



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AGRIMENSURA



“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE VUELO A ESCALA 1:10.000”

TRABAJO FINAL

Moggia, Lucia N°66494/6
Tolosa, Florencia N°66406/5

CATEDRA DE TRABAJO FINAL

Profesor titular: Dr. Agrim. Ing. Jorge Sisti

Director: Agrim. Cesar Romero

CoDirectora: Ing. Agrim. Daniela Soto

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer tanto al Director del Trabajo Final, Ing. Agrim. Cesar Romero, como a la Codirectora de este, Ing. Agrim. Daniela Soto, por la confianza y paciencia que nos demostraron a lo largo de todos estos meses, apoyándonos desde el momento en que los convocamos para participar de este proyecto. Gracias por la ayuda brindada, los mensajes de buena fe para continuar cuando nos encontrábamos desorientadas y por la dedicación en cada consulta y reunión realizada.

Al Director de la cátedra de trabajo final Dr. Agrim. Ing. Jorge Sisti, quien siempre nos incentivó a realizar un Trabajo Final, dando buenas vibras y apoyando las ideas que podían surgir.

A la Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, Departamento de Agrimensura, en donde a lo largo de los seis años de carrera nos han inculcado conocimientos teórico-prácticos los cuales nos permitieron poder llevar a cabo este trabajo y también principios para poner en práctica en la vida profesional.

A nuestras familias y amigos, que siempre estuvieron presentes en este largo proceso, con un comentario de apoyo o con algún consejo cuando nos encontrábamos en momentos de incertidumbre, y siempre incentivando a superarnos a nosotras mismas y poder dar lo mejor.

En fin, a todos los que de alguna manera fueron parte de este hermoso y largo proceso, que no solo fue el Trabajo Final, sino la carrera de Ingeniería en Agrimensura, que sin dudas es hoy, otra gran familia que nos llevamos de esta etapa vivida.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	OBJETIVOS GENERALES.....	5
1.2	OBJETIVOS PARTICULARES	5
2	MARCO TEÓRICO - CONCEPTOS GENERALES	5
2.1	FOTOGAMETRÍA	5
2.2	MÉTODOS FOTOGAMÉTRICOS	6
2.2.1	Según el tipo de tratamiento	6
2.2.2	Según el tipo de fotografía:	7
3	VUELO FOTOGAMÉTRICO	8
3.1	DISPOSICIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS	8
3.2	ORIENTACIONES	10
4	IMAGEN EN FORMATO DIGITAL	12
5	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES	14
5.1	APLICACIONES Y UTILIDADES DE LOS MDE	16
6	MÉTODOS PARA LA GENERACIÓN DE LOS MDE	17
7	DESARROLLO	19
7.1	MATERIALES CON LOS QUE CONTAMOS PARA REALIZAR EL TRABAJO	19
7.1.1	Verificaciones del material de trabajo	20
7.2	SOFTWARES UTILIZADOS PARA LA CONFECCIÓN DEL TRABAJO	23
7.2.1	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	23
7.2.1.1	Photomod	23
7.2.1.2	Agisoft	24
8	CONFECCIÓN DEL TRABAJO	26
8.1	ETAPA 1: Orientación de las imágenes y confección de los MDE con el software Photomod.....	27
8.1.1	Conclusion ETAPA 1	46
8.2	ETAPA 2: Generación de MDE con el software Agisoft.....	47
8.2.1	Conclusión ETAPA 2	54

9	CONCLUSIONES DEL TRABAJO	55
10	GASTOS Y HONORARIOS	58
11	ANEXOS.....	60
12	BIBLIOGRAFÍA.....	67

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad los Modelos Digitales de Elevaciones son de gran utilidad para el ámbito de la Agrimensura, debido a la gran cantidad de información que brindan y al potencial analítico que muchas herramientas de software ofrecen, permitiendo generar productos de valor agregado, tales como curvas de nivel, mapas de pendientes, red de drenaje, cuencas visuales, entre otros. Hoy en día hay gran variedad de software que permiten generar estos modelos, los cuales permiten una extracción de información más eficaz y sencilla.

Los Modelos Digitales de Elevaciones se generan para representar la superficie topográfica de la tierra. Los mismos consisten en una grilla agrupada de pixeles a los cuales se les asigna un valor de altura respecto de un plano de referencia. Estos permiten abordar diferentes temáticas y/o problemáticas que no puedan resolverse por metodologías convencionales.

El presente Trabajo Final consta de un análisis y estudio de la posibilidad de generar Modelos Digitales de Elevaciones a partir de imágenes obtenidas de dos vuelos fotogramétricos de escala 1:10.000 y 1:20.000 de la Base Aeronaval de Punta Indio (BAPI) las cuales no fueron obtenidas con el fin de procesarse con softwares actuales. En el mismo se analizó la posibilidad de combinar ambas tecnologías sin esperar que los resultados sean óptimos, sino que se pretende obtener resultados para considerar, o no, la posibilidad de utilizar información ya obtenida de años anteriores con tecnología no convencional (en este caso imágenes fotogramétricas) y procesarla con softwares de la actualidad.

Se generarán dos MDE con cada software para luego realizar una comparación de los distintos parámetros que los componen.

La zona de estudio es una base aérea de la Armada de la República Argentina (ARA) que se encuentra próximo a la ciudad de Verónica, la que pertenece al partido de Punta Indio, Provincia de Buenos Aires.

Cabe destacar que la realización del mismo se confeccionó en el marco de la pandemia Covid-19, por lo que fue un trabajo de mero gabinete sin la posibilidad de realizar campañas a la zona de trabajo, utilizando información brindada por la Facultad de Ingeniería, Departamento de Agrimensura de trabajos finales anteriores y campañas preexistentes.

1.1 OBJETIVOS GENERALES

Aplicar los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera en la confección de un trabajo específico de la Agrimensura, como es la realización de Modelos Digitales de Elevaciones, su aplicación y obtención de derivados.

1.2 OBJETIVOS PARTICULARES

Como objetivos particulares del siguiente trabajo, se generaron variantes de MDE con diferentes parámetros (con/sin puntos de control y con/sin puntos de apoyo) mediante la utilización de diversos softwares, con el fin de poder comparar resultados mediante un control de la calidad de los distintos modelos y validar o no la utilización de tecnologías no contemporáneas en conjunto.

2 MARCO TEÓRICO - CONCEPTOS GENERALES

Para comenzar con la realización de los modelos digitales de elevación, consideramos necesario conocer los conceptos previos que dan origen a la generación de los mismos, independientemente de los métodos y de la forma de captura de los datos que más adelante ahondaremos.

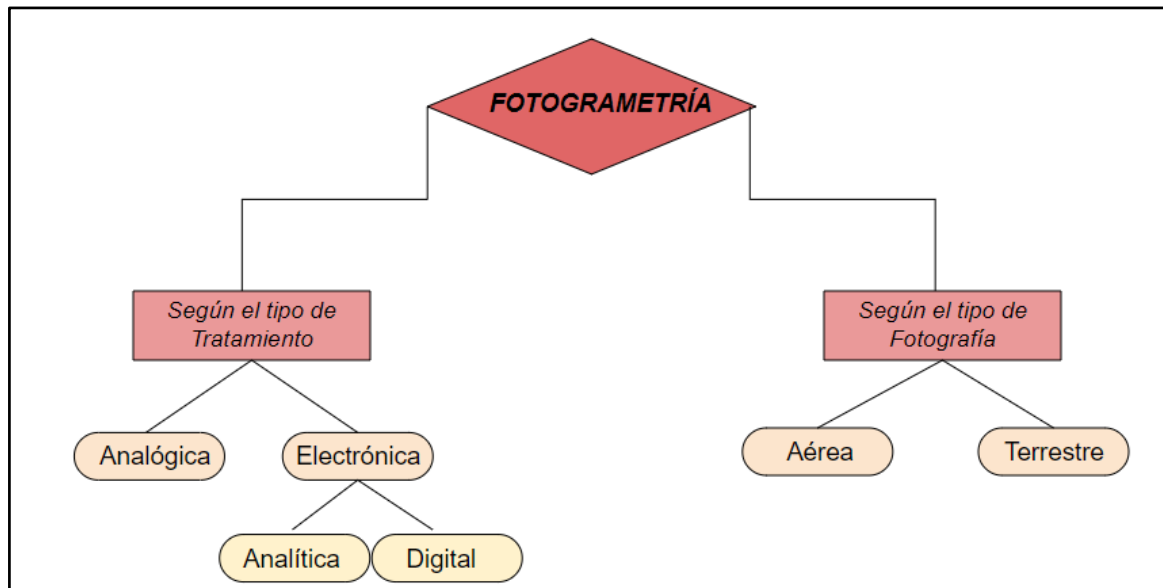
2.1 FOTOGRAMETRÍA

Podemos definir a la fotogrametría como el arte, ciencia y tecnología cuyo fin es el de obtener información cuantitativa a partir de imágenes obtenidas de un vuelo fotogramétrico, de lo que se encuentre en la zona de estudio. Utiliza un método de levantamiento indirecto que permite medir y registrar coordenadas tridimensionales y producir representaciones muy precisas (gráficas o fotográficas) de todo tipo de objeto, cuya imagen o imágenes puedan ser registradas mediante rayos de luz sobre soportes analógicos o digitales.

Cuando se toman fotografías aéreas de una zona, la imagen que se obtiene es similar a un mapa, sin embargo, desde el punto de vista cartográfico, no se puede considerar como tal por las deformaciones de la imagen. Para que estas fotografías aéreas puedan ser transformadas en un mapa, es necesario conocer las deformaciones geométricas para eliminarlas o corregirlas por medio de instrumentos y métodos especiales. La fotografía aérea, es utilizada como base para la elaboración de cartas o mapas, pero en forma general se utilizan en todo proceso de análisis cualitativo y cuantitativo de la superficie fotografiada.

2.2 MÉTODOS FOTOGRAMÉTRICOS

A continuación, se observa un cuadro síntesis de la clasificación de la fotogrametría:



2.2.1 Según el tipo de tratamiento

- *Analógica*: se basa en la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realiza la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado.
- *Electrónicas*: Los sistemas ópticos mecánicos se sustituyen por un sistema informático el cual se encarga de la realización de los cálculos y consigue una mejora en cuanto a la precisión de los resultados y flexibilidad del equipo, permitiendo utilizar fotografías de muy distinto origen (desde fotogramas de rango cercano a fotogramas aéreos) y diferentes características (inclinación, base, focal, etc). Dentro de este método encontramos:
 - 1 Fotogrametría analítica: emplea la solución informatizada de los cálculos fotogramétricos, utilizando como información de entrada las medidas realizadas sobre la fotografía (formato analógico). La utilización del apoyo informático permite la rápida obtención de las relaciones existentes entre los puntos del objeto y sus correspondientes imágenes, así como los errores del sistema.
 - 2 Fotogrametría digital: el uso de computadoras y programas/softwarees hicieron posible llegar a la fotogrametría digital permitiendo extraer información y que al utilizarlos den origen a la generación de distintas aplicaciones:

Modelos digitales del terreno, modelos digitales de superficie, modelos digitales de elevación, ortoimágenes, estéreo-imágenes, visualización tridimensional del terreno, obtención de perfiles transversales, etc.

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Las imágenes digitales son ingresadas a la computadora y el operador puede identificar con buena precisión los puntos homólogos o bien la computadora realiza estas operaciones por comparación de imágenes.

2.2.2 Según el tipo de fotografía:

- Aérea: es la que utiliza fotografías aéreas tomadas desde una cámara de tomas de vistas, ubicada en una plataforma especial (como puede ser un avión).
- Terrestre: se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra, como lo hacemos habitualmente; donde la posición de la cámara y el objeto es perfectamente conocida.

FOTOGRAMETRÍA DIGITAL	
<i>VENTAJAS</i>	<i>DESVENTAJAS</i>
Imágenes de gran estabilidad dimensional	Requiere un elevado volumen de almacenamiento
Facilidad de visualización y de encontrar los puntos homólogos	El tratamiento de la imagen requiere de softwares
Es posible automatizar los procesos	
Salida digital de la información (Raster o vectorial)	
Bajo costo de restituidores en comparación a los restituidores analíticos	
Las imágenes obtenidas por la fotogrametría digital no necesitan del proceso de escaneo como cuando se trabaja con imágenes en papel.	

3 VUELO FOTOGRAMÉTRICO

Un vuelo fotogramétrico tiene por objeto:

-Sobrevolar la zona a una altitud que debe calcularse en función de la escala deseada y de la distancia principal de la cámara.

-Cubrir con sus imágenes una determinada zona y para ello es preciso que cada fotograma tenga una zona común con las contiguas, denominada “zona de recubrimiento”.

Para esto, la aeronave debe volar a una altitud y velocidad constante, siguiendo una ruta predeterminada y así poder ejecutar los disparos con intervalos regulares, que se correspondan a recorridos iguales.

Los **aspectos geométricos** de la fotografía aérea que se deben tener en cuenta antes de realizar un vuelo son los siguientes:

- Certificado de calibración de la cámara: este nos dará los parámetros de orientación interna, es decir, distancia principal, punto principal, coordenadas de las marcas fiduciales, distorsiones.
- Escala de la fotografía.
- Recubrimiento longitudinal y transversal que tendrán entre sí las imágenes.

En cuanto a las **condiciones fotográficas** que se deben tener presentes, podemos citar algunas de ellas:

- Contraste fotográfico de la película.
- La homogeneidad de la tonalidad.
- La ausencia de nubes.
- La toma de fotografías aéreas deberá realizarse en el momento en que la altitud del sol sea óptima para evitar sombras que dificulten la visualización del terreno.

Lo primero que debemos obtener para poder realizar un vuelo fotogramétrico, es la escala a la que obtendremos las fotografías.

Ésta será en función de la escala de representación (escala del plano a representar) y del tamaño de los objetos que se pretenden detectar en las imágenes.

Una vez seleccionada la escala del vuelo y conocida la distancia principal de la cámara de la toma, podremos obtener la altura de vuelo sobre el terreno.

3.1 DISPOSICIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS

El objeto de los recubrimientos fotogramétricos es poder aplicar el principio de la visión estereoscópica a los fotogramas aéreos. La parte común entre dos fotografías consecutivas es el modelo estereoscópico, debiendo poderse enlazar estos modelos tanto longitudinal como transversalmente.

- *Recubrimiento longitudinal*: será la parte común que contengan dos fotos consecutivas. El espaciamiento entre tomas consecutivas (avance longitudinal) que permita la visión estereoscópica (*visión de relieve que se consigue al mirar un mismo objeto en dos imágenes en simultáneo con ambos ojos mediante un estereoscopio*) y además la conexión entre modelos consecutivos, requiere que la cámara recorra una distancia que sea el 40% de la longitud del terreno cubierto por cada foto. De esta manera, ambas fotos tendrán en común un 60% (como mínimo) del terreno fotografiado. (Ver Imagen N°1). Esta superposición es la recomendada teóricamente, pero suele pasar que no siempre se cumpla, como sucede en nuestro caso, en donde tenemos un porcentaje de superposición menor.

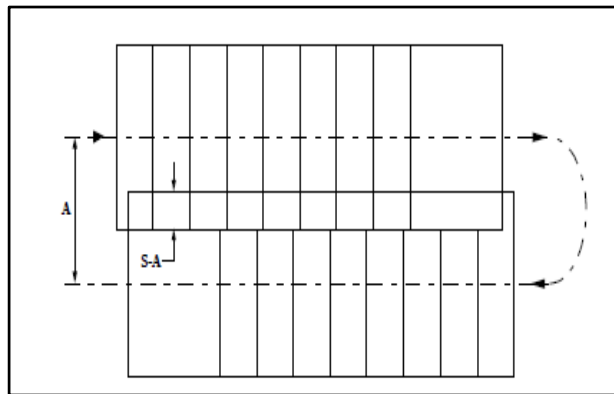


Imagen N°1 - Superposición transversal, longitudinal y sentido de vuelo

La superposición longitudinal dependerá de tres factores:

1. La inclinación del eje vertical. Si el eje de la cámara está inclinado, la superficie cubierta será trapezoidal.
 2. Variaciones en la altura de vuelo generan modificaciones en la altura relativa.
 3. El relieve del terreno, generando la falsa sensación de encontrarse más cerca o más lejos del objeto fotografiado.
- *Recubrimiento lateral o transversal*: para poder cubrir un territorio extenso, será necesario realizar varias bandas dispuestas lateralmente respecto de la primera. Estas deben ser paralelas y deberán recubrirse entre sí de modo que no exista ningún hueco en la cobertura. Este porcentaje de recubrimiento no debe ser inferior al 15%, normalmente se toma entre 25% y 30%.

Estos valores son estipulados para vuelos convencionales, pero no significa que se tengan que utilizarse estrictamente.

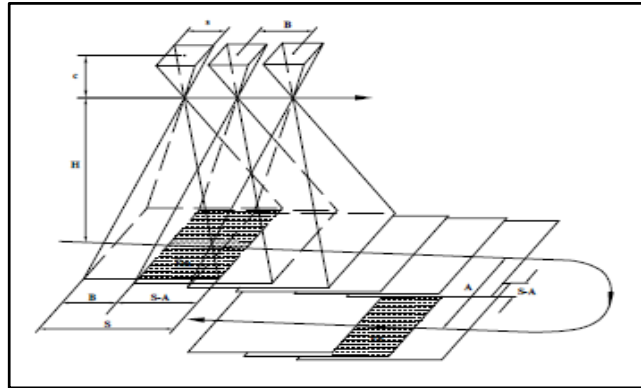


Imagen en perspectiva de la superposición longitudinal, transversal y sentido del vuelo

La superposición transversal dependerá de los siguientes factores:

1. Inclinación del eje transversal, dado por el aleteo del avión.
2. El relieve del terreno.
3. Errores en el mantenimiento de la altitud.
4. Error en la corrección de la deriva, la cual se genera por una inclinación del avión provocando superposiciones distintas entre los pares de fotografías.
5. Errores en el mantenimiento de una ruta constante, es decir falta de alineación en la toma de fotografías.

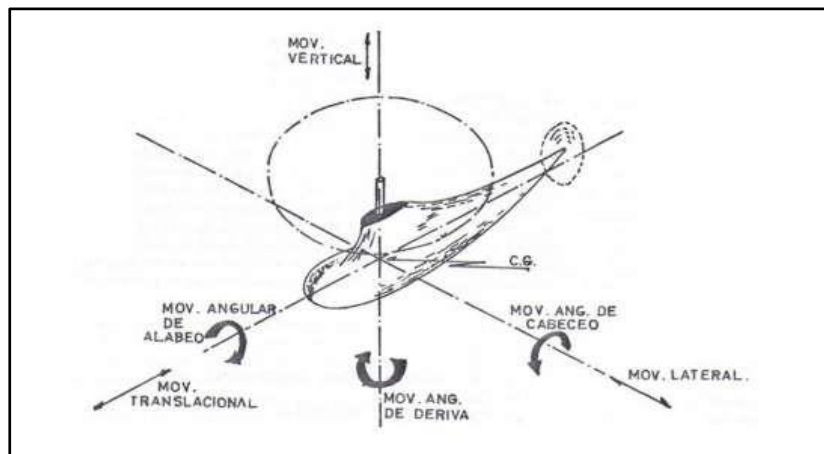


Imagen ilustrativa de los movimientos que se pueden generar en el avión.

Los ejes del vuelo suelen estar orientados Norte-Sur o Este-Oeste, siempre y cuando la zona de trabajo sea regular, obteniendo pasadas paralelas.

3.2 ORIENTACIONES

La orientación es el paso fundamental que se debe llevar a cabo en el software para poder comenzar a trabajar con las imágenes, ya sea para obtener modelos digitales de elevaciones o para realizar otro tipo de operación sobre las mismas. En nuestro caso, este fue el primer paso una vez cargadas las imágenes para luego poder comenzar con el proceso de armado de los distintos modelos que se expondrán a lo largo de todo el trabajo.

Las orientaciones tienen por objetivo la reconstrucción de la geometría en el espacio (a escala) de las posiciones de los fotogramas. Así podremos reconstruir geoméricamente los haces perspectivos que unen pares de puntos en el fotograma izquierdo y derecho con los correspondientes puntos en el terreno.

Estas orientaciones se dividen en tres y a continuación nombraremos algunos de los elementos que se necesitan cargar en los softwares para la realización de las mismas:

1. *Orientación interna de cada haz:* esta orientación permite la reconstrucción o materialización de la forma del haz de rayos que tenían el par de imágenes en el instante de la toma. Esta orientación se realiza en cada fotograma. Para este paso, se necesitan los siguientes datos: valor de la distancia focal (la cual es un parámetro constante de la cámara), la posición del punto principal y las coordenadas de las marcas fiduciales, las cuales deben ser cargadas e identificadas en cada fotograma.

Los parámetros mencionados se encuentran en el certificado de calibración de la cámara utilizada en el vuelo. (ver Anexo N°1).

2. *Orientación relativa:* se obtiene un modelo tridimensional que contiene todos los puntos de intersección de rayos homólogos. Implica resolver 5 parámetros: coordenadas de la imagen y los parámetros de la orientación interna. Esta orientación se realiza de una imagen respecto de la otra, es decir, entre pares. Para esta orientación se necesitan, además de todos los parámetros ya cargados en la orientación interna, los puntos de control que se utilizan para poder superponer luego cada fotograma entre sí. Estos puntos deben cargarse con las coordenadas X Y Z en el mismo sistema en el que queremos obtener la corrida, y luego se identifican en cada fotograma de manera individual.
3. *Orientación absoluta:* se logra llevar el sistema de coordenadas del modelo a coincidir con el sistema de referencia terrestre mediante la resolución de siete parámetros: tres traslaciones, tres rotaciones y un ajuste de escala. Para resolver estas incógnitas se necesitan de los puntos de control, que fueron previamente cargados en la orientación anterior.

4 IMAGEN EN FORMATO DIGITAL

Una imagen digital es una función $F(x,y)$ donde X e Y representan coordenadas y el valor $F(x,y)$ es proporcional a la transmitancia o reflectividad de la luz. El valor $F(x,y)$ se reconoce visualmente por el nivel de color o gris de la misma en el punto considerado (X,Y) .

Podemos decir que la imagen digital es una matriz de n filas y m columnas, a la cual cada celda se la denomina píxel y cada una de ellas representa una superficie que es en función de su tamaño (Δx y Δy). A cada píxel le corresponde uno o más valores digitales (N_d), donde cada uno tiene un valor proporcional a su nivel de color.

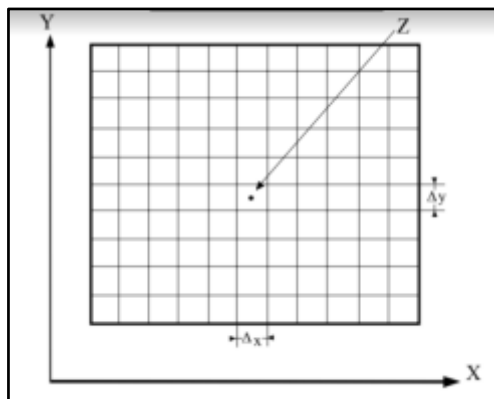


Imagen N°2- Matriz de N filas y M columnas con eje de coordenadas X Y

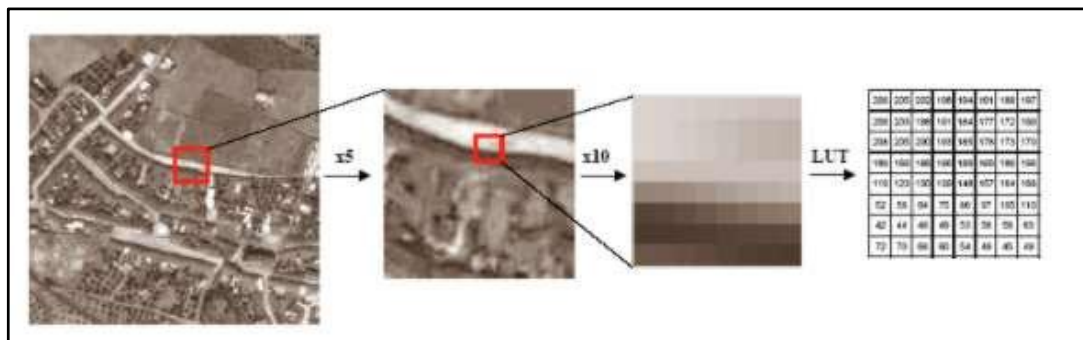


Imagen N°3 - Recorte de sección de la fotografía y visualización de los píxeles que la componen.

El número digital puede representar información de distinta naturaleza o características físicas del área, o bien representar los valores resultantes de la manipulación de la información original mediante técnicas de análisis de imágenes.

La matriz definida por los números digitales es multidimensional en función de las capas de información almacenada (bandas o canales). Podemos encontrar imágenes monocanal, dentro de las cuales se encuentran las imágenes binarias (blanco y negro), las pancromáticas (imágenes de tres canales, RGB, un canal para cada color) y las imágenes en falso color. También se pueden hallar imágenes multicanal (imágenes multispectrales representadas por más de tres pseudocolores).

De las imágenes previamente mencionadas, las más utilizadas en la fotogrametría son las pancromáticas y las imágenes en color.

El retículo, es decir, el tamaño del píxel (resolución espacial) empleada para la codificación, será la responsable de la calidad de la imagen digital. Los elementos de gran tamaño producen pérdida de información y los elementos demasiados pequeños requieren disponer de un gran espacio de almacenamiento, es por eso, que la calidad de la imagen va a depender del sistema disponible, tanto en lo referente a la posibilidad gráfica (número de colores que es capaz de presentar) como al almacenamiento disponible.

Para evaluar la calidad de la imagen es preciso considerar la geometría, la radiometría del píxel y el ruido.

Geometría: para asegurar que no se pierda información, la resolución del píxel debe adaptarse a la resolución de la fotografía.

Radiometría: es la ciencia de la medición de radiación electromagnética. Un parámetro de gran importancia para evaluar la calidad radiométrica de una imagen digital es el “Bit number”. El bit (dígito binario) es la unidad básica de información digital.

Ruido: La mayoría de las señales están sujetas al ruido, el cual puede estar causado por diversas fuentes, entre ellas: procesos electrónicos, debido a defectos en la correcta medición de la señal; ruido oscuro actual o cuantificado, ocasionado por el intervalo a tener en cuenta en la medición de la señal y su equivalente a un valor concreto.

Las ventajas y desventajas de la imagen digital se encuentran relacionadas a la Fotogrametría Digital (ventajas y desventajas de la Fotogrametría Digital, página 5), debido a que muchas de ellas se asemejan entre sí.

5 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

Al existir dos tipos, superficie y terreno, a través de los modelos digitales de elevaciones es posible conocer la existencia, disposición, forma y posición de los elementos que conforman un espacio geográfico y que pueden ser de origen natural o antrópico.

Todos estos estudios se agrupan bajo el Análisis Digital del Terreno. El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) (*Ver imagen N°4*) y el Análisis digital del terreno, van a conformar el Modelo Digital del Terreno (MDT).

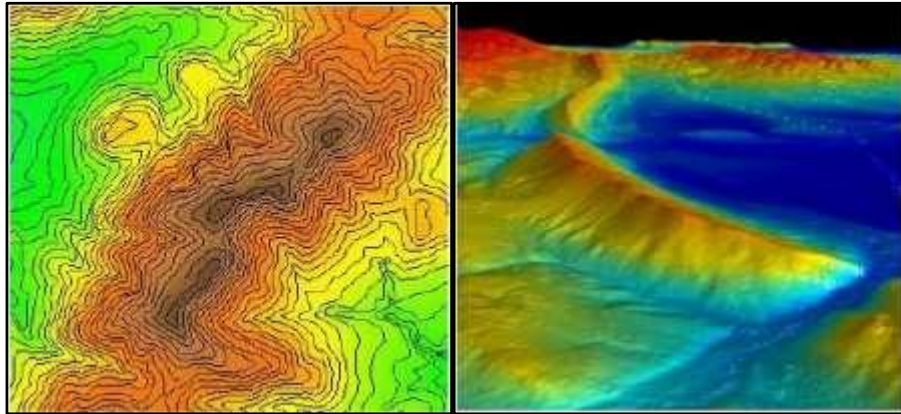


Imagen N°4 - Representación de MDE con curvas de nivel y en relieve. Imagen de la derecha vista en perspectiva/3D e imagen de la izquierda vista cenital/ortoproyección

Este Modelo Digital del Terreno (*Ver imagen N°5*) constituye una representación numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Esta variable por lo general representa las características topográficas de éste y las expresa mediante coordenadas X, Y, Z de los puntos que las definen. Codificadas en forma, función y almacenadas en un soporte estable tal, que en procesos posteriores, permite conocer su configuración, cuantificando y cualificando cada elemento, puntual, lineal, superficial y volumétrico, en cualquier orden o estructura geométrica, y que además aporte la adecuada metodología para actuar sobre él. Esta definición, comprende tanto los detalles planimétricos (naturales y artificiales del terreno), como sus alturas o elevaciones.

Para la representación de estos datos son generalmente utilizados modelos altimétricos digitales (MDE) usualmente referenciados a mallas regulares y en cuyos vértices se asigna el valor de la coordenada altimétrica Z. Estos modelos se crean generalmente por procedimientos fotogramétricos.

Un MDE (Modelo Digital de Elevaciones) es una representación digital y matemática de la elevación del terreno, es decir, una matriz con coordenadas X, Y en la que cada pixel representa la altura de cada punto en el terreno (*Ver Imagen N°4*).

Estos sirven como archivo base para la explotación de sus valores altitudinales y permiten generar otros modelos digitales secundarios para analizar diversos aspectos de la

superficie terrestre. Los mismos responden a archivos cartográficos que identifican la superficie territorial mediante datos de elevación.

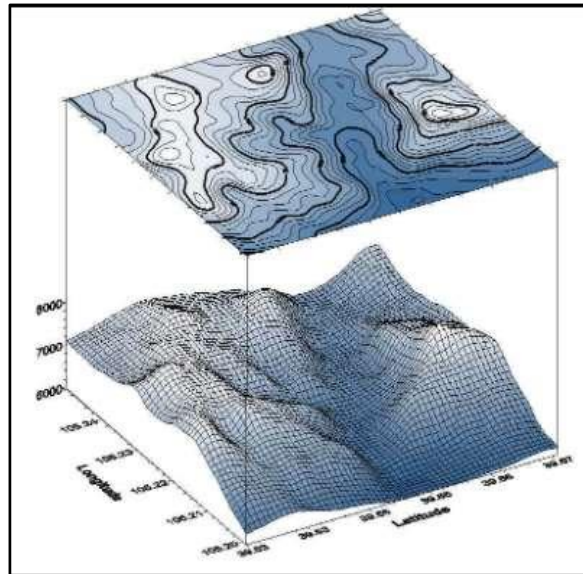


Imagen N°5 - Modelo digital del terreno.

Los Modelos digitales de superficie (*Ver Imagen N°6*) representan todos los elementos existentes o presentes en la superficie de la tierra (vegetación, edificaciones, infraestructura y el terreno propiamente dicho), mientras que los Modelos digitales del terreno (*Imagen N°5*) recrean la forma del terreno una vez que fueron removidos todos los elementos ajenos al mismo, como son la vegetación, edificaciones y demás elementos que no forman parte del terreno.

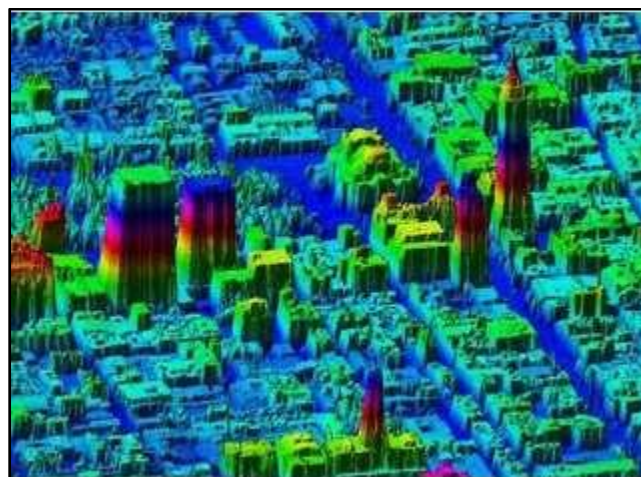


Imagen N°6- Perfil transversal

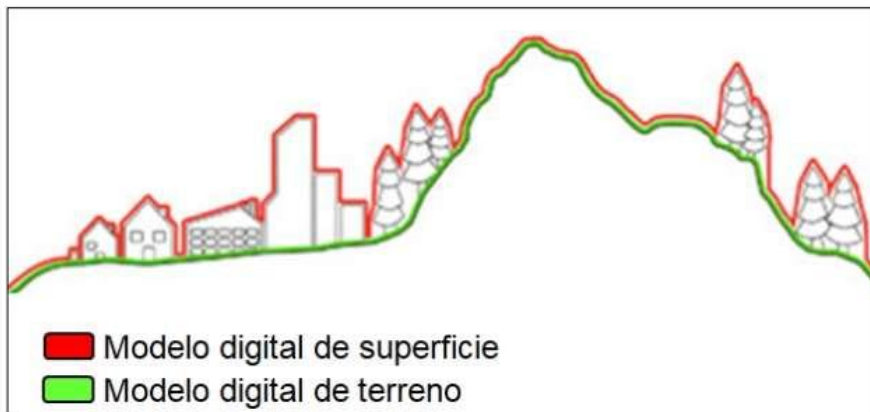


Imagen ilustrativa de ambos modelos combinados

5.1 APLICACIONES Y UTILIDADES DE LOS MDE

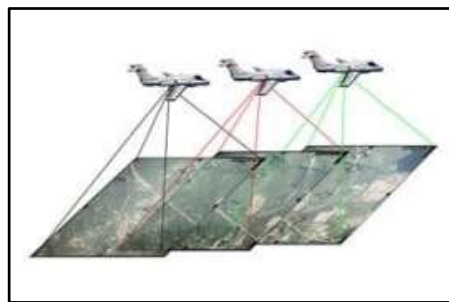
- Modelado de la superficie (ya sea edificada, suelo desnudo, rural, entre otros)
- Mediante el análisis de las variaciones de altitud se pueden identificar los lugares en los que se puede trazar una red de drenaje.
- Análisis de la morfología terrestre y sus valores altitudinales
- Elaborar mapas de rugosidad, de direcciones de flujos, mapas de sombras o Hillshade, mapas de orientación respecto a los puntos cardinales.
- Realizar mapas de cuencas visuales.
- Evaluaciones de impacto ambiental
- Mapas de análisis de visibilidad
- Cualquier tipo de modelo que identifique un aspecto territorial de la superficie.
- Cobertura de suelo
- Desarrollar proyectos relacionados con el relieve, cuyos datos de apoyo podrán ser derivados de curvas de nivel, corrientes de agua, mapas de pendientes, redes irregulares de triángulos (TIN), imágenes del relieve sombreado o mapa de sombras, entre otros.

6 MÉTODOS PARA LA GENERACIÓN DE LOS MDE

La generación de un MDE consta fundamentalmente de dos partes: en primer lugar, la obtención de información de la superficie real, es decir, el conjunto de cotas o coordenadas Z de la superficie a modelizar y, en segundo lugar, se encuentra la interpolación de estas cotas correspondiente al resto de la estructura del modelo.

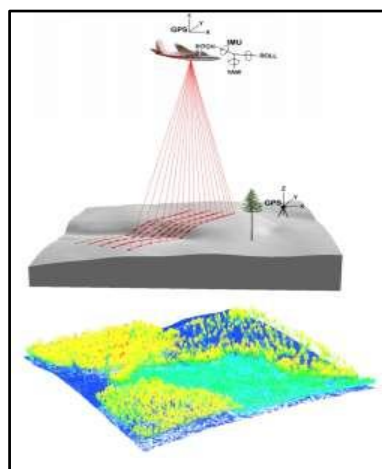
Métodos para la construcción de un MDE:

Fotogrametría: La fotogrametría se basa en el análisis de pares estereoscópicos y extracción de la información de los mismos durante la fase de restitución, con ayuda de la visión estereoscópica. Con este mismo método, incluyendo fotografías digitales y softwares apropiados, se pueden generar modelos a partir de la reconstrucción de haces de luz.



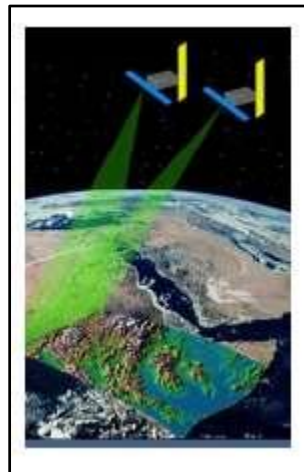
Lidar (Light detection and ranging): se trata de un sistema láser que permite medir la distancia entre el punto de emisión de ese láser hasta un objeto o superficie. El tiempo que tarda ese láser en llegar a su objetivo y volver al mismo, indica la distancia que hay entre los dos puntos.

El escáner láser del LIDAR funciona de forma aerotransportada y trabaja con dos movimientos: el de la trayectoria del avión (longitudinal) y el del espejo que refleja la luz que llega desde el láser (transversal). De esta manera se puede obtener un completo mapa de puntos del terreno que permite conocer su geografía de manera detallada.



Radar: es un sistema que usa ondas electromagnéticas para medir distancias, altitudes, direcciones y velocidades de objetos estáticos o móviles, como aeronaves, barcos, vehículos motorizados, formaciones meteorológicas y el propio terreno. Su funcionamiento se basa en emitir un impulso de radio, que se refleja en el objeto y se recibe en la misma posición del emisor. La generación por radar se puede realizar de dos maneras:

- **Radargrametría**: Es una analogía de la fotogrametría con imágenes radar. Se deben utilizar al menos dos escenas con un recubrimiento estereoscópico similar al fotogramétrico, pero de escenas oblicuas. Un sensor radar emite un impulso electromagnético y lo recoge tras reflejarse en la superficie terrestre, conociendo el tiempo de retardo del pulso y su velocidad puede estimarse la distancia entre satélite y terreno.
- **Interferometría**: si hay dos observaciones del mismo terreno de muy similares posiciones, la síntesis de apertura puede formarse para obtener una resolución similar a la que podría obtenerse con un sistema de Radar con dimensiones iguales a la separación de las dos mediciones. Esta técnica se llama Interferometría SAR.



- Métodos Directos sobre el terreno:

- **Topografía convencional**: Mediante el uso de Estación Total o nivel, referidos a un sistema de referencia local, que luego puede transformarse mediante un punto de coordenadas conocidas a un sistema de coordenadas geográficas. Para esto, se utiliza como superficie de referencia el elipsoide de revolución.
- **Sistema de Posicionamiento GNSS**: sistema global de localización mediante satélites, que permite estimaciones suficientemente precisas de latitud, longitud y altitud de un punto, el cual está referido al elipsoide de revolución.

- Métodos Indirectos:
 - Restitución fotogramétrica: a partir de fuentes analógicas (fotografía aérea) o digitales (imágenes de satélite).
 - Digitalización: curvas de nivel de un mapa mediante escáner o tablero digitalizador e interpolación de las mismas.

7 DESARROLLO

En el siguiente apartado abordaremos la confección del trabajo aplicando los conceptos previamente mencionados y explicados.

Como mencionamos en la introducción, el Trabajo Final fue realizado en su mayoría de manera remota debido a la situación del Covid-19, por lo que se trabajó con material de campaña ya recopilado por grupos de años anteriores, dándonos la posibilidad de confeccionar un trabajo final íntegramente de gabinete aplicado a la Agrimensura.

7.1 MATERIALES CON LOS QUE CONTAMOS PARA REALIZAR EL TRABAJO

- Imágenes de puntos de control con coordenadas Latitud y Longitud. Sistema de Referencia Posgar 07. (10 puntos)
- Cartas IGN de la Provincia de Buenos Aires, y carta 1:50.000 del partido de Verónica.
- Mosaico de cartas IGM 1:50.000 georreferenciado.
- Imagen satelital de la Base Aeronaval Punta Indio Georreferenciada, Sistema de Referencia WGS84, Gauss Krüger Faja 6. Recorte de la zona de trabajo de Imagen satelital de la Base Aeronaval Punta Indio Georreferenciada. (formato.ecw y .jpg). Imagen del IGN con una resolución de 50cm.
- Dos planos CAD de obstáculos de la pista principal de la Base Aeronaval de Punta Indio, con un plano detalle sobre la misma.
- Vuelo de la pista a escala 1:20.000 - 13 fotos en formato TIF. (datos marginales recortados) Imágenes escaneadas.
- Vuelo a escala 1:10.000 - 9 fotos en formato TIF y georreferenciadas en.ers y.ecw. (Fecha de vuelo 7/12/11) Imágenes escaneadas.
- Mosaico de la pista principal formado por las fotos georreferenciadas 13 y 14.
- Archivos KML de puntos fijos sobre la zona de estudio y puntos tomados sobre la base y la pista. Planilla de datos con coordenadas de los puntos. (Ver anexo 6) Mosaico de la base .JPG

- MDE de la página web del IGN del partido de Verónica. Con una resolución espacial de 5 metros. Las especificaciones técnicas se encuentran en el Apartado 10.1 - *Imagen N°12*.
- Certificado de calibración de la cámara fotogramétrica que fue utilizada en el vuelo a escala 1:10.000, obtenido mediante el Departamento Fotogramétrico de la ex Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires.

7.1.1 Verificaciones del material de trabajo

Como mencionamos anteriormente, contamos con imágenes del vuelo de la pista a escala 1:20.000 con una cantidad de 13 fotos en formato TIF. En el caso de estas imágenes, no fueron utilizadas para la confección de los modelos, ya que no tenían información de los datos marginales, los cuales brindan información necesaria para conocer el nombre de la cámara, la escala, la altura de vuelo y la distancia focal, por lo que no se pudo identificar el certificado de calibración que nos daría toda la información que se necesita para cargar en los softwares. Por este motivo, las imágenes del vuelo mencionado no fueron utilizadas en el presente Trabajo Final.

Por otro lado, también contábamos con imágenes de la zona obtenidas de un vuelo a escala 1:10.000, que contenía 9 fotos escaneadas de las cuales solo fueron utilizadas 4 de ellas detalladas a continuación:



Las dimensiones en píxeles para cada imagen son:

- Imagen 12: 12490 x 11506 píxeles
- Imagen 13: 12490 x 11471 píxeles
- Imagen 14: 12490 x 11471 píxeles
- Imagen 15: 12519 x 11576 píxeles

Estas fueron las imágenes utilizadas para la confección del trabajo, y seguidamente detallaremos la verificación de la resolución y de la escala del vuelo de las mismas que se realizó para su utilización en la generación de los modelos.

Con lo que respecta al escaneo, introduce errores radiométricos y geométricos, los cuales modifican la resolución de las imágenes, bajando la calidad de las mismas y generando pérdida de detalles del terreno sobre las fotografías.

Este último ítem dependerá del tipo de escaneo al que se hayan sometido las imágenes y de la escala del vuelo a las que fueron obtenidas las mismas

Los errores mencionados se dividen en:

Radiométricos: No es lo mismo tener una imagen cruda que tener una imagen que pasa por un escáner, ya que es otro sensor distinto por el que ya paso la foto, es decir, que a la cámara que obtuvo la foto le llegó un haz de luz del terreno que el sensor capta, luego eso se transfiere al dispositivo, y al pasarla por el escáner, cierta información se levanta perdiendo datos originales.

Geométricos: a raíz de la resolución de los píxeles.

Más específicamente las problemáticas de utilizar escáner son:

- Iluminación: uniformidad, estabilidad y estricto requerimiento en generar luz blanca.
- Resolución radiométrica: aumento de la escala de grises en la captura y posterior reducción mediante software apropiado a la escala estándar de 256 valores.
- Velocidad: la velocidad definida por el usuario según la calidad y requerimientos de la imagen debe presentar alta sensibilidad. Polvo, defectos de engrase, mal funcionamiento mecánico, etc. Deben ser controlados por test periódicos. Las vibraciones también tienen gran importancia a la hora de obtener la imagen escaneada.
- Calibración: Procedimientos de calibración tanto para la mejora de la calidad geométrica como radiométrica de la imagen son imprescindibles con el fin de conseguir que estas calibraciones se incorporen a la unidad de barrido.

Estos errores mencionados afectan el resultado final de la generación de los Modelos Digitales de Elevaciones.

Para poder analizar la resolución geométrica en el terreno realizamos un procedimiento analítico para conseguir un valor estimativo de la cantidad de píxeles que representan en el terreno y poder determinar una precisión relativa.

La resolución de la imagen se podía calcular mediante el tamaño de esta (23cm x 23cm) y la cantidad de píxeles con los que cuenta la imagen sacando el borde extremo de los

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

datos marginales (11040 pixeles x 10910 pixeles). Con estos datos, se realiza el cálculo de cuantos pixeles por centímetro tiene la imagen y luego cuando representa un pixel en el terreno.

La resolución de la imagen es de 1200 ppp, y lo obtuvimos de las propiedades de cada una de ellas en formato TIFF.



*Fotografía con datos marginales
12490 x 11471 pix.*



*Fotografía sin datos marginales
11040 x 10910 pix.*

Para corroborar que la resolución de la imagen era 1200 ppp, realizamos la verificación:

$$11040 / 23 \times 2,54 = 1219,2 \text{ ppp.}$$

2,54 es la equivalencia de una pulgada en cm.

Esta cuenta, indica que el valor obtenido de las propiedades de la imagen sin los datos marginales es coincidente a la resolución de la imagen de 1200ppp.

El análisis realizado para obtener la resolución de la imagen en el terreno fue el siguiente:

23 cm _____ 11040 pixeles

$$\frac{11040 \text{ pix}}{23 \text{ cm}} = 480 \text{ pix/cm}$$

$$\frac{1 \text{ cm} \times 1 \text{ pixel}}{480 \text{ pixel}} = 2,08 \times 10^{-3} \text{ cm} = 0,002 \text{ cm (tamaño de un pixel en la imagen)}$$

Para obtener el valor de lo que mide el píxel en el terreno, utilizamos la escala del vuelo, en este caso 1:10.000

$$D = L/I$$

$$10.000 \times (0,002 \text{ cm}) = L$$

$$20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m} = L$$

Cabe destacar que este valor obtenido no significa que se puedan medir distancias con dicha precisión en la imagen, ya que la misma posee deformaciones además de las mencionadas por el proceso de escaneo y las deformaciones propias del sistema, como ser, proyección central, desplazamiento debido al relieve (diferencia que existe entre la posición de un punto en la fotografía y su posición verdadera, causada por efecto del relieve), distorsión e inclinación de la fotografía provocando una pérdida de focal aparentando menor la escala, entre otras.

Con respecto a la verificación de la escala del vuelo, realizamos la siguiente cuenta para corroborarla:

Los datos necesarios son:

- Altura de vuelo = 1580 m aproximadamente (según la precisión de los nonios)
- Distancia Focal = 153,32 mm

$$E = H / F$$

$$E = 1.580.000 \text{ mm} / 153,32 \text{ mm}$$

$$E = 10.305,24 \approx 10.000$$

7.2 SOFTWARES UTILIZADOS PARA LA CONFECCIÓN DEL TRABAJO

Para la confección del trabajo utilizamos los softwares Photomod y Agisoft, de los cuales especificaremos sus aplicaciones y funciones.

El objetivo de utilizar distintos softwares es poder comparar los modelos que se obtengan de ambos, y así poder evaluar también la efectividad de realizar modelos digitales de elevaciones con vuelos de vieja data.

Para la ejecución del trabajo y como parte de la metodología, lo dividimos en dos etapas que corresponden a cada software mencionado.

7.2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

7.2.1.1 Photomod

El Photomod es un paquete de software pago diseñado por una empresa Rusa llamada Racurs. Cuenta con una licencia libre con limitaciones para la ejecución de ciertas aplicaciones, y una licencia paga permitiendo la utilidad de todas las funciones con las que

cuenta. La versión elegida para trabajar fue PHOTOMOD LITE 6.0 obtenida de la página oficial de la empresa (versión gratuita). Una de las limitaciones del programa de la versión libre, es la cantidad de imágenes que se pueden importar para utilizarlo.

Este permite crear ortomosaicos a partir de imágenes aéreas y satelitales ortorectificadas y georreferenciadas, dando la posibilidad de guardar los productos creados en formatos ráster conocidos.

En nuestro caso, las funciones u operaciones que el software permite realizar son:

- Carga de datos de entrada y de salida de los formatos: TIFF, GeoTiff, BMP, RSW (vector ráster maps), NITF, JPEG (.JPG), GIF, PNG, USGS DEM, ECW (.ecw).
- Medir coordenadas sobre la imagen
- Agregar puntos de control en donde se permita medir sus coordenadas en la imagen.
- Entre otras.

7.2.1.2 Agisoft

Este software de origen Ruso, tiene disponible dos versiones de prueba gratuita, una en versión Metashape Professional durante 30 días y otra en versión BETA en la que no es posible descargar productos generados en el mismo, solo se pueden realizar trabajos momentáneos y descargarlos con la versión de prueba por 30 días; y como tercera opción, se encuentra la versión paga.

Para la generación de los modelos, utilizamos la versión BETA para la exploración del Software y su estudio, y luego, una vez conocido el mismo y con toda la información requerida, procedimos a seleccionar la prueba de 30 días, para poder guardar los modelos realizados que se verán más adelante.

Este es un software que permite el procesamiento fotogramétrico de imágenes aéreas (o satelitales), generando datos espaciales en 3D para usos como por ejemplo en aplicaciones GIS, producción de efectos visuales y también para medir objetos en varias escalas.

Dentro de las aplicaciones que se pueden ejecutar en el software, utilizamos para la confección de los modelos de nuestro trabajo las siguientes:

- Triangulación fotogramétrica: procesamiento de varios tipos de imágenes (aéreas) calibración automática, imágenes escaneadas con soporte de marcas fiduciales.
- Nube de puntos densas: edición y clasificación: elaboración de modelos para obtener resultados precisos, clasificación automática de puntos de varias clases para personalizar la reconstrucción adicional, importar y exportar el procesamiento de datos.
- Modelo de elevación digital: generación de DSM/DTM, georreferenciación basada en metadatos EXIF y registro de vuelo, datos de GCP, soporte de sistemas de

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

coordenadas de registro EPCG (WGS84, UTM, etc.), datums verticales configurables basados en las rejillas de ondulación geoidal.

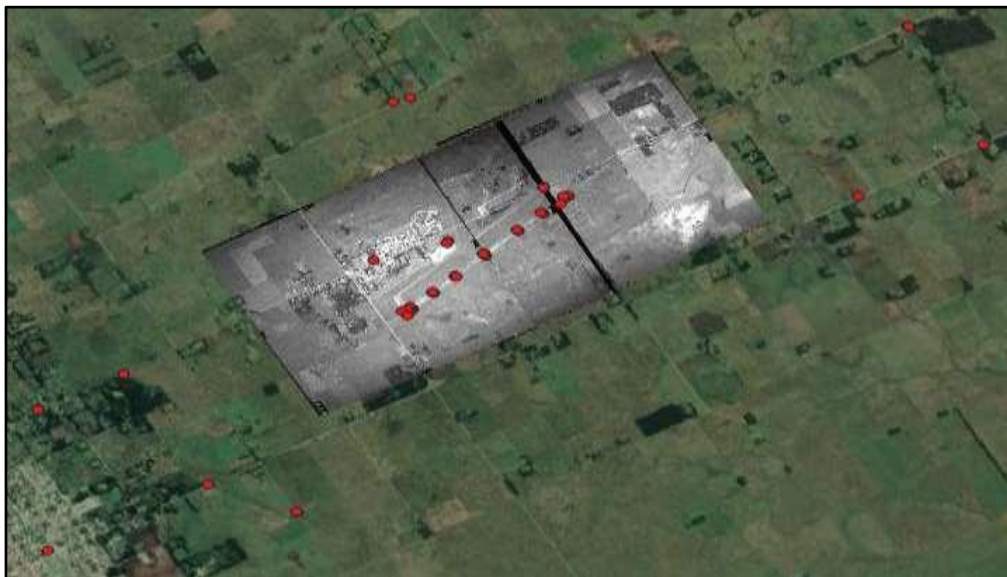
- Generación ortomosaico georreferenciado: ortomosaico georreferenciado en formato GeoTIFF (compatible con GIS), archivos KML (para poder ubicarlos en Google Earth). Corrección de color para una textura homogénea, opciones de proyección plana y cilíndrica personalizadas para proyectos de corto alcance.
- Permite la importación de puntos de control en formato .CSV para realizar la georreferenciación de las imágenes.
- Medidas: permite obtener distancias lineales, áreas y volúmenes.
- Generación jerárquica de modelos en mosaico: modelado a escala de ciudad conservando la resolución de imagen original para texturizar.

8 CONFECCIÓN DEL TRABAJO

Como mencionamos en la página N°2, el presente trabajo se realizó con el objetivo de poder analizar la posibilidad de combinar dos tecnologías diferentes y concluir si era posible o no, generar modelos digitales de elevaciones con imágenes que no fueron obtenidas con el fin de procesarse con softwares actuales, y en el caso de que sea posible poder realizar control de calidad de estos. La zona de trabajo se encuentra detallada a continuación en la siguiente ilustración:



Los puntos con los que contábamos sobre la zona de trabajo de campañas previamente realizadas eran los siguientes:



Ver Imagen N°7 - Distribución de los puntos medidos con GPS.

El vuelo a escala 1:10.000 contaba con nueve imágenes fotogramétricas, de las cuales como mencionamos anteriormente solo fueron seleccionadas cuatro de ellas que contenían nuestra zona de interés. De la superficie total abarcada por esta corrida de cuatro imágenes, teníamos la totalidad de la Base Aeronaval, la pista principal en toda su extensión y parte de zona rural.

Para comenzar con la realización de los modelos digitales de elevaciones, debimos generar la corrida de las imágenes seleccionadas, para esto, el primer paso fue eliminar todos los bordes que contenían los datos marginales para una mejor visualización y obtención de la superposición de las mismas.

8.1 ETAPA 1: Orientación de las imágenes y confección de los MDE con el software Photomod

Como mencionamos anteriormente, se deben realizar las tres orientaciones de las imágenes para obtener la corrida georreferenciada y rotada (distinción que hace el software Photomod) de modo que se pueda utilizar como base para la confección de los distintos MDE.

Para la orientación interna, debíamos conocer los parámetros de la cámara que fue utilizada en el vuelo, los cuales son brindados por el certificado de calibración.

Como mencionamos en el apartado 8 MATERIALES CON LOS QUE CONTÁBAMOS PARA REALIZAR EL TRABAJO, teníamos a nuestra disposición una carpeta digital con distintos certificados de calibración de las cámaras que poseía el Departamento Fotogramétrico de la ex Dirección de Geodesia.

Para obtener el certificado de calibración de la cámara que se utilizó en el vuelo a escala 1:10.000, hicimos un análisis de cada uno de ellos mirando los aspectos generales, como, por ejemplo, coordenadas de las marcas fiduciales y valor de la distancia focal (el cual podíamos obtener de los datos marginales de los fotogramas para poder hallar el certificado correcto). De esta manera, obtuvimos el certificado correspondiente a nuestra cámara ZEISS de donde pudimos extraer todos los datos necesarios para la orientación de las imágenes en los Softwares que explicaremos a continuación.

Certificado de calibración (Ver anexo N°1)

Es un documento físico o digital que contiene los resultados de la calibración de un instrumento.

La calibración es la relación entre las lecturas de un instrumento y los valores indicados por patrón.

Los parámetros que no deben faltar en el certificado de calibración de una cámara fotogramétrica son:

- Tipo de cámara
- Tipo de lente
- Apertura máxima
- Número de serie
- Distancia focal
- Distancia focal calibrada
- Distorsión
- Punto principal de autocolimación y marca del centro fiducial
- Marcas fiduciales referidas al punto principal
- Distancias entre las marcas fiduciales 1-2 y 3-4

- Curvas de distorsión radial para cada una de las cuatro semi diagonales, referidas al centro de simetría.
- Curva promedio de distorsión.

Punto Principal y Distancia Focal

El punto principal está definido matemáticamente como la intersección de la línea perpendicular dirigida desde el centro de proyección hasta el plano de la imagen. La longitud de este punto principal hasta el centro de proyección se conoce como distancia focal. El plano de la imagen es comúnmente referido como el plano focal.

Para las cámaras aéreas gran angulares, la distancia focal es aproximadamente de 152 milímetros.

La distancia focal de la cámara calibrada se denomina distancia principal y es la distancia que existe entre el foco de la lente y el negativo de la película. El punto principal viene determinado por la intersección de las diagonales de las marcas fiduciales.

Marcas Fiduciales

Existen en una fotografía métrica aérea ocho posibilidades dentro de las zonas donde se encuentran las marcas fiduciales. Las cámaras convencionales tienen cuatro marcas fiduciales diametralmente dispuestas, aunque existen cámaras que disponen de las ocho marcas. Estas poseen distinta configuración, ubicadas en los bordes o esquinas de las fotos, muy importante porque su intersección determina el punto principal (Pp) de la fotografía.

En nuestro caso, contamos con cuatro marcas fiduciales, dispuestas de la siguiente manera:



Imagen de un fotograma utilizado para la confección del trabajo con las correspondientes marcas fiduciales

Distorsión

Las distorsiones introducidas por la lente producen desviaciones en el rayo, desviando las posiciones ideales del haz sobre la imagen. Existen tres tipos de distorsión en el ensamblaje de una lente: distorsión radial simétrica, distorsión radial asimétrica y distorsión tangencial. estas dos últimas, mayormente son tan pequeñas que no se toman en cuenta a la hora de la corrección.

La distorsión radial simétrica es la que se especifica en el certificado de calibración de la cámara, en función de la distancia radial y de la distorsión.

Una vez obtenido todos los valores requeridos por el software para la orientación interna, procedimos a la realización de la misma.

Los datos obtenidos del certificado de calibración de nuestra cámara fueron:

Tipo de cámara: ZEISS (film)

Distancia focal: 153,32 mm

Coordenadas del punto principal:

$X_p = -0.011$ mm

$Y_p = -0.033$ mm

Coordenadas de las marcas fiduciales		
Marca fiducial	X (mm)	Y (mm)
Fiducial 1	112,985	-0,020
Fiducial 2	-113,030	-0,024
Fiducial 3	-0,024	112,979
Fiducial 4	-0,023	-113,027

El siguiente paso, fue la identificación de las mismas en cada fotograma. En esta instancia, se obtuvieron valores de errores tanto en la variable X como en la variable Y. En la *Imagen N°8* se puede observar lo mencionado.

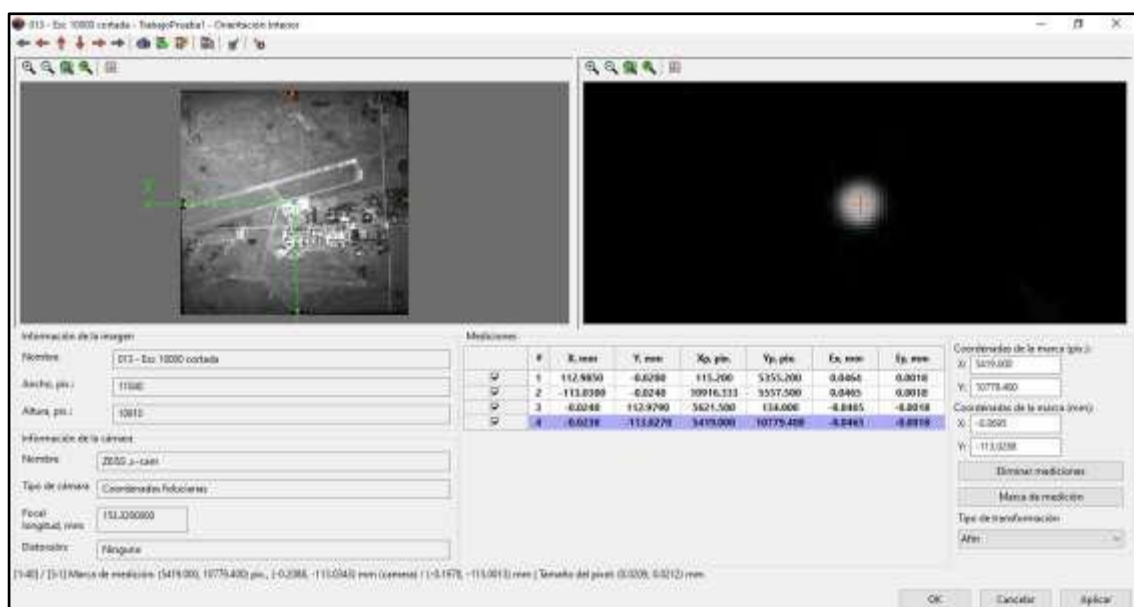


Imagen N°8 - Interfaz del Photomod para la carga y ubicación de las marcas fiduciales.

Ubicada cada marca en los respectivos fotogramas, se procedió a seleccionar el tipo de transformación, en nuestro caso la misma fue una transformación afín. Esta consiste en una transformación lineal seguida de una traslación o desplazamiento.

De esta manera se realizó de manera automática la orientación interna, obteniendo un reporte (ver Anexo 2) de lo ejecutado con los siguientes datos:

- Umbral para los residuales de la orientación interior: 0,5 mm
- Tipo de precisión: normal
- RMS residual para cada fotograma en milímetros (el cual debía ser inferior al umbral establecido de 0,5 mm para poder continuar con el proceso de orientación).



Finalizada la Orientación Interior, procedimos a realizar la Orientación Relativa. Para dicho proceso se necesitó cargar una lista de puntos de control de coordenadas y cotas conocidas, con las cuales contábamos como material de trabajo. Se procedió a armar una planilla de datos en formato .CSV con 4 puntos de control, los cuales se encontraban en nuestra zona de trabajo, mayoritariamente en el centro de la corrida, coincidente con la ubicación geográfica de la base.

Para este primer modelo realizado, utilizamos los puntos que habían sido medidos previamente por un grupo de estudiantes en el marco de la realización de su trabajo final: “RELEVAMIENTO Y CONFECCIÓN DE PLANO DE OBSTÁCULOS DE LA PISTA PRINCIPAL DE LA BASE AERONAVAL PUNTA INDIO” por los alumnos: BELLUSCI, Juan Pablo, MAGNARELLI, Agustín, MEDINA, María José, VILLAVERDE, Agustín Ignacio; que debido a las circunstancias actuales en las que nos encontrábamos para nuestro trabajo final, nos fueron de gran utilidad.

Estos puntos, tal como se muestra en la imagen N°7 se centraban principalmente en la zona de la Base, con excesivos puntos medidos sobre la pista principal y pocos puntos en las parcelas aledañas, esto se debe a que se necesitaban puntos para otro objetivo que no era la realización de Modelos Digitales de Elevaciones, sino la generación de planos, por lo que la distribución de los mismos no era un impedimento para la realización del trabajo final mencionado. Las cotas obtenidas de todos los puntos que utilizamos para la realización de los modelos son cotas ortométricas, es decir referidas al Geoide.

Por este motivo, decidimos utilizar cuatro de ellos como puntos de control, los cuales contaban con una distribución conveniente para ser cargados en el software.

Lista de puntos medidos con GPS:

Pista 1
Ala
Vértice Hangar
Pista 10

En la siguiente imagen se muestra la localización de los puntos mencionados sobre la zona de trabajo:



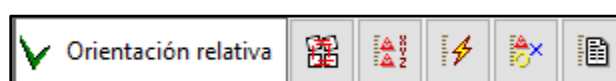
Imagen del terreno con los puntos de control del primer MDE.

Como aclaración, los puntos de paso son aquellos que se colocan en la zona de doble y/o triple superposición y sirven para unir modelos consecutivos. Estos puntos se transfieren en las fotos vecinas que se superponen longitudinalmente y/o lateralmente, para luego ser marcados e individualizados.

Una vez cargada la lista con los puntos de control, el siguiente paso era la identificación de los mismos en todos los fotogramas en donde se encontraba dicho punto. Para esto, se realizaron mediciones, en donde se debía ubicar el punto en el primer fotograma, y por coincidencia ya lo aparejaba en los siguientes de ser el caso en que se repita el punto. De este modo, se generaba una desviación estándar en X, en Y y en Z.

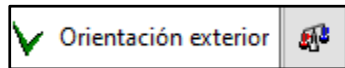
Una vez cargados los puntos de control, el proceso de orientación relativa se hace correr y el programa genera los puntos de enlace de manera automática entre las fotos. En nuestro caso, se generaron 197 puntos aleatorios sumados a los cuatro puntos previamente cargados. Estos puntos no siempre son identificables en el terreno, ya que son creados de manera dispersa por el software sin tener en cuenta las características del terreno que los puedan o no hacer visibles.

Finalmente, se ejecutó el correlador y se realizó de manera correcta la orientación relativa. (Ver anexo 3)



“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Como último paso para terminar con las orientaciones de los fotogramas, realizamos la Orientación Exterior. Para esto se seleccionaron los puntos, tanto los de enlace como los de control, para poder corregir su ubicación mediante el comando “medir” y así acomodarlos tanto en una foto como en otra. De esta manera se lograba reducir los errores residuales y los valores máximos y mínimos.



Finalizada la orientación de la corrida (Ver imagen N°9), nos encontramos en condiciones de utilizarla como base para la confección de los futuros MDE.

Imágenes: 4, líneas: 1					
✓ Orientación Interior					
✓ Orientación relativa					
✓ Orientación exterior					

Imagen N°9 - Proceso de orientación completado.

Para comenzar a realizar el MDE, se creó una malla, y sobre esta procedimos a realizar el cálculo de puntos (Ver imagen N°10) de manera automática que sería la base para luego confeccionar el TIN (Redes Irregulares de Triángulos) y el MDE.

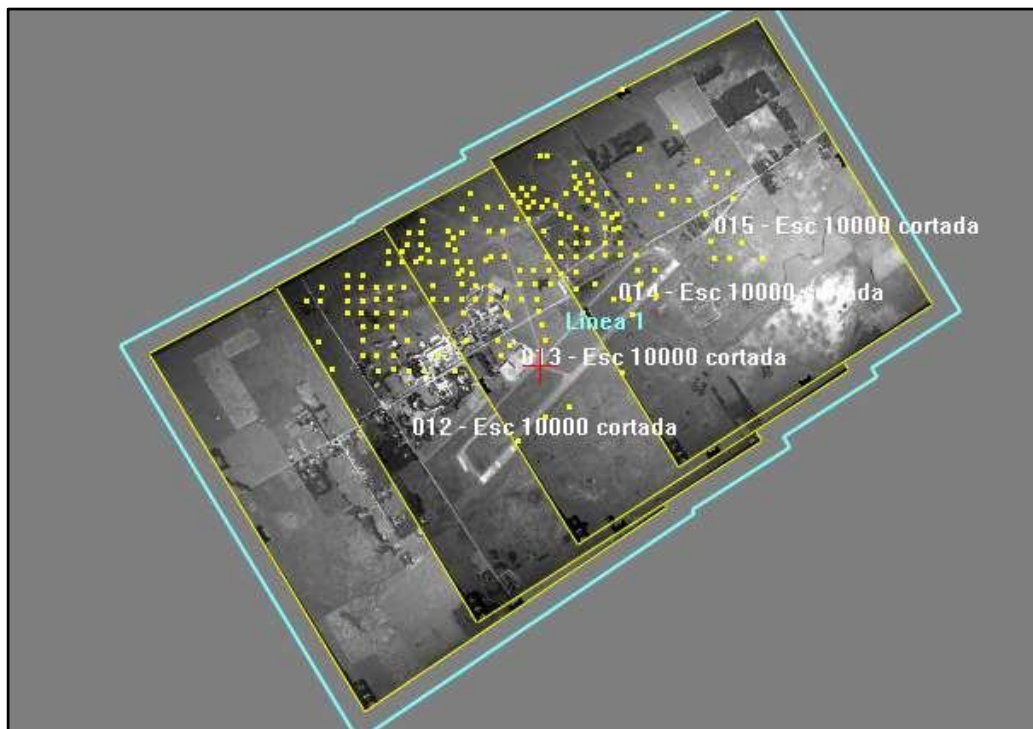


Imagen N°10 - Nube de puntos

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Cabe aclarar, que la dimensión de la malla está ligada a la cantidad de puntos que se generan automáticamente, por lo tanto, cuando la dimensión de la malla es más chica, la densidad de puntos será mayor.

Sobre esta nube de puntos se realizó el **TIN** (Ver imagen N°11), el cual es un conjunto de triángulos irregulares que se construyen mediante un plano de 3 puntos cercanos no colineales y forman un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle.

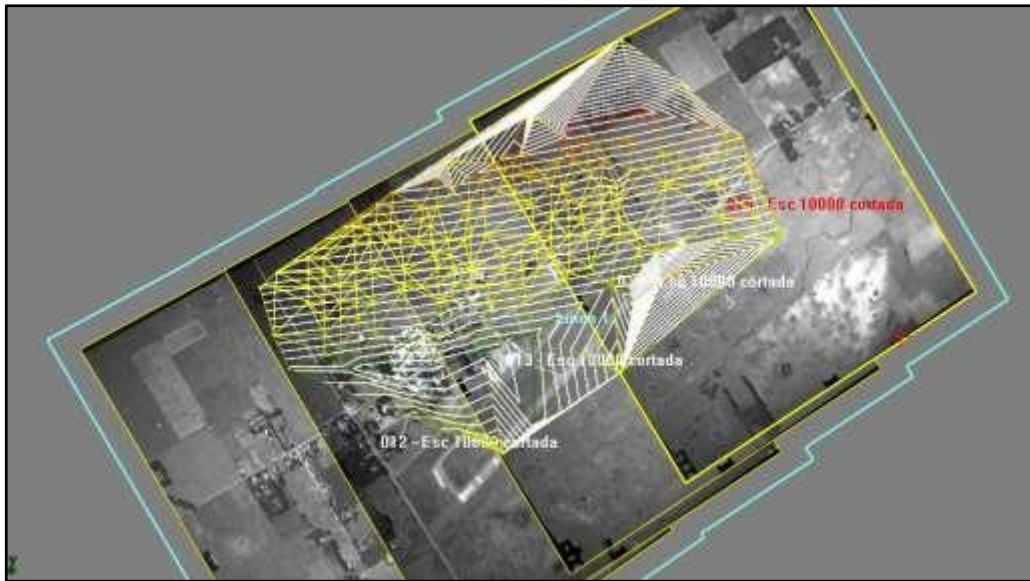


Imagen N°11 - TIN creado a partir de la nube de puntos

Obtenido el TIN pudimos generar el MDE (Ver imagen N°12) que abarca nuestra zona de trabajo.

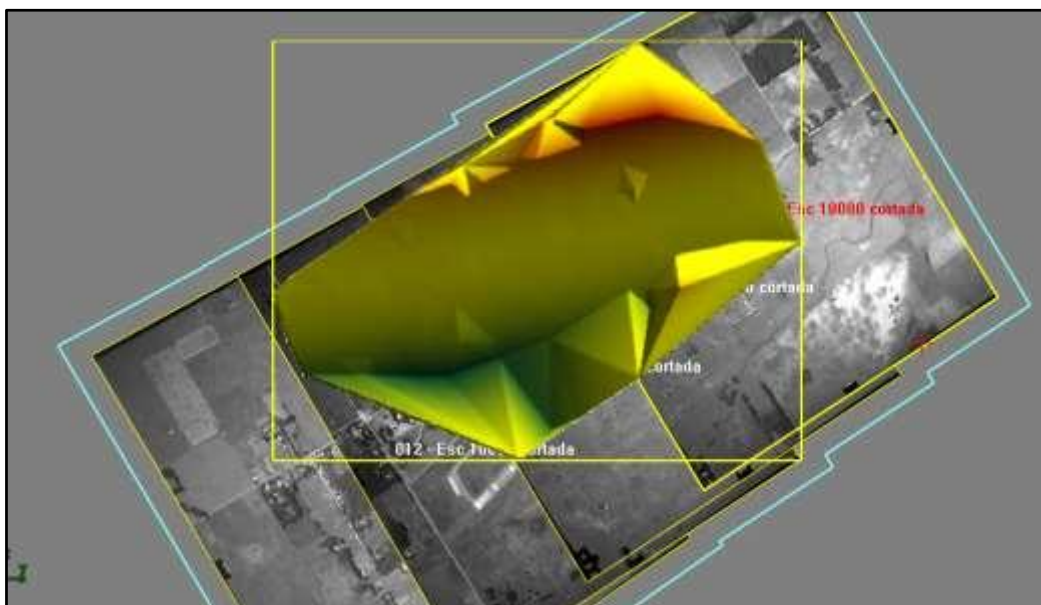


Imagen N°12 - MDE obtenido a partir del TIN.

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Una vez finalizado el primer intento de MDE con el software Photomod, pudimos notar que el mismo contaba con varios problemas, algunos de ellos eran la mala alineación entre las imágenes una vez superpuestas y la falta de cercanía entre los valores medidos con GPS y los obtenidos de este modelo. Los valores de Z del MDE arrojaban diferencias extremadamente grandes respecto de las obtenidas con GPS.

Por este motivo, se decidió realizar un segundo modelo, pero con más cantidad de puntos de control para mejorar esas imperfecciones mencionadas.

Para dicho fin, recurrimos a otro tipo de fuentes. Ya que no podíamos ir al lugar a medir, utilizamos el Modelo Digital de Elevaciones del IGN sobre el partido de Punta Indio el cual abarcaba perfectamente la zona que nuestras imágenes ocupaban, y junto con el estudio realizado por los estudiantes antes mencionados, que mostraban el buen resultado que arrojaba el modelo en zonas medianamente planas, sin edificación y sin arboleda y un control de calidad que realizamos, el cual explicaremos a la brevedad, decidimos seguir adelante con esta metodología, a pesar de no ser la más adecuada.

Especificaciones técnicas del Modelo Digital de Elevaciones del IGN:

Características técnicas del vuelo	
Fecha del vuelo	2013
Sensor	Vexcel UltraCam Xp
A continuación se pueden observar las características técnicas del MDE determinado por el IGN:	
Características técnicas del modelo	
Resolución espacial	5 metros
Marco de referencia geodésico	POSGAR 07
Sistema de referencia vertical	Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16)
Unidades verticales	Metro
Formato	IMG (32 bits flotante)
A continuación se pueden observar los valores estadísticos de las diferencias entre las alturas de una serie de puntos de control capturados en el área de interés y las alturas derivadas del MDE:	
Precisión vertical del modelo	
Cantidad de puntos utilizados	21
Máximo	1.30 m
Mínimo	-1.27 m
Promedio	-0.16 m
Desvío estándar	0.66 m

Imagen N°13 - Documento del IGN con las especificaciones de la obtención del modelo digital de elevaciones.

El datum vertical utilizado tanto en el MDE del IGN como en los MDE generados es el SRVN 16 (Sistema de Referencia Vertical Nacional del año 2016).

Conociendo las limitaciones con las que cuenta este MDE del IGN respecto a los controles de calidad, se decidió utilizarlo de todas maneras sabiendo que los resultados que se obtendrían están atados a la resolución del mismo.

El objetivo de dicho proceso fue poder conocer si, a pesar de cargar puntos en los distintos softwares que no tienen la calidad adecuada, los mismos lograrían mejorar los resultados con respecto a la calidad de los modelos que se obtenían.

Las limitaciones conocidas del modelo digital de elevaciones son:

- Falta de control de calidad en el terreno
- Baja resolución
- No cuenta con control de campo

A pesar de todas estas limitaciones con las que cuenta el MDE del IGN, procedimos a utilizarlo debido al contexto conocido en el que nos encontrábamos, ya que fue el único método que permitió obtener información sobre los puntos que necesitábamos para la correcta generación de los Modelos Digitales de Elevaciones.

Para suplir estas necesidades de falta de controles del modelo decidimos realizar un control interno de calidad con los puntos que teníamos del material de trabajo obtenido con GPS a fin de conocer el margen de error con el que nos podíamos llegar a encontrar y conocer si el modelo tenía algún error sistemático que se debiera corregir en el momento de la utilización de las coordenadas obtenidas del mismo.

El análisis arrojado del control de calidad realizado sobre el MDE del IGN contra los puntos de coordenadas conocidas de los puntos medidos con GPS es el siguiente:

Se midieron sobre el modelo digital de elevaciones un total de ocho puntos, distribuidos sobre la zona de interés y alrededores, como por ejemplo centro de la ciudad de Verónica, sus extremos y pista principal de la Base Aeronaval de Punta Indio. Este análisis de coordenadas X Y Z nos permitió conocer el error que arroja el modelo, para luego poder extraer los puntos de control que utilizamos para realizar el segundo intento de obtención del modelo digital de elevaciones, cuyo procedimiento se explicará más adelante.

Como se muestra en la *Imagen N°13* de las especificaciones técnicas del MDE del IGN, la resolución espacial del mismo es de 5 metros, por lo que no podremos obtener resoluciones inferiores o de mejor calidad al valor especificado de la desviación estándar, en este caso 0,66 m.

En la siguiente tabla se muestra el análisis de los puntos elegidos para realizar el control de calidad. Los ocho puntos se encontraban medidos con GPS.

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Puntos	GPS (Guass Krüger faja 6)		
	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Coordenada Z (m)
Ala	6472618,48	6088106,10	14,72
V. Hangar	6473326,08	6088334,10	15,23
Pista 1	6472945,58	6087493,57	13,84
Pista 10	6474490,50	6088899,61	13,00
Par.Vero.	6084429,39	6469420,53	16,25
Punto 37	6089579,64	6478584,39	11,36
Punto 38	6090179,01	6472971,81	12,84
Punto 39	6085258,29	6470995,33	15,62

Tabla con los valores de X Y Z de los puntos medidos con GPS.



Imagen de la ubicación de cada punto sobre el terreno utilizado para el control de calidad.

En la siguiente tabla se muestran los mismos puntos medidos sobre el Modelo digital de elevaciones del IGN, cuyo promedio de la variable Z fue el que se comparó con el valor de la misma obtenido con GPS.

La variable Z se midió realizando un promedio por proximidad de pixeles cercanos al punto, metodología que explicaremos más adelante en profundidad acorde al desarrollo del trabajo.

Punto	Puntos medidos sobre el MDE del IGN						
	Coordenada Z (m)					Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Promedio		
Ala	17,14	15,80	16,09	15,36	16,10	6472618,50	6088106,99
V. Hangar	16,06	14,61	17,14	15,54	15,84	6473346,94	6088355,07
Pista 1	13,47	13,83	14,50	14,10	13,98	6472944,15	6087494,32
Pista 10	13,47	13,81	13,68	13,53	13,62	6474490,80	6088898,18
Par.Vero.	16,95	17,44	18,01	18,21	17,65	6469421,10	6084429,10
Punto 37	12,09	12,08	12,18	15,16	12,88	6478584,52	6089580,18
Punto 38	12,64	13,78	14,07	13,32	13,45	6472972,40	6090179,20
Punto 39	16,18	15,95	16,52	15,96	16,15	6470995,90	6085258,60

Tabla con los valores de X Y Z de los puntos medidos sobre el MDE del IGN.

Realizadas las dos tablas con toda la información recogida tanto del MDE del IGN como de los puntos medidos con GPS, generamos la comparación de las mismas para poder concluir con el control de calidad mencionado.

ANALISIS CONTROL DE CALIDAD		
Ala	Z (m)	1,38
V hangar	Z (m)	0,61
Pista 1	Z (m)	0,14
Pista 10	Z (m)	0,63
Part.Vero.	Z (m)	1,41
Punto 37	Z (m)	1,52
Punto 38	Z (m)	0,62
Punto 39	Z (m)	0,53

Tabla comparativa de la coordenada Z entre los puntos GPS y puntos del DEM IGN.

Como se observa en la tabla del análisis de control de calidad, hay valores que superan el metro, y como ya mencionamos anteriormente los MDE arrojan buenos resultados en zonas planas.

Observando que aquellos puntos que arrojaban grandes diferencias eran los que estaban ubicados en zonas de arboleda y edificaciones, se decidió eliminarlos y continuar con los puntos que se encontraban lejos de estas zonas y arrojaban un valor en el orden de la desviación estándar indicada en las especificaciones del MDE del IGN. Debido a que el control de calidad proporciono valores en el orden de lo esperado, procedimos a la extracción de los puntos de control necesarios para la realización del segundo modelo, el cual denominamos como segundo intento.

La mecánica de trabajo para obtener estos puntos fue la siguiente:

En primer lugar, trabajamos con la imagen satelital que contábamos en la carpeta de material de trabajo y la georreferenciamos con los puntos medidos con GPS. Para hacer este procedimiento utilizamos el software Qgis. Este paso lo hicimos para luego poder georreferenciar las imágenes de la corrida y poder tener las coordenadas planimétricas de todos los puntos que nos interesaban extraer.

Una vez que georreferenciamos todas las imágenes en el sistema en el cual estábamos trabajando (POSGAR 07 faja 6), utilizamos el Modelo Digital de Elevaciones del partido de Punta Indio del IGN.

POSGAR 07 (Posiciones Geodésicas Argentinas 2007) fue adoptado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) como el Marco de Referencia Geodésico Nacional, para la época 2006.632, adoptando el elipsoide de referencia WGS84.

Para ello, le establecimos las transformaciones necesarias para poder tenerlo en el mismo sistema de referencia en el que estaban nuestras imágenes, y una vez que ese procedimiento ya estaba hecho, podíamos comenzar con la extracción de los puntos.

Para esto, lo que hicimos fue cargar en el Qgis las cuatro imágenes previamente georreferenciadas y el MDE. De esta manera, podíamos ver nuestra zona de trabajo y la zona que abarcaba el MDE. (Ver imagen N°14).

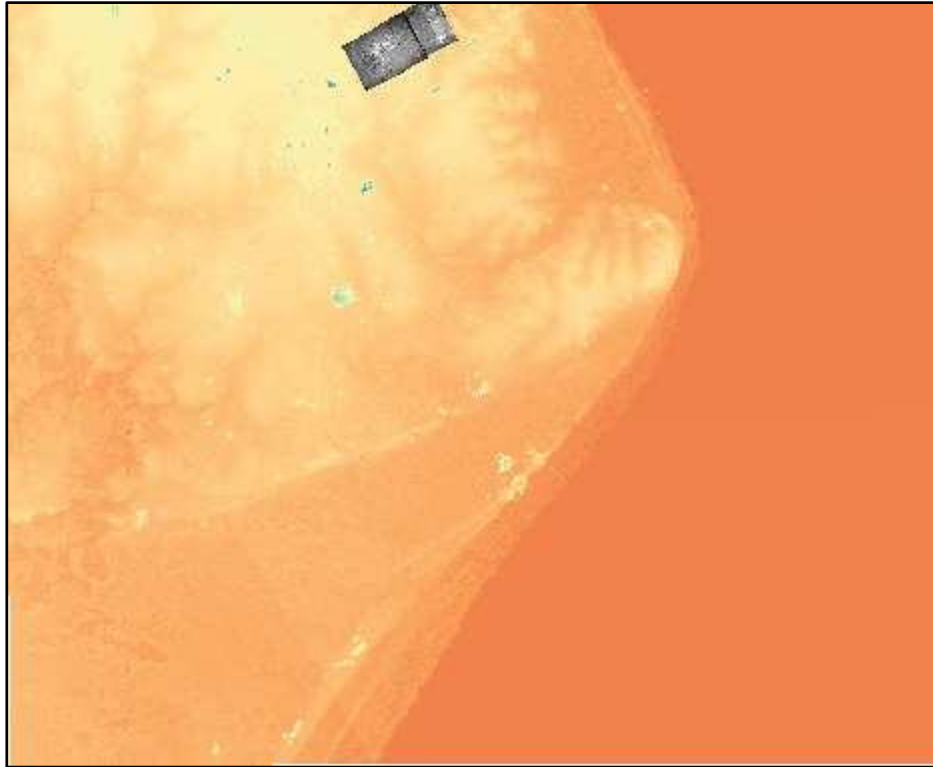
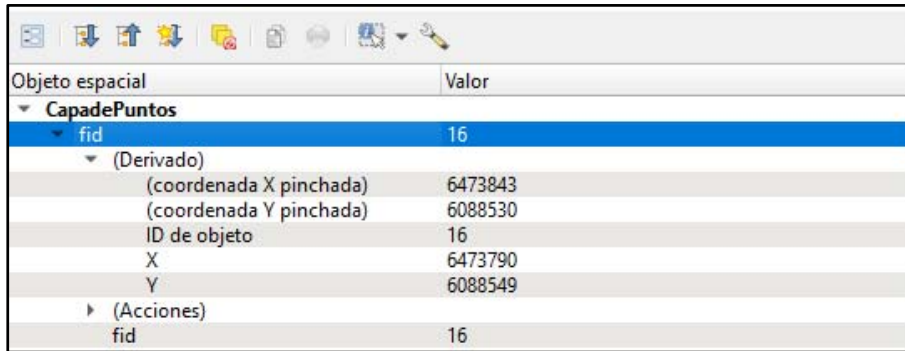


Imagen N°14 - Modelo digital de elevaciones del IGN del partido de Punta Indio y la corrida de cuatro imágenes en la cual se encuentra nuestra zona de trabajo.

El modelo digital de elevaciones tiene una visualización en la escala de grises, pero esto fue cambiado para poder observar más fácil las elevaciones de terreno y los pixeles que componían la imagen, que luego serían de gran utilidad para la extracción de la cota Z de los puntos seleccionados.

Continuando con la mecánica de trabajo, procedimos a crear una capa de puntos, sin atributos, en la cual se marcaron puntos tanto sobre las imágenes de la corrida como sobre el MDE para obtener las coordenadas X Y Z de cada punto.

Las coordenadas planimétricas se obtienen fácilmente cuando se crea el punto deseado utilizando la opción de información de la barra de herramientas del Qgis, la cual arroja los datos de dicho punto (Ver imagen N°15).



Objeto espacial	Valor
CapadePuntos	
fid	16
(Derivado)	
(coordenada X pinchada)	6473843
(coordenada Y pinchada)	6088530
ID de objeto	16
X	6473790
Y	6088549
(Acciones)	
fid	16

Imagen N°15 - Información planimétrica de los puntos de la capa creada

Para obtener la coordenada Z, se seleccionó la capa del MDE en donde se encuentra la información altimétrica de la zona y se debía ampliar la imagen del punto hasta poder observar como mínimo cuatro píxeles alrededor del punto deseado (Ver imagen N°16). Esta técnica fue utilizada para poder seleccionar cada punto y obtener un valor de Z, para luego sacar un promedio que sería el valor del punto de interés. Para esto se hizo una hoja de Excel en donde se detalló punto por punto las medidas obtenidas de cada píxel, el promedio, la localización del punto sobre las imágenes, el nombre de este y las coordenadas planimétricas. (Ver anexo N°4).

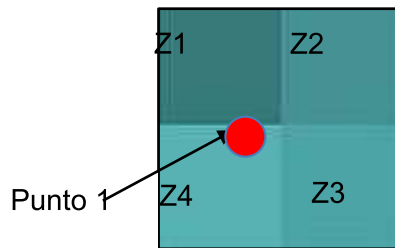


Imagen N°16 - Punto de interés y píxeles a su alrededor.

Nombre del Punto	Ubicación	Coordenada Z				
		Z1	Z2	Z3	Z4	Promedio
Punto 1	Foto 12	12,73	12,78	12,78	13,00	12,82

Tabla de Excel para cada punto con la medida de Z de cada píxel más próximo al punto de interés.

Se tomaron un total de 35 puntos (Ver imagen N°17), entre los cuales se seleccionaron puntos que ya estaban medidos con GPS los cuales los utilizamos a modo de control para poder saber el margen de error en el cual nos estábamos moviendo. Una precaución que debimos tomar es que los puntos que se generaron debían estar siempre en zonas planas, ya que en esas zonas el MDE se ajustaba más a la realidad y arrojaría datos certeros. Si se tomaban puntos en zonas de edificación o arboleda, los valores de Z que daría el MDE no serían representativos de la zona ya que los valores devueltos para dicha coordenada no serían los verdaderos, por ende, no podría utilizarse para trabajar con el mismo.

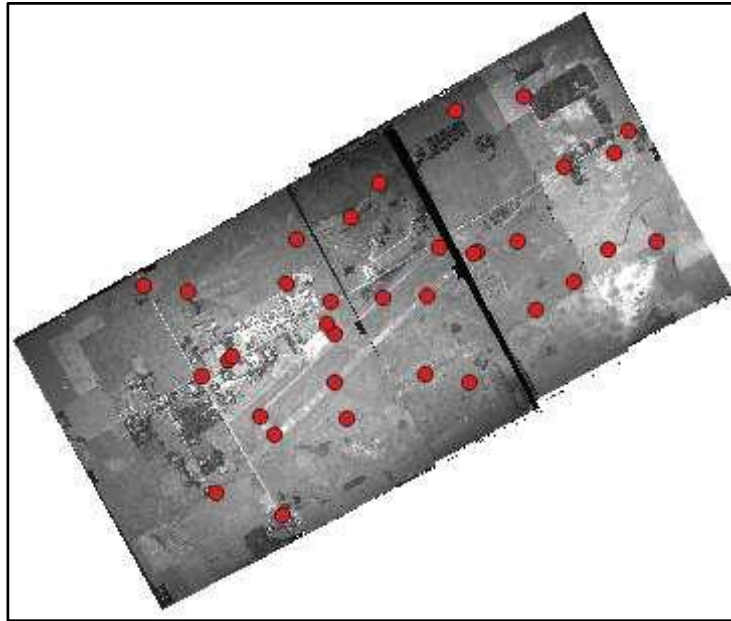


Imagen N°17 - Distribución de los puntos sobre la zona de trabajo que abarcaban las imágenes del vuelo 1:10.000

Con toda la información ya obtenida y los puntos distribuidos de una manera más uniforme, procedimos a realizar los mismos pasos mencionados anteriormente para la confección del primer MDE y así poder verificar si se obtendrían o no mejores resultados. Para esto, se cargaron puntos elegidos estratégicamente los cuales se encontraban en los extremos de la corrida, en el centro y puntos coincidentes con los que se tomaron con GPS.

Lista de puntos utilizados:

Punto 1
Punto 6
Punto 7 (ALA)
Punto 9 (V. Hangar)
Punto 16
Punto 24
Punto 25
Punto 27

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

En la siguiente imagen se muestra la distribución de los puntos sobre la zona de trabajo para la confección del segundo modelo.



Distribución de los puntos de control obtenidos para la confección del segundo modelo.

Pasos realizados:

Lo primero fue obtener la nube de puntos (*Ver imagen N°18*).

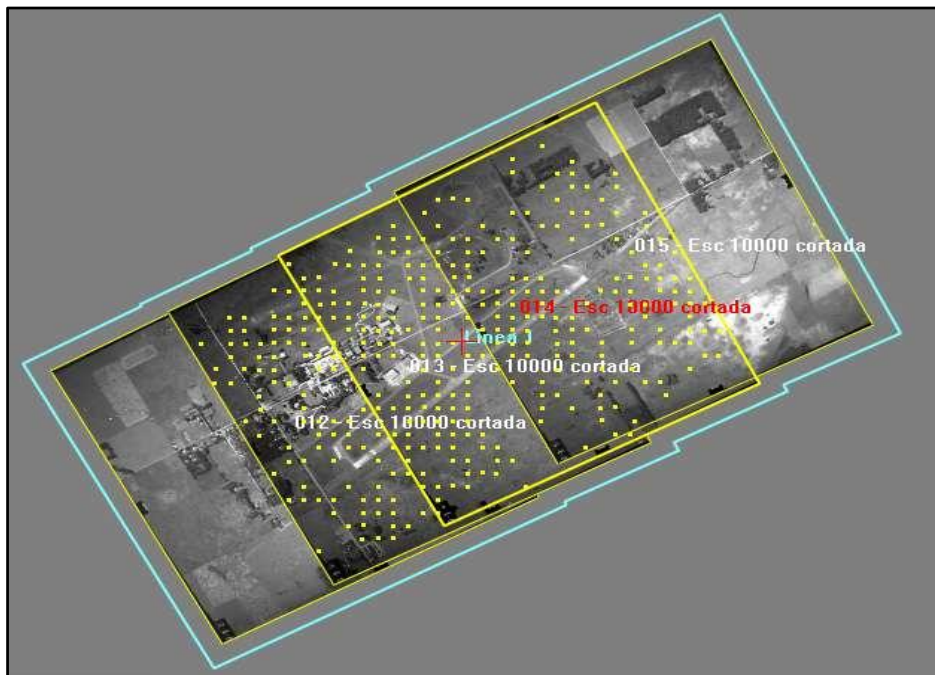


Imagen N°18 - Nube de puntos generada con los puntos de control obtenidos

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Luego, el siguiente paso fue realizar el TIN (Ver imagen N°19)

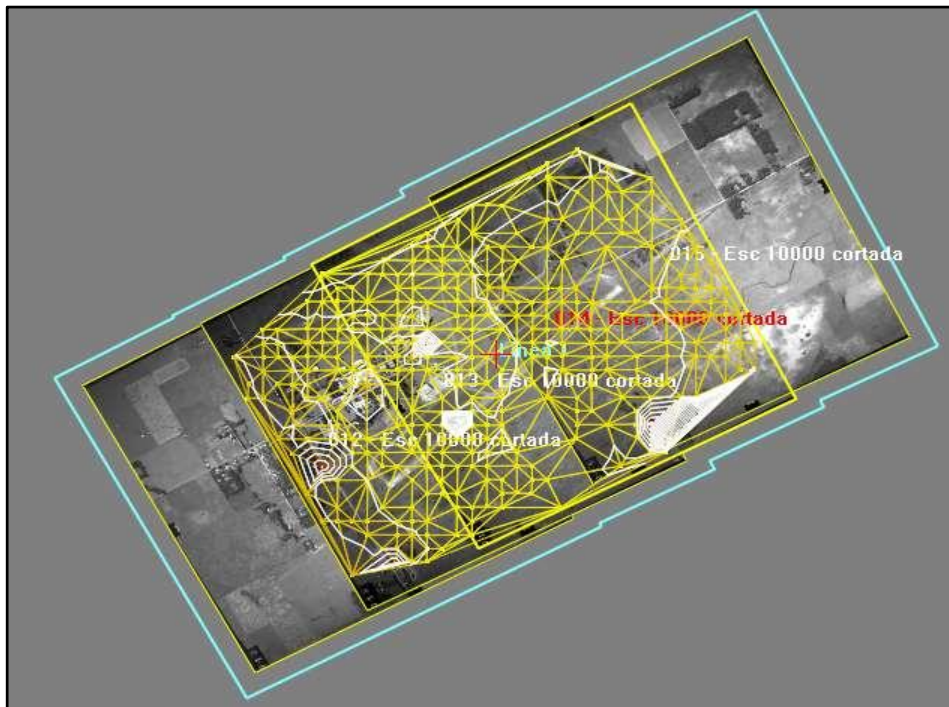


Imagen N°19 - TIN

Por último, se generó el MDE a raíz del TIN (Ver imagen N°20)

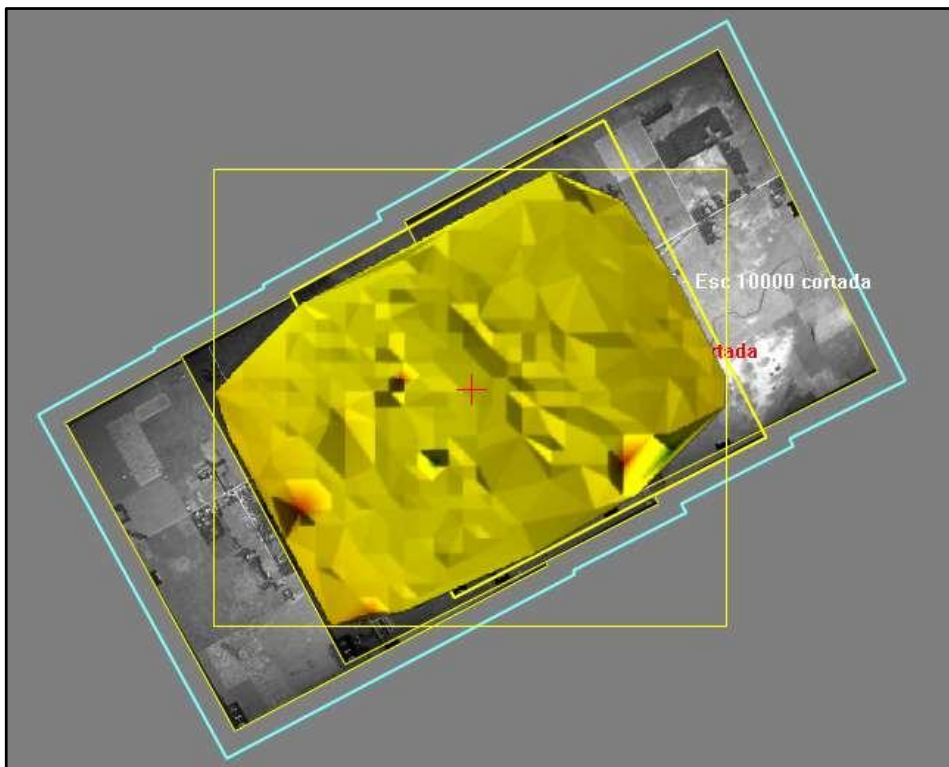


Imagen N°20 - MDE

Obtenidos los dos Modelos Digitales de Elevaciones, procedimos a realizar la comparación de precisión de cada uno midiendo puntos con coordenadas conocidas diferentes a los utilizados para la generación de los modelos (en este caso los puntos medidos con GPS) y los comparamos para ver cuál era el valor de error obtenido.

Para esto, cargamos ambos modelos en el software Qgis, en donde le eliminamos los valores negativos y todos aquellos que podían generar algún ruido. Estos son eliminados ya que no brindan información respecto a la zona de estudio. De esta manera, con ambos modelos cargados en dos capas distintas, junto con la capa de puntos previamente generada, comenzamos a tomar los valores de coordenadas planas (X,Y) y el valor de Z que arrojaban cada modelo.

Para realizar este paso, utilizamos la herramienta Raster Calculator (*Ver imagen N°21*) la cual nos permite mediante un comando específico anular todos los valores negativos del modelo, y solo quedarnos con aquellos valores que representaban interés para nuestro caso de estudio. Como capa de entrada vamos a tener el archivo TIFF del MDE que fue exportado de Photomod.

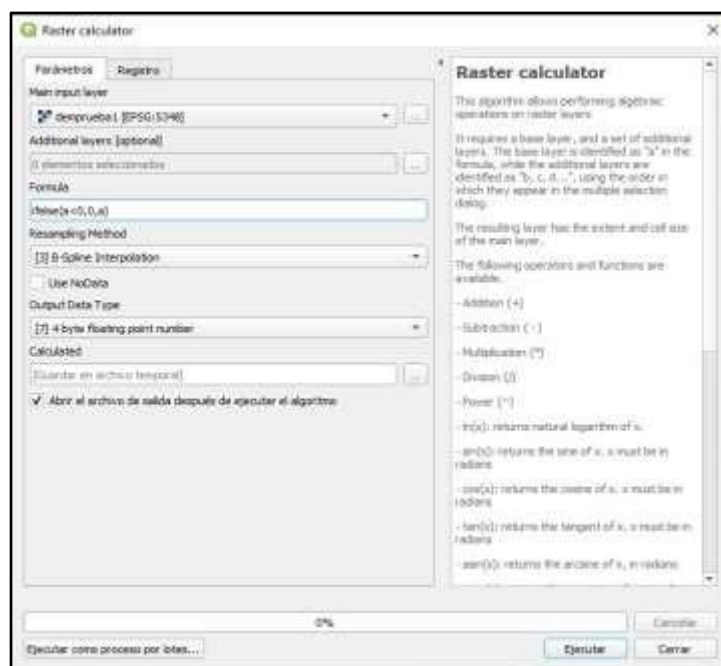


Imagen N°21- Función de Qgis, raster calculator

Para obtener las coordenadas planimétricas y la cota altimétrica de cada punto, cargamos en el Qgis en diferentes capas el modelo digital de elevaciones del primer intento (MDE1) y el modelo digital de elevaciones del segundo intento (MDE2), esto nos permitió a simple vista poder observar la superposición que tenía uno respecto del otro y colocando el mapa de base pudimos observar la zona que recubría cada modelo respecto de nuestra zona de trabajo.

A fin de conocer los datos mencionados, se cargó la corrida del vuelo georreferenciada superponiéndola a los modelos obtenidos.

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Una vez que se seleccionaba el punto de interés del cual queríamos conocer sus coordenadas (X,Y,Z), pasábamos a las capas en donde se encontraba cada uno de los modelos digitales de elevaciones y seleccionando en cada punto con el comando “Información” conocemos las coordenadas X,Y,Z en sistema de referencia Posgar 2007.

Para recopilar toda la información, realizamos distintas tablas en Excel en donde se puede ver reflejado los datos de cada punto medidos en los dos modelos digitales de elevaciones que obtuvimos.

Para realizar la verificación de los modelos seleccionamos algunos de los puntos que fueron medidos con GPS, distintos a los elegidos como puntos de control para la confección de los MDE. Estos se encontraban a lo largo de toda la pista, formando un perfil longitudinal de la misma.

Seguidamente se muestra una imagen de la zona con los puntos que fueron de verificación:



Imagen de la Pista Principal de la Base con los puntos seleccionados para realizar la verificación de los modelos obtenidos.

Para esto, todos aquellos puntos que se habían medido con GPS (que tenían coordenadas certeras) fueron comparados con los valores obtenidos del MDE de la prueba 1 y 2, cuyos valores se muestran en las siguientes tablas comparativas:

Puntos	GPS			MDE 1		
	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Coord. Z centro del pto. (m)
Punto Verificacion 1(r3_2)	6474266,19	6088711,09	14,15	6474263,29	6088709,58	56,93
Punto Verificacionn 2 (r1_2)	6474026,13	6088484,97	14,74	6474028,74	6088487,55	51,16
Punto Verificacion 3 (ce_2)	6473700,64	6088178,02	15,37	6473700,8	6088176,3	84,96
Punto Verificacion 4 (vi_2)	6473416,10	6087909,59	15,23	6473415,74	6087909,63	46,96
Punto Verificacion 5(v3_2)	6473198,16	6087704,15	14,75	6473197,9	6087702,9	76,31

Tabla comparativa entre los puntos medidos con GPS (cota ortométrica) y los obtenidos del MDE1 del software Photomod.

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

El promedio de las diferencias de los valores de la coordenada Z de la comparación realizada entre los puntos medidos con GPS y el MDE1 es de **48,42 metros** de error.

Puntos	GPS			MDE 2		
	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Coord. Z centro del pto. (m)
Punto Verificacion 1(r3_2)	6474266,19	6088711,09	14,15	6474264,90	6088709,38	17,48
Punto Verificacioon 2 (r1_2)	6474026,13	6088484,97	14,74	6474025,36	6088483,54	18,72
Punto Verificacion 3 (ce_2)	6473700,64	6088178,02	15,37	6473700,50	6088178,50	14,53
Punto Verificacion 4 (vi_2)	6473416,10	6087909,59	15,23	6473415,14	6087909,92	Sin informacion
Punto Verificacion 5(v3_2)	6473198,16	6087704,15	14,75	647197,94	6087702,95	16,82

Tabla comparativa entre los puntos medidos con GPS (cota ortométrica) y los obtenidos del MDE2 del software Photomod.

El promedio de las diferencias de los valores de la coordenada Z de la comparación realizada entre los puntos medidos con GPS y el MDE2 es de **2,55 metros** de error.

8.1.1 Conclusion ETAPA 1

Como se puede observar en cada tabla de los MDE realizados respectivamente, los valores que se obtuvieron arrojaron grandes diferencias. Los mismos se deben a que la metodología utilizada es totalmente experimental y para poder obtener buenos MDE, el software necesita más información de la que se cargó, tanto en cantidad de puntos de enlace como de información respecto a la cámara utilizada para obtener las imágenes. Todas estas variables afectan el resultado final obtenido, haciendo que la precisión con la que se obtienen las coordenadas del modelo no sean las óptimas.

Comparando el MDE1 con el MDE2 podemos llegar a la conclusión de que este último arroja mejores resultados que el primero.

Esta gran diferencia puede darse, además de los inconvenientes mencionados, a que los puntos que se utilizaron fueron obtenidos mediante la técnica de extracción de puntos del modelo digital del IGN, el cual también es una metodología experimental que no podemos garantizar una precisión exacta de las coordenadas X Y Z de cada uno de los puntos que se seleccionaron.

A pesar de utilizar esta técnica, los valores resultantes del MDE2 fueron más cercanos a los medidos con GPS, en comparación a los obtenidos del MDE1 que se generó a partir de dichos puntos tomados en campo arrojando resultados alejados a lo esperado.

Un factor a tener en cuenta es que el procedimiento realizado para poder obtener más cantidad de puntos de control utilizando el MDE del IGN, no es un método que debería usarse para el fin de confeccionar modelos digitales ya que se verán atados a la falta de control de calidad a la que está sometido este modelo. Pero como mencionamos anteriormente, debido a las circunstancias en las que nos encontrábamos, actuamos de tal manera para poder concluir con el trabajo de manera remota.

8.2 ETAPA 2: Generación de MDE con el software Agisoft

A diferencia del programa Photomod, Agisoft no especifica las orientaciones de las cámaras a medida que se realiza el proceso, sino que las hace automáticamente. Para esto, explicaremos los pasos de manera sintetizada para poder obtener el resultado buscado, en nuestro caso, el modelo digital de elevaciones.

El primer paso que se debe hacer es la carga de las imágenes, pueden ser georreferenciadas o no, particularmente para este trabajo, cargamos las imágenes sin ningún tipo de dato. Lo próximo que hicimos fue establecer los parámetros de la cámara, marcas fiduciales y distancia focal (*Ver imagen N°22*). Este paso se debe realizar por cada imagen que se cargue, en nuestro caso, cuatro veces.

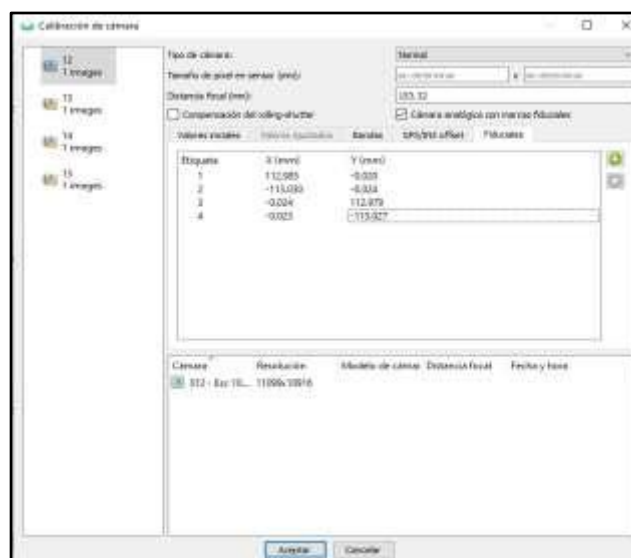


Imagen N°22 - Colocación de las marcas fiduciales

Realizado este paso, se debe cargar el sistema de referencia y las coordenadas del centro de cada imagen. Es decir, las coordenadas del centro de proyección al momento de la toma. Las mismas las obtuvimos mediante la intersección de la proyección de las líneas creadas por las marcas fiduciales laterales utilizando el software Qgis, y cargando las imágenes georreferenciadas para poder obtener los valores mencionados. (ver Imagen N°23). Aunque no es el método más preciso para obtenerlas, era necesario hallarlas, ya que para continuar con el proceso el programa requería de tal dato y el mismo no se encontraba en el certificado de calibración de la Cámara.

Referencia						
Cámaras	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Precisión (m)	Error (m)	
<input checked="" type="checkbox"/> 012 - Es...	6472570.591482	6087746.788229	150.293846	30.000000	36.562993	
<input checked="" type="checkbox"/> 013 - Es...	6473347.987889	6088144.877580	150.293898	30.000000	50.222590	
<input checked="" type="checkbox"/> 014 - Es...	6474087.175213	6088609.136150	150.293955	30.000000	44.607320	
<input checked="" type="checkbox"/> 015 - Es...	6474848.357200	6089069.511331	150.294013	30.000000	46.983619	
Error total					44.878821	

Imagen N°23 - Coordenadas de los centros de las imágenes. El programa por defecto muestra esa cantidad de decimales, pero en la práctica se utilizaron dos decimales.

Una vez que se introdujo toda la información referente a las imágenes, el próximo paso antes de comenzar con la orientación de las mismas es introducir en el software en la parte de marcadores, los puntos de control que utilizaremos para orientar y georreferenciar las imágenes. Estos puntos deben estar bien distribuidos sobre las cuatro imágenes, especialmente sobre las zonas en donde haya doble y triple superposición. (Ver imagen N°24).

Este procedimiento lo repetimos dos veces, variando la distribución y la cantidad de puntos de control, obteniendo así dos Modelos Digitales de Elevaciones, que a continuación se explicará cómo fueron confeccionados.

Como primer intento, utilizamos los puntos medidos con GPS sobre la Base, información con la que contábamos como material de trabajo.

Lista de puntos utilizados (medidos con GPS):

Pista 1
Ala
Vértice Hangar
Pista 10



Imagen N°24 - Distribución de los puntos de control sobre la zona de trabajo que se utilizaron para realizar el primer modelo con Agisoft.

Como se puede observar en la *Imagen N°24*, los puntos no se encuentran distribuidos de manera óptima sobre la zona de trabajo, ya que quedan grandes áreas sin cubrir, lo que produce que se generen errores a la hora de obtener el resultado final del MDE. De todas maneras, continuamos con el proceso para poder observar los resultados que el software arrojaría a pesar de la distribución de los marcadores.

Continuando con el procedimiento, una vez cargados los puntos de control, se deben identificar en las imágenes de la misma manera que se hizo con las marcas fiduciales. De forma que los puntos queden establecidos en todos los fotogramas.

Luego, se realiza la orientación de manera automática y se crea una nube de puntos de paso (*Ver imagen N°25*) en cada zona de superposición de las imágenes.

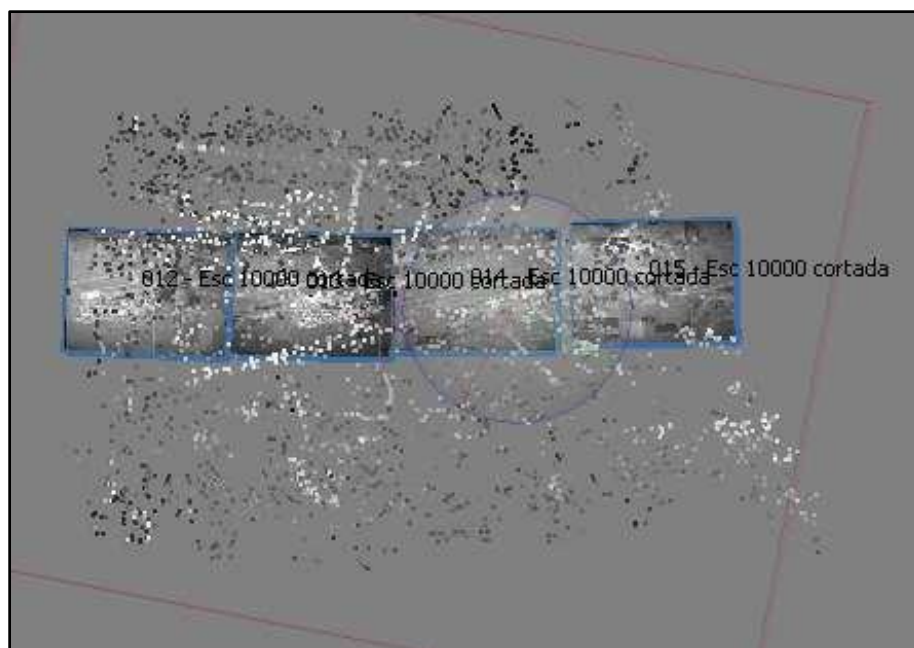


Imagen N°25 - Nube de puntos de paso

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Luego de que se calcula automáticamente la nube de puntos de paso, se procede a la creación de la nube de puntos densas, que nos permite observar con mejor detenimiento los detalles de la zona de trabajo, tal como se observa en la *Imagen N°26*.

Una nube de puntos densa es el producto resultante de la fotogrametría digital, la cual se compone de millones de puntos posicionados tridimensionalmente en el espacio, formando con exactitud milimétrica la representación de una superficie e informando su color y reflectividad del material. Esta precisión milimétrica es referida al cálculo interno que efectúa el software con el que se trabaja y no a la precisión que se obtendrá de los MDE, ya que, en nuestro caso, las mismas no serán milimétricas ni centimétricas, sino del orden del metro.



Imagen N°26 - Nube de puntos densa

Una vez completados los pasos de la opción de flujo de trabajo que nos indica el programa, ya nos encontramos en condiciones de poder generar el MDE. Para esto, el paso previo es crear una malla, en donde se le indica en base a qué se realizará el MDE, en nuestro caso, la nube de puntos densa y la calidad de procesamiento a la que se procesa el modelo, el cual fue en calidad alta. (ver *imagen N°27*)

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

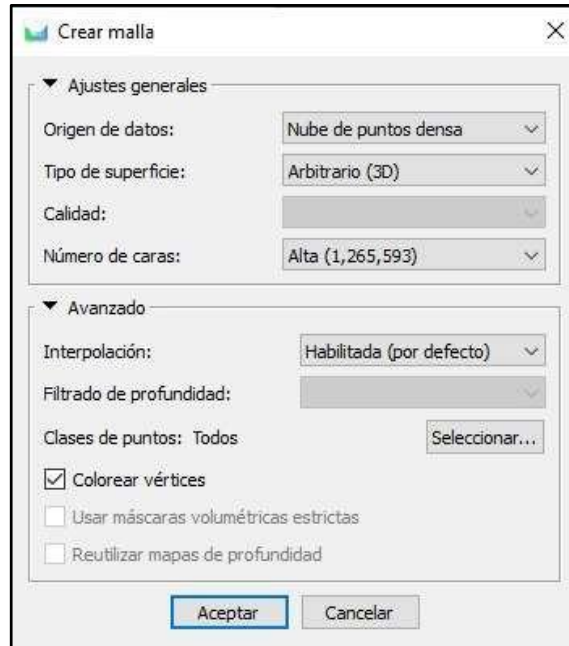
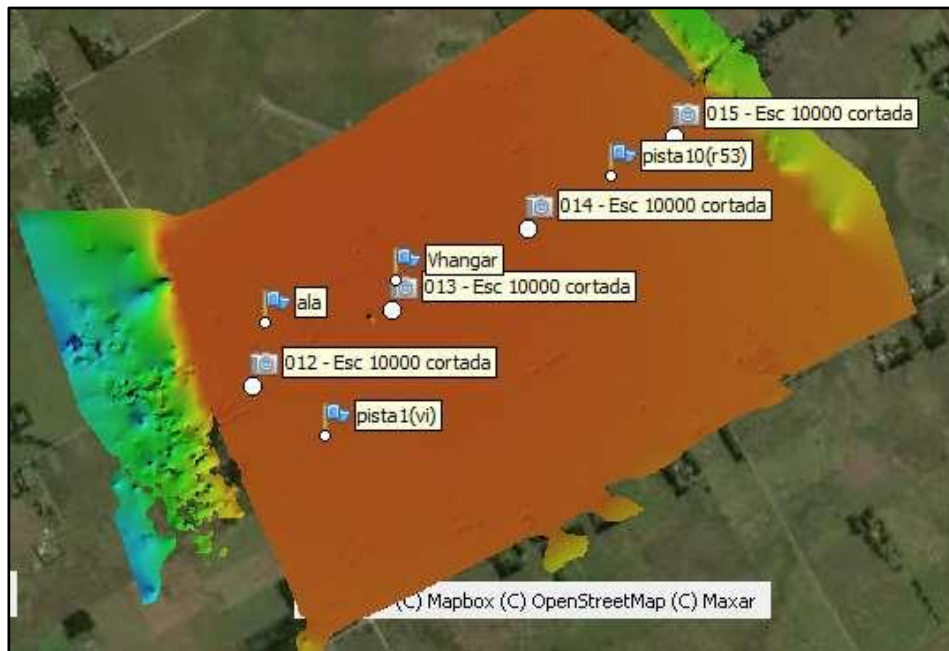


Imagen N°27 - creación de la malla para la generación del MDE.

El resultado que se obtiene es el siguiente:



Modelo Digital de Elevaciones - Primer intento

Al igual que con el software Photomod, el proceso de la creación del modelo digital de elevaciones lo hicimos dos veces, el segundo de ellos con los puntos que se extrajeron del MDE del IGN, procedimiento explicado anteriormente. En la *Imagen N°28* se observa la distribución de estos puntos sobre la zona de trabajo.

Lista de puntos utilizados:

Punto 1
Punto 6
Punto 7 (ALA)
Punto 9 (V. Hangar)
Punto 16
Punto 24
Punto 25
Punto 27

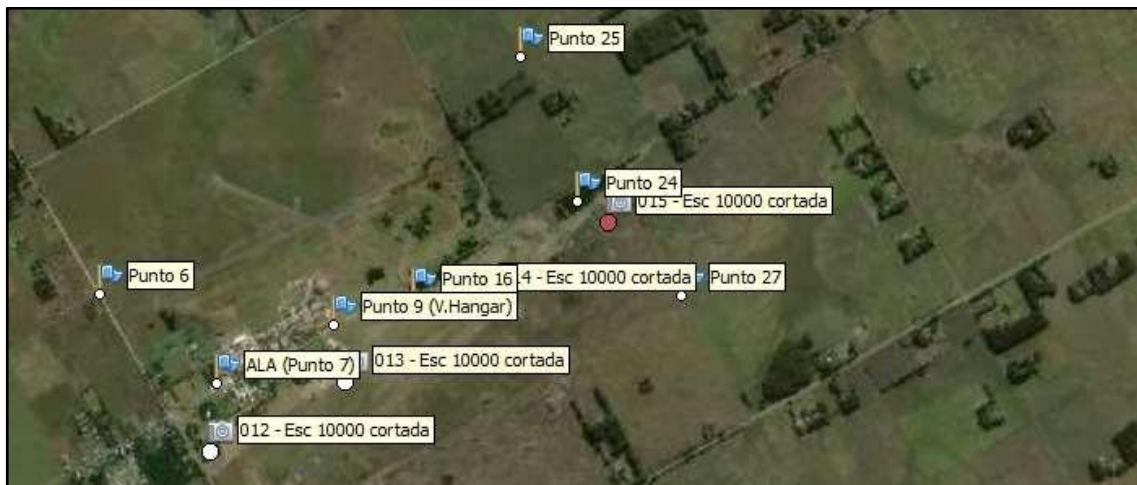


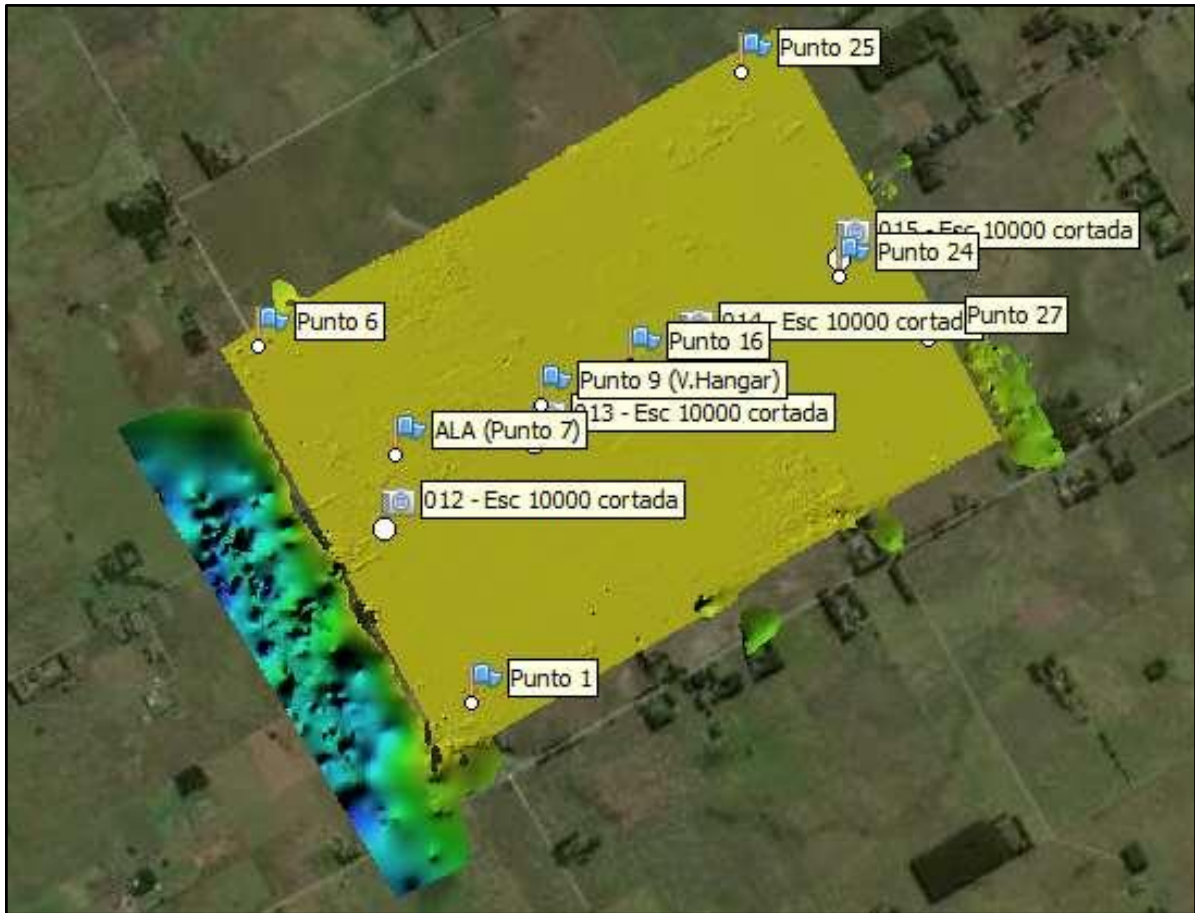
Imagen N°28 - Distribución de los puntos de control para generar el segundo modelo con Agisoft.

De igual manera que confeccionamos el MDE1 en el Agisoft, realizamos este segundo modelo, arrojando los siguientes resultados.

Nubes de puntos de paso, nube de puntos densa (ver Anexo N°5).

El MDE obtenido del intento N°2 es el siguiente:

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE VUELO A ESCALA 1:10.000”



MDE resultante del intento N°2 en el software Agisoft.

Para la visualización de los MDE y el análisis de las coordenadas de los puntos, se realizó el mismo procedimiento que hicimos en la comparación de los modelos con Photomod, utilizando el software Qgis y las mismas herramientas. (Procedimiento explicado en detalle en página N°41).

En las siguientes tablas se muestran los puntos con los valores que se obtuvieron en cada modelo generado con el Agisoft.

Puntos	GPS			MDE 1		
	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Coord. Z centro del pto. (m)
Punto Verificacion 1(r3_2)	6474266,19	6088711,09	14,15	6474264,62	6088710,15	13,86
Punto Verificionn 2 (r1_2)	6474026,13	6088484,97	14,74	6474024,44	6088483,30	14,45
Punto Verificacion 3 (ce_2)	6473700,64	6088178,02	15,37	6473700,10	6088176,00	14,82
Punto Verificacion 4 (vi_2)	6473416,10	6087909,59	15,23	6473416,04	6087908,83	14,93
Punto Verificacion 5(v3_2)	6473198,16	6087704,15	14,75	6473198,32	6087703,64	14,28

Tabla comparativa de valores entre los medidos con GPS (cota ortométrica) y los obtenidos del MDE 1 del software Agisoft.

El promedio de la diferencia de los valores de la coordenada Z de la comparación realizada entre los puntos medidos con GPS y el MDE1 es de **0,47 metros** de error.

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Puntos	GPS			MDE 2		
	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Coord. Z centro del pto. (m)
Punto Verificacion 1(r3_2)	6474266,19	6088711,09	14,15	6474264,31	6088710,38	13,87
Punto Verificacionn 2 (r1_2)	6474026,13	6088484,97	14,74	6474024,23	6088483,44	14,95
Punto Verificacion 3 (ce_2)	6473700,64	6088178,02	15,37	6473699,37	6088176,42	13,86
Punto Verificacion 4 (vi_2)	6473416,10	6087909,59	15,23	6473415,44	6087908,49	16,54
Punto Verificacion 5(v3_2)	6473198,16	6087704,15	14,75	6473198,58	6087703,64	15,84

Tabla comparativa de valores entre los medidos con GPS (cota ortométrica) y los obtenidos del MDE 2 del software Agisoft.

El promedio de las diferencias de los valores de la coordenada Z de la comparación realizada entre los puntos medidos con GPS y el MDE2 es de **1,10 metros** de error.

8.2.1 Conclusión ETAPA 2

Los valores de errores arrojados tanto para el primer y segundo modelo se deben estrictamente a la metodología de confección utilizada para cada uno de ellos.

Es decir, para el primer intento se obtuvieron mejores resultados ya que el mismo fue confeccionado con puntos de control cuyas coordenadas utilizadas fueron medidas con GPS, las cuales se consideran de gran precisión, por lo tanto, el MDE 1 a pesar de no tener un contorno visualmente parejo de la superficie que se modeló, posee mejor precisión en sus coordenadas.

Con respecto al MDE2, podemos afirmar que dichos valores obtenidos de la variable Z se ven altamente influenciados por todos los pasos previos que se realizaron para la extracción de los puntos de control. Esto quiere decir que al haber trabajado previamente con el MDE del IGN y haber arrastrado errores propios del mismo, en el resultado final podemos observar una suma de estos afectando el resultado obtenido y alejándose de los valores medidos con GPS.

Por lo tanto, concluimos que a pesar de que los puntos de control cargados para el MDE1, cuyos puntos no contaban con buena distribución en la zona de trabajo abarcada por la corrida, y a pesar de la poca cantidad de estos; este arroja mejores valores debido a que los pocos puntos mencionados son de mejor calidad que los puntos de control que se obtuvieron de manera no convencional para la realización del MDE2.

A pesar de esto, el MDE1 posee una zona de recubrimiento menor la cual hace que buscar puntos por fuera de esa zona no sea posible, y el MDE2 brinda una zona de recubrimiento más amplia a pesar de que los valores de Z tienen un promedio de error mayor.

9 CONCLUSIONES DEL TRABAJO

Como ideas principales para darle un cierre al trabajo, podemos llegar a la conclusión de que es totalmente viable poder combinar tecnologías asincrónicas y obtener resultados óptimos.

Nos apoyamos en un trabajo final que no contaba con datos útiles para el análisis que estábamos planteado, ya que como mencionamos, la disposición de los puntos no era óptima para la generación de modelos digitales de elevaciones y esto provocaba que se obtengan como resultados valores muy lejanos a los que habían sido tomados con GPS en dicha campaña.

En nuestro caso, a pesar de la poca distribución de estos puntos, los resultados obtenidos fueron acorde a los datos con los que se contaban. Es decir, no esperábamos obtener modelos digitales de elevaciones con precisiones centimétricas, ya que éramos conscientes de que estábamos utilizando metodologías que no eran apropiadas para dicho fin. Por eso mismo, el objetivo del trabajo siempre fue analizar la posibilidad de poder combinar o no, las diferentes metodologías de trabajo, sin pretender obtener modelos con precisiones con las que cuentan los modelos digitales de elevaciones en la actualidad.

A pesar de esto, ambos programas procesaron la misma información de distinta manera arrojando resultados finales muy diversos entre sí.

En el caso del Photomod los valores finales obtenidos en relación a la variable Z se vieron totalmente influenciados por los escasos datos con los que se contaban y con los que se extrajeron en el proceso de confección de los modelos, como ser el caso de la utilización del MDE del IGN. Este software requiere más información de la que contábamos, a comparación del Agisoft.

Esto quiere decir, que, a pesar de tener la misma información en ambos softwares, hay ciertos parámetros que los resuelven de manera distinta afectando así el resultado final y aumentando los errores de la precisión en lo que respecta a las coordenadas.

Con el software Agisoft se ven buenos resultados, con valores totalmente aceptables a los que esperábamos encontrarnos, ya que el primer indicio que tuvimos con el Photomod no eran los más favorables.

En el caso de los datos que se extrajeron del MDE del IGN, en ambos softwares se comportaron de manera desigual, es decir, que, para la misma información cargada en cada software, esta fue procesada de manera diferente por los mismos dando resultados diametralmente opuestos en el final del proceso de la creación de cada MDE. En el primer software, el modelo obtenido con puntos de control medidos en la campaña realizada años anteriores con GPS, logró resultados que no eran los esperados, dando diferencias en la variable Z de un promedio de más de 20 metros, lo cual lo hace totalmente inutilizable para cualquier tipo de trabajo en donde se necesite emplear la variable altimétrica, no siendo así con la planimetría obtenida, aunque cabe destacar que la superposición de la corrida tampoco era de ayuda para obtener buenos resultados.

Con lo que respecta al segundo modelo en el cual se cargaron los puntos de control que se habían extraído del MDE del IGN, se logró un modelo altimétricamente más similar a la realidad, sobre el cual realizar trabajos puede ser posible, a pesar de que las precisiones no sean las más adecuadas.

Todo lo contrario, pasó con el Agisoft, este reaccionó de manera totalmente diferente ante los datos cargados para cada modelo.

En el primer modelo, el cual se generó como mencionamos previamente gracias a los puntos que fueron medidos con GPS, dio un resultado con buenos valores en la variable altimétrica, pero cuando se realizó el segundo intento con los puntos extraídos del MDE del IGN este mejoró notablemente su precisión, permitiendo obtener un modelo, en el cual los valores de las coordenadas en sus tres variantes (X Y Z) no tenían grandes diferencias con las medidas con GPS, las cuales tienen una precisión excelente.

El proceso realizado nos ayudó para poder afirmar, que pese a las dificultades con las que contábamos para realizar el trabajo, tanto por la confección 100% virtual del mismo, como la falta de posibilidad de ir a recoger datos al campo, realizar este tipo de trabajos es totalmente posible, y que se pueden lograr buenos resultados combinando imágenes obtenidas mediante una metodología convencional y procesarla con softwares que no fueron concebidos en principio para trabajar con las características de las mismas.

Afirmando que es posible realizar esta combinación de metodologías, creemos que los resultados obtenidos se mejorarían aún más con información más adecuada para la creación de modelos digitales de elevaciones.

En este caso, contar con puntos de control o puntos de apoyo medidos con GPS y distribuidos uniformemente en toda la zona de interés para cargar en los softwares, resultaría de gran ayuda para obtener modelos con una mejor precisión, los cuales podrían utilizarse como base para cualquier trabajo que se quiera realizar sobre los mismos, a pesar de haberse generado con información obtenida en el pasado con tecnología que hoy en día, ya no es usada para dicho fin.

Como apreciación final de cada software, creemos que, con el Agisoft, además de lograr mejores resultados, se trabaja de manera más intuitiva y más rápida, ya que los pasos para obtener los modelos digitales de elevaciones son más simples y abreviados que el Photomod, el cual presenta una complejidad mayor para obtener los mismos resultados.

En lo personal, creemos que este trabajo final nos permitió conocer y expandirnos en el ámbito de la fotogrametría digital, dándonos herramientas que seguramente en un futuro nos serán de gran utilidad.

Nos encontramos con el desafío de utilizar softwares internacionales, ambos rusos, los cuales nos permitieron desarrollar aún más el sentido de investigación debido a la falta de conocimientos sobre los mismos, como así también sobre muchos aspectos respecto de la confección en sí de los modelos digitales de elevaciones.

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Coincidimos que la información adquirida en los años de carrera ha sido de gran ayuda para impulsarnos a tomar el desafío de embarcarnos en la realización de un trabajo final el cual se encontraba por fuera de nuestra zona de confort.

Cabe destacar que no solo nos encontramos con dificultades en materia de falta de información, sino que la virtualidad debido a la pandemia mundial Covid-19 ha sido uno de los grandes desafíos que tuvimos que afrontar para poder llevar adelante el trabajo.

10 GASTOS Y HONORARIOS

A continuación, vamos a detallar las actividades profesionales desarrolladas en el trabajo junto a sus honorarios, gastos ordinarios y extraordinarios, que en su conjunto conforman el presupuesto.

✓ Honorarios

El honorario por día de trabajo lo obtuvimos de la resolución N°1317 Anexo 1, en tareas de gabinete, el cual tiene un valor por día de \$4630. En nuestro caso, dividimos las 300 horas c/u por una jornada de 4 horas diarias, dándonos un total de días de trabajo de 75 días. Por lo tanto, el valor que se obtiene es el siguiente:

Total de honorarios por 600hs = 75 días x \$4630 = \$347.250 x 2 integrantes = \$694.500

✓ Gastos Ordinarios en función de los honorarios mínimos

Según el decreto 6964/65 el porcentaje de los gastos ordinarios para los trabajos que superen los \$500.000 es del 10% de los honorarios de este. Por lo tanto:

Total de gastos ordinarios para 2 personas = \$69.450

✓ Gastos Extraordinarios

- Amortización de las computadoras

$$\text{Amortización para un año} = \frac{\text{Valor a nuevo (U\$D)}}{\text{Vida útil en años}}$$
$$\text{Amortización para un día} = \frac{\text{Amortización para un año} \left(\frac{\text{U\$D}}{365}\right)}{365 \text{ días}}$$

Amortizaciones para la totalidad del trabajo:

-HP laptop 15-da0xx: 39,77 U\$D = \$6.165

-HP G7 250: 28,76 U\$D = \$4.458

- Softwares: para realizar el trabajo utilizamos softwares libres o con licencias de prueba, por lo que no tuvimos que gastos de los mismos en compra de paquetes para poder utilizarlos.
- Gastos de oficina (daremos valores estimativos para cada una de las casas en donde nos encontramos realizando el trabajo, que fue de manera virtual).

-Luz: Gasto mensual de \$2.000

-Gas: Gasto mensural de \$1.000

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

-Internet: Gasto mensual de \$3.000

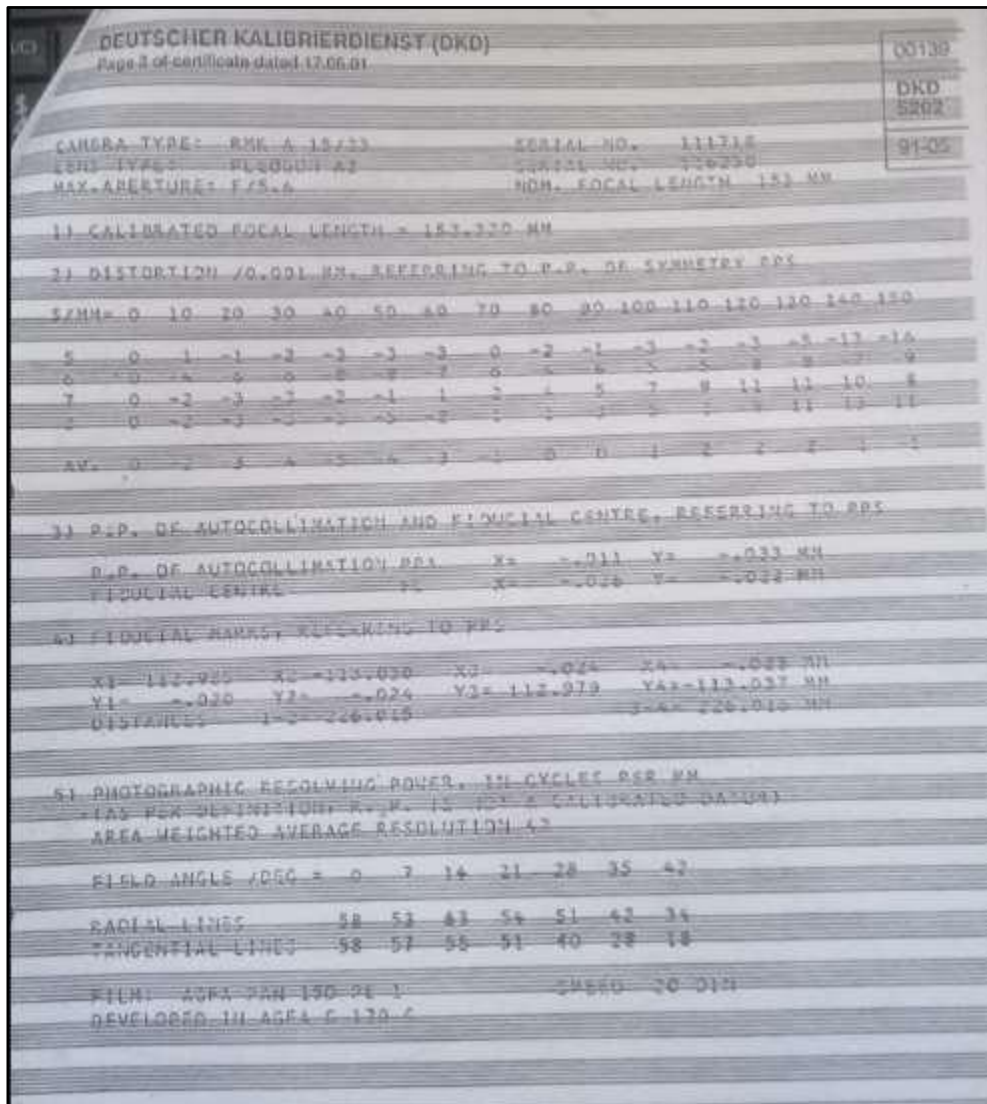
- Aportes previsionales 10% de los honorarios: \$69.450
- Obra social 5% de los honorarios: \$34.725

Total de gastos extraordinarios: \$126.798

Total gastos (Ordinarios + extraordinarios)	\$196.248
Honorarios	\$694.500
Costo Impositivo de la Prov. de Buenos Aires (6% de los gastos + honorarios)	\$53.445
PRESUPUESTO TOTAL	\$944.193 = U\$D 6.091

11 ANEXOS

Anexo 1



Certificado de calibración de la cámara fotogramétrica que fue utilizada en el vuelo a escala 1:10000, obtenido mediante la gestión del director de la Cátedra de Trabajo Final, Dr. Agrim. e Ing. Jorge Sisti.

Del mismo se obtuvieron las coordenadas del punto principal, la distancia focal, el tipo de cámara y las coordenadas de las marcas fiduciales.

Anexo 2

Reporte del Photomod de la Orientación Interior

Reporte sobre la orientación interior ✕

Parámetros principales Adicionales

Formato de los residuales

De punto fijo

Exponencial

Precisión

Normal

Más alta

Máximo

Estadísticas del bloque

Proyecto: Prueba2

Número de líneas: 1, seleccionado para el reporte 1

Número de imágenes: 4, seleccionado para el reporte 4

Reporte de datos: martes, 15 de diciembre de 2020, 11:14:00

Líneas	Imágenes	Número de imágenes seleccionadas	Orientación Interior		
			Completado	Errores	No completado
Línea 1	015 - Esc. 10000 cortada—012 - Esc. 10000 cortada	4	4	0	0

[Ver más](#)

Línea: Línea 1

	Imagen	Cámara	Tipo de cámara	Ejes de orientación	Número de fiducias medidas	Tipo de transformación	Residuales, RMS, mm
↕	015 - Esc. 10000 cortada	ZEISS x-cam	Coordenadas fiducias	180°	4/4	Afin	0.0669
↕	014 - Esc. 10000 cortada	ZEISS x-cam	Coordenadas fiducias	180°	4/4	Afin	0.0790
↕	013 - Esc. 10000 cortada	ZEISS x-cam	Coordenadas fiducias	180°	4/4	Afin	0.0481
↕	012 - Esc. 10000 cortada	ZEISS x-cam	Coordenadas fiducias	180°	4/4	Afin	0.0472

Anexo 3

Reporte del Photomod de la Orientación Relativa

Estadísticas									
Líneas	Imágenes	Estereopares				Áreas triples			
		Total	Completo	Residuales	No completado	Total	Completo	Residuales	No completado
Línea 1	015 - Esc. 10000 cortada—012 - Esc. 10000 cortada	3	2	1	0	2	2	0	0

[\[Volver\]](#)

Línea: Línea 1

	Estereopar	Número de puntos	Paralaje vertical, mm			Discrepancia de Kappa ángulo, °	Distribución uniforme	
			EMC	Medio abs.	Máx			
↕	015 - Esc. 10000 cortada—014 - Esc. 10000 cortada	41	0.0202	0.0162	0.0561	0.294790	No uniforme	± ±
↕	014 - Esc. 10000 cortada—013 - Esc. 10000 cortada	38	0.0258	0.0192	0.0970	0.571005	Uniforme	± ±
↕	013 - Esc. 10000 cortada—012 - Esc. 10000 cortada	43	0.4626	0.2050	0.8035	0.151325	Uniforme	± ±

	Área triple	Número de puntos	Residual de enlace, mm					
			EMC		Medio abs.		Máx	
			E_{xy}	E_z	E_{xy}	E_z	E_{xy}	E_z
↕	015 - Esc. 10000 cortada—014 - Esc. 10000 cortada—013 - Esc. 10000 cortada	78	0.0735	0.1558	0.0472	0.1158	0.2131	0.3818
↕	014 - Esc. 10000 cortada—013 - Esc. 10000 cortada—012 - Esc. 10000 cortada	82	0.1769	0.4646	0.1552	0.4316	0.3540	0.7085

Configuración del informe de orientación relativa ✕

Parámetros principales Adicionales

Mostrar informe

Para todas las imágenes

Para imágenes seleccionadas

Agregar imágenes adyacentes

Estereopares

Verificar paralaje vertical

Umbral de paralaje vertical:

DY

pix. EMC

mm Valor medio absoluto

Máx

Verificar discrepancia del ángulo kappa respecto al diseño del bloque

Umbral de discrepancia del ángulo, grados:

Verificar número de puntos de enlace

Número mínimo:

Verificar uniformidad de la distribución de puntos

Verificar errores en los estereopares entre fajas

Áreas triples

Verificar residuales en los tripletes

Umbral de residuales en tripletes:

XY Z

pix. EMC

mm Valor medio absoluto

m Máx

Verificar número de puntos de enlace

Número mínimo:

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Anexo 4

Tabla de Excel con los puntos extraídos del MDE del IGN creados a partir de una capa Shapefile.

Nombre del Punto	Ubicación	Coordenada Z (m)					Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)
		Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Promedio		
Punto 1	Foto 12	15,35	15,01	14,36	15,01	14,93	6473001,70	6086867,90
Punto 2	Foto 12	14,76	14,72	16,03	14,82	15,08	6472488,00	6087041,00
Punto 3	Foto 12	14,70	15,97	15,69	15,94	15,57	6472385,30	6087953,40
Punto 4	Foto 12	15,33	15,87	15,80	16,74	15,94	6472584,90	6088079,20
Punto 5	Foto 12	14,82	14,41	14,02	13,84	14,27	6472832,90	6087639,20
Punto 6	Foto 12	14,57	14,95	14,20	14,49	14,55	6471932,88	6088646,19
ALA (Punto 7)	ALA	17,14	15,80	16,09	15,36	16,10	6472618,50	6088106,99
Punto 8	Foto 12	14,30	15,81	14,61	14,78	14,87	6473420,48	6088276,72
Punto 9 (V.Hangar)	Foto 12	16,06	14,61	17,14	15,54	15,84	6473346,94	6088355,07
Punto 10	Foto 12	15,55	15,26	15,82	15,69	15,58	6473045,97	6088664,33
Punto 11	Foto 12	14,67	15,70	15,37	15,16	15,22	6473389,68	6088533,51
Punto 12	Foto 12	15,07	14,05	14,30	13,90	14,33	6472271,07	6088602,44
Punto 13	Foto 12	13,24	13,77	13,32	13,01	13,34	6473511,66	6087619,43
Punto 14	Foto 12	15,22	14,46	14,73	14,44	14,71	6473120,93	6089005,23
Punto 15	Foto 12	14,96	15,38	15,31	15,08	15,18	6473408,75	6087902,60
Punto 16	Foto 13	14,71	15,09	14,60	15,32	14,93	6473789,82	6088549,27
Punto 17	Foto 13	14,93	14,89	15,59	14,79	15,05	6474124,45	6088578,11
Punto 18	Foto 13	14,51	14,84	14,76	15,03	14,78	6473534,01	6089182,99
Punto 19	Foto 13	14,38	14,52	15,85	15,33	15,02	6473750,31	6089441,38
Punto 20	Foto 13	13,35	13,30	12,72	13,50	13,22	6474231,39	6088947,66
Punto 21	Foto 13	11,56	11,86	11,27	11,64	11,58	6474463,91	6087886,51
Punto 22	Foto 13	12,44	12,44	12,81	13,15	12,71	6474122,38	6087957,61
Punto 23	Foto 14	13,08	13,26	13,53	13,30	13,29	6474518,82	6088920,09
Punto 24	Foto 14	11,99	12,47	11,92	11,65	12,01	6474831,84	6088997,35
Punto 25	Foto 14	11,31	11,58	11,33	10,58	11,20	6474343,48	6090013,42
Punto 26	Foto 14	9,87	10,62	10,33	10,89	10,43	6474974,20	6088458,93
Punto 27	Foto 14	9,05	9,67	9,87	9,62	9,55	6475277,54	6088676,79
Punto 28	Foto 15	10,50	12,83	11,36	10,50	11,27	6474878,78	6090115,02
Punto 29	Foto 15	11,86	10,57	11,15	12,74	11,58	6475189,04	6089572,16
Punto 30	Foto 15	9,60	10,07	10,44	9,65	9,94	6475698,73	6089845,04
Punto 31	Foto 15	9,97	9,52	8,94	9,62	9,51	6475531,31	6088933,86
Punto 32	Foto 15	8,32	8,20	8,20	8,50	8,30	6475913,01	6088995,34
Punto 33	Foto 15	8,66	8,35	7,77	8,15	8,23	6475585,98	6089676,53
Punto 34 PISTA 1	Foto 12	13,47	13,83	14,50	14,10	13,98	6472944,15	6087494,32
Punto 35 PISTA 10	Foto 14	13,47	13,81	13,68	13,53	13,62	6474490,80	6088888,18

“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
VUELO A ESCALA 1:10.000”

Anexo 5

Intento N°2 con el software Agisoft

Imagen de la nube de puntos de paso

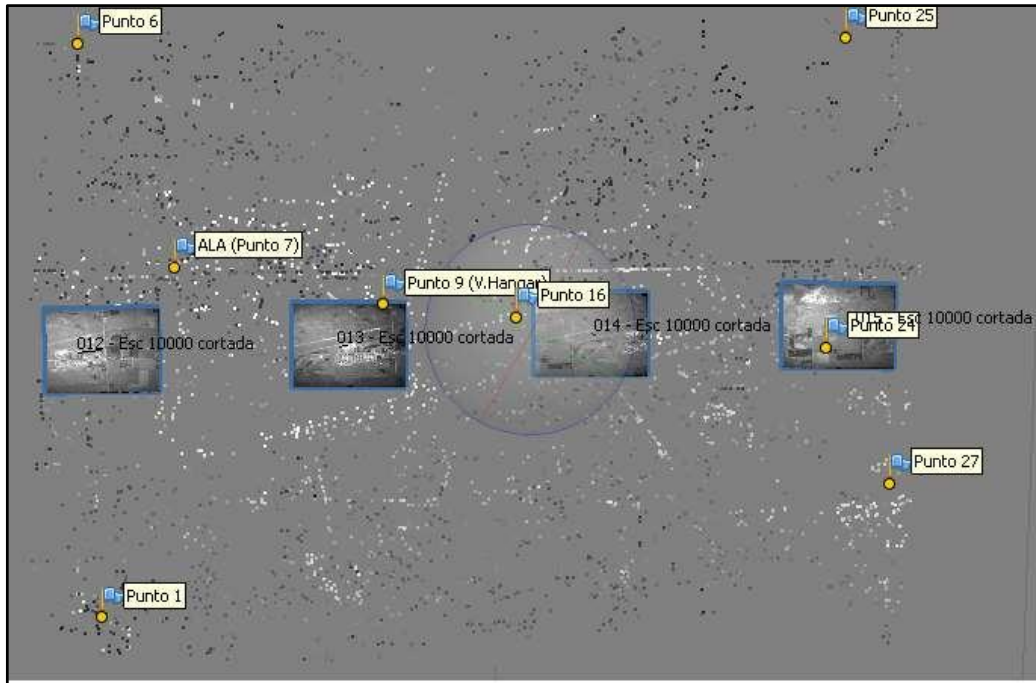
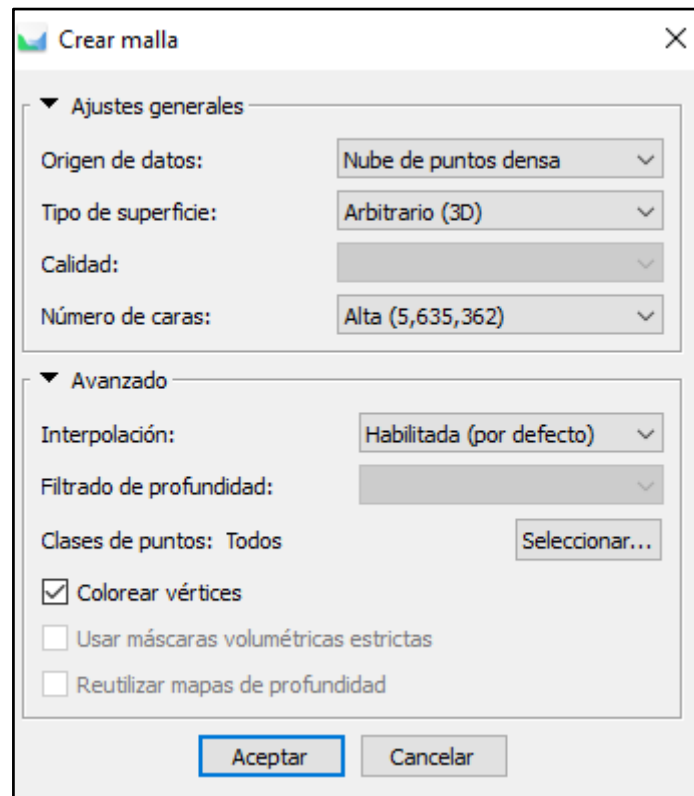


Imagen de la nube de puntos densa



Creación de la malla



“GENERACIÓN, CONTROL Y COMPARACIÓN DE
 MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES A PARTIR DE
 VUELO A ESCALA 1:10.000”

Anexo 6

PROCESAMIENTO BAPI-IGN				
G.K. F.6 POSGAR 2007 COTA REF. AL GEOIDE AR16				
PUNTO	NORTE	ESTE	COTA IGN()	DESCRIPCIÓN
BAPI	6087464,163	6472972,831	13,871	
1	6087465,155	6472971,988	13,887	PVD
2	6087493,568	6472945,579	13,837	VI
3	6087467,487	6472888,087	13,926	EM1
4	6087408,98	6472942,493	13,621	EM2
5	6087491,359	6472996,677	13,944	V5_3
6	6087503,607	6472985,34	14,087	V5_2
7	6087515,685	6472974,039	13,932	V5_1
8	6087714,119	6473189,013	14,54	V3_1
9	6087704,151	6473198,156	14,751	V3_2
10	6087694,226	6473207,238	14,543	V3_3
11	6087914,429	6473411,487	15,148	V1_1
12	6087909,591	6473416,098	15,231	V1_2
13	6087904,765	6473420,614	15,148	V1_3
14	6088353,932	6473347,777	15,203	ang
15	6088335,349	6473322,906	15,297	v_ang
16	6088334,099	6473326,077	15,227	v_ang
17	6088178,015	6473700,642	15,372	ce_2
18	6088193,086	6473686,894	15,039	ce_1

12 BIBLIOGRAFÍA

- “Introducción a la Fotogrametría y su evolución” - ANTONIO E. CHELI
- “Digital Terrain Modeling” - ZHILIN LI, QING ZHU, and CHRISTOPHER GOLD
- “Principles and Methodology” - ZHILIN LI, QING ZHU, and CHRISTOPHER GOLD
- “Utilización del Photomod Lite como herramienta de aprendizaje del método fotogramétrico” – GABRIELA ALVAREZ PARMA – Universidad Nacional de San Juan, Argentina.
- Apuntes de las cátedras: Fotogrametría 1, Fotogrametría 2 y Fotointerpretación - Facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.
- “Modelos Digitales del Terreno - Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales” - ANGEL M. FELICÍSIMO
- Manual de uso e instrucciones de los softwares Agisoft y Photomod obtenidos de las paginas oficiales de los mismos.
- Información brindada por la catedra de Trabajo Final

Videos e instructivos

- <https://www.youtube.com/watch?v=bVyE52R0Eeg&t=281s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=6HaQQNGi4FM>
- https://www.youtube.com/watch?v=Yj7e8_C2pew&list=PLndT74unfczkSzJZJ2dC2HXAFR5-8EUUB&index=4
- https://www.youtube.com/watch?v=GNamtsoDJ_8&t=90s