8.76
anchura sensor (mm)	13.13
altura sensor (px)	3648
anchura sensor (px)	5472
distancia focal (mm)	8.8
tamaño pixel (m)	2.4004E-06

Tabla 2.3. Características cámara Phantom 4

iii) Software utilizado:

- Trimble Access como software utilizado en la libreta Trimble TSC3.
- GS RTK es el utilizado por la controla DJI de la aeronave.
- Microsoft Office.
- CIVIL 3D.
- Virtual Surveyor.
- Global Mapper.

- Agisoft Metashape.
- iv) Instrumentación adicional:
- Jalón de 2 m de altura.
 - Mini trípode para nivelación de jalón.
 - Pintura blanca reflectante en aerosol.

2.1.4.2.- Análisis de Restricciones para Vuelo con RPAS

Uno de los primeros pasos a seguir para realizar un vuelo fotogramétrico es comprobar las restricciones que puedan existir en la zona a volar. Debemos tener en cuenta si nos encontramos cerca de un aeródromo, zonas de alertas, zonas restringidas o peligrosas, presencia de NOTAM (Notice To Airmen) vigente o espacios naturales protegidos.

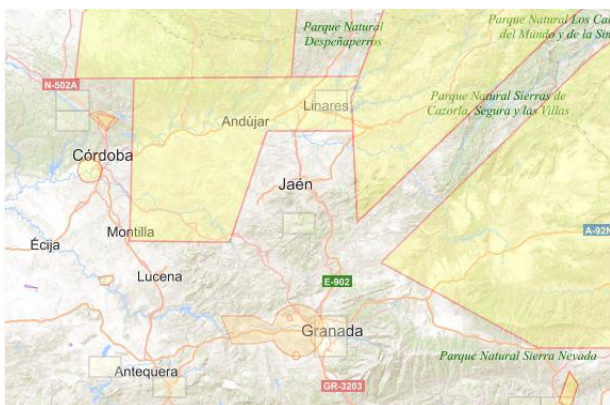


Ilustración 2.14. Restricciones aéreas sobre zona de interés

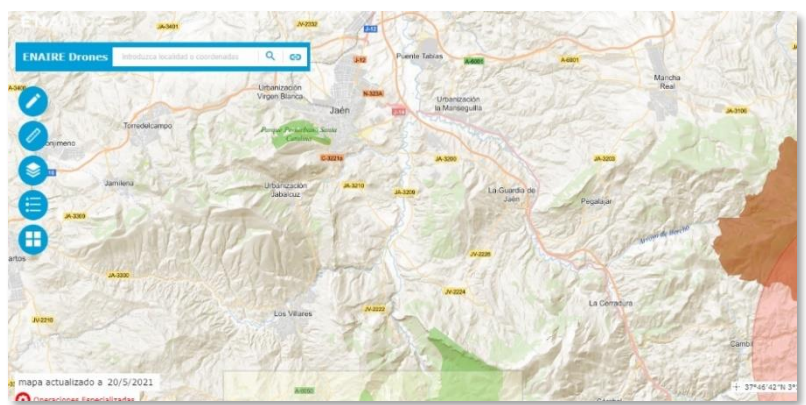


Ilustración 2.15. Restricciones aéreas sobre zona de interés

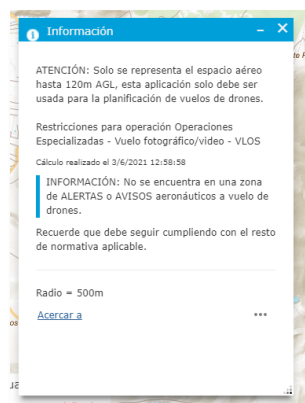


Ilustración 2.14. Restricciones aéreas sobre zona de interés

Esta información está disponible en la página web oficial de ENAIRE Drones, perteneciendo al Ministerio de Fomento. Como podemos ver, nos encontramos en una zona libre de cualquier restricción para el vuelo de RPAS.

2.1.4.3.- Planificación para Distribución de los Puntos de Apoyo

Según las prestaciones con las que cuenta el DJI Phantom 4 RTK la distribución de los puntos de apoyo, antes de realizar el vuelo, ha de ser aproximadamente cada 400 m. Al ser un vuelo longitudinal los puntos de apoyo serán distribuidos a lo largo del eje de la carretera colocando el primer punto en el punto kilométrico PK-0, considerando como inicio la zona sur.

Para la colocación de los puntos de control debemos tener en cuenta las zonas más elevadas y las menos elevadas, es fundamental para un adecuado procesado de la información tomada ya que de esto dependerá el resultado del modelo que obtendremos

Dividimos nuestro eje en partes iguales, al tener una longitud de 5.000 m y distanciar cada punto aproximadamente 400 m, tenemos como resultado que debemos colocar 12 puntos de apoyo en el eje de la carretera.

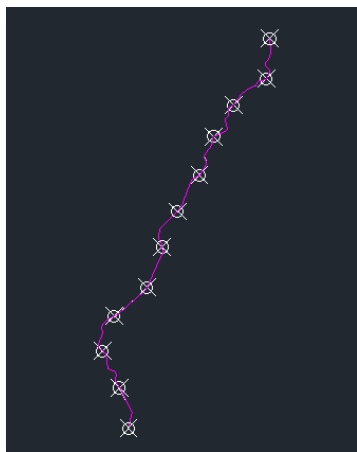


Ilustración 2.15. Distribución de puntos de apoyo

La distribución de los puntos debe cumplir:

- Cubrir completamente la zona de trabajo.
- Aparecer en el mayor número posible de fotografías.
- Identificarse perfectamente en todas las fotografías, ubicándolos sobre el terreno de forma estable.
- Es conveniente elegir zonas del terreno de pendiente suave y lo más horizontal posible.
- Ha de quedar definido por la intersección de dos rectas.
- Incertidumbre planimétrica menor que el tamaño nominal del píxel.

Será necesario determinar el tamaño de la marca para su identificación clara en las imágenes.

Calculamos el diámetro de la marca en el plano objeto y en el plano imagen:

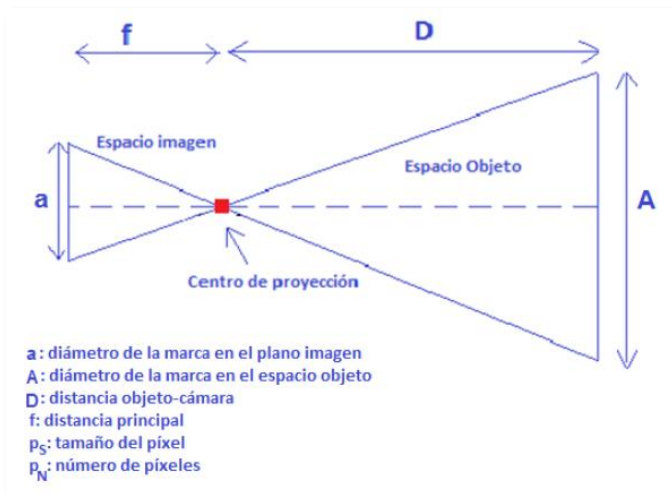


Ilustración 2.16. Esquema espacio imagen – espacio objeto

FORMULACIÓN

$$\frac{a}{A} = \frac{f}{D} = \text{escala}$$

$$a = p_s \cdot p_N$$

$$A = (p_s \cdot p_N) \frac{D}{f}$$

La marca ha de ocupar en la imagen un diámetro mínimo, 5 píxeles, por lo que se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$A \geq (5 \cdot p_s) \frac{D}{f}$$

2.1.4.4.- Planificación del Vuelo

En la planificación de un vuelo lineal, lo primero a tener en cuenta es la distancia total del eje del elemento lineal. De esta manera se divide el trabajo en distintos vuelos

cuya extensión en sentido longitudinal ha de ser de 500 m. Esta distancia está determinada según el real decreto 1036/2017.

A continuación, es importante determinar el ancho de la zona de vuelo. Esta distancia, respecto al eje del vial, varía dependiendo de la zona de interés sobrevolada. Será necesario ampliar el ancho de la zona de vuelo en tramos con la presencia de curvas para obtener la información necesaria con la que se llevará a cabo el estudio del terreno.

El mínimo ancho determinado a ambos lados del eje del vial es de 50 m, y este podrá variar según la zona, llegando hasta los 130 m.

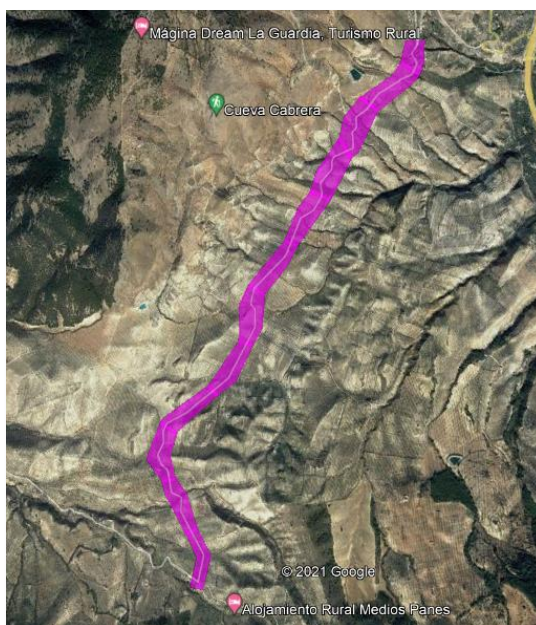


Ilustración 2.17. Zonas de Vuelo

Al realizar una planificación de distintos vuelos independientes, se ha de conseguir la conexión entre cada uno. Para ello se ha de tener en cuenta una zona de solape entre un vuelo y su contiguo. De esta manera se podrá realizar un procesamiento de imágenes tratadas como un bloque total.

Para el éxito de la captación de las imágenes se ha de realizar una planificación basada en un vuelo adaptado al terreno.

Un vuelo adaptado al terreno siempre respetará la altura establecida de vuelo, tanto en las zonas más elevadas como en las zonas de menor cota. De esta manera asegura el cumplimiento de los solapes establecidos en su planificación ya que la superficie del terreno fotografiada será la misma en cada toma.

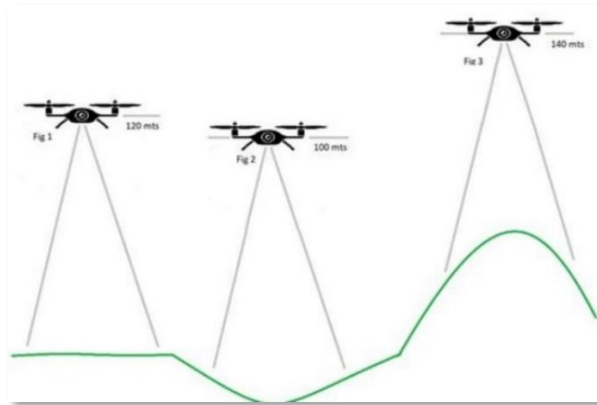


Ilustración 2.18. Esquema vuelo adaptativo

Sin embargo, con una planificación sobre el mismo plano se realiza un vuelo cuya altura es constante en todo momento, independientemente de las zonas a distintas cotas. Esto implica que en los tramos donde el terreno se eleve, la huella de la cámara será mucho menor que en las zonas hundidas donde el terreno fotografiado será mucho mayor.

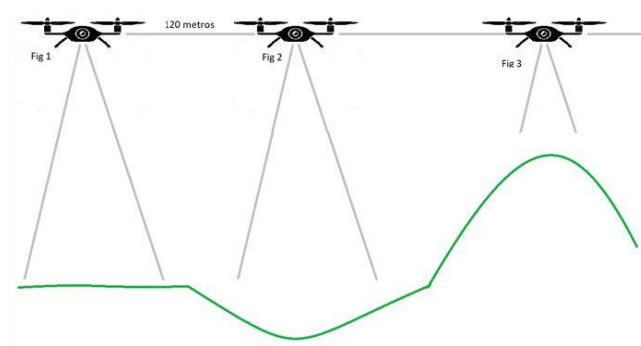


Ilustración 2.19. Esquema vuelo sobre plano

Para obtener un plan de vuelo adaptado al terreno se ha de partir de un modelo digital de elevaciones. Estos modelos están disponibles en centro de descargas del *Instituto Geográfico Nacional (CNIG)*.

Para implementar un modelo de elevaciones en la planificación, se ha de tener en cuenta el concepto de altura ortométrica. Se trata de la distancia vertical que existe entre la superficie de la Tierra y la superficie del geoide.

Dicha altura ha de ser aplicada al modelo descargado; siendo el valor de H, en la zona sobre la que se centra el trabajo, de 49.6 m. Dato obtenido utilizando el Programa de Aplicaciones Geodesicas (PAG) proporcionado por el IGN.

Es algo fundamental para la planificación del vuelo, ya que de esto dependerá la correcta obtención del producto deseado una vez se realice el procesado de todas las imágenes.

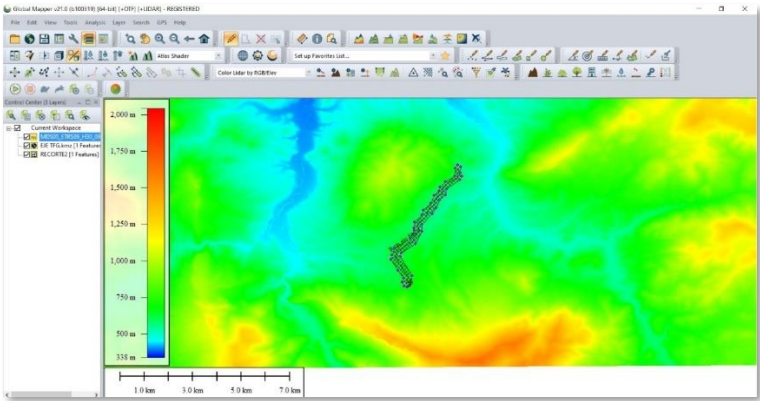


Ilustración 2.20. MDS y zonas de vuelo Global Mapper

El siguiente paso en la planificación es la obtención de los parámetros de vuelo necesarios. Para ello debemos conocer las características de la cámara que se va a emplear.

camara	phantom 4 pro
altura sensor (mm)	8.76
anchura sensor (mm)	13.13
altura sensor (px)	3648
anchura sensor (px)	5472
distancia focal (mm)	8.8
tamaño pixel (m)	2.4004E-06

Tabla 2.4. Parámetros cámara Phantom 4

Con estos datos obtenemos:

Escala del fotograma	$M_b = \frac{1}{mb} = \frac{f}{D}$	M_b : Escala del fotograma
Tamaño GSD	$GSD = \frac{D}{f} \cdot res$	m_b : denominador de la escala

Recubrimiento longitudinal	$p\% = \frac{(Lt_{Hz} - b) \cdot 100}{Lt_{Hz}}$	<i>GSD: tamaño del píxel en el terreno:</i> <i>resolución de la cámara</i>
Base aérea	Fotobase $b = lt_{Hz} \cdot (1 - \frac{p\%}{100})$ Base $B = b \cdot mb = lt_{Hz} \cdot (1 - \frac{p\%}{100})$	<i>f: focal</i> <i>D: Altura de vuelo sobre el terreno</i> <i>* en tomas cenitales la altura de vuelo coincide con la distancia de disparo (H)</i> <i>p: recubrimiento longitudinal</i>
Recubrimiento transversal	$q\% = \frac{(Lt_v - a) \cdot 100}{Lt_v}$	<i>recubrimiento transversal</i>
Distancia entre pasadas	$a = lt_v \cdot (1 - \frac{q\%}{100})$ $A = Lt_v \cdot (1 - \frac{q\%}{100})$	<i>Lt_{Hz}: lado del fotograma en el terreno (ancho)</i> <i>Lt_v: lado del fotograma en el terreno (alto)</i> <i>lt_{Hz}: lado del fotograma (ancho)</i> <i>lt_v: lado del fotograma (alto)</i>
Número de fotogramas por pasada	$num_{fot} = \frac{ancho}{B} + 1$	<i>B: base aérea</i>
Número de pasadas	$num_{pasadas} = \frac{alto - Lt_v}{A} + 1$	<i>A: separación entre pasadas</i>
Número de fotogramas	$num_{total} = num_{fot} \cdot num_{pasadas}$	<i>b: base fotográfica</i> <i>alto, ancho: dimensiones de la zona</i> <i>Num_{pasadas}: n° de pasadas</i> <i>Num_{fot}: n° fotografías por pasada</i> <i>Num_{total}: n° total de fotografías</i>

Tabla 2.5. Ecuaciones para cálculo de parámetros de vuelo

2.2. Trabajo de Campo

La metodología en la que se basa la toma de datos es la de realizar una captación de información en tiempo real (RTK). Un receptor móvil obtiene correcciones, en el momento de la medición, de un receptor que se encuentra fijo. Dichas correcciones son obtenidas vía GPRS.

La información tomada en campo se puede dividir en dos etapas distintas:

- Una primera etapa centrada en la utilización de equipo GNSS topográfico. Con él realizaremos la toma de los puntos necesarios en el terreno que servirán de apoyo al vuelo fotogramétrico.



Ilustración 2.21. Equipo GNSS en trípode de pinza sobre marca de punto de apoyo

- Una segunda etapa en la que se realiza el vuelo con RPAS. Se realizan las fotografías de todo el terreno necesario para su estudio.



Ilustración 2.22. Marca de punto de apoyo fotografía aérea

En ambas etapas el fundamento de medición es el mismo. A la hora de la toma de puntos en terreno el receptor móvil es el equipo GNSS que se desplaza por el terreno. Una estación de referencia, en un punto de coordenadas conocidas y precisas, provee correcciones instantáneas para la estación móvil lo que hace que se obtengan precisiones que lleguen al nivel centimétrico (1- 2 cm).

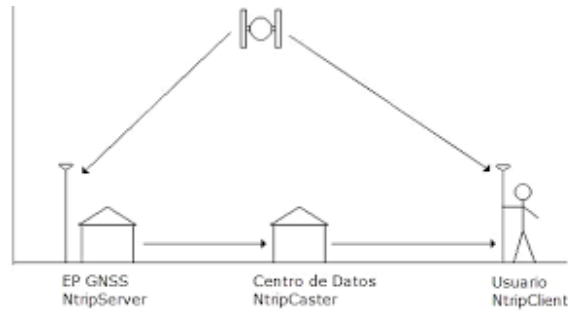


Ilustración 2.23. Esquema funcionamiento equipo GNSS RTK

En el caso de la toma de las fotografías, la aeronave realiza la función de equipo móvil debido a la integración de un módulo RTK que permite determinar la posición del aparato con gran precisión. El fundamento del sistema instalado en la aeronave es el mismo que el de los receptores de campo obteniendo unas precisiones en el eje X, Y de 2- 6 cm y en el eje Z de 3- 10 cm teniendo en cuenta que estas precisiones hacen referencia a la ubicación de la aeronave en un momento determinado y no a la precisión del modelo final.

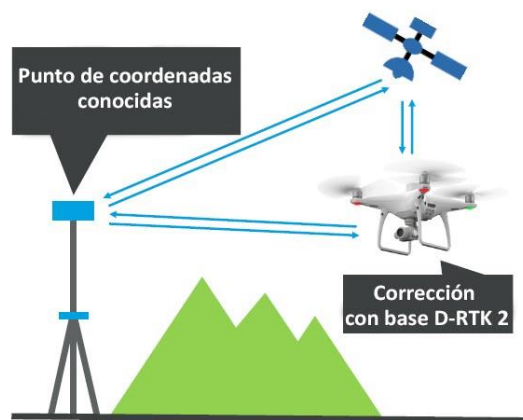


Ilustración 2.24. Esquema funcionamiento RPAS RTK

2.2.1. Materialización de los Puntos de Apoyo

La obtención de las coordenadas de cada punto de apoyo se realiza mediante técnicas de posicionamiento GNSS. Utilizar esta técnica de trabajo permite obtener unos datos perfectamente georreferenciados a un sistema de referencia (*UTM, Datum ETRS-89, Huso 30 Norte, cuyas cotas se encuentran referidas al geoide EGM-08*).

Como se ha mencionado anteriormente, el estilo de levantamiento es en RTK (Tiempo Real), el cual registra los datos corregidos de ambigüedades.

La medición de cada punto se realiza con la función “Punto Topo” del equipo Trimble. Esta se utiliza para medir un punto topográfico con un tiempo de ocupación de 1 minuto. El equipo estará continuamente realizando lecturas durante ese tiempo y totalmente nivelado gracias a la ayuda de un trípode de pinza.



Ilustración 2.25. Equipo GNSS en trípode de pinza sobre marca de punto de apoyo

Al tener buena cobertura de red móvil en la zona de trabajo, se realiza una conexión a la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP). Es una red GNSS de 22 estaciones multiconstelación que la Junta de Andalucía ofrece para obtener un posicionamiento de alta precisión en todo el territorio andaluz a través de servicios gratuitos de correcciones diferenciales y archivos RINEX. Esta red define un marco geodésico de referencia único y estable para toda Andalucía.

Los puntos de apoyo se materializan mediante pintura reflectante en aerosol de color blanco. El punto estará representado como la intersección de dos rectas cuyo tamaño sea suficiente para identificarse perfectamente desde el aire.



Ilustración 2.26. Equipo GNSS en trípode de pinza y marca de punto de apoyo

En todo vuelo fotogramétrico es necesario la toma en terreno de puntos de control que servirán como comprobación del producto obtenido. Se trata de elementos fácilmente identificables tales como esquinas de alguna obra de fábrica, señales de tráfico pintadas en asfalto, etc.



Ilustración 2.27. Puntos singulares en terreno para puntos de control

Como resultado, una vez materializado cada punto de apoyo y realizada su respectiva medición, queda una distribución de puntos tal que:

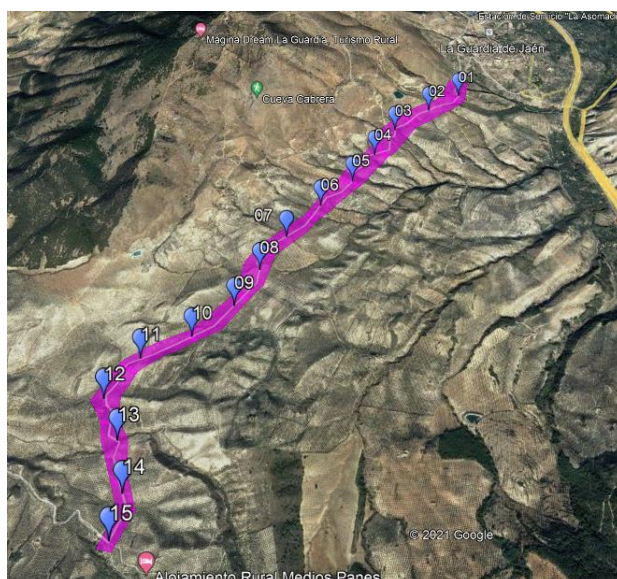


Ilustración 2.28. Puntos de apoyo en zonas de vuelo

La visita a campo se realiza con una planificación, grosso modo, de la ubicación de cada punto; pero es in situ en el terreno cuando se toma la decisión definitiva sobre la colocación y densificación de los apoyos. A lo largo del vial se dejan identificados un total de 15 puntos y no los 12 planificados en el estudio previo.

Código	E	N	H	Error RMS	Precisión X	Precisión Y	Error Horizontal	Error Vertical
PA01	438653.767	4176760.28	605.5543	0.0203	0.0102	0.01	0.0143	0.0263
PA02	438413.543	4176535.72	610.0234	0.0214	0.0105	0.0103	0.0148	0.0279
PA03	438152.922	4176263.54	598.1179	0.0207	0.0104	0.0098	0.0143	0.0268
PA04	438019.608	4175968.95	579.0772	0.0205	0.0104	0.0098	0.0143	0.0265
PA05	437886.749	4175630.52	584.2991	0.0218	0.0105	0.0103	0.0147	0.0284
PA06	437677.411	4175342.1	578.2176	0.0196	0.0103	0.0097	0.0142	0.0252
PA07	437476.834	4174981.8	587.2179	0.0203	0.0105	0.0099	0.0144	0.0262
PA08	437346.835	4174634.42	590.2257	0.0193	0.0102	0.0098	0.0142	0.0246
PA09	437238.659	4174280.02	591.3292	0.02	0.0108	0.0099	0.0147	0.0255
PA10	437012.905	4173971.01	605.2129	0.0201	0.0108	0.0101	0.0148	0.0255
PA11	436718.365	4173744.9	620.9994	0.0203	0.011	0.0103	0.0151	0.0257
PA12	436570.625	4173409.52	617.643	0.0185	0.0104	0.0094	0.014	0.0233
PA13	436765.36	4173105.8	624.8572	0.0185	0.0106	0.0095	0.0142	0.0231
PA14	436922.894	4172735	643.1502	0.0184	0.0107	0.0094	0.0143	0.023
PA15	436944.778	4172423.55	658.1161	0.0185	0.011	0.0095	0.0145	0.023

Tabla 2.6. Coordenadas de puntos de apoyo y precisiones

2.2.2. Levantamiento Topográfico con RPAS

En todo vuelo a realizar será necesario comprobar y elegir el día idóneo para la ejecución del vuelo. Tendremos en cuenta las condiciones climatológicas ideales para elegir fecha y hora tales como viento, rachas de viento, nubosidad o lluvia. Para ello utilizamos la aplicación meteorológica Windy

La ejecución de los vuelos fotogramétricos se llevó a cabo el 09/11/2021.

Una vez tenemos la misión planeada, elegido fecha y hora, materializados los puntos de apoyo según el estudio de la zona y según hemos podido ver desniveles considerables; procedemos con la ejecución del vuelo.

En todo vuelo realizamos comprobaciones de seguridad en el equipo, además de realizar una calibración de la aeronave en la zona de trabajo.

Se utilizará un modo de vuelo totalmente autónomo a través del cual se ejecuta la misión de vuelo según lo establecido, aunque siempre tendremos la opción de tomar el control de la aeronave si fuera necesario por algún motivo de seguridad.

Mientras el vuelo se está ejecutando se ha de prestar especial atención a la telemetría mostrada por pantalla en la emisora. Se debe estar atento a datos como:

Altura de vuelo: principalmente por asegurar la toma correcta de los datos y cumplir con la normativa europea vigente.

Distancia de vuelo: se ha de cumplir con la normativa vigente.

Otros datos como adaptación al terreno en cada momento, velocidad de vuelo, intensidad de conexión con la aeronave, posición, etc.

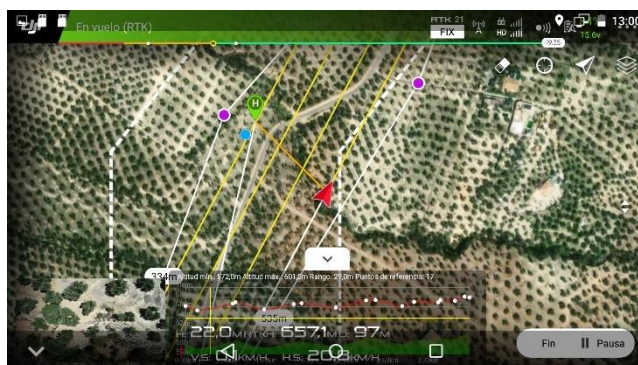


Ilustración 2.29. Telemetría en vuelo sobre ortofotografía

El RPAS estará posicionado en todo momento por el sistema GNSS debido a que cuenta con un módulo integrado RTK.

La adquisición de las imágenes se realizará en modo vuelo cruising realizando la toma de imágenes según tiempo de captura.



Ilustración 2.30. Telemetría en vuelo y vista desde cámara

Debido a la extensión de la zona que debemos volar, un factor importante en la ejecución del vuelo es el tiempo que la batería del aparato nos permite estar trabajando. Este tiempo es de aproximadamente 23 minutos, por lo que deberemos tener especial cuidado en controlar la carga de cada batería para evitar una caída de la aeronave, siendo necesario en cada vuelo tomar el control para realizar la vuelta al punto de despegue y realizar el cambio de batería por una cargada al 100%.

Medidas Correctoras Empleadas:

- El piloto en ningún momento perderá de vista la aeronave y nunca volará a más de 500 metros de distancia del piloto.
- El Phantom 4 RTK consta de un sistema anticolidión que, ante la presencia de cualquier objeto, este detendrá su vuelo y se mantendrá a la espera de las órdenes del piloto.
- En caso de pérdida de señal entre la controladora y el dron este volverá al punto de despegue, para ello volará a la altura de 80 metros hasta el mismo vertical del despegue y aterrizará en vertical.
- La zona de despegue y aterrizaje será correctamente señalizada y delimitado un perímetro de seguridad.
- Informar a la policía Local con 48h de antelación.

2.3. Trabajo de Gabinete

2.3.1. Procesado de Imágenes

2.3.1.1 – Orientación de las Imágenes

Una vez tomados los datos necesarios en campo se exportan a nuestro equipo de trabajo.

El tratamiento de las imágenes se procesará mediante Agisoft Metashape el cual obtiene el producto deseado de un modo prácticamente automatizado. Se cargan las fotos y los parámetros iniciales de orientación interna de la cámara.

En primer lugar, se realiza la formación del modelo fotogramétrico de todo el bloque en un sistema de referencia arbitrario y posteriormente se realiza el ajuste del bloque mediante el proceso de matching. Por último, se dota de coordenadas oficiales mediante los puntos de apoyo.

Dentro de ese flujo de trabajo podemos diferenciar varias fases de trabajo:

- Orientación Interna

Se realiza de forma automática a partir de los parámetros de calibración de la cámara.

Se calculan los parámetros necesarios que permiten pasar de coordenadas píxel a un sistema tridimensional cuyo origen se encuentra en el centro de proyección de la cámara.

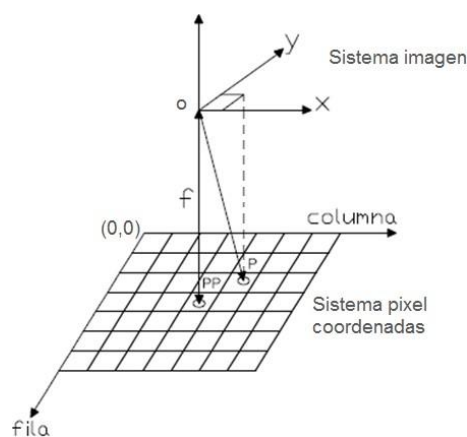


Ilustración 2.31. Relación entre sistema imagen y sistema píxel

La transformación entre estos sistemas es:

$$X_P = (C_{px} - C_o) r_x$$

$$Y_P = (F_{px} - F_o) r_y$$

$$Z_P = (-f)$$

Siendo:

- X_P, Y_P, Z_P las coordenadas de p en el sistema imagen.
- C_{px}, F_{px} las coordenadas píxel de p.
- r_x, r_y el tamaño del píxel o resolución (en micras).

- **Orientación Externa**

En este caso se reconstruye la posición y orientación del haz respecto al objeto. Primero se obtiene los elementos de orientación relativa de las imágenes del bloque. Esta se realiza identificando puntos homólogos en las imágenes mediante procesos de correlación (matching).

A continuación, se realiza la orientación absoluta, se realiza mediante una transformación de semejanza. Es en este paso donde se realiza el cambio del sistema de referencia arbitrario al sistema de referencia final. Esto tiene lugar a partir de siete parámetros que definen una traslación al origen, la orientación angular y un cambio de escala. Para que sea posible debemos de tener unos puntos de control en ambos sistemas para establecer la relación entre el espacio objeto y el espacio modelo. Para ello utiliza los puntos de apoyo medidos en campo antes de realizar el vuelo.

Como resultado de esta primera orientación se obtiene una nube de puntos dispersa con información de la zona de estudio. Tratándose de una información general se obtiene una cantidad de datos significativa debido al solape entre las fotografías tomadas ya que el fundamento de la fotogrametría se basa en dicho criterio.

- **Optimización de la Orientación**

Al final de la orientación podemos encontrarnos errores acumulados debido a la estimación que realiza el software sobre los parámetros de orientación interna y externa. Factores como forma y superficie o el solape entre imágenes pueden producir deformaciones del modelo.

Como hemos visto, durante la georreferenciación, el modelo se transforma mediante una transformación 3D de semejanza. Esta solo puede compensar algunos errores lineales, el resto de los errores residuales pueden eliminarse con la optimización de coordenadas de puntos y parámetros de la cámara. Esta optimización la realiza el programa ajustando coordenadas de los puntos estimados y parámetros de la cámara, minimizando el error.

La exactitud de la georreferenciación puede mejorar tras esta optimización mediante una auto calibración seleccionando los parámetros de la cámara que resulten significativos:

- Distancia Principal f .
- Coeficientes de afinidad c_x, c_y .
- Coeficientes de distorsión radial k_1, k_2, k_3 .

2.3.1.2- Nube de Puntos Densa

Como segundo resultado se obtiene una nube de puntos densa a partir de la cual se puede comenzar a definir la zona de estudio con cierta resolución. Se trata de unos datos brutos los cuales no están clasificados, no diferencian entre vegetación, calzada, terreno, edificaciones o cualquier otro objeto que podamos tener. Por tanto, se debe de editar y realizar una clasificación.

Al realizar esta clasificación el resultado buscado es generar una nube de puntos que contenga solo los puntos del terreno, a partir del cual generar el modelo digital.

La generación de una nube de puntos densa es fundamental para la obtención de cualquier tipo de producto. Se trata de una densificación de datos que puede llegar hasta los millones de puntos registrados. Dicha cantidad de datos resultaría imposible de obtener con topografía clásica.



Ilustración 2.32. Nube de puntos densa

Como se puede apreciar, la información de la nube densa es mucho más completa. Se llega a un modelo 3D de la zona con un detalle bastante significativo.

2.3.1.3- MDEs

Nos encontramos en el punto en el que tenemos unos datos ya referidos a un sistema de coordenadas oficial y que podemos procesar para así obtener el producto deseado.

Como productos a obtener en nuestro proyecto, hablamos de un MDS y un MDT. Estos son necesarios para el posterior estudio de la zona y poder realizar el nuevo diseño del vial. Es fundamental diferenciar entre Modelo Digital de Superficie y Modelo Digital del Terreno:

- Con el MDS tendremos un modelo en el cual tenemos representado el terreno y los objetos que se encuentran en él.
- Con el MDT tenemos la superficie solo del terreno, limpio de cualquier elemento como vegetación, edificaciones, etc.

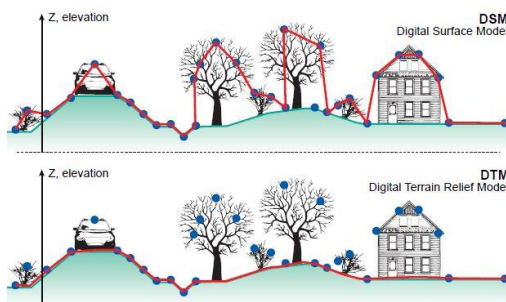


Ilustración 2.33. Diferencia entre MDS y MDT

2.3.1.4 – Obtención del MDE y Ortofotografía

Como resultado principal de un procesamiento de imágenes aéreas, se obtiene un modelo digital del terreno y una ortofotografía corregida de distorsiones.

- **Modelo Digital del Terreno (MDT):**

Generando este modelo obtenemos como resultado una superficie del suelo desnudo de la zona. Para ello debemos hacer un filtrado de los datos que no se consideren terreno.

Se realiza un primer filtrado de forma automática por el software el cual no realiza un filtrado que consiga una buena clasificación.

Tendremos que editar los datos de forma manual y eliminar las zonas de vegetación o elementos que no correspondan al MDT en un procesamiento posterior.

- **Ortofotografía:**

Es importante entender el concepto de ortofotografía. Se trata de una fotografía completa de la zona de interés, en la que todos los elementos están en la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico. Es decir, una fotografía sobre la cual se pueden realizar mediciones.

Esto es posible debido a que las fotografías tomadas con la cámara de la aeronave NO están corregidas de distorsión. La zona de la fotografía que no tiene esas deformaciones es el centro. Todo esto es usado por el software para conseguir como resultado una fotografía total de la zona sin ningún tipo de distorsión.

Es el paso de una proyección perspectiva a una ortogonal mediante la rectificación diferencial. De esta manera eliminamos el desplazamiento producido por la inclinación de la fotografía y el efecto orográfico.

2.3.1.5- Procesado con Metashape

Agisoft Metashape es el software utilizado para el procesamiento de imágenes. Con este programa obtendremos el producto necesario de manera casi automática.

Encontramos la pestaña ``Flujo de trabajo`` en la cual podemos ver los pasos a seguir para procesar todas nuestras imágenes.

El primer paso es cargar nuestras fotografías. Toda la zona de estudio ha requerido la toma de 2860 fotografías a partir de las cuales obtener el resto de trabajo.

Una vez cargadas se realiza el proceso de orientación. Para ello el programa realiza la búsqueda de píxeles comunes entre fotografías. De esta manera se genera una nube dispersa de puntos de toda la zona gracias a que cada fotografía queda situada de forma correcta con respecto a las demás.



Ilustración 2.34. Nube de puntos dispersa

Utilizamos una precisión alta para que el programa realice la orientación y la alineación de todas las imágenes con la mejor calidad posible.

Como resultado se obtienen 2.115.961 puntos de paso.

Estas fotografías por defecto estarán en coordenadas geográficas por lo que se han de convertir al sistema de referencia en el que se realiza el trabajo (UTM zona 30N).

Lo mismo ocurre con el proyecto creado para realizar el procesamiento. Se ha de transformar al sistema de referencia correspondiente, de esta manera el producto final se encontrará perfectamente georreferenciado.

Ya determinado el sistema de referencia del trabajo, imágenes transformadas y orientadas, este modelo de puntos dispersos generado ha de ser corregido y ajustado. Para ello se identifican en las fotografías los puntos de apoyo materializados en el terreno con anterioridad.



Ilustración 2.35. Visualización de marcas de puntos



Ilustración 2.36. Visualización de marcas de puntos

Marcadores	Error (pix)	Error (m)	Este (m)
✓ pa03	0.703	49.680908	436611.7
✓ pa04	0.526	49.642339	436849.1
✓ pa05	0.733	49.695664	437185.5
✓ pa06	0.763	49.560196	437327.4
✓ pa07	0.924	49.668974	437648.6
✓ pa08	0.726	49.659377	437865.6
✓ pa09	0.664	49.669482	438133.1
Error total			
Puntos de apoyo	0.671	49.646653	
Puntos de control de calidad			

Ilustración 2.37. Comparación de precisiones

Marcadores	Error (pix)	Error (m)	Este (m)
✓ pa03	0.153	0.015137	436611.7
✓ pa04	0.126	0.004081	436849.1
✓ pa05	0.124	0.007421	437185.5
✓ pa06	0.127	0.004123	437327.4
✓ pa07	0.180	0.003771	437648.6
✓ pa08	0.156	0.011196	437865.6
✓ pa09	0.141	0.010256	438133.1
Error total			
Puntos de apoyo	0.146	0.008860	
Puntos de control de calidad			

Ilustración 2.38. Comparación de precisiones

En una primera colocación de los puntos de apoyo sobre sus correspondientes marcas en las fotografías se llega a un error total en píxel de 0.671 pix. Una vez realizada la optimización ese valor se reduce considerablemente llegando a 0.146 pix.

En relación con el error cometido en unidades métricas se pasa de un error de 49.647 m, antes de la optimización, a un error de 0.009 m.

De esta manera, al procesarse la optimización, se tiene un modelo perfectamente georreferenciado y ajustado a partir del cual generar el producto final buscado.

El siguiente paso será la creación de la nube de puntos densa de la zona volada. En este paso se está obteniendo un modelo con 345.467.034 de puntos con una gran precisión.



Ilustración 2.39. Nube de puntos densa y coloreada

De los millones de puntos generados en la nube densa se extrae un modelo digital del terreno a partir del cual generar la ortofotografía.

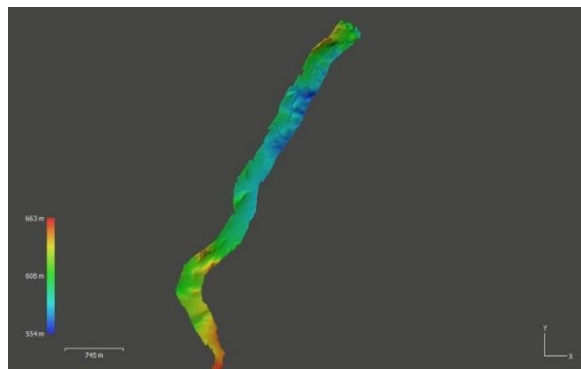


Ilustración 2.40. MDS generado

Por último, partiendo de los datos procesados en los pasos anteriores, se genera la ortofotografía de la zona. Esta se ha generado con una resolución de 1.82 cm/pix.



Ilustración 2.41. Ortofotografía generada

Cada elemento obtenido en todo el procesado tiene las siguientes características y precisiones:

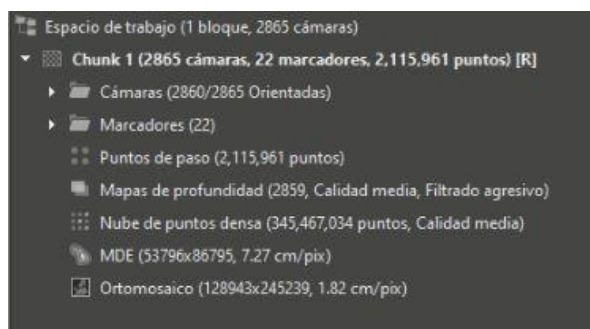


Ilustración 2.42. Características del procesamiento con Agisoft Metashape

2.3.2. Cartografía

La cartografía puede definirse como la actividad que se ocupa de la concepción, producción, difusión y estudio de mapas.

La cartografía es un campo complejo, que cambia constantemente. Este proceso incluye desde la recopilación, evaluación y procesamiento de datos de origen, a través del diseño intelectual y gráfico del mapa, hasta el dibujo y la reproducción del documento final.

En la actualidad dicha disciplina puede llevarse a cabo mediante una infinidad de metodologías distintas. Debido al avance de la tecnología podemos realizar un proyecto o trabajo cartográfico mediante fotogrametría.

Con esta información es posible la representación de los elementos característicos del terreno. Elementos como una plataforma de aglomerado, una carretera, cunetas, edificaciones, líneas de rotura y elementos fundamentales para la producción de una superficie.

Para generar la cartografía, existen softwares específicos con los que trabajar a partir de los productos obtenidos de un procesado de imágenes aéreas. Mencionamos en este caso, como utilizado, el Virtual Surveyor. Se trata de una aplicación específica para la generación de levantamientos topográficos en archivos CAD sirviéndose de una ortofotografía y la nube densa generada.



Ilustración 2.43. Composición entre ortofoto y nube densa de puntos

Para comenzar se realiza una comprobación entre la superficie bruta generada a partir de las fotografías aéreas y los puntos de control tomados en campo con equipo GNSS.

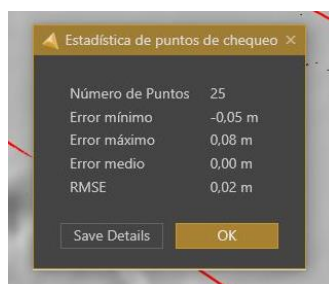


Ilustración 2.44. Precisión de MDS generado en Agisoft

Como resultado en la comprobación de 25 puntos tomados en campo se calcula un error medio cuadrático (RMSE) de 0.02 m.

Una vez comprobado que los datos con los que se va a trabajar tienen la suficiente precisión se inicia la digitalización de elementos.

En el proceso de digitalización de la zona se hará hincapié en los elementos significativos, dejando reflejado el borde del aglomerado, cunetas, arroyos, obras de fábrica, líneas de rotura y edificaciones.

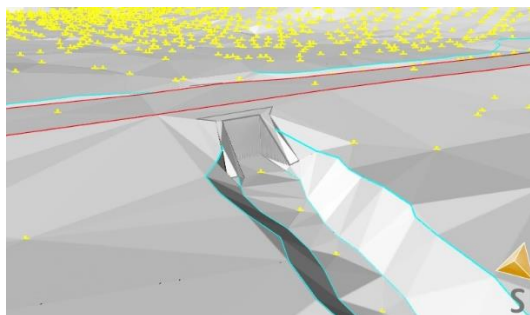


Ilustración 2.45. Digitalización de obra de fábrica

Para preparar el modelo para su triangulación, no solo son necesarios los elementos digitalizados; sino que, también, una nube de puntos que se encuentren sobre el terreno directamente, evitando así todo tipo de vegetación, edificaciones o elementos no significativos en una superficie. Dicho tipo de puntos recibe el nombre de Puntos de Paso Bajo, son generados automáticamente buscando las zonas inferiores del modelo.

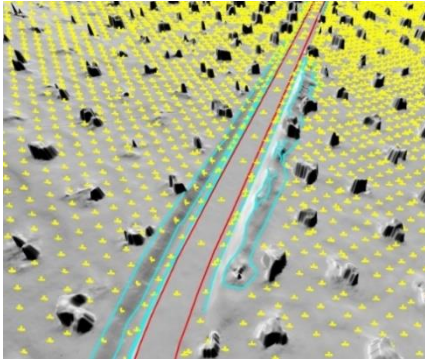


Ilustración 2.47. Puntos generados sobre terreno

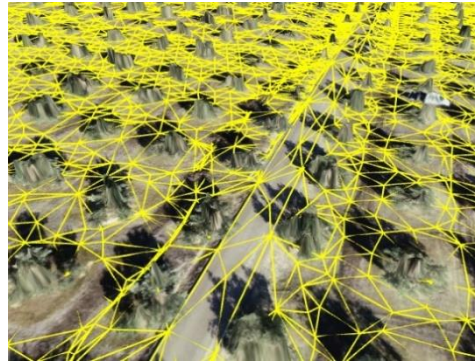


Ilustración 2.46. Triangulación entre puntos del terreno

Se trata de una malla de puntos generada con un paso de 10 metros entre ellos. De esta manera se puede generar una triangulación sobre el terreno desnudo. Dicha triangulación tendrá en cuenta las líneas de rotura digitalizadas y los puntos de paso bajo.

Generada ya la triangulación de forma correcta se puede obtener una cartografía actual mostrando las distintas irregularidades del terreno mediante curvas de nivel.

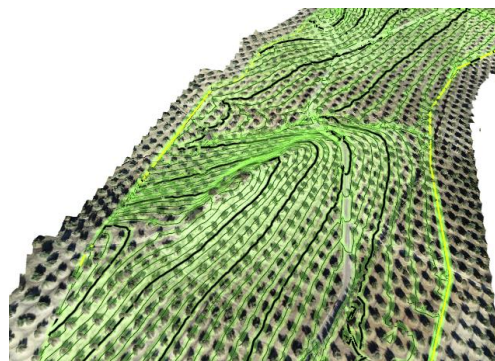


Ilustración 2.48. Curvado generado

Como resultado se obtiene un archivo CAD de todos los elementos digitalizados.



Ilustración 2.50. DWG de zona cartografiada

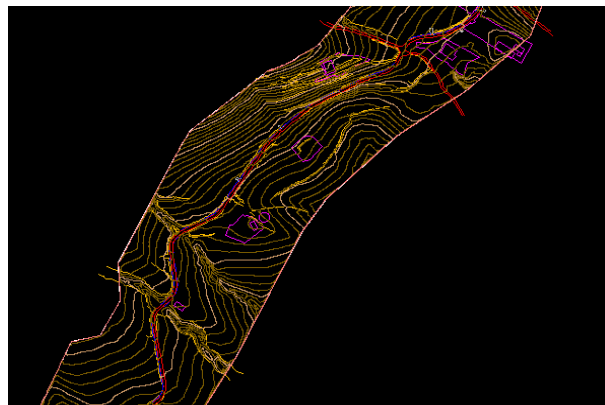


Ilustración 2.49. DWG de zona cartografiada y curvado

De igual forma se obtiene una superficie adaptada al terreno. Dicha superficie ha de ser comprobada con los puntos de control tomados en campo para conocer la precisión con la que se ha generado.

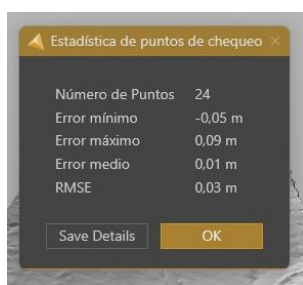


Ilustración 2.51. Precisión final del modelo modificado

En este caso el resultado del RMSE es de 0.03 m, incrementando su valor en tan solo 0.01 m.

2.3.3. Diseño Geométrico

Para comenzar con el diseño geométrico es necesario partir de un plano cartográfico que defina la situación actual de la zona de trabajo. Sobre este se realiza el diseño del eje definitivo del nuevo trazado.

Este proyecto trata sobre el acondicionamiento y mejora de un vial, por consiguiente, se ha de aprovechar, en la medida de lo posible, elementos ya existentes. Para ello el eje que define la nueva alineación estará definido en el borde del aglomerado de la calzada siempre que el nuevo diseño lo permita. De esta manera se aprovechan elementos como obras de fábrica, accesos, aglomerado, cunetas, etc, que ya se encuentran materializados.

Se ha diseñado una alineación principal de 4.956 m de longitud. Todo el proceso de diseño se ajusta a la normativa específica 3.1. I.C.

- Trazado en planta.

El trazado en planta del eje principal está definido en base a la norma 3.1. I.C. Los elementos principales utilizados en su diseño se basan en rectas, curvas circulares y curva de transición o clotoide.

La transición de curvatura entre la recta y la curva circular se realiza a través de la clotoide, que permite una transición lineal de la misma. La clotoide evita que se produzcan saltos bruscos de la fuerza centrífuga. Por ello en el diseño de carreteras interurbanas, además de exigir continuidad de tangencias, debemos proporcionar continuidad de curvatura para ofrecer una conducción más cómoda y segura.

Se ha tenido en cuenta edificaciones, accesos a caminos, anchos del aglomerado y elementos significativos que interactúan con el vial existente.

LISTADO DE EJE	
NOMBRE:	Alineación Eje Principal
VELOCIDAD DE PROYECTO:	50 km/h
FICHERO DE INSTRUCCIÓN:	España: GRUPO3 C. Convencional y Multicarril C-90 -> C-40 eMax 7%.
	Tabla de longitudes de transición: 2 Carriles C-90 -> C-40
	Tabla de radios mínimos: GRUPO3 C. Convencional y Multicarril C-90 -> C-40 eMax 7%

Tabla 2.7. Características grupo de norma de nuevo vial

Tipo	P.K. [m]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	Orientación	Radio [m]	Longitud [m]
Línea	0+000.00	436948.378	4172411.239	N10.9925E		172.696
Espiral-Curva-Espiral	0+172.70	436981.308	4172580.767	N10.9925E		34.600
Espiral-Curva-Espiral	0+207.30	436985.931	4172615.01	N1.0803E	100	36.473
Espiral-Curva-Espiral	0+243.77	436980.027	4172650.798	N19.8173W		34.600
Línea	0+278.37	436964.648	4172681.741	N29.7295W		489.230
Espiral-Curva-Espiral	0+767.60	436722.036	4173106.577	N29.7295W		37.900
Espiral-Curva-Espiral	0+805.50	436705.018	4173140.394	N20.6816W	120	0.823
Espiral-Curva-Espiral	0+806.32	436704.729	4173141.165	N20.2884W		37.900
Línea	0+844.22	436695.407	4173177.858	N11.2404W		370.797
Espiral-Curva-Espiral	1+215.02	436623.129	4173541.542	N11.2404W		55.000
Espiral-Curva-Espiral	1+270.02	436616.569	4173596.02	N1.8899E	120	68.222
Espiral-Curva-Espiral	1+338.24	436637.565	4173659.968	N34.4633E		70.000
Línea	1+408.24	436687.397	4173708.752	N51.1746E		529.120
Espiral-Curva-Espiral	1+937.36	437099.613	4174040.484	N51.1746E		45.800
Espiral-Curva-Espiral	1+983.16	437134.02	4174070.663	N43.8853E	180	37.527
Espiral-Curva-Espiral	2+020.69	437157.037	4174100.217	N31.9401E		45.800
Línea	2+066.49	437177.872	4174140.966	N24.6508E		343.389
Espiral-Curva-Espiral	2+409.88	437321.095	4174453.061	N24.6508E		54.800
Espiral-Curva-Espiral	2+464.68	437342.106	4174503.641	N18.3712E	250	37.722
Espiral-Curva-Espiral	2+502.40	437351.254	4174540.201	N9.7259E		54.800
Línea	2+557.20	437356.541	4174594.716	N3.4463E		211.121
Espiral-Curva-Espiral	2+768.32	437369.232	4174805.455	N3.4463E		42.400
Espiral-Curva-Espiral	2+810.72	437373.767	4174847.574	N11.5441E	150	56.884
Espiral-Curva-Espiral	2+867.60	437395.321	4174899.848	N33.2720E		42.400
Línea	2+910.00	437421.791	4174932.922	N41.3698E		179.135
Espiral-Curva-Espiral	3+089.14	437540.184	4175067.355	N41.3698E		57.400
Espiral-Curva-Espiral	3+146.54	437576.611	4175111.682	N35.4970E	280	43.148
Espiral-Curva-Espiral	3+189.69	437598.865	4175148.598	N26.6677E		57.400
Línea	3+247.09	437621.054	4175201.507	N20.7949E		202.734
Espiral-Curva-Espiral	3+449.82	437693.029	4175391.035	N20.7949E		37.900
Espiral-Curva-Espiral	3+487.72	437708.313	4175425.671	N29.8428E	120	5.613
Espiral-Curva-Espiral	3+493.34	437711.219	4175430.472	N32.5230E		40.000
Línea	3+533.34	437736.301	4175461.568	N42.0723E		179.996
Espiral-Curva-Espiral	3+713.33	437856.91	4175595.179	N42.0723E		34.600
Espiral-Curva-Espiral	3+747.93	437878.548	4175622.12	N32.1601E	100	6.993
Espiral-Curva-Espiral	3+754.92	437882.06	4175628.165	N28.1537E		34.600
Línea	3+789.52	437894.749	4175660.305	N18.2415E		178.691
Espiral-Curva-Espiral	3+968.22	437950.683	4175830.016	N18.2415E		37.900
Espiral-Curva-Espiral	4+006.12	437964.409	4175865.298	N27.2895E	120	1.883
Espiral-Curva-Espiral	4+008.00	437965.285	4175866.965	N28.1883E		37.900
Línea	4+045.90	437986.576	4175898.268	N37.2363E		147.722
Espiral-Curva-Espiral	4+193.62	438075.963	4176015.877	N37.2363E		35.000
Espiral-Curva-Espiral	4+228.62	438095.363	4176044.945	N26.6818E	95	2.228
Espiral-Curva-Espiral	4+230.85	438096.339	4176046.946	N25.3383E		35.000
Línea	4+265.85	438107.313	4176080.126	N14.7839E		153.102
Espiral-Curva-Espiral	4+418.95	438146.381	4176228.159	N14.7839E		42.400
Espiral-Curva-Espiral	4+461.35	438159.107	4176268.565	N22.8817E	150	20.804
Espiral-Curva-Espiral	4+482.15	438168.498	4176287.111	N30.8284E		42.400
Línea	4+524.55	438193.533	4176321.283	N38.9262E		182.117
Espiral-Curva-Espiral	4+706.67	438307.961	4176462.963	N38.9262E		41.000
Espiral-Curva-Espiral	4+747.67	438335.221	4176493.535	N47.3159E	140	11.572
Espiral-Curva-Espiral	4+759.24	438344.043	4176501.02	N52.0520E		41.000
Línea	4+800.24	438378.645	4176522.941	N60.4417E		156.095
	4+956.34	438514.424	4176599.944	N60.4417E		

Tabla 2.8. Listado puntos nueva alineación

- Rasante.

Para el diseño de la rasante partimos de la superficie actual sobre la que transcurre el nuevo eje de la alineación. Se obtiene una representación del comportamiento del terreno sobre el que ejecutar la obra lineal.

Tanto el punto de inicio como el de final de la rasante han de estar situados en el terreno, ya que en dichos puntos el vial comunica con otras vías.

En el diseño de la alineación que compone la rasante se ha de tener en cuenta el movimiento de tierra, ya que el valor del terreno desmontado y el terraplenado han de ir compensados existiendo una diferencia comprendida entre el 5% y el 10%.

P.K. de VAV	Elevación de VAV	Inclinación de rasante T.E.	Valor de K	Tipo de curva de perfil
0+000.00m	658.779m			
0+237.45m	650.000m	-3.70%	316.934	Cóncavo
0+863.49m	629.817m	-3.22%	117.797	Cóncavo
1+175.07m	623.740m	-1.95%	131.312	Cóncavo
1+565.62m	620.584m	-0.81%	33.673	Convexo
1+872.57m	604.430m	-5.26%	87.809	Cóncavo
2+307.22m	588.980m	-3.55%	114.488	Cóncavo
2+763.60m	578.738m	-2.24%	38.515	Cóncavo
3+285.42m	587.349m	1.65%	175.307	Convexo
3+822.03m	580.157m	-1.34%	70.72	Cóncavo
4+266.40m	583.626m	0.78%	30.946	Cóncavo
4+502.93m	596.937m	5.63%	451.226	Cóncavo
4+872.86m	618.986m	5.96%		
4+956.34m	616.000m	-3.58%		

Tabla 2.9. Listado puntos nueva rasante

- Coordenadas de los puntos del eje.

P.K. [m]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	H [m]	P.K. [m]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	H [m]
0+000,00	436948.378	4172411.239	658.779	2+500,00	437350.837	4174537.837	586.651
0+020,00	436952.192	4172430.872	658.944	2+520,00	437353.680	4174557.630	587.241
0+040,00	436956.005	4172450.505	658.176	2+540,00	437355.445	4174577.551	587.274
0+060,00	436959.819	4172470.138	657.112	2+560,00	437356.709	4174597.511	587.578
0+080,00	436963.632	4172489.771	655.607	2+580,00	437357.912	4174617.474	588.009
0+100,00	436967.446	4172509.404	653.559	2+600,00	437359.114	4174637.438	588.215
0+120,00	436971.260	4172529.037	651.197	2+620,00	437360.316	4174657.402	588.076
0+140,00	436975.073	4172548.671	649.792	2+640,00	437361.518	4174677.366	586.802
0+160,00	436978.887	4172568.304	647.695	2+660,00	437362.721	4174697.330	583.729
0+180,00	436982.682	4172587.940	646.671	2+680,00	437363.923	4174717.294	583.905
0+200,00	436985.546	4172607.725	645.813	2+700,00	437365.125	4174737.257	584.354
0+220,00	436985.364	4172627.693	644.801	2+720,00	437366.327	4174757.221	584.878
0+240,00	436981.237	4172647.228	643.697	2+740,00	437367.529	4174777.185	585.196
0+260,00	436973.497	4172665.645	643.626	2+760,00	437368.732	4174797.149	585.726
0+280,00	436963.840	4172683.157	643.282	2+780,00	437369.976	4174817.110	586.546
0+300,00	436953.922	4172700.525	643.107	2+800,00	437371.966	4174837.007	587.373
0+320,00	436944.004	4172717.892	643.097	2+820,00	437375.904	4174856.602	588.067
0+340,00	436934.086	4172735.260	643.221	2+840,00	437382.380	4174875.509	588.933
0+360,00	436924.167	4172752.627	643.447	2+860,00	437391.312	4174893.387	588.908
0+380,00	436914.249	4172769.995	643.904	2+880,00	437402.502	4174909.948	588.416
0+400,00	436904.331	4172787.362	644.530	2+900,00	437415.199	4174925.397	588.618
0+420,00	436894.413	4172804.730	644.254	2+920,00	437428.397	4174940.423	588.503
0+440,00	436884.495	4172822.097	643.842	2+940,00	437441.616	4174955.432	588.280
0+460,00	436874.577	4172839.465	643.328	2+960,00	437454.834	4174970.441	588.181
0+480,00	436864.659	4172856.832	642.699	2+980,00	437468.052	4174985.451	587.706
0+500,00	436854.741	4172874.200	641.840	3+000,00	437481.271	4175000.460	587.195
0+520,00	436844.822	4172891.567	640.068	3+020,00	437494.489	4175015.469	586.753
0+540,00	436834.904	4172908.935	638.162	3+040,00	437507.707	4175030.478	586.487
0+560,00	436824.986	4172926.302	636.506	3+060,00	437520.926	4175045.487	586.085
0+580,00	436815.068	4172943.670	635.043	3+080,00	437534.144	4175060.497	585.547
0+600,00	436805.150	4172961.037	633.882	3+100,00	437547.352	4175075.514	584.438
0+620,00	436795.232	4172978.405	632.683	3+120,00	437560.35	4175090.714	583.283
0+640,00	436785.314	4172995.772	630.757	3+140,00	437572.754	4175106.401	582.583
0+660,00	436775.396	4173013.140	628.436	3+160,00	437584.160	4175122.824	581.987
0+680,00	436765.478	4173030.508	624.509	3+180,00	437594.368	4175140.018	580.886
0+700,00	436755.559	4173047.875	621.241	3+200,00	437603.332	4175157.892	579.566
0+720,00	436745.641	4173065.243	619.584	3+220,00	437611.245	4175176.258	578.506
0+740,00	436735.723	4173082.610	621.557	3+240,00	437618.534	4175194.882	577.391
0+760,00	436725.805	4173099.978	623.817	3+260,00	437625.638	4175213.578	576.256
0+780,00	436715.948	4173117.379	627.327	3+280,00	437632.738	4175232.275	576.067
0+800,00	436707.072	4173135.293	629.133	3+300,00	437639.839	4175250.973	576.359
0+820,00	436700.637	4173154.211	629.618	3+320,00	437646.939	4175269.670	576.590
0+840,00	436696.233	4173173.716	629.860	3+340,00	437654.040	4175288.367	575.601
0+860,00	436692.332	4173193.332	629.762	3+360,00	437661.140	4175307.064	576.519
0+880,00	436688.433	4173212.948	629.502	3+380,00	437668.241	4175325.761	577.185
0+900,00	436684.534	4173232.565	629.081	3+400,00	437675.341	4175344.458	578.259
0+920,00	436680.636	4173252.181	628.730	3+420,00	437682.442	4175363.155	579.493
0+940,00	436676.737	4173271.797	628.201	3+440,00	437689.542	4175381.853	580.884
0+960,00	436672.839	4173291.414	627.103	3+460,00	437696.679	4175400.536	582.046
0+980,00	436668.940	4173311.030	625.791	3+480,00	437704.673	4175418.861	582.732
1+000,00	436665.042	4173330.646	624.411	3+500,00	437714.948	4175435.995	583.243
1+020,00	436661.143	4173350.263	624.548	3+520,00	437727.427	4175451.615	580.143
1+040,00	436657.245	4173369.879	626.747	3+540,00	437740.767	4175466.515	585.214
1+060,00	436653.346	4173389.495	629.531	3+560,00	437754.168	4175481.361	586.676
1+080,00	436649.448	4173409.112	630.572	3+580,00	437767.569	4175496.207	587.703
1+100,00	436645.549	4173428.728	627.086	3+600,00	437780.971	4175511.053	588.185
1+120,00	436641.651	4173448.345	622.767	3+620,00	437794.372	4175525.899	587.933
1+140,00	436637.752	4173467.961	617.075	3+640,00	437807.773	4175540.745	588.219
1+160,00	436633.854	4173487.577	614.124	3+660,00	437821.175	4175555.591	589.003

P.K. [m]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	H [m]	P.K. [m]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	H [m]
1+180,00	436629.955	4173507.194	613.949	3+680,00	437834.576	4175570.437	589.526
1+200,00	436626.057	4173526.810	613.779	3+700,00	437847.977	4175585.283	589.827
1+220,00	436622.161	4173546.427	613.949	3+720,00	437861.368	4175600.139	589.268
1+240,00	436618.647	4173566.114	614.260	3+740,00	437874.084	4175615.566	587.950
1+260,00	436616.632	4173586.003	614.924	3+760,00	437884.346	4175632.697	584.016
1+280,00	436617.313	4173605.970	615.850	3+780,00	437891.728	4175651.273	580.591
1+300,00	436621.271	4173625.550	617.136	3+800,00	437898.028	4175670.254	577.825
1+320,00	436628.424	4173644.203	619.447	3+820,00	437904.289	4175689.249	575.382
1+340,00	436638.571	4173661.411	621.188	3+840,00	437910.549	4175708.244	573.916
1+360,00	436651.280	4173676.832	623.867	3+860,00	437916.809	4175727.239	577.757
1+380,00	436665.680	4173690.702	623.752	3+880,00	437923.070	4175746.234	579.731
1+400,00	436680.983	4173703.577	622.701	3+900,00	437929.330	4175765.229	580.899
1+420,00	436696.557	4173716.124	622.385	3+920,00	437935.591	4175784.224	580.297
1+440,00	436712.138	4173728.663	622.468	3+940,00	437941.851	4175803.219	577.505
1+460,00	436727.720	4173741.202	621.961	3+960,00	437948.112	4175822.214	575.817
1+480,00	436743.301	4173753.741	621.617	3+980,00	437954.429	4175841.190	574.353
1+500,00	436758.882	4173766.280	621.749	4+000,00	437961.737	4175859.798	574.306
1+520,00	436774.463	4173778.819	622.050	4+020,00	437971.420	4175877.276	572.945
1+540,00	436790.044	4173791.358	620.910	4+040,00	437983.013	4175893.568	571.859
1+560,00	436805.626	4173803.897	620.019	4+060,00	437995.109	4175909.496	570.684
1+580,00	436821.207	4173816.436	618.598	4+080,00	438007.211	4175925.419	571.232
1+600,00	436836.788	4173828.975	617.127	4+100,00	438019.313	4175941.342	573.907
1+620,00	436852.369	4173841.514	616.043	4+120,00	438031.415	4175957.265	576.925
1+640,00	436867.950	4173854.053	614.995	4+140,00	438043.517	4175973.188	580.405
1+660,00	436883.532	4173866.592	614.284	4+160,00	438055.619	4175989.111	585.608
1+680,00	436899.113	4173879.131	612.850	4+180,00	438067.721	4176005.033	587.797
1+700,00	436914.694	4173891.670	611.456	4+200,00	438079.813	4176020.964	588.078
1+720,00	436930.275	4173904.209	610.304	4+220,00	438091.176	4176037.413	589.195
1+740,00	436945.856	4173916.748	609.435	4+240,00	438099.888	4176055.381	591.249
1+760,00	436961.438	4173929.287	608.523	4+260,00	438105.812	4176074.475	593.131
1+780,00	436977.019	4173941.826	607.517	4+280,00	438110.925	4176093.811	594.591
1+800,00	436992.600	4173954.365	606.529	4+300,00	438116.028	4176113.148	595.540
1+820,00	437008.181	4173966.904	605.492	4+320,00	438121.132	4176132.486	595.861
1+840,00	437023.762	4173979.443	604.354	4+340,00	438126.235	4176151.824	593.908
1+860,00	437039.344	4173991.982	603.214	4+360,00	438131.339	4176171.162	593.012
1+880,00	437054.925	4174004.521	602.182	4+380,00	438136.442	4176190.500	595.488
1+900,00	437070.506	4174017.060	601.176	4+400,00	438141.545	4176209.838	599.385
1+920,00	437086.087	4174029.599	600.442	4+420,00	438146.649	4176229.176	600.136
1+940,00	437101.668	4174042.138	599.794	4+440,00	438151.988	4176248.449	597.686
1+960,00	437117.101	4174054.858	598.980	4+460,00	438158.588	4176267.320	597.549
1+980,00	437131.809	4174068.403	598.475	4+480,00	438167.408	4176285.254	594.934
2+000,00	437145.108	4174083.327	598.120	4+500,00	438178.411	4176301.943	596.051
2+020,00	437156.672	4174099.633	597.181	4+520,00	438190.675	4176317.740	598.074
2+040,00	437166.484	4174117.052	596.374	4+540,00	438203.239	4176333.301	600.176
2+060,00	437175.161	4174135.071	595.699	4+560,00	438215.805	4176348.860	601.451
2+080,00	437183.507	4174153.246	595.214	4+580,00	438228.372	4176364.419	601.610
2+100,00	437191.849	4174171.423	594.576	4+600,00	438240.938	4176379.978	601.704
2+120,00	437200.191	4174189.601	593.910	4+620,00	438253.504	4176395.537	602.079
2+140,00	437208.533	4174207.778	593.285	4+640,00	438266.071	4176411.096	603.403
2+160,00	437216.874	4174225.955	592.679	4+660,00	438278.637	4176426.655	604.606
2+180,00	437225.216	4174244.133	592.146	4+680,00	438291.204	4176442.214	605.510
2+200,00	437233.558	4174262.310	591.606	4+700,00	438303.770	4176457.774	607.386
2+220,00	437241.900	4174280.487	591.138	4+720,00	438316.390	4176473.289	608.478
2+240,00	437250.241	4174298.665	590.540	4+740,00	438329.719	4176488.192	608.228
2+260,00	437258.583	4174316.842	590.034	4+760,00	438344.641	4176501.484	608.554
2+280,00	437266.925	4174335.019	589.559	4+780,00	438361.157	4176512.747	610.356
2+300,00	437275.266	4174353.197	589.173	4+800,00	438378.434	4176522.821	611.967
2+320,00	437283.608	4174371.374	588.859	4+820,00	438395.831	4176532.687	612.433
2+340,00	437291.950	4174389.551	588.531	4+840,00	438413.228	4176542.553	613.254
2+360,00	437300.292	4174407.729	588.219	4+860,00	438430.625	4176552.420	614.834
2+380,00	437308.633	4174425.906	587.886	4+880,00	438448.022	4176562.286	616.650

P.K. [m]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	H [m]	P.K. [m]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	H [m]
2+400,00	437316.975	4174444.083	587.540	4+900,00	438465.419	4176572.152	617.914
2+420,00	437325.305	4174462.266	587.256	4+920,00	438482.816	4176582.018	618.635
2+440,00	437333.355	4174480.574	586.976	4+940,00	438500.213	4176591.884	617.012
2+460,00	437340.591	4174499.216	586.695	4+956,34	438514.424	4176599.944	615.611
2+480,00	437346.487	4174518.322	586.602				

Tabla 2.10. Listado puntos nuevo eje

2.3.4. Cálculo de Volúmenes

Para el cálculo de movimiento de tierras se procede a realizar la cubicación mediante el método de comparación de perfiles transversales.

Esta opción es la más empleada gracias a su versatilidad y relativa precisión. Se obtienen perfiles cada 20 m y un ancho en el que se tiene en cuenta la amplitud de la rasante y los elementos característicos del entorno.

Según esta metodología la cantidad de tierra que es necesario mover es:

Área de desmonte (Metros cuadrados)	Volumen de desmonte (Metros cúbicos)	Área de terraplén (Metros cuadrados)	Volumen de terraplén (Metros cúbicos)
20200.32	170033.4	22632.74	181052.36

Tabla 2.11. Movimiento de tierras

En este cálculo no está reflejado el volumen que ocupa el firme establecido. Se cuenta con un espesor de 0.48 m total, por lo que el volumen de firme calculado es:

Volumen de Firme (Metros cúbicos)
24336.100

Tabla 2.12. Volumen de firme

Listado movimiento de tierra por P.K.

P.K.	Volumen de desmonte (Metros cúbicos)	Volumen de terraplén (Metros cúbicos)	Vol. desmonte acumul. (Metros cúbicos)	Vol. terraplén acumul. (Metros cúbicos)	P.K.	Volumen de desmonte (Metros cúbicos)	Volumen de terraplén (Metros cúbicos)	Vol. desmonte acumul. (Metros cúbicos)	Vol. terraplén acumul. (Metros cúbicos)
0+000.00	0	0	0	0	2+600.00	0	1,373.09	94,805.56	27,257.92
0+040.00	0	171.81	0	620.08	2+640.00	0	1,273.81	94,805.56	32,887.02
0+080.00	33.53	48.53	51.61	1,014.45	2+680.00	0	678.39	94,805.56	35,942.65
0+120.00	361.95	0	841.49	1,027.73	2+720.00	0	1,063.30	94,805.56	39,575.97
0+160.00	830.62	0	3,475.53	1,027.73	2+760.00	0	1,409.16	94,805.56	44,672.99
0+200.00	1,068.28	0	7,508.72	1,027.73	2+800.00	0	1,913.54	94,805.56	51,514.30
0+240.00	1,180.55	0	12,006.03	1,027.73	2+840.00	0	186.85	94,805.58	60,171.25
0+280.00	162.42	0	16,411.90	1,027.73	2+880.00	0.01	1,997.20	94,805.59	68,684.31
0+320.00	526.63	0	19,751.24	1,027.73	2+920.00	0	1,694.23	94,805.59	75,815.95
0+360.00	340.26	0	21,632.91	1,027.73	2+960.00	0	1,430.77	94,805.62	81,914.13
0+400.00	34.94	27.41	22,207.22	1,059.61	3+000.00	0	1,008.28	94,805.63	86,646.32
0+440.00	0	134.13	22,211.78	1,480.64	3+040.00	0	757.69	94,805.63	90,068.78
0+480.00	0	149.84	22,211.78	2,075.79	3+080.00	0	453.23	94,805.63	92,391.23
0+520.00	46	18.79	22,274.53	2,395.89	3+120.00	25.62	28.14	94,832.33	93,080.68
0+560.00	338.31	0	23,186.45	2,395.89	3+160.00	56.58	0	95,592.04	93,083.34
0+600.00	621.27	0	25,272.86	2,395.89	3+200.00	713.11	0	97,728.14	93,083.34
0+640.00	880.14	0	28,363.79	2,395.89	3+240.00	1,176.17	0	101,695.65	93,083.34
0+680.00	1,895.94	0	34,022.46	2,395.89	3+280.00	1,554.13	0	107,409.94	93,083.34
0+720.00	2,685.68	0	43,855.94	2,395.90	3+320.00	1,084.22	0	113,436.95	93,083.34
0+760.00	1,598.28	0	52,078.68	2,395.95	3+360.00	1,447.73	0	119,359.27	93,083.37
0+800.00	423.36	0	55,269.41	2,396.00	3+400.00	1,124.36	0	124,453.36	93,083.38
0+840.00	52.22	1.11	55,910.79	2,397.11	3+440.00	575.86	0	127,625.99	93,083.38
0+880.00	0	56.48	55,924.93	2,546.16	3+480.00	117.27	22.49	128,691.36	93,109.94
0+920.00	0	77.9	55,924.93	2,825.30	3+520.00	263.66	47.17	129,115.75	93,411.51
0+960.00	26.61	31.8	55,953.26	3,046.19	3+560.00	0	578.53	129,363.14	94,731.30
1+000.00	287.49	0	56,644.99	3,052.58	3+600.00	0	1,125.44	129,363.14	98,542.70
1+040.00	34.65	71.98	57,483.17	3,124.55	3+640.00	0	1,226.44	129,363.14	103,274.97
1+080.00	0	1,016.11	57,483.17	5,858.97	3+680.00	0	1,784.07	129,363.14	109,626.29
1+120.00	135.43	34.27	57,619.07	7,652.87	3+720.00	0	1,320.21	129,363.15	117,535.00
1+160.00	1,697.96	0	62,201.33	7,652.87	3+780.00	0	447.95	129,363.15	125,206.11
1+200.00	1,576.44	0.04	68,746.67	7,652.99	3+820.00	663.03	0	130,735.83	125,342.63
1+240.00	1,443.91	0	74,727.52	7,652.99	3+860.00	523.28	0	134,048.37	125,342.65
1+280.00	1,092.56	0	79,720.27	7,652.99	3+900.00	0.04	26.22	134,488.72	125,451.88
1+320.00	459.16	0.12	82,613.77	7,653.12	3+940.00	395.24	0	135,061.70	125,632.57
1+360.00	93.3	244.74	83,443.45	8,215.15	3+980.00	927.66	0	138,235.21	125,632.57
1+400.00	0	259.63	83,474.32	9,513.73	4+020.00	1,262.60	0	142,674.21	125,632.57
1+440.00	0.01	248.81	83,474.33	10,458.80	4+060.00	1,926.19	0	149,255.22	125,632.57
1+480.00	0	175.7	83,474.35	11,199.91	4+100.00	1,592.07	0	156,800.55	125,632.57
1+520.00	0.01	306.22	83,474.36	12,236.12	4+140.00	386.48	2.46	160,197.43	125,635.03
1+560.00	0.01	146.1	83,474.38	13,119.61	4+180.00	0	1,083.31	160,360.62	127,978.03
1+600.00	66.83	12.89	83,582.59	13,310.34	4+220.00	0	1,273.85	160,360.62	132,684.47
1+640.00	115.46	1.46	84,006.85	13,318.16	4+260.00	0	2,152.48	160,360.62	139,837.47
1+680.00	92.66	4	84,384.61	13,333.69	4+300.00	0	2,581.63	160,360.62	149,769.78
1+720.00	161.69	0.01	84,945.53	13,334.70	4+340.00	0	1,917.01	160,360.62	158,790.03
1+760.00	171.73	0	85,645.93	13,334.74	4+380.00	0.02	876.66	160,360.67	163,396.69
1+800.00	33.63	0	86,246.17	13,334.74	4+420.00	0	185.9	160,360.69	170,786.39
1+840.00	170.63	0	86,833.03	13,334.74	4+460.00	0	797.37	160,360.69	175,504.32
1+880.00	277.2	0	87,779.17	13,334.74	4+500.00	243.47	33.11	160,846.34	176,300.26
1+920.00	281.77	0	88,941.46	13,334.74	4+540.00	0.01	265.02	160,896.99	176,950.51
1+960.00	259.97	0	89,985.12	13,334.74	4+580.00	0	31.06	160,896.99	178,077.69
2+000.00	200.6	0	90,905.52	13,334.74	4+620.00	163.17	6.54	161,225.26	178,241.23
2+040.00	216.85	0	91,744.87	13,334.83	4+680.00	228.35	32.38	162,597.99	178,341.44
2+080.00	188.56	0	92,571.13	13,334.83	4+720.00	137.81	56.13	163,269.41	178,591.39
2+120.00	175.19	0	93,273.32	13,334.83	4+760.00	31.04	5.07	164,419.06	178,671.06
2+160.00	153.51	0	93,916.08	13,334.83	4+800.00	389.87	62.21	165,932.08	179,046.24

P.K.	Volumen de desmonte (Metros cúbicos)	Volumen de terraplén (Metros cúbicos)	Vol. desmonte acumul. (Metros cúbicos)	Vol. terraplén acumul. (Metros cúbicos)	P.K.	Volumen de desmonte (Metros cúbicos)	Volumen de terraplén (Metros cúbicos)	Vol. desmonte acumul. (Metros cúbicos)	Vol. terraplén acumul. (Metros cúbicos)
2+200.00	107.14	0	94,411.42	13,334.84	4+840.00	520.91	19.03	167,904.76	179,109.67
2+240.00	40.02	0.62	94,694.37	13,337.12	4+880.00	258.16	34.22	169,668.84	179,249.63
2+280.00	12.39	18.35	94,798.66	13,375.03	4+920.00	2.22	348.88	170,028.90	180,231.63
2+320.00	0	77.76	94,805.47	13,595.85	4+930.00	0	330.85	170,028.90	180,562.48
2+360.00	0.03	140.52	94,805.50	14,087.59	4+940.00	0	272.4	170,028.90	180,834.88
2+400.00	0.01	208.43	94,805.53	14,833.02	4+950.00	0	165.43	170,028.90	181,000.30
2+440.00	0	272.24	94,805.54	15,822.19	4+956.34	4.54	51.96	170,033.45	181,052.26
2+480.00	0.01	369.08	94,805.55	17,118.38					
2+520.00	0	580.68	94,805.55	19,068.96					
2+560.00	0	279.74	94,805.55	22,347.26					

Tabla 2.13. Listado de movimiento de tierras

3. PLANOS

4. PLIEGO DE CONDICIONES

4.1. Definición y Alcance del Pliego

El pliego de condiciones se define como el conjunto de normas y especificaciones que definen los requisitos técnicos del trabajo objeto de este, así como sus condiciones legales y técnicas.

Los documentos contienen además de la descripción general y localización de las obras, las instrucciones para el diseño y medición de esta según la normativa vigente sobre la materia.

El presente pliego describe las operaciones necesarias para el levantamiento topográfico de una zona de actuación en el sistema de referencia de coordenadas oficial en España, a la fecha del trabajo.

En el mismo queda reflejado el trazado en planta de los ejes, rasantes, secciones tipos, perfiles longitudinales y transversales necesarios para la clara e inequívoca descripción de los trabajos que comportan el proyecto.

Figurará con detalle las prescripciones técnicas de la cartografía que se elabore.

Todo ello se elaborará detalladamente, con el fin de lograr una eficaz realización de los trabajos que comporten el proyecto.

4.2. Prescripciones Técnicas para la elaboración de la Cartografía

El trabajo constará de un levantamiento topográfico; a partir de la información tomada, se generarán los planos necesarios, modelo digital del terreno, diseño de los elementos geométricos, terreno modificado, perfiles longitudinales y perfiles transversales.

Marco de referencia

Sistema de Referencia: El Sistema de Referencia será el de Referencia Europeo (ETRS89) establecido reglamentariamente y basado en:

Elipsoide GRS80 (WGS84):

A (semieje mayor) = 6.378.137 metros.

α (aplanamiento) = 1:298,257222101

Orígenes de coordenadas geodésicas:

Latitudes referidas al Ecuador y consideradas positivas al Norte.

Longitudes referidas al Meridiano de Greenwich y consideradas positivas al Este.

Sistema Geodésico

El Sistema Geodésico de referencia está formado por la Red Regente, y, en su caso, la adaptación al ETRS89 de otros vértices geodésicos (ROI) de la Red Geodésica Nacional.

La altura queda referenciada al nivel medio del mar definido por el mareógrafo fundamental de Alicante.

Proyección Cartográfica

El Sistema de Representación para la cartografía oficial es la proyección conforme, Universal Transversa de Mercator (UTM), en el huso30.

Altimetría

Deberán registrarse las cotas de:

Puntos singulares del terreno.

Vías de comunicación, e hidrografía.

Se incluyen la presencia de carreteras, caminos, calles, vías férreas y el transporte suspendido por cable, así como arroyos y vaguadas.

PRECISIONES ADMISIBLES PARA LA ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA

Se establecen las tolerancias posicionales atendiendo a dos criterios fundamentales:

- 1) Atendiendo al límite de percepción visual para la representación planimétrica de la cartografía (0,2 mm).
- 2) Para la representación altimétrica no se permite superar un cuarto de la equidistancia de las curvas de nivel.

PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA CARTOGRAFÍA OBTENIDA

La simbología se ajustará en lo posible a las normas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

La cartografía editada reflejará el relieve de la zona mediante una equidistancia de curvas de nivel de 1 metro, con curvas maestras cada 5 metros.

Toda la cartografía llevara superpuesta las cruces que representan la malla UTM, de acuerdo con las características generales aquí recogidas. Las cruces de malla serán de color negro.

Se representará la cuadrícula UTM equidistantes en función de la escala de cada plano.

Además, aparecerán los elementos lineales representando la prescripción técnica expuesta para la cartografía, así como los topónimos que se consideren más importantes.

Cada plano aparecerá con su correspondiente cajetín, escala gráfica y numérica, y el norte de la cuadrícula.

4.3. Prescripciones Técnicas para el Trazado

Las prescripciones técnicas para el trazado del vial determinarán las características tanto en alzado como en perfil de los elementos geométricos proyectado en el trabajo.

Según el diseño realizado de la sección tipo, se obtiene como resultado:

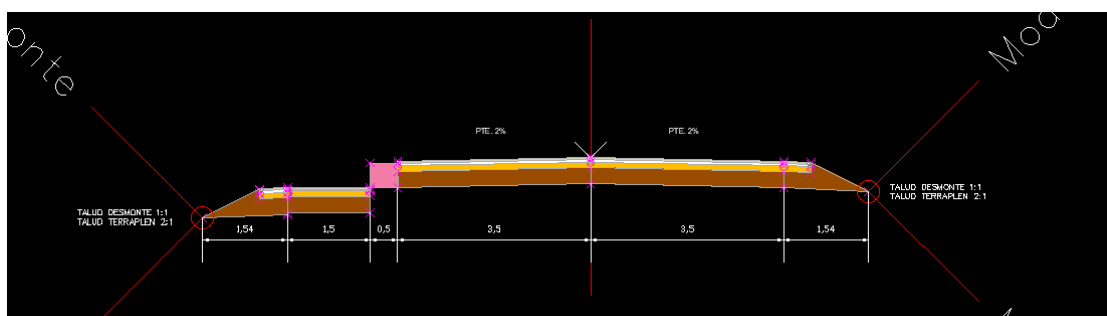


Ilustración 4.1. Diseño sección tipo

El paquete de firmes de la nueva carretera viene definido por cuatro capas colocadas desde la zona inferior hasta la superior:

- Zahorra natural con espesor de 0.3 m.
- Capa base con espesor de 0.1 m.
- Capa intermedia con espesor de 0.05 m.
- Capa de rodadura con espesor de 0.03 m.

Todo lo aquí expuesto debe ser cumplido, atendiendo a la normativa vigente sobre el diseño del trazado de carreteras, NORMA 3.1-IC TRAZADO, DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.

4.3.1. Objetivo y Ámbito de Aplicación

El contenido de esta Norma tiene como finalidad definir la redacción de estudios de carreteras que proporcionen unas características adecuadas de funcionalidad, seguridad y comodidad de la circulación compatibles con consideraciones económicas y ambientales.

Se aplicará a todos los proyectos de carreteras de nuevo trazado, con las peculiaridades derivadas de su función y tipo 2, que se exponen en los sucesivos capítulos y apartados.

Excepcionalmente, se podrán admitir cambios de los criterios desarrollados en la presente Norma con la suficiente y fundada justificación.

En casos especiales, no contemplados en la presente Norma, el proyectista podrá acudir a las guías y textos publicados por el organismo titular de la carretera, o a la realización de estudios específicos.

En proyectos de carreteras urbanas, de carreteras de montaña y de carreteras que discurren por espacios naturales de elevado interés ambiental o acusada fragilidad y de mejoras locales en carreteras existentes, podrán disminuirse las características exigidas en la presente Norma justificándose adecuadamente.

A los efectos de la aplicación del párrafo anterior los tipos de carreteras relacionados en el mismo se definen en el anexo de esta Norma.

4.3.2. Clases de Carreteras y Tipo de Proyectos

4.3.2.1.- Clases de Carreteras

A efectos de aplicación de la presente Norma, atendiendo a sus características esenciales, se distinguirán las siguientes:

i) Según su definición legal (Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobada por el Real Decreto Legislativo 339/1990):

La carretera que aborda el proyecto queda enmarcada como carretera convencional.

ii) Según el número de calzadas:

Carretera de calzada única: Son las que tienen una sola calzada para ambos sentidos de circulación, sin separación física, independientemente del número de carriles.

iii) Según el grado de control de accesos:

Sin acceso a propiedades colindantes: Son aquéllas en las que el acceso desde el exterior se realiza exclusivamente a través de enlaces o, mediante entradas y salidas directas a otras carreteras.

iv) Según las condiciones orográficas:

En función de la máxima inclinación medida de la línea de máxima pendiente, correspondiente a la franja original de dicho terreno interceptada por la explanación de la carretera, para el tronco principal, corresponde a un tipo de relieve llano ($i \leq 7$).

v) Según las condiciones del entorno urbanístico:

Se consideran tramos Interurbanos.

4.3.2.2.- Denominación de las Carreteras

A efectos de aplicación de la presente Norma, las carreteras o sus tramos se denominarán indicando la clase de carretera, según su definición legal, seguido del valor numérico de la velocidad de proyecto, expresado en km/h. Las autopistas se designarán como AP, las autovías como AV, las vías rápidas como R y las carreteras convencionales como C. Por lo tanto, los viales del presente proyecto se denominan Carreteras del Grupo 3: C-50.

4.3.2.3.- Tipo de proyecto

A efectos de aplicación de la presente Norma este proyecto se distingue como:

Proyecto de acondicionamiento: Son aquéllos cuya finalidad es la modificación de las características geométricas de la carretera existente, con actuaciones tendentes a mejorar los tiempos de recorrido, el nivel de servicio y la seguridad de la circulación.

4.3.3. Datos Básicos para el Estudio del Trazado

4.3.3.1.- Velocidad

El trazado de una carretera se definirá en relación directa con la velocidad a la que se desea que circulen los vehículos en condiciones de comodidad y seguridad aceptables.

Para evaluar cómo se distribuyen las velocidades en cada sección, se considerarán fijos los factores que incidan en ella relacionados con la clase de carretera y la limitación genérica de velocidad asociada a ella, así como las características propias de las secciones próximas.

Se considerarán esencialmente variables la composición del tráfico (en particular el porcentaje de vehículos pesados) y la relación entre la intensidad de la circulación y la capacidad de la carretera.

Velocidad de proyecto de un tramo (V_p): Velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad.

La velocidad que se considera para el presente proyecto es de 50Km/h.

La velocidad de proyecto de un tramo se identifica con la velocidad específica mínima del conjunto de elementos que lo forman.

4.3.3.2.- Visibilidad

En cualquier punto de la carretera el usuario tiene una visibilidad que depende, a efectos de la presente Norma, de la forma, dimensiones y disposición de los elementos del trazado.

Para que las distintas maniobras puedan efectuarse de forma segura, se precisa una visibilidad mínima que depende de la velocidad de los vehículos y del tipo de maniobra.

La presente Norma considera las siguientes: Visibilidad de parada, visibilidad de adelantamiento y visibilidad de cruce.

DISTANCIA DE PARADA

Se define como distancia de parada (DP) la distancia total recorrida por un vehículo obligado a detenerse tan rápidamente como le sea posible, medida desde su situación en el momento de aparecer el objeto que motiva la detención.

Comprende la distancia recorrida durante los tiempos de percepción, reacción y frenado. Se calculará mediante la expresión:

$$D_p = \frac{V \cdot t_p}{3.6} + \frac{V^2}{254 \cdot (f_l + i)}$$

Siendo:

Dp = distancia de parada (m).

V = velocidad (km/h).

fl = coeficiente de rozamiento longitudinal rueda-pavimento.

i = inclinación de la rasante (en tanto por uno).

tp = tiempo de percepción y reacción (s).

A efectos de aplicación de la presente Norma se considerará como distancia de parada mínima, la obtenida a partir del valor de la velocidad de proyecto.

A efectos de cálculo, el coeficiente de rozamiento longitudinal para una velocidad de 50 km/h será de 0,390. El valor del tiempo de percepción y reacción se tomará igual a dos segundos (2s).

VISIBILIDAD DE PARADA

Se considerará como visibilidad de parada la distancia a lo largo de un carril que existe entre un obstáculo situado sobre la calzada y la posición de un vehículo que circula hacia dicho obstáculo, en ausencia de vehículos intermedios, en el momento en que puede divisarlo sin que luego desaparezca de su vista hasta llegar al mismo.

A efectos de aplicación de la presente Norma, las alturas del obstáculo y del punto de vista del conductor sobre la calzada se fijan en veinte centímetros (20 cm) y un metro con diez centímetros (1,10 m), respectivamente.

La distancia del punto de vista al obstáculo se medirá a lo largo de una línea paralela al eje de la calzada y trazada a un metro con cincuenta centímetros (1,50 m) del borde derecho de cada carril, por el interior de este y en el sentido de la marcha.

La visibilidad de parada se calculará siempre para condiciones óptimas de iluminación, excepto en el dimensionamiento de acuerdos verticales cóncavos, en cuyo caso se considerarán las condiciones de conducción nocturna.

La visibilidad de parada será igual o superior a la distancia de parada mínima, siendo deseable que supere la distancia de parada calculada con la velocidad de proyecto incrementada en veinte kilómetros por hora (20 km/h). En cualquiera de estos casos se dice que existe visibilidad de parada.

La condición del párrafo anterior no será de aplicación para el caso en que se incurriera en costes económicos, medioambientales, sociales, afecciones al patrimonio arqueológico, artístico, histórico, etc., desproporcionados a los incrementos de seguridad obtenidos.

En el caso de que las causas por las que no exista visibilidad de parada mínima sean suficientemente justificadas, se establecerán las medidas oportunas.

4.3.4. Trazado en Planta

4.3.4.1.- Generalidades

El trazado en planta de un tramo se compondrá de la adecuada combinación de los siguientes elementos: recta, curva circular y curva de transición.

La definición del trazado en planta se referirá a un eje, que define un punto en cada sección transversal.

En general, salvo en casos suficientemente justificados, se adoptará para la definición del eje:

En carreteras de calzada única: El centro de la calzada, sin tener en cuenta eventuales carriles adicionales.

4.3.4.2.- Rectas

La recta es un elemento de trazado que está indicado en carreteras de dos carriles para obtener suficientes oportunidades de adelantamiento y en cualquier tipo de carretera para adaptarse a condicionamientos externos obligados (infraestructuras preexistentes, condiciones urbanísticas, terrenos llanos, etc.).

Para evitar problemas relacionados con el cansancio, deslumbramientos, excesos de velocidad, etc., es deseable limitar las longitudes máximas de las alineaciones rectas y para que se produzca una acomodación y adaptación a la conducción es deseable establecer unas longitudes mínimas de las alineaciones rectas.

A efectos de la presente Norma, en caso de disponerse el elemento recta, las longitudes mínima admisible y máxima deseable, en función de la velocidad de proyecto, serán las dadas por las expresiones siguientes:

$$L_{min.s} = 1.39 \cdot V_p$$

$$L_{min.o} = 2.78 \cdot V_p$$

$$L_{max} = 16.70 \cdot V_p$$

Siendo:

- $L_{mín.s}$ = longitud mínima (m) para trazados en «S» (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura de sentido contrario).
- $L_{mín.o}$ = longitud mínima (m) para el resto de casos (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura del mismo sentido).
- $L_{máx}$ = longitud máxima (m).
- V_p = velocidad de proyecto (km/h).

En la tabla se incluyen los valores de estas longitudes para la velocidad de proyecto.

V_p (km/h)	$L_{min.s}$ (m)	$L_{min.o}$ (m)	L_{max} (m)
50	69.5	139	835

Tabla 4.1. Longitud máxima y mínimas para rectas

4.3.4.3.- Curvas Circulares

GENERALIDADES

Fijada una cierta velocidad de proyecto, el radio mínimo a adoptar en las curvas circulares se determinará en función de:

- El peralte y el rozamiento transversal movilizado.
- La visibilidad de parada en toda su longitud.
- La coordinación del trazado en planta y alzado, especialmente para evitar pérdidas de trazado.

RADIOS Y PERALTES

A efectos de aplicación de la presente Norma, el peralte (p) se establecerá de acuerdo con los criterios siguientes:

- Grupo 3: Carreteras C-60, C-50 y C-40:

$$\begin{aligned}
 50 \leq R \leq 350 &\rightarrow p = 7 \\
 350 \leq R \leq 2500 &\rightarrow p = 7 - 6,65 \cdot (1 - 350/R)^{1,9} \\
 2500 \leq R < 3500 &\rightarrow p = 2 \\
 3500 \leq R &\rightarrow \text{Bombeo}
 \end{aligned}$$

Siendo:

R = radio de la curva circular (m).

p = peralte (%).

En el presente proyecto se abarcan radios de entre 55m hasta 350m por lo que se establecerán peraltes del 7%.

Nota: En general, el desarrollo mínimo de la curva se corresponderá con una variación de acimut entre sus extremos mayor o igual que veinte gonios (20 gon), pudiendo aceptarse valores entre veinte gonios (20 gon) y nueve gonios (9 gon) y sólo excepcionalmente valores inferiores a nueve gonios (9 gon).

4.3.4.4.- Transición del Peralte

La transición del peralte deberá llevarse a cabo combinando las tres condiciones siguientes:

- Características dinámicas aceptables para el vehículo.
- Rápida evacuación de las aguas de la calzada.

La variación del peralte requiere una longitud mínima, de forma que no se supere un determinado valor máximo de la inclinación que cualquier borde de la calzada tenga con relación a la del eje de giro del peralte.

A efectos de aplicación de la presente Norma, dicha inclinación se limitará a un valor máximo ($ip_{\max}$) definido por la ecuación:

$$ip_{\max} = 1,8 - 0,01 \cdot V_p$$

Siendo:

$ip_{\max}$ = máxima inclinación de cualquier borde de la calzada respecto al eje de la misma (%).

V_p = velocidad de proyecto (km/h).

La longitud del tramo de transición del peralte tendrá por tanto un valor mínimo definido por la ecuación:

$$l_{\min} = \frac{p_f - p_i}{ip_{\max}} \cdot B$$

$l_{\min}$ = longitud mínima del tramo de transición del peralte (m).

p_f = peralte final con su signo (%).

p_i = peralte inicial con su signo (%).

B = distancia del borde de la calzada al eje de giro del peralte (m).

Cuando la transición del peralte se realice en una alineación recta unida a curva circular, se efectuará la transición del peralte sobre la alineación recta.

En el caso de que la longitud de la curva circular sea menor que treinta metros (30 m), los tramos de transición del peralte se desplazarán de forma que exista un tramo de treinta metros (30 m) con pendiente transversal constante e igual al peralte correspondiente al radio de la curva circular.

Cuando el valor de $ip_{\max}$ sea incompatible con la longitud máxima de transición de peralte que se especifica previamente, esta última condición será predominante.

Se evitará la coincidencia de peralte nulo con acuerdo cóncavo. En las zonas donde esto no se pueda evitar se realizará un estudio detallado de la evacuación de las aguas de la plataforma.

4.3.5. Trazado en Alzado

A efectos de definir el trazado en alzado se considerarán prioritarias las características funcionales de seguridad y comodidad, que se deriven de la visibilidad disponible, de la deseable ausencia de pérdidas de trazado y de una variación continua y gradual de parámetros.

Para la definición del alzado se adoptarán, salvo casos suficientemente justificados, los siguientes criterios para carreteras de calzada única:

El eje que define el alzado coincidirá con el eje físico de la calzada (marca vial de separación de sentidos de circulación).

4.3.5.1.- *Inclinación de las Rasantes*

VALORES EXTREMOS

A efectos de aplicación de la presente Norma, los valores máximos de inclinación de la rasante en rampas y pendientes, función de la velocidad de proyecto (V_p), serán los siguientes:

V_p (km/h)	Inclinación Máxima (%)	Inclinación Excepcional (%)
50	7	10

Tabla 4.2. Inclinación de rasantes

Los valores definidos como excepcionales podrán incrementarse en un uno por ciento (1%) en casos suficientemente justificados, por razón del terreno (muy accidentado) o de baja intensidad de tráfico ($IMD < 3000$). El valor mínimo de la inclinación de la rasante no será inferior a cinco décimas por ciento (0,5%). Excepcionalmente, la rasante podrá alcanzar un valor menor, no inferior a dos décimas por ciento (0,2%).

La inclinación de la línea de máxima pendiente en cualquier punto de la plataforma no será menor que cinco décimas por ciento (0,5%).

4.3.5.2.- Acuerdos Verticales

La curva de acuerdo será una parábola de eje vertical de ecuación:

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot kv}$$

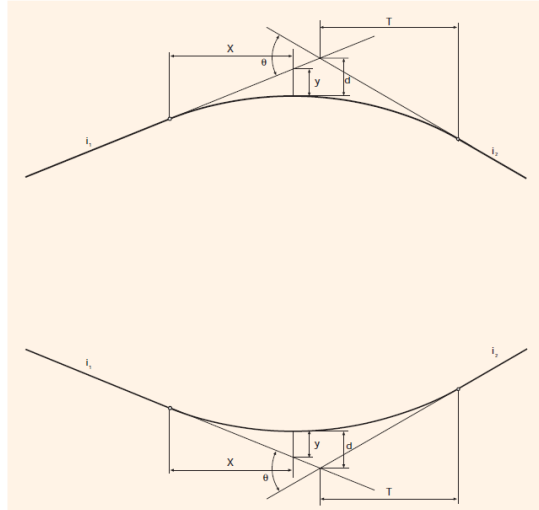


Ilustración 4.2. Esquema acuerdo vertical

Siendo K_v el radio de la circunferencia osculatriz en el vértice de dicha parábola, denominado comúnmente «parámetro».

Definiendo θ como el valor absoluto de la diferencia algebraica de las inclinaciones en los extremos del acuerdo en tanto por uno, se cumplirá que:

$$K_v = \frac{L}{\theta}$$

Siendo L la longitud de la curva de acuerdo y $T=L/2$.

PARÁMETROS MÍNIMOS DE LA CURVA DE ACUERDO

- CONSIDERACIONES DE VISIBILIDAD

Será de aplicación lo especificado en el apartado referente a visibilidad en el trazado en planimetría. Para longitudes de la curva de acuerdos superiores a la visibilidad requerida en cada caso, el valor del parámetro K_v vendrá dado por las expresiones siguientes:

$$\text{En acuerdos convexos: } K_v = \frac{D^2}{2} \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2$$

$$\text{En acuerdos cóncavos: } K_v = \frac{D^2}{2} \cdot (h - h_2 + D \cdot \tan \alpha)$$

Siendo:

K_v = parámetro de la parábola (m).

h_1 = altura del punto de vista sobre la calzada (m).

h_2 = altura del objeto sobre la calzada (m).

h = altura de los faros del vehículo (m).

α = ángulo que el rayo de luz de mayor pendiente del cono de luz forma con el eje longitudinal del vehículo.

D = visibilidad requerida (m).

4.3.6. Sección transversal

La sección transversal se fijará en función de la intensidad y composición del tráfico previsible en la hora de proyecto del año horizonte, situado veinte (20) años después de la entrada en servicio. En cada caso deberá justificarse la hora de proyecto adoptada, que no será inferior a la hora treinta (30) ni superior a la hora ciento cincuenta (150). Se considerará justificación suficiente de las características generales de la sección transversal (no de las características de detalle), el que éstas se hayan definido en un estudio de carreteras debidamente aprobado.

4.3.6.1.- Número de carriles de la sección tipo

El número de carriles de cada calzada se fijará de acuerdo con las previsiones de la intensidad y composición del tráfico previsible en la hora de proyecto del año horizonte, así como del nivel de servicio deseado y, en su caso, de los estudios económicos pertinentes. De dichos estudios se deducirán las previsiones de ampliación.

En cualquier caso, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones para carreteras de calzada única:

Se proyectarán dos carriles por calzada, uno para cada sentido de circulación.

En ningún caso se proyectarán calzadas con dos carriles por sentido.

No se computarán, a estos efectos, los carriles adicionales ni los carriles de cambio de velocidad.

Se recomienda que los niveles de servicio en la hora de proyecto del año horizonte cumplan los mínimos indicados en la siguiente tabla.

4.3.6.2.- Sección Transversal en planta recta y curva

ELEMENTOS Y SUS DIMENSIONES

En una sección transversal, los elementos constitutivos que la forman son los carriles, los arcenes y las bermas. Sus dimensiones se ajustarán a los valores que se indican en la siguiente tabla:

CLASE DE CARRETERA		VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	CARRILES (m)	ARCEN (m)		BERMAS (m)		NIVEL DE SERVICIO EN LA HORA DE PROYECTO DEL AÑO HORIZONTE
				EXTERIOR	INTERIOR	MINIMO	MAXIMO ****	
DE CALZADA UNICA	VIAS RAPIDAS	100	3,5	2,5		0,75	1,5	C
		80	3,5	2,5		0,75	1,5	D
	CARRETERAS CONVENCIONALES	100	3,5	1,5 - 2,5		0,75	1,5	D
		80	3,5	1,5 ***		0,75 **	1,5 **	D
		60	3,5	1,0 - 1,5 ***		0,75**	1,5 **	E

Tabla 4.3. Elementos y dimensiones de carretera

** Para carreteras en terreno muy accidentado y con baja intensidad de tráfico (IMD < 3000) se podrá justificar la ausencia o reducción de berma.

*** Para carreteras en terreno muy accidentado, o con baja intensidad de tráfico (IMD < 3000) se podrá reducir de forma justificada la dimensión del arcén en 0,5 metros como máximo.

**** Salvo justificación en contrario (visibilidad, sistemas de contención de vehículos, etc.).

NOTA: El nivel de servicio se definirá de acuerdo con el Manual de Capacidad.

BOMBEO EN RECTA

El bombeo de la plataforma en recta se proyectará de modo que se evacuen con facilidad las aguas superficiales, y que su recorrido sobre la calzada sea mínimo.

Para ello se utilizarán los siguientes criterios en carreteras de calzada única:

La calzada y los arcenes se dispondrán con una misma inclinación transversal mínima del dos por ciento (2%) hacia cada lado a partir del eje de la calzada.

En zonas en que la pluviometría lo aconseje, por la frecuencia o intensidad de las precipitaciones, podrá justificarse aumentar la inclinación transversal mínima al dos y medio por ciento (2,5%).

5. PRESUPUESTO

En este apartado se detalla el coste total y el valor del trabajo realizado en el presente proyecto. El presupuesto está basado en el rendimiento del trabajo en campo y gabinete del Ingeniero en Geomática y Topografía por la ejecución de las diferentes etapas. En el coste presentado estará incluidos los gastos generales, así como el beneficio industrial de la elaboración del proyecto y el Impuesto del Valor Añadido (I.V.A.).

En la realización del presupuesto se ha tenido en cuenta los distintos factores humanos como el Ingeniero en Geomática y Topografía, manutención y transporte.

El presupuesto esta desglosado en jornadas detallando el tipo de trabajo realizado.

5.1. Trabajos de Campo

El trabajo de campo se desglosa en tres etapas:

- Reconocimiento del terreno
- Materialización y observación de puntos de apoyo y puntos de control.
- Levantamiento topográfico con RPAS RTK.

Cuadro de precios simples:

CONCEPTO	Precio unitario [€]	UD
Graduado en Ingeniería Geomática y Topografía	140	Jornada
Piloto de RPAS autorizado por AESA	150	Jornada
Auxiliar	50	Jornada
Equipo GNSS	160	Jornada
Aeronave DJI Phantom 4 RTK	300	Jornada
Ferralla	0,5	Unidad
Cinta métrica	1	Unidad
Spray	6	Unidad
Dietas	12	Jornada
Transporte (mínimo de 20€)	0.2	€/km

Las jornadas completas constan de ocho horas y se aplicará el cobro de una jornada completa como mínimo por día trabajado.

CUADROS DE PRECIOS DESCOMPUESTO

- RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

CONCEPTO	Jornada	Precio unitario [€]	Importe [€]
Graduado en I.G y T	2 hora	140	140
Piloto RPAS	2 hora	150	150
Auxiliar	2 hora	50	50
Transporte	15 km	0,2	20
Total:			360

El presupuesto del Reconocimiento del terreno asciende a la cantidad de **TRESCIENTOS SESENTA EUROS**.

- MATERIALIZACION Y OBSERVACION DE LOS PUNTOS DE APOYO Y DE CONTROL

CONCEPTO	Jornada	Precio unitario [€]	Importe [€]
Graduado en I.G y T	5 horas	140	140
Auxiliar	5 horas	50	50
Equipo GNSS	5 horas	160	160
Ferralla	8 unidades	0,5	4
Spray	2 unidades	6	12
Dietas	2 unidades	12	24
Transporte	15 km	0,2	20
Total:			410

El presupuesto de la materialización y observación de los puntos de apoyo y de control asciende a la cantidad de **CUATROCIENTOS DIEZ EUROS**.

- LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO CON RPAS RTK

CONCEPTO	Jornada	Precio unitario [€]	Importe [€]
Graduado en I.G y T	5 horas	140	140
Piloto RPAS	5 horas	150	150
Aeronave DJI Phantom 4 RTK	5 horas	300	300
Dietas	1 unidad	12	12
Transporte	15 km	0,2	20
Total:			622

El presupuesto del levantamiento topográfico con RPAS RTK asciende a la cantidad de **SEISCIENTOS VEINTIDOS EUROS**.

- COSTE TOTAL DEL TRABAJO DE CAMPO

CONCEPTO	Total [€]
Reconocimiento del Terreno	360
Materialización de Puntos	410
Levantamiento con RPAS	622
TOTAL:	1392

La totalidad de los trabajos de campo asciende a la cantidad de **MIL TRESCIENTOS NOVENTA Y DOS EUROS**.

5.2. Trabajos de Gabinete

Análogamente al trabajo de campo, el trabajo de gabinete se divide en diferentes etapas, son las siguientes:

- Volcado de datos al ordenador
- Procesado de datos
- Elaboración de la cartografía del proyecto y diseño del nuevo trazado
- Elaboración del proyecto
- Impresión y del proyecto

Cuadro de precios simples:

CONCEPTO	Precio unitario [€]	UD
Graduado en Ingeniería Geomática y Topografía	140	Jornada
Equipo de procesamiento de vuelos	50	Jornada
Ordenador	1	Jornada
Software Global Mapper	10	Jornada
Software QGIS	1	Jornada
Software Agisoft Metashape	50	Jornada
Software Autodesk Civil 3D	5	Jornada
Software MDT	10	Jornada
Software Microsoft Office	0,5	Jornada

CUADROS DE PRECIOS DESCOMPUESTO

- VOLCADO DE DATOS AL ORDENADOR

CONCEPTO	Jornada	Precio unitario [€]	Importe [€]
Graduado en I.G y T	0,5 horas	140	8,75
Equipo de procesamiento de vuelos	0,5 horas	50	3,12
		Total:	11,87

El presupuesto del volcado de datos al ordenador asciende a la cantidad de **ONCE EUROS** con **OCHENTA Y SIETE CENTIMOS**.

- PROCESADO DE DATOS TOMADOS EN CAMPO

CONCEPTO	Jornada	Precio unitario [€]	Importe [€]
Graduado en I.G y T	16 horas	140	280
Equipo de procesamiento de vuelos	16 horas	50	100
Software Global Mapper	1 hora	10	10
Software QGIS	1 hora	1	1
Software Agisoft Metashape	16 horas	50	100
		Total:	491

El presupuesto del procesamiento de los datos tomados en campo asciende a la cantidad de **CUATROCIENTOS NOVENTA Y UN EUROS** con **TREINTA Y SIETE CENTIMOS**.

- ELABORACION DE LA CARTOGRAFIA Y DISEÑO DEL NUEVO TRAZADO

CONCEPTO	Jornada	Precio unitario [€]	Importe [€]
Graduado en I.G y T	4 Jornadas	140	560
Equipo de procesamiento de vuelos	4 Jornadas	50	200
Software Autodesk Civil 3D	4 Jornadas	5	20
Software MDT	4 Jornadas	10	40
		Total:	820

El presupuesto de la elaboración de la cartografía y diseño del nuevo trazado asciende a la cantidad de **OCHOCIENTOS VEINTE EUROS**.

- ELABORACION DEL PROYECTO

CONCEPTO	Jornada	Precio unitario [€]	Importe [€]
Graduado en I.G y T	16 jornadas	140	2240
Ordenador	16 jornadas	1	16
Software Microsoft Office	16 jornadas	0,5	8
Total:			2264

El presupuesto de la elaboración del proyecto asciende a la cantidad de **DOS MIL DOSCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS.**

5.3. Presupuesto de Ejecución Material

Como presupuesto de ejecución material se realiza el sumatorio de los presupuestos anteriormente calculados. Interviene el precio del trabajo de campo y el precio del trabajo de gabinete.

RESUMEN PRESUPUESTO	
Graduado en I.G y T	3500
Piloto RPAS	300
Auxiliar	100
Transporte	60
Dietas	36
Equipo GNSS	160
Aeronave DJI Phantom 4 RTK	300
Procesado de datos y elaboración de Cartografía	484
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL:	4940

5.4. Presupuesto de Ejecución por Contrata

Para el presupuesto de ejecución por contrata añadiremos al presupuesto de ejecución material un 16% de gastos generales y un 10% correspondiente al beneficio industrial.

RESUMEN	INCREMENTO	IMPORTE
EJECUCIÓN MATERIAL		4940
GASTOS GENERALES	0.16%	790.4
BENEFICIO INDUSTRIAL	0.10%	494
TOTAL EJECUCIÓN POR CONTRATA		6224.4

5.5. Presupuesto FINAL

Por último, se añade el Impuesto de Valor Añadido (I.V.A) el cual es del 21%. Este impuesto se suma al valor de ejecución por contrata obteniendo como coste total de este trabajo:

RESUMEN	INCREMENTO	IMPORTE
EJECUCIÓN POR CONTRATA		6224.4
IMPUESTO DE VALOR AÑADIDO (I.V.A.)	21%	1307.12
TOTAL PRESUPUESTADO		7531.52

Siendo el precio final del presupuesto del proyecto de acondicionamiento y mejora de la carretera JV-2224 (T.M. de La Guardia de Jaén), de **SIETE MIL QUINIENTOS TREINTA Y UNO CON CINCUENTA Y DOS CÉNTIMOS (7531.52€)**, desarrollado por el Ingeniero en Geomática y Topografía.

6. BIBLIOGRAFIA

Lerma García, José Luis. Editorial: Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, D. L. (2002). *Fotogrametría moderna: analítica y digital*.

Servicio Nacional de Aprendizaje Regional distrito Capital. (2019). Editorial: SENA. *Generalidades, Caracterización e Implementación de Aeronaves Remotamente Tripuladas para Levantamiento Topográfico*.

Armenakis, Costas; Patias, Petros. Editorial: Caithness, Scotland: Whittles Publishing (2019). *Unmanned vehicle systems for geomatics: towards robotic mapping*. Obtenido de la biblioteca pública de la Universidad de Jaén.

Andalucía, J. d. (s.f.). *IDEAndalucía*. Obtenido de <http://www.ideandalucia.es/portal/web/ideandalucia/>

Andalucía, J. d. (s.f.). *Portal de Posicionamiento de Andalucía*. Obtenido de <http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento/rap>

España, D. G. (2008). *Trazado: Instrucción de carreteras norma 3.1*. - IC. Madrid: Ministerio De Fomento, 2016.

Fomento, M. d. (s.f.). *Instituto Geográfico Nacional; Centro Nacional de Información Geográfica*. Obtenido de <http://www.ign.es/web/ign/portal>

Geodésicas, C. d., & Nacional, I. G. (s.f.). *Programa de Aplicaciones Geodésicas*.

Google. (s.f.). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps>

Ministerio de Fomento. (s.f.). *Ministerio de Fomento*. Obtenido de <https://www.fomento.gob.es/carreteras/normativa-tecnica>

Página oficial de AutoCad Civil 3D – <http://www.autodesk.es/>

Página de ayuda de AutoCAD Civil 3D – <http://help.autodesk.com/>