



**VNiVERSiDAD
DSALAMANCA**

Trabajo Fin de Grado de Ingeniería en Geomática y Topografía

**MODELO 3D Y ORTOFOGRAFÍA DE LA AUTOVÍA 407 EN ONTARIO
CANADÁ ENTRE PK 24+600 Y PK 26+000 A PARTIR DE UN VUELO
CON DRON**



Autor: Juan García Ogayar

ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN.....	1
1. OBJETIVOS.....	2
2. DESCRIPCIÓN ZONA DE ESTUDIO.....	2
3. METODOLOGÍA UTILIZADA.....	4
4. DRON DEL PROYECTO: CLASIFICACIÓN, TIPO DE VUELO Y LEGISLACIÓN....	6
4.1. Clasificación.....	6
4.2. Tipo de vuelo.....	7
4.3. Legislación.....	8
5. MATERIAL UTILIZADO.....	11
5.1. Leica GNSS GS14.....	11
5.2. Dron InfinitiveJIM Meridian 300.....	12
5.3. Cámara Canon EOS SL1DRLS.....	15
5.4. Hardware.....	16
5.5. Software.....	17
5.6. Recursos humanos.....	18
5.7. Otros.....	18
6. TRABAJO PREVIO OFICINA: PLANIFICACIÓN DE VUELO.....	20
6.1. Cálculos de los parámetros teóricos del vuelo.....	21
6.2. Cálculo de la incertidumbre de los puntos de control.....	23
6.3. Plan de vuelo con Mission Planner.....	28

7. TRABAJO DE CAMPO.....	32
7.1. Puntos de control.....	32
7.2. Ejecución vuelo fotogramétrico.....	37
8. PROCESADO DEL VUELO FOTOGAMÉTRICO EN OFICINA.....	42
8.1. Orientación vuelo fotogramétrico.....	42
8.2. Procesado vuelo fotogramétrico.....	45
8.3. Obtención de la ortofotografía y modelo 3D.....	76
9. ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL VUELO PROCESADO.....	86
10. USO DE LA INFORMACIÓN.....	87
10.1. Volúmenes.....	87
10.2. Medio Ambiente.....	87
10.3. Seguridad y Tráfico.....	88
10.4. Planificación: estado del proyecto.....	89
11. CONCLUSIONES.....	91
12. ANEXO A. BIBLIOGRAFÍA Y WEBS CONSULTADAS.....	92
13. ANEXO B. INFORME PROCESAMIENTO VUELO FOTOGAMÉTRICO.....	94
14. ANEXO C. PLANOS.....	102

0. Introducción

En este documento se presenta la memoria correspondiente al trabajo fin de grado de la titulación Grado en Ingeniería Geomática y Topográfica titulado "Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron". El Plan de Estudios para la titulación de Grado en Ingeniería Geomática y Topográfica fue publicado en el BOE el 3 de Julio de 2010, y dentro de la estructura de estudios conducentes a la obtención de dicho título se incluye la realización de una asignatura de carácter obligatorio "Trabajo Fin de Grado" con una carga docente total de 12 créditos.

Actualmente la Geomática es un término científico que hace referencia al conjunto de ciencias, en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica, también llamada información espacial o geoespacial. Por tanto, según la definición, la Geomática se preocupa de las mediciones, análisis, manejo, extracción y despliegue gráfico de datos espaciales relacionados con las características físicas de la Tierra.

En la actualidad la combinación de sensores y tecnologías como el escáner láser terrestre, los vehículos aéreos no tripulados (UAV), las cámaras digitales, los sensores inerciales o los propios GNSS, posibilitan la integración de datos y la obtención de resultados de gran potencial visual que, conservando el carácter métrico, están revolucionando las aplicaciones de reconstrucción 3D y los estudios multitemporales.

1. Objetivos

Los objetivos a alcanzar en el trabajo fin de grado son los siguientes:

1. Obtención de un modelo 3D: este modelo nos permitirá analizar el progreso de ejecución de los trabajos, así como la calidad de dicha ejecución. Además, nos permitirá calcular volúmenes.
2. Ortofotografía: permitirá obtener cartografía a escala 1:4000 en tamaño de hoja A3 para su posterior fotointerpretación.

Para la consecución de los objetivos planteados, se realiza un vuelo fotogramétrico con dron de la autovía 407 entre los puntos kilométricos 24+600 y 26+000.

2. Descripción de la zona de estudio

El trabajo fin de grado se enmarca en un enlace denominado “DCT” de la futura autovía 407 en la provincia de Ontario en Canadá (Figura 1).

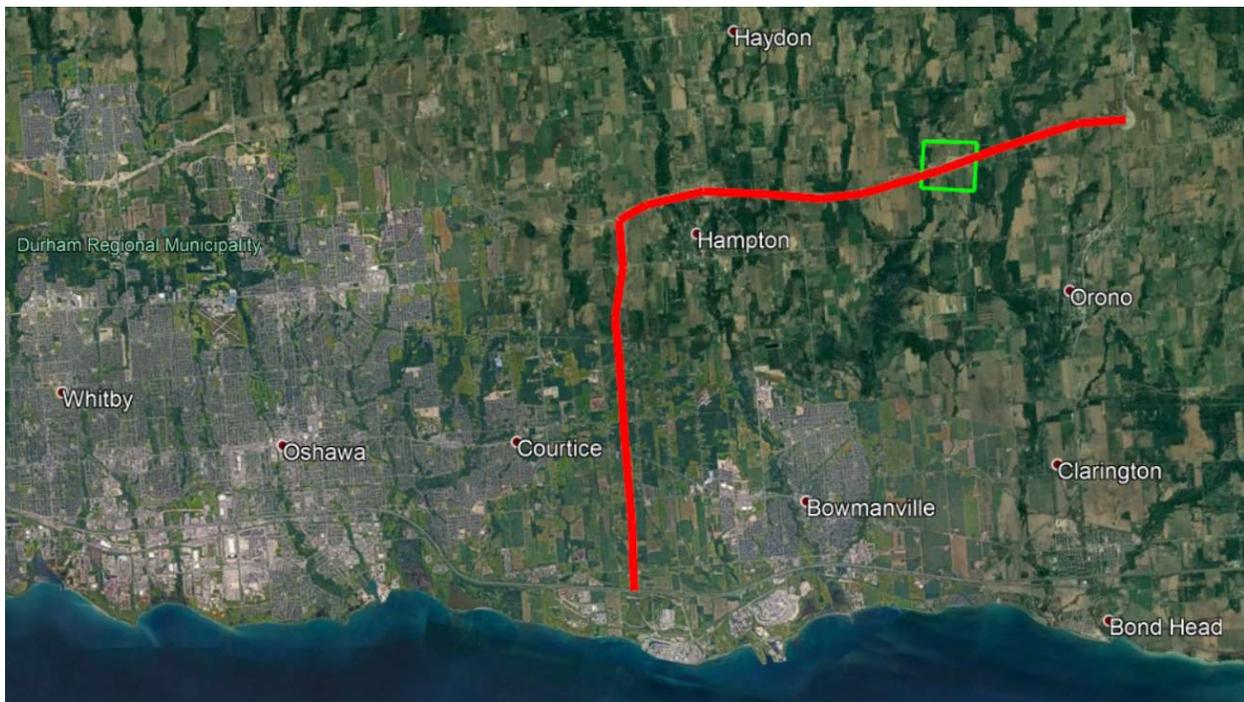


Figura 1. Localización de la autovía 407 (línea roja) y el enlace “DCT” (línea verde). Fuente: Google Earth Pro.

El enlace “DCT” se encuentra en la municipalidad regional de Durham y está situado entre las poblaciones de Hampton y Orono al norte de las mismas. Desde Hampton se accede a la zona de estudio tomando la carretera 4 en dirección este (7,4 Km) y girando a la izquierda en dirección norte en la carretera Darlington Clarke Townline (2,0 Km).

La zona objeto de estudio, presenta una orografía ondulada donde la diferencia entre la Z mínima y máxima no supera los 50 m. Además, la zona ha sido desbrozada y limpiada de árboles y vegetación. Los únicos obstáculos existentes son las farolas instaladas en la mediana de la futura autovía.

El enlace “DCT” está compuesto por 8 ejes:

- Eje 2: tronco principal de la autovía 407 compuesta de dos calzadas separadas por mediana de tierras entre los PK 24+600 y PK 26+000
- Eje 26: ramal de salida de la autovía 407 dirección este
- Eje 27: ramal de entrada a la autovía 407 dirección este
- Eje 28: ramal de entrada a la autovía 407 dirección oeste
- Eje 29: ramal de salida de la autovía 407 dirección oeste
- Eje 30: realineamiento de la carretera 6
- Eje 31: realineamiento de la carretera 7
- Eje 32: realineamiento de la carretera Brown

En el ANEXO C, se puede consultar el plano de geometría para un mayor detalle de la definición geométrica de los ejes que componen el enlace “DCT” (Figura 2).

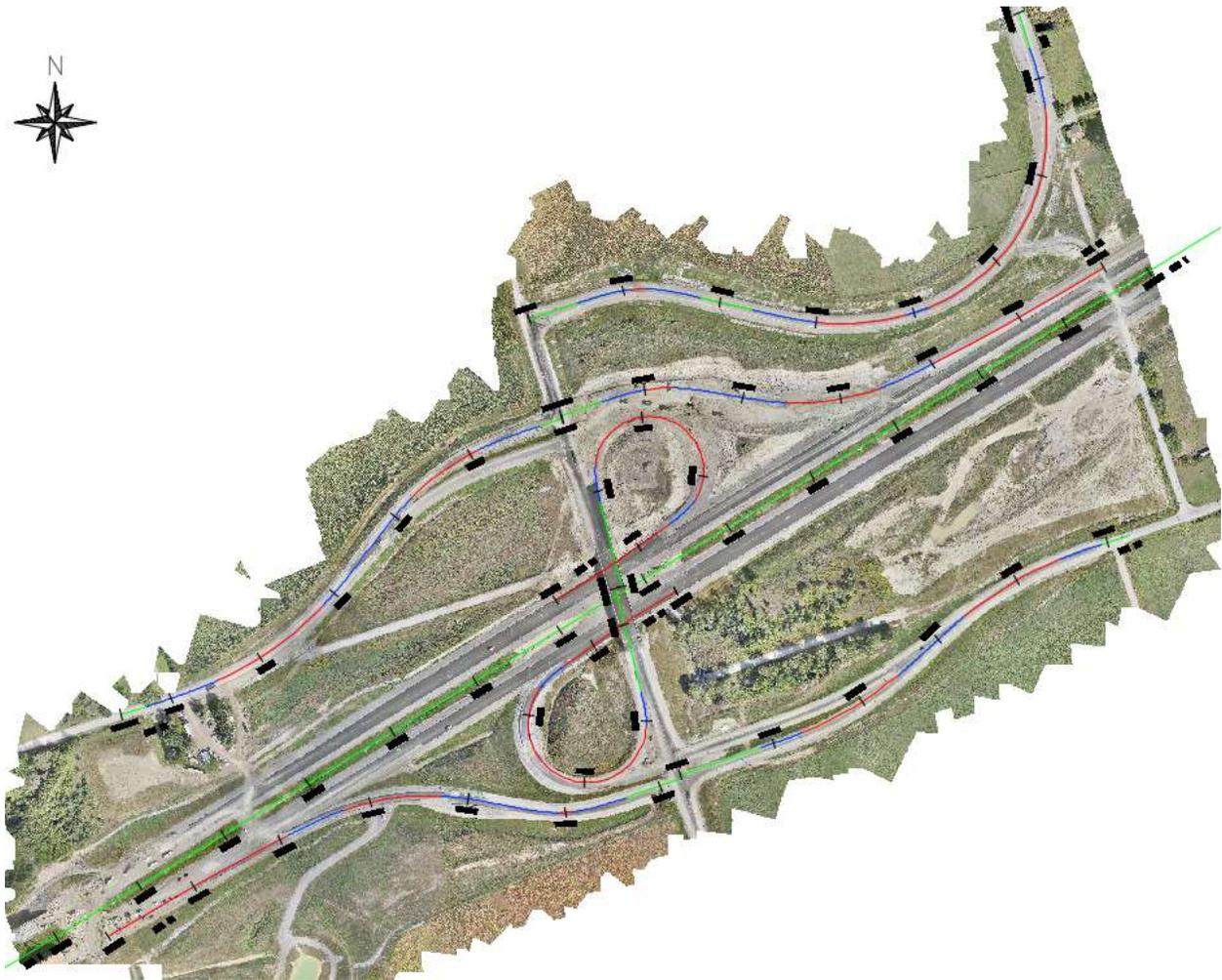


Figura 2. Geometría del enlace "DCT". Fuente: imagen propia.

3. Metodología utilizada

Las diferentes fases que se han seguido para la realización del trabajo fin de grado son las siguientes:

1. Planificación del vuelo en oficina para alcanzar los objetivos establecidos. Para ello se ha utilizado el software Mission Planner²⁶ (open source).

2. Obtención de las coordenadas de los puntos de control para el apoyo del vuelo fotogramétrico con dron. Para este trabajo se utilizó un GPS Leica GNS 14²⁰.
3. Obtención del modelo 3D en campo mediante el vuelo con dron. Para esta tarea, se usó un dron InfinitiveJIB Meridian 300²¹ (actualmente reemplazado por el nuevo modelo Surveyor 630).
4. Procesado de los datos de campo:
 - Exportación de los puntos de control del apoyo del vuelo fotogramétrico tomados en campo en formato X,Y,Z (formato *.csv).
 - Procesado del vuelo con el software Agisoft Photoscan²⁴ para la obtención del modelo 3D y la ortofotografía. Las tareas llevadas a cabo son:
 - Orientación interna
 - Orientación externa/Aereotriangulación
 - Generación de nube de puntos
 - Obtención de modelo 3D
 - Obtención de ortofotografía
5. Obtención de cartografía a escala 1:4.000 a partir de la ortofotografía y de los perfiles transversales a partir del modelo 3D de cada uno de los ejes para el cálculo de volúmenes. Se utiliza el software Autocad C3D²⁵.

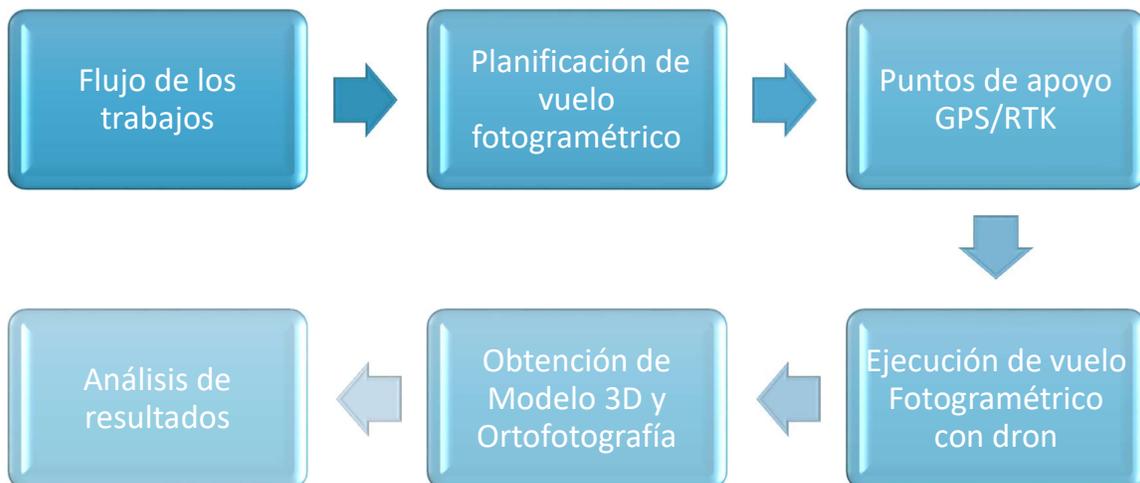


Figura 3. Esquema de metodología. Fuente: imagen propia.

4. Dron del proyecto: clasificación, tipo de vuelo y legislación

En este capítulo, se va a desarrollar de manera teórica la clasificación del dron usado para la consecución de los objetivos del trabajo fin de grado. Además, se va a describir el tipo de vuelo realizado. Por último, se desarrolla la legislación que afecta al vuelo realizado, en este caso, la legislación canadiense.

4.1 Clasificación

Existe una enorme tipología de drones. Esto hace necesario que la clasificación de los mismos se haga en función de diferentes criterios⁴. El dron utilizado para la realización del vuelo fotogramétrico en el trabajo fin de grado se clasifica de la siguiente manera:

- Tipo de despegue vertical: es un dron multirotor de ala rotativa o hélice. En la figura 4 se pueden ver algunos modelos de ejemplo.
- Capacidad de vuelo: un dron tipo Mini ya que posee una autonomía máxima de 16 minutos, altitud máxima entre 150-300 m y un alcance inferior a los 10 Km (Association for Unmanned Vehicle Systems International).
- Carga de despegue: es un dron cuya carga de despegue es < 2kg. En la figura 5 se pueden ver los tipos de drones en función de la carga de despegue.



Figura 4. Ala rotativa. Phantom 4 (izquierda)¹⁷ y Camcopter S-100 (Derecha)¹⁸.



Figura 5. Tipología de drones atendiendo a su capacidad de carga en el despegue⁴.

4.2 Tipo de vuelo

Según la clasificación de los tipos de vuelo², el vuelo usado en el trabajo fin de grado se sitúa dentro de los vuelos comerciales y en exterior, ya que no es realizado en el interior de estructura alguna.

Atendiendo ahora al alcance visual del piloto², el tipo de vuelo usado en el trabajo fin de grado es un vuelo en línea de vista extendida o EVLOS (Extended Visual Line Of Sight operations). En este caso, uno o varios observadores apoyan al piloto, pudiendo ampliar considerablemente el espacio para vuelo en modo visual (Figura 6).

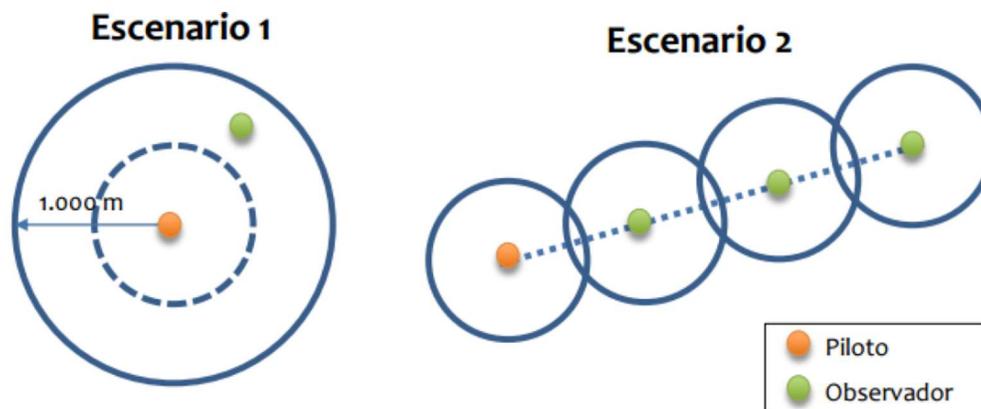


Figura 6. Geometría del vuelo EVLOS².

4.3 Legislación

En Canadá, es el departamento de transportes el que regula la normativa sobre el uso de los drones. En el siguiente enlace se puede acceder a toda la información necesaria para el uso de drones en Canadá, <https://tc.canada.ca/en/aviation/drone-safety/flying-your-drone-safely-legally>.

Es de obligado cumplimiento para todos los pilotos de drones seguir las reglas de CRAs (Canadian Aviation Regulations) donde en el apartado IX-Remotely Piloted Aircraft Systems, se encuentran todas las reglas que afectan al uso de los drones hasta un peso máximo de 25 Kg.

Para cualquier persona que quiera usar un dron, debe de estar en posesión de un certificado de piloto de dron valido, el cual es emitido por Transport Canada. Ningún otro certificado es válido y el piloto debe llevar consigo el certificado de piloto en todo momento que se esté usando el dron. Existen un par de excepciones, en las cuales el piloto de dron no necesita este permiso:

- Que el dron tenga un peso máximo de 25 gramos
- Que el piloto del dron sea miembro de MAAC (Model Aeronautics Association of Canada)

Para más información sobre la obtención del permiso de piloto de drones, se puede consultar la pagina <https://tc.canada.ca/en/aviation/drone-safety/take-drone-pilot-online-exam-overview>.

El departamento de Transportes de Canadá instruye en su web los pasos necesarios a seguir antes de volar un dron:

1. Conocer y entender los requerimientos legales cuando se vuela un dron.
2. Conocer y entender la diferencia entre operaciones básicas y avanzadas (<https://tc.canada.ca/en/aviation/drone-safety/find-your-category-drone-operation#basic>).
3. Conocer los requerimientos para el piloto de drones (<https://tc.canada.ca/en/aviation/publications/knowledge-requirements-pilots->

[remotely-piloted-aircraft-systems-250-g-including-25-kg-operating-within-visual-line-sight-vlos-tp-15263](https://tc.canada.ca/en/aviation/drone-safety/registering-your-drone-overview)).

4. Elegir el dron correcto.
5. Registrar el dron (<https://tc.canada.ca/en/aviation/drone-safety/registering-your-drone-overview>).
6. Seguir las indicaciones del fabricante.
7. Inspeccionar la zona a volar antes (<https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-96-433/FullText.html#s-901.27>).
8. Solicitar a NAV CANADA el permiso necesario en caso de realizar un vuelo de operaciones avanzadas en espacio aéreo controlado.

En Canadá, el espacio aéreo está dividido en dos:

- Espacio aéreo no controlado (Clase G): es necesario tener el certificado de piloto para realizar un vuelo de operaciones básicas. No es necesario la autorización del NAV CANADA.
- Espacio aéreo controlado (Clase C, D o E): es necesario tener el certificado de piloto para realizar un vuelo de operaciones avanzadas. En este caso, es obligatorio la autorización expedida por el NAV CANADA.

El gobierno de Canadá establece una serie de multas para aquellas personas o empresas que no cumplan con la normativa vigente. Para las personas individuales, las multas oscilan entre 1.000\$-3.000\$ y para las empresas las multas oscilan entre 5.000\$-15.000\$. Se contemplan acciones más contundentes, incluyendo periodos de cárcel, para las personas o empresas reincidentes.

Además, es de obligado cumplimiento para los pilotos de dron las siguientes leyes:

- Secciones del código criminal incluyendo los delitos contra la seguridad aérea o marítima y no respetar la propiedad privada.
- Leyes provinciales o locales que protejan el derecho de privacidad de las personas.
- Leyes de privacidad y voyeurismo.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

El gobierno de Canadá pone a disposición una herramienta interactiva donde se pueden comprobar las restricciones de las zonas a volar consultando un mapa. En el presente caso, el enlace objeto de estudio en el trabajo fin de grado se encuentra fuera de las áreas restringidas donde es necesario obtener el permiso de NAV CANADA comentado en el punto 8 (Figura 7).

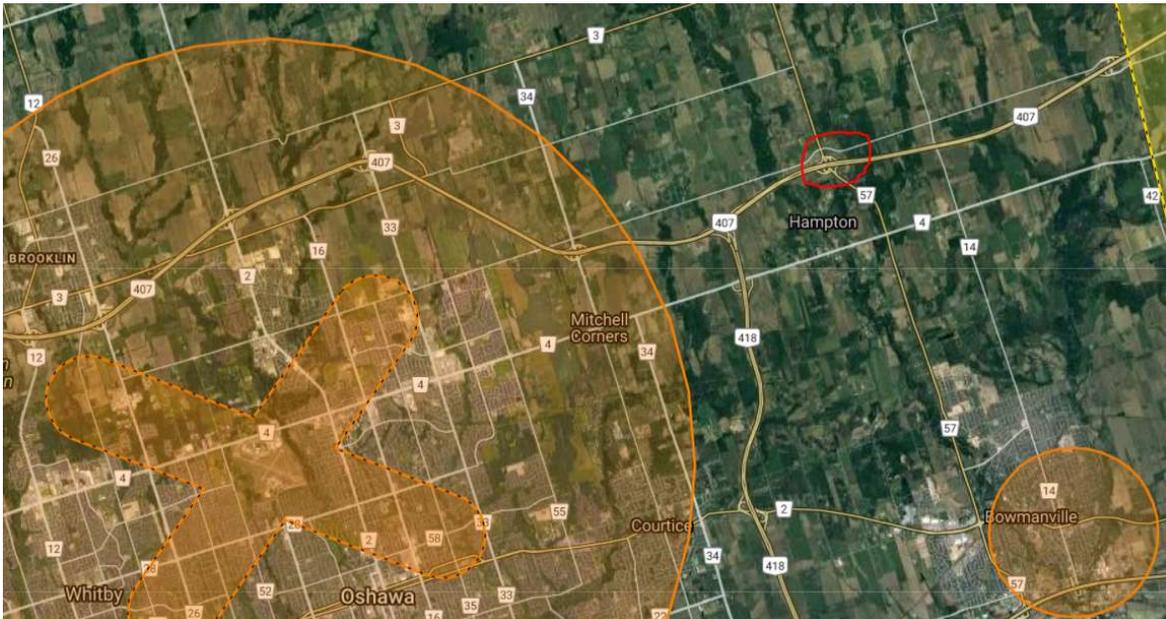


Figura 7. Espacio aéreo de la zona. Círculos naranjas: zonas restringidas donde es necesario un permiso especial emitido por NAV CANADA. Círculo rojo: localización del enlace "DCT" objeto de estudio en el TFG Fuente: <https://nrc.canada.ca/en/drone-tool/>

Las medidas de seguridad que establece el gobierno de Canadá mientras se está volando un dron son las siguientes:

- El dron tiene que ser visible en todo momento.
- Máxima altura de vuelo de 122 m.
- Mínima distancia horizontal de 30 m con las personas no involucradas en el vuelo.
- Evitar zonas de emergencia (fuegos) o concentraciones de gente (manifestaciones, celebraciones...).
- Respetar la distancia a los aeropuertos (mínimo 5.6 Km) y helipuertos (1.9 Km).
- No volar cerca de aviones, helicópteros u otros drones.

5. Material utilizado

En este capítulo se van a detallar todos los materiales, equipos topográficos y software que han sido necesarios utilizar para la correcta consecución de los objetivos planteados del trabajo fin de grado.

5.1 Leica GNSS GS14

El receptor GS14¹⁴ de la casa leica (Figura 8), es una antena compacta y potente la cual está guiada con el intuitivo software SmartVox Viva¹⁵. Las principales características de este equipo son:

- Seguimiento avanzado de satélites Leica SmartTrack
- Señales de satélite rastreadas simultáneamente:
 - o GPS (L1,L2 y L2C)
 - o Glonass (L1 y L2)
 - o Galileo (E1, E1A y E1B)
 - o BeiDou (B1 y B2)
- 120 canales (hasta 60 satélites simultáneamente en 2 frecuencias)
- 4 segundos de tiempo de inicialización
- Tarjeta Micro SD extraíble de 8 GB
- Libreta de campo CS15 con SmartVox Viva¹⁵
- Batería de Li-Ion intercambiable (2.6 Ah / 7.4 V)
- Protección IP68 contra golpes, polvo y humedad
- En funcionamiento trabaja entre -40° y +65° Celsius
- Las precisiones que se pueden obtener:
 - o Tiempo real/RTK:
 - Línea base individual: Hz 8 mm + 1 ppm/V 15 mm + 1 ppm
 - Red RTK: Hz 8 mm + 0,5 ppm/V 15 mm + 0,5 ppm
 - o Postproceso:
 - Estático (fase) con observaciones largas: Hz 3 mm + 0,1 ppm/V 3,5 mm + 0,4 ppm

- Estático y estático rápido (fase): Hz 3 mm + 0,5 ppm/V 5 mm + 0,5 ppm
- Puertos de comunicaciones:
 - Lemo: USB y RS232 serie
 - Bluetooth® v2.00 + EDR, clase 2
- Protocolos de comunicación:
 - Protocolos de datos RTK: Leica, Leica 4G, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, 3.2 MSM
 - Salida NMEA: NMEA 0183 V 4.00 y propietario Leica
 - Red RTK: VRS, FKP, iMAX, MAC (RTCM SC 104)



Figura 8. Leica GS14 y controladora CS15²⁰.

5.2 Dron InfintiveJIB Meridian 300

La empresa Infinty Jib™ comenzó a diseñar drones de manera personalizada en el año 2010 en función de las demandas de los diferentes clientes. Actualmente se han centrado en la creación de 3 modelos de drones con los cuales cubren casi la totalidad de aplicaciones que demandan potenciales clientes:

- Surveyor 630
- Nexus 800 LiDAR/Photogrammetry UAV Solution
- Orion 700 Thermal UAV Solution

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

El dron usado en el trabajo fin de grado es el InfinityJIB Meridian 300¹⁶ (Figura 9), que ha sido la base sobre la cual se ha diseñado el nuevo modelo Surveyor 630. En las tablas 2, 3 y 4 se pueden ver las características del infinityJIB Meridian 300¹⁶:

RAPS Información	InfinitiveJIB Meridian 300¹⁶
Categoría	Multirrotor (3)
Composición	Fibra de carbono
Medidas	42 cm x 60 cm x 60 cm
Peso	3,865 Kg – 5,360 Kg
Sistema de propulsión	Motores eléctricos
Combustible/Energía	Baterías de LiPo (2x22.2 V)
Método despegue	VTOL
Método aterrizaje	VTOL
Equipo de navegación	GPS, brújula y sistema FPV
Sensores de vuelo	Barómetro, IMU y giróscopo
Sistemas redundantes	Sistema de regreso a casa
Sistemas visibilidad	14 m/s Max velocidad horizontal y 3 m/s Max velocidad vertical.
Datos de vuelo	Vientos de 50 Km/h o mayores. Entre -10°C y +40°C. Sin luces de noche
Peso de pago	1,5 Kg de capacidad
Cámara	Canon EOS SL1DSLR, lentes 24mm. Ajuste de disparo cada 1, 2 o 3 segundos

Tabla 2. Características principales del dron

Estación de control	InfinitiveJIB Meridian 300¹⁶
Método de control	Transmisor RC, tablet y software de vuelo
Instrumentos de vuelo	Distancia al waypoint, distancia a casa, altura, velocidad, velocidad vertical, fuerza de la señal, voltaje, numero de satélites, inclinación
Sistema de diagnóstico e información	Aviso de batería baja
Sistemas redundantes	Poder volar con una hélice menos y sistema de retorno a casa
Combustible/Energía	Baterías de LiPo

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

Estación de control	InfiniteJIB Meridian 300¹⁶
Equipo en la estación de control	Extintor y receptor manual
Seguridad	Carcasa de aluminio reforzado

Tabla 3. Características de la estación de control

Controles y comunicaciones	InfiniteJIB Meridian 300¹⁶
Bandas y frecuencias	2.4 Ghz
Rango de radio	1 Km
Indicaciones de pérdida de señal	Fuerza de la señal
Prevención de interferencias	Bloqueo de RF
Redundancia de comunicación	2 antenas
Comunicación Principal	Receptor manual o tablet
Comunicación secundaria	Teléfono móvil

Tabla 4. Controles y comunicaciones del dron



Figura 9. Dron InfiniteJIB Meridian 300²¹.

5.3 Cámara Canon EOS SL1DSLR

La calidad de los productos finales es directamente proporcional a la calidad de los equipos fotogramétricos utilizados. En este caso, se decidió montar una cámara DSLR Canon EOS SL1²² con una lente focal de 24 mm y con una resolución de 18 megapíxeles (Figura 10). El tamaño del píxel es importante ya que permite un aumento de la sensibilidad de la luz, rango dinámico y relación señal-ruido reduciendo el ruido cuando se usan altos ISO (sensibilidad que tiene el sensor para la captación de luz). Estas son las características de la cámara utilizada:

- Cuerpo: compacto SLR. Fabricado en aluminio y resinas de policarbonatos
- Sensor: máxima resolución de 5.184 mm x 3.456 mm
- Tamaño del píxel: 4,38 μm x 4,38 μm
- Ratio de imagen (ancho:alto): 1:1, 4:3, 3:2 y 16:9
- Píxeles efectivos: 18 megapíxeles
- Tipo de sensor: CMOS
- Tamaño sensor: 22,3 mm x 14,9 mm
- Procesador: Digic 5
- ISO: Auto, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400, 12800 (25600 with boost)
- Estabilización de imagen: no
- Balance de blancos: manual y 6 preestablecidos
- Formatos: RAW, JPEG y DPOF
- Enfoque: manual o automático
- Lentes: Canon EF/EF-S
- Pantalla: LCD 3" táctil
- Tiempo de exposición: rango 30" - 1/4000"
- Flash: incorporado con una distancia máxima de uso de 9,40 m
- Flash externo: hot-shoe instalado
- Video: resolución 1920 x 1080 (30, 25, 24 fps), 1280 x 720 (60, 50 fps), 640 x 480 (30, 25 fps) y formatos MPEG-4, H.264
- Micrófono y altavoz: incorporados
- Almacenamiento: SD/SDHC/SDXC
- Conectividad: USB 2.0, mini HDMI y micrófono

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

- Batería: Litio-Ion LP-E12 recargable y cargador
- Dimensiones: 117 mm x 91 mm x 69 mm
- Peso: 407 gr con la batería incluida



Figura 10. Cámara Canon EOS SL1DSLR²².

5.4 Hardware

La máquina utilizada para el procesamiento de los datos ha sido un ordenador de sobremesa marca DELL²³ (WorkStation) con las siguientes características (Figura 11):

- Procesador Intel Core I7 4800 MQ Quad core (4 Core)
- 2.70 Ghz de velocidad
- 32 Gb de memoria RAM tipo DDR4
- Tarjeta gráfica Nvidia Quatro K3100 M
- Dos monitores LCD marca DELL de 22"
- Teclado y ratón inalámbricos



Figura 11. Ordenador utilizado para el procesamiento del vuelo²³.

5.5 Software

Se han usado 3 software distintos para la realización del trabajo fin de grado:

- Agisoft Photoscan¹⁰ (Figura 12): es un software de pago para el procesamiento de imágenes digitales. Combina las técnicas de fotogrametría digital y visión por ordenar (SFM) para la obtención de modelos 3D. La tecnología SFM (“Structure From Motion”) permite obtener los modelos 3D a partir de imágenes no estructuradas.



Agisoft Metashape 1.6.4

This is a latest released version.

Check Metashape [Tutorials](#) and [User Manual](#) to get started.

Figura 12. Agisoft Photoscan²⁴.

- AutoCAD C3D 2018¹¹ (Figura 13): es un software para el diseño de infraestructuras. Posee diferentes herramientas para el procesado de puntos y generación de superficies, perfiles transversales, cálculo de volúmenes, generación de planos etc.



Figura 13. Autocad C3D²⁵.

- Mission Planner¹² (Figura 14): es un software libre (open source) que fue originalmente desarrollado por Michael Osborne pero que actualmente cuenta con la cooperación de profesionales para su continuo desarrollo. Este software contiene una herramienta muy útil, planificador de misión, la cual permite el cálculo teórico del vuelo fotogramétrico.



Figura 14. Mission Planner²⁶.

5.6 Recursos humanos

Para conseguir los objetivos fijados en el trabajo fin de grado, ha sido necesaria la intervención de 4 personas durante dos jornadas de trabajo:

- Una persona para planificar y procesar los datos obtenidos del vuelo. Además, ha realizado los planos del Anexo C.
- Piloto autorizado: que es la persona que lleva a cabo la ejecución del vuelo en campo.
- Observador: que es la persona que acompaña al piloto para aumentar el control visual sobre el dron en el momento del vuelo debido a la presencia constante de trabajadores y maquinaria pesada a lo largo de todo el proyecto y asegurar así la seguridad de los mismos.
- Topógrafo de campo para dar coordenadas a los puntos de control para el procesado del vuelo.

5.7 Otros

Ha sido necesario el uso de 2 vehículos (Figura 15) para llegar a la zona de estudio del trabajo fin de grado, así como para el transporte de todos y cada uno de los elementos que componen el material de campo para la ejecución del vuelo.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron



Figura 15. Nissan Frontier SV. Fuente: imagen propia

Además, se han usado 5 botes de pintura de alta visibilidad de color naranja para materializar los puntos de control en la zona de estudio (Figura 16)



Figura 16. Bote de pintura naranja de alta visibilidad²⁸.

6. Trabajo previo de oficina: Planificación del vuelo

En esta fase, es donde se llevan a cabo todos los cálculos previos necesarios para la ejecución del vuelo fotogramétrico el cual nos permite obtener los objetivos planteados⁶.

Además, es necesario definir el tipo de sensor que va a ser utilizado, así como los condicionantes meteorológicos y técnicos durante la ejecución del vuelo fotogramétrico.

A continuación, se listan los parámetros a definir para la adecuada ejecución del vuelo fotogramétrico⁷:

- Zona de actuación: se determina de manera precisa el área geográfica objeto de estudio.
- Sensor: se define el sensor o sensores que se van a utilizar.
- Resolución espacial: se determina la escala del vuelo y el tamaño del GSD (Ground Surface Distance o tamaño medio del pixel a nivel del suelo) en función de los objetivos del vuelo fotogramétrico teniendo en cuenta las limitaciones en la identificación.
- Configuración del vuelo fotogramétrico: se configuran las tomas estereoscópicas clásicas. Se definirán los ejes de cada una de las pasadas y los centros de proyección de cada una de las pasadas (CDP).
- Condiciones temporales y ambientales: se establece la fecha, hora y las condiciones climáticas para la ejecución del vuelo fotogramétrico.

El vuelo ideal, es aquel en el cual el dron recorre el terreno a levantar a una altura H' , disparando el obturador de la cámara a intervalos de tiempo regulares, consiguiendo de esta manera el recubrimiento necesario y distribuyendo las pasadas del dron con trayectorias paralelas. En la tabla 5 se recogen las relaciones y parámetros necesarios para el cálculo del vuelo fotogramétrico.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

Descripción	Ecuación	VARIABLES
Escala del fotograma	$Mb = \frac{1}{mb} = \frac{f}{D}$	Mb: escala del fotograma mb: denominador de la escala
Tamaño GSD	$DGS = \frac{D}{f} \times res$	f: focal res: tamaño real del pixel
Recubrimiento Longitudinal	$p\% = \frac{(Lt_{Hz} - b) \times 100}{Lt_{Hz}}$	D: altura de vuelo sobre el terreno. En tomas cenitales la altura de vuelo coincide con la distancia de disparo H
Ancho Sensor Terreno	$LT_{Hz} = lt_{Hz} \times mb$	p: recubrimiento longitudinal
Largo Sensor Terreno	$LT_v = lt_v \times mb$	q: recubrimiento transversal
Fotobase	$b = lt_{Hz} \times \left(1 - \frac{p\%}{100}\right)$	LT _{Hz} : lado del fotograma en el terreno (ancho)
Base	$B = b \times mb = Lt_{Hz} \times \left(1 - \frac{p\%}{100}\right)$	LT _v : lado del fotograma en el terreno (largo)
Recubrimiento Transversal	$q\% = \frac{(Lt_v - a) \times 100}{Lt_v}$	lt _{Hz} : lado del sensor (ancho)
Distancia Entre Pasadas	$a = lt_v \times \left(1 - \frac{q\%}{100}\right)$ $A = Lt_v \times \left(1 - \frac{q\%}{100}\right)$	lt _v : lado del sensor (alto)
Número de Fotogramas por Pasada	$num_{fot} = \frac{ancho}{B} + 1$	B: base aérea
Número de Pasadas	$num_{pasadas} = \frac{alto - LT_v}{A} + 1$	A: separación entre pasadas
Número de Fotogramas	$num_{total} = num_{fot} \times num_{pasadas}$	b: base fotográfica alto, ancho: dimensiones de la zona num _{fot} : número de fotogramas por pasada num _{pasadas} : número de pasadas num _{total} : número total fotogramas

Tabla 5. Fórmulas parámetros de vuelo⁶.

6.1 Cálculo de los parámetros teóricos del vuelo

Para la realización del cálculo de los parámetros del vuelo fotogramétrico, se parte de los siguientes datos conocidos:

- Altura de vuelo: 90 m. Se establece esta altura para librar los obstáculos existentes y para mantener la consistencia con los vuelos en otras zonas ya que el terreno es variable (altura de vuelo media establecida para 35 Km de proyecto).

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

- Focal de la cámara: 24 mm
- Tamaño del sensor: 22.3 mm x 14.9 mm
- Recubrimiento transversal: 50% (mínimo recomendado por Agisoft PhotoScan)
- Recubrimiento longitudinal: 80% (mínimo recomendado por Agisoft PhotoScan)
- lt_{Hz} (Ancho del sensor): 14.9 mm
- lt_v (Largo del sensor): 22.3 mm

En primer lugar, se calcula la escala del fotograma:

$$mb = \frac{H'}{f} = \frac{90 \text{ m}}{0.024 \text{ m}} = 3.750$$

Ahora, podemos calcular el valor de GSD:

$$GSD = \frac{D}{f} \times res = \frac{90 \text{ m}}{0.024 \text{ m}} \times 4.38^{-6} = 0.016 \text{ m}$$

A continuación, se calcula el valor de la fotobase y la base:

$$b = lt_{Hz} \times \left(1 - \frac{p\%}{100}\right) = 0.0149 \text{ m} \times \left(1 - \frac{80\%}{100}\right) = 0.00298 \text{ m}$$

$$B = b \times mb = 0.00298 \text{ m} \times 3750 = 11.175 \text{ m}$$

El siguiente calculo a realizar es la distancia entre pasadas:

$$A = LT_v \times \left(1 - \frac{q\%}{100}\right) = (0.0223 \text{ m} \times 3750) \times \left(1 - \frac{50\%}{100}\right) = 41.81 \text{ m}$$

Se calcula a continuación el número de fotogramas por pasada:

$$num_{fot} = \frac{ancho}{B} + 1 = \frac{400 \text{ m}}{11.175 \text{ m}} + 1 = 36.79 \approx 37$$

El siguiente paso, es calcular el número de pasadas:

$$num_{pasadas} = \frac{alto - LT_v}{A} + 1 = \frac{1400 \text{ m} - (0.0223 \text{ m} \times 3750)}{41.81 \text{ m}} + 1 = 32.48 \approx 32$$

Por último, se calculan el número total de fotografías:

$$num_{total} = num_{fot} + num_{pasadas} = 37 \times 32 = 1184 \text{ fotografías}$$

6.2 Cálculo de la incertidumbre de los puntos de control

Es necesario comprobar que la instrumentación y la metodología utilizada para la obtención de los puntos de control son los adecuados para el trabajo en cuestión. Para ello, se realiza el cálculo de incertidumbres, el cual está dividido en dos partes, la incertidumbre planimétrica por un lado y la incertidumbre altimétrica por otro⁸.

En la figura 18, se pueden observar las posiciones de las antenas de la red de leica (Smartnet) más cercanas a la zona de estudio. En la página web del gobierno canadiense, se pueden consultar las antenas activas RTK y obtener informes (Figura 17) con la información de las antenas. Estas son las antenas más cercanas que se usan en el proyecto de construcción de la autovía 407:

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

- Antena Smartnet ONPP:

Station 1 of 1

Site Identification					
Name	Province	NTS map sheet	Unique Number	Provincial Identifier	Network
SMARTNET-ONPP	Ontario	031D02	LOPP		SMARTNET

Station Coordinates			
Coordinates	Geoid	Reference Frame	Epoch
geo	CGG2013a	NAD83(CSRS)	2010

Latitude	Longitude	h (metres)
N44° 06' 36.874457" ± 0.0011m	W78° 57' 27.301328" ± 0.0006m	236.178 ± 0.0017m
Vφ (mm/y)	Vλ (mm/y)	Vh (mm/y)
-0.72 ± 0.15	1.44 ± 0.08	-1.58 ± 0.23
N (metres)	H (metres)	Published date and project ID
-35.501 ± 0.008	271.679	2020-01-14 M19-019

Figura 17. Informe de antena RTK. Fuente: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/data-donnees/rtk.php?locale=en>

- Antena Smartnet WITH:

Station Report - LWHI

Station 1 of 1

Site Identification					
Name	Province	NTS map sheet	Unique Number	Provincial Identifier	Network
SMARTNET-WHIT	Ontario	030M15	LWHI		SMARTNET

Station Coordinates			
Coordinates	Geoid	Reference Frame	Epoch
geo	CGG2013a	NAD83(CSRS)	2010

Latitude	Longitude	h (metres)
N43° 51' 38.213196" ± 0.0005m	W78° 54' 1.487839" ± 0.0003m	61.174 ± 0.0008m
Vφ (mm/y)	Vλ (mm/y)	Vh (mm/y)
-1.01 ± 0.08	1.56 ± 0.04	-1.63 ± 0.13
N (metres)	H (metres)	Published date and project ID
-35.981 ± 0.008	97.155	2020-01-14 M19-019

Figura 17. Informe de antena RTK. Fuente: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/data-donnees/rtk.php?locale=en>

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

- Antena Smartnet ONBM:

Station 1 of 1

Site Identification					
Name	Province	NTS map sheet	Unique Number	Provincial Identifier	Network
SMARTNET-ONBM	Ontario	030M15	LOBM		SMARTNET

Station Coordinates			
Coordinates	Geoid	Reference Frame	Epoch
geo	CGG2013a	NAD83(CSRS)	2010

Latitude	Longitude	h (metres)
N43° 54' 10.298309" ± 0.0063m	W78° 39' 52.414292" ± 0.0033m	58.882 ± 0.0098m
Vφ (mm/y)	Vλ (mm/y)	Vh (mm/y)
-10.18 ± 0.71	7.18 ± 0.37	-9.92 ± 1.11
N (metres)	H (metres)	Published date and project ID
-35.876 ± 0.009	94.758	2020-01-14 M19-019

Figura 17. Informe de antena RTK. Fuente: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/data-donnees/rtk.php?locale=en>

El GPS está configurado para conectarse siempre a la antena más cercana que encuentre por lo que en el caso de la zona de estudio, la antena usada para la observación de los puntos de control es la ONBM que está situada a 10,9 Km mientras que las estaciones ONPP y WHIT están situadas a 26,3 Km y 24,4 Km respectivamente (Figura 18).

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

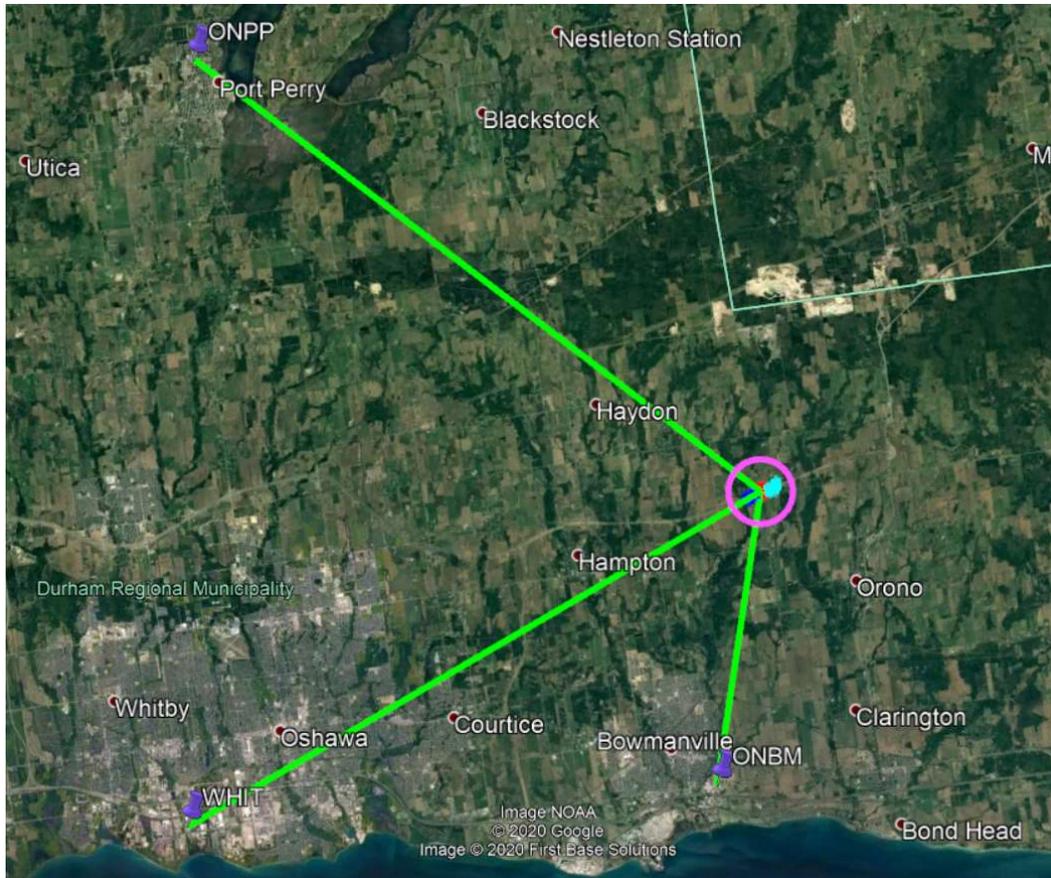


Figura 18. Red Smartnet cerca de la zona de estudio, Enlace "DCT" (Círculo magenta). Fuente: imagen propia

- Cálculo de la incertidumbre planimétrica: la distancia media desde la base de referencia a la zona de estudio es de 10.900 m.
 - o Incertidumbre de la línea base entre la estación de referencia y la zona de estudio:

$$\rho_{PC} = \sqrt{a^2 + \left(\frac{b \times D}{1000000}\right)^2} = \pm 0.0074 \text{ m}$$

Donde $a = 0.005 \text{ m}$; $b = 0.5 \text{ ppm}$ y $D = 10.900 \text{ m}$

- Incertidumbre planimétrica a priori de los puntos de control levantados:

$$\sigma_{PCXY} = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_s^2 + \sigma_{PC}^2} \pm 0.0079 \text{ m}$$

Donde $\sigma_e = 0.002 \text{ m}$ y $\sigma_s = 0.002 \text{ m}$

- Calculo de la incertidumbre altimétrica:

- Incertidumbre de la línea base entre la estación de referencia y la zona de estudio:

$$\rho Z_{PC} = \sqrt{a^2 + \left(\frac{b \times D}{1000000}\right)^2} = \pm 0.0114 \text{ m}$$

Donde $a = 0.010 \text{ m}$; $b = 0.5 \text{ ppm}$ y $D = 10.900 \text{ m}$

- Incertidumbre altimétrica a priori de los puntos de control levantados:

$$\sigma_{PCZ} = \sqrt{\sigma_j^2 + \sigma_i^2 + \sigma_{Z_{PC}}^2} = \pm 0.0114 \text{ m}$$

Donde $\sigma_j = 0.000 \text{ m}$ y $\sigma_i = 0.000 \text{ m}$

- Calculo de la incertidumbre de los puntos de control: la combinación de la incertidumbre planimétrica y altimétrica nos da el valor buscado.

$$\sigma_{XYZ} = \sqrt{\sigma_{PCXY}^2 + \sigma_{PCZ}^2} \pm 0.0138 \text{ m}$$

El ANEXO B, es el informe que genera Agisoft PhotoScan una vez procesado el vuelo. En este informe, se puede comprobar que los errores planimétricos y altimétricos de cada uno de los puntos de control son inferiores a la incertidumbre XYZ calculada

anteriormente. Esto nos indica que la instrumentación y la metodología utilizada para el levantamiento de los puntos de control es la adecuada para el trabajo.

6.3 Plan de vuelo con Mission Planner

El software Mission Planner¹² te permite realizar el plan de vuelo de una manera sencilla una vez que se introducen todos los datos teóricos del vuelo a realizar. De esta manera, podemos comprobar en oficina si el cálculo teórico cubre los objetivos iniciales.

Una vez que se ejecuta el software, elegiremos la herramienta de plan de vuelo. Se localiza la zona y se define un polígono delimitando la zona objetivo del vuelo (Figura 19).

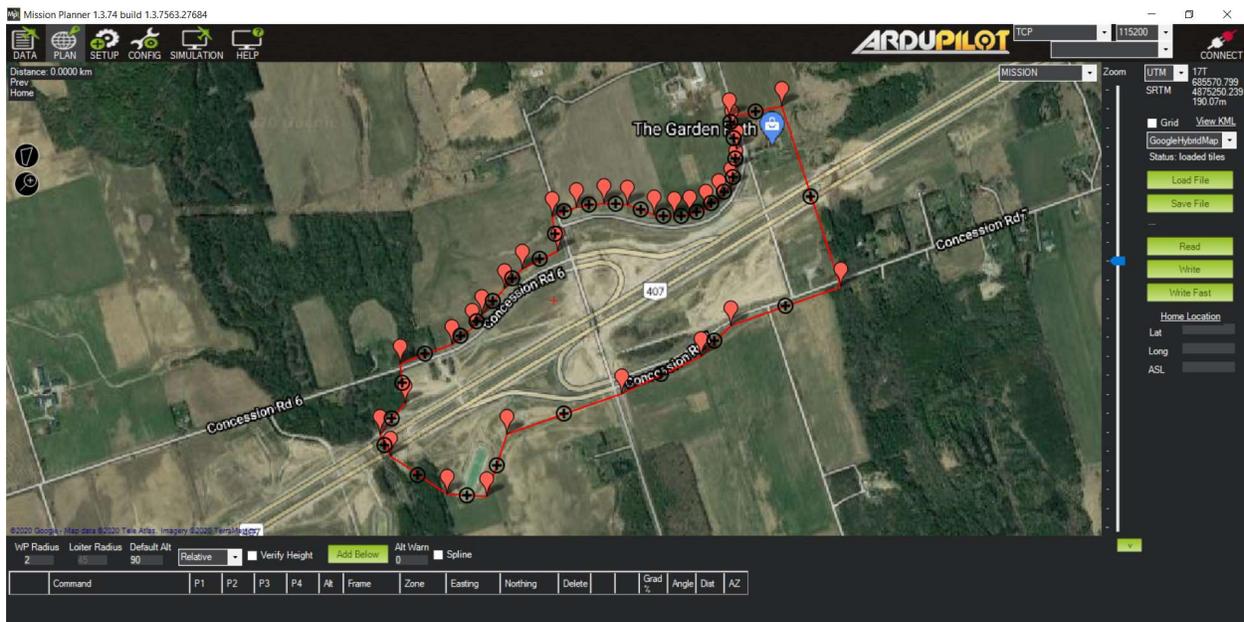


Figura 19. Definición de área de vuelo. Fuente: imagen propia

El siguiente paso, consiste en pasar al modo de Survey, el cual nos va a permitir definir los parámetros de nuestro vuelo calculado en el apartado 6.1 de este capítulo. En la figura 20, se pueden ver los parámetros de la cámara que se va a usar para la realización del vuelo fotogramétrico, distancia entre pasadas, solape longitudinal y transversal, la altura de vuelo, la velocidad del dron.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

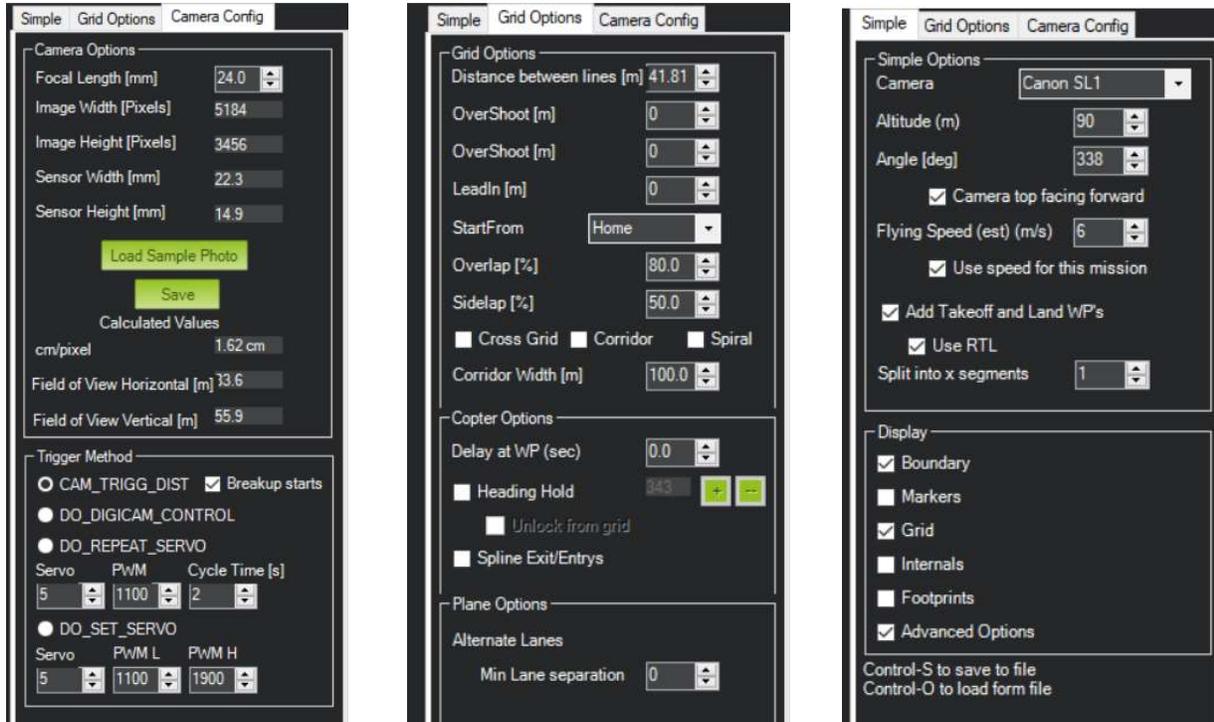


Figura 20. Parámetros del vuelo fotogramétrico. Fuente: imagen propia

Como resultado, Mission Planner¹² calcula el vuelo fotogramétrico de manera gráfica (Figura 21) y también calcula todos los datos analíticos derivados de los parámetros introducidos en la definición del plan de vuelo (Figura 22).

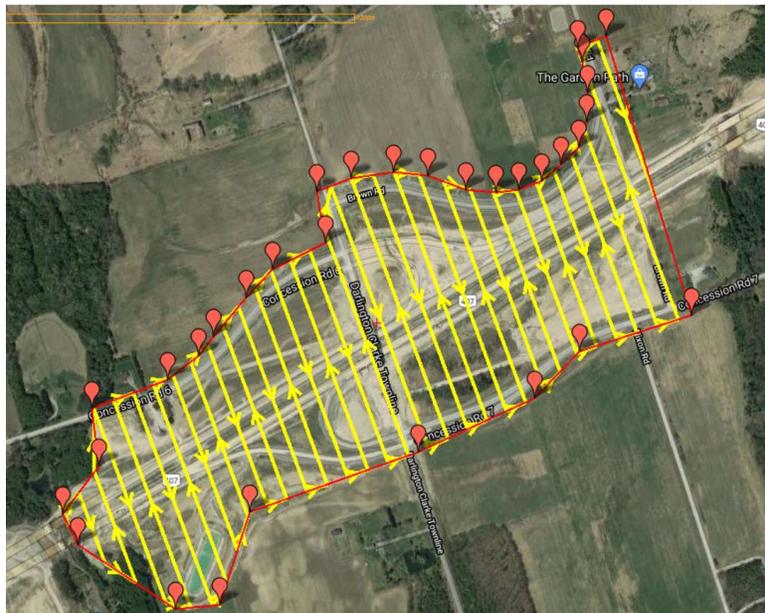


Figura 21. Vuelo fotogramétrico calculado gráficamente. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

Stats					
Area:	524773 m ²	Pictures:	1125	Flight Time (est):	46:04 Minutes
Distance:	15.48 km	No of Strips:	32	Photo every (est):	1.60 Seconds
Dist between images:	11.2 m	Footprint:	83.6 x 55.9 m	Turn Dia (at 45d):	14 m
Ground Resolution:	1.62 cm	Dist between lines:	41.81 m	Ground Elevation:	170-222 m

Figura 22. Vuelo fotogramétrico calculado analíticamente. Fuente: imagen propia

Como se puede observar en el cálculo realizado por Mission Planner¹², la distancia máxima que tiene que recorrer el dron para ejecutar el vuelo es de 15.48 Km incluyendo aterrizajes y despegues. El área que vamos a cubrir con el vuelo es de 0.52 Km². Estos datos son muy importantes a la hora de planificar el vuelo en el campo ya que tenemos que tener en cuenta la autonomía del dron para poder ejecutar el vuelo de una manera precisa y segura. Conociendo la distancia a recorrer y la velocidad del vuelo, podemos calcular el tiempo de vuelo:

$$t = \frac{D}{V} = \frac{(15.48 \text{ Km} \times 1000)}{6 \text{ m/s}} = \frac{15480 \text{ m}}{6 \text{ m/s}} = 2580 \text{ s} = 43 \text{ minutos}$$

Donde D es la distancia y V la velocidad

La autonomía máxima que permiten las baterías del dron son 16 minutos por lo que, viendo los datos anteriores, no es posible la realización del vuelo de una sola vez. Esto nos obliga a dividir el vuelo inicial en 3 vuelos. Para ello lo que se hace es reducir el área de vuelo, pero siempre manteniendo los parámetros calculados del vuelo inicial para que los 3 nuevos vuelos mantengan las mismas características y sean consistentes entre ellos. Vamos a calcular la distancia máxima que puede recorrer el dron. Se considera el tiempo máximo de vuelo 14.5 minutos dejando 1.5 minutos de margen para que el dron tenga autonomía suficiente para regresar al punto de aterrizaje:

$$D = V \times t = 6 \text{ m/s} \times (14.5 \times 60") = 5.220 \text{ m}$$

Donde V es la velocidad y t es el tiempo de vuelo

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

En la figura 23, se pueden ver los 3 vuelos que se han usado para la ejecución completa del vuelo fotogramétrico:

- Vuelo 1 de longitud 4.73 Km (azul oscuro)
- Vuelo 2 de longitud 4.73 Km (rojo)
- Vuelo 3 de longitud 4.81 Km (cian)

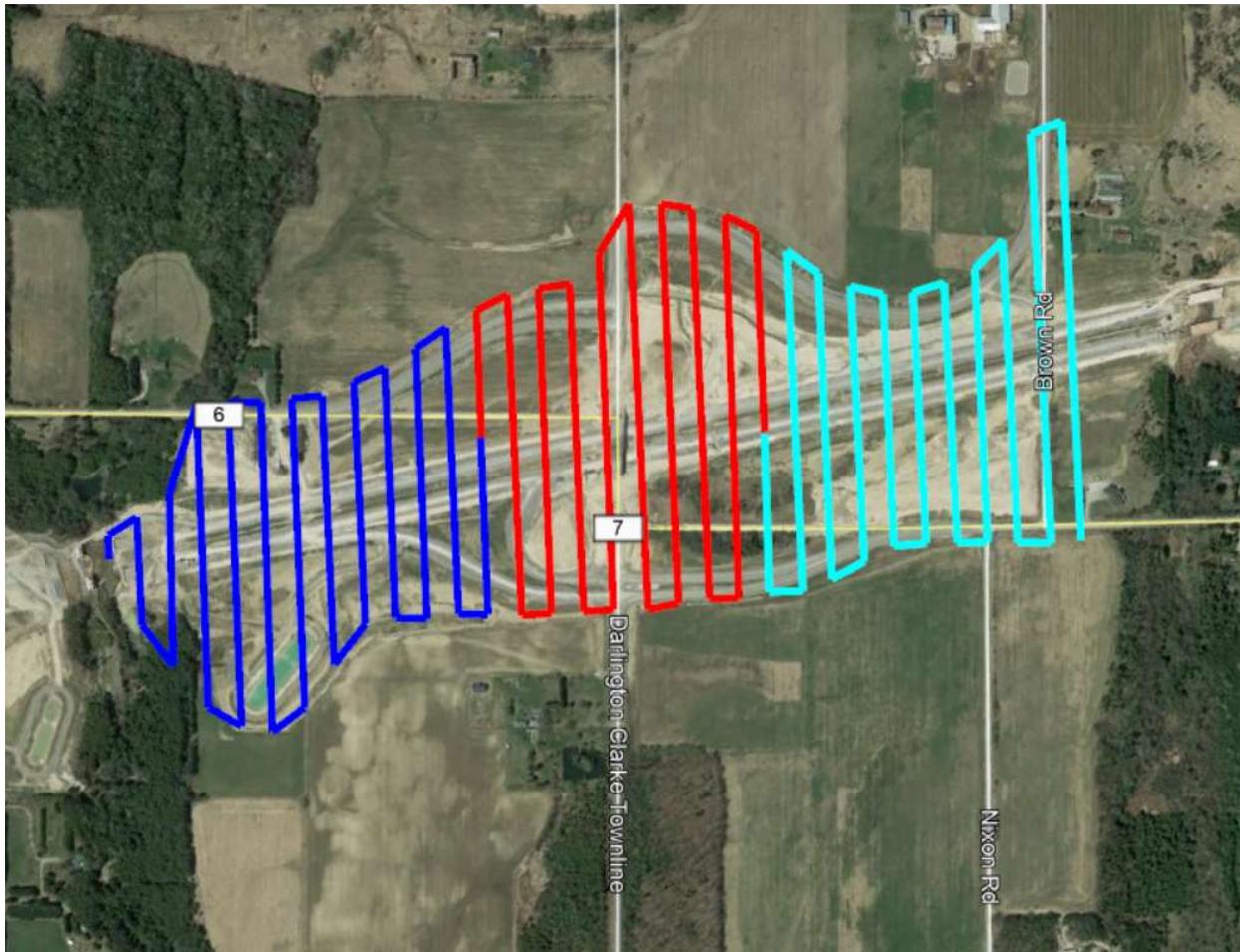


Figura 23. Vuelos para cubrir el área objeto de estudio. Vuelo 1 (Azul Oscuro), Vuelo 2 (Rojo) y Vuelo 3 (Cian). Fuente: Google Earth Pro

7. Trabajo de campo

Una vez que se han determinado todos los parámetros que definen el vuelo fotogramétrico y una vez que la planificación del vuelo ha sido definida, se llevan a cabo los trabajos de campo necesarios para la consecución de los objetivos establecidos en el trabajo fin de grado.

7.1 Puntos de control

La toma de los puntos de control para el apoyo del vuelo fotogramétrico se hace con un GPS Leica GS14¹⁴ en tiempo real o RTK. En este caso en particular, se usa la red GPS de Leica conocida con el nombre de SmartNet³⁰. Esta red, está compuesta por más 1.500 estaciones de referencia a lo largo de toda Norteamérica dando cobertura la zona de estudio de este trabajo fin de grado (Figura 24). Este sistema de Leica funciona a través de una suscripción anual a través de la cual el GPS móvil/Rover recibe correcciones de las estaciones más cercanas para el cálculo en tiempo real (RTK) de la posición del GPS móvil/Rover. De esta manera se evita el uso de bases GPS con el consiguiente peligro de robo de las mismas. En Ontario, el datum horizontal oficial es el NAD83(CSRS) UTM zona 17 Norte y el datum vertical oficial es el CGG2013a.

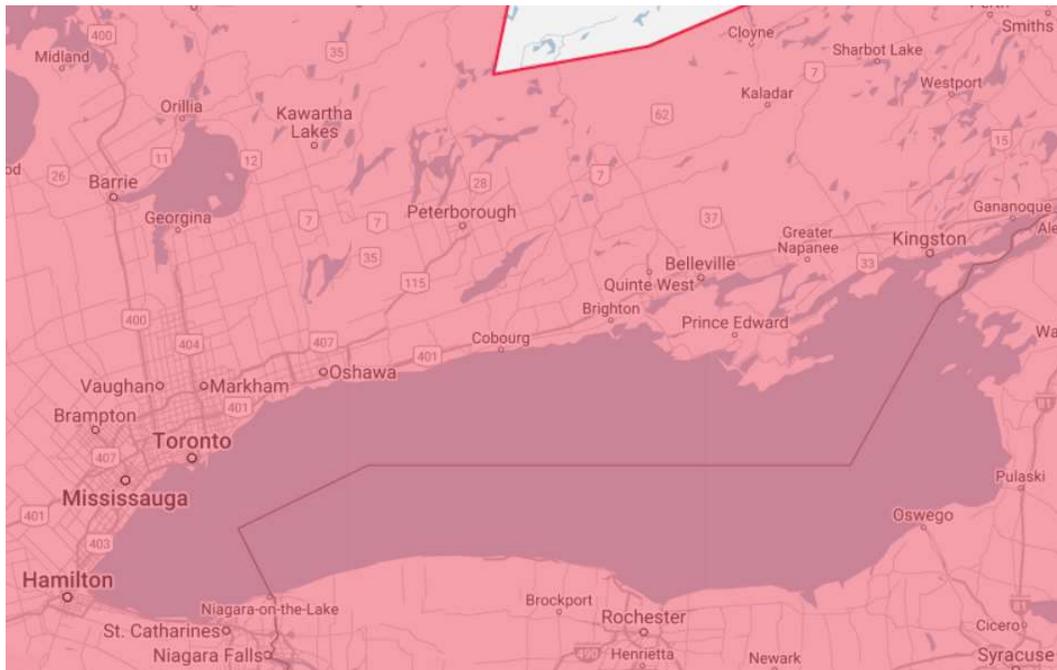


Figura 24. Cobertura SmartNet³⁰.

Las condiciones para la observación de los puntos de control son las siguientes⁷:

- Número de satélites igual o superior a 5
- Precisión GDOP inferior a 5
- Mascara de elevación mínima de 15°
- Registro de épocas igual a 1"

En la definición de los puntos de control hay que tener en cuenta la forma del vuelo, el modo de cálculo de la orientación externa y el empleo o no de sensores de navegación en el vuelo (Figura 25). A continuación, se enumeran los requisitos mínimos que han de cumplir los puntos de control⁸:

1. Que aparezcan en el mayor número de fotogramas posibles.
2. Que sean identificables en todos los fotogramas.
3. La incertidumbre planimétrica debe ser menor que el tamaño nominal del pixel del vuelo.
4. Si se usan técnicas GNSS con es el caso de este trabajo fin de grado, los puntos de control deben de estar fuera de campos electromagnéticos en la medida de lo posible.
5. Deben situarse en zonas de pendientes suaves, lo más horizontal posible.
6. Que cubran completamente la zona objeto de estudio.



Figura 25. Localización puntos de control. Fuente: imagen propia.

Para calcular el tamaño de la marca (diámetro de una circunferencia) de los puntos de control, se puede usar la siguiente formula:

$$A \geq (5 \times ps) \times (D \div f)$$

Donde:

- A: tamaño de la marca
- ps: tamaño del pixel (4.38 μm x 4.38 μm)
- D: distancia objeto-cámara (90 m)
- f: distancia focal de la cámara (24 mm)

En la figura 26, se representa la relación para la obtención de la fórmula del cálculo del tamaño de la marca:

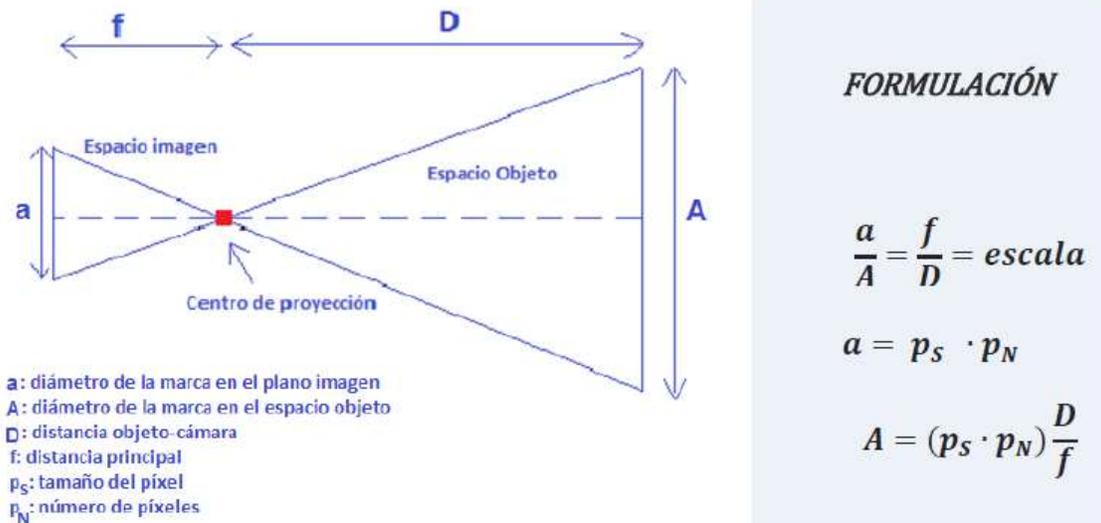


Figura 26. Croquis y formulas para el calculo del tamaño de la marca⁶.

La mayoría de aplicaciones necesitan que la marca ocupe en la imagen un diámetro de al menos 5 píxeles para su correcta identificación. Por lo tanto, el tamaño de la marca usado en el trabajo fin de grado es 0.822 m. A partir de este valor, podemos calcular el área que encierra a este círculo ($S = \pi \times R^2$; $R = A/2$) y por lo tanto, el lado del cuadrado que encierra un círculo de diámetro A y área S es $L = \sqrt{S} = 0.728 \text{ m}$.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

Una hora antes del comienzo del vuelo, se establecen físicamente en la zona objeto del vuelo los puntos de control para procesar las fotografías. Se utiliza pintura naranja de alta visibilidad (Figura 27) para representar los puntos físicamente con cruces cuyas dimensiones son 75 cm x 75 cm. Se hacen 150 observaciones para cada uno de los puntos con el GPS en tiempo real (uso de bípode para mantener la verticalidad del jalón del GPS, Figura 28) como se ha comentado anteriormente obteniéndose la media como valor definitivo de los puntos de control. Se exportan los datos de todos los puntos de control en un fichero CSV (Tabla 6).

Nº PUNTO	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
1	371158.250	4873509.201	173.669
2	371261.826	4873547.660	176.037
3	371329.402	4873613.927	178.060
4	371431.896	4873650.367	180.747
5	371507.976	4873725.523	183.140
6	371591.847	4873742.729	185.370
7	371677.719	4873832.984	188.322
8	371773.245	4873858.596	190.771
9	371859.723	4873937.983	193.301
10	371949.331	4873964.592	195.799
11	372014.018	4874031.196	198.418
12	372116.745	4874070.009	201.336
13	372045.450	4873971.687	197.891
14	371876.849	4873868.988	192.956
15	371712.375	4873768.419	188.123
16	371540.573	4873670.464	183.675
17	371369.112	4873569.865	178.811
18	371194.161	4873452.504	173.506
19	371269.489	4873333.347	168.331
20	371359.470	4873386.640	173.979
21	371542.931	4873495.303	184.043
22	371730.117	4873597.433	189.930
23	371915.718	4873741.021	192.017
24	372111.455	4873952.379	202.372

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

Nº PUNTO	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
25	372106.635	4873798.470	198.027
N01	371224.049	4873679.392	176.572
N02	371315.171	4873725.389	181.563
N03	371388.347	4873803.815	186.194
N04	371511.195	4873898.796	193.259

Tabla 6. Listado de coordenadas de los puntos de control

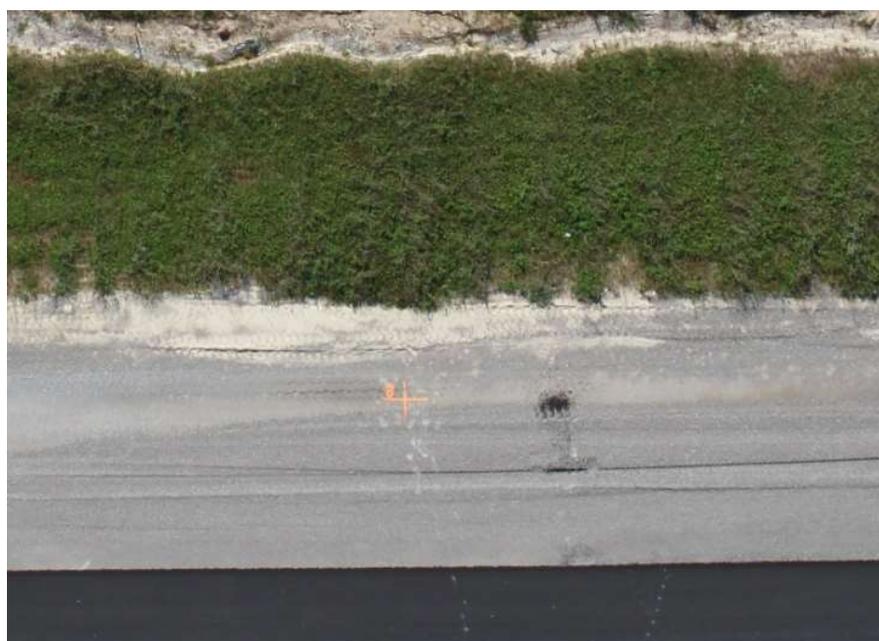
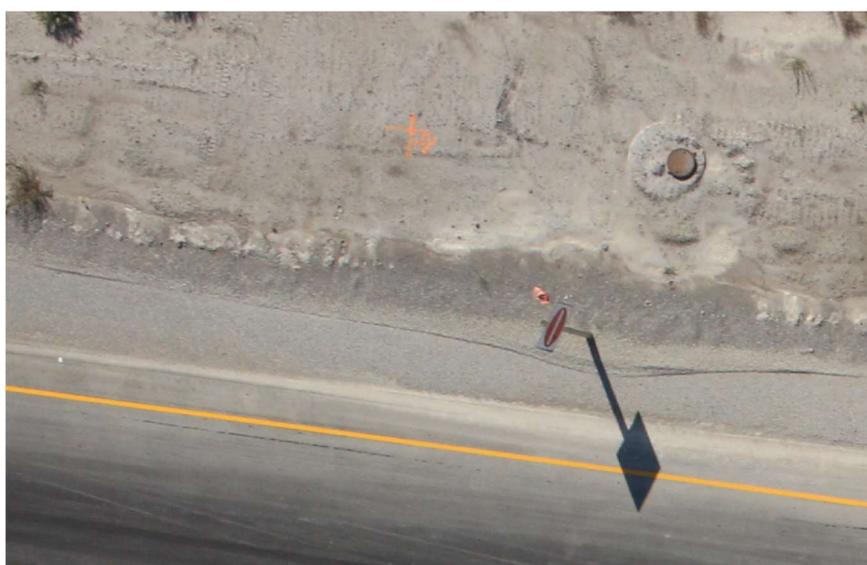


Figura 27. Ejemplos de puntos de control (Nº 22 y Nº 8). Fuente: imágenes propias.



Figura 28. GPS en bipode. Fuente: imagen propia.

7.2 Ejecución de vuelo fotogramétrico

El vuelo fotogramétrico fue realizado el 28 de agosto de 2019. Para la elección del día, se tuvieron en cuenta 4 factores climatológicos fundamentales (Figura 29):

- Temperatura: el día fue caluroso donde la temperatura oscilo entre una mínima de 21° C y los 26° C de máxima. En el momento de inicio del vuelo a las 12:30 PM, la temperatura era de 23° C y al termino de todas las operaciones, la temperatura era de 24° C.
- Visibilidad: el día presentaba una visibilidad excelente, ya que solo se apreciaban algunas nubes altas a la hora del comienzo del vuelo.
- Precipitaciones: total ausencia de precipitaciones en el momento de la ejecución del vuelo por lo que este factor no influyo en la ejecución del vuelo fotogramétrico.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

- Velocidad del viento: el viento a la altura de terreno tenía una velocidad de 5 Km/h pero se esperaban mayores velocidades a la altura de vuelo planificada. Aun así, el viento fue inferior a los 50 Km/h, límite máximo que permite el dron.

SEE HISTORICAL WEATHER DATA FOR A LOCATION AND DATE

Oshawa, ON 2019 ▼ Aug ▼ 28 ▼ **Change**

FOR THE OSHAWA CANADA WEATHER STATION

TEMPERATURE	
MINIMUM TEMPERATURE	19.0 °C
MEAN TEMPERATURE	22.3 °C
MAXIMUM TEMPERATURE	26.0 °C
PRESSURE AND DEW POINT	
MEAN SEA LEVEL PRESSURE	100.91 kPa
MEAN DEW POINT	17.8 °C
PRECIPITATION	
TOTAL PRECIPITATION <small>Rain and/or melted snow reported during the day.</small>	0.00 cm
VISIBILITY	11.4 km
SNOW DEPTH <small>Last report for the day if reported more than once.</small>	No data.
WIND SPEED AND GUSTS	
MEAN WIND SPEED	11.48 kmh
MAXIMUM SUSTAINED WIND SPEED	27.78 kmh
MAXIMUM WIND GUST	40.74 kmh

Figura 29. Parte meteorológico día del vuelo fotogramétrico²⁷.

Por seguridad y siguiendo el protocolo establecido en el proyecto, se comunica al departamento de seguridad del proyecto vía email dos días antes de la ejecución del vuelo informando del día, la zona objeto de estudio, la hora de inicio y la hora estimada de finalización para que se distribuyan los avisos necesarios a todos los departamentos involucrados en la zona:

- Día: 28 de agosto de 2019
- Hora de comienzo: 12:30 PM
- Zona afectada: PK 24+600 al PK 26+000 (Enlace DCT)
- Hora estimada de finalización: 14:30 PM

Antes de salir a la zona de estudio, se chequean en oficina que las baterías están cargadas al 100% de su capacidad y que todo el material necesario se encuentra en perfecto estado para su uso. También nos aseguramos, que los 3 planes de vuelo están cargados en la controladora del dron.

El modo de vuelo elegido es el autónomo, donde el pilotaje es 100% automático y el dron vuela siguiendo un plan de vuelo establecido. Siempre existe la opción de tomar el control del dron desde la estación de control de tierra si fuese necesario.

A la hora de la toma de las imágenes, se usa el modo en vuelo o crossing, en el cual el dron toma las imágenes sin parada. La adquisición de las imágenes es regulada por la velocidad y los intervalos de tiempo. Este modo, obliga a la limpieza en oficina de las imágenes de despegue y aterrizaje del dron las cuales no son necesarias para la obtención de los productos finales deseados. Este sistema es el más eficiente para áreas extensas como es el caso de este trabajo fin de grado.

Se describen a continuación los pasos necesarios para la ejecución del vuelo:

1. Se establece el punto de despegue en obra para el vuelo 1 (Azul Oscuro, Figura 30) dando de margen como mínimo una distancia de 200 metros antes del primer punto de paso (waypoint) para que el dron pueda alcanzar la altura deseada. El piloto y el observador se colocarán en el PK 24+400 aproximadamente. El punto de despegue será un punto llano y cómodo con un horizonte despejado que permita el ascenso del dron sin problemas.
2. Se carga en la controladora de tierra del dron el vuelo 1 (Azul Oscuro, Figura 30) y se enciende el dron. Se hacen los chequeos previos de niveles de baterías y comunicaciones antes de despegar. Se establece el punto de aterrizaje (home) a 5 metros de la posición de la controladora.
3. Comienza el despegue y el dron se dirige al primer punto de paso (waypoint) del vuelo 1 (Azul Oscuro, Figura 30) a la altura deseada y se comienza la obtención de fotografías.
4. Piloto y observador se desplazan con el vehículo sin perder de vista el dron y manteniendo una distancia no máxima de 500 metros.
5. Una vez concluido el vuelo 1 (Azul Oscuro, Figura 30) al llegar el dron al último punto de paso (waypoint) automáticamente el dron vuelve a casa (home) donde esperan piloto y observador. Se chequean que las fotos han sido grabadas satisfactoriamente.
6. Se recoge el dron y se retroceden unos 200 m hacia atrás del primer punto de paso (waypoint) del vuelo 2 (Rojo, Figura 30). Recordamos que el dron necesita alcanzar la altura planificada del vuelo. Se carga en la controladora de tierra del dron el vuelo 2 (Rojo, Figura 30) y se elige el punto adecuado para el despegue. Se hacen los chequeos previos de niveles de baterías y comunicaciones antes de despegar. Se establece el punto de aterrizaje (home) a 5 metros de la posición de la controladora.
7. Se repiten los pasos desde el 1 hasta el 5 para la ejecución del vuelo 2 (Rojo, Figura 30).
8. Se recoge el dron y se retroceden unos 200 m hacia atrás del primer punto de paso (waypoint) del vuelo 3 (Cian, Figura 30). Recordamos que el dron necesita

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

alcanzar la altura planificada del vuelo. Se carga en la controladora de tierra del dron el vuelo 3 (Cian, Figura 30) y se elige el punto adecuado para el despegue. Se hacen los chequeos previos de niveles de baterías y comunicaciones antes de despegar. Se establece el punto de aterrizaje (home) a 5 metros de la posición de la controladora.

9. Se repiten los pasos desde el 1 hasta el 5 para la ejecución del vuelo 3 (Cian, Figura 30).
10. Una vez concluido el vuelo 3 (Cian, Figura 30) al llegar el dron al último punto de paso (waypoint) automáticamente el dron vuelve a casa (home) donde esperan piloto y observador. Se chequean que las fotos han sido grabadas satisfactoriamente.
11. Se notifica vía email al departamento de seguridad del proyecto que el vuelo fotogramétrico ha finalizado sin ningún incidente.
12. Se desmontan todos los elementos necesarios del dron para su perfecto almacenaje en la caja de protección que proporciona el fabricante y se retorna a la oficina.

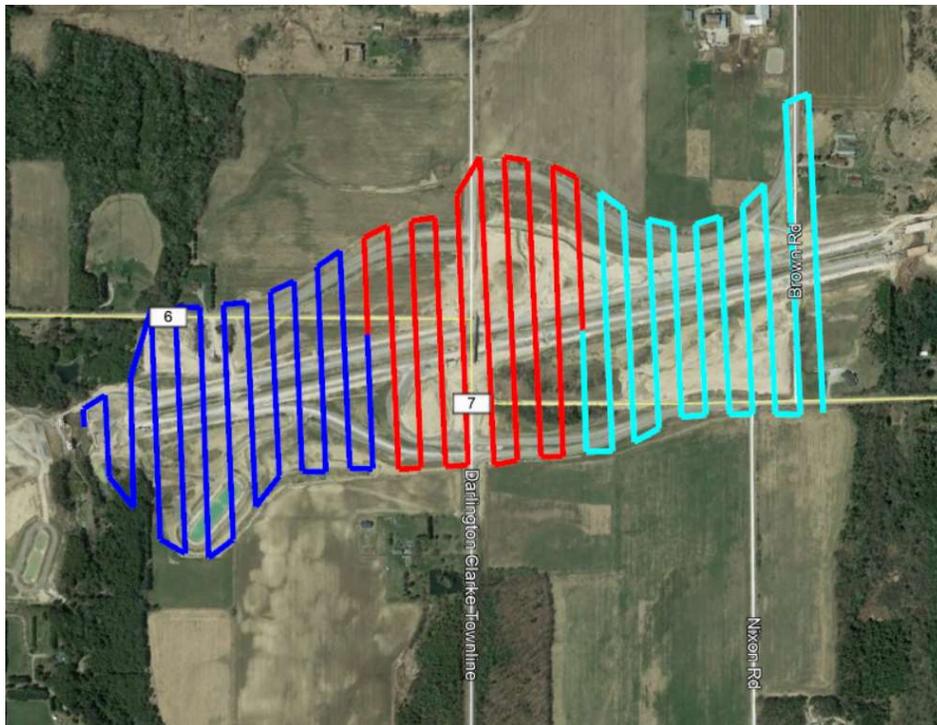


Figura 30. Vuelos para cubrir el área objeto de estudio. Vuelo 1 (Azul Oscuro), Vuelo 2 (Rojo) y Vuelo 3 (Cian).
Fuente: Google Earth Pro

8. Procesado del vuelo fotogramétrico en oficina

Finalizado el trabajo de campo, se pasa a la siguiente fase donde se procesan todos los datos en oficina para poder obtener los productos que permiten cumplir con los objetivos del trabajo fin de grado.

8.1 Orientación de vuelo fotogramétrico

En un vuelo fotogramétrico, hay que diferenciar entre dos tipos de orientaciones:

- Orientación interna: en este proceso, se obtienen los parámetros de transformación que permiten pasar las coordenadas de la imagen a un sistema en 3D cuyo origen de coordenadas es el centro de proyección de la cámara (Figura 31).

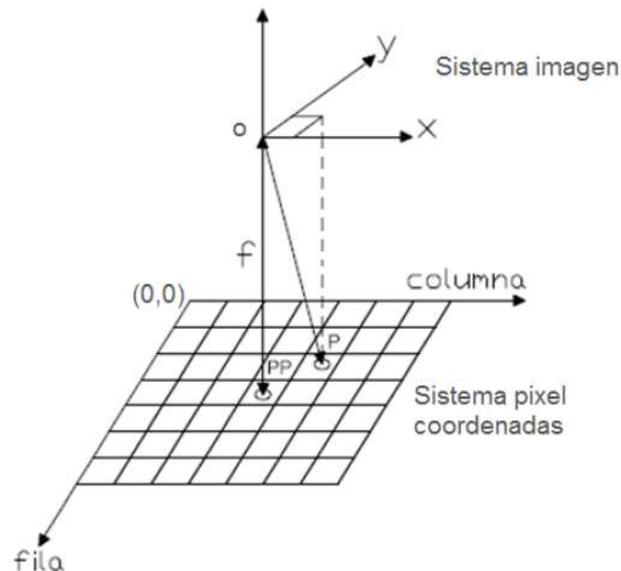


Figura 31. Orientación interna digital 4 parámetros⁶

Como se puede ver en la Figura 31, hay dos sistemas de coordenadas:

- El sistema pixel el cual es bidimensional
- El sistema imagen el cual es tridimensional

Donde PP es el punto principal y f es la focal de la cámara.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

Para realizar la orientación interna, es imprescindible conocer los parámetros de la geometría interna de la cámara usada en el vuelo (Figura 32):

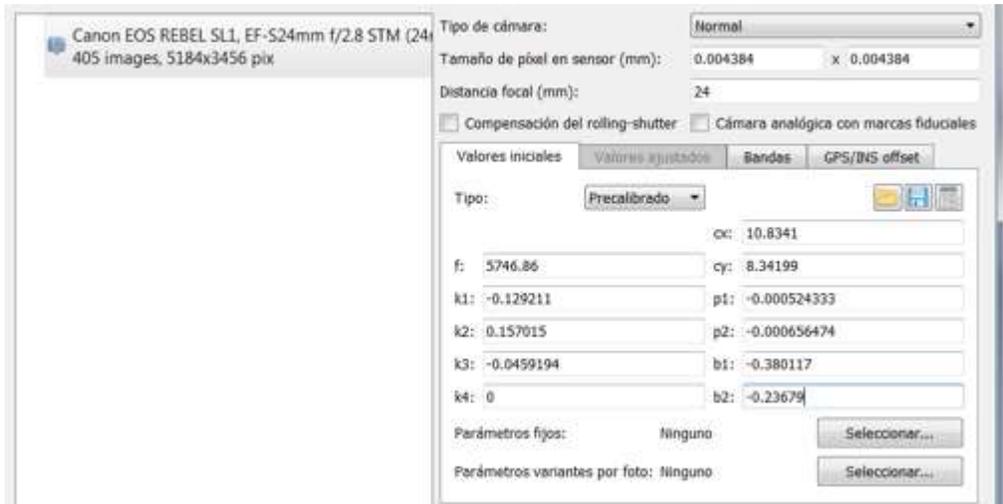


Figura 32. Parámetros de la geometría interna de la cámara. Fuente: imagen propia

Donde:

- F: longitud focal medida en píxeles.
- cx, cy: coordenadas principales del punto, es decir, coordenadas de la intercepción del eje óptico del lente con el plano del sensor en píxeles.
- b1, b2: coeficientes de transformación de afinidad y sesgo (no ortogonalidad).
- k1, k2, k3, k4: coeficientes de distorsión radial.
- p1, p2: coeficientes de distorsión tangencial

Para las imágenes tomadas con cámara digital, como es el caso de este trabajo fin de grado, la transformación entre el sistema pixel (Columna, Fila) y el sistema imagen (x_p , z_p , z_p) se calcula usando las siguientes fórmulas:

$$x_p = (C_{px} - C_o) \times r_x$$

$$y_p = (F_{px} - F_o) \times r_y$$

$$z_p = (-f)$$

Donde:

- x_p , y_p , z_p : coordenadas de p en el sistema imagen
 - C_{px} , F_{px} : coordenadas del píxel (columna, fila) de p
 - C_o , F_o : origen de coordenadas del píxel.
 - r_x , r_y : resolución o tamaño del píxel en micras
- Orientación externa: aquí lo que se calcula es la reconstrucción de la orientación del haz perspectivo respecto del objeto, así como su posición. El software empleado (Agisoft PhotoScan⁸) para el procesado de vuelo usa el método de dos pasos para la realización de la orientación externa. Este método, lo que hace en primer lugar, es obtener los elementos de la orientación relativa entre sí de las diferentes imágenes que constituyen el vuelo fotogramétrico. Para conseguir la orientación relativa, el software identifica los puntos homólogos entre las diferentes imágenes mediante procedimientos de correlación (matching) y a continuación se realiza la orientación absoluta de todas las imágenes mediante una transformación espacial de semejanza. Es en esta orientación absoluta, donde se aplica la transformación de 7 parámetros para pasar de un sistema arbitrario al sistema final. La transformación de 7 parámetros consiste en una traslación al origen, una orientación angular y por último un cambio de escala.

Es necesario tener puntos de control conocidos en ambos sistemas de coordenadas (arbitrario y final) para poder realizar la transformación de 7 parámetros. Con los puntos de control se puede establecer la relación entre el espacio modelo y el espacio objeto.

8.2 Procesado de vuelo fotogramétrico con Agisoft PhotoScan

El procesado del vuelo, se realiza con el software de pago Agisoft PhotoScan¹⁰. Es cierto que existen software opensource que se podrían utilizar para obtener el mismo producto final, pero Agisoft PhotoScan¹⁰ es uno de los softwares comerciales más asequibles del mercado y es muy fácil e intuitivo realizar el procesado de vuelo ya que el mismo software te va guiando paso a paso. Estos son los pasos a seguir para poder obtener los productos deseados:

1. Se abre el software y se tiene un trabajo nuevo (Figura 33). El primer paso a realizar es el de añadir todas las fotos que componen el vuelo. En este paso es necesario el borrado de las imágenes que no son necesarias para el procesado del vuelo o que son defectuosas (Figuras 34, 35, 36, 37 y 38).

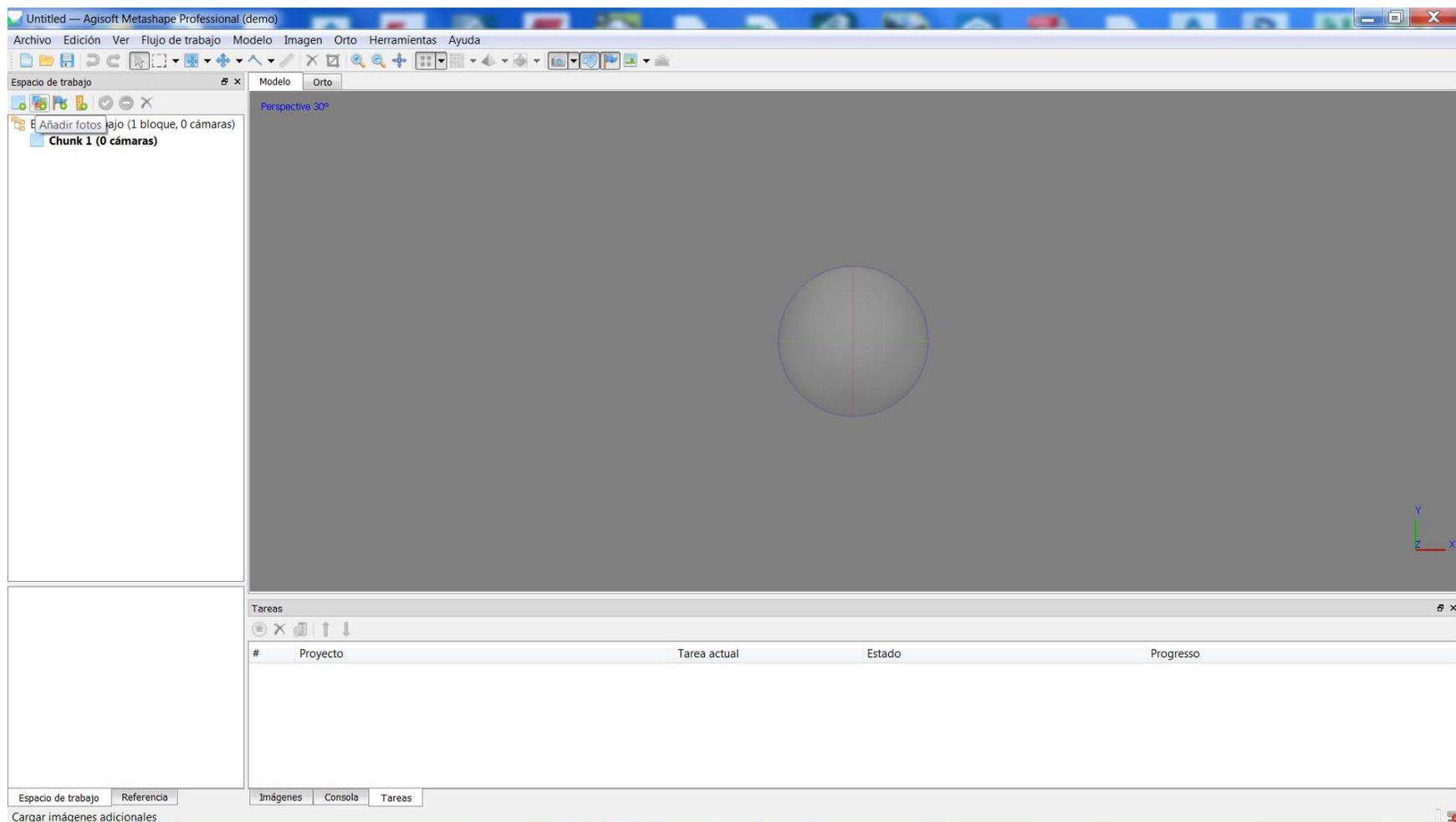


Figura 33. Pantalla principal al abrir el programa. Fuente: imagen propia.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

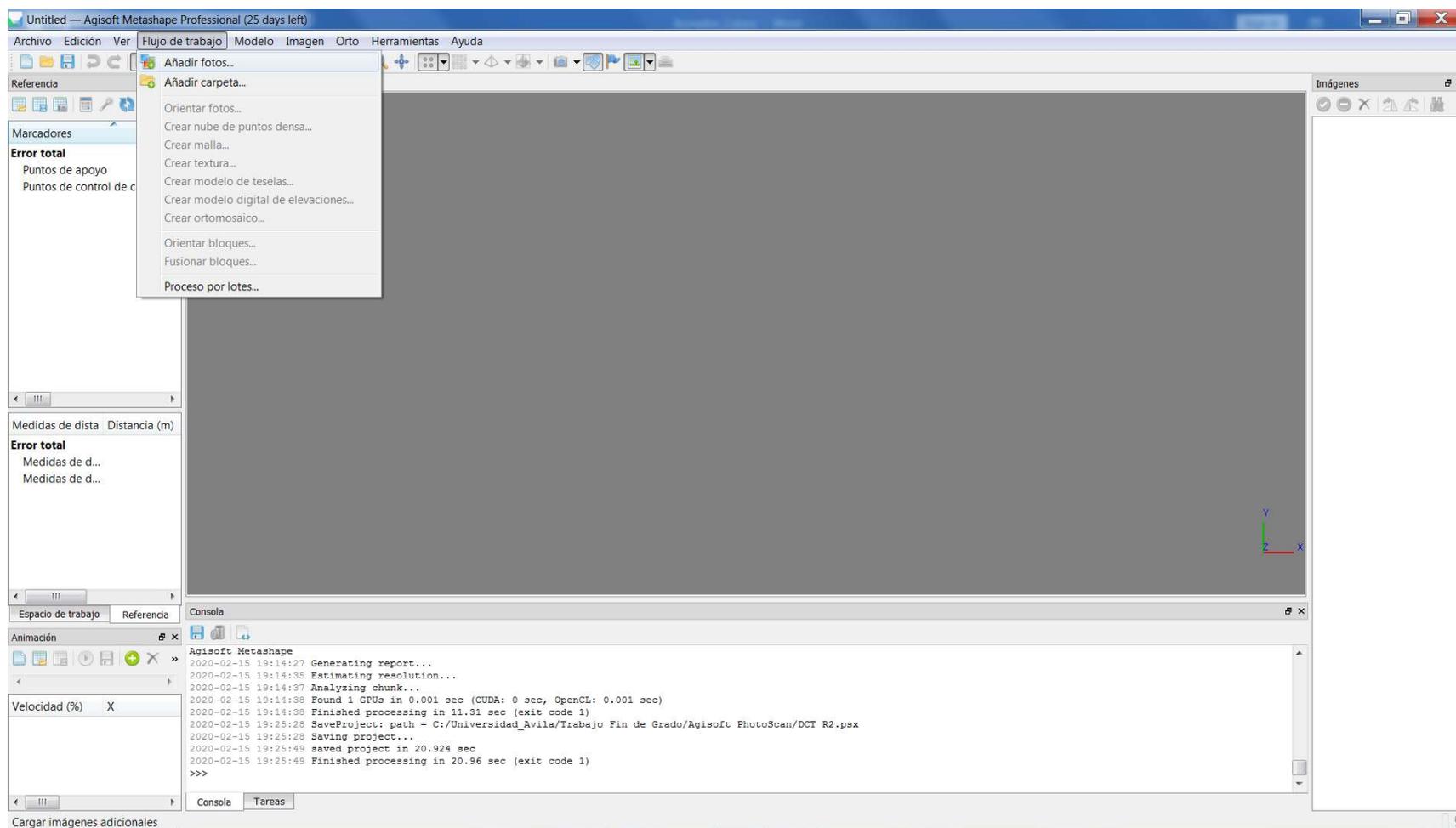


Figura 34. Carga de fotos dentro del flujo de trabajo. Fuente: imagen propia.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

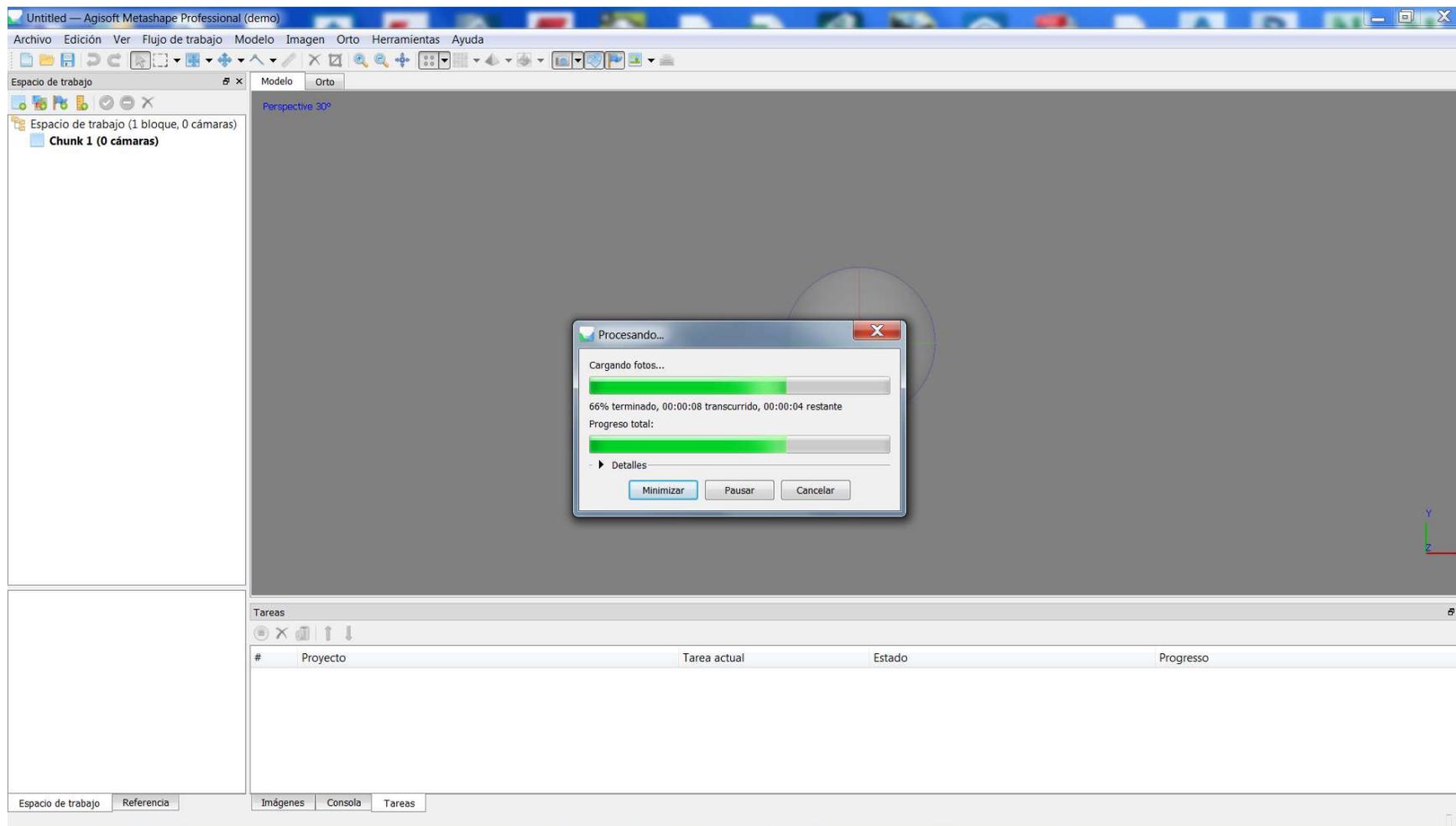


Figura 35. Proceso de carga de las fotos. La duración ha sido de 3 minutos. Fuente: imagen propia.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

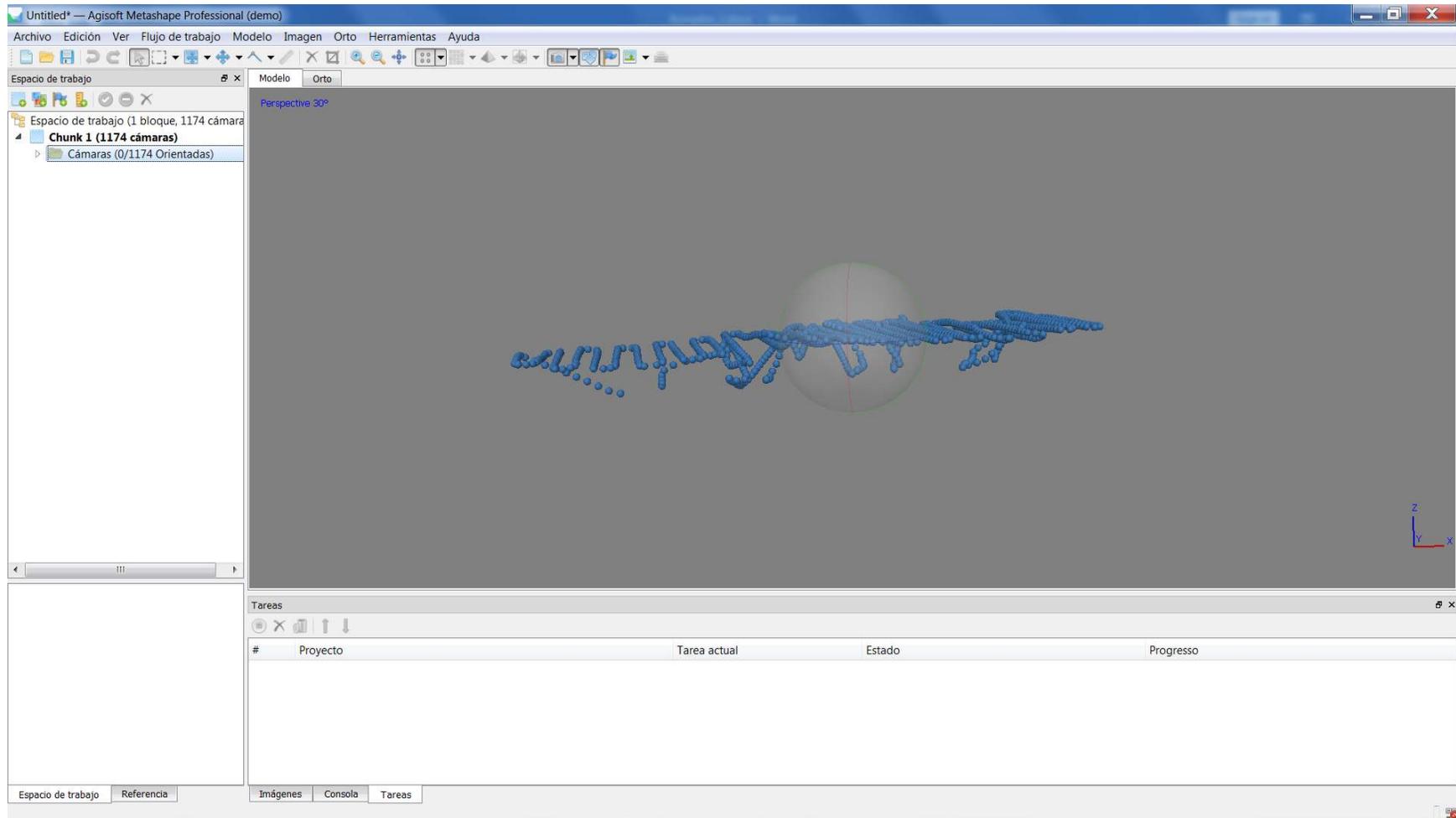


Figura 36. Fotos cargadas. Se representan por el punto desde donde fueron tomadas. Fuente: imagen propia.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

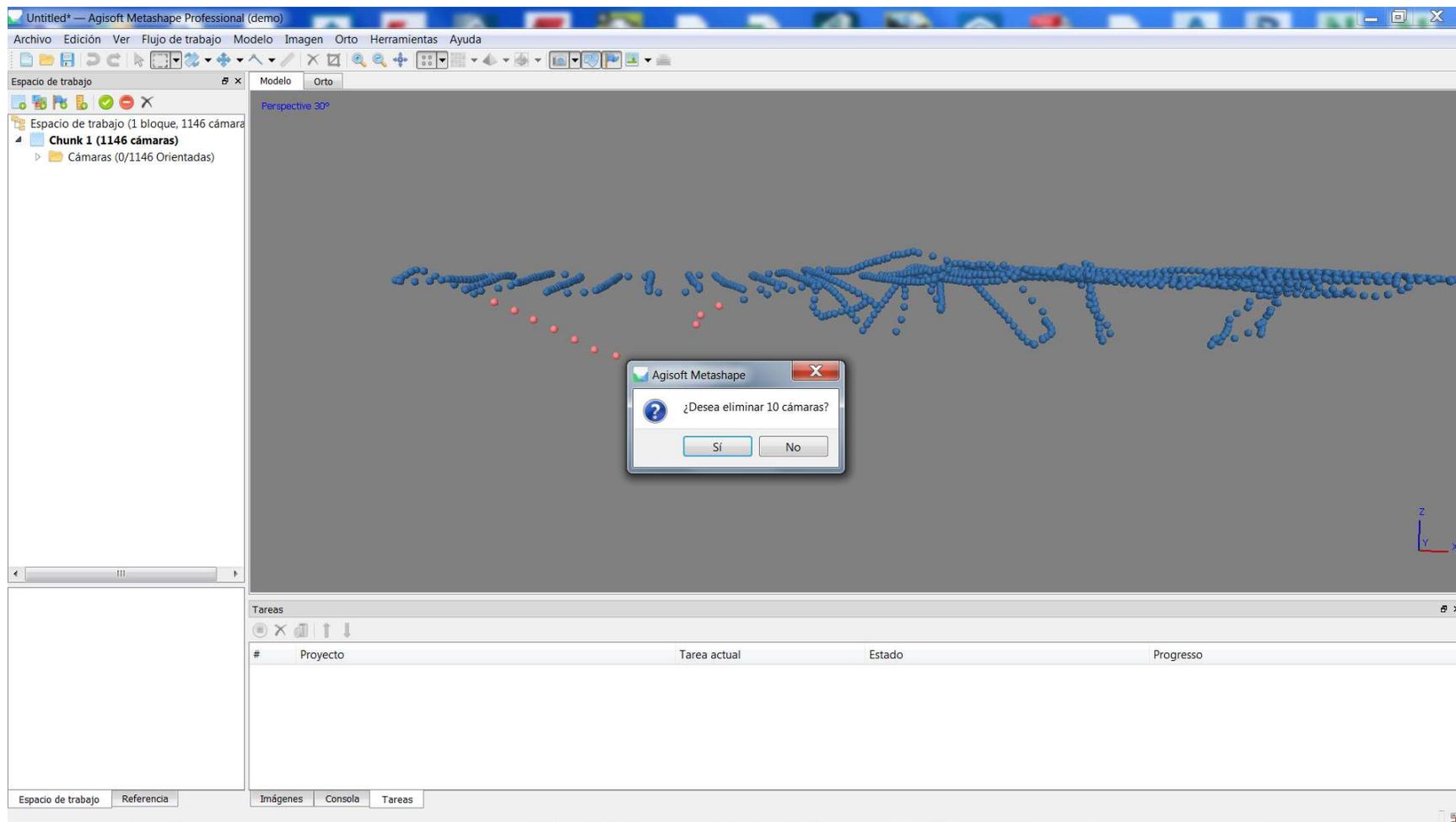


Figura 37. Limpieza de fotos de los distintos aterrizajes y despeges del dron. Fuente: imagen propia.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

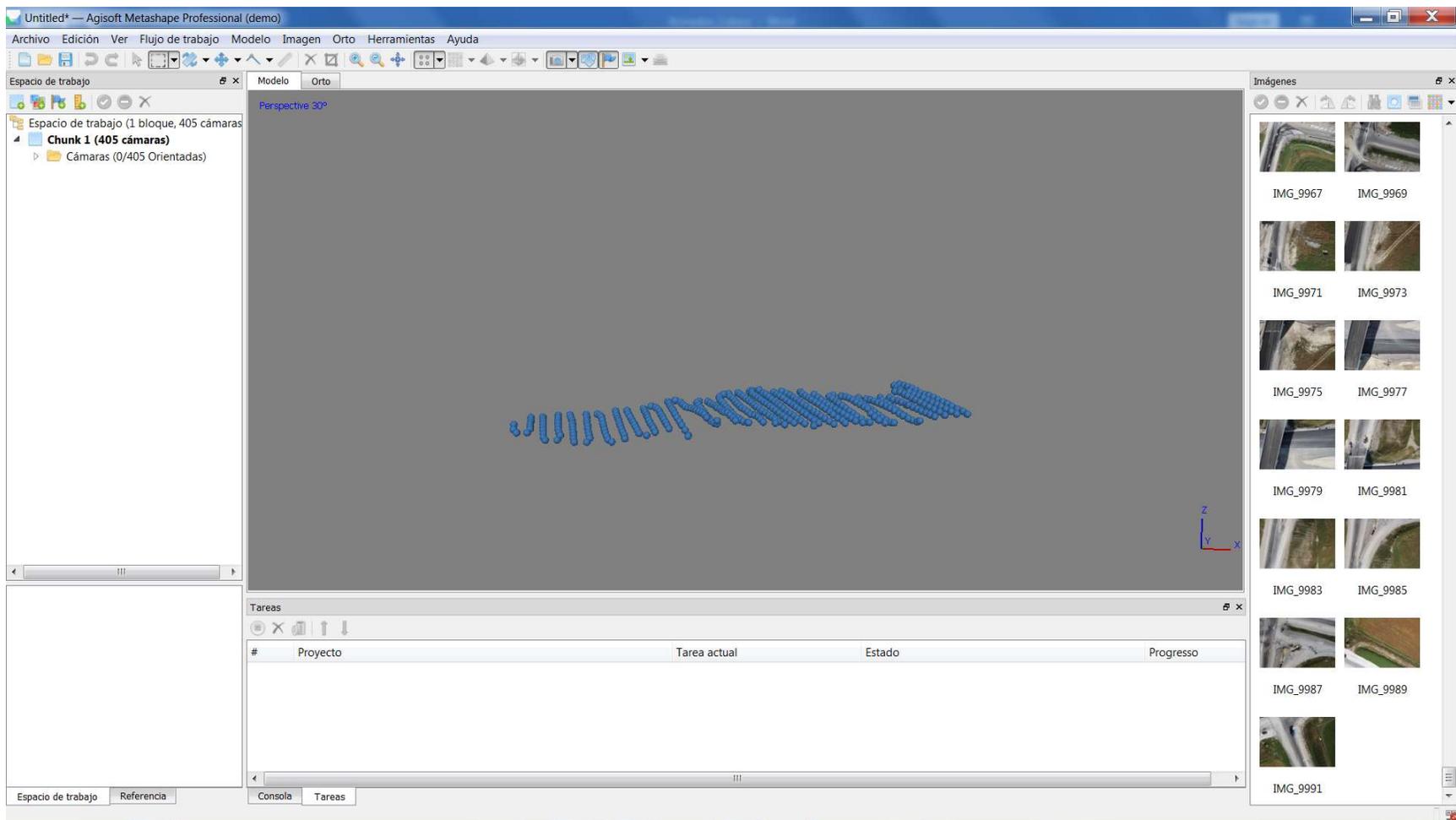


Figura 38. Fotos listas para su correspondiente alineación. Fuente: imagen propia

- Una vez que todas las fotos están cargadas, se procede a realizar la calibración de la cámara para eliminar las aberraciones del sistema óptico de la cámara. Estos son los parámetros de la cámara utilizada (Figuras 39 y 40):

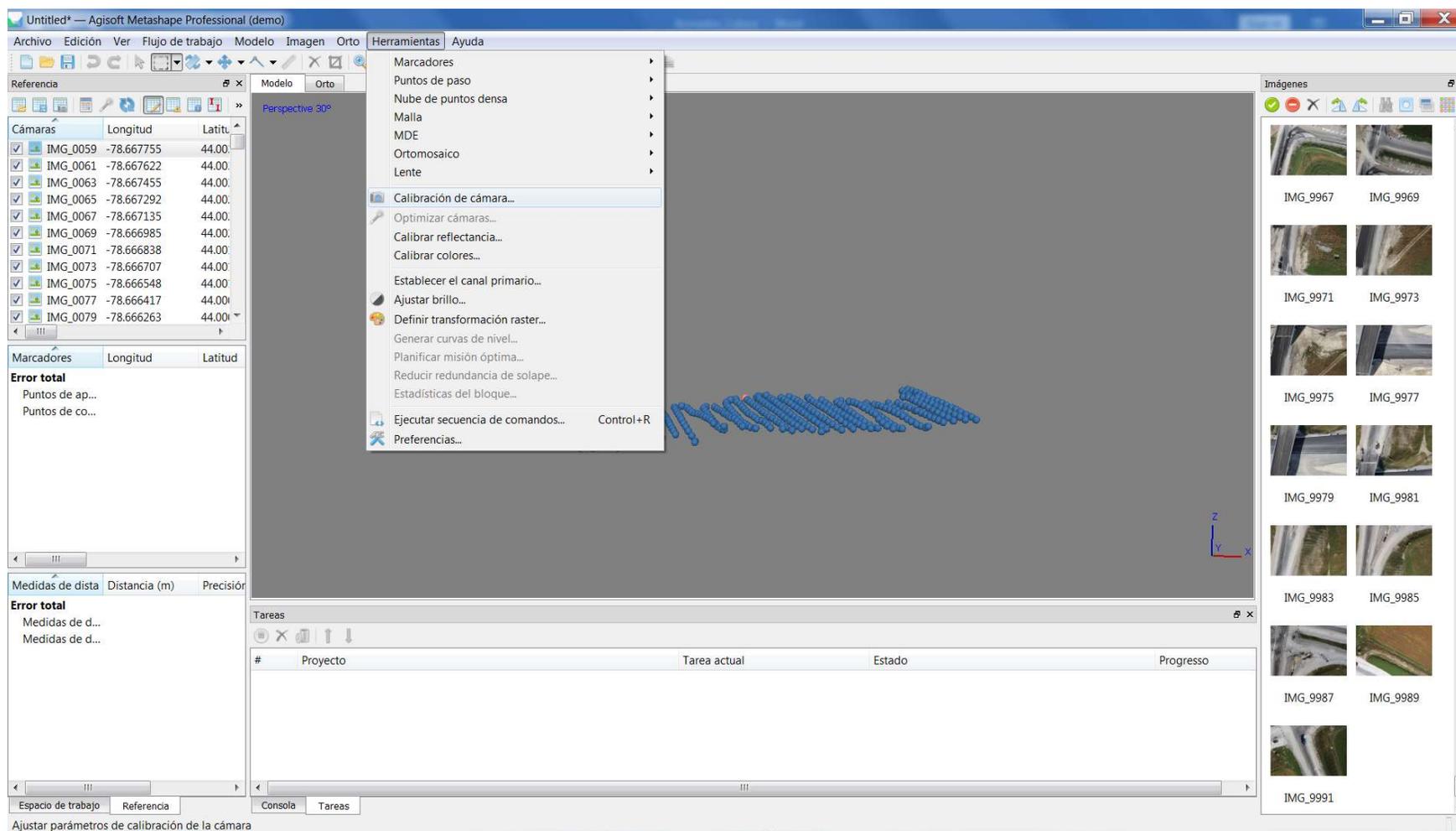


Figura 39. Herramienta para la calibración de la cámara. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

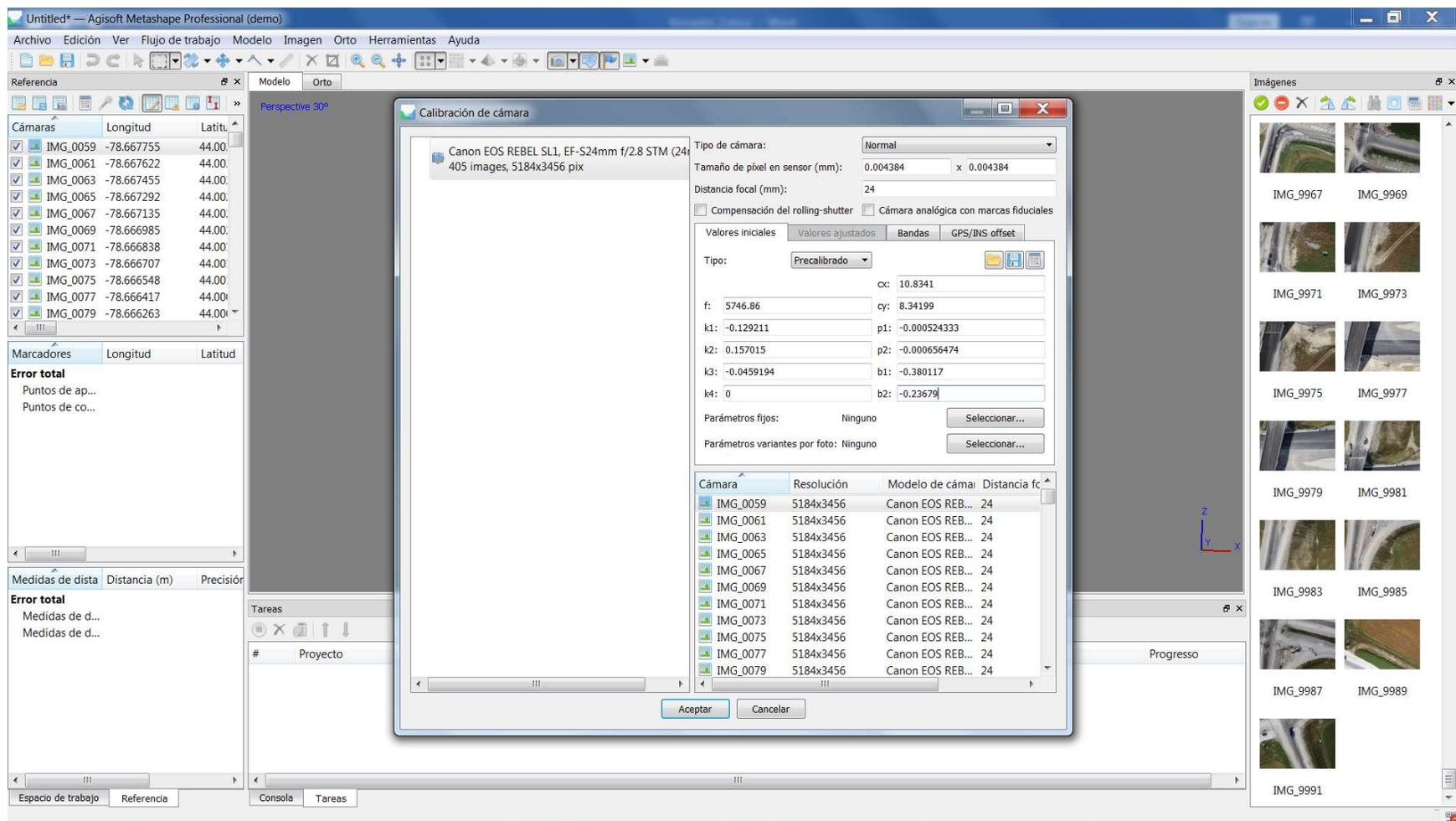


Figura 40. Datos de calibración de la cámara. Fuente: imagen propia

Se pueden estimar los siguientes parámetros de calibración de la cámara (Figura 40):

- F : longitud focal medida en píxeles.
- c_x, c_y : coordenadas principales del punto, es decir, coordenadas de la intercepción del eje óptico del lente con el plano del sensor en píxeles.
- b_1, b_2 : coeficientes de transformación de afinidad y sesgo (no ortogonalidad).
- k_1, k_2, k_3, k_4 : coeficientes de distorsión radial.
- p_1, p_2 : coeficientes de distorsión tangencial

3. El siguiente paso es la orientación de las fotos. El software lo que hace en este momento es determinar la posición de los centros ópticos de cada una de las imágenes. Es en este momento donde se define la calidad y si se usan puntos de apoyo. En nuestro caso si se tienen puntos de apoyo. Es en este proceso donde el software genera una nube de puntos comunes donde se puede intuir el modelo a generar (Figuras 41, 42, 43 y 44).

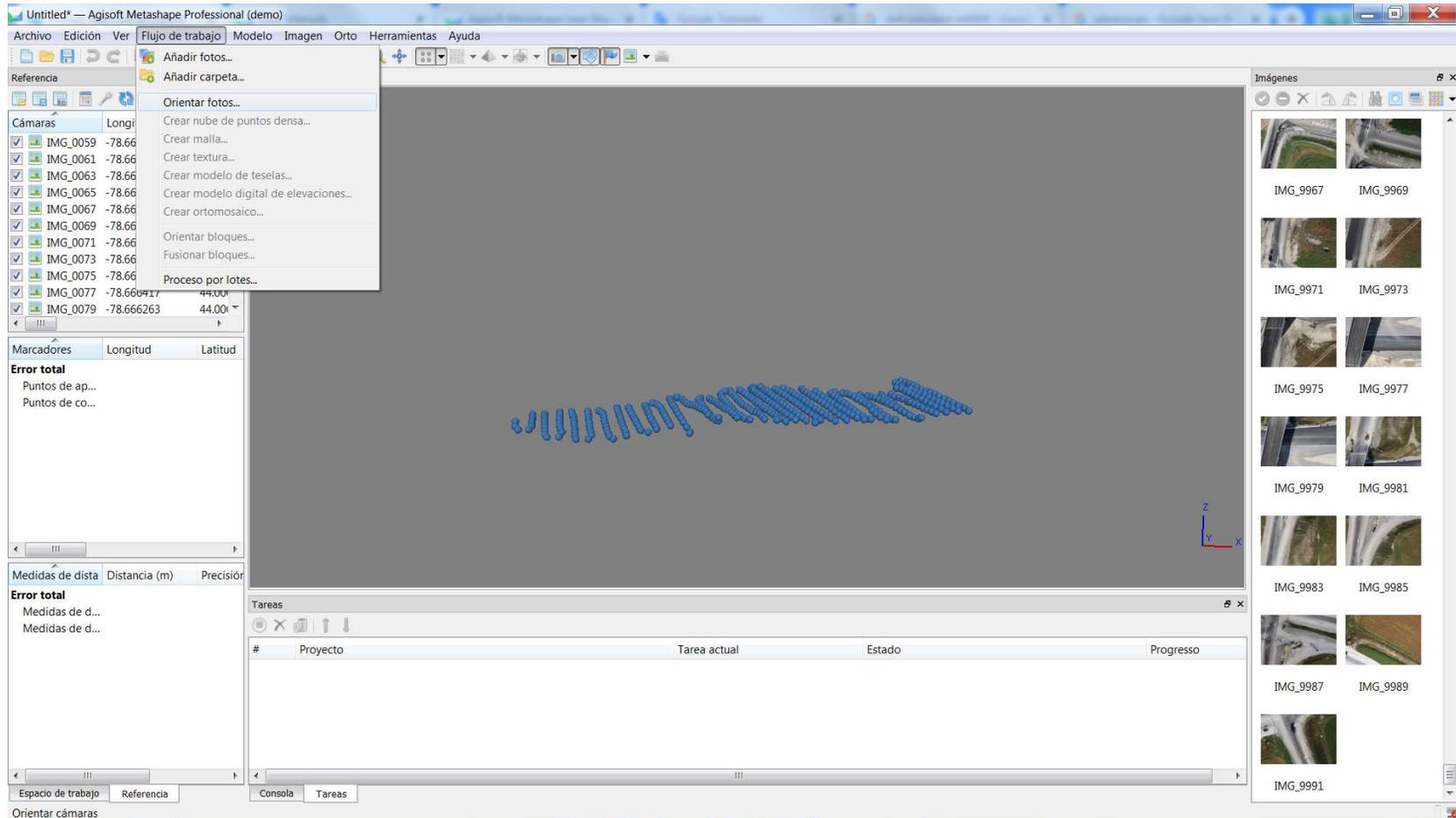


Figura 41. Orientación de fotos dentro del flujo de trabajo. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

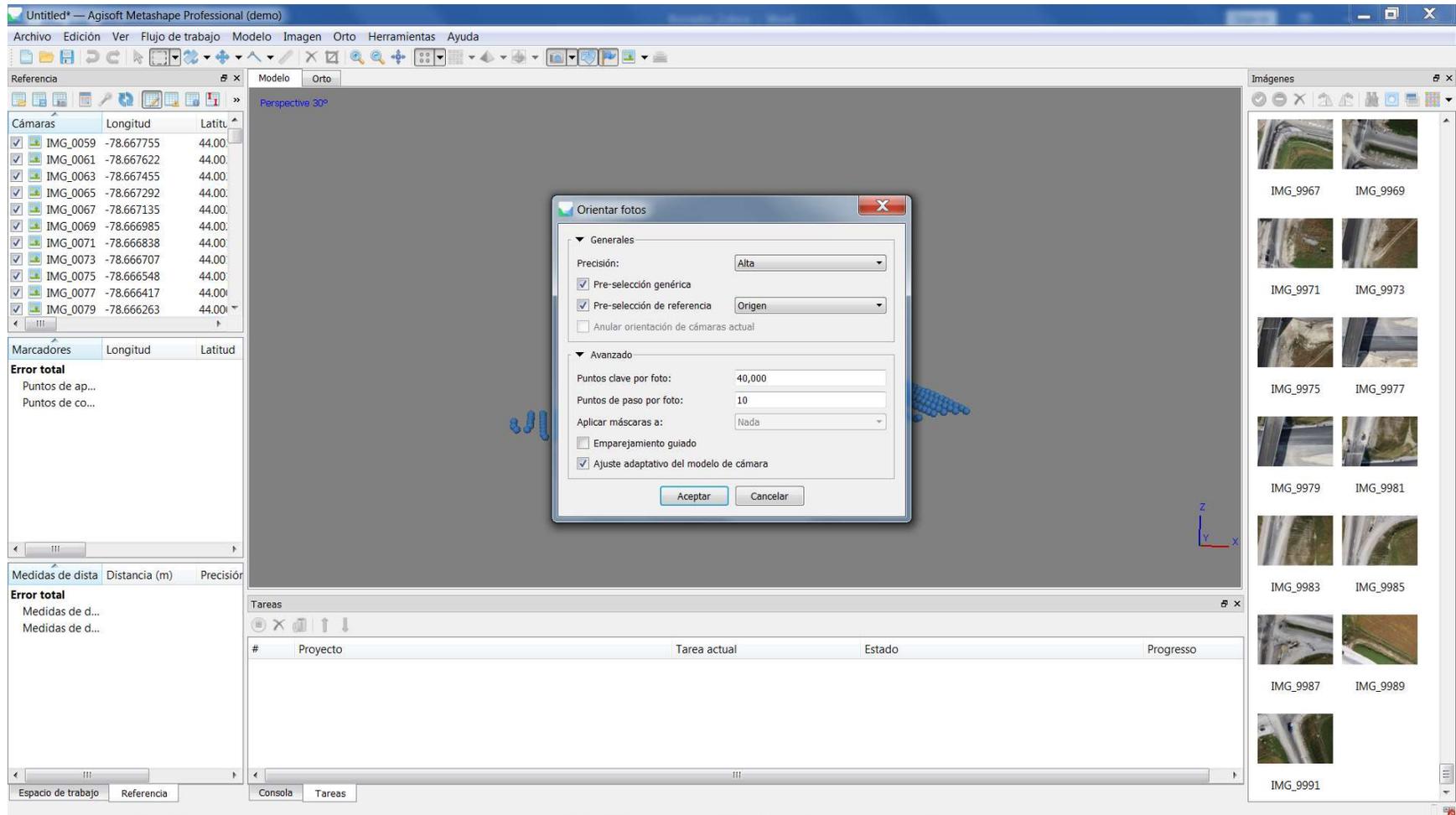


Figura 42. Características de la orientación de fotos. Precisión alta y puntos de control en la opción de pre-selección de referencia. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

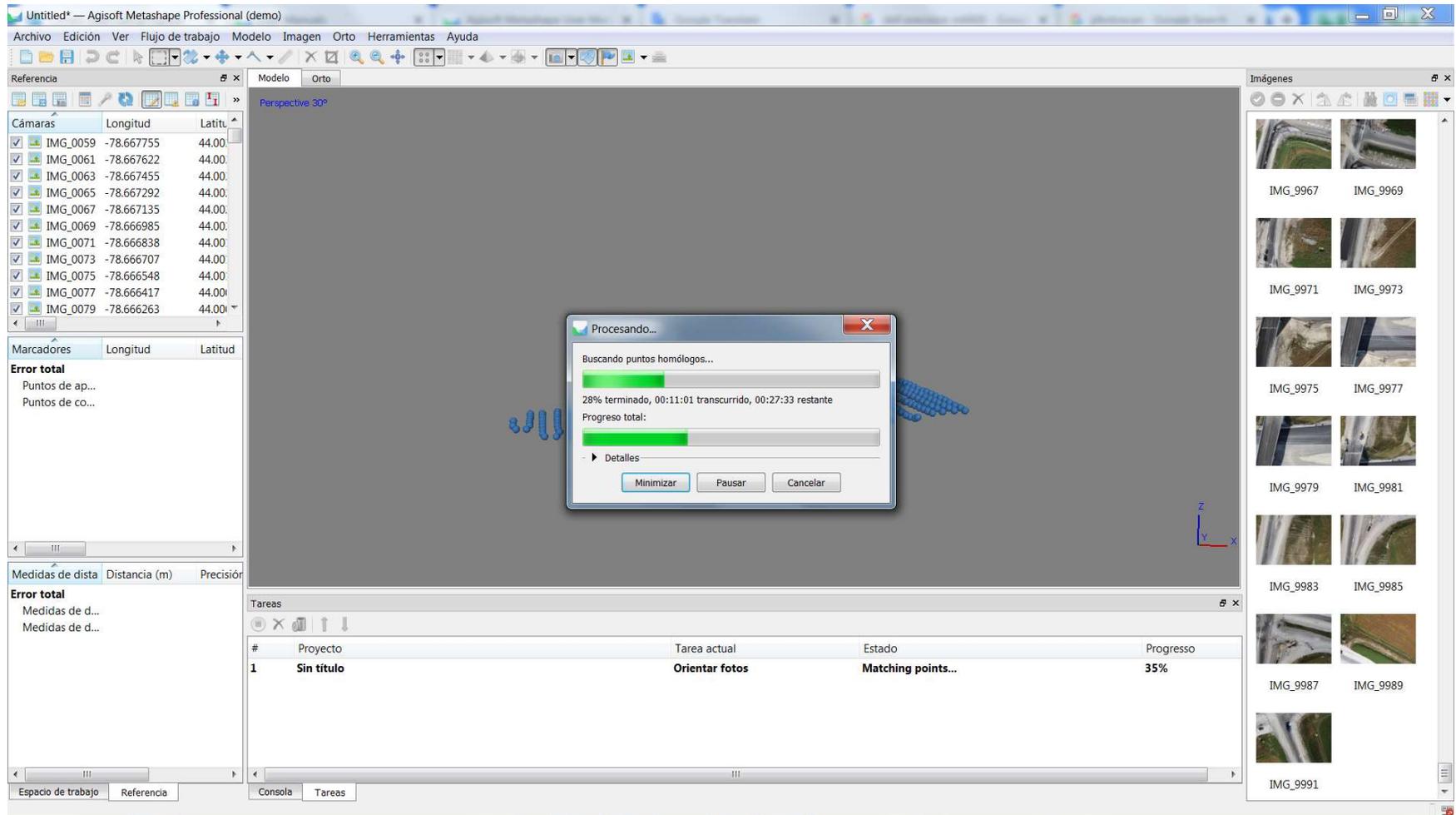


Figura 43. Proceso de orientación de las fotos. La duración ha sido de 4 horas. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

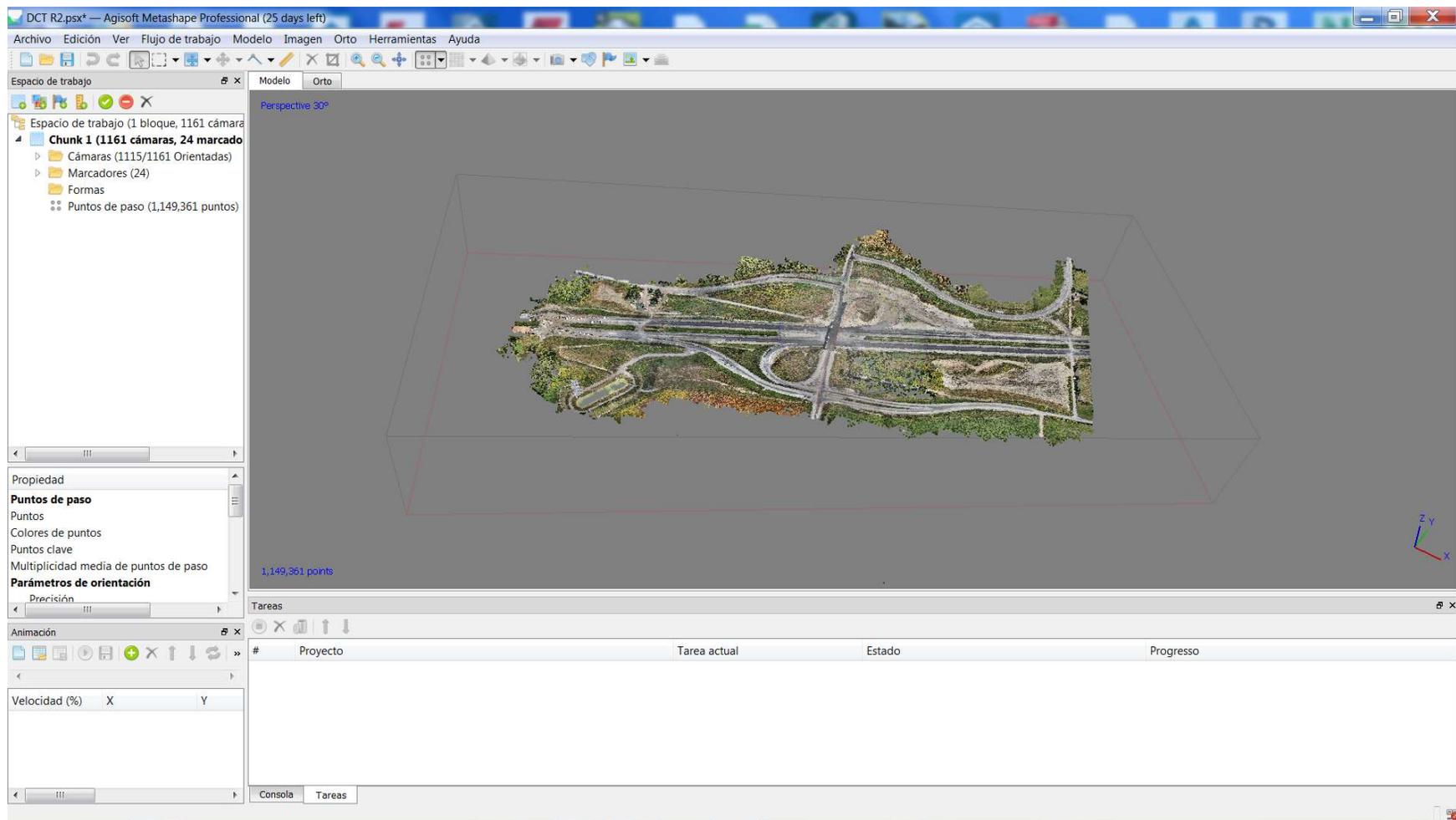


Figura 44. Finalización de la orientación de las fotos y vista de los puntos comunes. Fuente: imagen propia

4. A continuación, se crea la nube de puntos densa la cual se basa en las posiciones estimadas de la cámara y las imágenes que restituye el software (Figuras 45, 46 y 47).

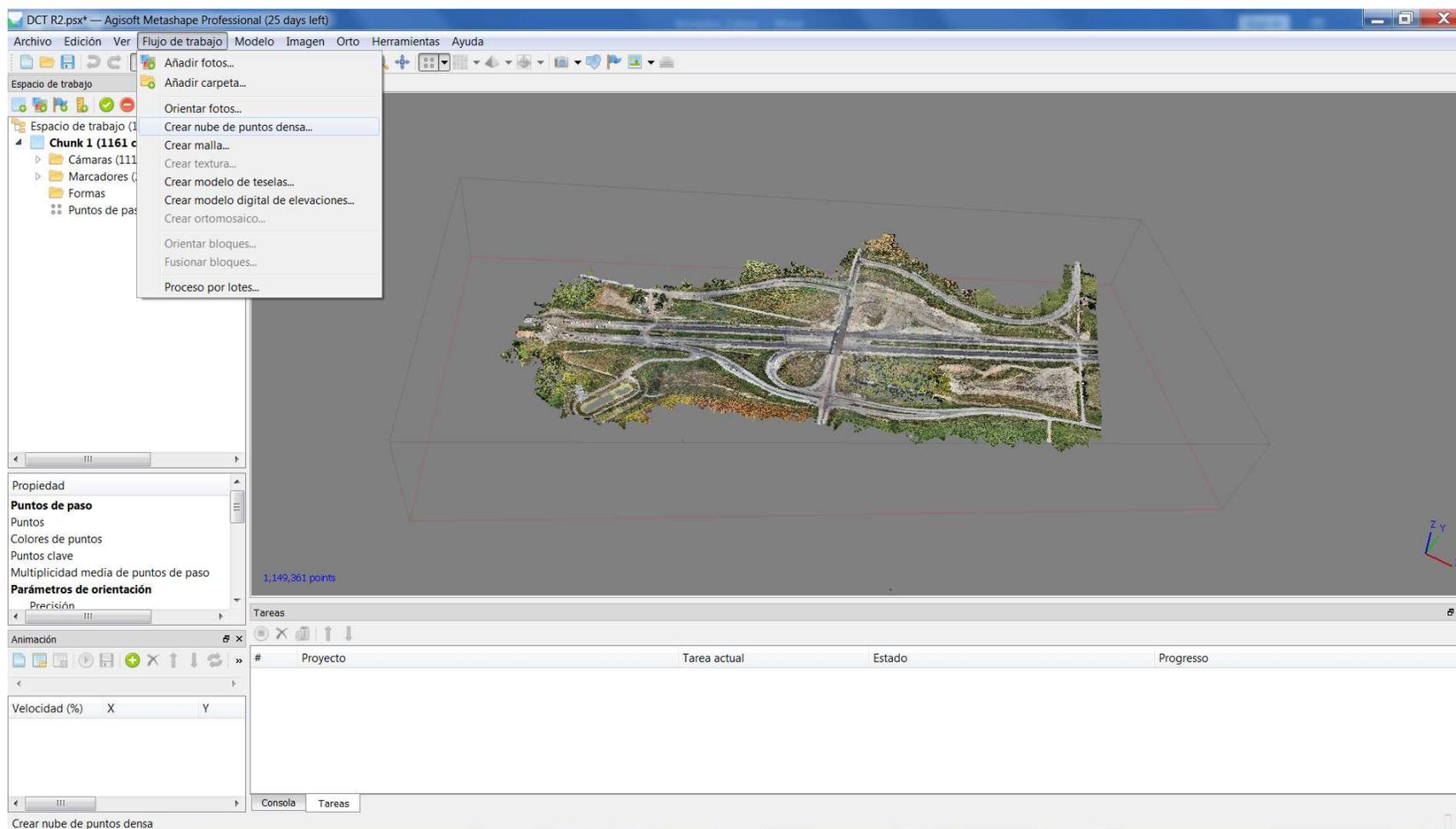


Figura 45. Creación de la nube de puntos densa dentro del flujo de trabajo. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

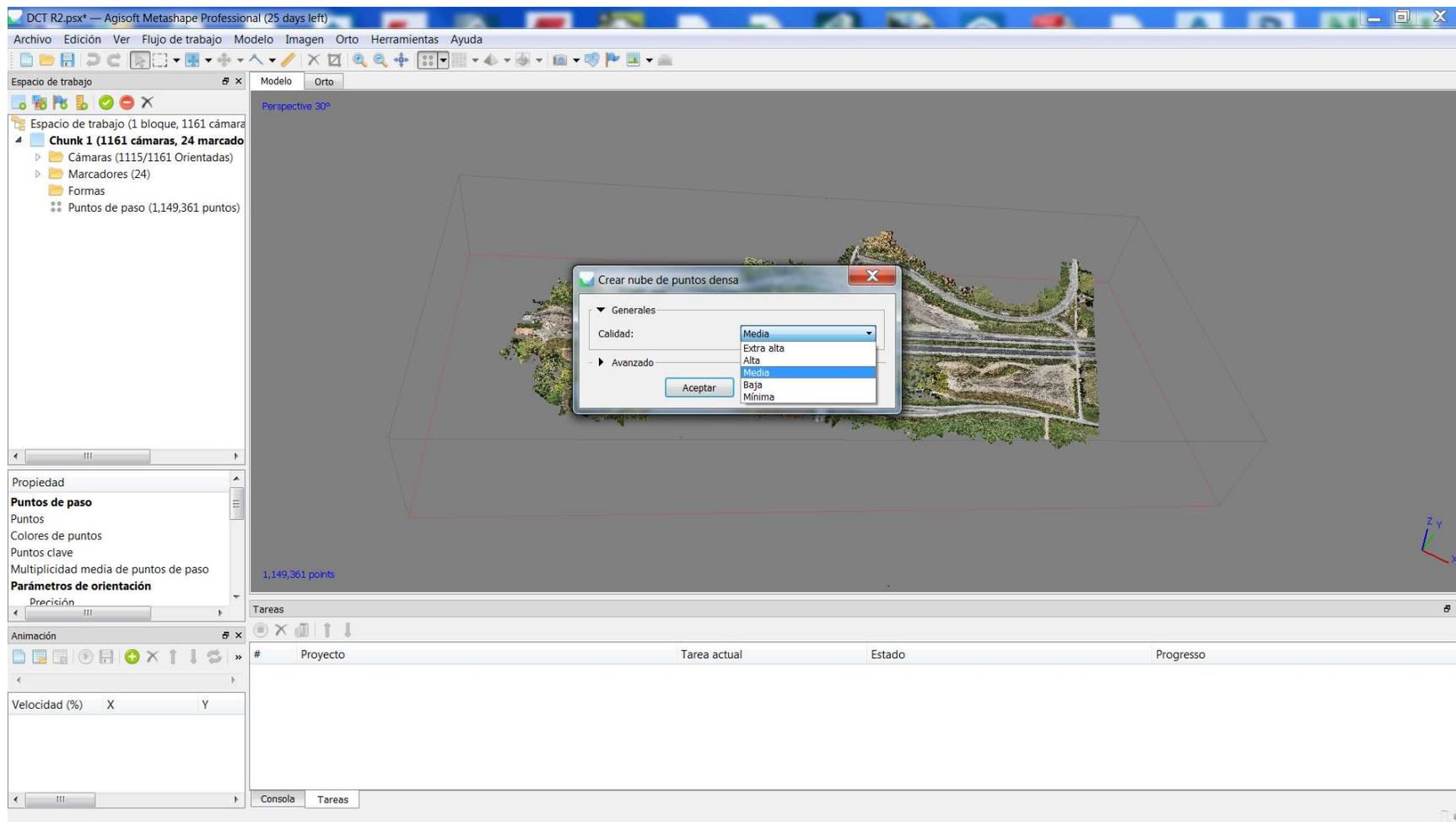


Figura 46. Selección de la calidad de la nube de puntos densa. En este caso media. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

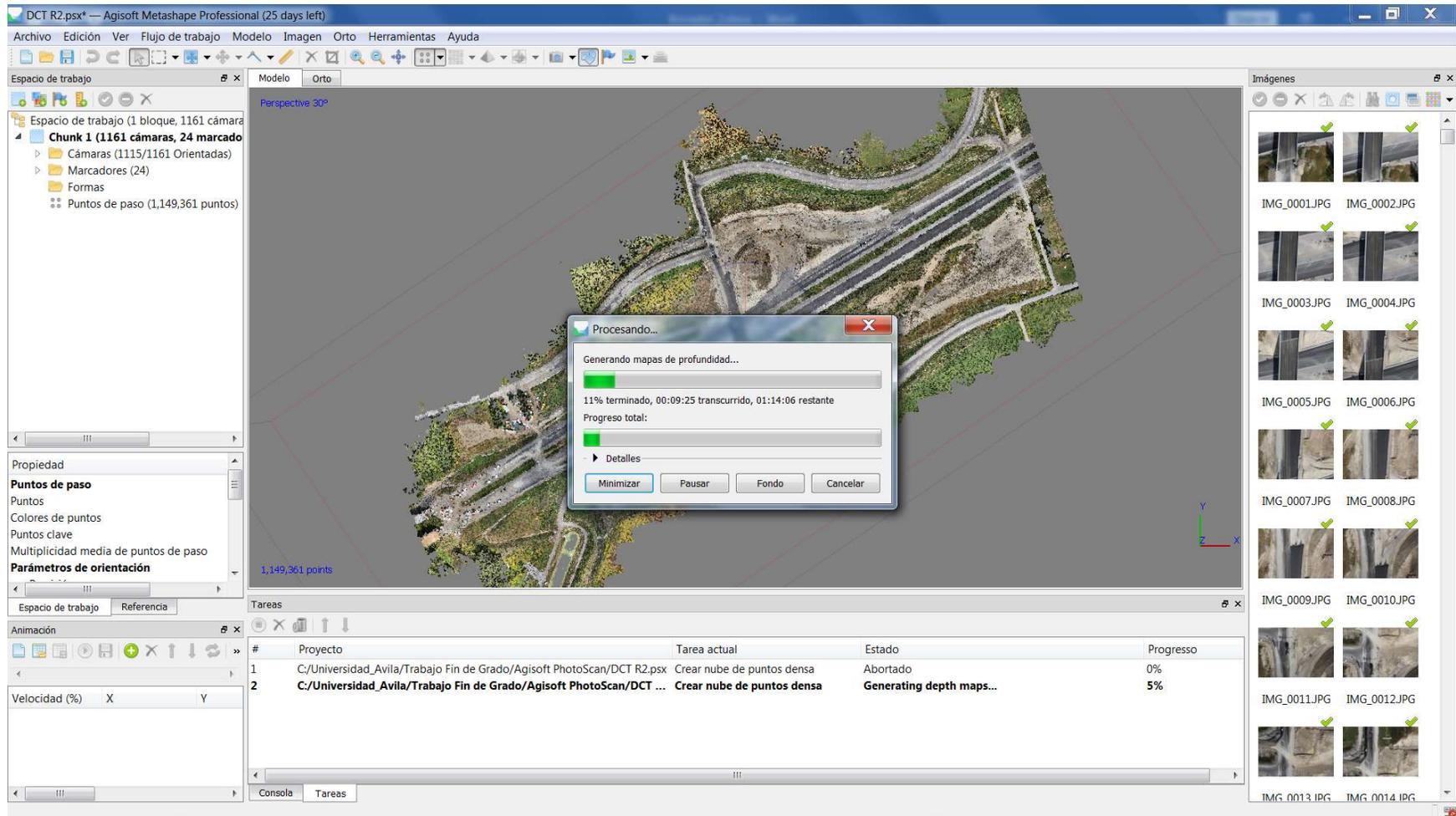


Figura 47. Proceso de creación de la nube de puntos densa. La duración ha sido de 5 horas y media. Fuente: imagen propia

- 5. Georreferenciación de las fotos con la importación de los puntos de control. Este proceso es un poco tedioso.
 - Primero, crear marcas para cada uno de los puntos de control (Figura 48). Es muy importante cambiar el nombre de la marca para que coincida con el nombre del punto de control. La marca creada, aparecerá con una banderita azul en cada una de las fotos en la cual se encuentre el punto de control. El programa posiciona la marca de manera aproximada y hay que ir fotografía a fotografía colocando la marca en su posición correcta. Entonces la banderita cambia a color verde (Figura 49).

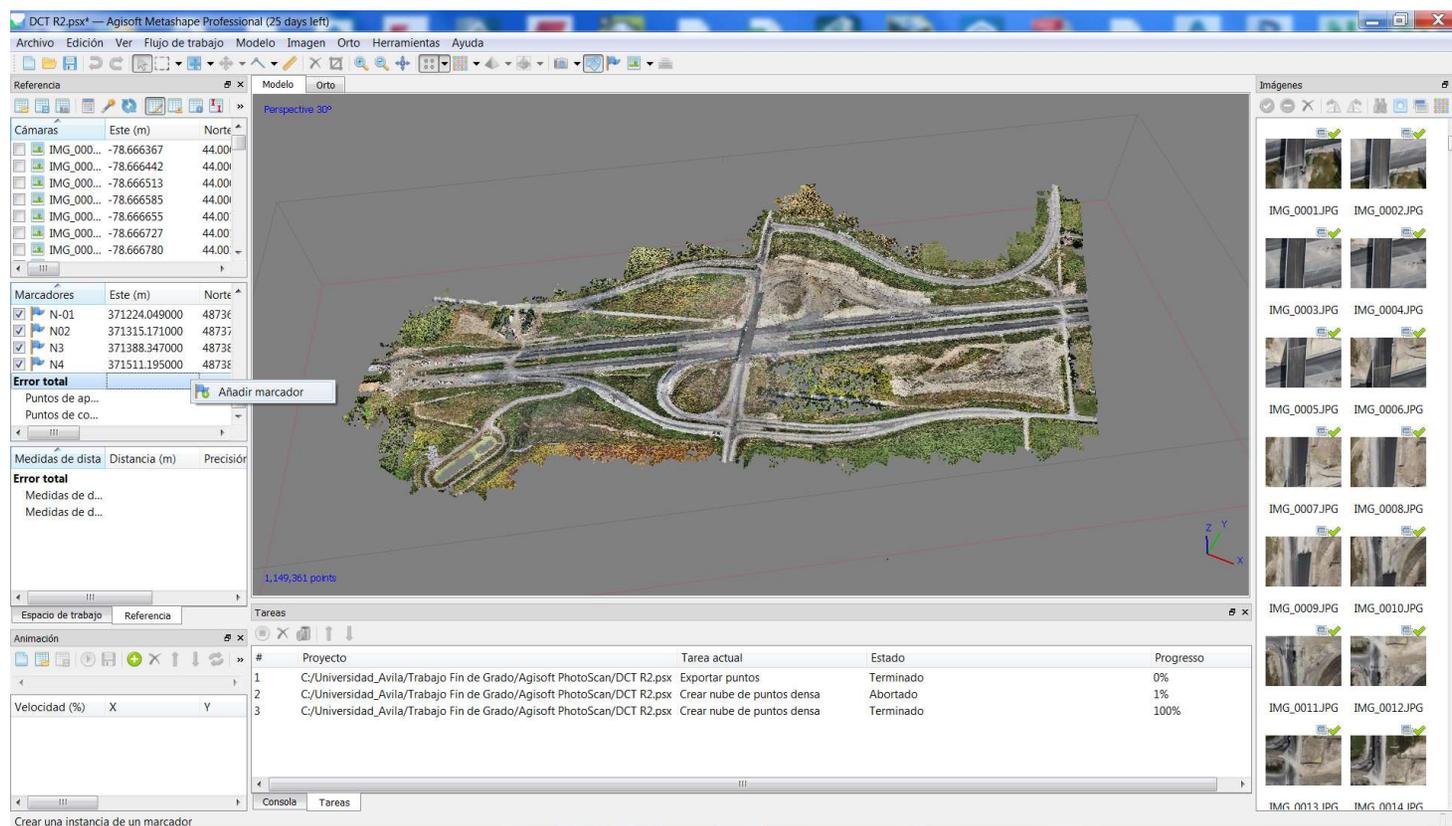


Figura 48. Creación de las marcas que representan los puntos de control. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

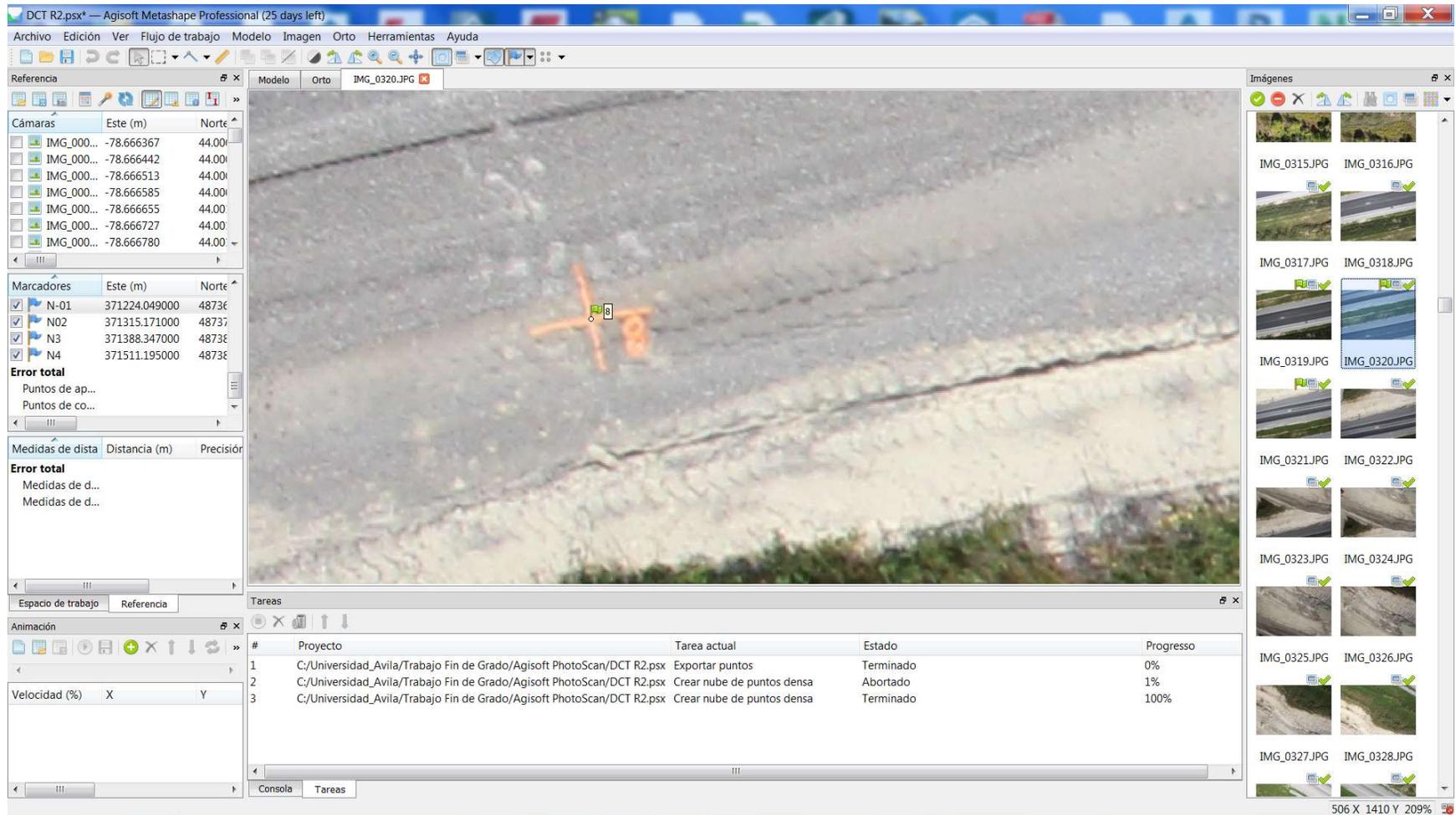


Figura 49. Colocación de cada marca en su respectivo punto de control. La banderita pasa a ser de color verde una vez movida. Fuente: imagen propia

- Se importan los puntos de control que automáticamente buscaran las marcas creadas anteriormente por el nombre común y de esta manera empieza el procesado de georreferenciación de la nube de puntos densa (Figuras 50 y 51).

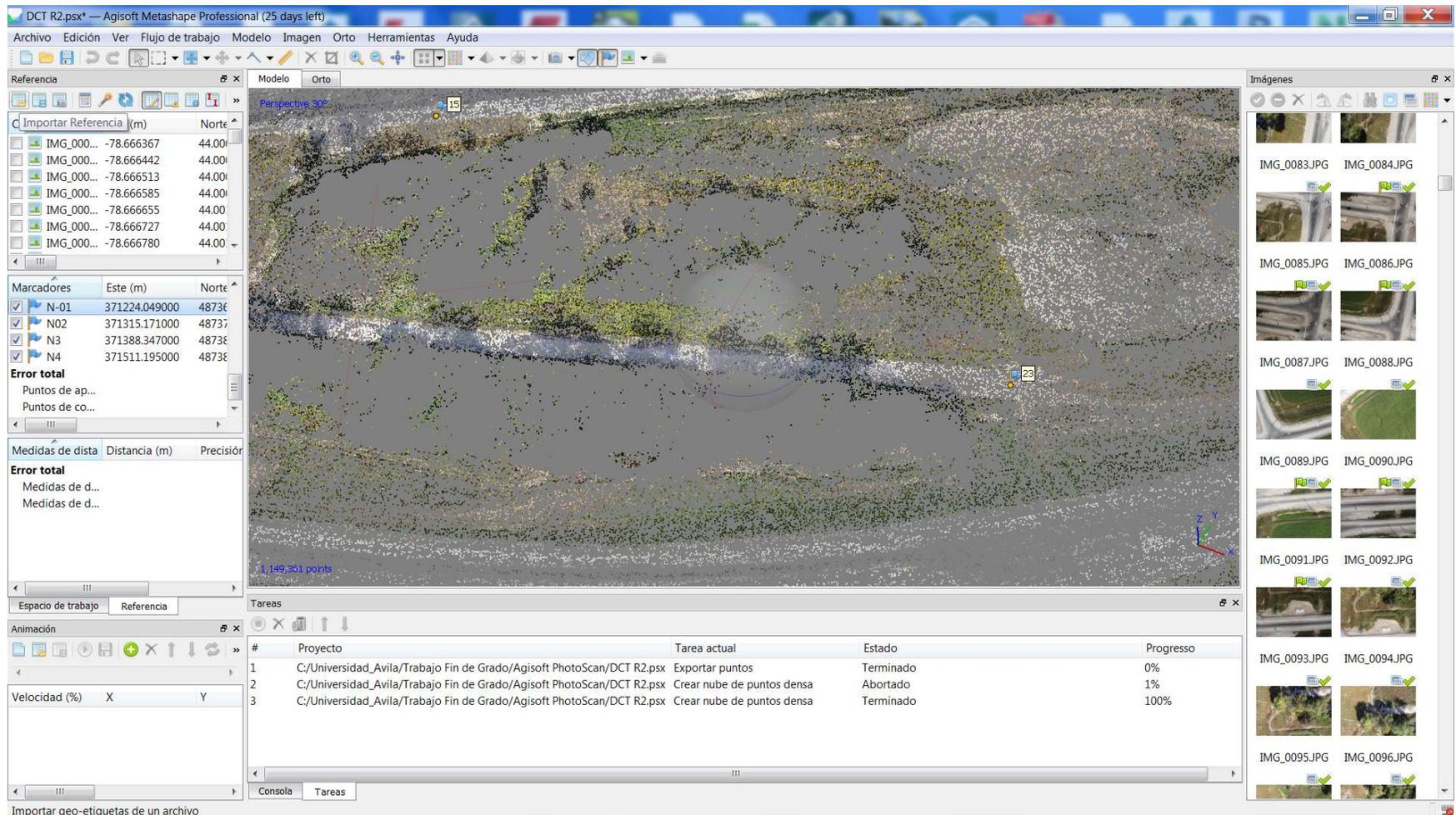


Figura 50. Herramienta para la importación de las coordenadas de los puntos de control. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

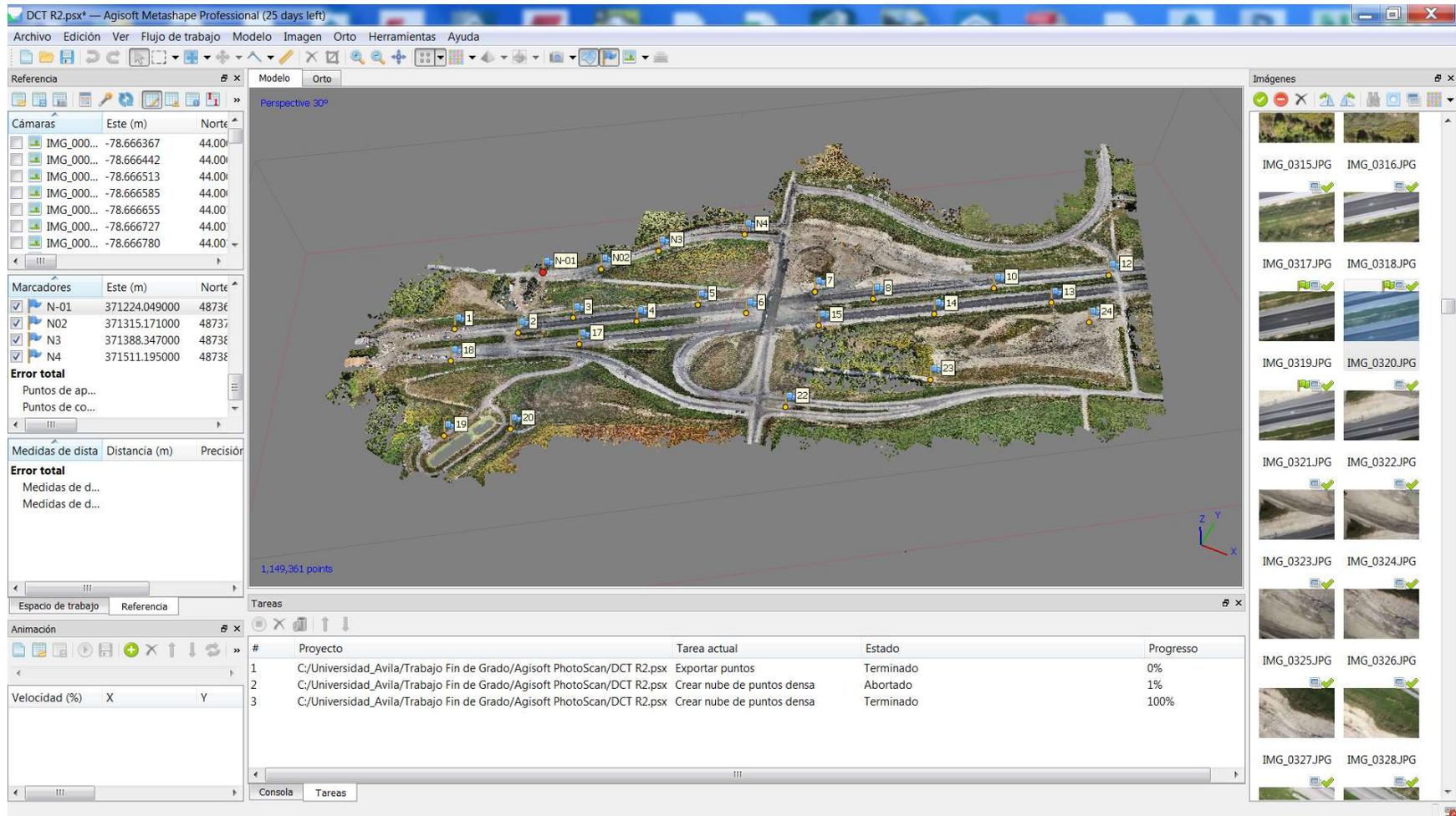


Figura 51. Proceso final con todos los puntos de control colocados en su posición correcta. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

- El software tiene una herramienta con la que se optimiza el obturador de la cámara y corrige las fotos (Figura 52). Se seleccionan los parámetros de la cámara se desean optimizar (Figura 53). Es aconsejable usar esta herramienta, aunque es un proceso transparente para el usuario. Aquí es donde se elimina la aberración del sistema óptico de la cámara usada.

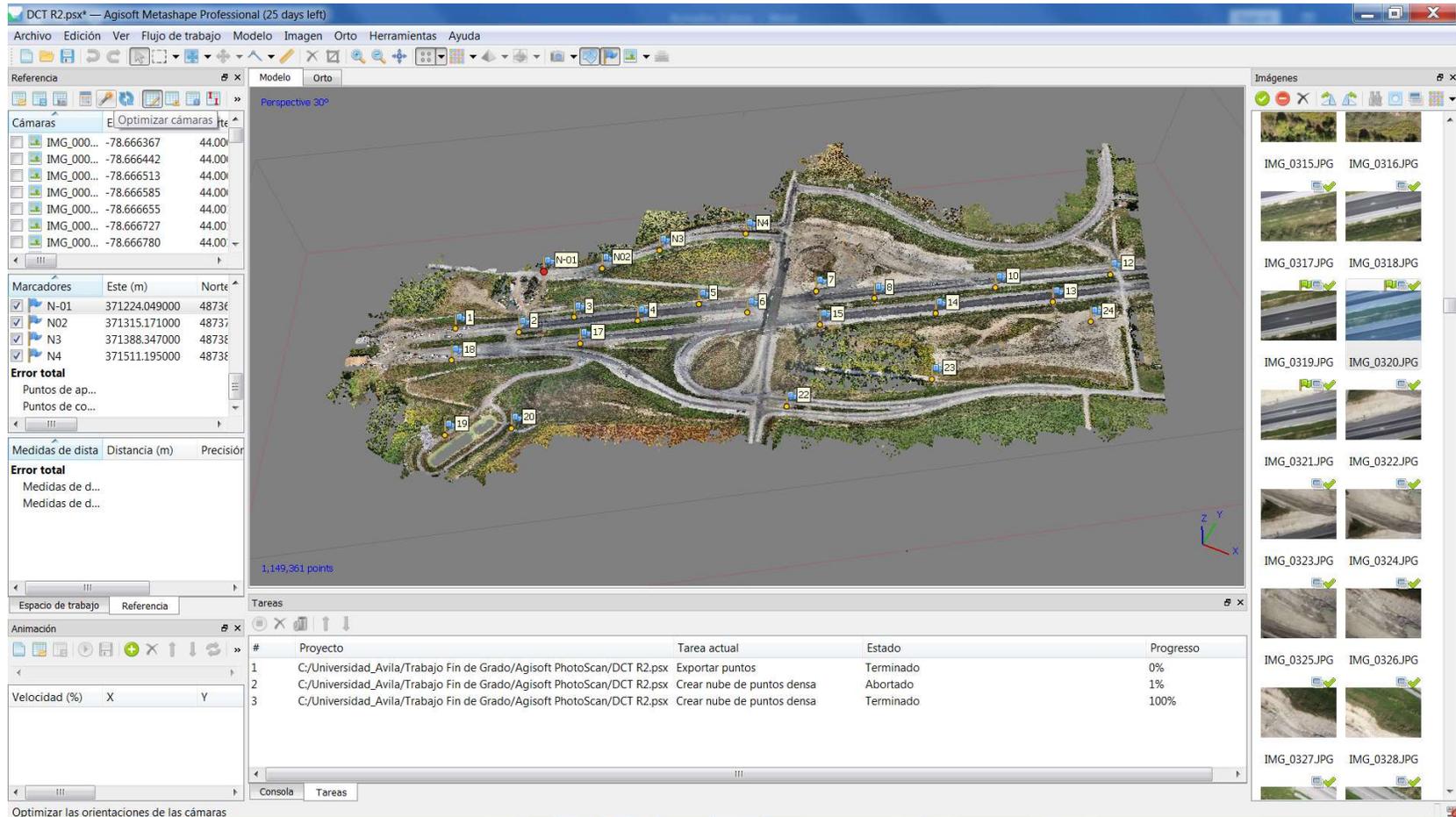


Figura 52. Herramienta para la optimización de la cámara. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

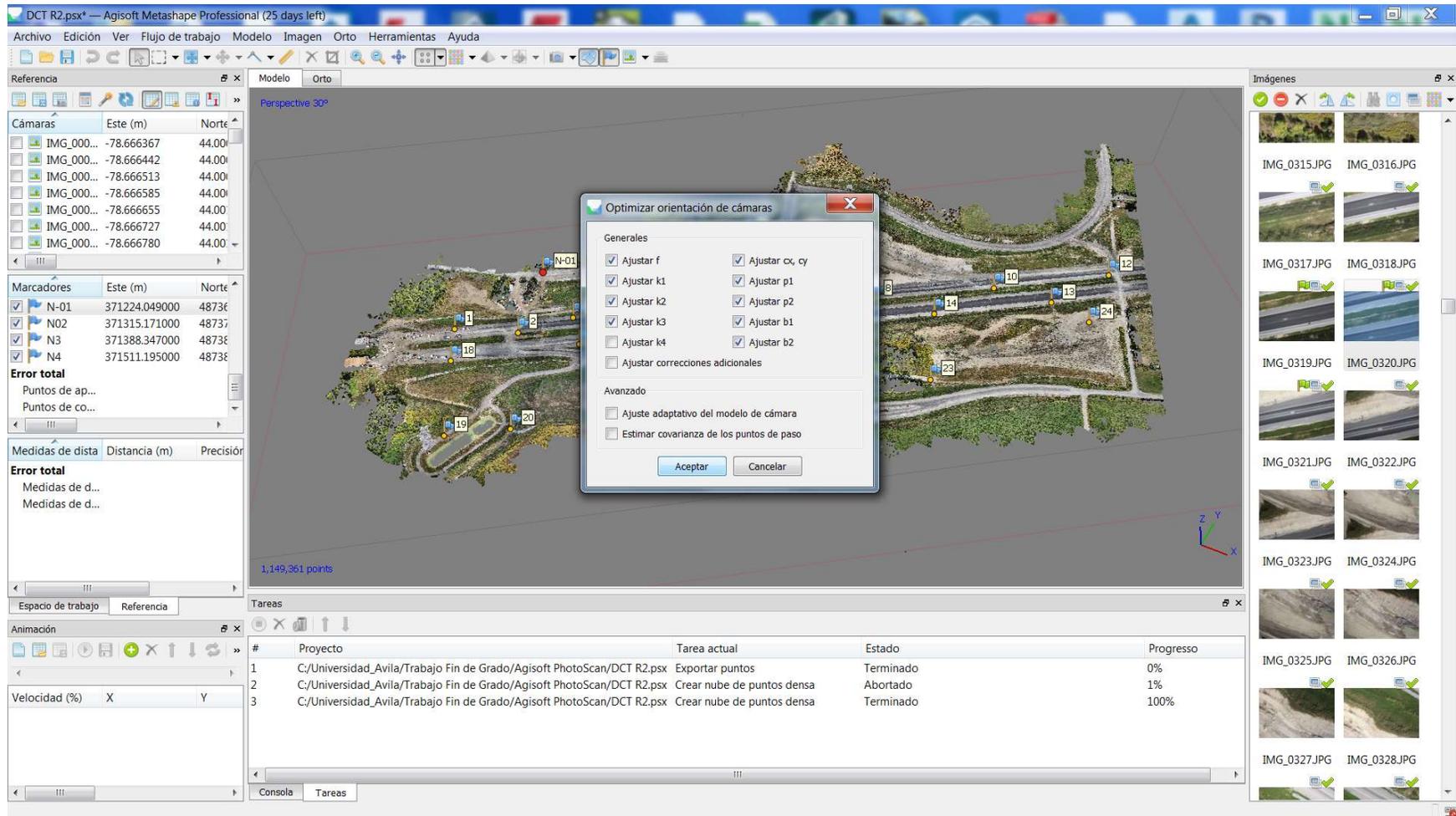


Figura 53. Parámetros de la cámara a corregir. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

- Se ve el informe de los residuos de cada punto de control y se decide si se elimina aquel que se vaya fuera de las tolerancias establecidas. Este proceso se repite hasta que todos los puntos de control estén dentro de las tolerancias anteriormente mencionadas (Figura 54).

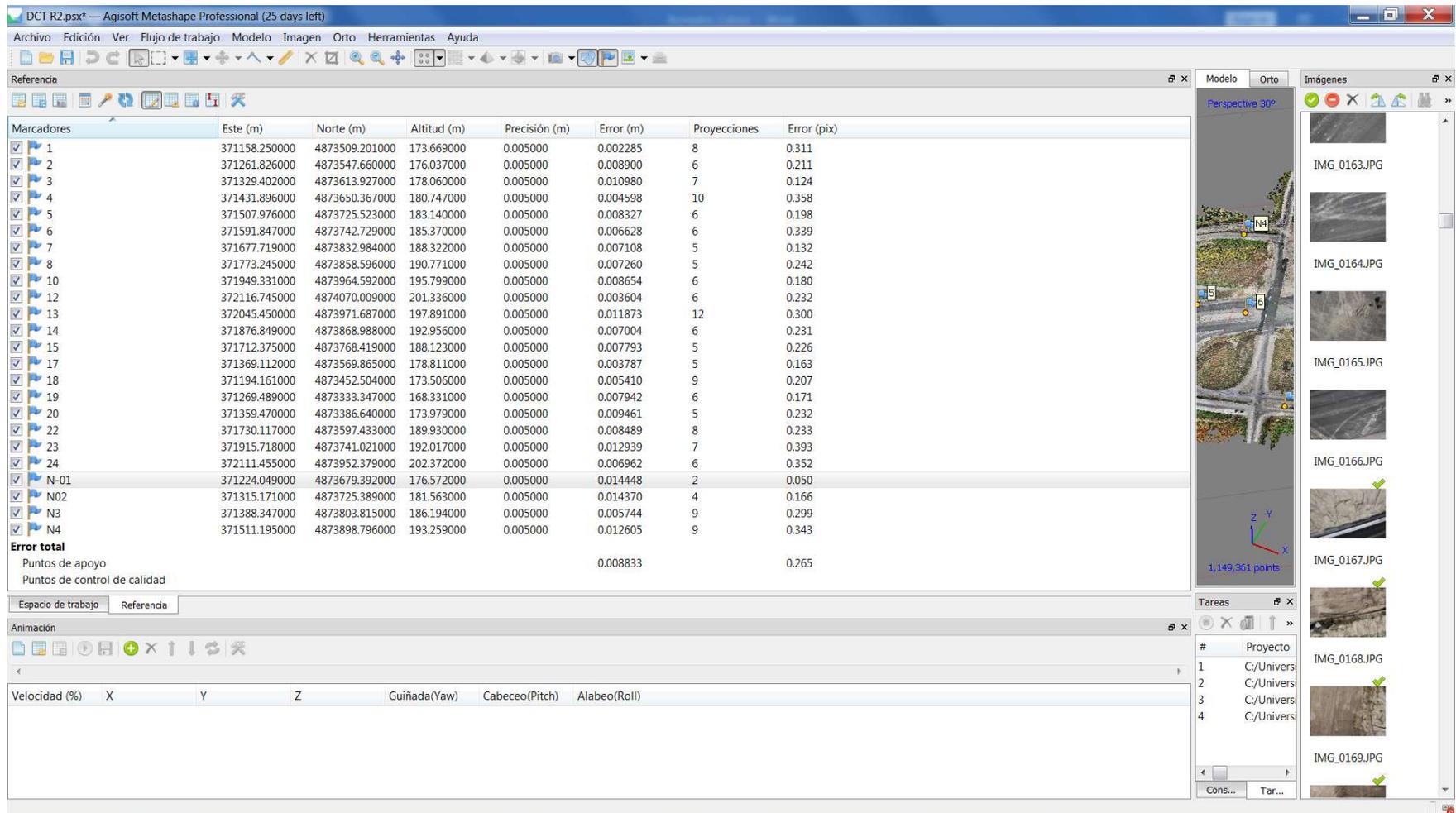


Figura 54. Resultado del proceso de optimización de la cámara y errores máximos en los puntos de control (9 mm de máximo como media). Fuente: imagen propia

6. En este momento, es recomendable limpiar la nube de puntos creada. En ella pueden aparecer, coches, maquinaria, vegetación etc que no son necesarios para la obtención del producto final y también se reduce un poco el procesado de la información de los pasos posteriores. Para ellos, el software cuenta con una herramienta (Figuras 55, 56 y 57) la cual hace el proceso automático una vez que se localizan los elementos a eliminar.

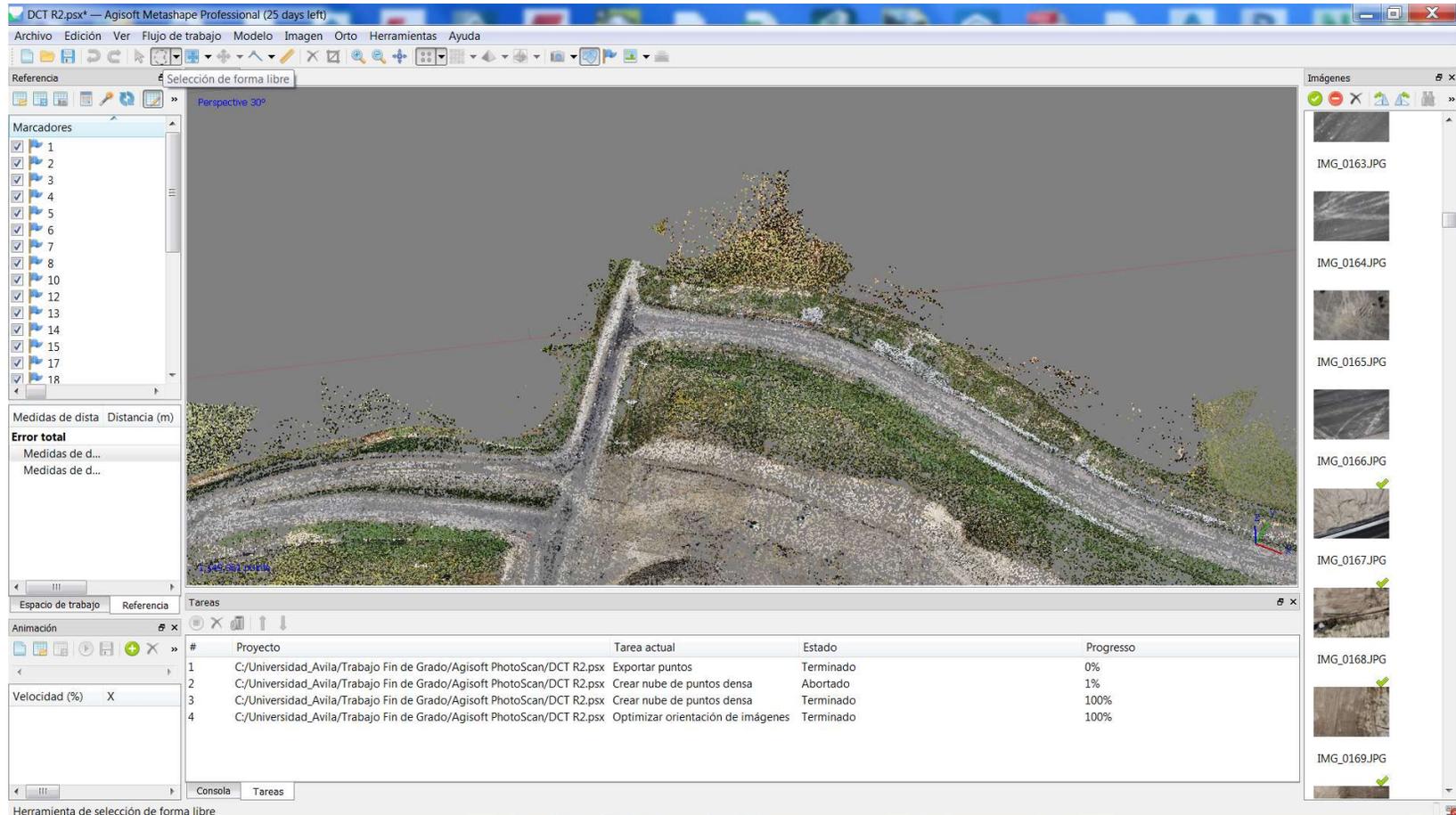


Figura 55. Herramienta para la selección de puntos a eliminar. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

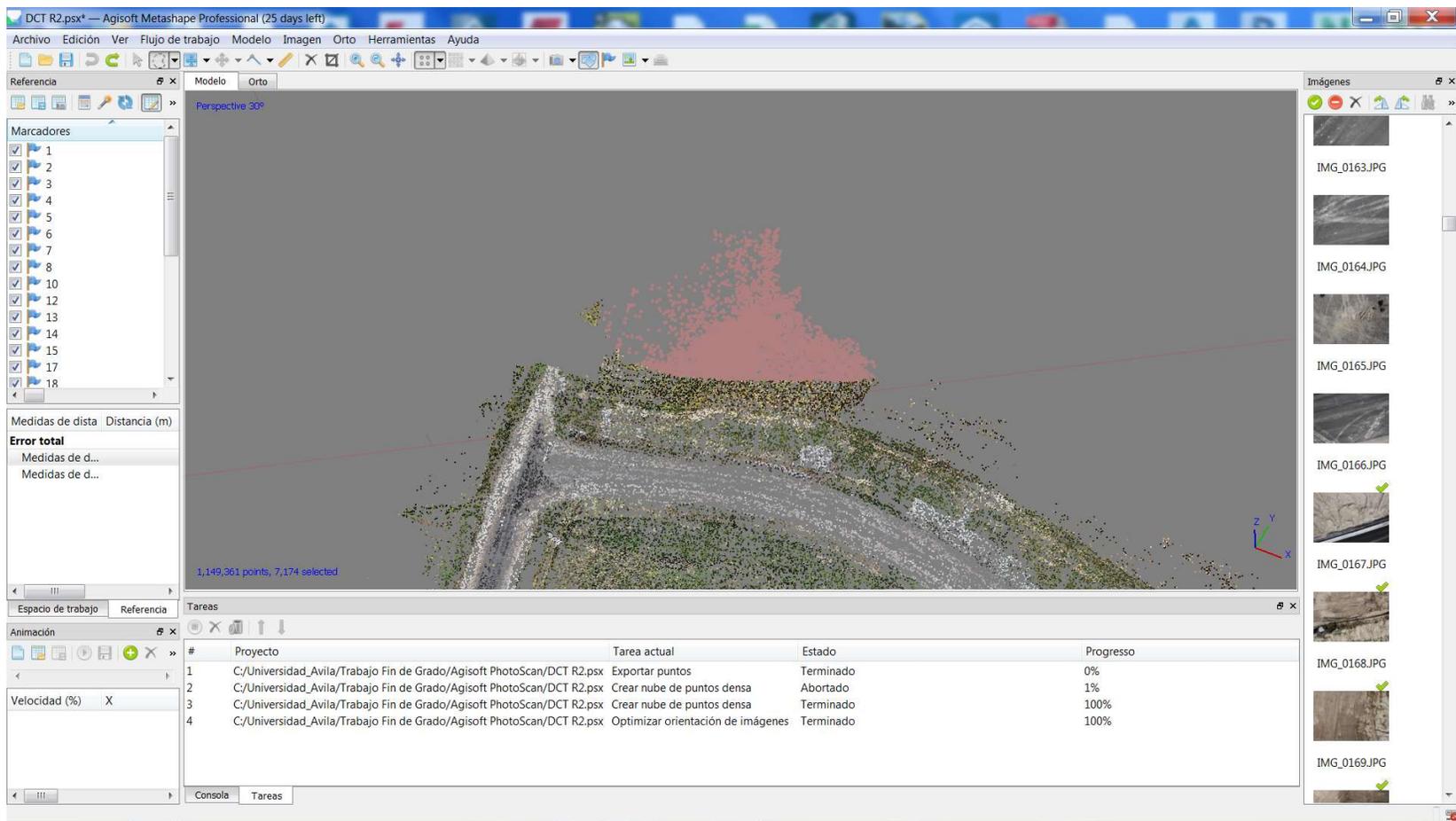


Figura 56. Zona de árboles seleccionada para su eliminación. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

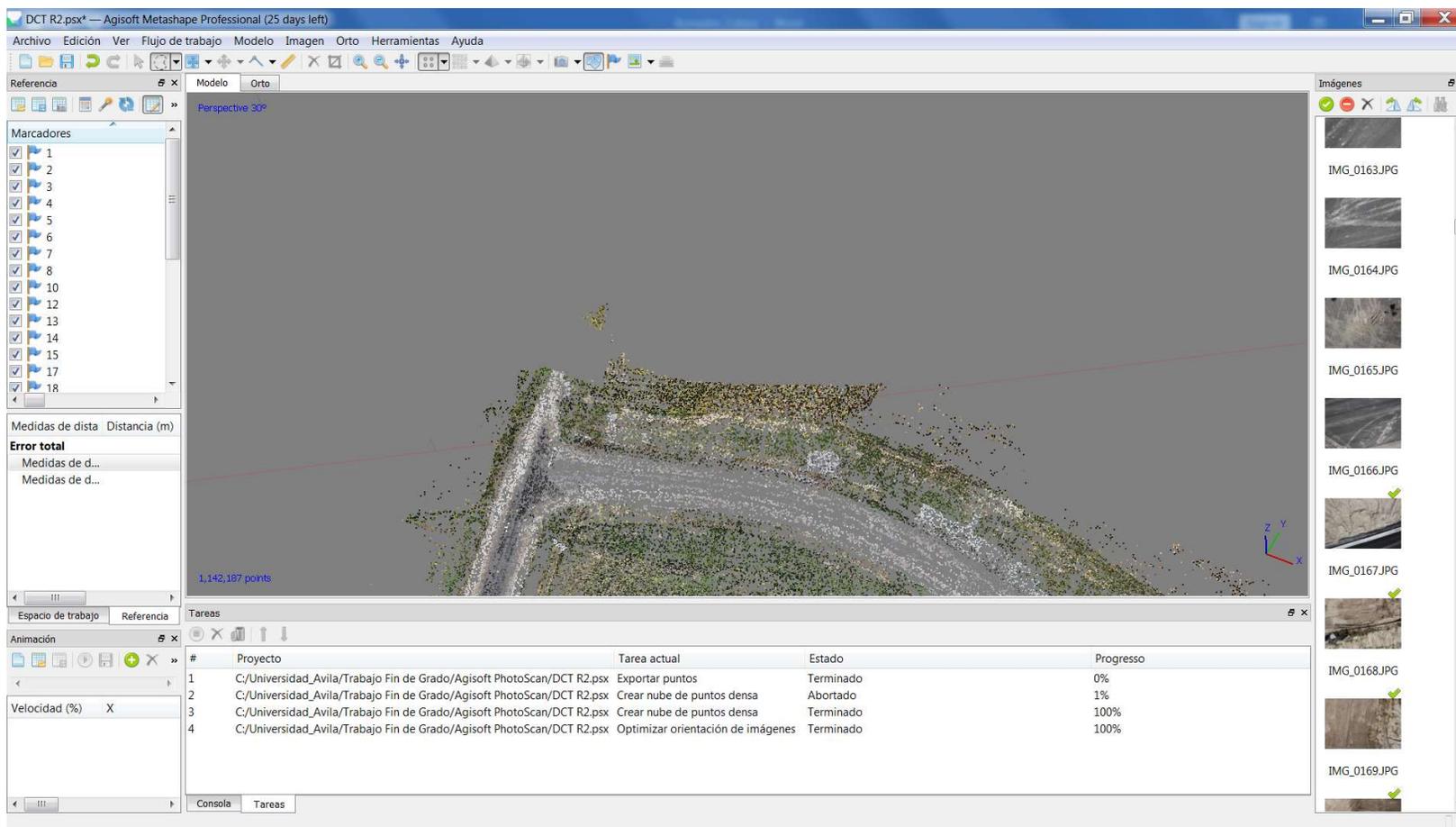


Figura 57. Zona de árboles eliminada de la nube de puntos densa. Fuente: imagen propia

- Después, se realiza la malla la cual se hace por triangulación a partir de la nube de puntos densa y se guarda el proyecto para su posterior uso si fuese necesario (Figuras 58, 59, 60 y 61).

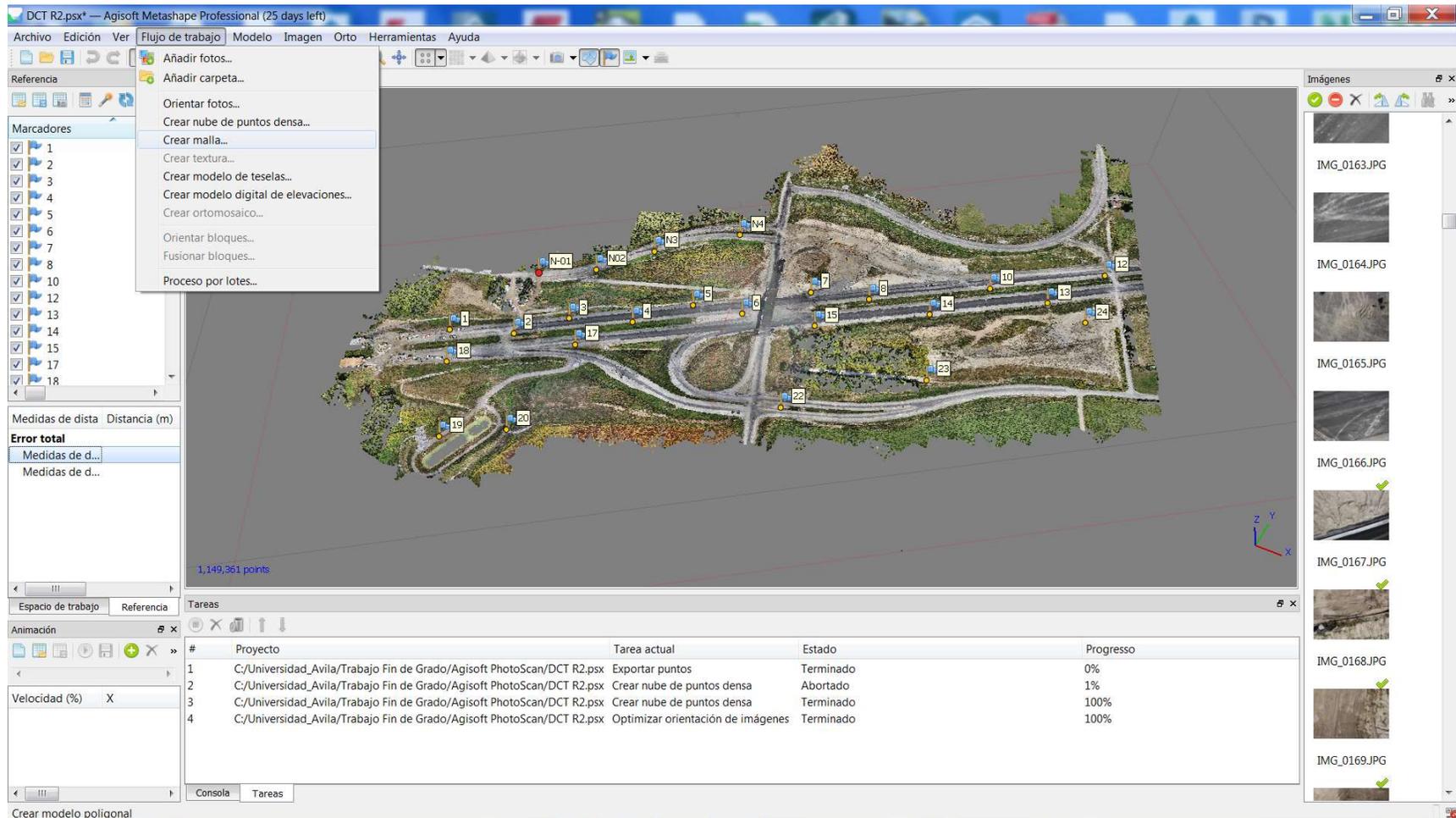


Figura 58. Herramienta para la creación de la malla dentro del flujo de trabajo. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

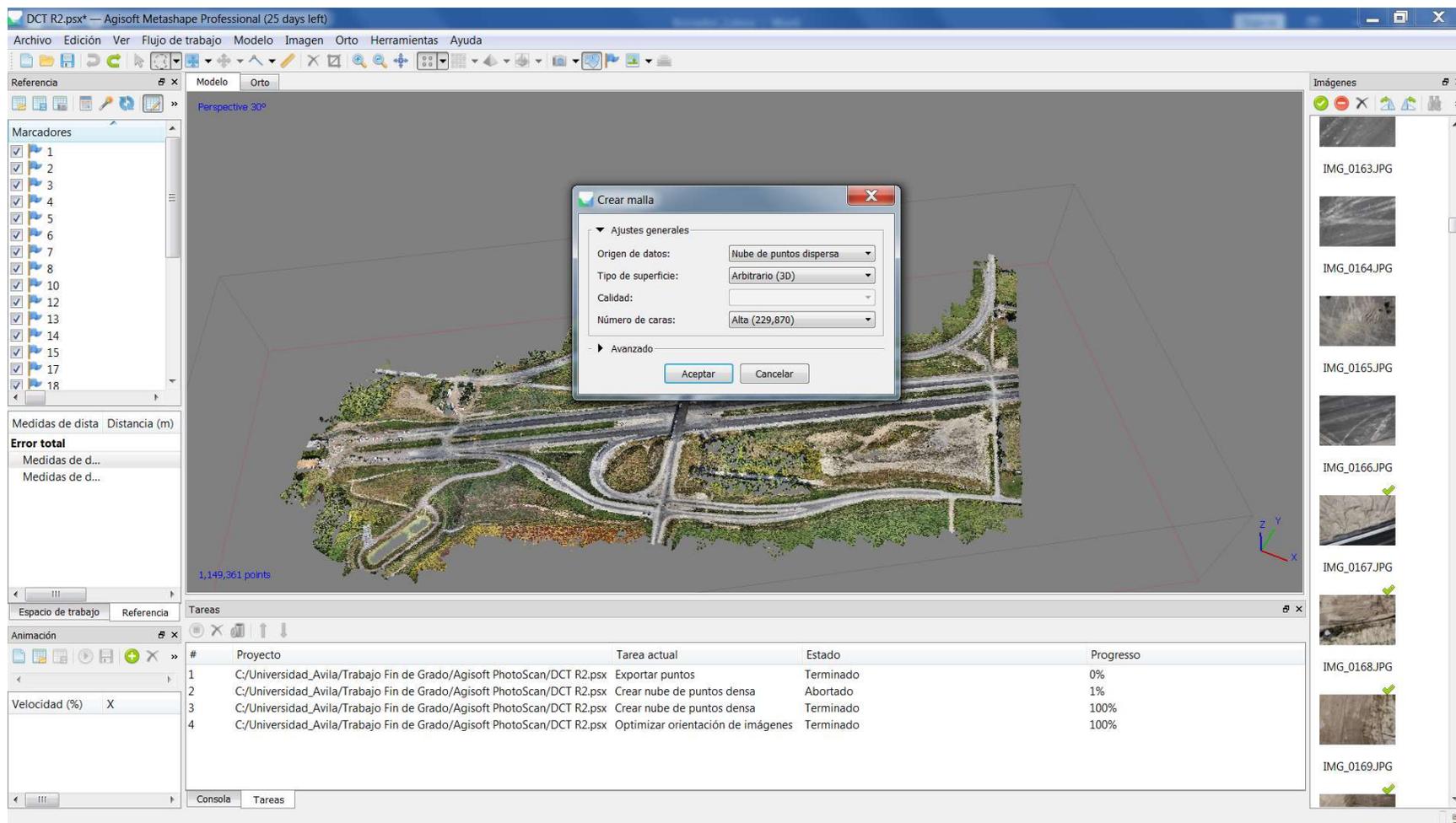


Figura 59. Selección de las características de la malla a crear. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

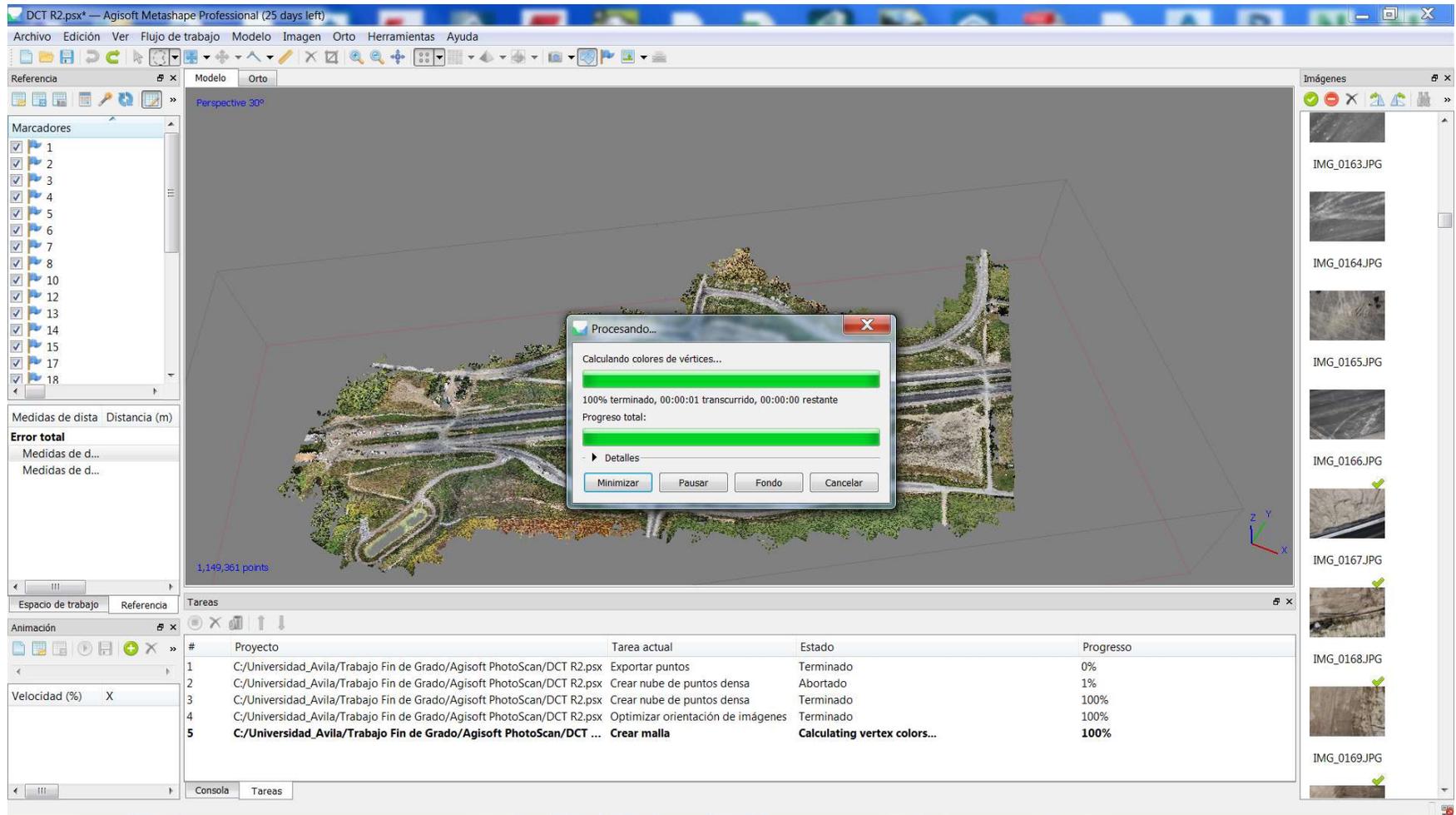


Figura 60. Proceso de creación de la malla. La duración ha sido menos de 5 minutos. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

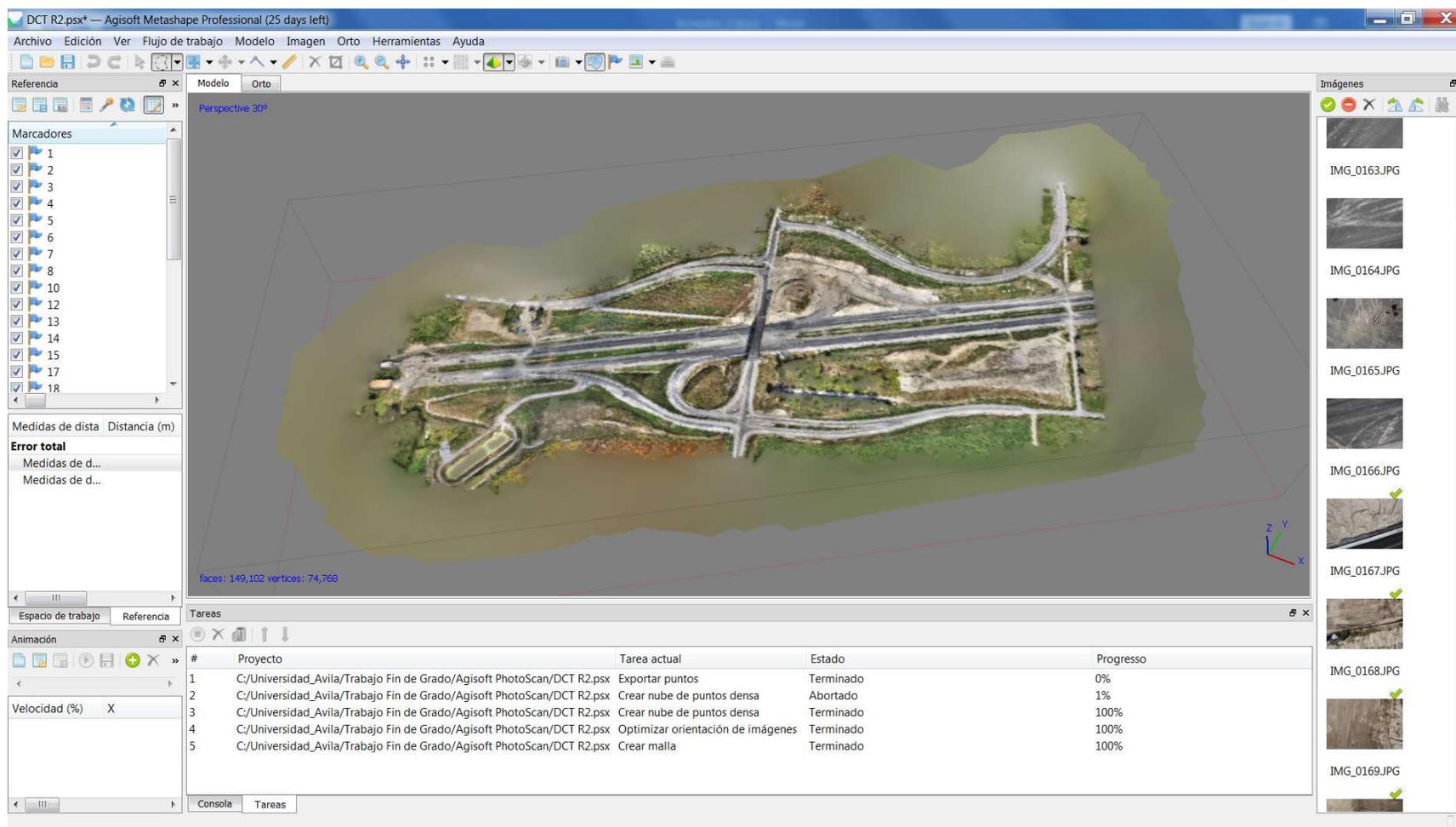


Figura 61. Malla creada. Fuente: imagen propia

Aquí es donde acaba el procesado del vuelo y se guarda el trabajo desde donde se podrán obtener los productos finales necesarios.

8.3 Obtención de la ortofotografía y del modelo 3D

Una vez que la malla se ha creado, hay diferentes opciones para obtener el producto final. El software Agisoft PhotoScan¹⁰ permite obtener los siguientes productos:

1. Ortofotografía (Figuras 62, 63 y 64): es una imagen digital transformada que muestra en proyección ortogonal el terreno fotografiado. Se pasa de una proyección perspectiva a una proyección ortogonal, mediante el proceso de rectificación diferencial, el cual elimina el desplazamiento producido por la inclinación de la imagen y por el efecto orográfico.

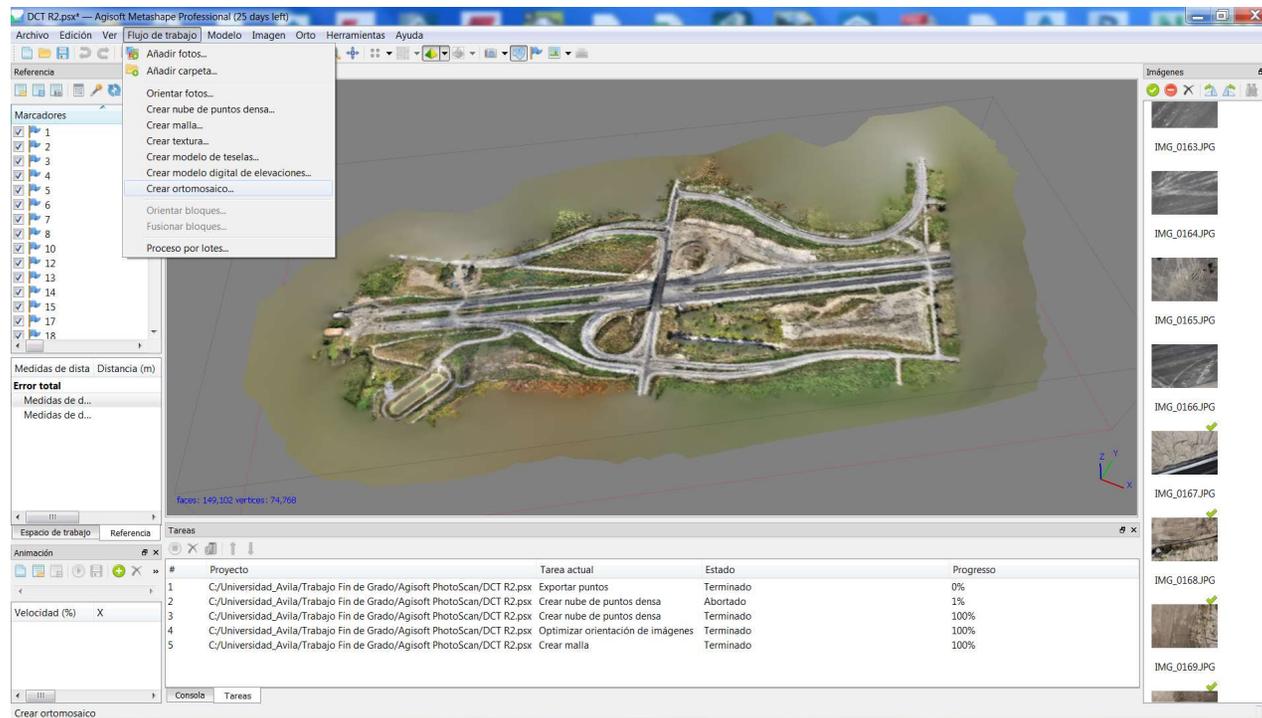


Figura 62. Herramienta para la creación de la ortofotografía dentro del flujo de trabajo. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

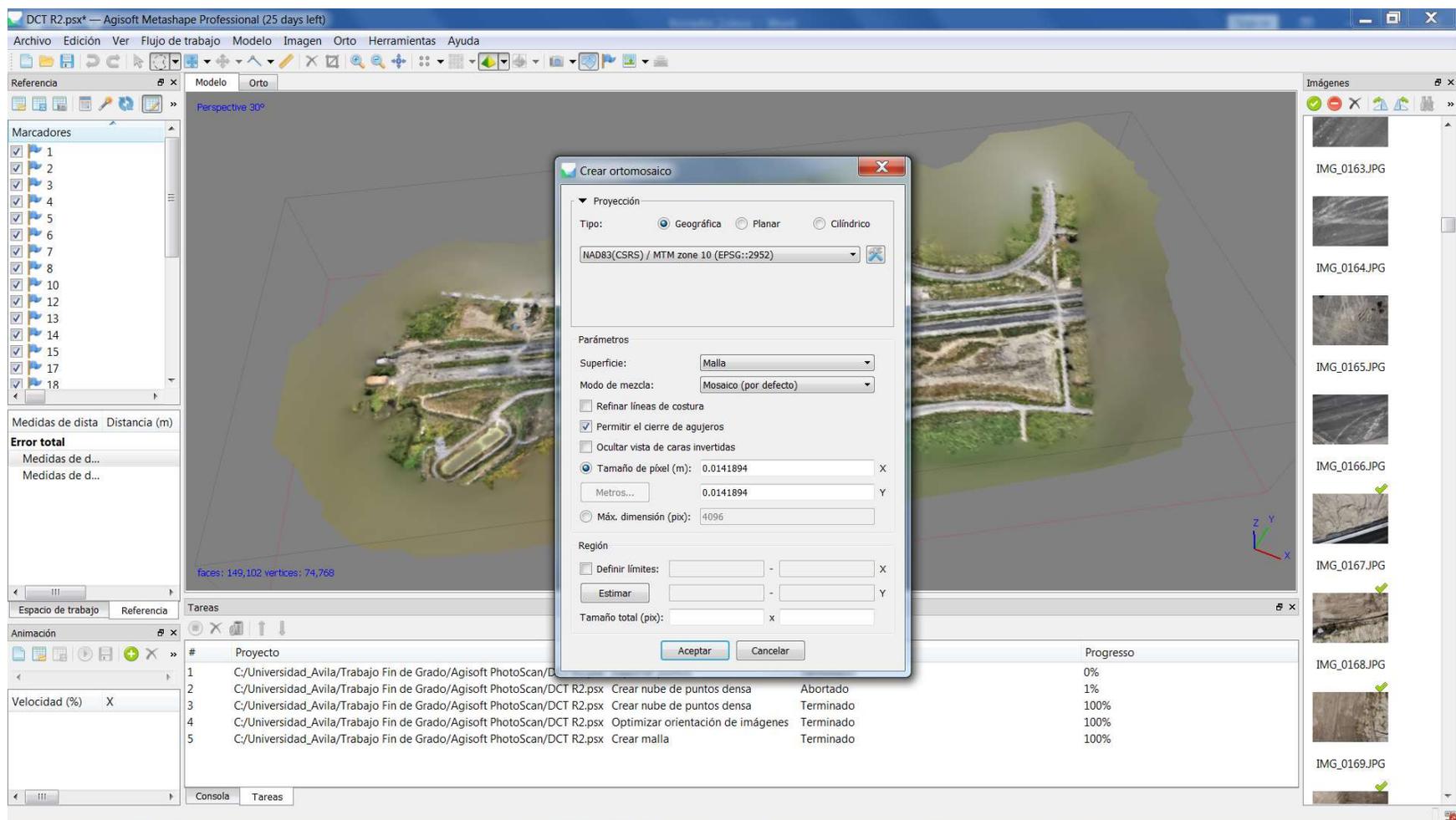


Figura 63. Definición de las características de la ortofotografía a crear. Fuente; imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

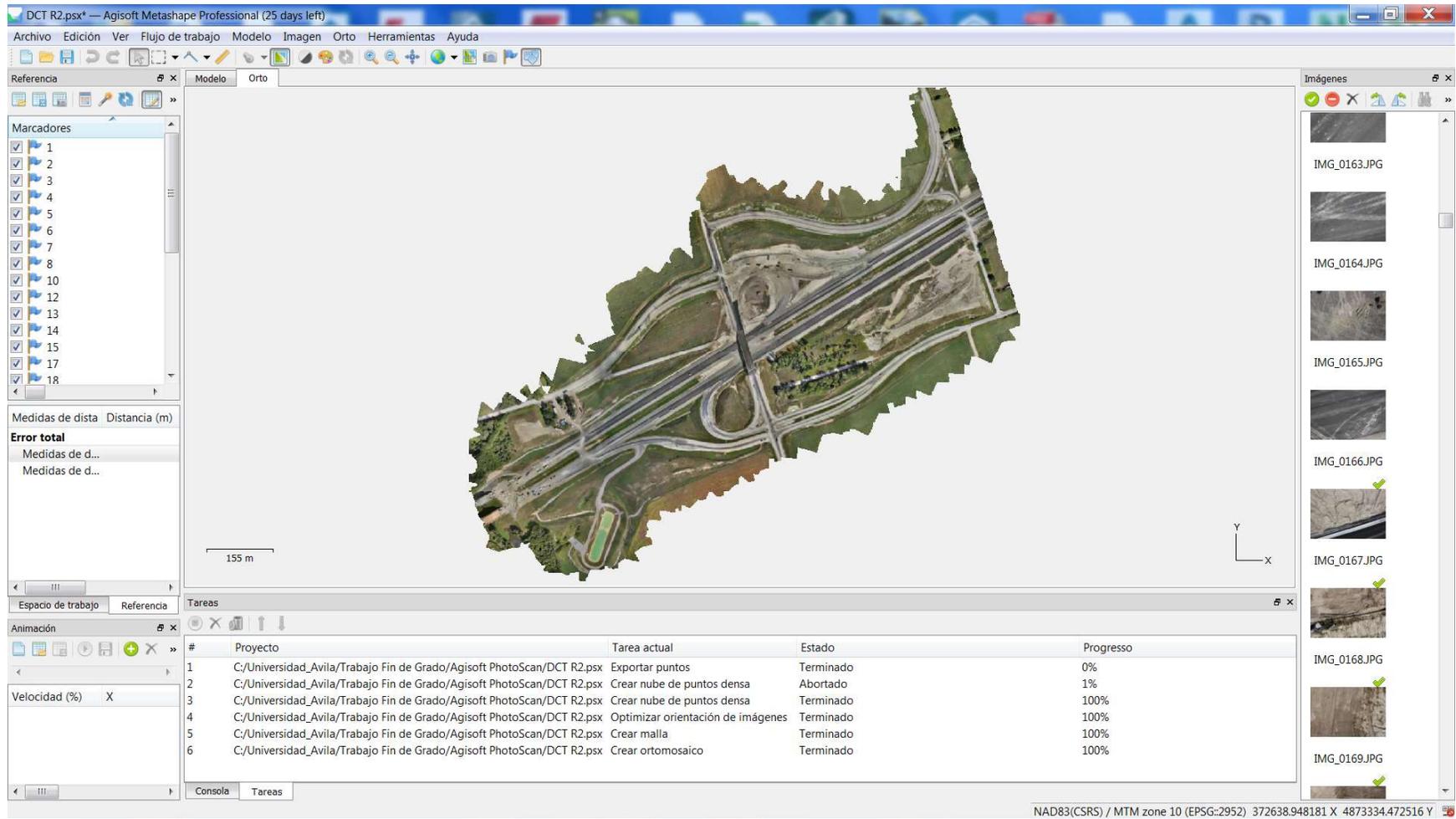


Figura 64. Ortofotografía obtenida. El proceso ha durado 1 hora y media. Fuente: imagen propia

- Modelo digital de elevaciones (MDT) (Figuras 65, 66 y 67): el cual se basa en la determinación de paralajes entre imágenes homólogas de un modelo estereoscópico. Es necesario una malla de puntos y elementos lineales (líneas de cambio de pendiente o rotura) y superficiales (exclusión de zonas, áreas de altura constante). Los MDT pueden extraerse automáticamente mediante correlación de imágenes:

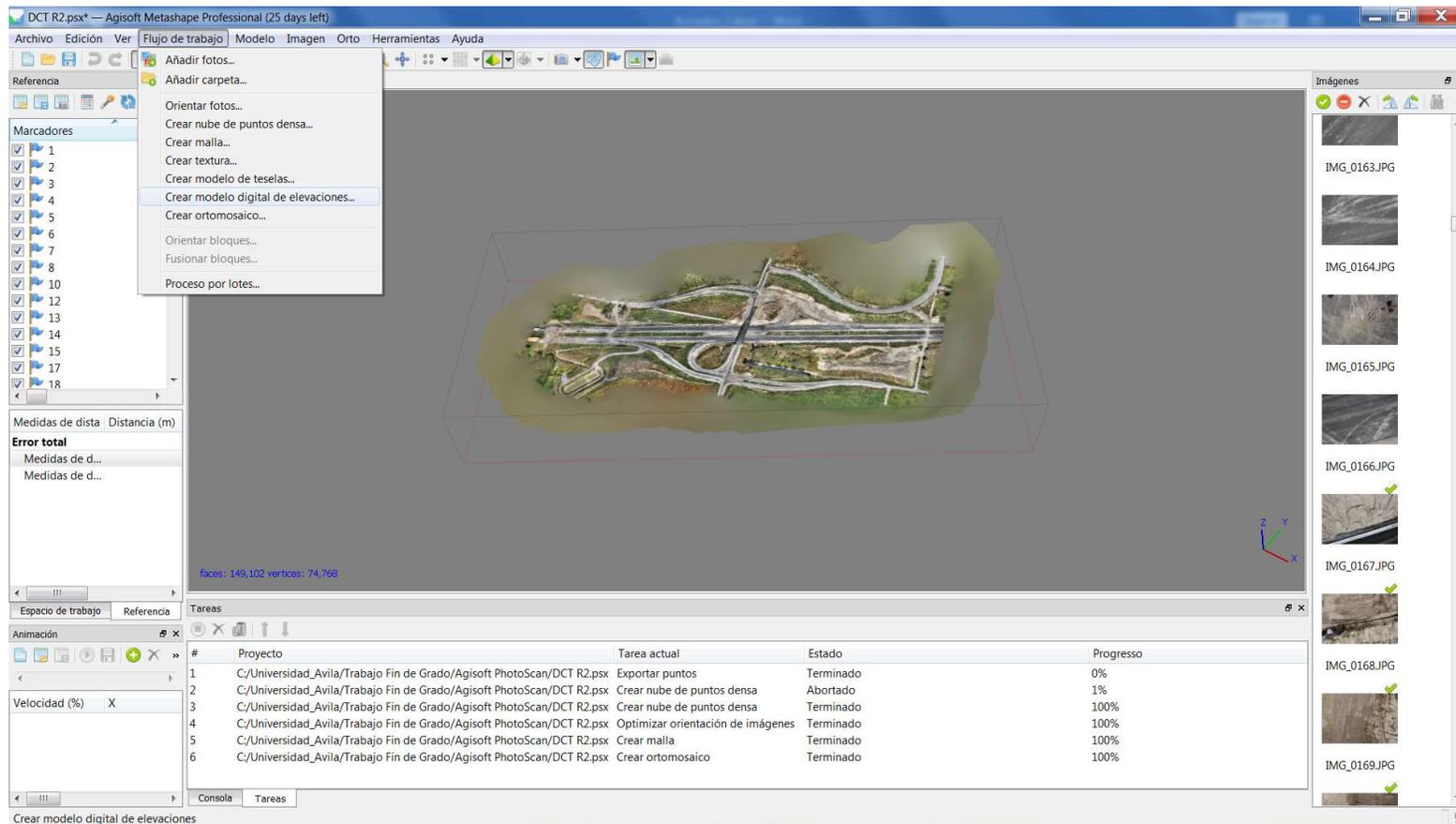


Figura 65. Herramienta para la creación del MDE dentro del flujo de trabajo. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

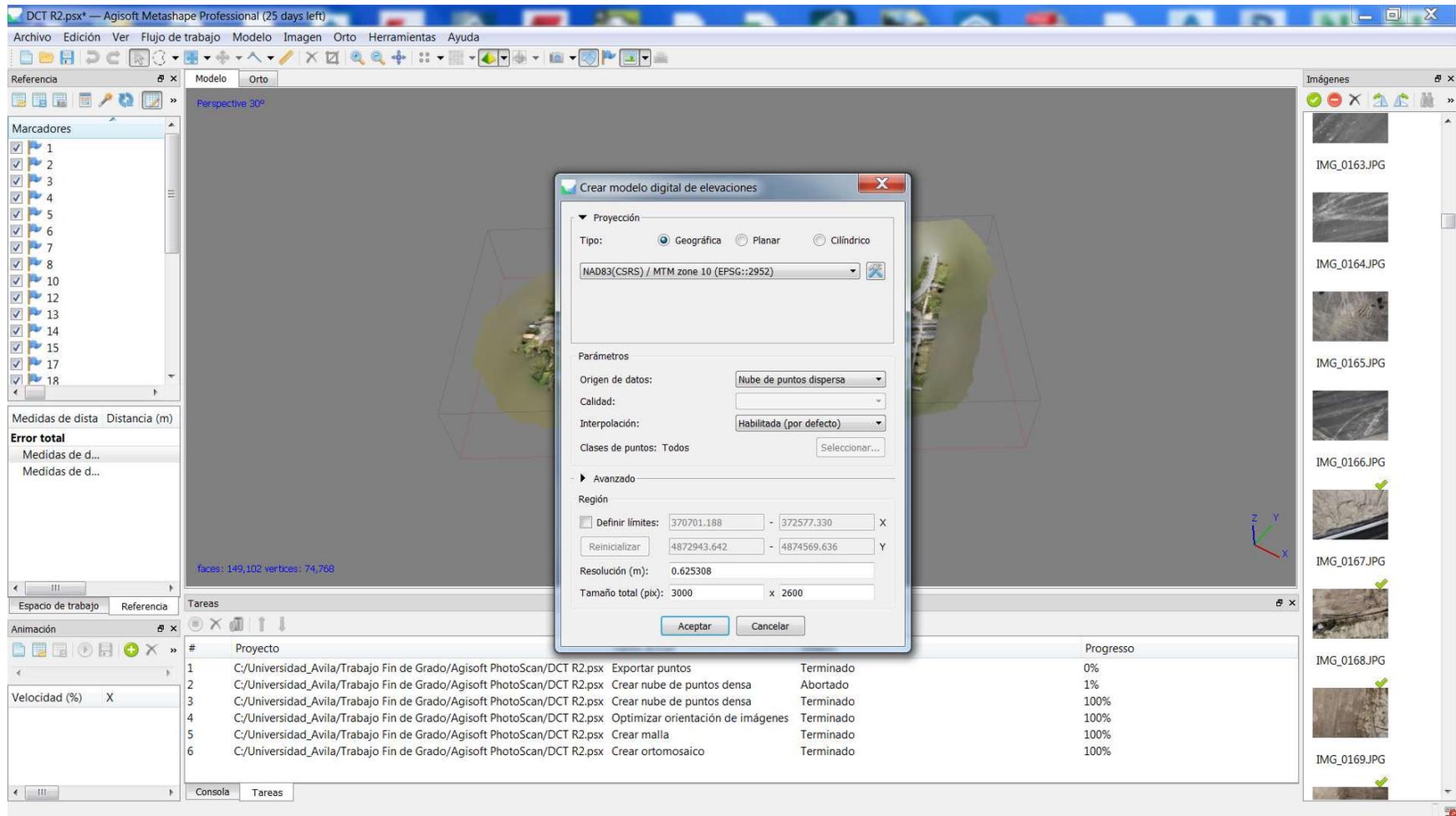


Figura 66. Definición de las características del MDE a crear. Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

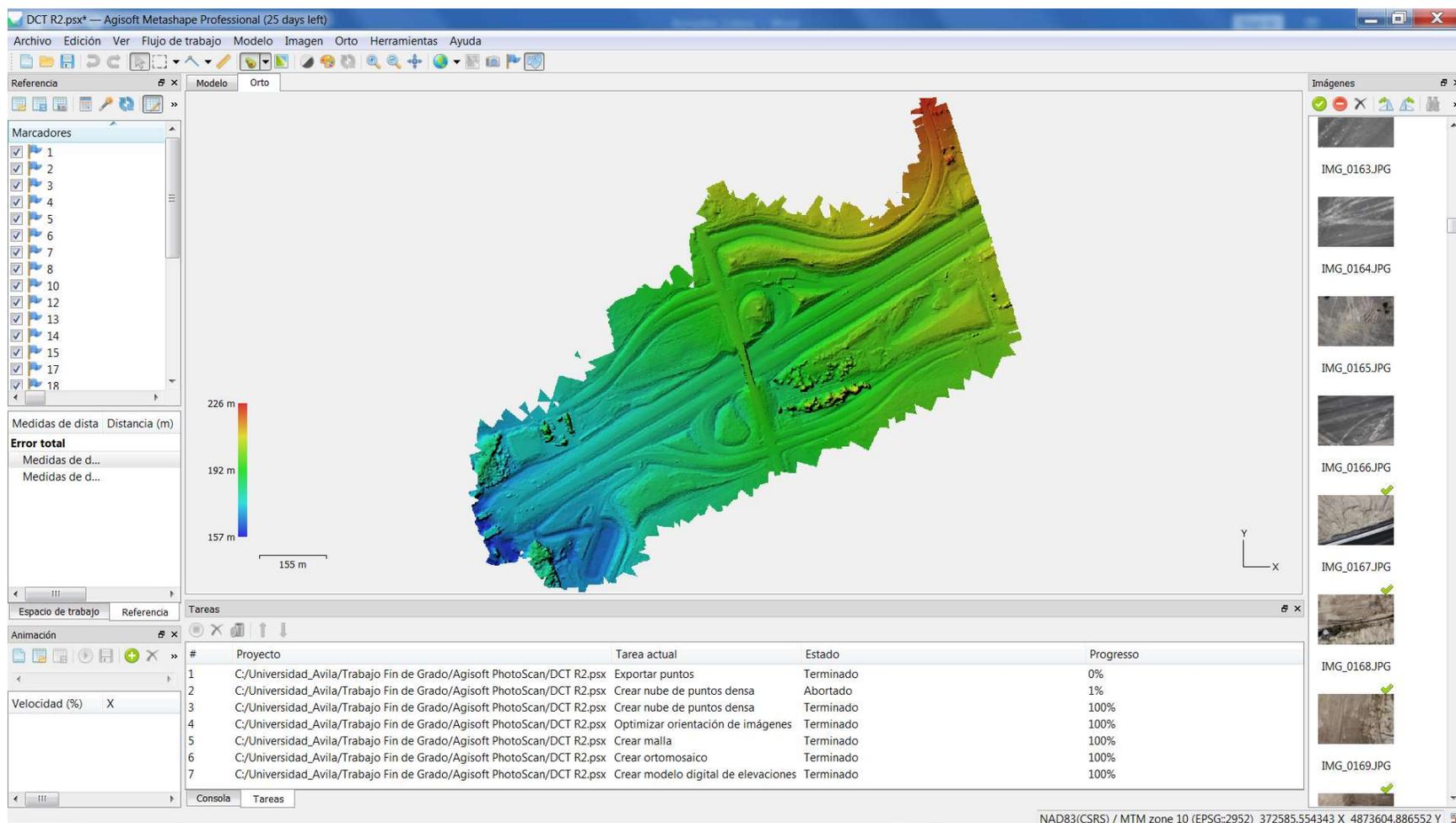


Figura 67. MDE obtenido. El proceso ha durado 1 minuto. Fuente: imagen propia

3. Nube de puntos formato LAS (Figuras 68 y 69): es la obtención de las coordenadas X,Y,Z de los puntos que componen el MDT

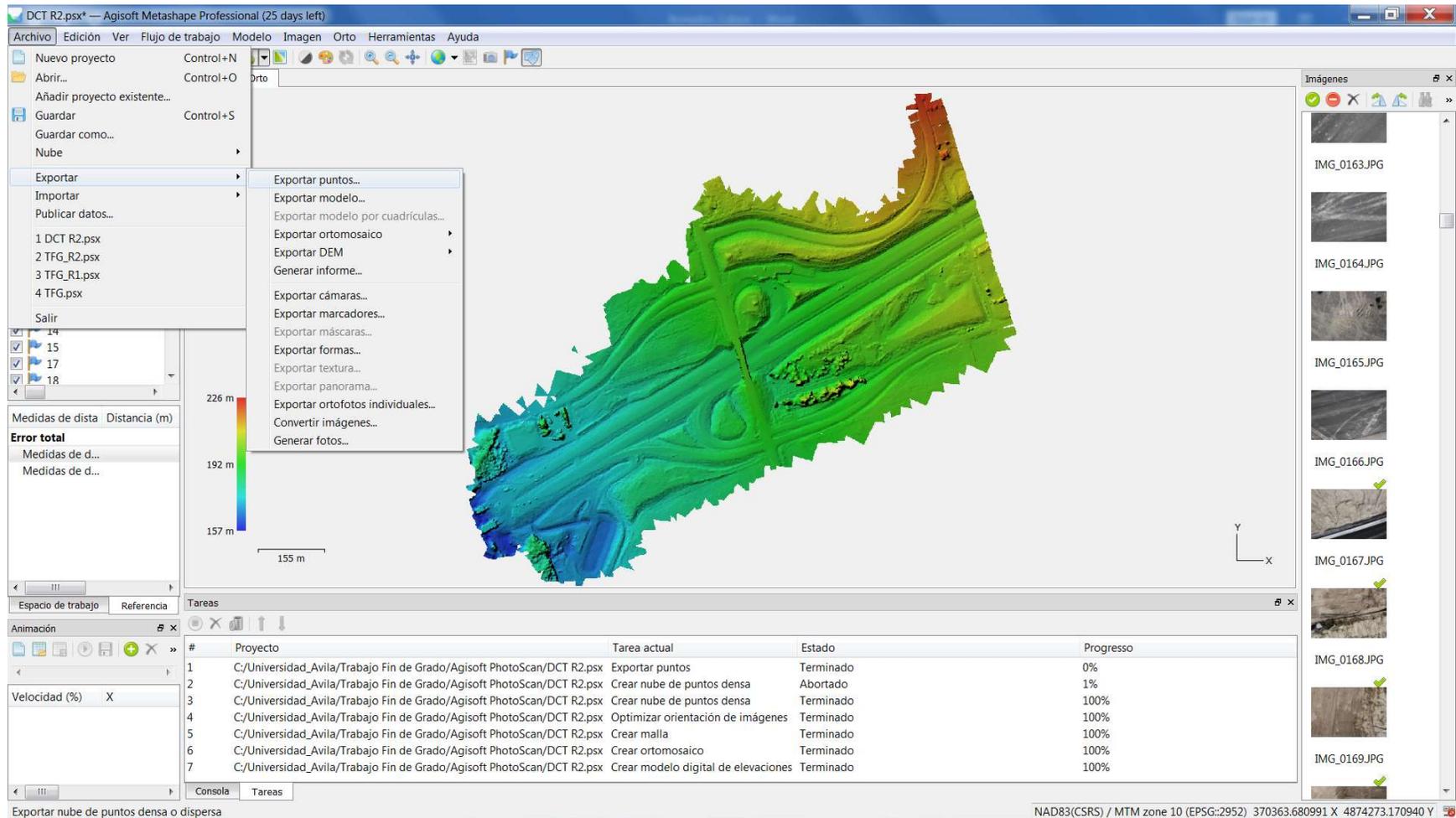


Figura 68. Herramienta para la exportación de la nube de puntos (Extensión LAS). Fuente: imagen propia

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

Exportar puntos - ASPRS LAS

Sistema de coordenadas
 NAD83(CSRS) / MTM zone 10 (EPSG::2952)

Traslación: X: 0 Y: 0 Z: 0

Parámetros de exportación
 Origen de datos: Nube de puntos dispersa

Clases de puntos: Todos

Guardar los colores de los puntos Guardar las normales de los puntos
 Guardar niveles de confianza Guardar clases de puntos

Guardar imágenes JPEG PNG

Transformación raster: Ninguna

Incluir comentario
 Codificación binaria
 Subdividir en sectores (m): 1000 x 1000

Aceptar Cancelar

#	Proyecto	Tarea actual	Estado	Progreso
1	C:/Universidad_Avila/Trabajo Fin de Grado/Agisoft PhotoScan/DCT R2.psx	Exportar puntos	Terminado	0%
2	C:/Universidad_Avila/Trabajo Fin de Grado/Agisoft PhotoScan/DCT R2.psx	Crear nube de puntos densa	Abortado	1%
3	C:/Universidad_Avila/Trabajo Fin de Grado/Agisoft PhotoScan/DCT R2.psx	Crear nube de puntos densa	Terminado	100%
4	C:/Universidad_Avila/Trabajo Fin de Grado/Agisoft PhotoScan/DCT R2.psx	Optimizar orientación de imágenes	Terminado	100%
5	C:/Universidad_Avila/Trabajo Fin de Grado/Agisoft PhotoScan/DCT R2.psx	Crear malla	Terminado	100%
6	C:/Universidad_Avila/Trabajo Fin de Grado/Agisoft PhotoScan/DCT R2.psx	Crear ortomosaico	Terminado	100%
7	C:/Universidad_Avila/Trabajo Fin de Grado/Agisoft PhotoScan/DCT R2.psx	Crear modelo digital de elevaciones	Terminado	100%

NAD83(CSRS) / MTM zone 10 (EPSG::2952) 370379.182433 X 4873856.354389 Y

Figura 69. Definición de las características de exportación de los puntos. Fuente: imagen propia

Una vez generados, se guarda el proyecto y con la herramienta de exportar se obtienen los productos deseados. En el ANEXO B, se puede consultar el informe de procesamiento que genera el software.

En este caso, se ha obtenido por un lado la ortofotografía en formato GEOTIFF (Figura 70) y por otro lado la nube de puntos LAS (Figura 69). Ambos datos, serán usados en C3D V2018 de Autodesk para obtener la superficie a partir de la nube de puntos LAS y los planos necesarios para la fotointerpretación de la ortofotografía de los diferentes departamentos del proyecto.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

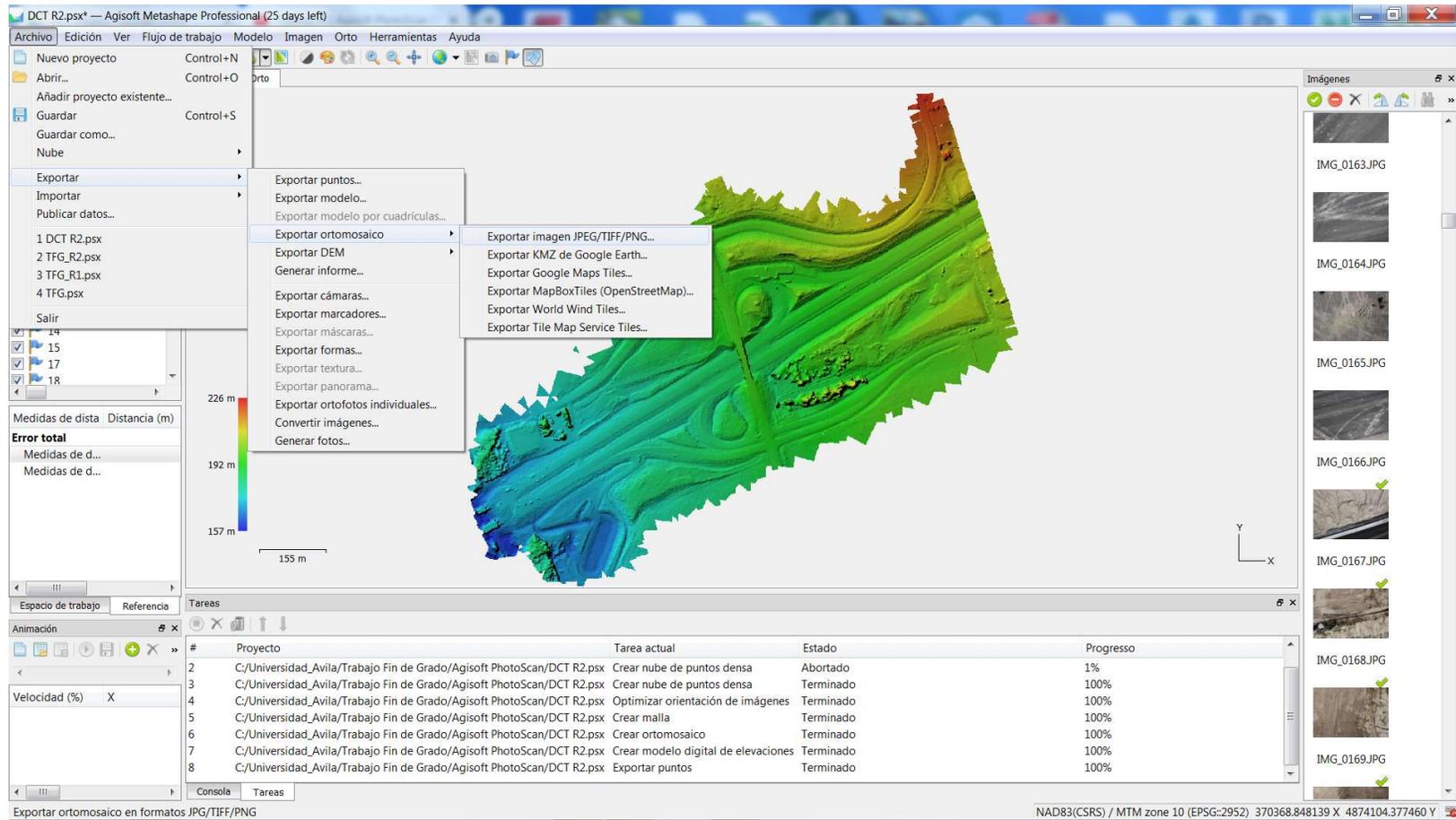


Figura 70. Herramienta para la exportación de la ortofotografía (Extensión GEOTIFF). Fuente: imagen propia

9. Análisis de los datos del vuelo fotogramétrico procesado

Una vez que se ha procesado el vuelo con el software Agisoft PhotoScan¹⁰, se obtiene un informe (ANEXO B) en el cual se puede comprobar si el vuelo ha sido ejecutado acorde con el plan inicial de vuelo calculado.

Analizando el informe, se puede llegar a la conclusión de que el vuelo fotogramétrico realizado se ajusta al vuelo fotogramétrico inicialmente calculado ya que se cubre el área propuesta de estudio pudiéndose obtener el modelo 3D de la misma. También podemos comprobar como los errores en los puntos de control que se han usado en el vuelo son inferiores a las tolerancias máximas calculadas para los mismos en el capítulo 6.2 del presente trabajo fin de grado.

La altura de vuelo media calculada es ligeramente inferior a la inicial y esto pudo ser debido a los vientos existentes durante la ejecución del vuelo que impidieron alcanzar al dron la altura deseada y también a las diferencias de elevación del trabajo de la zona de estudio.

En la figura 1 del informe, se pueden observar zonas azules donde el número de imágenes es muy elevado. Estas zonas indican los diferentes despegues y aterrizajes del dron. También puede indicar solapes entre pasadas contiguas que, por algún motivo, presumiblemente el viento, impidió al dron respetar la distancia entre pasadas.

En el informe se muestra el número de fotografías cargadas y el número de fotografías alineadas. Aquí se puede observar como el número de fotografías es ligeramente inferior al calculado inicialmente. Esto fue debido a un problema con el sensor de la cámara el cual provocó que un pequeño número de fotografías (23) fuesen de baja calidad y por lo tanto se desecharon para el procesado del vuelo. Se determinó que el sensor de la cámara empezaba a dar señales de desgaste debido al uso semanal del mismo por lo que se recomendó el cambio del mismo para subsanar el problema.

En definitiva, se puede decir que la ejecución del vuelo ha sido realizada con éxito y acorde con los parámetros teóricos previamente calculados.

10. Uso de la información: fotointerpretación

Con los productos obtenidos a partir del vuelo fotogramétrico con dron, cada departamento usó la información con el objetivo de realizar un balance semanal de las diferentes actividades realizadas en el proyecto.

10.1. Volúmenes

El departamento de producción de movimiento de tierras con ayuda del departamento de topografía, realizó el cálculo del volumen de tierras movido a origen y en el mes actual.

Para ello, se necesita por un lado los volúmenes teóricos del proyecto y por otro los obtenidos a partir de la nube de puntos (Fichero LAS) obtenida del vuelo. Todos estos cálculos, quedan representados en las secciones transversales donde se puede ver además de los volúmenes de relleno y corte, la calidad de ejecución de los mismos ya que se puede analizar cómo se ajustan los taludes ejecutados a la sección tipo teórica pudiendo cuantificar los excesos y defectos en los taludes de relleno y corte. En el ANEXO C, se pueden ver los planos con los perfiles transversales obtenidos del vuelo y su comparación con la sección tipo teórica.

10.2. Medio Ambiente

El departamento de medio ambiente del proyecto utilizó la ortofotografía para el análisis de las siguientes actividades:

- Seguimiento de las plantaciones en los taludes del proyecto: se pudo ver el éxito en el crecimiento de las plantaciones además de localizar zonas en las cuales las plantaciones hayan muerto o zonas en las cuales se haya olvidado la aplicación de la actividad. De esta manera se controlaron los ahorros o sobrecostes de esta actividad.
- Erosión en taludes por lluvias: se observó en los taludes las erosiones provocadas debido a las lluvias, lo cual permitió actuar de manera eficiente y localizada, minimizando los tiempos y por lo tanto los costes.

- Balsas de recogida de aguas: se observó si las balsas construidas para la recogida de las aguas que vienen del drenaje de la infraestructura, habían sufrido daños y si era necesario de alguna actuación.
- Vertidos de líquidos: a partir de la imagen aérea, se pudieron identificar grandes manchas de vertidos de líquidos provenientes de la maquinaria que trabaja en el proyecto. De esta manera, se pudo identificar a la empresa subcontratista que trabajaba en la zona y pedirle las responsabilidades correspondientes por el incumplimiento de las normas medioambientales.
- Funcionamiento del drenaje de la obra: se identificaron puntos donde el drenaje longitudinal y transversal no funcionó de la manera adecuada provocando depósitos de sedimentos inesperados en ríos existentes.
- Control de tala de vegetación fuera de los límites del proyecto: se identificaron zonas desbrozadas fuera de los límites del proyecto.

10.3. Seguridad y Tráfico

El departamento de seguridad y tráfico usó la ortofotografía para ver cómo se desarrolla el tráfico dentro y fuera del proyecto:

- Control de accesos externos al proyecto: se identificaron los accesos no permitidos desde el exterior de la obra viendo las marcas que dejan los vehículos en la vegetación o en los distintos materiales. Así se pudo actuar de una manera rápida evitando problemas mayores.
- Eficacia de la ordenación del tráfico dentro de la obra: se observó si las medidas tomadas por parte del departamento para controlar el tráfico dentro de la obra son efectivas o no. Los vehículos dejan muchas señales de paso en los distintos materiales y se pueden identificar si la señalización ha sufrido alguna variación que hace que lo planificado no funcione del todo.

- Control de los sistemas de seguridad en estructuras: en las estructuras, se identificaron si los sistemas de protección para los trabajos en altura siguen instalados o no. De esta manera se pudo actuar en coordinación con otros departamentos para buscar la solución más apropiada.
- Identificación de maquinaria pesada en obra: se identificó la maquinaria pesada existente en una determinada zona y ver si esa maquinaria está registrada en el sistema de control del proyecto. Así se pudo actuar de manera rápida y efectiva solicitando la actualización de la documentación de la maquinaria a la empresa correspondiente.

10.4. Planificación: estado del proyecto

El departamento de planificación y producción usó la ortofotografía para actualizar la planificación del proyecto mes a mes:

- Terraplenes y desmontes: se identificaron el estado de los rellenos y corte de la obra y se decidió si hacía falta aportar más recursos para su finalización y minimizar los retrasos.
- Materiales: de la misma manera, se identificó el estado las diferentes capas de materiales finalizadas o pendientes.
- Acopios existentes: se identificaron los diferentes acopios de los distintos materiales existentes y decidió una estrategia de actuación, primero para el correcto uso del acopio y segundo para la carga y transporte a vertedero del acopio que lo necesite. Así se minimizaron los costes por gasto de materiales donde no son necesarios y mover y transportar el material a vertedero una sola vez.

- Control de maquinaria existente: se pudo hacer una lista de la maquinaria existente en cada uno de los tajos y analizar si el equipo estaba bien dimensionado para la tarea requerida.
- Control de producción plantaciones: se analizaron las zonas en las cuales se habían hecho las respectivas plantaciones y las zonas pendientes.
- Control de estructuras: se analizaron las estructuras y ver su estado actual. Se pudo valorar si las estructuras estaban realizándose acorde con la planificación deseada o si por el contrario existía algún retraso.
- Destrozos por lluvias: se identificaron zonas que estaban terminadas y que habían sido dañadas por episodios de fuertes tormentas. Se pudo realizar informes con el coste que supondría la reparación de las diferentes zonas y presentar al cliente las respectivas reclamaciones. Estos informes también podrían ser válidos para presentar a los seguros en caso de ser necesario.
- Señalización horizontal y vertical: se identificaron todos los elementos de señalización tanto horizontal (líneas, barreras de hormigón instaladas, barreras de seguridad etc) como vertical (pórticos, balizas, señales de tráfico etc). Así se pudo hacer un seguimiento de la instalación de todos los elementos además de la calidad en la localización de los mismos comprobando si la posición de los elementos corresponde con el diseño.
- Drenaje longitudinal y transversal: se analizó el drenaje para comprobar primero la cantidad ejecutada y segundo si el drenaje funcionó como debe. Se pudieron observar acumulación de sedimentos en puntos no deseados que indicarían el mal funcionamiento de los drenajes construidos.

11. CONCLUSIONES

Una vez analizado el vuelo fotogramétrico realizado, los productos obtenidos del mismo, ya comentados en el capítulo 9 del presente trabajo fin de grado, y observado que se obtienen los objetivos planteados con resultados satisfactorios, se concluye que desde el punto de vista de los proyectos de ingeniería, el uso de drones para el control y seguimiento de las obras ejecutadas es un gran aliado.

Sí es cierto que es necesaria una inversión inicial en material y formación para el desarrollo de los trabajos a realizar, pero por otro lado, esta inversión se amortiza rápidamente una vez que se realizan vuelos fotogramétricos de manera regular. En este caso en particular, al ser un proyecto de larga duración (3-5 años) y al establecerse un calendario de vuelos fotogramétricos semanales, la inversión inicial está más que justificada.

Por el contrario, uno de los aspectos negativos que se ha encontrado en este proyecto de ingeniería, en particular, es la gestión de la inmensa cantidad de datos generada en cada uno de los vuelos ejecutados. Hay que tener en cuenta el número de fotografías adquiridas, las ortofotografías generadas, las nubes de puntos obtenidas en el procesado del vuelo, videos etc; lo que implica tener una buena estructura organizativa para hacer que los productos generados sean útiles para cada uno de los departamentos que hace uso de los mismos.

En mi opinión, el uso de drones acabará desplazando, de una manera inevitable, a la tradicional fotogrametría, simplemente por la reducción de coste y la reducción de riesgo asociado al acceso a zonas peligrosas. En el caso concreto de los proyectos de ingeniería, la obtención de ortofotografías, nube de puntos y videos de manera semanal, permite tener toda la información necesaria casi en tiempo real de lo que ocurre en el proyecto.

Finalmente añadir que el uso de los drones en fotogrametría, es una herramienta muy útil para el análisis de lo que está ocurriendo en cada una de las áreas que afectan a los diferentes departamentos involucrados en un proyecto de ingeniería.

12. ANEXO A. BIBLIOGRAFÍA Y WEBS CONSULTADAS

12.1. Bibliografía

- 1 RAMIREZ, JM. (2015). Aspectos reglamentarios en Los drones y sus aplicaciones a la Ingeniería civil. Madrid: Dirección General de Industria y Energía de la Comunidad de Madrid (Eds).
- 2 MARTÍNEZ, E. (2015). Piloto de RPAS multicoptero. Guía de referencia. ISBN 9788460654674
- 3 NEWCOME, L. R. (2004). Unmanned Aviation. A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles. Reston, Virginia (EEUU): American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- 4 AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International).
- 5 MONTESINOS, S. (2015). Aplicaciones de los Drones en Agricultura en Los drones y sus aplicaciones a la Ingeniería civil. Madrid: Dirección General de Industria y Energía de la Comunidad de Madrid (Eds).
- 6 Asociacion Profesional del Cuerpo de Ingenieros Geógrafos. Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2008). Fotogrametría y Teledetección. Madrid: IGN
- 7 Normas Técnicas Cartográficas de Andalucía. (2013). NTCA_02005_Procesos. Vuelo fotogramétrico. Sevilla: Junta de Andalucía
- 8 Normas Técnicas Cartográficas de Andalucía. (2013).NTCA_02008_Procesos. Apoyo a vuelos fotogramétricos. Sevilla: Junta de Andalucía.
- 9 K. Kraus. (2004). Photogrammetry. Geometry from Images and Laser Scans, 2nd edition. Berlin: Walter de Gruyter, 2004, pp. 419-427.
- 10 Manual de Agisoft PhotoScan
- 11 Manual de Autocad Civil 3D 2018
- 12 Manual Mission Planner
- 13 Apuntes de fotogrametría clásica y digital. Universidad de Jaén
- 14 Manual GPS Leica GS14
- 15 Manual Smartvox Viva
- 16 Manual dron InfitiveJIB Meridian 300

12.2. Paginas web consultadas

- 17 www.dji.com
- 18 www.schiebel.net
- 19 www.tc.canada.ca
- 20 www.leica-geosystems.com
- 21 www.infinitejib.com

22 www.canon.com

23 www.dell.com

24 www.agisoft.com

25 www.Autodesk.com

26 www.ardupilot.org

27 www.almanac.ca

28 www.cansel.ca

29 www.nrcan.gc.ca

30 www.smartnetna.com

31 www.mitma.gob.es

13. ANEXO B. INFORME DE PROCESAMIENTO DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO

Agisoft Metashape

Informe de procesamiento



Datos del levantamiento

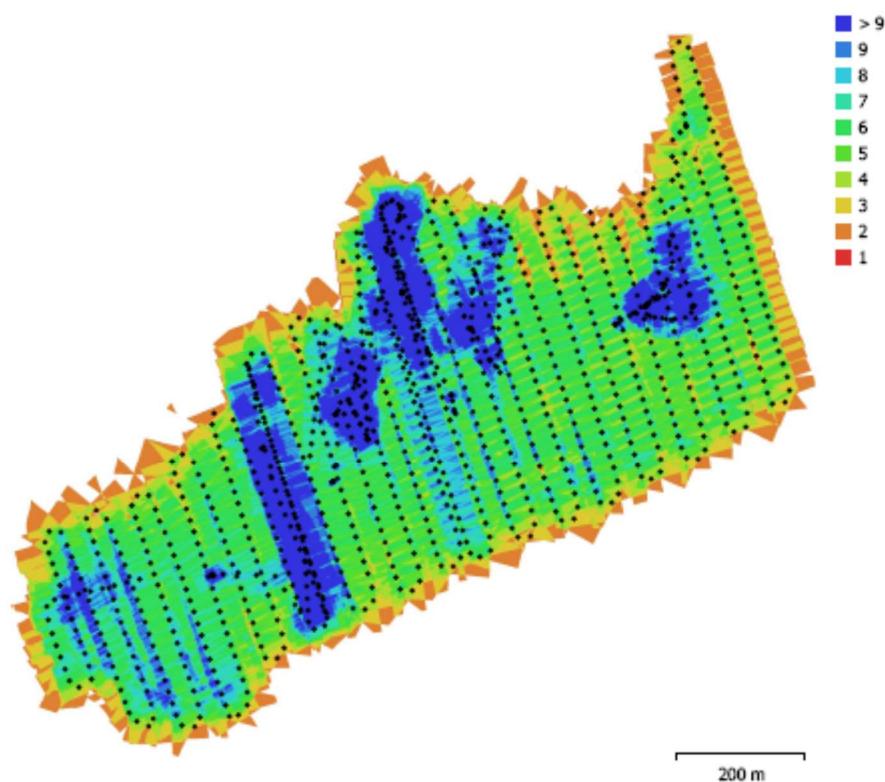


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 1,161	Imágenes alineadas: 1,115
Altitud media de vuelo: 81.5 m	Puntos de paso: 1,149,361
Resolución en terreno: 1.37 cm/pix	Proyecciones: 4,167,466
Área cubierta: 0.641 km ²	Error de reproyección: 1.2 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
Canon EOS REBEL SL1 (24 mm)	5184 x 3456	24 mm	4.38 x 4.38 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

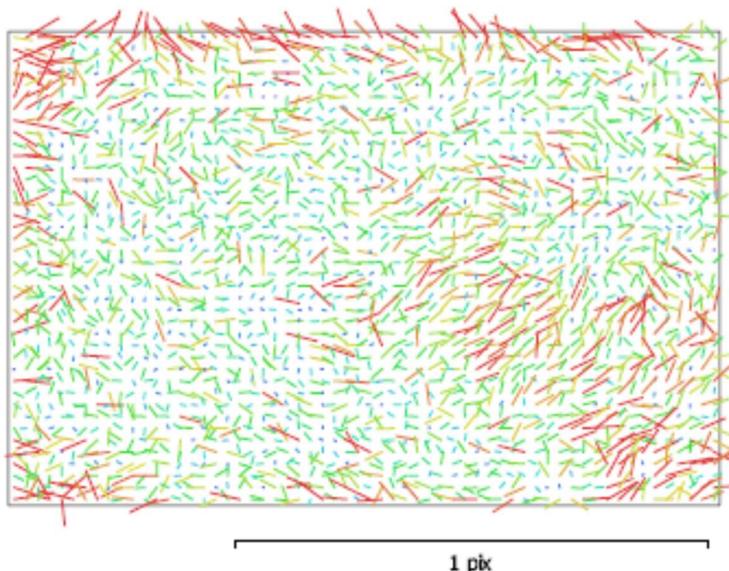


Fig. 2. Gráfico de residuales para Canon EOS REBEL SL1 (24 mm).

Canon EOS REBEL SL1 (24 mm)

1161 imágenes

Tipo **Cuadro** Resolución **5184 x 3456** Distancia focal **24 mm** Tamaño de píxel **4.38 x 4.38 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
F	5746.71	0.17	1.00	-0.24	0.29	-0.09	0.08	-0.18	0.09	-0.05	0.03	-0.09
Cx	10.8454	0.053		1.00	-0.11	0.16	-0.11	0.01	0.00	-0.01	0.49	-0.01
Cy	8.31693	0.048			1.00	0.07	0.13	-0.04	0.01	-0.00	-0.06	0.38
B1	-0.360681	0.0099				1.00	-0.04	0.03	-0.04	0.05	-0.03	-0.02
B2	-0.281507	0.0098					1.00	-0.01	0.01	-0.00	0.01	-0.05
K1	-0.129288	5.5e-05						1.00	-0.97	0.91	-0.00	0.02
K2	0.158006	0.00042							1.00	-0.98	-0.01	-0.00
K3	-0.0485701	0.00095								1.00	0.01	-0.00
P1	-0.000535189	2e-06									1.00	-0.07
P2	-0.000642681	1.8e-06										1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Puntos de control terrestre

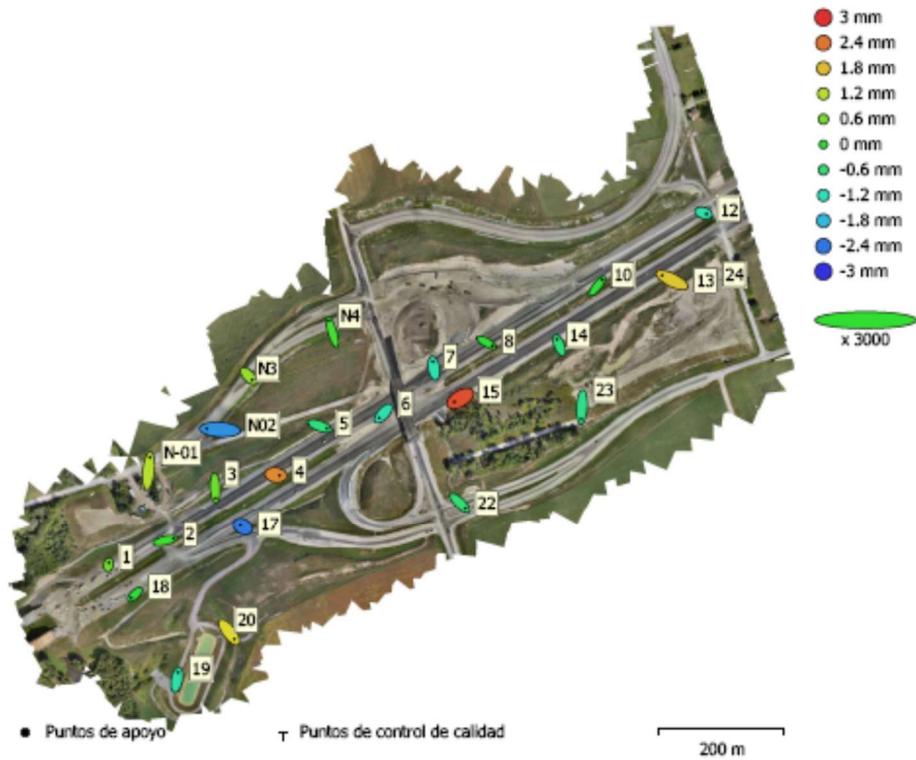


Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Error en XY (mm)	Total (mm)
24	5.62511	6.69593	1.24294	8.74514	8.83302

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

Nombre	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
1	0.409593	2.18958	0.508418	2.28485	0.311 (8)
10	5.29136	6.84726	-0.0884523	8.65397	0.180 (6)
12	3.27733	-1.0494	-1.06923	3.60352	0.232 (6)
13	-10.5566	5.15689	1.71136	11.8728	0.300 (12)
14	-2.46466	6.52845	-0.604147	7.0043	0.231 (6)
15	-6.27337	-3.72248	2.74231	7.79309	0.226 (5)
17	-2.55261	1.47298	-2.37837	3.7871	0.163 (5)
18	-3.91608	-3.73039	-0.116803	5.40973	0.207 (9)
19	1.44386	7.74263	-1.02258	7.94221	0.171 (6)
2	8.66727	2.01885	0.117823	8.90006	0.211 (6)
20	5.57739	-7.48422	1.54737	9.46125	0.232 (5)
22	6.14283	-5.83025	-0.575628	8.48867	0.233 (8)
23	-0.678827	-12.8981	-0.770687	12.9389	0.393 (7)
24	-5.14384	-4.69096	0.0736275	6.96201	0.352 (6)
3	0.500212	-10.9551	0.534439	10.9796	0.124 (7)
4	3.98334	-0.597448	2.21737	4.5979	0.358 (10)
5	7.81822	-2.79536	-0.635429	8.3272	0.198 (6)
6	-4.39706	-4.84355	-1.06461	6.62779	0.339 (6)
7	-1.12705	6.93363	-1.08729	7.10829	0.132 (5)
8	6.35548	-3.5092	-0.0699815	7.26027	0.242 (5)
N-01	1.41894	14.3312	1.16282	14.4482	0.050 (2)
N02	-14.176	0.896769	-2.17554	14.37	0.166 (4)
N3	3.9093	-4.11732	0.870131	5.74387	0.299 (9)
N4	-3.50895	12.1055	0.17308	12.605	0.343 (9)
Total	5.62511	6.69593	1.24294	8.83302	0.265

Tabla 4. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

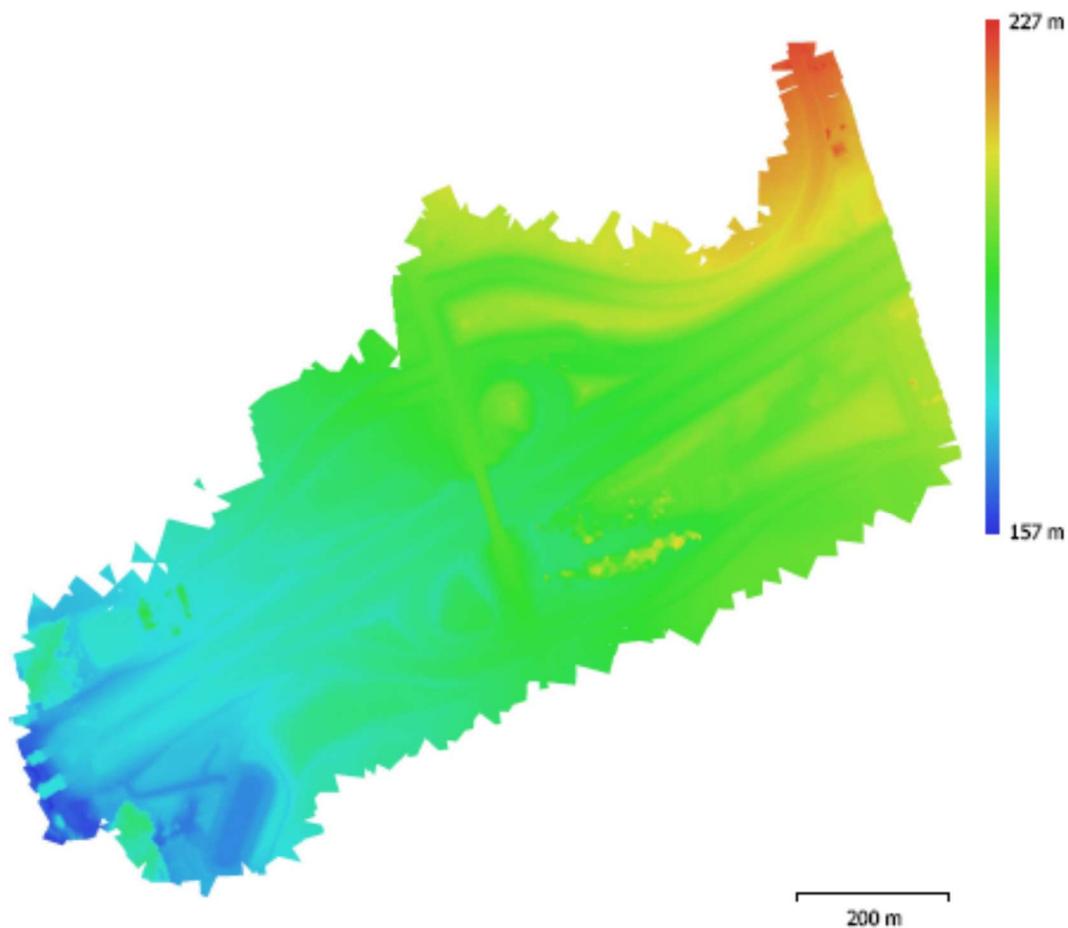


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 61.6 cm/pix
Densidad de puntos: 2.64 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	1161
Cámaras orientadas	1115
Marcadores	24

Formas

Sistema de coordenadas	Local Coordinates (m)
Sistema de coordenadas	NAD83(CSRS) / MTM zone 10 (EPSG::2952)
Ángulo de rotación	Guñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	1,149,361 de 1,243,677
RMS error de reproyección	0.162269 (1.2018 px)
Error de reproyección máximo	1.01624 (45.9977 px)
Tamaño promedio de puntos característicos	6.88364 px
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	3.80893

Parámetros de orientación

Precisión	Media
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	No
Puntos clave por foto	40,000
Puntos de paso por foto	4,000
Filtrar puntos por máscaras	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	2 horas 12 minutos
Tiempo de orientación	9 segundos

Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	2 minutos 17 segundos

Modelo

Caras	149,102
Vértices	74,768
Colores de vértices	3 bandas, uint8

Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Arbitrario
Origen de datos	Nube de puntos dispersa
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	14 segundos
Versión del programa	1.6.1.10009

MDE

Tamaño	3,047 x 2,641
Sistema de coordenadas	NAD83(CSRS) / MTM zone 10 (EPSG::2952)

Parámetros de reconstrucción

Origen de datos	Nube de puntos dispersa
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	36 segundos
Versión del programa	1.6.1.10009

Ortomosaico

Modelo 3D y ortofotografía de la autovía 407 en Ontario, Canadá, entre PK 24+600 y PK 26+000 a partir de un vuelo con dron

Generales

Tamaño	8,375 x 7,567
Sistema de coordenadas	NAD83(CSRS) / MTM zone 10 (EPSG::2952)
Cobres	3 bandas, uint8

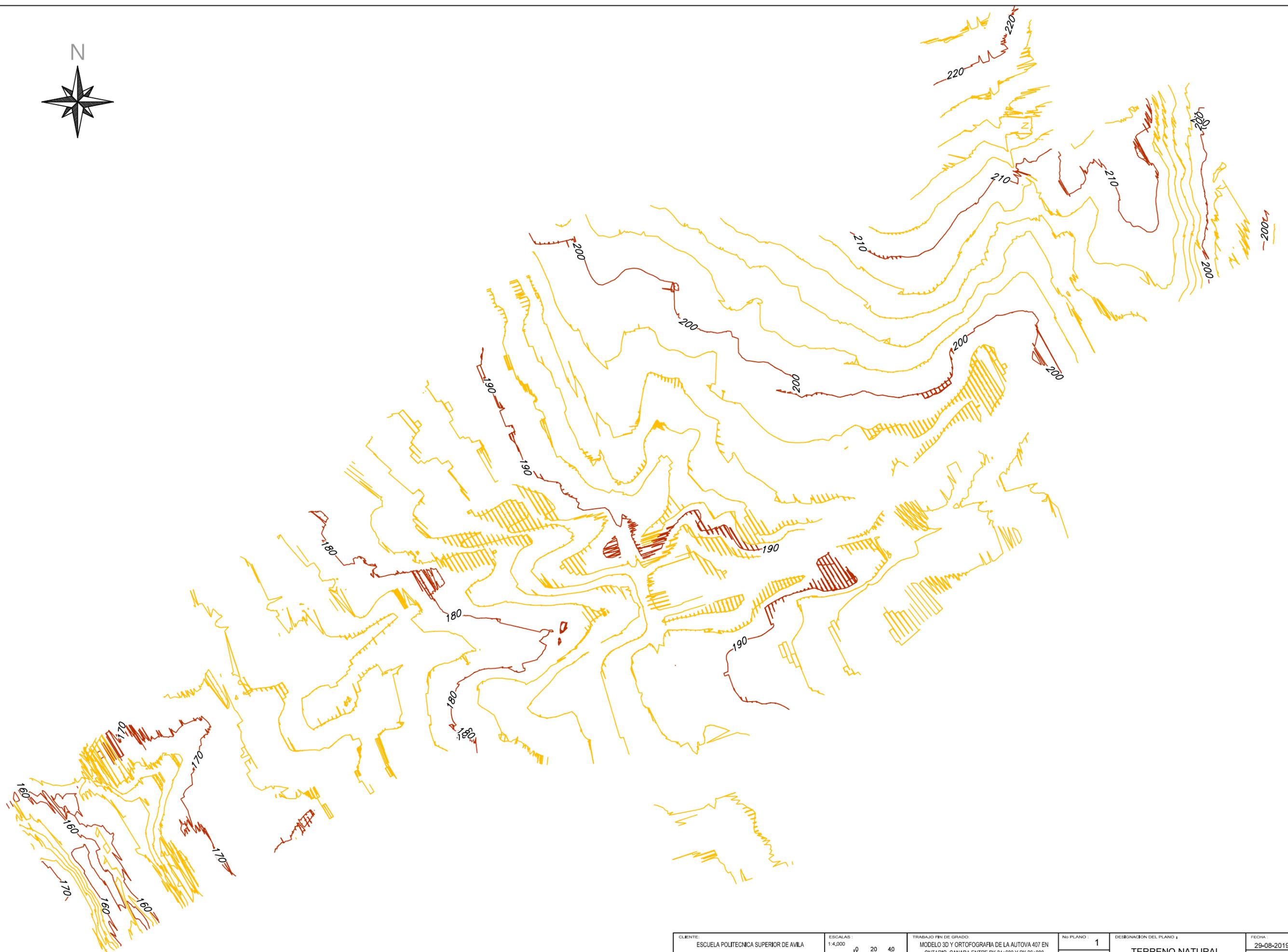
Parámetros de reconstrucción

Modo de mezcla	Mosaico
Permitir el cierre de agujeros	Sí

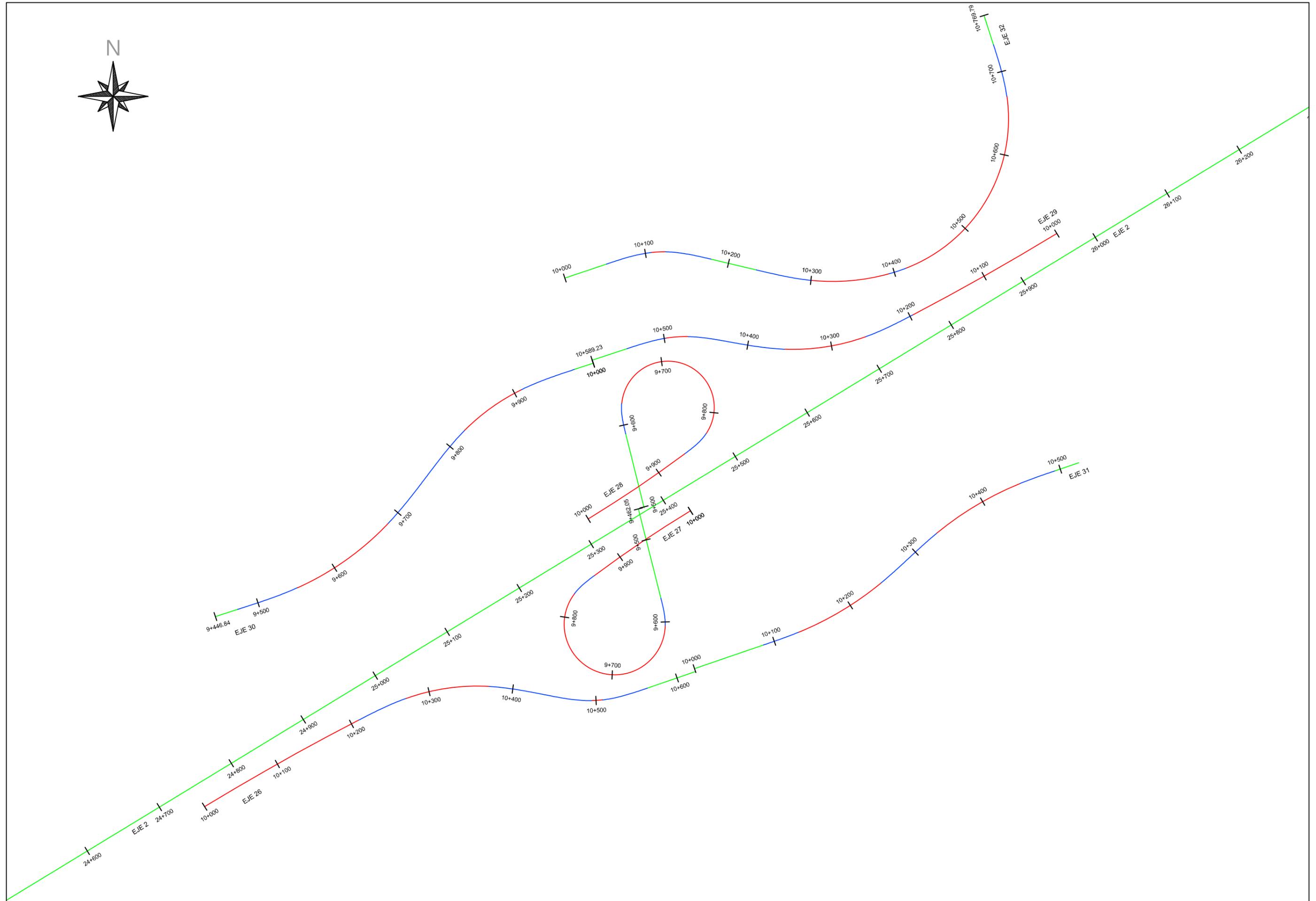
Sistema

Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	1.6.1 build 10009
OS	Windows 64 bit
RAM	31.94 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-4800MQ CPU @ 2.70GHz
GPU(s)	Quadro K3100M

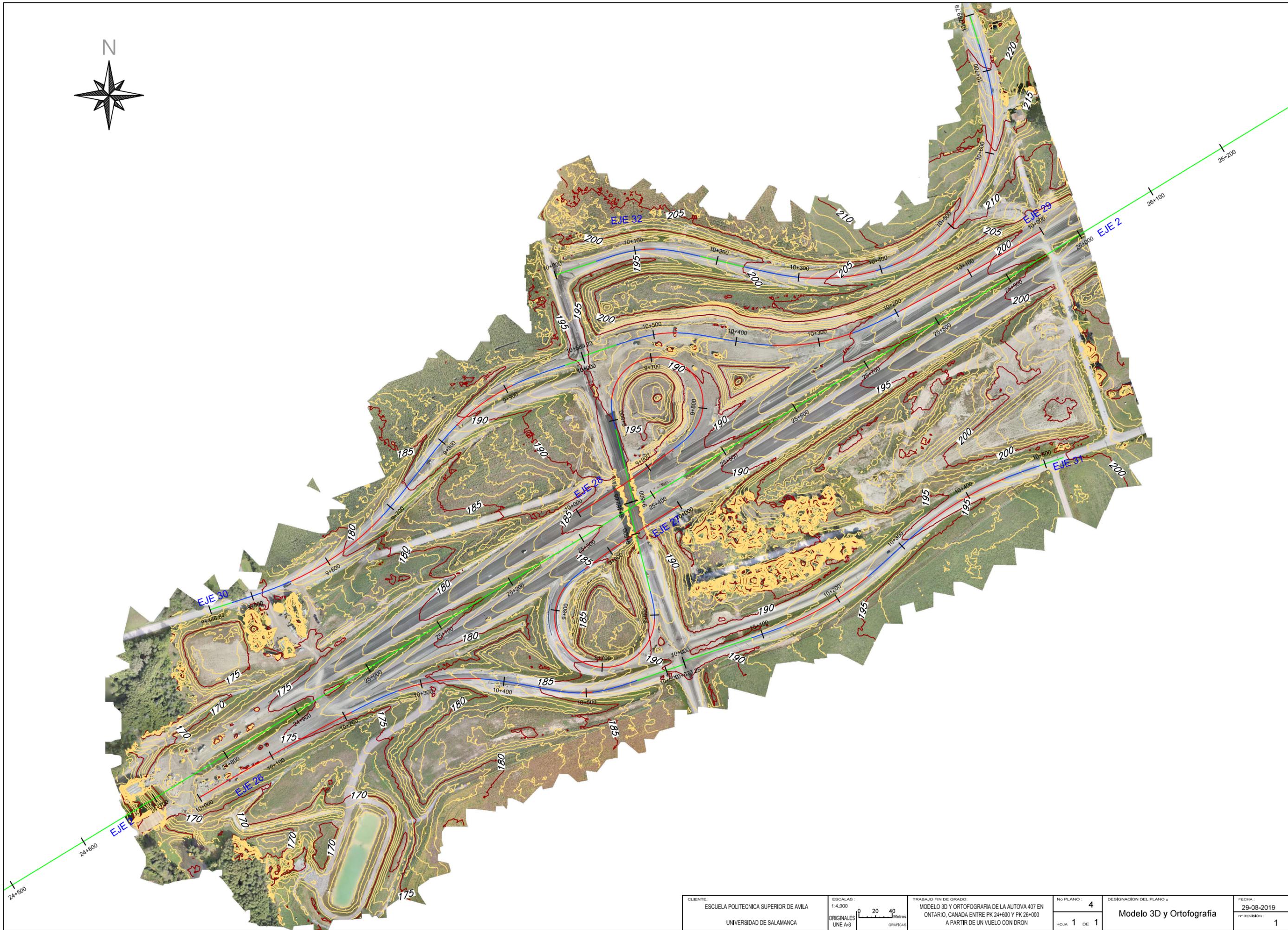
14. ANEXO C. PLANOS



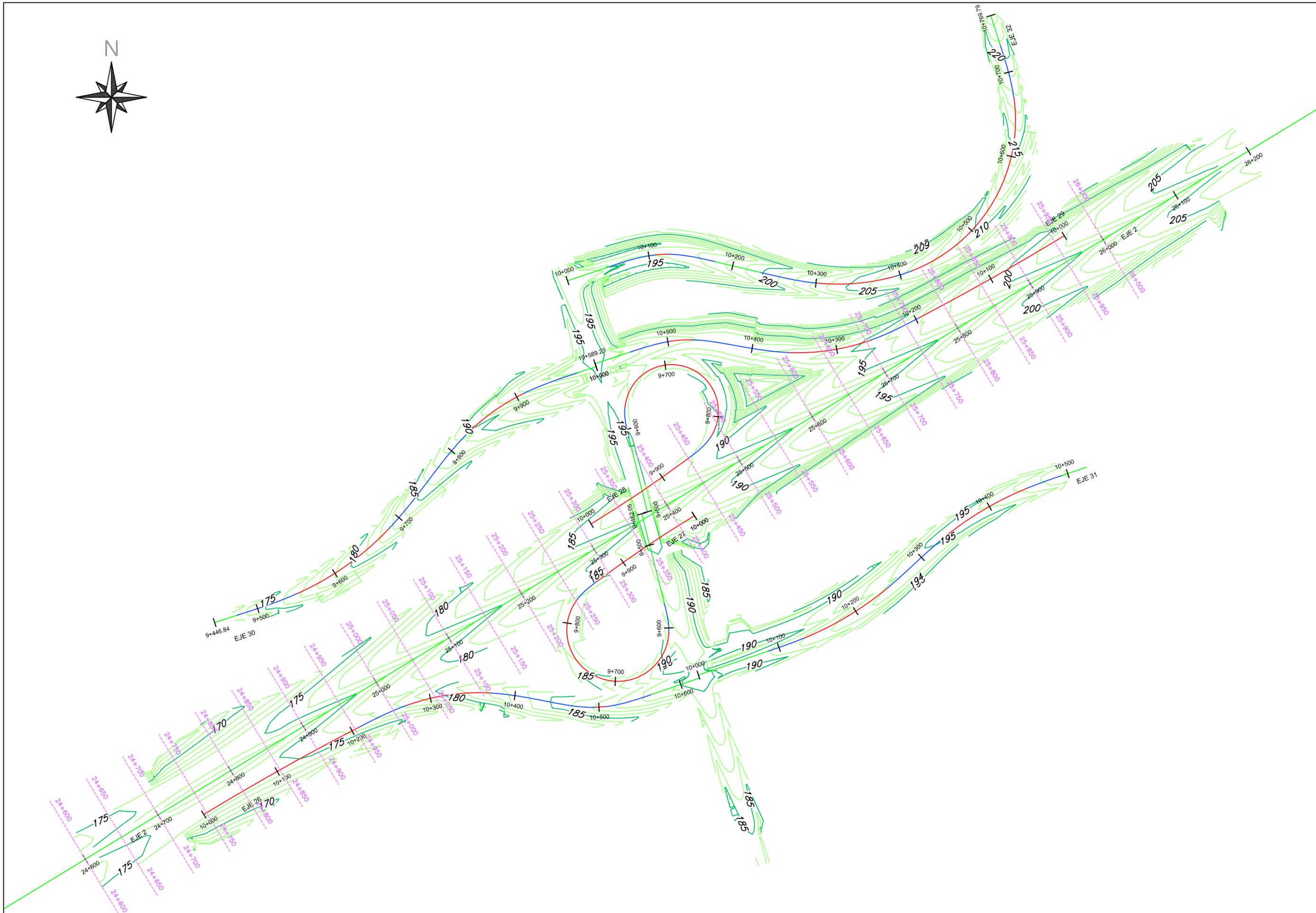
CLIENTE: ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE AVILA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA	ESCALAS: 1:4,000 ORIGINALES UNE A-3	 0 20 40 Metros GRAFICAS	TRABAJO FIN DE GRADO: MODELO 3D Y ORTOFOTOGRAFIA DE LA AUTOVA 407 EN ONTARIO, CANADA ENTRE PK 24+600 Y PK 26+000 A PARTIR DE UN VUELO CON DRON	No. PLANO: 1	DESIGNACION DEL PLANO: 1	FECHA: 29-08-2019
				HOJA 1 DE 1	TERRENO NATURAL	1ª REVISION 1



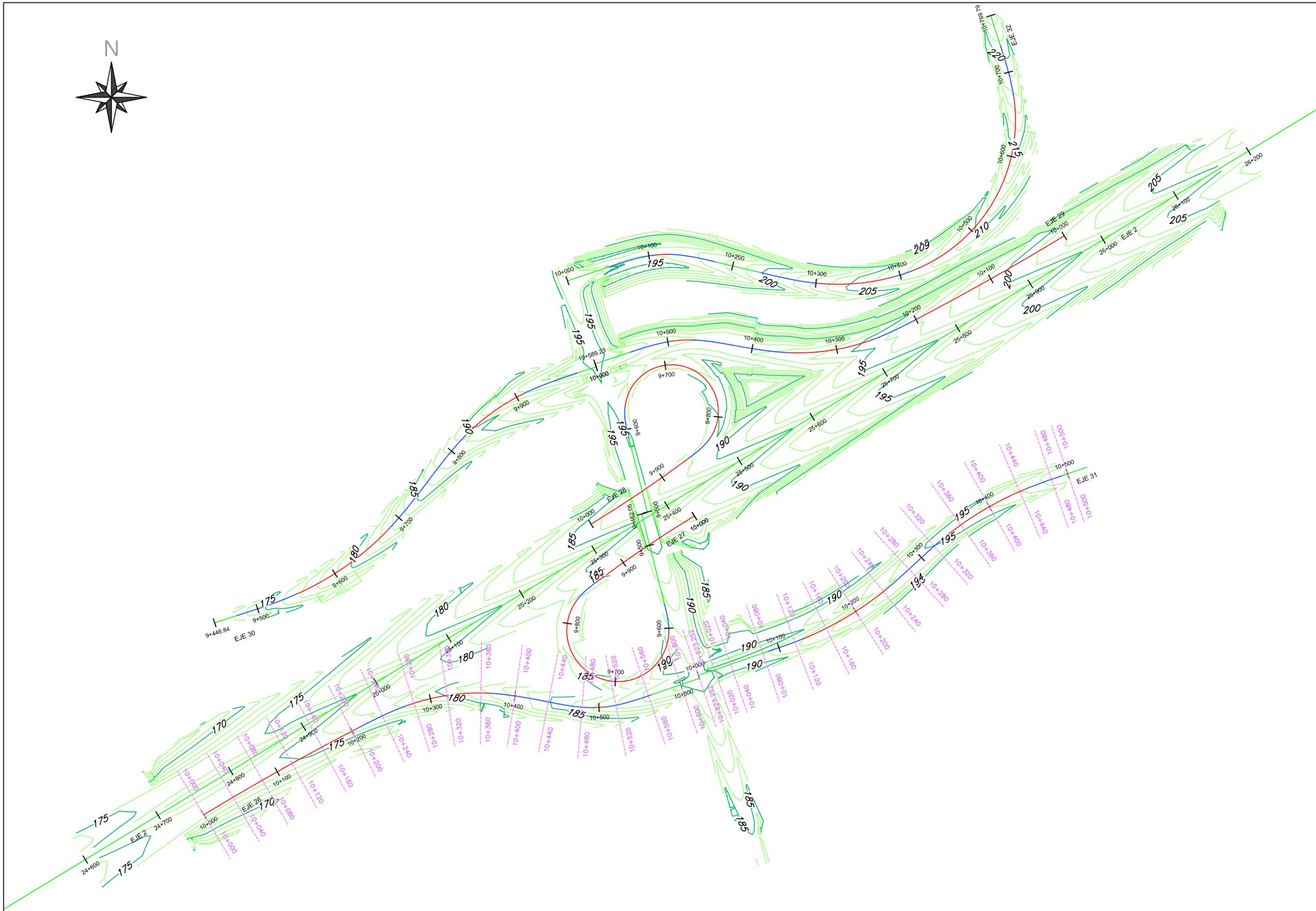
CLIENTE: ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE AVILA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA	ESCALAS: 1:4,000 ORIGINALES UNE A-3		TRABAJO FIN DE GRADO: MODELO 3D Y ORTOFOTOGRAFIA DE LA AUTOVA 407 EN ONTARIO, CANADA ENTRE PK 24+600 Y PK 26+000 A PARTIR DE UN VUELO CON DRON	No PLANO: 2	DESIGNACION DEL PLANO: Alineaciones	FECHA: 29-08-2019
				HOJA 1 DE 1		1ª REVISIÓN: 1



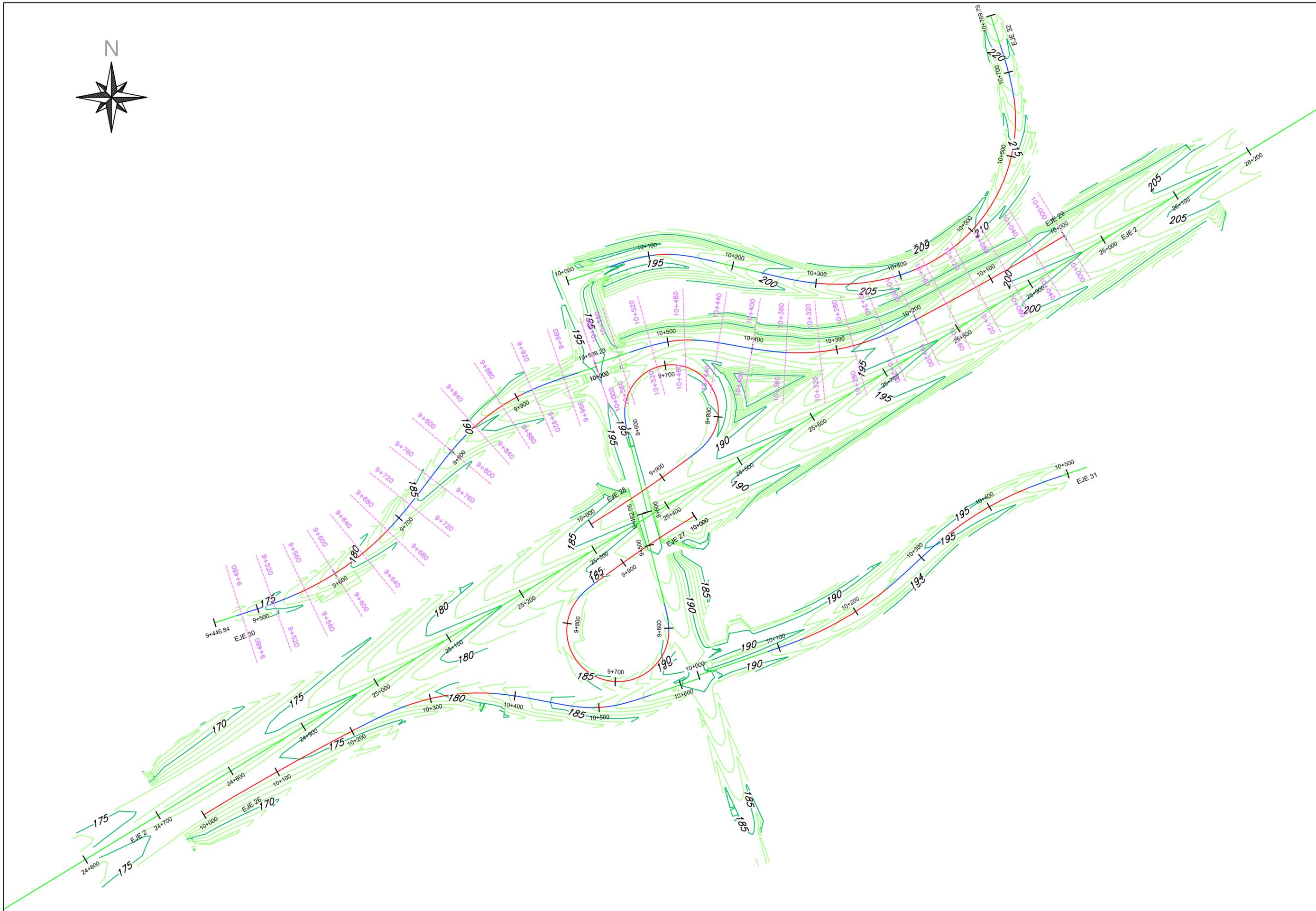
CLIENTE: ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE AVILA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA	ESCALAS 1:4,000 ORIGINALES UNE A-3	 0 20 40 Metros GRAFICAS	TRABAJO FIN DE GRADO: MODELO 3D Y ORTOFOTOGRAFIA DE LA AUTOVA 407 EN ONTARIO, CANADA ENTRE PK 24+600 Y PK 26+000 A PARTIR DE UN VUELO CON DRON		FECHA: 29-08-2019
			No PLANO: 4 HOJA 1 DE 1	DESIGNACION DEL PLANO: Modelo 3D y Ortofotografia	1ª REVISION: 1



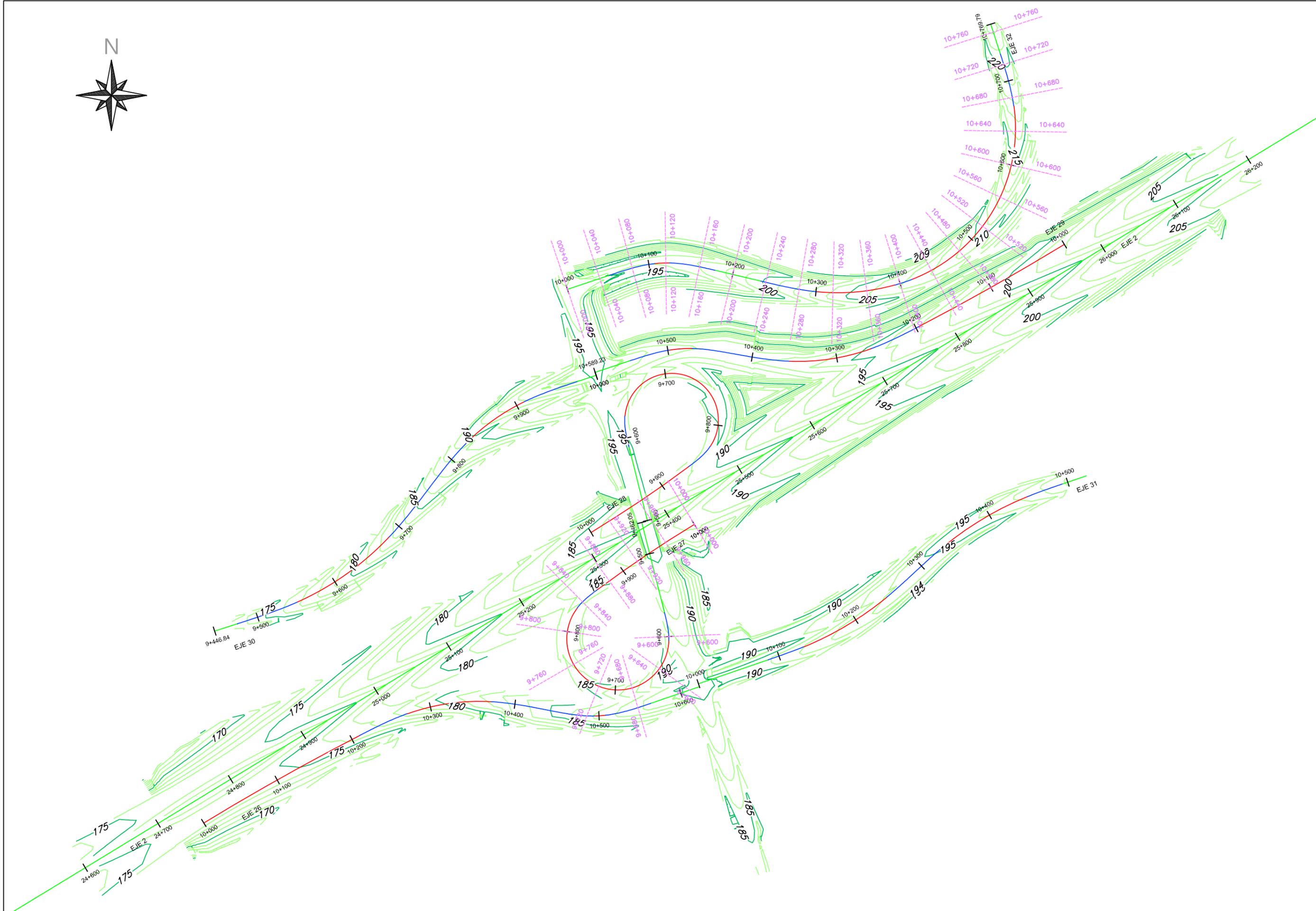
CLIENTE: ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE AVILA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA	ESCALAS: 1:4,000 ORIGINALES UNE A-3	TRABAJO FIN DE GRADO: MODELO 3D Y ORTOFOTOGRAFIA DE LA AUTOVA 407 EN ONTARIO, CANADA ENTRE PK 24+600 Y PK 26+000 A PARTIR DE UN VUELO CON DRON	No PLANO: 5	DESIGNACION DEL PLANO: Perfiles Transversales Planta Eje 2	FECHA: 29-08-2019
			HOJA 1 DE 5		1ª REVISION 1



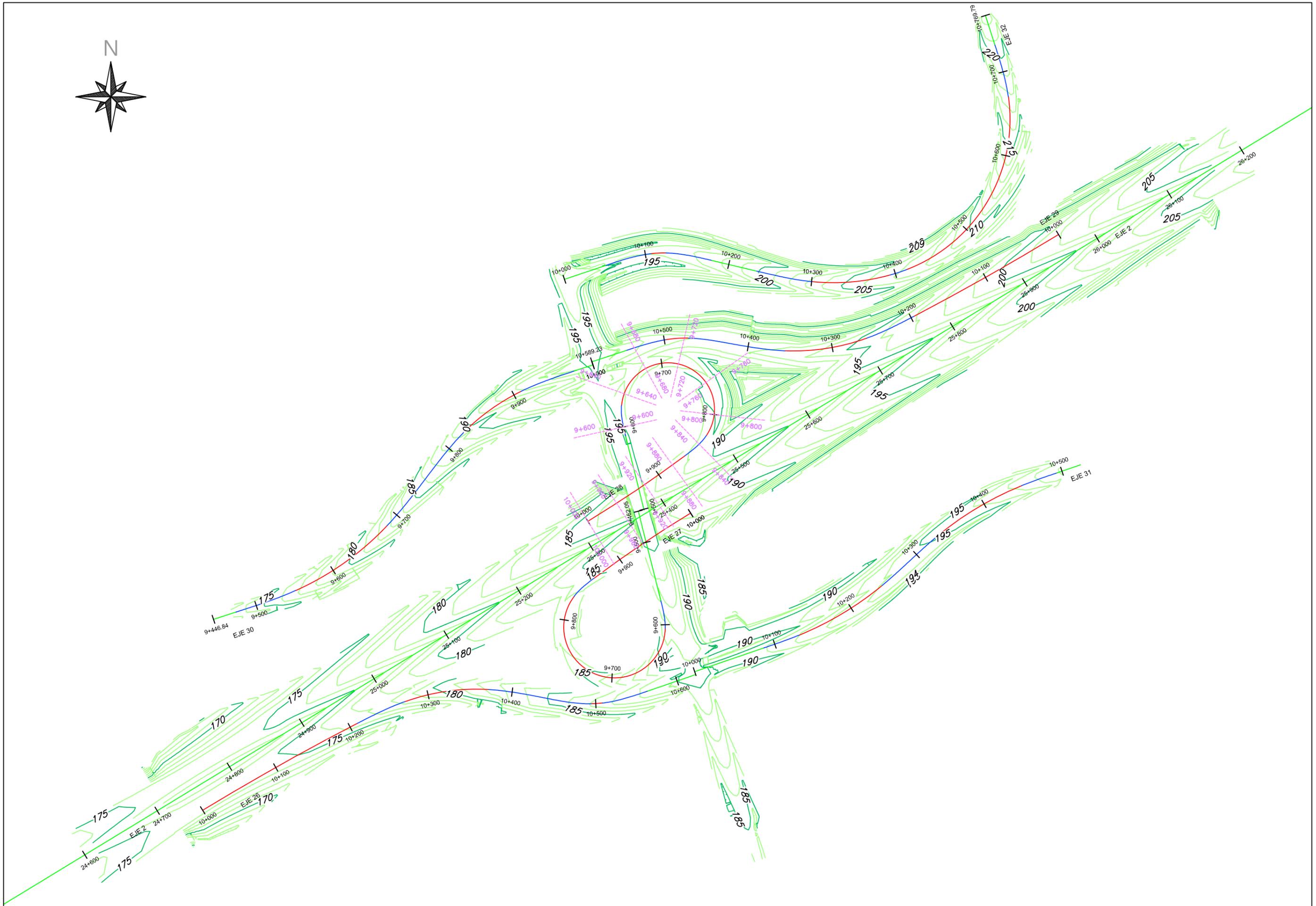
CLIENTE: ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE AVILA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA	ESCALAS: 1:4,000 ORIGINALES UNE A-3	TRABAJO FIN DE GRADO: MODELO 3D Y ORTOFOTOGRAFIA DE LA AUTOVA 407 EN ONTARIO, CANADA ENTRE PK 24+600 Y PK 26+000 A PARTIR DE UN VUELO CON DRON	No PLANO: 5	DESIGNACION DEL PLANO: Perfiles Transversales Planta Eje 26 y Eje 31	FECHA: 29-08-2019
			HOJA 2 DE 5		1ª REVISIÓN 1



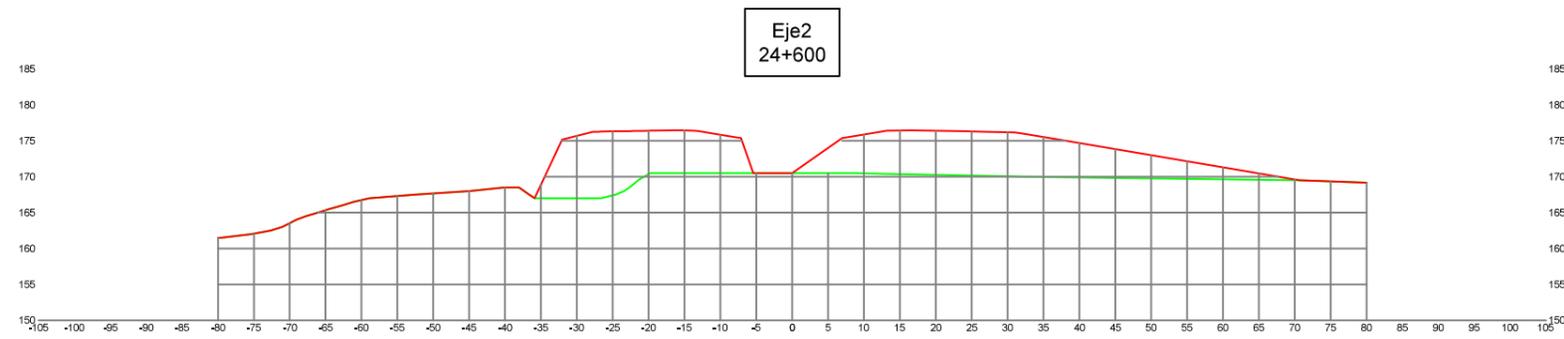
CLIENTE: ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE AVILA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA	ESCALAS: 1:4,000 ORIGINALES UNE A-3	TRABAJO FIN DE GRADO: MODELO 3D Y ORTOFOTOGRAFIA DE LA AUTOVA 407 EN ONTARIO, CANADA ENTRE PK 24+600 Y PK 26+000 A PARTIR DE UN VUELO CON DRON	No PLANO: 5	DESIGNACION DEL PLANO: Perfiles Transversales Planta Eje 29 y Eje 30	FECHA: 29-08-2019
			HOJA 3 DE 5		1ª REVISION: 1



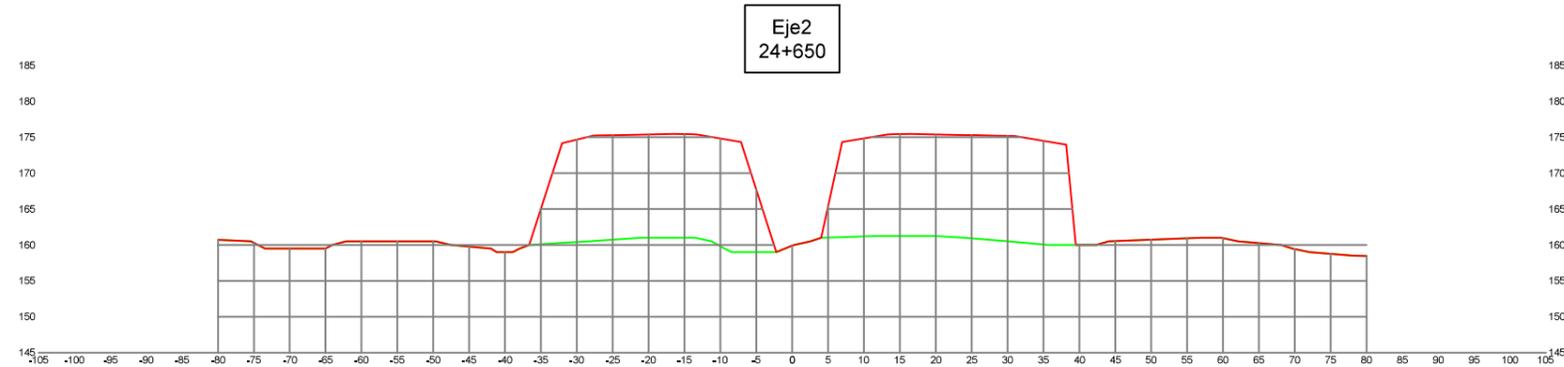
CLIENTE: ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE AVILA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA	ESCALAS: 1:4,000 ORIGINALES UNE A-3		TRABAJO FIN DE GRADO: MODELO 3D Y ORTOFOTOGRAFIA DE LA AUTOVA 407 EN ONTARIO, CANADA ENTRE PK 24+600 Y PK 26+000 A PARTIR DE UN VUELO CON DRON	No PLANO: 5	DESIGNACION DEL PLANO: Perfiles Transversales Planta Eje 27 y Eje 32	FECHA: 29-08-2019
				HOJA 4 DE 5		1 ^{ra} REVISION



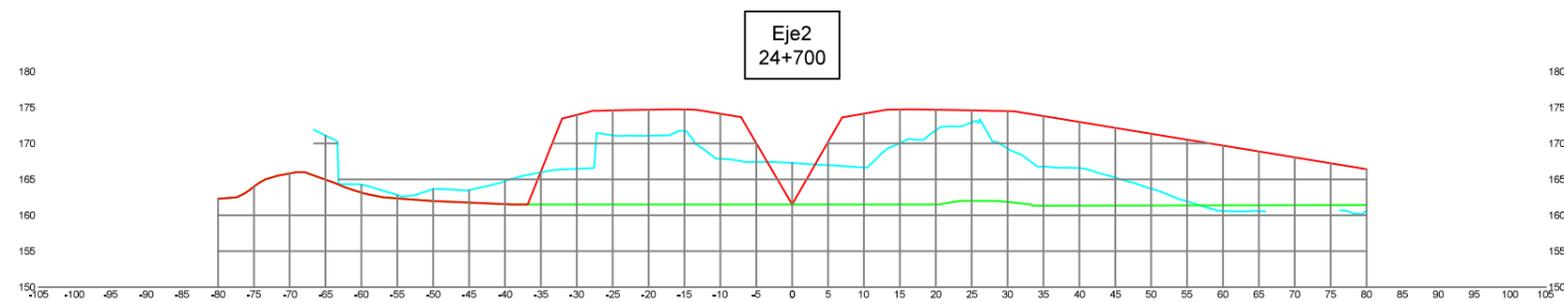
CLIENTE: ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE AVILA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA	ESCALAS: 1:4,000 ORIGINALES UNE A-3	TRABAJO FIN DE GRADO: MODELO 3D Y ORTOFOTOGRAFIA DE LA AUTOVA 407 EN ONTARIO, CANADA ENTRE PK 24+600 Y PK 26+000 A PARTIR DE UN VUELO CON DRON	No PLANO: 5	DESIGNACION DEL PLANO: Perfiles Transversales Planta Eje 28	FECHA: 29-08-2019
			HOJA 5 DE 5		1ª REVISION: 1



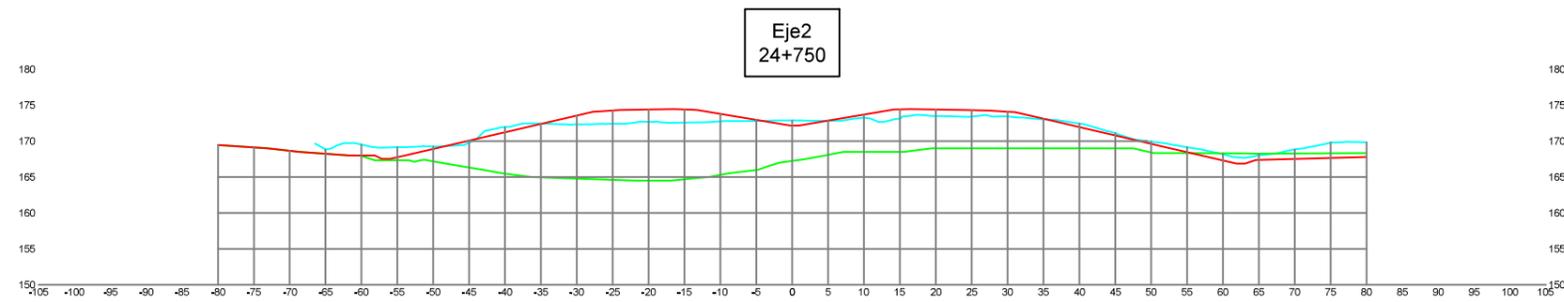
Materiales en PK 24+600			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	0.00	0.00	0.00
Terraplen	475.92	0.00	0.00



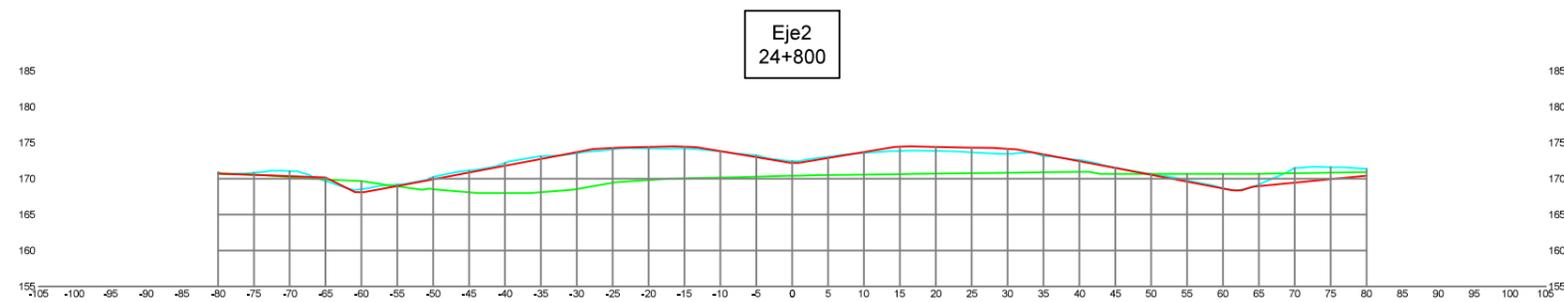
Materiales en PK 24+650			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	0.00	0.00	0.00
Terraplen	904.35	34506.91	34506.91



Materiales en PK 24+700			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	0.00	0.00	0.00
Terraplen	1189.24	52339.95	86846.86

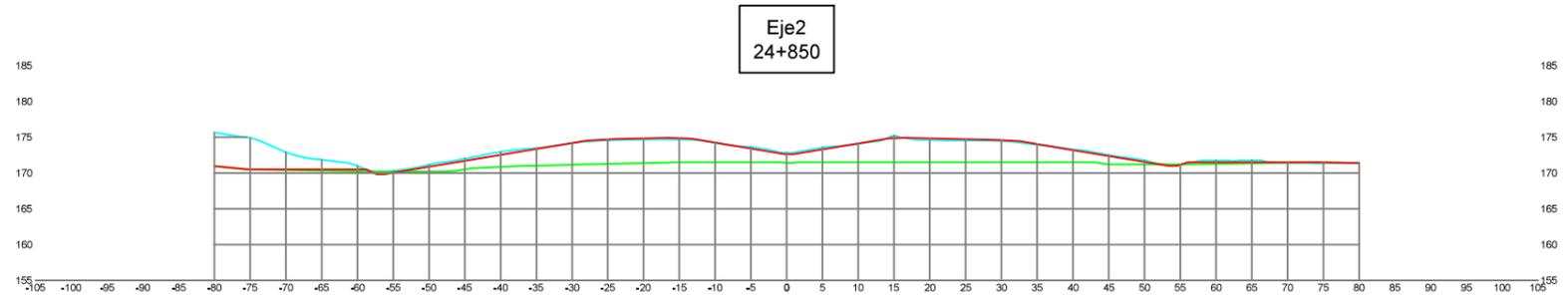


Materiales en PK 24+750			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	19.29	482.33	482.33
Terraplen	598.06	44682.52	131529.38

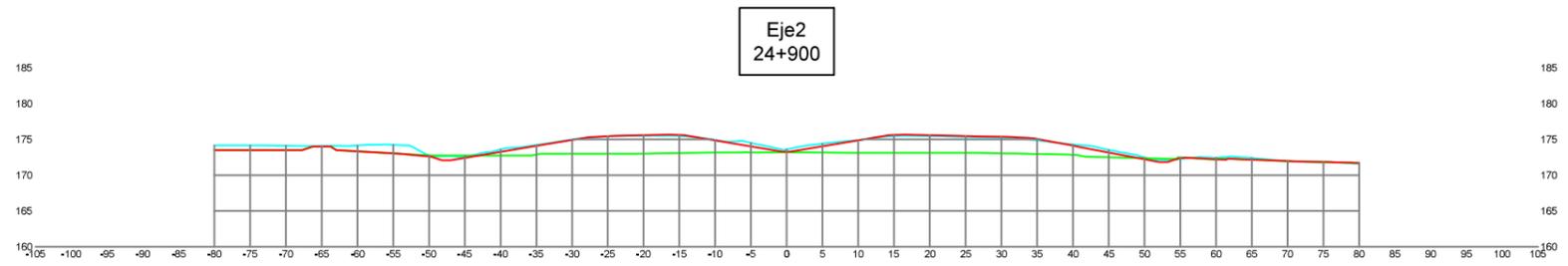


Materiales en PK 24+800			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	45.79	1827.18	2109.51
Terraplen	326.77	23120.57	154649.96

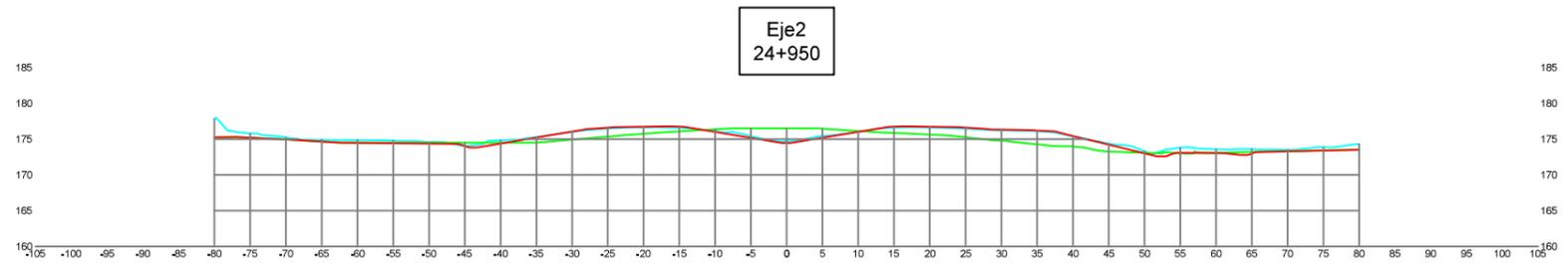
LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron



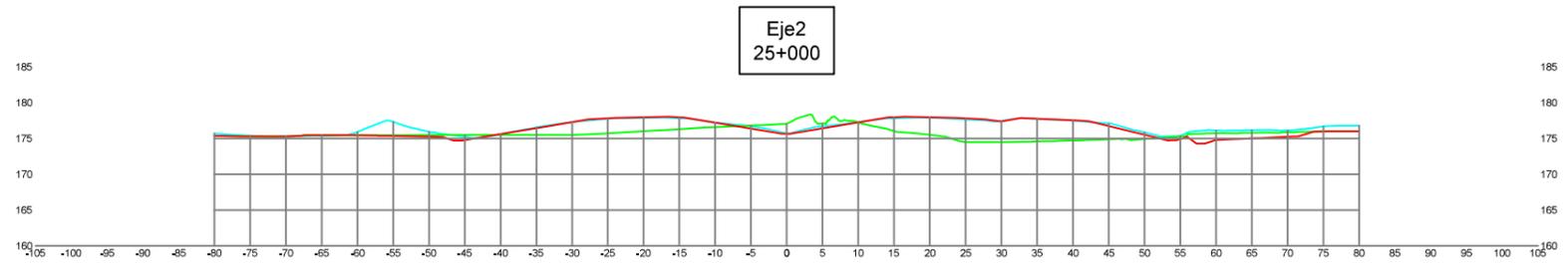
Materiales en PK 24+850			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	1.40	1179.94	3289.45
Terraplen	246.63	14334.96	16894.92



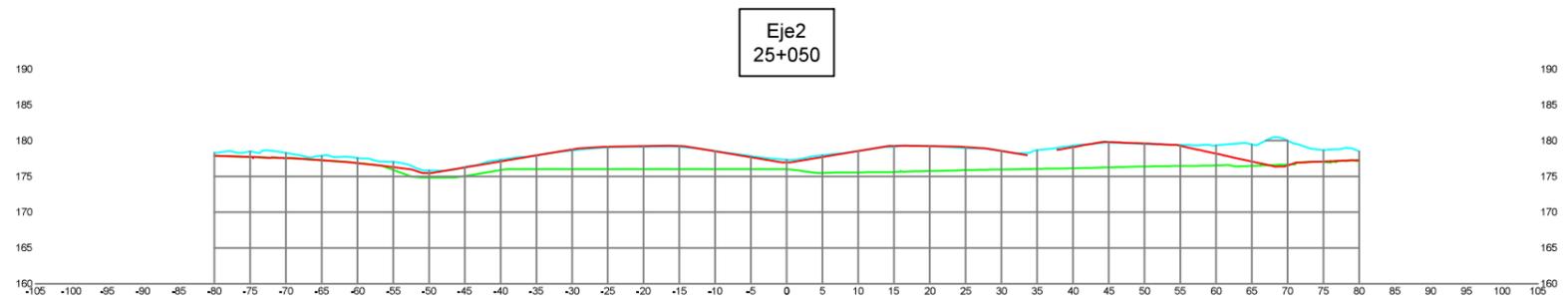
Materiales en PK 24+900			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	5.16	164.10	3453.56
Terraplen	151.42	9951.18	178936.10



Materiales en PK 24+950			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	32.81	949.31	4402.87
Terraplen	70.41	5545.62	184481.72

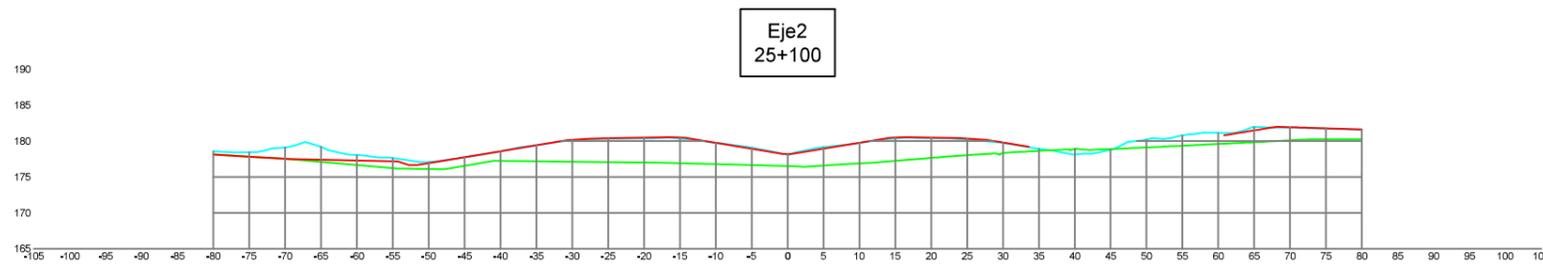


Materiales en PK 25+000			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	37.20	1750.21	6153.08
Terraplen	142.15	5314.00	189795.72



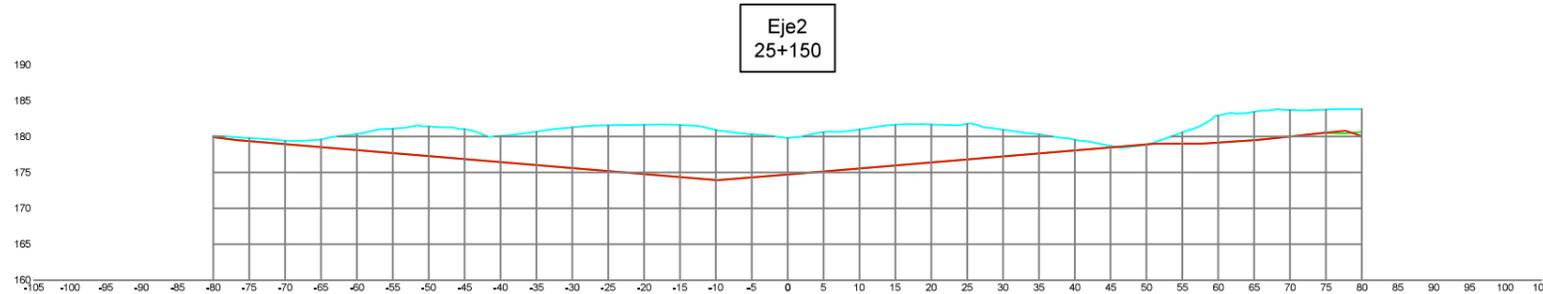
Materiales en PK 25+050			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	0.65	946.20	7099.28
Terraplen	280.35	10562.59	200358.31

LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron



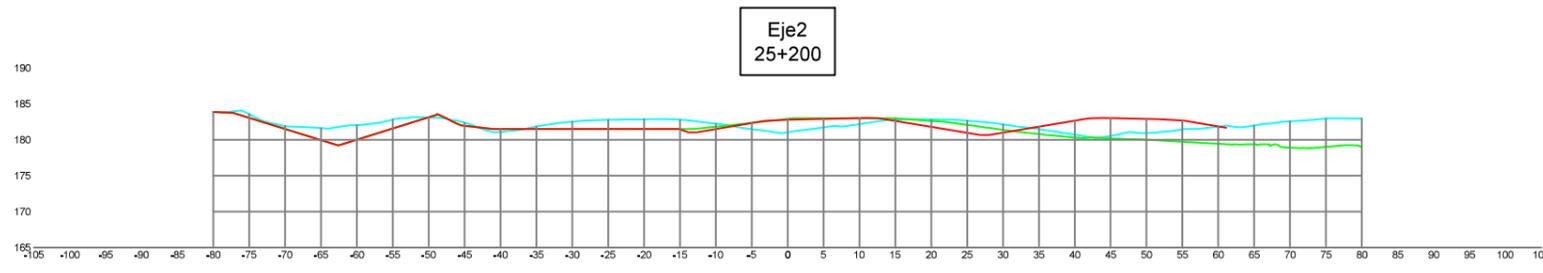
Eje2
25+100

Materiales en PK 25+100			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmorte	0.00	16.28	7115.56
Terraplen	245.24	13139.74	213498.05



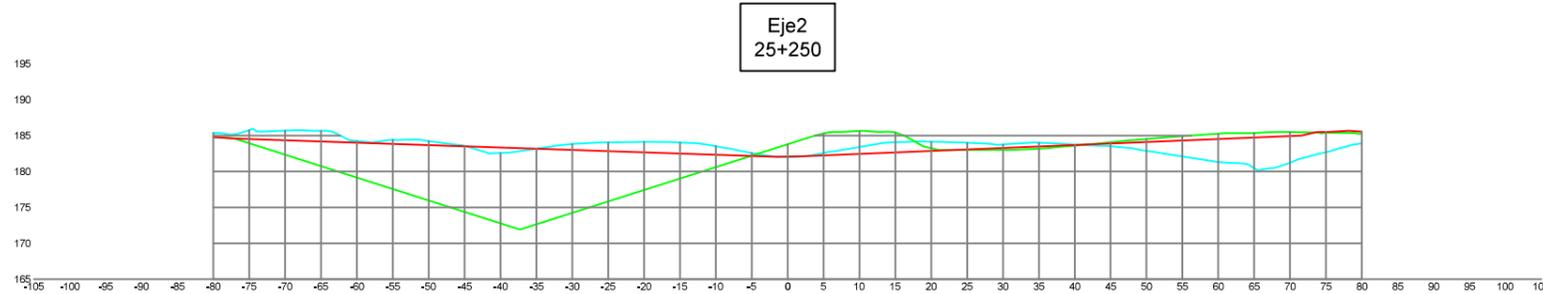
Eje2
25+150

Materiales en PK 25+150			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmorte	3.95	98.72	7214.28
Terraplen	152.62	9946.38	223444.43



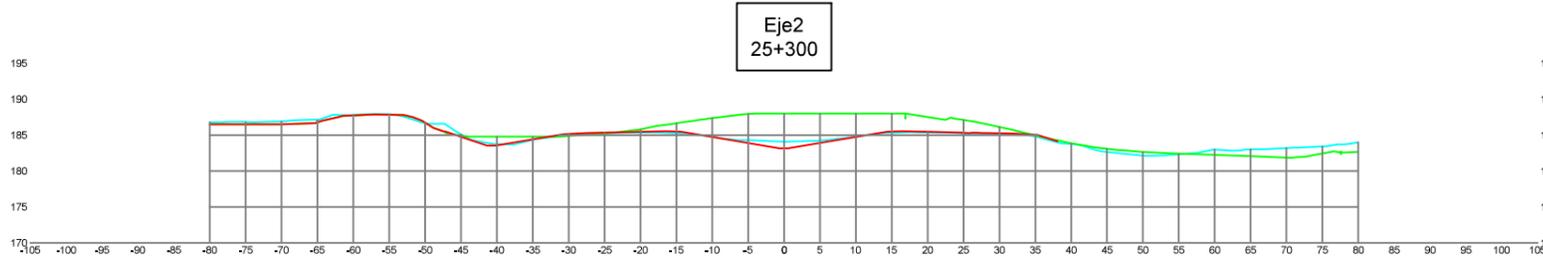
Eje2
25+200

Materiales en PK 25+200			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmorte	16.83	519.35	7733.63
Terraplen	68.96	5539.35	228983.78



Eje2
25+250

Materiales en PK 25+250			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmorte	1229.90	31168.25	38901.88
Terraplen	140.98	5248.29	234232.07

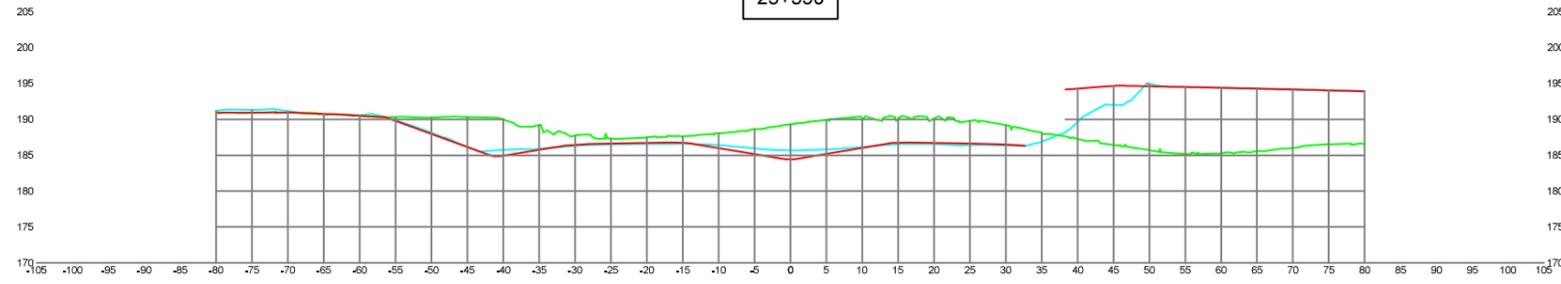


Eje2
25+300

Materiales en PK 25+300			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmorte	146.69	34414.83	73316.71
Terraplen	1.97	3573.58	237805.64

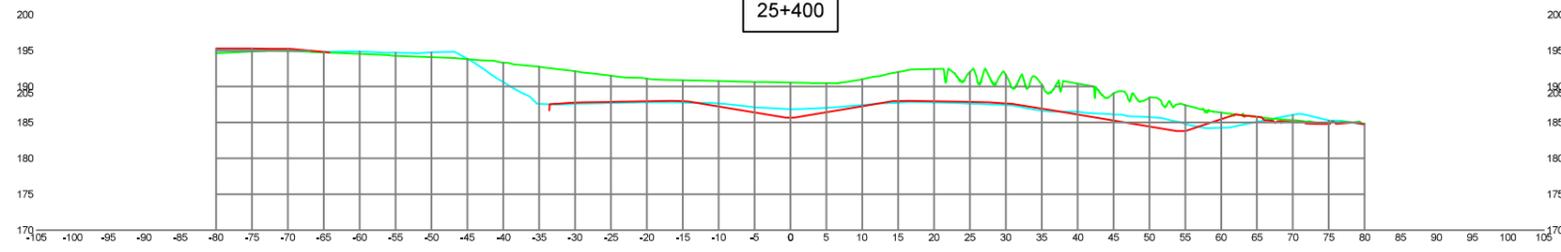
LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron

Eje2
25+350



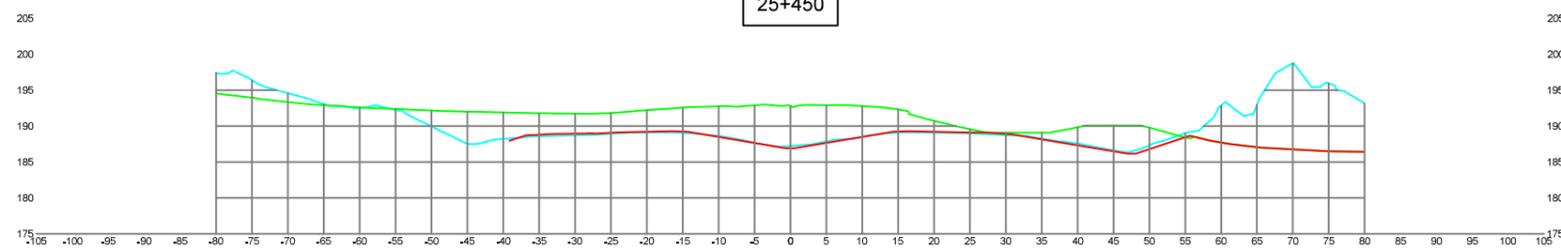
Materiales en PK 25+350			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmante	255.16	10046.08	83362.80
Terraplen	347.48	8736.28	246541.92

Eje2
25+400



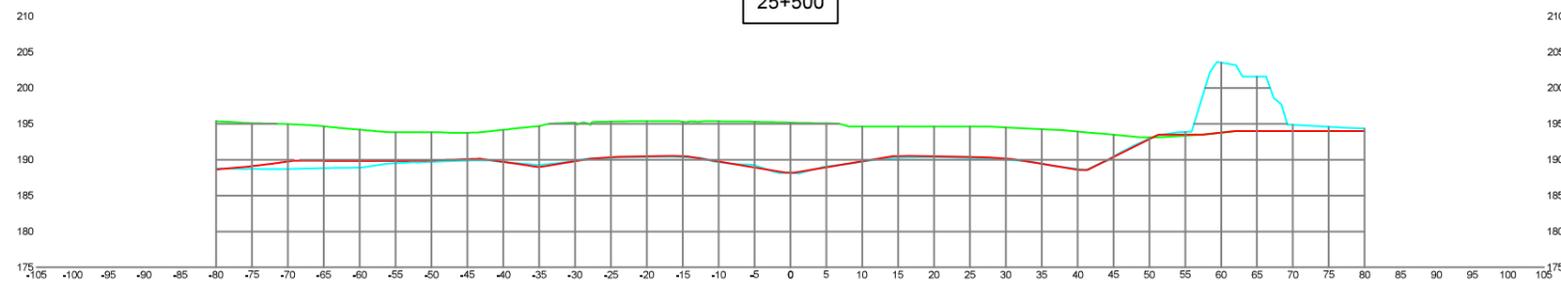
Materiales en PK 25+400			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmante	353.20	15208.77	98571.57
Terraplen	5.13	8815.39	255357.31

Eje2
25+450



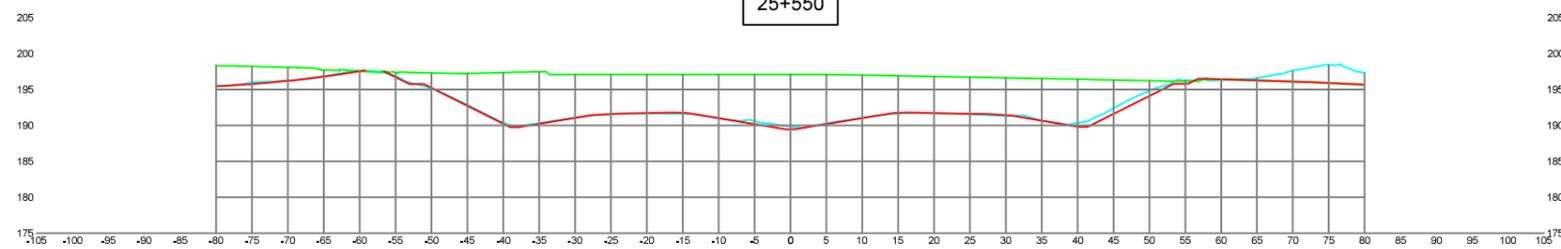
Materiales en PK 25+450			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmante	282.40	15889.94	114461.51
Terraplen	0.28	135.41	255492.72

Eje2
25+500



Materiales en PK 25+500			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmante	627.27	22741.75	137203.26
Terraplen	1.40	42.18	255534.90

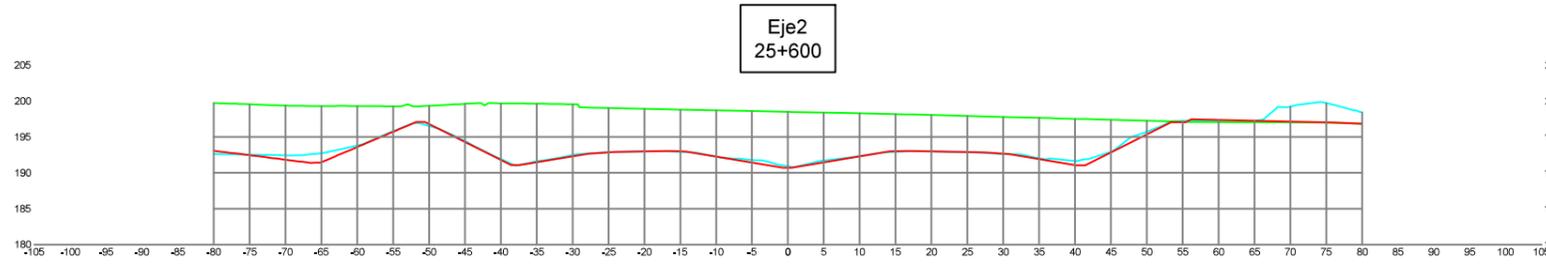
Eje2
25+550



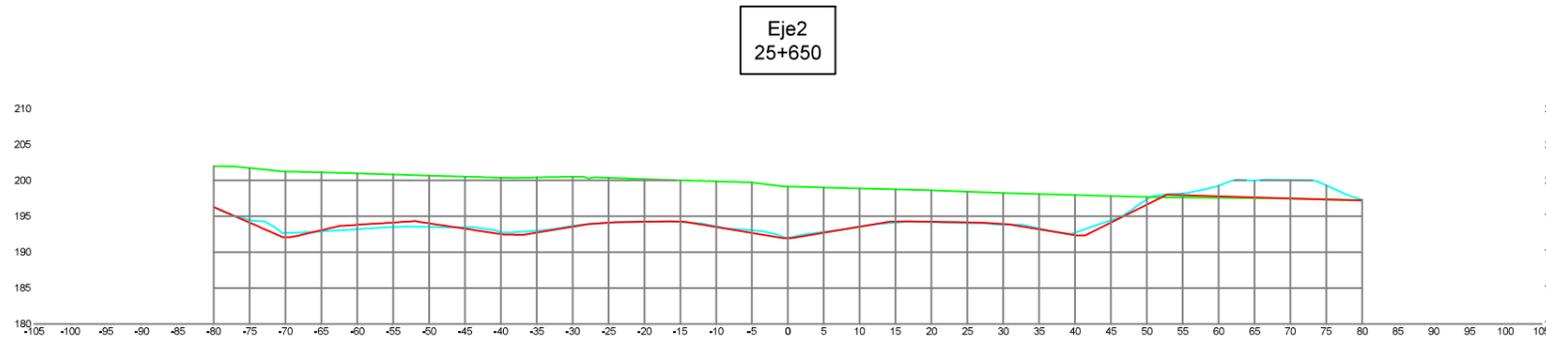
Materiales en PK 25+550			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmante	622.58	31246.26	168449.51
Terraplen	0.39	44.87	255579.77

LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron

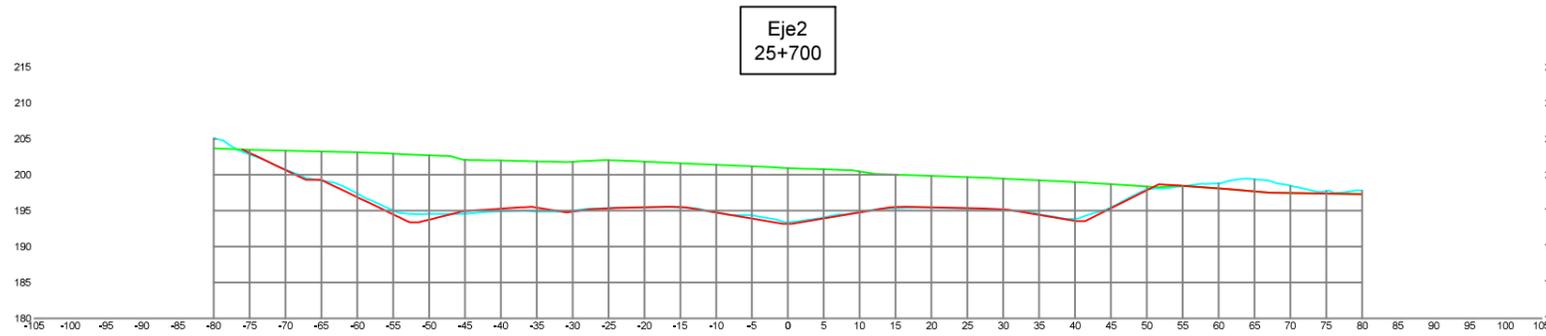




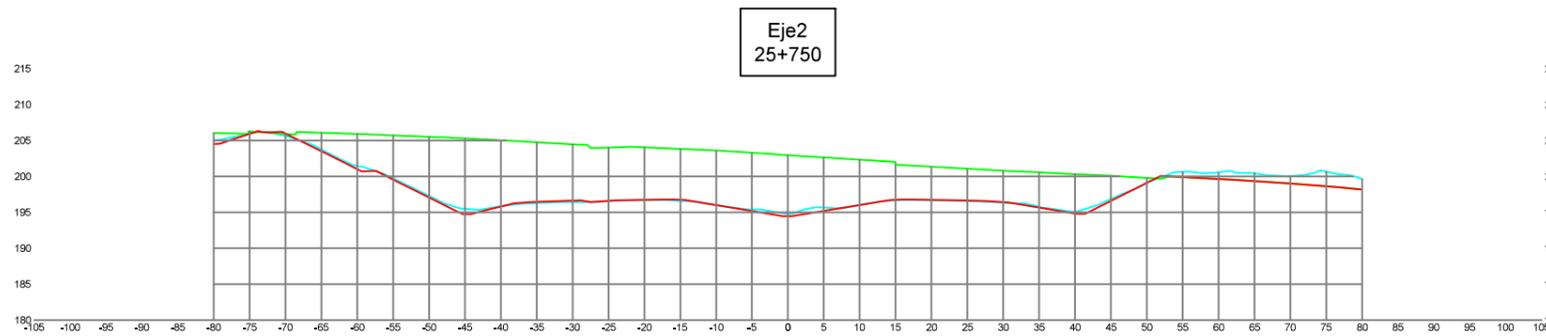
Materiales en PK 25+600			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmorte	786.18	35218.94	203668.45
Terraplen	4.08	111.71	255691.48



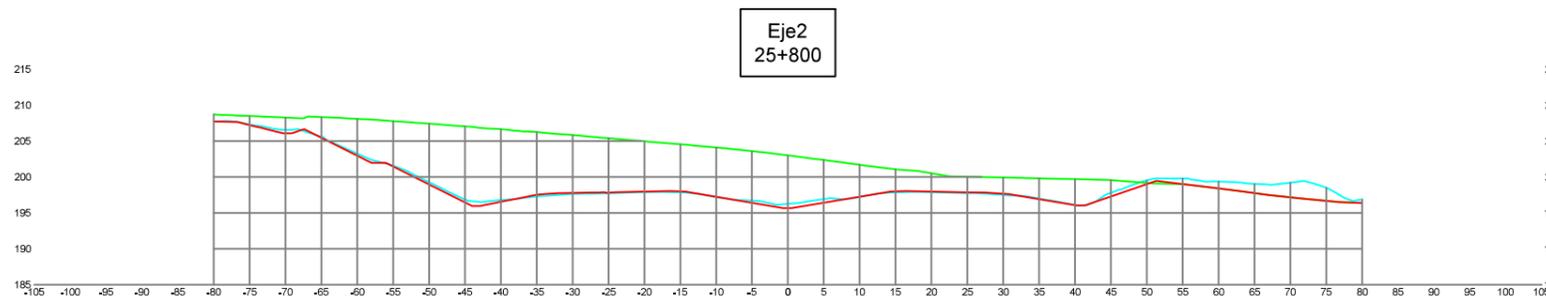
Materiales en PK 25+650			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmorte	803.31	39737.02	243405.48
Terraplen	3.37	186.23	255877.71



Materiales en PK 25+700			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmorte	717.95	38031.38	281436.85
Terraplen	0.70	101.77	255979.48

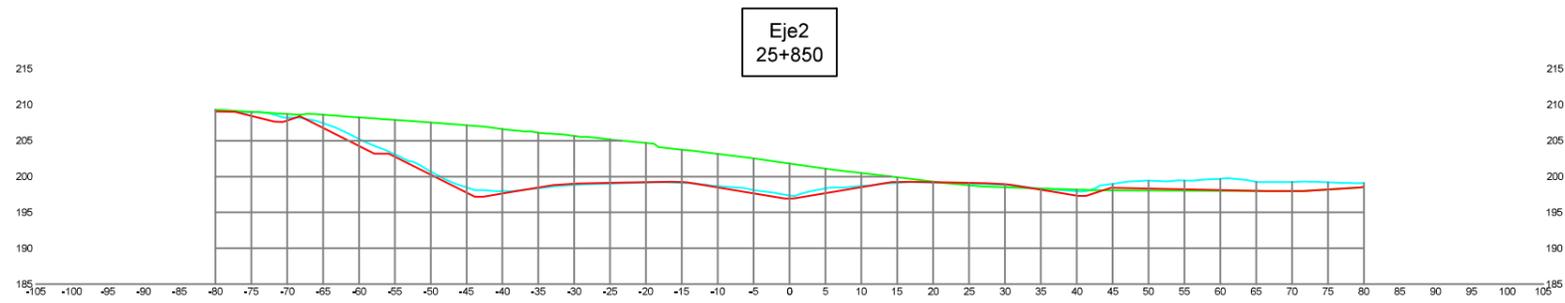


Materiales en PK 25+750			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmorte	757.68	36890.84	318327.50
Terraplen	0.83	38.10	256017.58

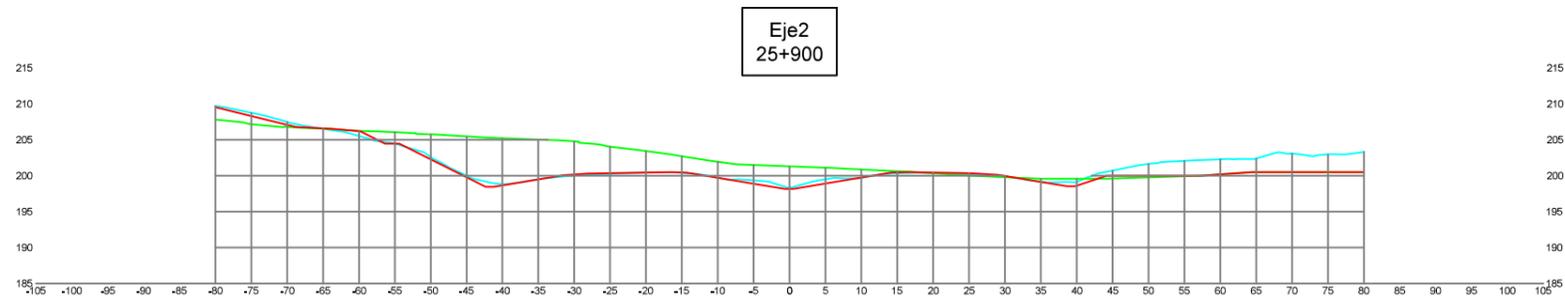


Materiales en PK 25+800			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmorte	680.01	35942.11	354269.60
Terraplen	0.94	44.07	256061.65

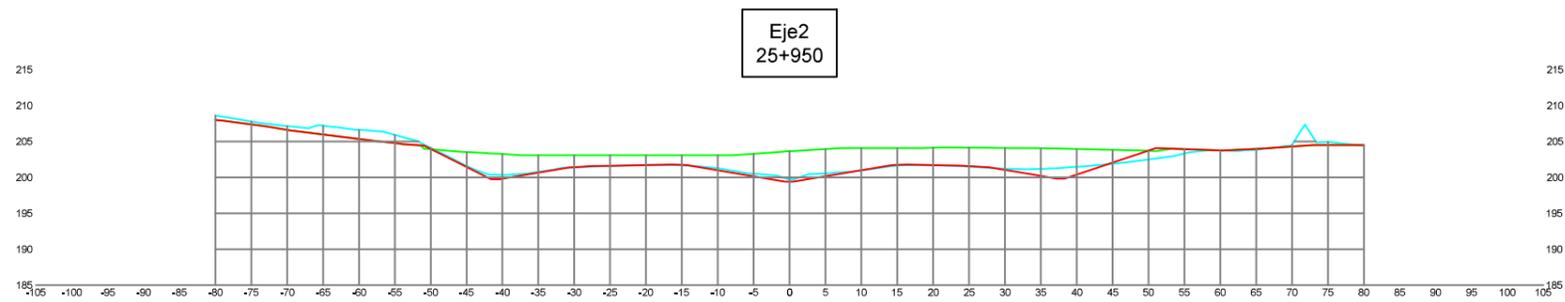
LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron



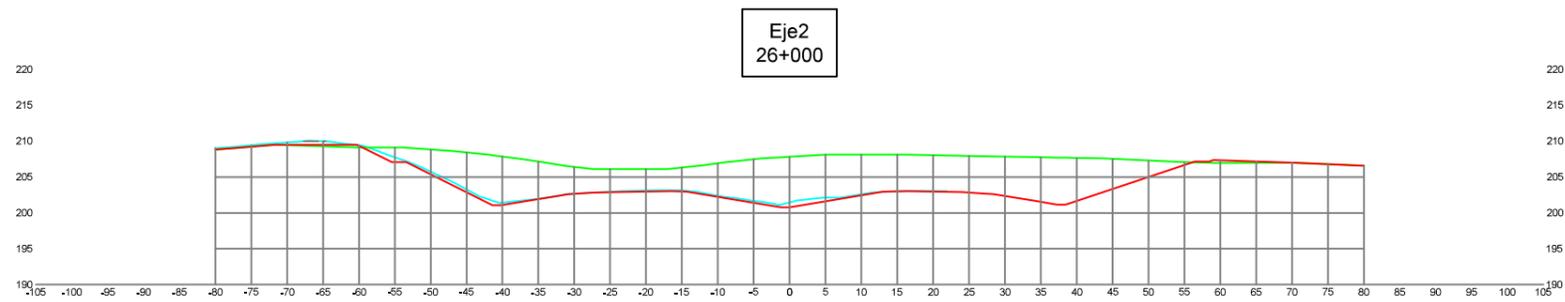
Materiales en PK 25+850			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	448.87	28221.92	382491.52
Terrapien	8.36	232.37	256294.02



Materiales en PK 25+900			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	247.37	17406.05	399897.57
Terrapien	17.02	634.58	256928.60

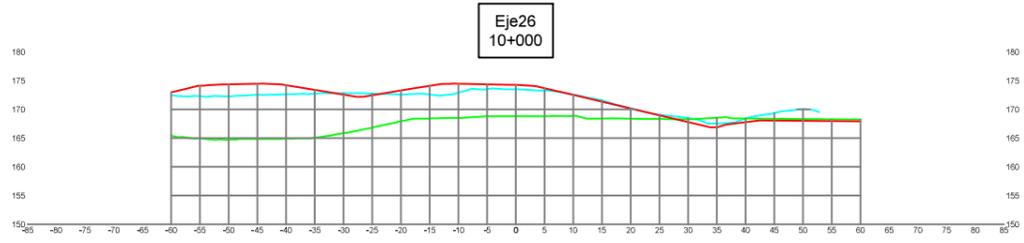


Materiales en PK 25+950			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	250.80	12454.23	412351.80
Terrapien	0.98	450.03	257378.63

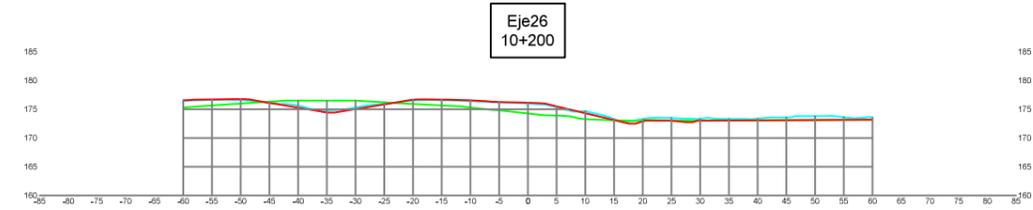


Materiales en PK 26+000			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	530.59	19534.66	431886.46
Terrapien	5.18	153.80	257532.43

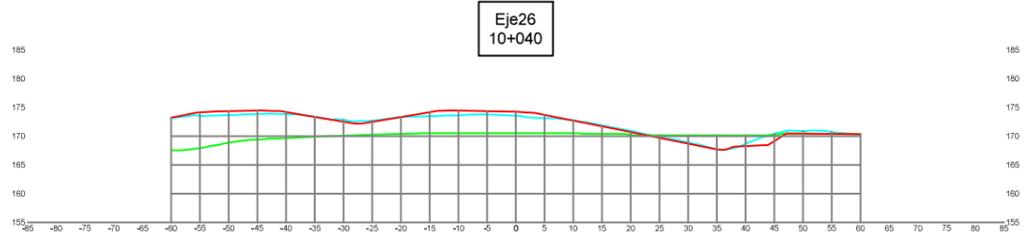
LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron



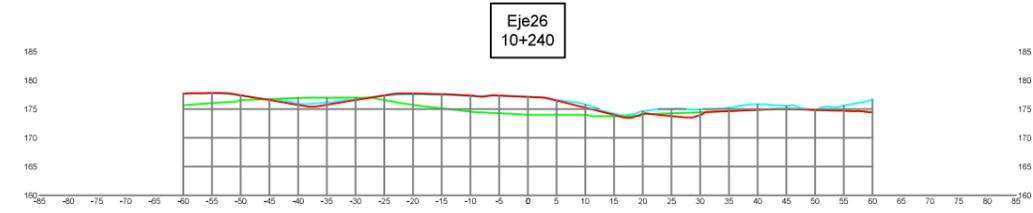
Materiales en PK 10+000			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	520.68	0.00	0.00
Terrapien	17.84	0.00	0.00



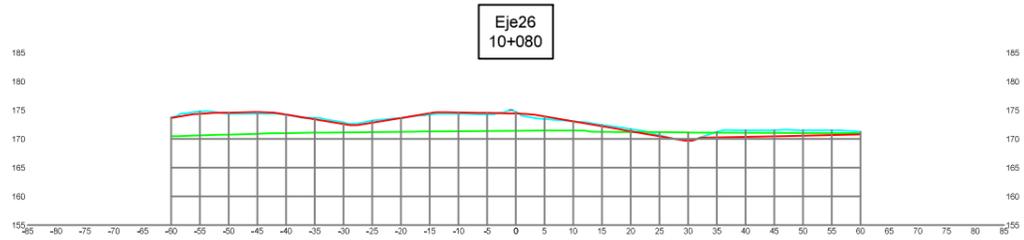
Materiales en PK 10+200			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	57.57	3655.77	43895.51
Terrapien	29.30	621.13	3476.92



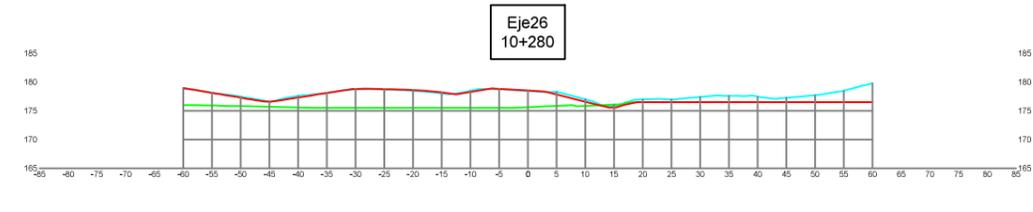
Materiales en PK 10+040			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	286.87	16150.64	16150.64
Terrapien	35.41	1065.01	1065.01



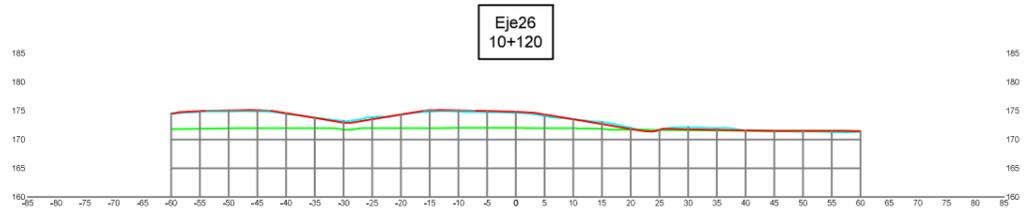
Materiales en PK 10+240			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	110.27	3404.73	47300.24
Terrapien	20.69	1026.17	4503.09



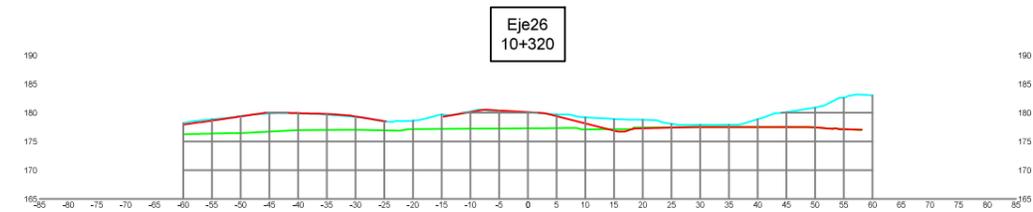
Materiales en PK 10+080			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	206.99	9917.25	26067.89
Terrapien	25.38	1215.92	2280.94



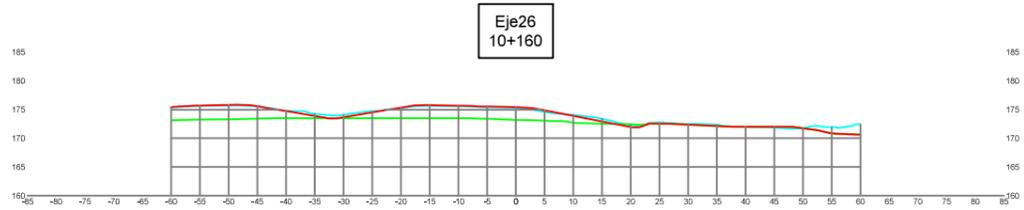
Materiales en PK 10+280			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	171.83	6001.07	53301.31
Terrapien	1.80	476.79	4979.88



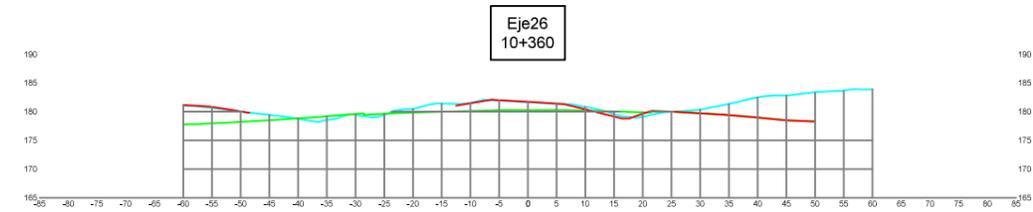
Materiales en PK 10+120			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	187.19	7923.66	33991.55
Terrapien	0.80	523.72	2804.66



Materiales en PK 10+320			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	156.43	7207.05	60508.36
Terrapien	1.99	70.53	5050.41



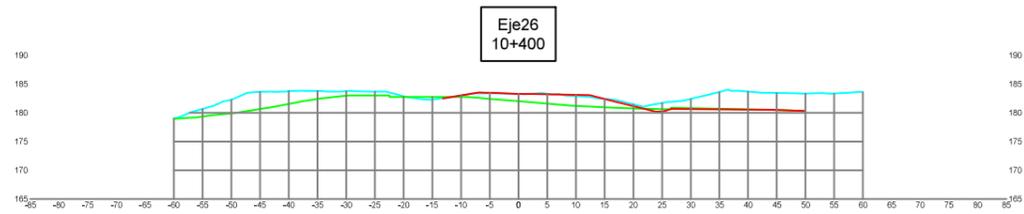
Materiales en PK 10+160			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	125.22	6248.20	40239.75
Terrapien	1.75	51.13	2855.79



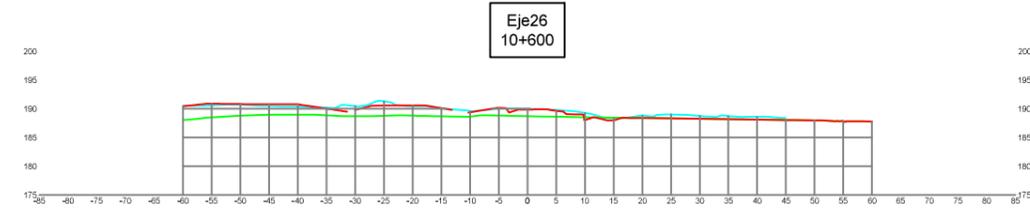
Materiales en PK 10+360			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	59.70	4785.46	65293.82
Terrapien	6.41	156.61	5207.02

LEYENDA

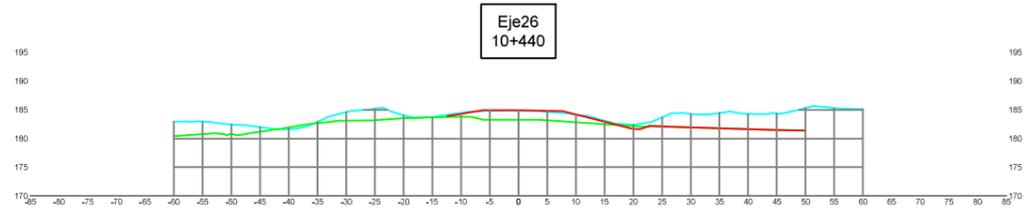
- Terreno Natural
- Diseño
- Vuelo Dron



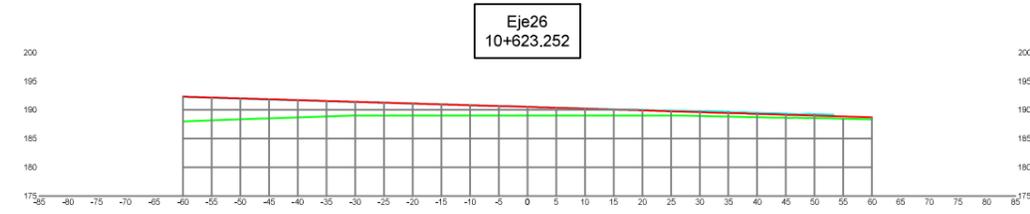
Materiales en PK 10+400			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	39.91	2093.28	67387.11
Terrapien	3.08	177.10	5384.12



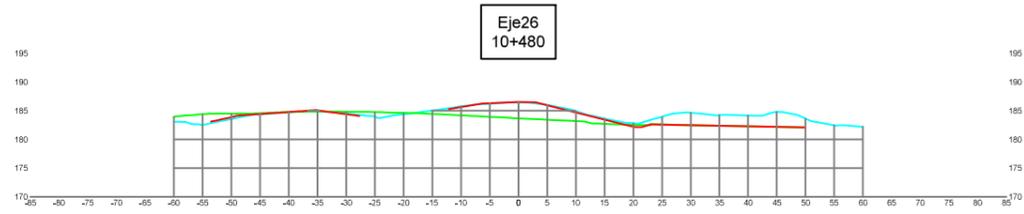
Materiales en PK 10+600			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	99.57	3661.05	80635.38
Terrapien	2.06	92.12	6199.22



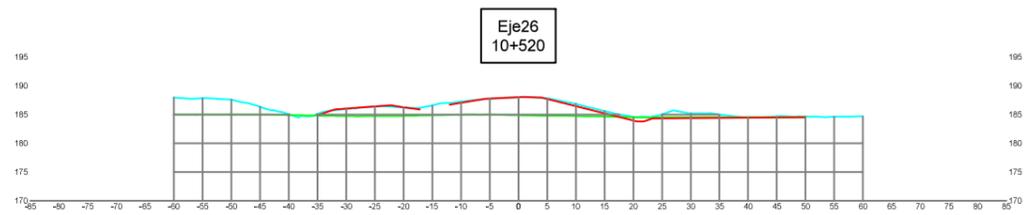
Materiales en PK 10+440			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	35.67	1504.23	68891.33
Terrapien	1.81	95.06	5478.19



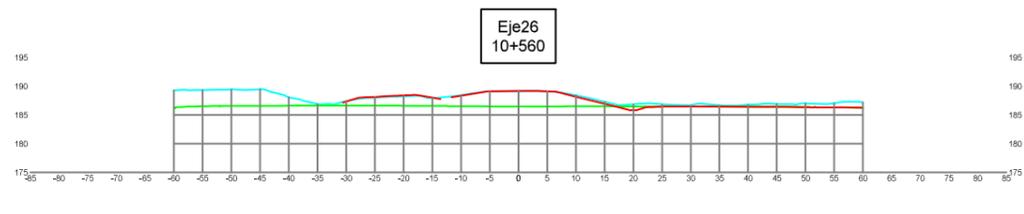
Materiales en PK 10+623.252			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	205.66	3548.52	84183.89
Terrapien	0.00	23.92	6223.15



Materiales en PK 10+480			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	57.21	1864.28	70755.62
Terrapien	8.65	194.11	5673.30



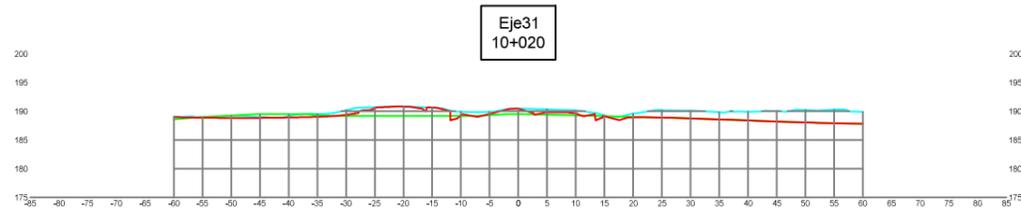
Materiales en PK 10+520			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	66.71	2844.58	73600.20
Terrapien	5.49	260.17	5933.46



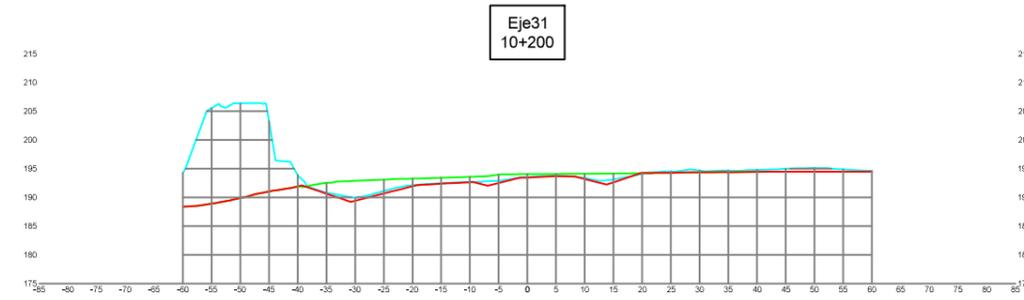
Materiales en PK 10+560			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	83.49	3374.12	76974.32
Terrapien	2.55	173.64	6107.10

LEYENDA

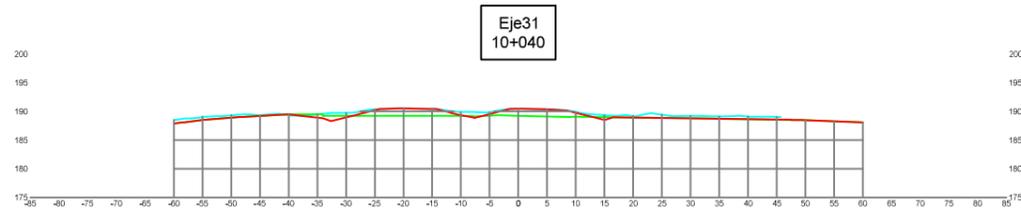
- Terreno Natural
- Diseño
- Vuelo Dron



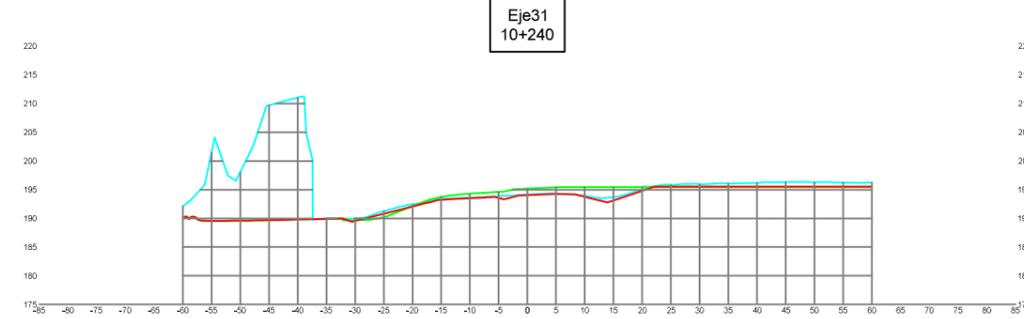
Materiales en PK 10+020			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	13.80	0.00	0.00
Terraplen	31.85	0.00	0.00



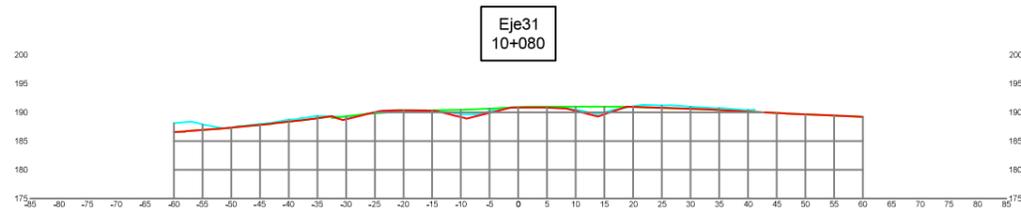
Materiales en PK 10+200			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	80.40	2193.18	4953.32
Terraplen	0.23	70.74	1735.53



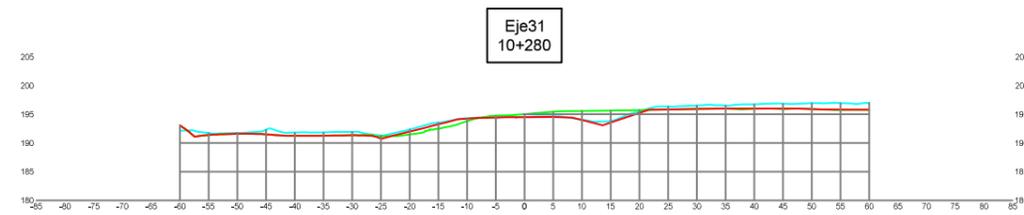
Materiales en PK 10+040			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	6.63	204.33	204.33
Terraplen	35.11	667.61	667.61



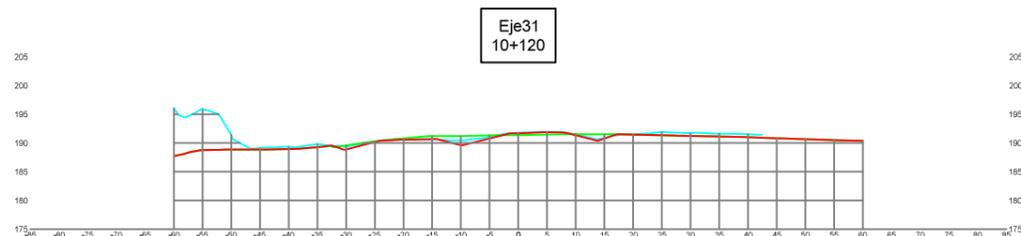
Materiales en PK 10+240			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	47.22	2498.23	7451.55
Terraplen	3.69	73.77	1809.30



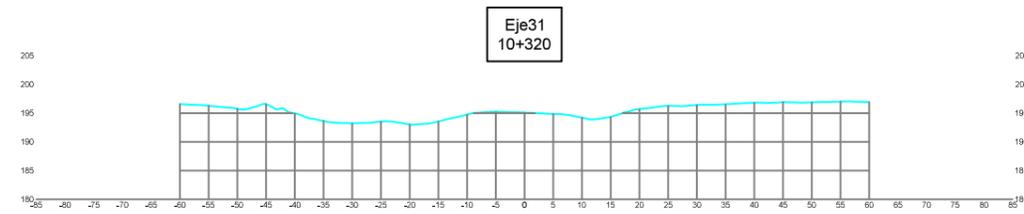
Materiales en PK 10+080			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	23.99	612.44	816.77
Terraplen	1.78	737.74	1405.35



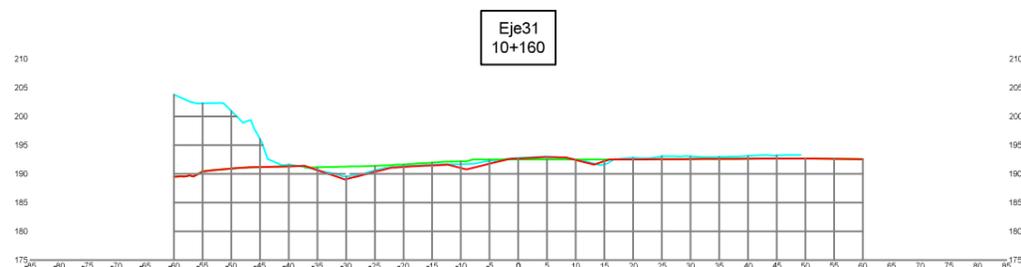
Materiales en PK 10+280			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	30.19	1565.63	9017.18
Terraplen	9.75	283.27	2072.57



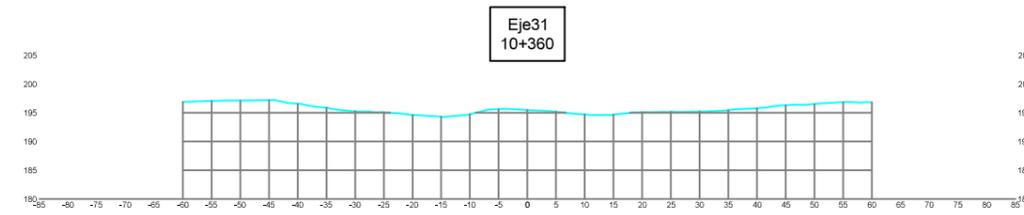
Materiales en PK 10+120			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	20.58	888.43	1705.20
Terraplen	3.94	113.92	1519.27



Materiales en PK 10+320			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	0.00	600.31	9617.49
Terraplen	0.00	195.80	2288.37

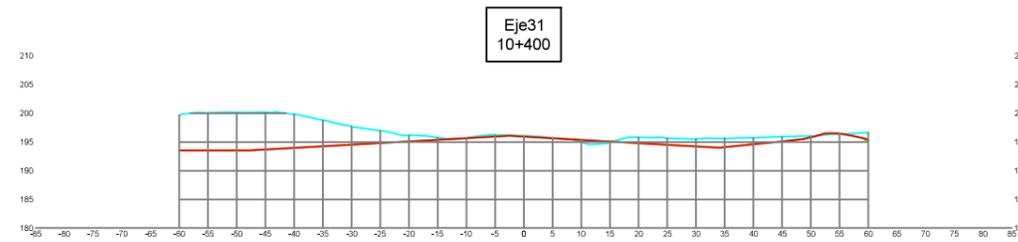


Materiales en PK 10+160			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	34.21	1054.94	2760.14
Terraplen	3.29	145.52	1664.79

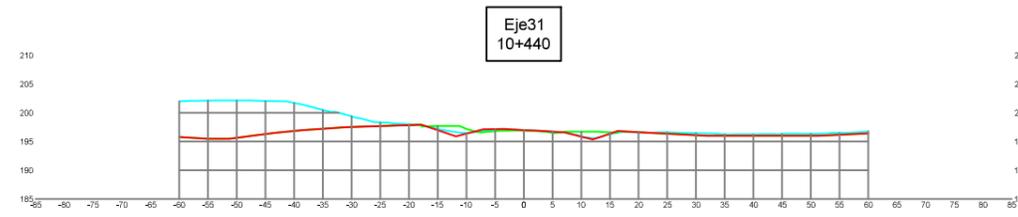


Materiales en PK 10+360			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	0.00	0.00	9617.49
Terraplen	0.00	0.00	2288.37

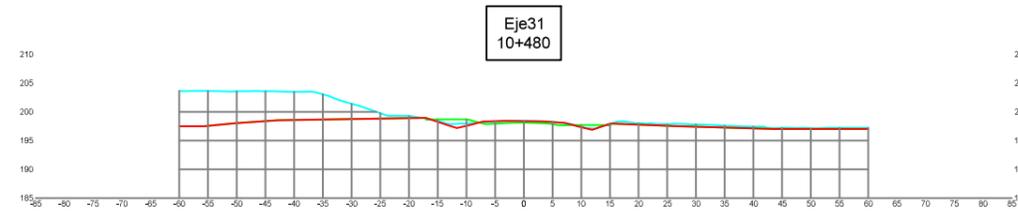
LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron



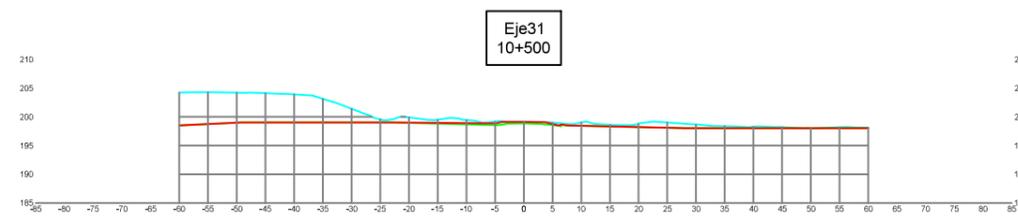
Materiales en PK 10+400			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	9.36	145.95	9783.44
Terraplen	6.18	132.98	2401.35



Materiales en PK 10+440			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	13.87	424.89	10188.33
Terraplen	3.53	204.09	2605.44

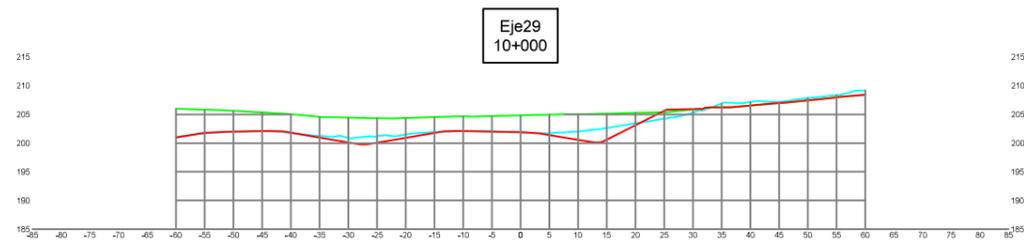


Materiales en PK 10+480			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	9.46	469.85	10658.18
Terraplen	5.75	186.00	2791.44

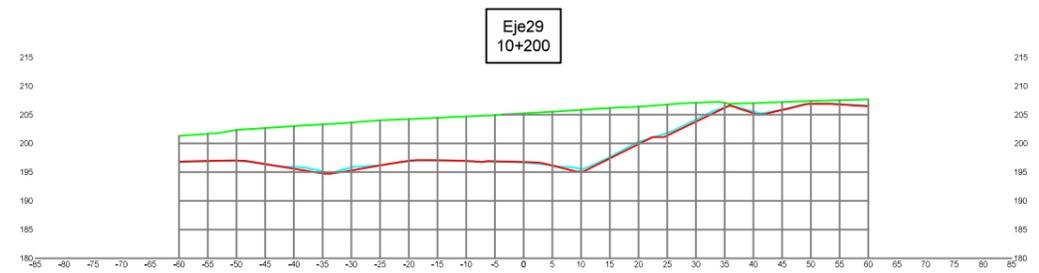


Materiales en PK 10+500			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	0.00	94.80	10752.78
Terraplen	6.17	119.26	2910.70

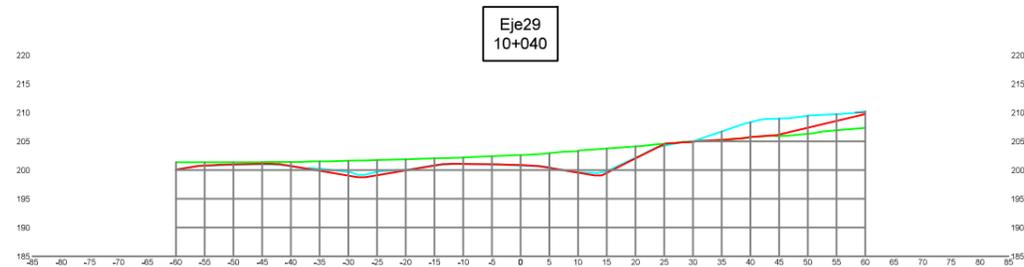
LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron



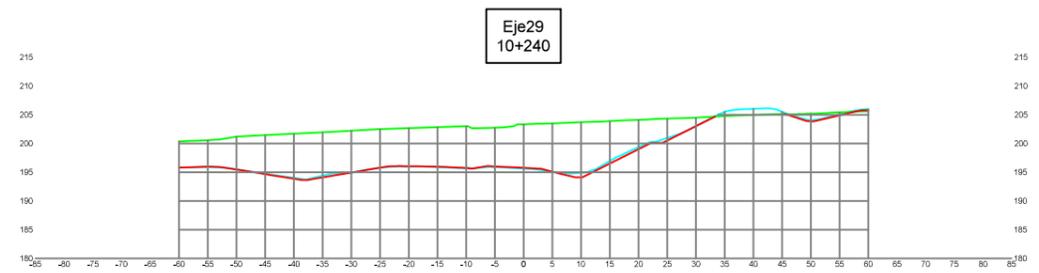
Materiales en PK 10+000			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	290.10	0.00	0.00
Terrapien	1.36	0.00	0.00



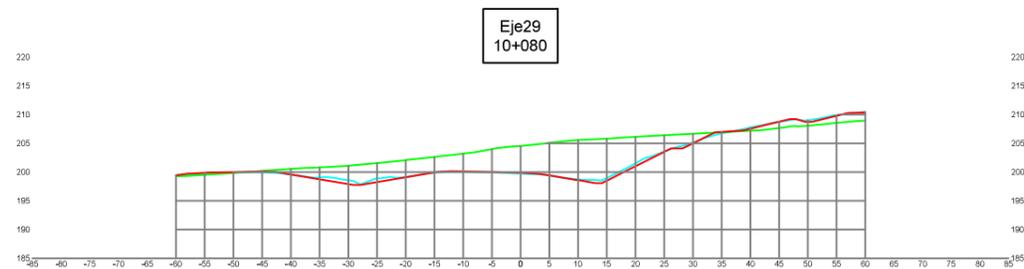
Materiales en PK 10+200			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	695.84	28774.49	82641.20
Terrapien	0.00	0.00	1940.98



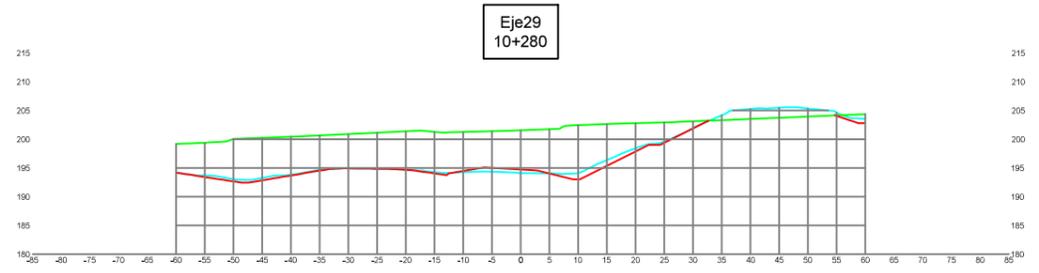
Materiales en PK 10+040			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	148.83	8778.64	8778.64
Terrapien	20.16	430.51	430.51



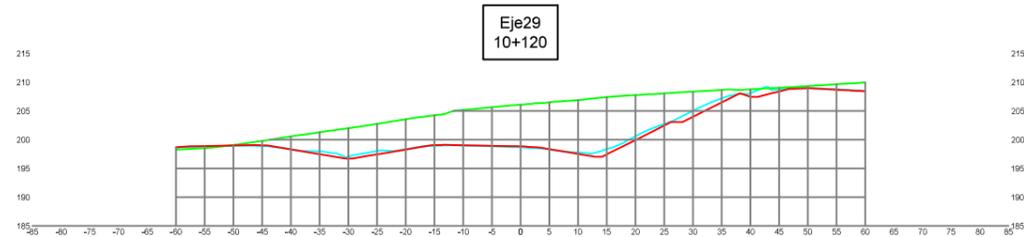
Materiales en PK 10+240			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	606.04	26582.56	108223.77
Terrapien	0.40	7.21	1948.19



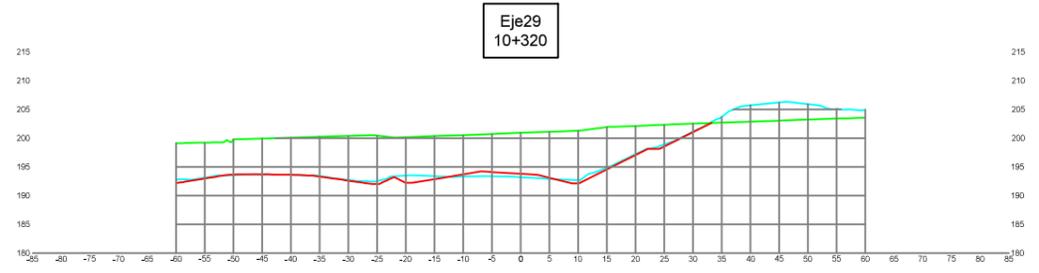
Materiales en PK 10+080			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	284.47	8685.96	17444.60
Terrapien	24.80	899.25	1329.76



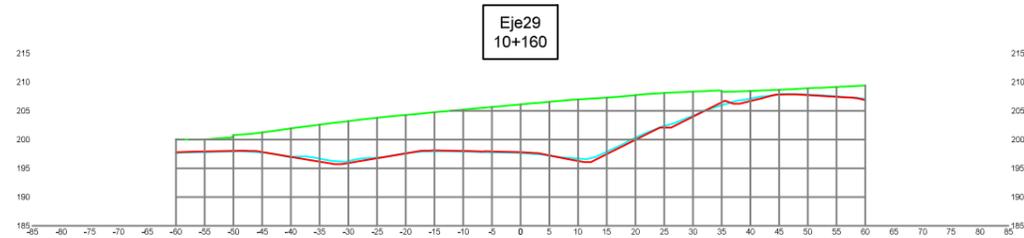
Materiales en PK 10+280			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	595.36	25156.53	134380.30
Terrapien	0.00	6.26	1954.45



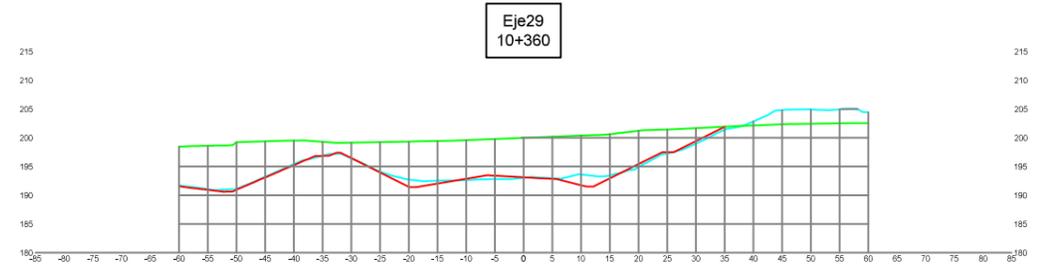
Materiales en PK 10+120			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	496.88	15626.95	33071.55
Terrapien	2.88	553.63	1883.38



Materiales en PK 10+320			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	606.88	25353.02	159733.32
Terrapien	0.00	0.00	1954.45

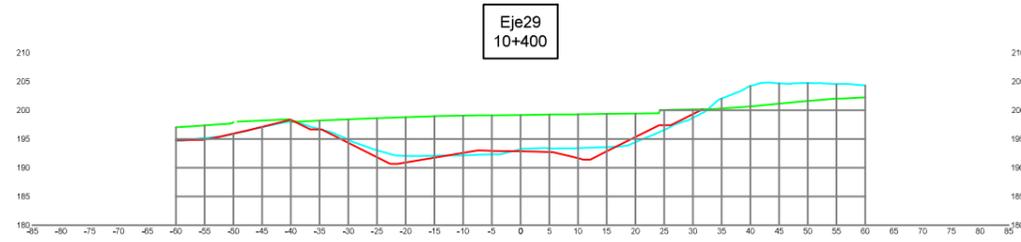


Materiales en PK 10+160			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	642.88	22795.17	55866.72
Terrapien	0.00	57.60	1940.98

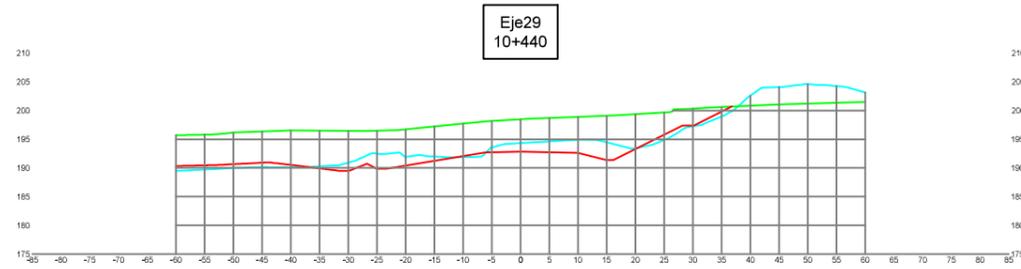


Materiales en PK 10+360			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	555.52	24665.64	184398.97
Terrapien	0.00	0.00	1954.45

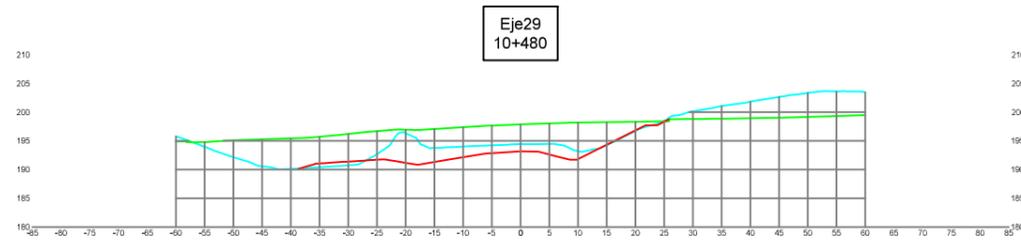
LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron



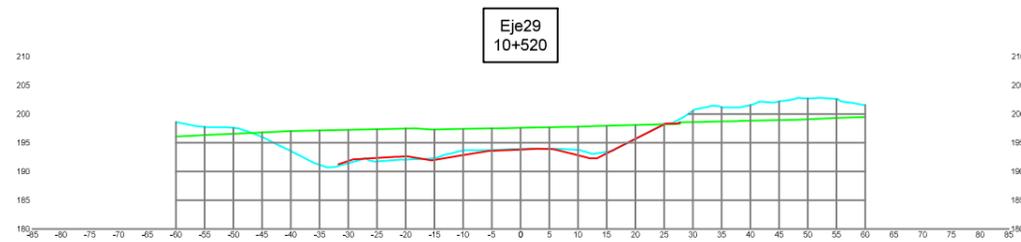
Materiales en PK 10+400			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	409.03	19886.15	204285.12
Terraplen	0.17	3.77	1858.23



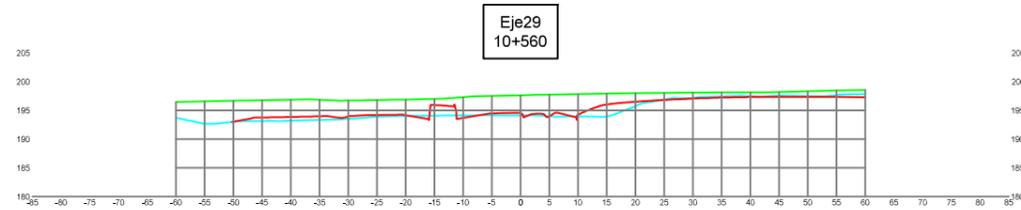
Materiales en PK 10+440			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	235.06	18881.85	223166.97
Terraplen	0.00	3.41	1961.64



Materiales en PK 10+480			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	296.63	15578.28	238745.25
Terraplen	0.12	2.80	1964.44

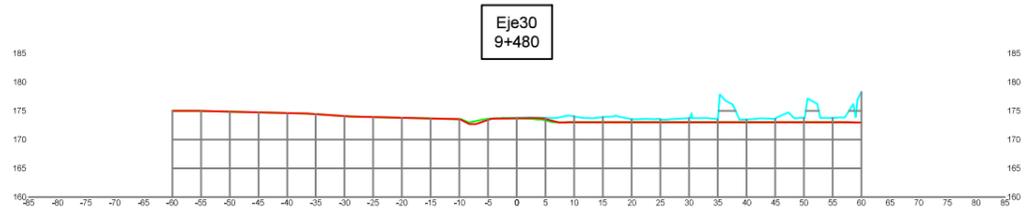


Materiales en PK 10+520			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	241.64	10243.74	248989.99
Terraplen	0.23	8.13	1972.57

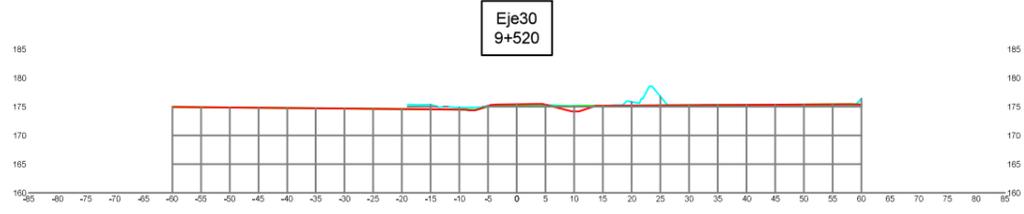


Materiales en PK 10+560			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	241.02	9577.60	258566.60
Terraplen	0.00	4.71	1977.28

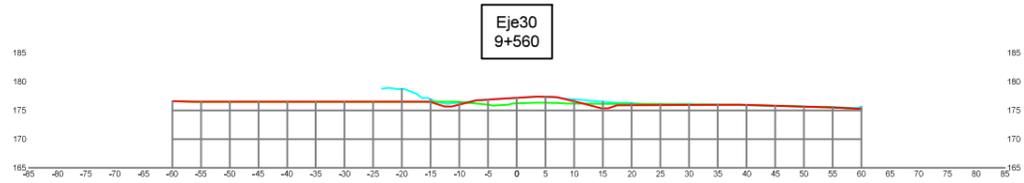
LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron



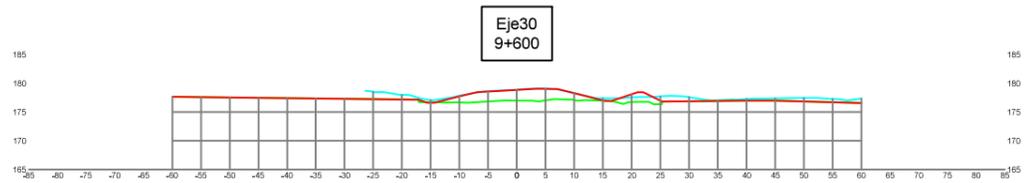
Materiales en PK 9+480			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	1.72	0.00	0.00
Terrapien	1.00	0.00	0.00



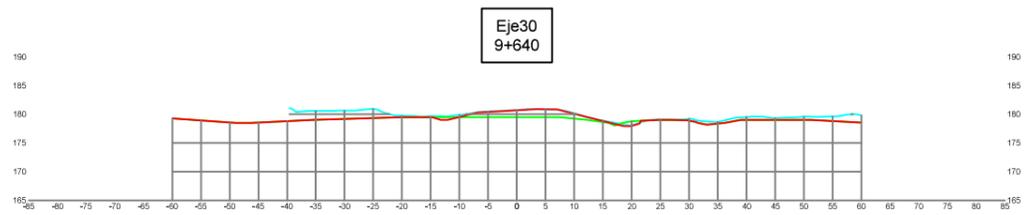
Materiales en PK 9+520			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	4.47	124.49	124.49
Terrapien	3.00	80.04	80.04



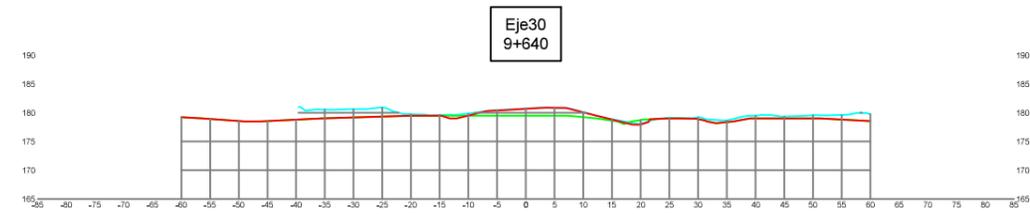
Materiales en PK 9+560			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	9.08	276.88	401.17
Terrapien	18.61	393.25	473.29



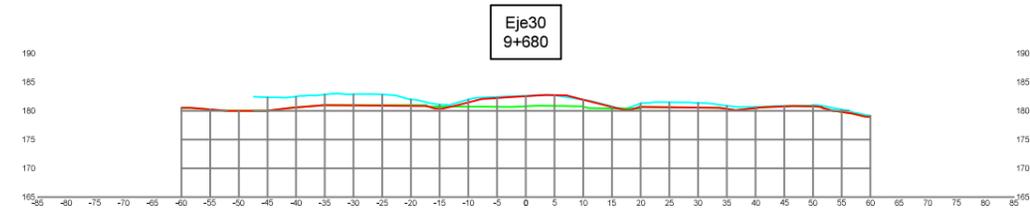
Materiales en PK 9+600			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	1.10	208.11	607.28
Terrapien	50.35	1353.48	1826.77



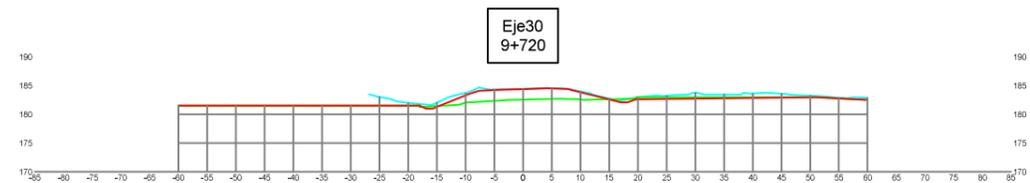
Materiales en PK 9+640			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	3.77	97.22	704.50
Terrapien	23.36	1491.09	3317.86



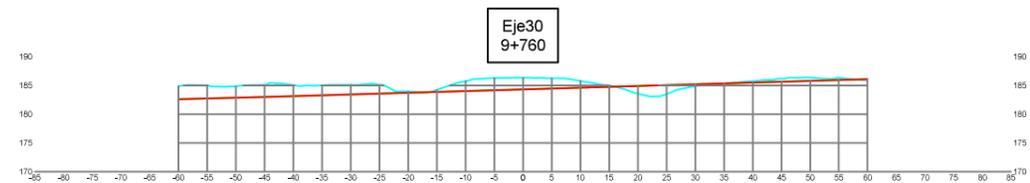
Materiales en PK 9+640			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	3.77	97.22	704.50
Terrapien	23.36	1491.09	3317.86



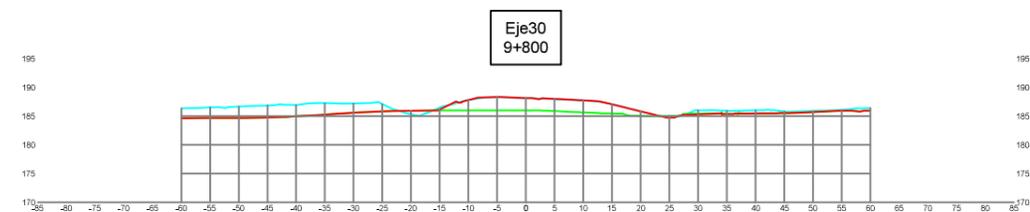
Materiales en PK 9+680			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	2.98	134.42	838.92
Terrapien	37.68	1227.79	4545.65



Materiales en PK 9+720			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	8.64	239.92	1078.84
Terrapien	42.17	1599.03	6144.69

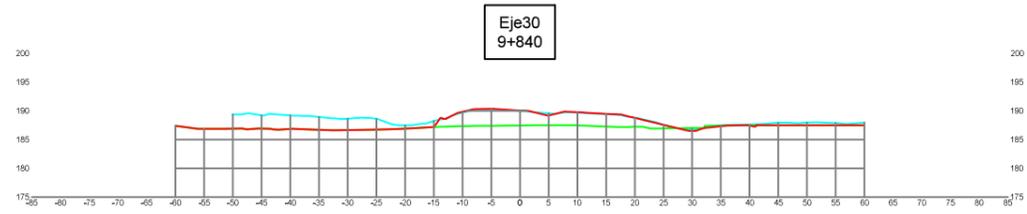


Materiales en PK 9+760			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	2.66	3008.08	4084.93
Terrapien	79.67	85691.88	91836.56

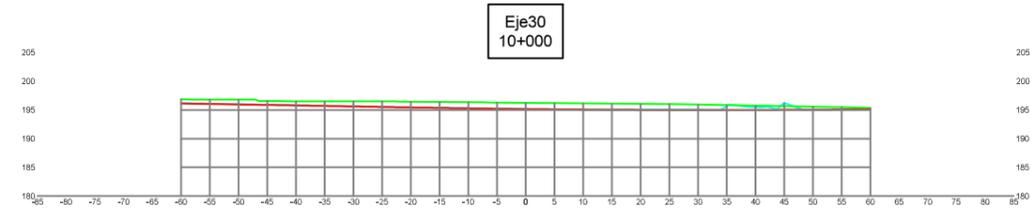


Materiales en PK 9+800			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	1.61	64.40	4149.33
Terrapien	66.59	2863.60	94500.16

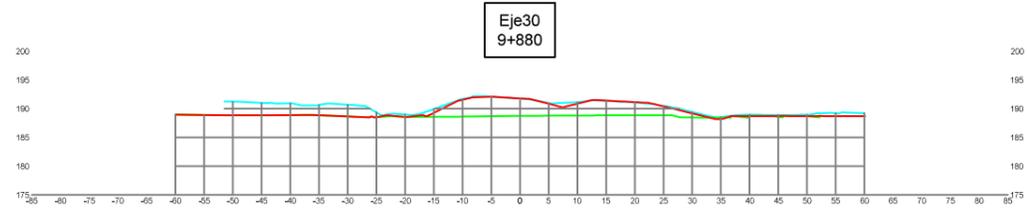
LEYENDA	
	Terreno Natural
	Diseño
	Vuelo Dron



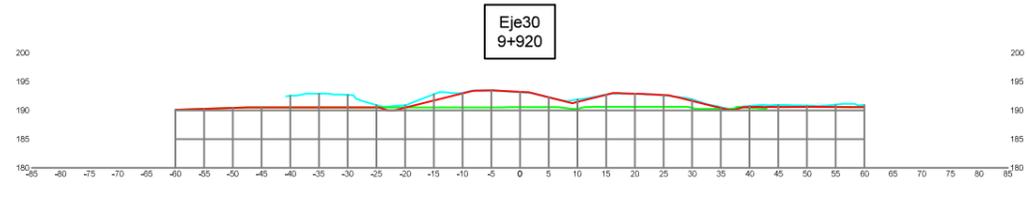
Materiales en PK 9+840			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	2.50	73.37	4266.70
Terraplen	85.80	3011.68	97511.84



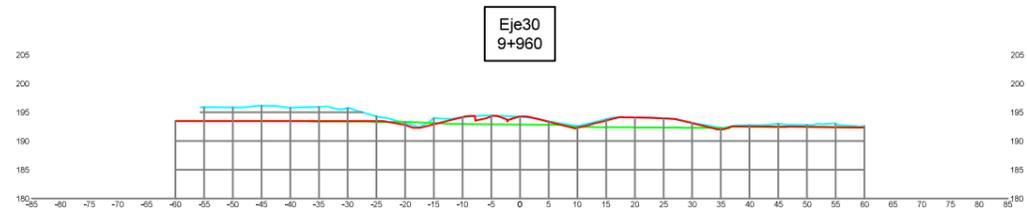
Materiales en PK 10+000			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	104.84	0.00	6742.25
Terraplen	0.00	0.00	106326.76



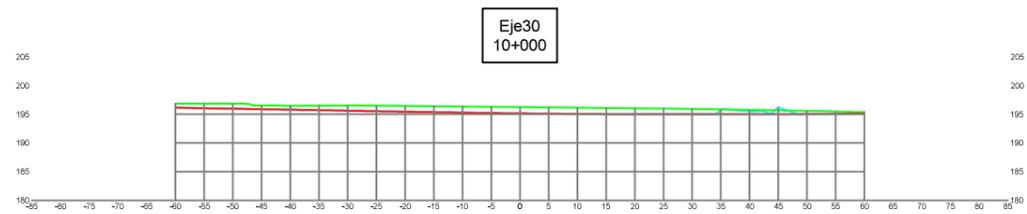
Materiales en PK 9+880			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	0.70	55.89	4322.39
Terraplen	107.98	3799.37	101311.21



Materiales en PK 9+920			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	2.16	55.75	4378.14
Terraplen	101.02	4077.27	105388.48

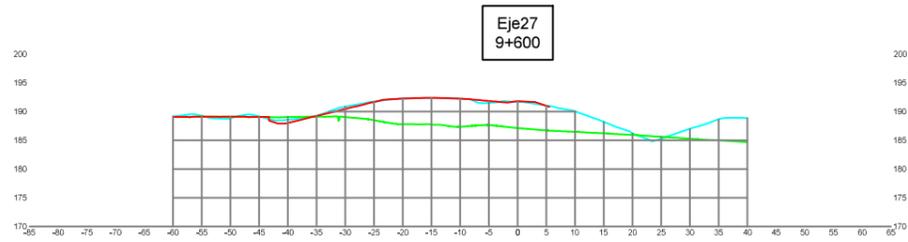


Materiales en PK 9+960			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	5.54	156.57	4534.71
Terraplen	48.30	2954.26	107342.74

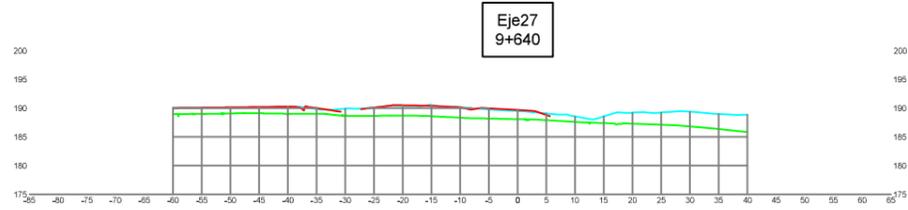


Materiales en PK 10+000			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	104.84	2207.54	6742.25
Terraplen	0.00	986.02	106326.76

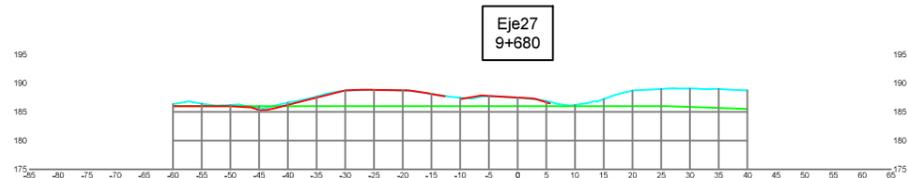
LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron



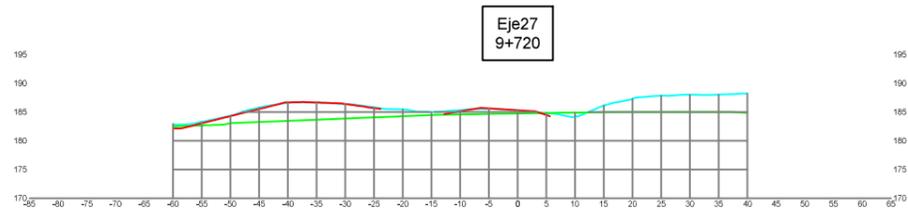
Materiales en PK 9+600			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	5.49	0.00	0.00
Terrapien	151.21	0.00	0.00



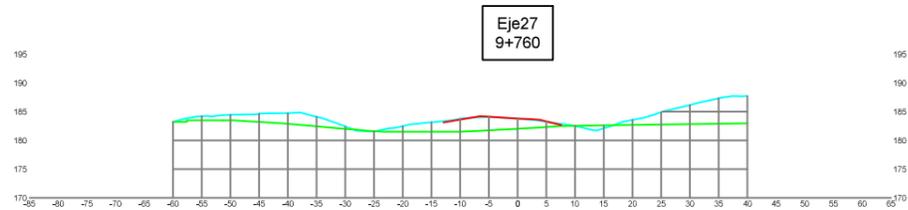
Materiales en PK 9+640			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	0.00	183.04	183.04
Terrapien	84.75	5957.14	5957.14



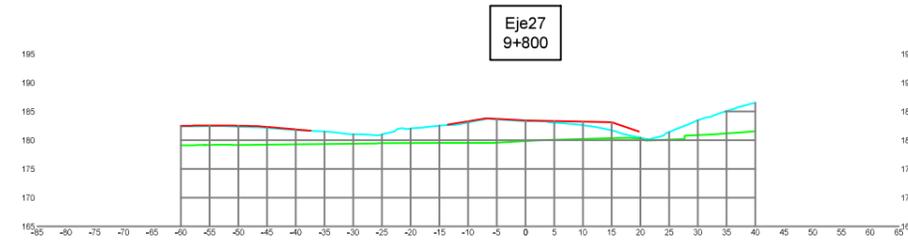
Materiales en PK 9+680			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	2.95	102.85	285.89
Terrapien	82.48	4533.71	10490.85



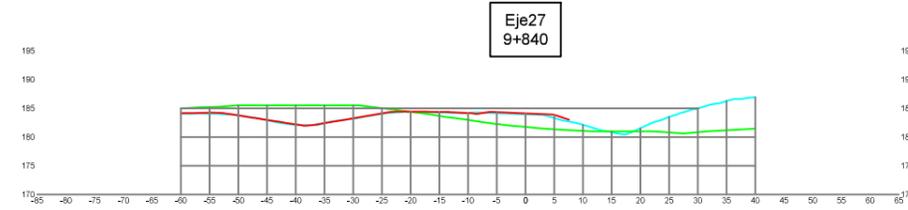
Materiales en PK 9+720			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	1.39	145.38	434.25
Terrapien	79.91	4656.39	15147.23



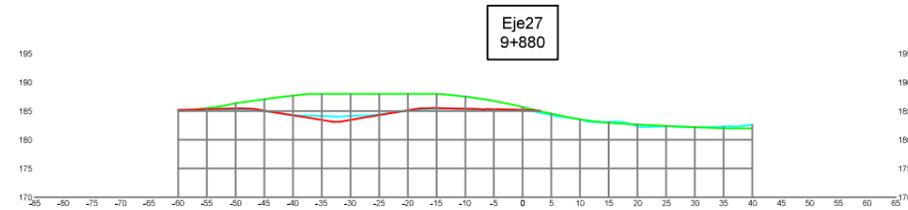
Materiales en PK 9+760			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	0.00	45.51	479.77
Terrapien	36.64	3274.40	18421.63



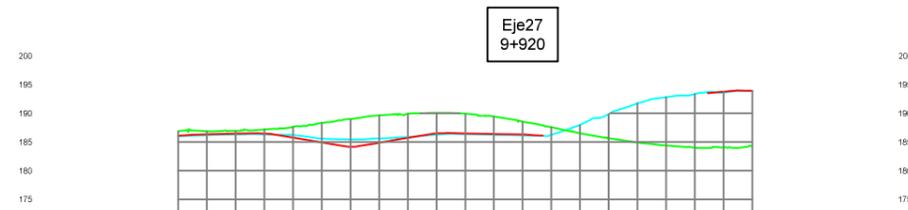
Materiales en PK 9+800			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	0.00	0.00	479.77
Terrapien	178.84	5467.88	23889.51



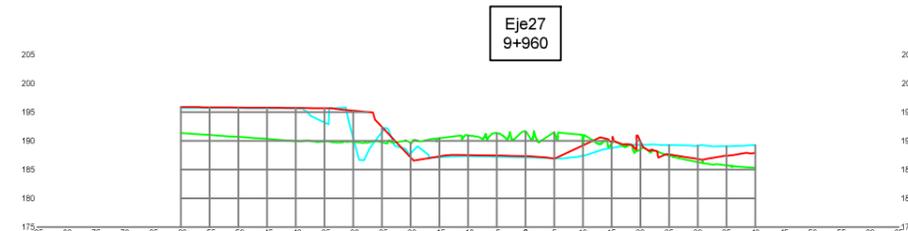
Materiales en PK 9+840			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	76.07	2501.77	2981.53
Terrapien	43.52	5552.31	29441.82



Materiales en PK 9+880			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	117.48	4330.80	7312.43
Terrapien	0.36	887.72	30329.54



Materiales en PK 9+920			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	168.54	5808.98	13121.41
Terrapien	75.71	1485.24	31814.78

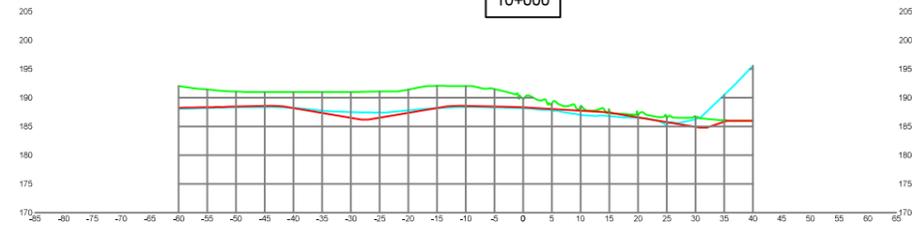


Materiales en PK 9+960			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	105.02	5528.36	18649.77
Terrapien	211.11	5794.72	37809.50

LEYENDA

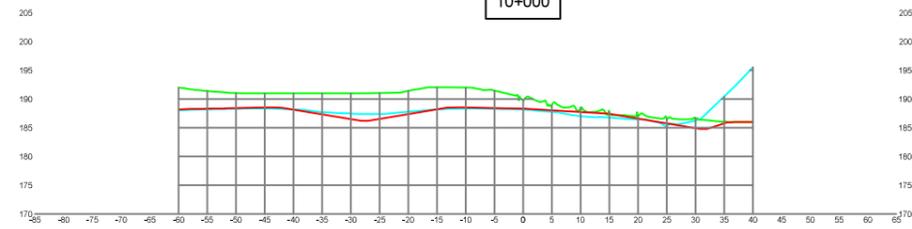
- Terreno Natural
- Diseño
- Vuelo Dron

Eje27
10+000



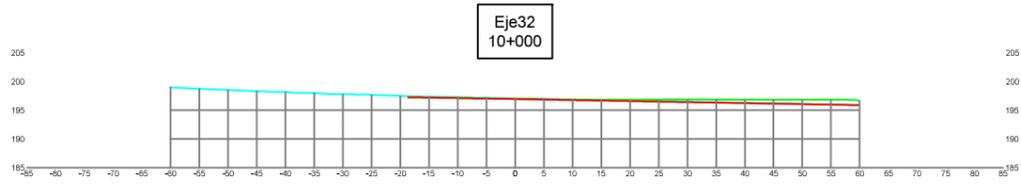
Materiales en PK 10+000			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	233.79	6856.06	25505.83
Terraplen	0.14	4319.73	41929.22

Eje27
10+000

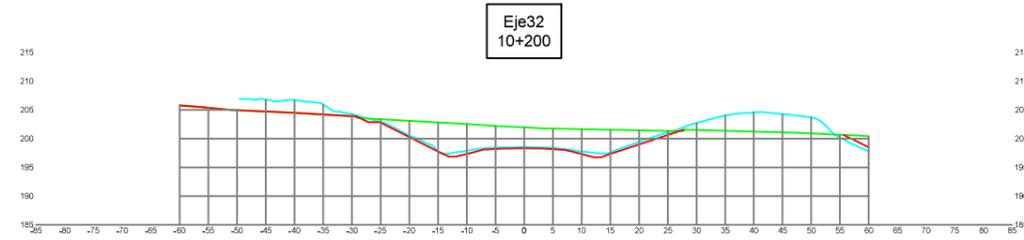


Materiales en PK 10+000			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	233.79	0.00	25505.83
Terraplen	0.14	0.00	41929.22

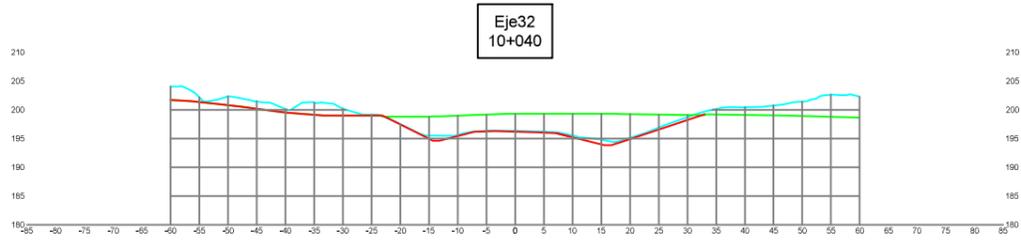
LEYENDA	
—	Terreno Natural
—	Diseño
—	Vuelo Dron



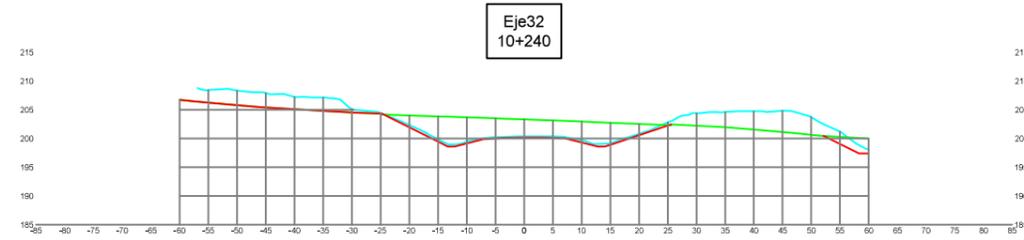
Materiales en PK 10+000			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	26.59	0.00	0.00
Terrapien	0.00	0.00	0.00



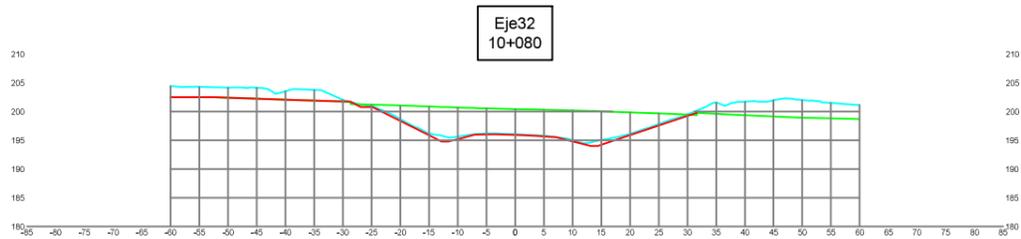
Materiales en PK 10+200			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	186.31	7643.44	34998.37
Terrapien	0.17	9.38	56.34



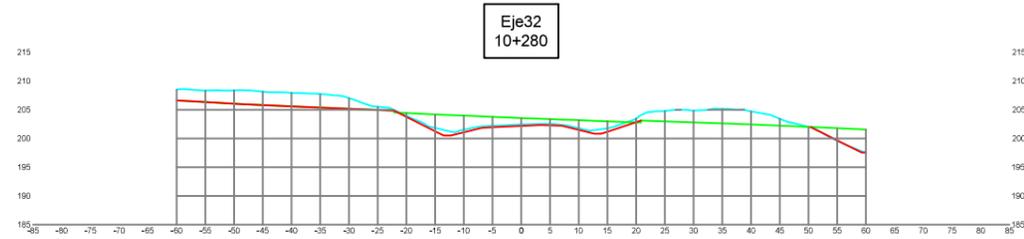
Materiales en PK 10+040			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	158.85	3708.94	3708.94
Terrapien	0.23	4.56	4.56



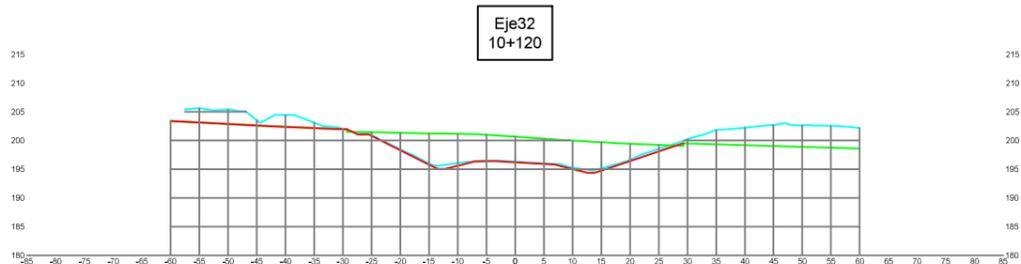
Materiales en PK 10+240			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	165.40	7074.16	42072.53
Terrapien	0.06	4.83	60.97



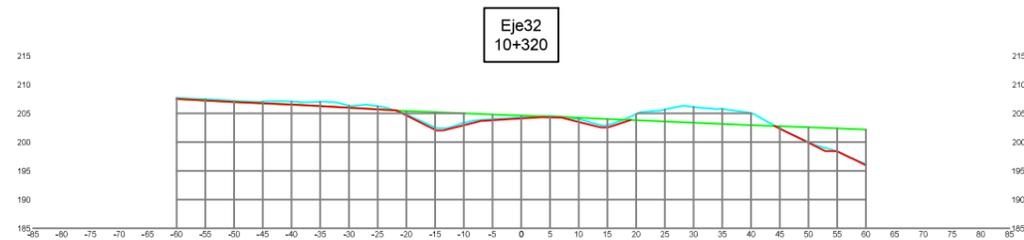
Materiales en PK 10+080			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	225.33	7654.24	11363.17
Terrapien	0.36	11.60	16.16



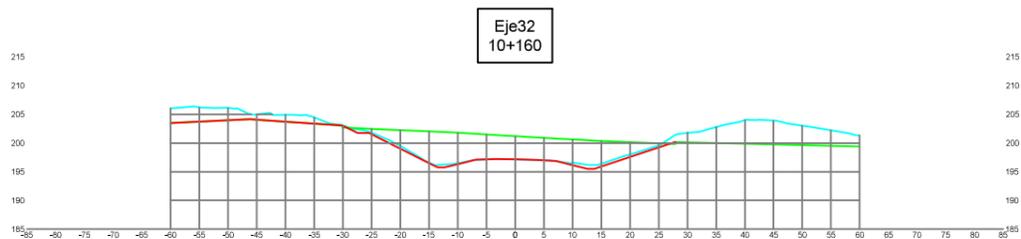
Materiales en PK 10+280			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	93.12	5220.07	47292.60
Terrapien	0.27	6.65	67.82



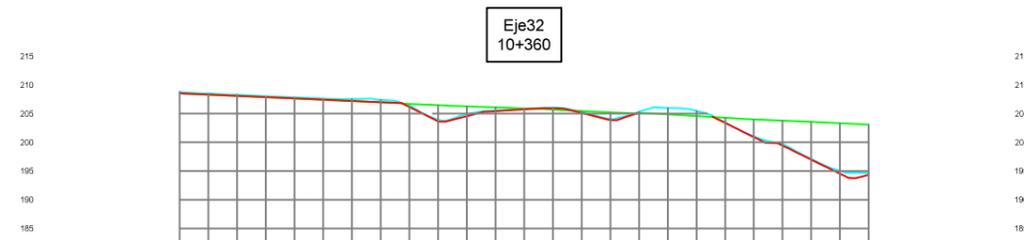
Materiales en PK 10+120			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	211.78	8693.07	20056.25
Terrapien	0.48	16.56	32.72



Materiales en PK 10+320			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	98.30	4085.11	51377.71
Terrapien	0.00	5.43	73.05

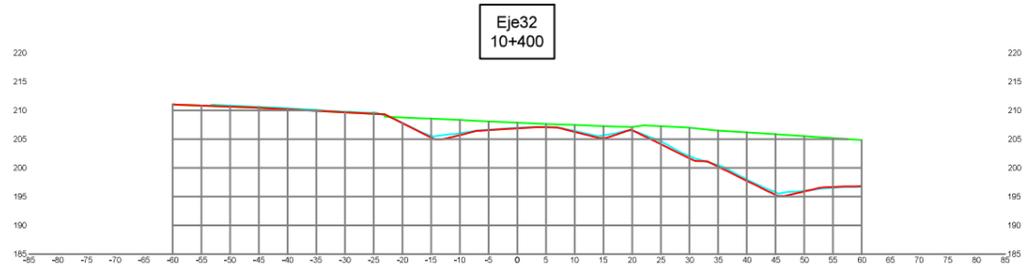


Materiales en PK 10+160			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	199.65	7296.68	27354.83
Terrapien	0.31	14.24	46.96

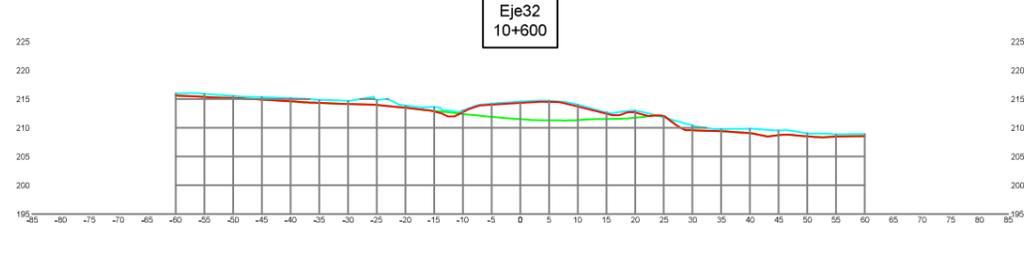


Materiales en PK 10+360			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	178.38	6292.64	57670.35
Terrapien	1.11	22.71	95.76

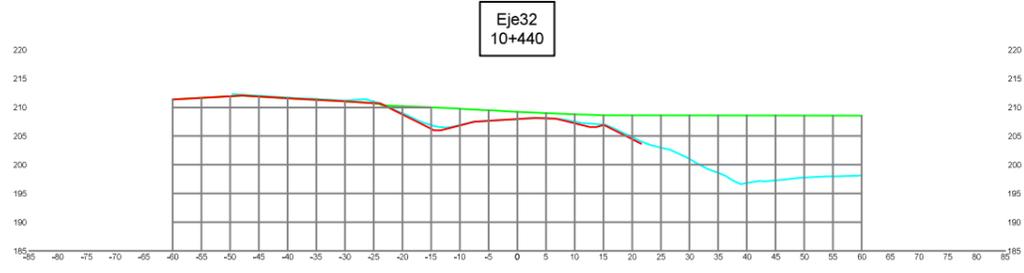
LEYENDA	
	Terreno Natural
	Diseño
	Vuelo Dron



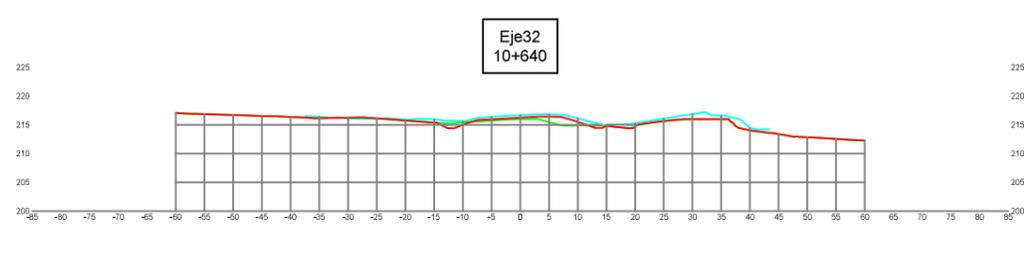
Materiales en PK 10+400			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	348.00	12061.11	69731.46
Terraplen	0.17	25.74	121.50



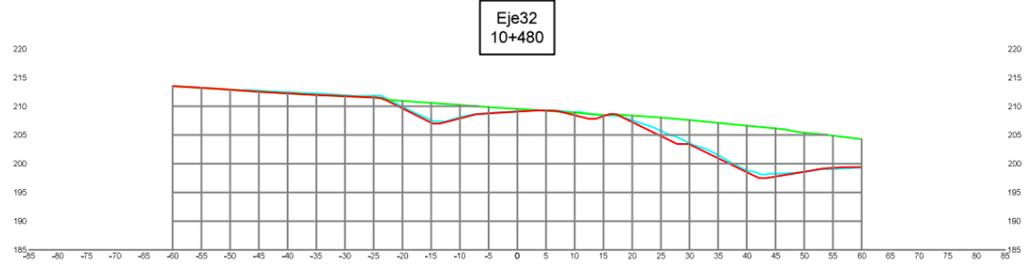
Materiales en PK 10+600			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	1.84	73.41	118724.56
Terraplen	82.90	2972.06	6613.27



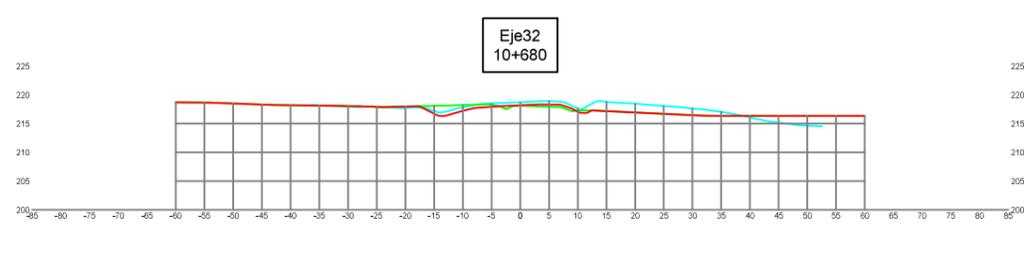
Materiales en PK 10+440			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	415.90	20541.35	90272.81
Terraplen	0.08	4.77	126.27



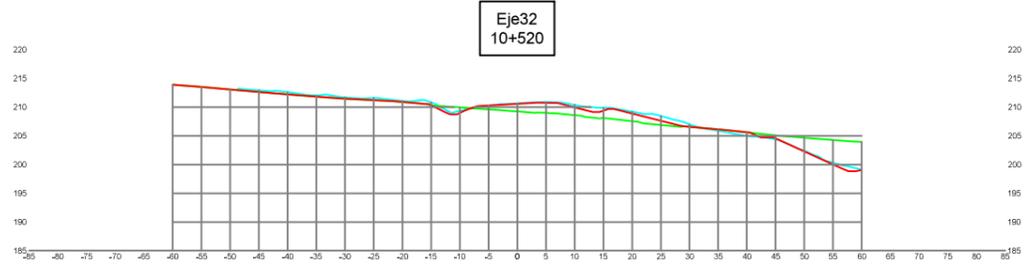
Materiales en PK 10+640			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	3.96	111.06	118835.62
Terraplen	10.47	1499.61	8112.89



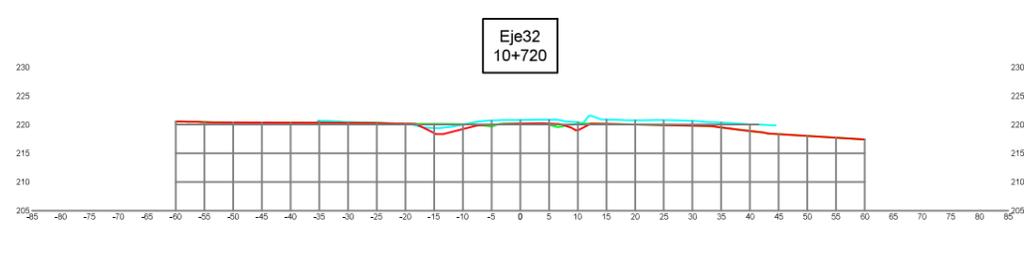
Materiales en PK 10+480			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	278.08	19024.27	109297.08
Terraplen	0.27	7.21	133.48



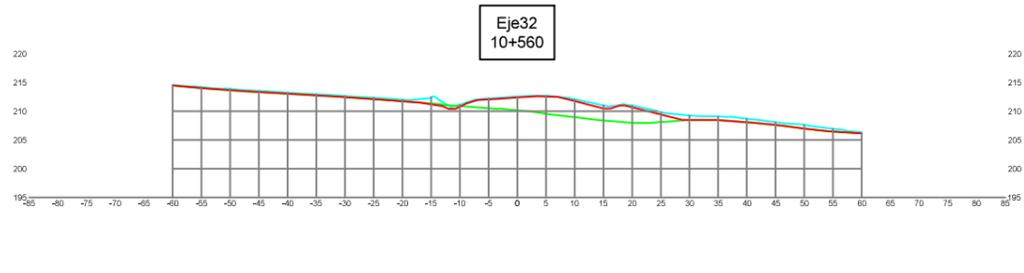
Materiales en PK 10+680			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	13.38	330.03	119165.65
Terraplen	3.78	291.65	8404.54



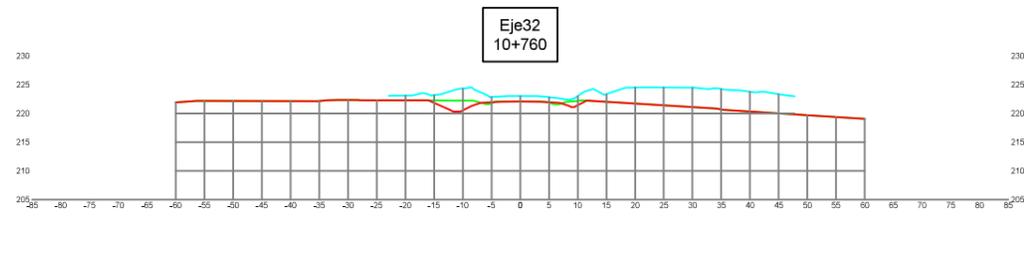
Materiales en PK 10+520			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	55.38	7927.52	117224.60
Terraplen	43.11	913.10	1046.58



Materiales en PK 10+720			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	13.79	529.10	119694.75
Terraplen	1.59	108.49	8513.02

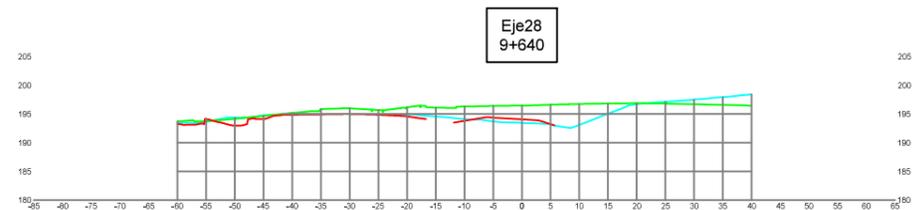


Materiales en PK 10+560			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	2.08	1426.55	118681.15
Terraplen	80.30	2594.64	3641.22

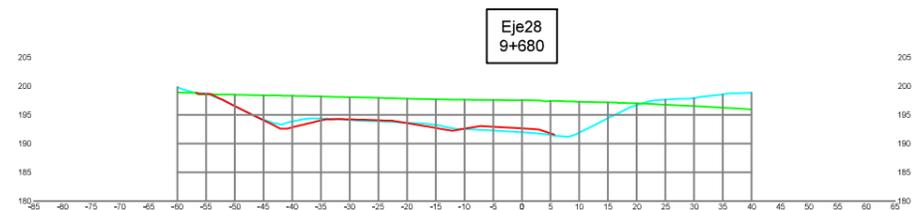


Materiales en PK 10+760			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	13.04	536.70	120231.45
Terraplen	0.88	49.32	8562.34

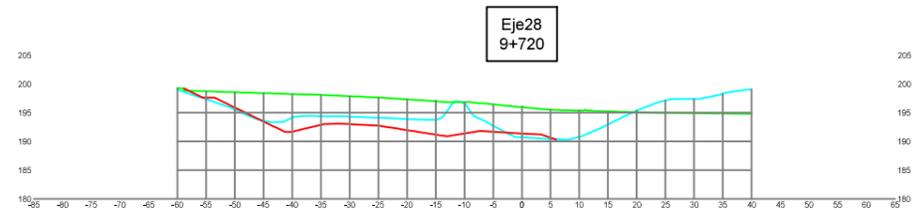
LEYENDA	
	Terreno Natural
	Diseño
	Vuelo Dron



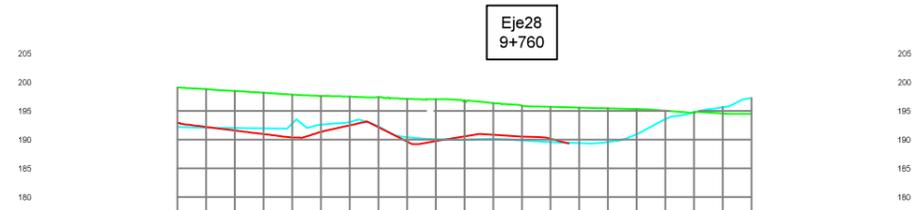
Materiales en PK 9+640			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	76.82	2122.32	2122.32
Terrapien	0.33	90.42	90.42



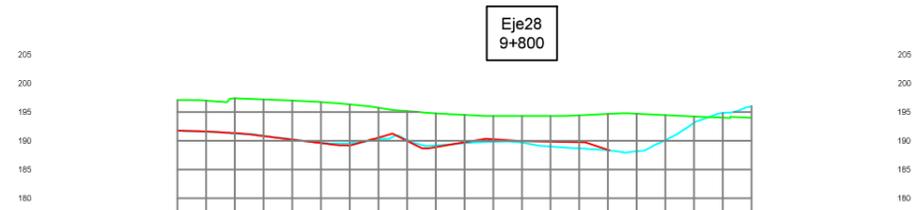
Materiales en PK 9+680			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	255.21	9092.88	11215.20
Terrapien	0.19	20.63	111.05



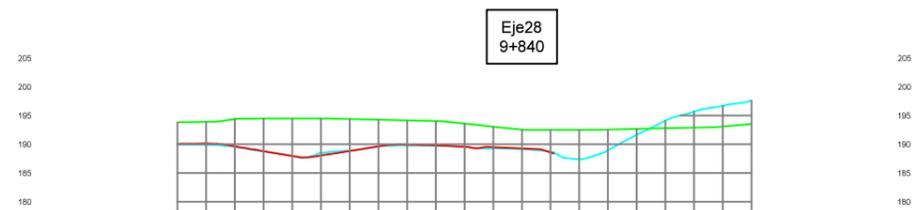
Materiales en PK 9+720			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	296.31	15521.93	28737.14
Terrapien	0.15	13.73	124.78



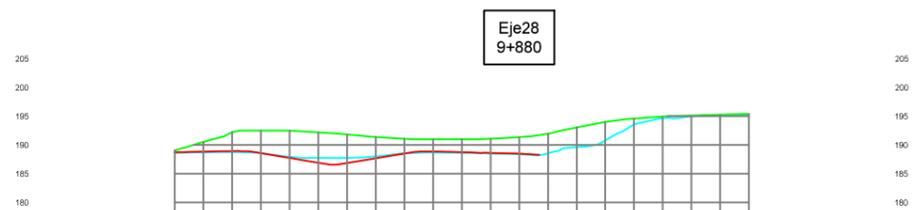
Materiales en PK 9+760			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	429.36	21233.46	47970.62
Terrapien	0.00	6.11	130.89



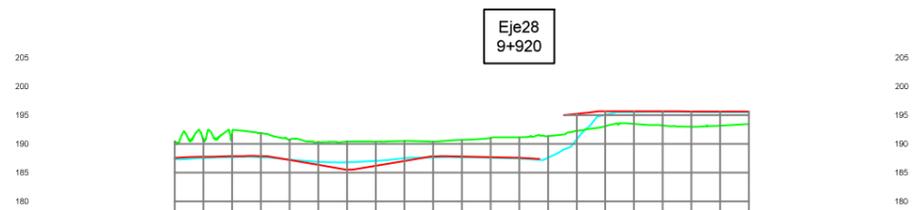
Materiales en PK 9+800			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	415.03	24819.58	72790.20
Terrapien	0.00	0.00	130.89



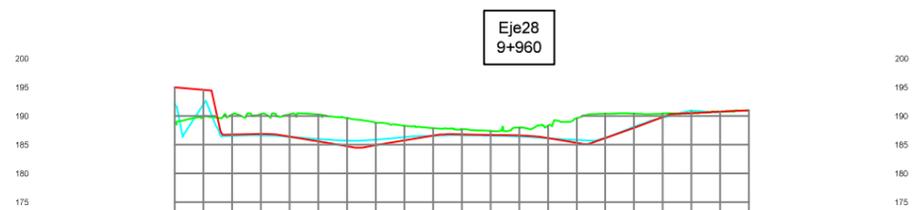
Materiales en PK 9+840			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	304.43	20913.02	93703.22
Terrapien	0.00	0.00	130.89



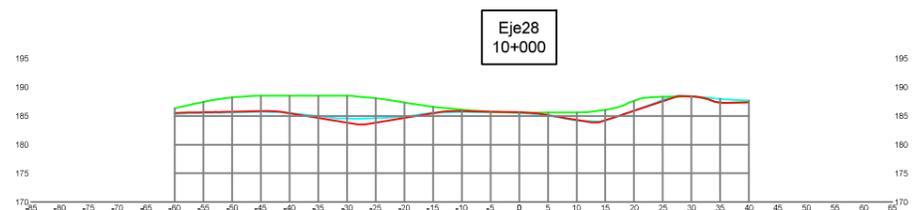
Materiales en PK 9+880			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	204.21	11269.05	104972.28
Terrapien	0.00	0.00	130.89



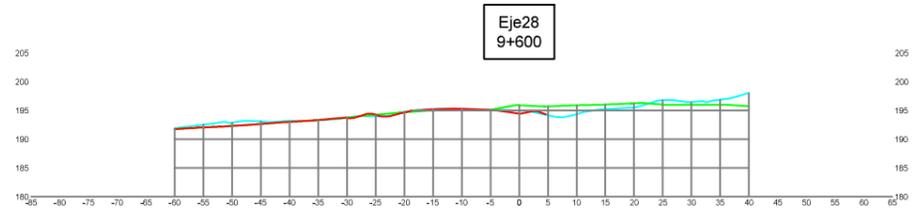
Materiales en PK 9+920			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	234.73	8949.13	113921.40
Terrapien	81.25	1599.70	1730.58



Materiales en PK 9+960			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	222.59	9289.40	123211.00
Terrapien	35.90	2344.72	4075.30



Materiales en PK 10+000			
Nombre	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	166.53	7890.68	131101.68
Terrapien	0.28	750.65	4825.95



Material(s) at Station 9+600			
Material	Area	Volumen	Volumen Acumulado
Desmonte	11.14	0.00	0.00
Terrapien	3.25	0.00	0.00

LEYENDA

- Terreno Natural
- Diseño
- Vuelo Dron