

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA.

**FOTOGRAMETÍA AÉREA PARA TOPOGRAFÍA EN TERRENO
IRREGULAR**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
PROYECTOS DE INGIENERÍA

Alumno:

Lukas Simón Manuel Vergara Chapa

Profesor Guía:

Santiago Geywitz Bernal

2019

RESUMEN EJECUTIVO

Keywords: Fotogrametría área – Topografía – software fotogramétrico

En este trabajo de título se estudia la aplicación de la fotogrametría área digital a través del uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) en levantamientos topográficos y modelamientos 3D para la medición de terrenos, elaboración de planos de un área mediante el software agisoft, se verán el objetivo general y los objetivos específicos que se desarrollarán paso a paso para cumplir el desarrollo de este proyecto.

Se presentará en este proyecto el diagnóstico y la situación base del proyecto donde se podrá ver los antecedentes del proyecto como es la topografía estándar y sus desventajas en su desarrollo y aplicación en el terreno, como al implementar la fotogrametría aérea se ahorra tiempo y recursos aumentando la eficiencia y la seguridad de los trabajadores.

Se verán las especificaciones técnicas de las herramientas que se ocupan a lo largo del proyecto sus ventajas y características principales tales como sus aspectos físicos peso y velocidad, además de los requerimientos para poder efectuar y aplicar estas herramientas las cuales son el dron y los softwares que se implementaran para el desarrollo del levantamiento fotogramétrico a lo largo de este proyecto. Y todas las características del lugar donde se dará uso de estas herramientas, dirección y características del terreno.

Se podrá ver detalladamente todas las normas y reglamentos correspondientes para poder hacer uso de una aeronave no tripulada en el estado chileno, además de una lista de las principales exigencias para el uso de drones según la DGAC, se darán a conocer las licencias y permisos correspondientes para cumplir con el reglamento de vuelo según la ley chilena, además de todas las normas para generar un plano topográfico según las normas de mensuras chilena.

ÍNDICE

Capítulo1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Objetivos Del Proyecto	3
1.1.2 Objetivo general	3
1.1.3 Objetivos específicos	3
1.2 Diagnóstico y metodología	4
1.2.1 Antecedentes del Proyecto	4
1.2.2 Situación base del proyecto	4
1.2.3 Impacto del proyecto	5
1.2.4 Metodología de trabajo	5
1.3.2 Software Fotogramétrico	8
1.3.3 Especificaciones del Terreno	9
1.4 Normativas y Reglamentos	10
1.4.1 Normas DGAC -DAN-151	10
1.4.2 Normativa Internacional de vuelo dron:	11
1.4.3 Sistema UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)	12
1.4.4 Normativas técnicas de Mensuras	13
1.4.4.1 Formatos de planos	13
1.4.4.3 Estándares de los dibujos en formato CAD	14

CAPÍTULO 2: INGENIERÍA DE DESAROLLO

2.	PRINCIPIOS DE LA FOTOGRAMETRÍA	16
2.1.	Método General De La Fotogrametría	16
2.1.1.	Toma de la fotografía	16
2.1.2.	Identificación de rayos homólogos	17
2.2.	PASOS PARA GENERAR UNA FOTOGRAMETRÍA	18
2.2.1.	Misión de vuelo	18
2.2.2.	Vuelo del dron	21
2.2.3.	Aterrizaje	22
2.3.	USO DEL SOFTWARE AGISOFT	23
2.3.1.	Añadir las fotografías al proyecto	23
2.3.2.	Alineación de fotos	24
2.3.3.	Primer filtrado de la nube de puntos	25
2.3.4.	Generación de nube de puntos densa	25
2.3.5.	Construir Malla	26
2.3.6.	Corrección de la Malla	26
2.3.7.	Construir textura	27
2.4.	GENERAR CURVAS DE NIVEL	28
2.4.1.	Exportar curvas de nivel	29
2.5.	PLANIMETRÍA	30
2.6.	COSTOS	31
2.6.1.	Tiempos de desarrollo	31
2.6.2.	Permisos de la universidad USM y DGAC	32
2.6.3.	Aportes Lukas Vergara	32
2.6.5.	Valorización	32
2.7	Conclusiones y recomendaciones	33

Índice de tablas

Tabla 1-1. Especificaciones técnicas dron	6
Tabla 1-2. Especificaciones técnicas dron	7
Tabla 1-3. Requerimientos Software Pix4d	8
Tabla 1-4. Requerimientos software Agisoft	8
Tabla 1-5. Restricciones de vuelo	11
Tabla 1-6. Sistema UTM	12
Tabla 1-7. Formatos de dibujo	13
Tabla 1-8. Escala del plano	13
Tabla 1-9. Layers	14
Tabla 2-1. Tiempo levantamiento	31
Tabla 2-2. Tiempo de procesamiento	31
Tabal 2-3. Valorización	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Especificaciones del terreno	9
Figura 2-1.	Fotogrametría	17
Figura 2-2.	Rayos homólogos	18
Figura 2-3.	Planes de misión	19
Figura 2-4.	Ruta de vuelo	20
Figura 2-5.	Misión de vuelo	20
Figura 2-6.	Misión uno	21
Figura 2-7.	Primera Calibración dron	22
Figura 2-8.	Segunda calibración dron	22
Figura 2-9.	Lista de verificación	23
Figura 2-10.	Fotos cargadas	24
Figura 2-11.	Alineación de fotos	26
Figura 2-12.	Nube de puntos densa	27
Figura 2-13.	Texturas	28
Figura 2-13.	Curvas de nivel	29
Figura 2-14.	Plano curvas de nivel	30
Figura 2-15.	Cotejo curvas de nivel	31

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

ART: Aerovane Remotamente Tripulada

UTM: Universal Transversa de Mercator

GPS Global: Positioning System.

CPU: Unidad Central de Procesamiento

MDS: Modelo Digital de Superficie

Pix: Pixel

UAV: Unmanned Aerial Vehicle

DGAC: Dirección General de Aeronáutica Civil

ISO: (International Standard Organización)

ART: Aerovane Remotamente Tripulada

UTM: Universal Transversa de Mercator

MDS: Modelo Digital de Superficie

B. SIMBOLOGÍA

cm: Centímetros

m²: Metros cuadrados

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el avance tecnológico está cambiando el mundo y por supuesto la creación, modernización e implementación de nuevas tecnologías están desarrollando nuevas técnicas y formas para la implementación de las técnicas topográficas. Por lo que a la fecha se han creado y perfeccionado técnicas permitiendo el desarrollo y la adaptación de nuevos implementos, métodos y herramientas, estas mejoras tecnológicas están dirigidas a disminuir los riesgos del operario y los trabajadores, optimizando los tiempos de trabajo y reduciendo los costos del proyecto. Con la topografía tradicional, el trabajar 100 hectáreas para generar un plano topográfico puede llevar de 3 a 4 semanas. No obstante, con estas nuevas tecnologías que se están implementando, en 45 minutos se están cubriendo esas 100 hectáreas, el trabajo de casi un mes. En menos de 24 horas se puede tener en un modelo digital completo del terreno. Todo esto ha permitido que en la actualidad la recolección e implementación de información en terreno sea cada vez más rápida, sencilla y segura, generando resultados exactos y de una mejor calidad, esto se debe a la recolección masiva de datos que nos permiten proporcionar la fácil interpretación de planos.

Cada técnica y aparato tiene sus limitaciones en el terreno y su uso es limitado según las condiciones físicas del terreno además de las necesidades del proyecto como el nivel de precisión exigido y los recursos con cuales cuenta el proyecto. Dadas estas dificultades se opta por vehículos aéreos no tripulados (drones) que nos permiten la toma de fotografías aéreas que sirven para la confección de modelos digitales del terreno además de planos cartográficos de estos, estas herramientas nos permiten implementar la fotogrametría, esto sumado al software de vuelo agisoft, nos entrega una herramienta que facilita el trabajo del topógrafo o el ingeniero.

Capítulo 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Objetivos Del Proyecto

A continuación, se presentarán los objetivos tanto generales como específicos que son fundamentales para llevar a cabo este proyecto.

1.1.2 Objetivo general

Aplicación de la fotogrametría área digital a través del uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) en levantamientos topográficos y modelamientos 3D para la medición de terrenos.

1.1.3 Objetivos específicos

Establecer el área donde se dará uso del dron para la definición de un plan de vuelo fotogramétrico.

Efectuar un vuelo sobre el terreno usando el dron para la creación de fotografías áreas georreferenciadas

Implementar Manual de uso junto con el software del dron y sus criterios de manejo y seguridad necesarios para la realización de un levantamiento fotogramétrico.

Generar los planos topográficos del terreno y comparar con planos existentes.

1.2 Diagnóstico y metodología

1.2.1 Antecedentes del Proyecto:

Hoy en día los procesos topográficos en el área de la construcción, minería o área agrícola se limitan al desarrollo de planos mediante métodos manuales de poca eficiencia, como es uso de la estación total permite ejecutar mediciones en el área, en la cual el topógrafo debe ir observando punto por punto por esto las jornadas de elaboración de los levantamientos son extensas, se solicitan varias personas para su desarrollo ya que el topógrafo debe ir observando punto por punto, recorriendo el terreno a pie desde la cota más alta a la más baja por este procedimiento se pueden presentar escenarios donde el acceso de los topógrafos a los sitios donde se realizará la medición es difícil y puede conjeturar un peligro, obteniendo solamente unas pocas coordenadas por jornada además de La elaboración de estudios preliminares, trazado de caminos, cálculos volumétricos, definición de curvas de nivel, esto genera un problema, ya que la importancia de los datos recolectados a partir de este método son fundamentales para el proyecto sobre todo si se cuenta con poco tiempo.

1.2.2 Situación base del proyecto

Según las características de cada proyecto se muestran diferentes restricciones de tiempo y recursos y la elección del equipo y metodología de trabajo son fundamentales en el éxito de este.

Implementado la fotogrametría mediante dron los procesos topográficos son mucho más rápidos y seguros ya que no hay necesidad de tomar manualmente punto por punto las cotas de nivel aumentando la eficiencia, ya que mediante el vuelo del dron se pueden conseguir millones de puntos con color, de esta manera la superficie queda mejor representada y es posible obtener un modelo 3D del terreno, gracias a esto se consigue reducir el tiempo de desarrollo, por lo tanto se disminuyen los costos de trabajo y el tiempo de entrega de este trabajo de reduce a horas o días.

En el área de la topografía el procedimiento para el levantamiento fotogramétrico es algo que lleva poco tiempo en el mercado y que su desarrollo y aplicación avanza a

grandes pasos todo el tiempo. Este proceso permite llevar a cabo la elaboración y procesamiento de datos rápidamente que logran examinar la superficie del terreno por medio de fotografías aéreas generadas con un dron.

1.2.3 Impacto del proyecto:

El impacto que genera este proyecto es sumamente favorable al tiempo de desarrollo, los costos y la calidad del proyecto, facilitando el uso de las herramientas fotogramétricas y mejorando la seguridad en el área de trabajo de la topografía

1.2.4 Metodología de trabajo:


En este proyecto se usará la metodología de ingeniería inversa el cual es el proceso llevado a cabo con el objetivo de obtener información y un diseño a partir de la recopilación de datos para determinar la planimetría final mediante las fotografías generadas con vehículos aéreos no tripulados (dron). Esta metodología alcanzará desde la etapa de planeación del vuelo fotogramétrico hasta la etapa de exposición de resultados, destacando cada etapa con una secuencia ordenada.

1.3 Especificaciones Técnicas

Durante el desarrollo del proyecto será necesario el uso de una aeronave no tripulada por este motivo se opta por la siguiente:


El Phantom 3 Standard es un cuadricóptero fácil de volar para fotografía aérea y cine. Incluye una cámara de alta calidad, un controlador remoto personalizado y una batería de vuelo inteligente, y es compatible con la aplicación pix4d para dispositivos móviles.

Tabla 1.1 Especificaciones técnicas dron

		
AERONAVE	Peso(incluyendo batería y hélices)	1.280g
	Tamaño diagonal (incluyendo hélices)	590 mm
	Max ascenso velocidad	5 m/s
	Max descenso velocidad	3 m/s
	Pase el ratón precisión	Vertical: +/- 0.1 m (cuando la visión de posicionamiento esta activo) Horizontal: +/- 1.5 m
	Máxima velocidad	16 m / s (modo ATT , sin viento)
	Servicio Max techo por encima del nivel del mar	6000 m (límite de altitud del programa: 120 m por encima del punto de despegue)
	Temperatura de funcionamiento	0 ° C a 40 ° C
	Modo GPS	GPS / GLONASS

Fuente: página oficial Phantom especificaciones técnicas

Tabla 1.2. Especificaciones técnicas dron

		
GIMBAL	Rango controlable	Pitch -90° a $+30^{\circ}$
	Estabilización	3 ejes (cabeceo. Balanceo. guiñada)
Control remoto	Frecuencia de operación	2.400 GHz-2.483 GHz
	Distancia máxima	Hasta 5 km o 3.1 millas (sin obstáculos, sin interferencia) cuando FCC obediente hasta 3.5 kilómetros o 2.1 millas (despejadas y libres de la interferencia) cuando CE compatible
	Salida de video puerto	USB
	Temperatura de funcionamiento	0° C- 40° C
	Batería	6000 mAh Lipo 2S
	Titular de dispositivos móviles	Para tableta o teléfono celular
	Sensibilidad del receptor (1% PER)	-101 DBm +/- 2 dBm
	Trasmisor de potencia (pire)	FCC: 20 dBm CE: 16 dBm
	Tensión de trabajo	1.2 A @ 7.4 V

Fuente: página oficial Phantom especificaciones técnicas

1.3.2 Software Fotogramétrico

El software fotogramétrico es un paquete especializado en el procesamiento de imágenes, en el caso de las ARTs, la mayor parte cuentan con paquetes de programas que permiten realizar las orientaciones de la imagen prácticamente de forma automática. A pesar de existir diferentes tipos de programas fotogramétricos, los requerimientos del software que se ocuparan en este proyecto son pix4d y agisoft a continuación sus requerimientos

Tabla 1.3. requerimientos Software Pix4d

componentes	Requerimientos
Procesador (CPU)	Recomendado Quadcore o Intel Core i7
Tarjeta gráfica (GPU)	compatible con 2GB RAM mínimo
Disco Duro (HD)	Recomendado sobre 500GB
Sistema Operativa	Windows 7,8,10 (64 bits), Mac OS

Fuente: Tabla 3. requerimientos Software Pix4d

Tabla 1.4 requerimientos para uso del programa

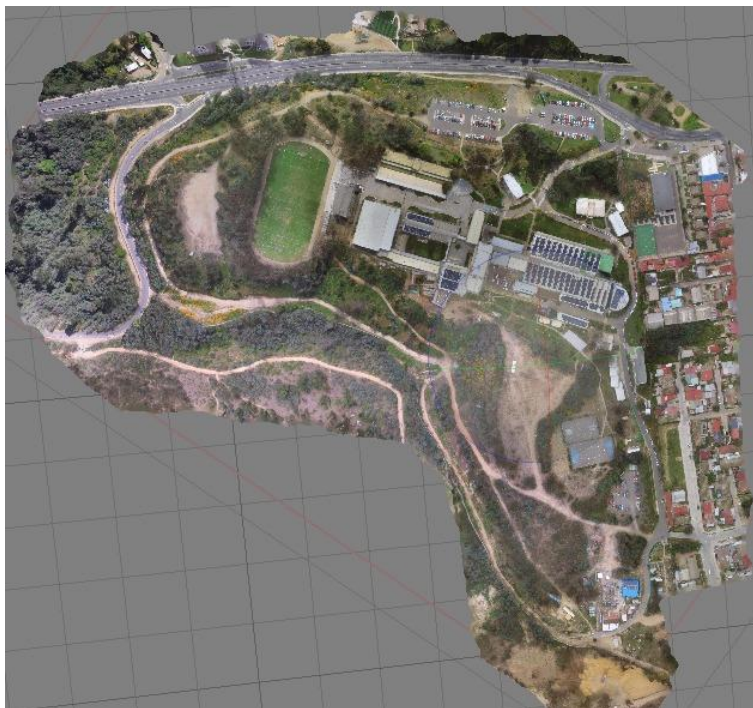
componentes	Requerimientos
Procesador (CPU)	Recomendado Intel Core i7
Tarjeta gráfica (GPU)	Compatible con 8GB RAM mínimo
Disco Duro (HD)	Recomendado sobre 500GB
Sistema Operativo	Windows XP o posterior (64 bits), Mac OS

Fuente: características de agisoft

1.3.3 Especificaciones del Terreno

El área donde se va a desarrollar el proyecto está ubicada en Viña del Mar V región, en la universidad USM JMC, Cuenta con una superficie mayor a 4000m cuadrados y la mayor parte del área está cubierta por los edificios de la sede, árboles de gran altura y materia vegetal.

figura 1.1 Fotogrametría del área



Fuente: propia terreno USM JMC

1.4 Normativas y Reglamentos

1.4.1 Normas DGAC -DAN-151

Entre las principales exigencias para el uso de drones según la DGAC están las siguientes prohibiciones:

- Poner en riesgo la vida e integridad de las personas.
- Poner en riesgo la propiedad pública o privada.
- Afectar derechos de terceros (privacidad e intimidad).
- Operar en forma descuidada o temeraria.
- Operar a menos de 2km del umbral de una pista o 1km a los lados.
- Operar a más de 400 pies (130 m) sobre el terreno.
- Operar en zonas prohibidas o peligrosas.
- Operar sin autorización especial en una zona restringida.
- Operar sin el conocimiento de los notams vigentes.
- Operar más de una aeronave simultáneamente.
- Operar bajo la influencia de drogas o alcohol.
- Operar donde se combate un incendio con aeronaves tripuladas.
- Operar de noche sin autorización especial DGAC.
- Ocupar un aeronave para lanzamiento de carga sin autorización especial DGAC.

1.4.2 Normativa Internacional de vuelo dron:

Por todo el avance tecnológico en el área de los drones se ha creado una normativa internacional que sirve de base para todos los países incluido Chile, con estas bases se fijan ciertas restricciones a los usuarios de las aeronaves, estas restricciones varían según los parámetros en los cuales se está operando la aeronave.

Tabla 1.5. Restricciones de vuelo

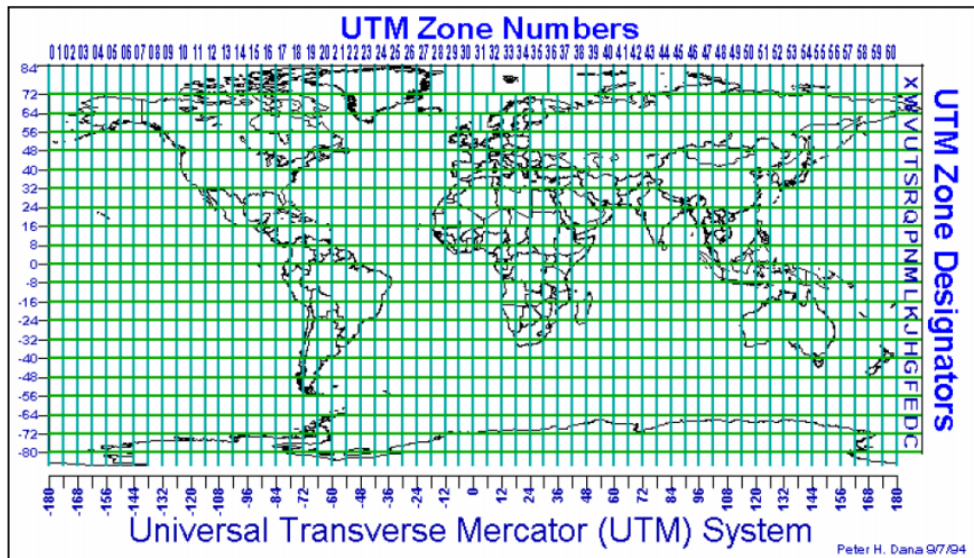
Parámetro	Restricciones
Restricciones de vuelo	Ninguna aeronave volará sobre un territorio sin contar con una autorización especial.
	En todo momento se debe garantizar la seguridad de la operación.
	El piloto al mando se responsabiliza de que el vuelo se realice según la norma.
	Los pilotos tienen que estar en el mismo lugar donde se efectúa el vuelo.
Documentos exigidos para las aeronaves	Toda aeronave debe contar con un certificado de aerovegabilidad y validado por el país.
	Certificado de matrícula.
	Licencia de radio de la aeronave (si la aeronave lo tiene).
Licencia para el personal	Los pilotos remotos deben estar capacitados, además deben poseer la licencia apropiada y operacional del sistema de aviación civil.
	El piloto remoto es responsable de detectar e evitar colisiones y peligros.
	Los certificados y licencias son válidos si cumplen con las normas establecidas.
	Los pilotos tienen la obligación de observar, interpretar y obedecer la serie de señales visuales dirigidas a llamar su atención o a transmitirla.
Transito aéreo	Se debe realizar solicitud previa al vuelo
	Se debe promover un flujo de tránsito aéreo seguro y ordenado
Equipo	Todas las RPA deben cumplir con los requisitos mínimos para el espacio aéreo en el que operen

Fuente: normativa internacional de vuelo de dron

1.4.3 Sistema UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)

Nuestro país ha adoptado por el Sistema UTM Para el levantamiento sistemático de la Cartografía Nacional en sus diferentes escalas, esto se aplica a los levantamientos topográficos de tipo planimétricos de predios urbanos y rurales, cuya georreferenciación es obligada quedando vinculado finalmente a coordenadas UTM. todos los planos deben graficar adecuadamente la cuadrícula UTM, para aquellos predios con deslindes imaginarios se deberán identificar expresamente los vértices que los generan, mediante un cuadro que contenga sus valores coordenados UTM (Norte y Este), el que se ubicará en el costado derecho del plano.

Tabla 1.6. Tabla de la UTM



Fuente: Normas de Mensura Chilena

1.4.4 Normativas técnicas de Mensuras

1.4.4.1 Formatos de planos

Estos formatos deberán respetar la normativa internacional ISO (International Standard Organización) de formatos A0, A1, A2, A3 y A4, cuyas dimensiones (largo y ancho) son las siguientes:

Tabla 1.7. Formatos de dibujo

Formato	tamaño
A0	118,9 x 84,1 cm
A1	84,1 x 59,4 cm
A2	59,4 x 42,0 cm

Fuente: norma chilena de topografía

Tabla 1.9. Escala del plano

URBANO		RURAL	
AREA (en m ²)	ESCALA	AREA (en ha)	ESCALA
Hasta 400	1:50	Hasta 0,5	1:500
	1:100	0,5 a 2	1:1.000
	1:200	2 a 5	1:2.000
	1:250		1:2.000
400 a 2.000	1:500	5 a 10	1:2.500
2.000 a 10.000	1:1.000		1:5.000
10.000 a 50.000	1:2.000 1:2.500 1:5.000	10 a 60	1:5.000
		60 a 100	1:10.000
		100 a 200	1:10.000
			1:20.000
		200 o más	1:20.000
			1:250.000
		1:50.000	
		1:100.000	
		1:250.000	

Fuente: Normas de Mensura Chilena

1.4.4.3 Estándares de los dibujos en formato CAD

Cualquiera sea el software licenciado utilizado en la creación de planos se deberá tener la precaución que la metodología y procedimiento definidos, genere los siguientes layers o capas de información por cada uno de los elementos del plano señalados anteriormente.

Tabla 1.10. Layers

CUADRO RESUMEN DE LAYERS			
LAYER	COLOR	Nº	GROSOR
Línea de Edificación	Cyan	4	0.3
Solera	Verde	3	0.15
Cercos (muros, pirca, pand)	Rojo	2	0.2
Construcciones	Plomo	8	0.1-0.2-0.3
Hidrografía	Azul	5	0.2 – 0.3
Curva nivel índice		20	0.15 a 0.3
Curva de nivel secundaria		40	0.1
Grilla	Plomo	8	0.1
Textos	Blanco	7	---
1 Polígono	Blanco	7	0.3

Fuente: Normas de Mensura Chilena

CAPÍTULO 2: INGENIERÍA DE DESARROLLO

2 PRINCIPIOS DE LA FOTOGRAMETRÍA

Según su etimología la palabra fotogrametría deriva de las palabras foto del griego, luz, grama y metría de medida, por cómo se puede resumir de una forma simple, se trata de plasmar la realidad proporcionada y a escala mediante imágenes.

La técnica fotográfica es capaz de crear objetos 3D en 2 dimensiones, lo que se consigue con la fotogrametría es revertir el proceso y obtenerla información gráfica de objetos 3D formados en fotografías.

Lo que consigue la fotogrametría mediante una fotografía desde al menos dos perspectivas distintas y a través de un "cerebro" como el software agisoft es regenerar el modelo 3D original.

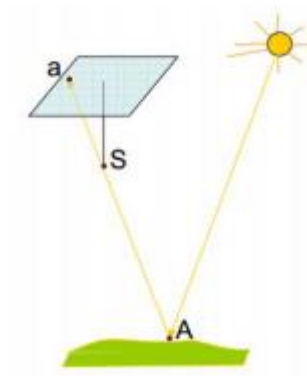
2.1 Método General De La Fotogrametría

Este método se basa en el concepto de haz perspectivo (formación y reconstrucción), este es un conjunto de semirrectas que unen la superficie de un objeto tridimensional con un punto de vista. El Método General de la Fotogrametría se articula en dos pasos:

2.1.1 Toma de la fotografía

El haz perspectivo queda registrado en la imagen fotográfica, en este proceso, los rayos de luz procedentes del objeto (A) atraviesan la lente de la cámara (punto de vista, S) y forma una imagen sobre la película en el plano focal (a). conocida la posición de A, conocida la posición de S y conocida la geometría y orientación de la cámara se puede calcular la posición del punto imagen (a) sobre la misma.

Figura 2-1 fotogrametría

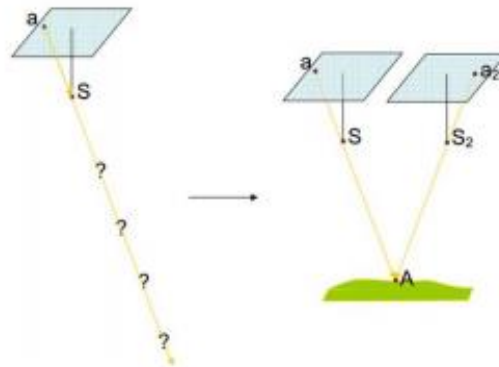


Fuente: cartografía.cl

2.1.2 Identificación de rayos homólogos

Las orientaciones internas y externas abren el camino a la reconstrucción del objeto ya que a partir de este puede situarse la cámara en el espacio tridimensional en el momento en que se tomó la imagen. De esta manera, el vector Sa , que puede reconstruirse tras la orientación interna, puede situarse en el espacio en relación con el objeto, se emplea un segundo punto, homólogo del primero, situado sobre una segunda imagen. Si se lleva a efecto la orientación interna y la orientación externa de esta imagen, se verificará que el punto objeto A se encuentra simultáneamente sobre los dos vectores los dos vectores aS y a_2S_2 .

Figura 2-2 rayos homólogos



Fuente: cartografia.cl

2.2 PASOS PARA GENERAR UNA FOTOGRAMETRÍA

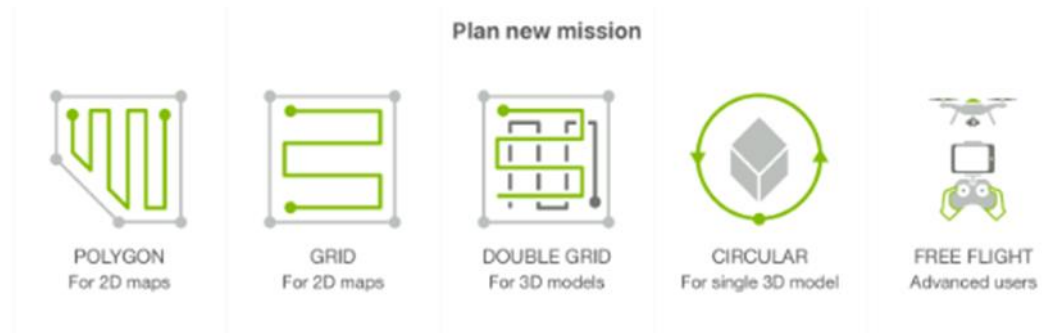
La problemática que se quiere resolver a través de este proyecto es el levantamiento topográfico mediante la fotogrametría en la sede USM de Viña del Mar, siguiendo como objetivo obtener las líneas de nivel de todo el terreno. Para ello se busca generar un modelado 3D del terreno y posteriormente la ortofotografía. Para poder desarrollar este proceso se tienen que seguir estos pasos:

2.2.1 Misión de vuelo

Como primer paso para realizar la fotogrametría Como en cualquier trabajo topográfico, es necesario que primero se haga una revisión de la zona de estudio por lo que es necesario recorrer la sede USM VIÑA DEL MAR para verificar si en el terreno es viable para efectuar el vuelo y determinar la altura idónea en la que se tomaran las fotografías con el dron, ya que en el lugar se encuentran arboles de gran altura.

En segundo lugar, comenzamos por la planificación del vuelo fotogramétrico. Para ello disponemos de la aplicación pix4d que nos facilitará el vuelo y la toma de fotografías, la cual se tiene que iniciar desde un dispositivo móvil y seleccionar el tipo de dron que se empleará en este caso es un dji phantom 3, una vez configurado se dispone a seleccionar el tipo de misión que se utilizará.

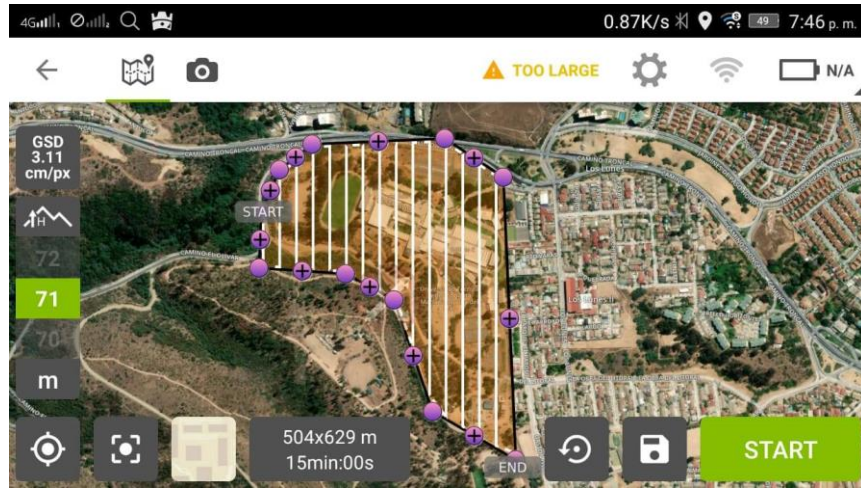
Figura 2-3 planes de misión



Fuente: manual pix4d

Dada las dimensiones del terreno de la universidad se opta por un plan de misión en POLYGON, ya seleccionada el área del terreno determinamos mediante GPS la trayectoria de vuelo y su duración según la cantidad de fotografías que se recolectarán, dentro de esta opción se puede configurar la altura de vuelo, que en este caso serán 71 metros de altura desde el punto de partida, ya configurados todos los parámetros se nombra y se guarda la misión de vuelo para su uso prontamente con el dron.

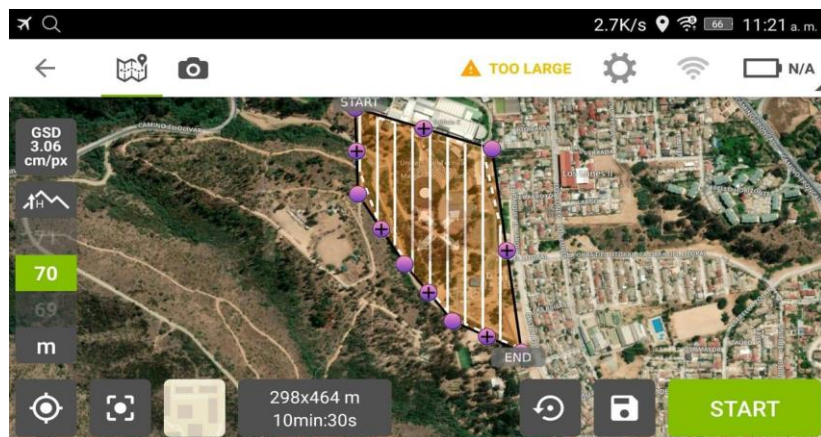
Figura 2-4 ruta de vuelo



Fuente : propia

Por las dimensiones del terreno de la universidad y motivos de seguridad se opta por crear tres misiones de vuelo para cubrir la superficie total y tener visión de la aeronave en todo momento, Dependiendo de cada misión la altura de vuelo varía.

Figura 2-5 misión uno



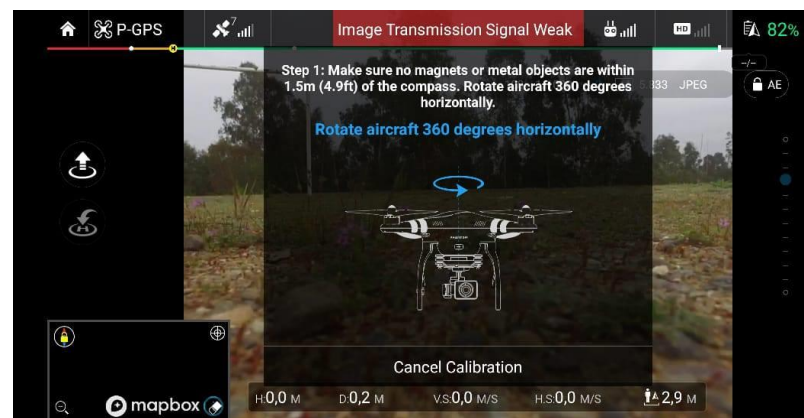
Fuente: propia

2.2.2 Vuelo del dron

Una vez programadas la misión de vuelo que se realizará en el terreno se procede a ir al área donde se buscará un sector adecuado para iniciar el despegue de la aeronave y tener en todo momento visión de esta.

Lo primero es colocar el dron en un área despejada donde este despegará y aterrizará, ya posicionado se enciende el dron y su controlador, una vez ubicado en el lugar indicado se procede a calibrar los sensores del dron para que este reconozca automáticamente el punto de partida de la misión de vuelo, para esto una vez encendido manualmente se gira verticalmente alrededor de la persona.

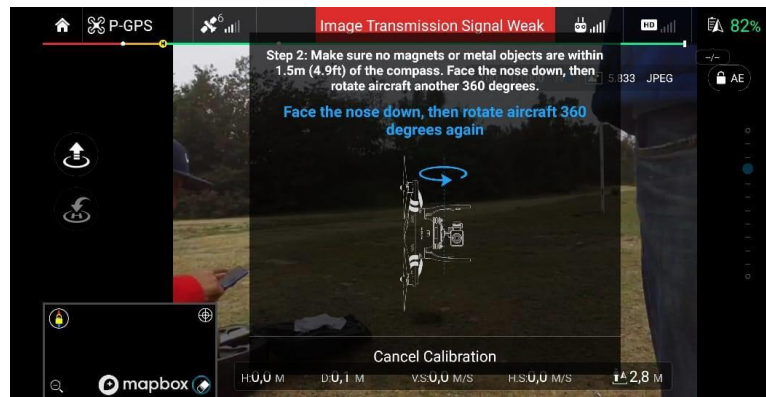
Figura 2-6 primera calibración dron



Fuente: manual pix4d

Y se repite el mismo proceso horizontalmente.

Figura 2-7 segunda calibración dron

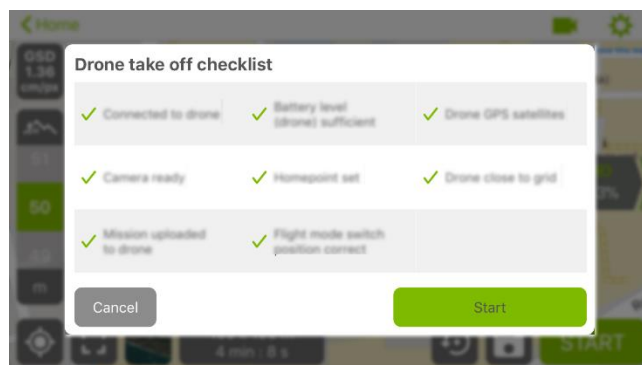


Fuente : manual pix4d

2.2.3. Aterrizaje

Ya configurado el punto de partida del dron se conecta el dispositivo móvil vía wifi a él dron y se da inicio a la aplicación Pix4Dcapture, se elige la misión correspondiente al área y se Completa la lista de verificación, luego se da inicio al vuelo presionando START durante 3 segundos hasta que los motores comiencen a girar.

Figura 2-8 lista de verificación



Fuente: manual pix4d

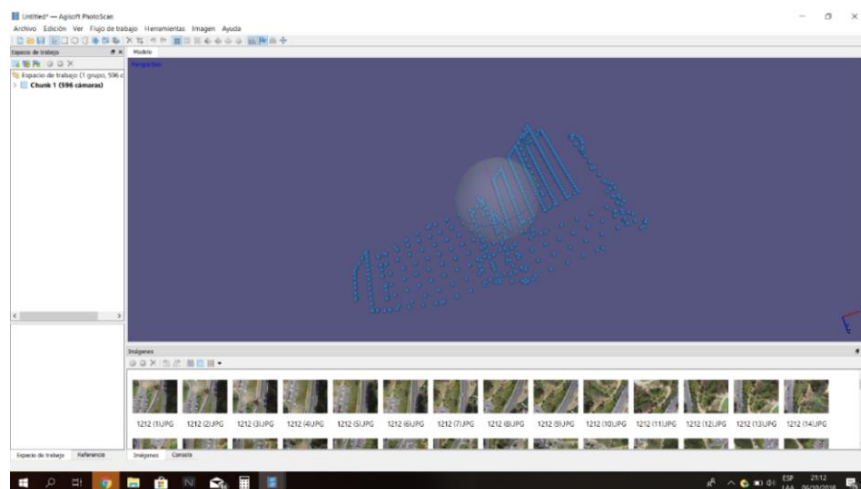
Una vez el dron este en el aire se tiene que mantener siempre a mano el controlador en caso de que esté presente alguna falla poder aterrizarlo manualmente, se tiene que mantener contacto visual con el dron en todo momento, cuando la misión termine el dron regresará automáticamente y aterrizará en su posición inicial. Ya terminado el vuelo del dron se extraen las imágenes al pc correspondiente.

2.3. USO DEL SOFTWARE AGISOFT

2.3.1 Añadir las fotografías al proyecto

Para poder dar uso al software se deben añadir las fotografías cargándolas desde el menú “Flujo de trabajo” y seleccionamos “Agregar fotos”. Ya cargadas borraremos de la carpeta las fotografías que no influyan a la nube de puntos, es decir aquellas fotos que no sean del área que queremos abarcar o que no aporten detalles estructurales y de terreno. El dron fue programado para que saque fotografías cada segundo, con lo que al terminar todos los vuelos se cargaron un total de 570 fotos.

Figura 2-9 fotos cargadas

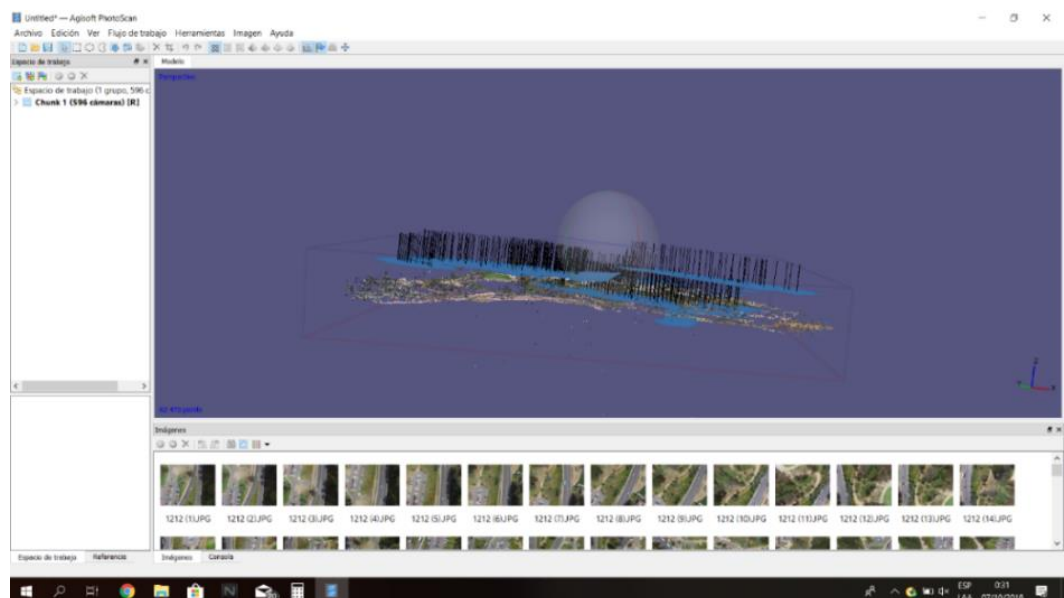


Fuente: propia

2.3.2 Alineación de fotos

Cargadas las fotos al proyecto, el siguiente paso es alinear las fotografías y crear la primera nube de puntos dispersa. Este paso es de mucha importancia ya que será la base para la generación de los modelos siguientes, ya que lo que se hace es evaluar y posicionar cada fotografía desde donde fue tomada. Se Continuará el proceso de “Flujo de trabajo” y entraremos a “Alinear fotos”. Dentro de este menú se encuentran las opciones generales, aquí se puede elegir la “exactitud” del alineado de las fotografías. En este caso se seleccionó “Alto”. El siguiente parámetro por establecer es el “Preselección de Pareja”. En los casos como éste en los que las imágenes están georreferenciadas se optará por la opción “Referencia”. Con esto se emplearán los datos a la hora de juntar las imágenes, lo que mejora formidablemente los efectos en la fotogrametría aérea. Ya que ayuda a concordar una serie de parámetros en el alineado de las fotografías.

Figura 2-10 alineación de fotos



Fuente: propia

2.3.3. Primer filtrado de la nube de puntos

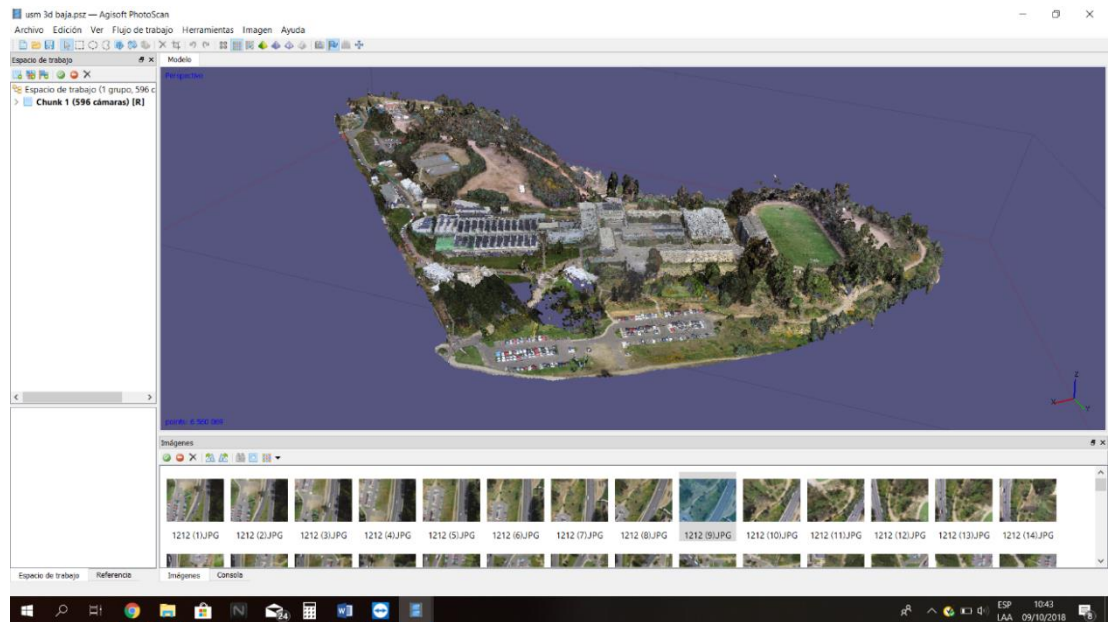
Con el objetivo de optimar los siguientes procesos, en este punto es importante eliminar aquellos puntos que se ven claramente que no son parte del modelo final que se busca. Se eliminarán los puntos que están por debajo y muy encima del modelo. Esto se realiza mediante la opción de recortar las zonas que no pertenecen al terreno de esta forma acortaremos los tiempos de procesado.

2.3.4 Generación de nube de puntos densa

A partir de la primera nube de puntos dispersa obtenida durante el alineamiento de fotos se crea una nueva nube de puntos de mucha más densidad. Se continua con “Flujo de trabajo” y se selecciona “construir nube densa”. En el menú general se elige la “Calidad” del proceso. Se pueden elegir cinco opciones “mínimo”, “bajo”, “medio”, “alto” y “super alto” En este caso se eligió “Alto” ya que con este proceso se exige mucho menos al computador y se acortan los tiempos de procesado, en comparación con la opción “super alto”. Luego al final, en opciones avanzadas se define el parámetro “filtrado de profundidad”, que define el modo de obtener la profundidad del modelo.

Ya definidas todas las opciones se procede a generar la nube de puntos densa, este proceso dura entre una a cuatro horas, en este caso tomo 6 horas por las dimensiones del terreno.

Figura 2-11 nube de puntos densa



Fuente: propia

2.3.5 Construir Malla

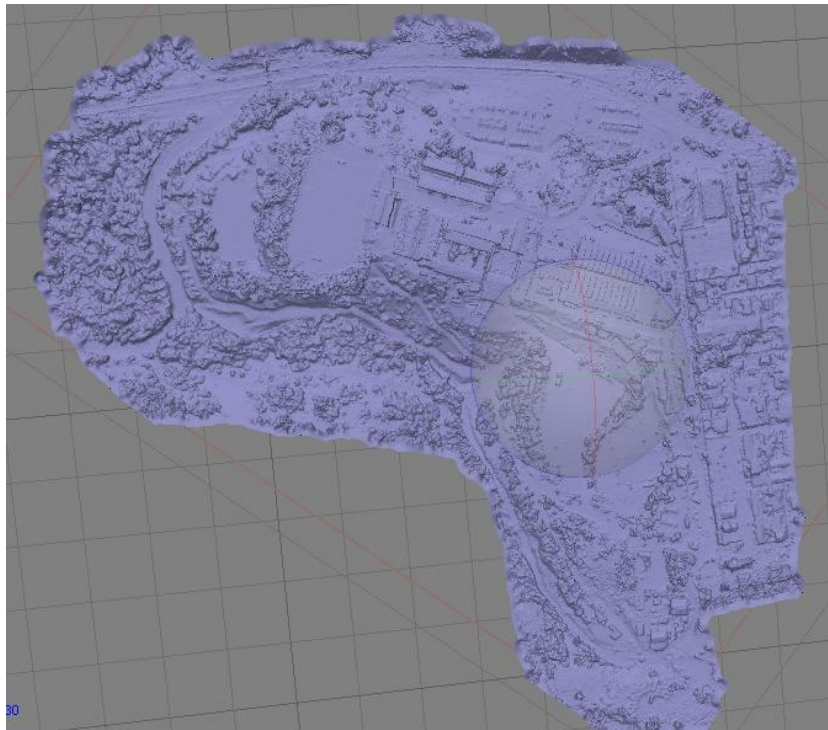
Para construir la Malla del modelo nos vamos a “Flujo de Trabajo” y entramos en “Construir Malla”. En las opciones seleccionamos “Tipo de Superficie” elegimos “campo de altura”. Esta opción es la recomendada para superficies de terrenos y fotogrametría aérea.

2.3.6. Corrección de la Malla

En algunos casos la malla presentará incoherencias por puntos mal catalogados y no reconocidos. Para ello a partir de la nube de puntos creada en primera instancia podremos seleccionar los puntos con anomalías en forma de conos en la malla. Con la opción de zoom localizaremos y podremos eliminar los puntos que generan esas

malformaciones y limpiar nuestra nube de puntos. Una vez finalizado todo volveremos a crear la malla con “Construir Malla”.

Figura 2-12. Malla

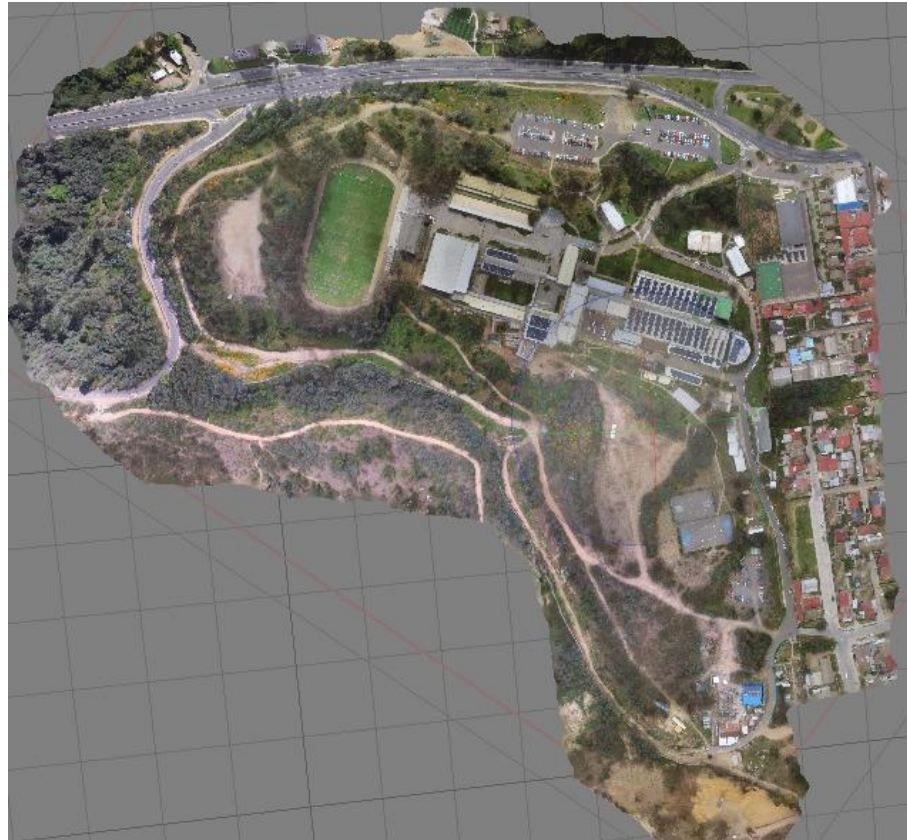


Fuente: propia

2.3.6. Construir textura:

La aplicación de textura le dará a los modelos generados un aspecto más real al visualizarse. Esta es una buena forma de testear la claridad del modelo al poder localizar árboles o elementos que no han sido correctamente modelados. Desde el menú “flujo de trabajo” accederemos a “construir textura” y en opciones generales “modo de mapeo” elegiremos “Orthophoto”. Luego el resto de los parámetros se dejan por defecto.

Figura 2-13. Texturas

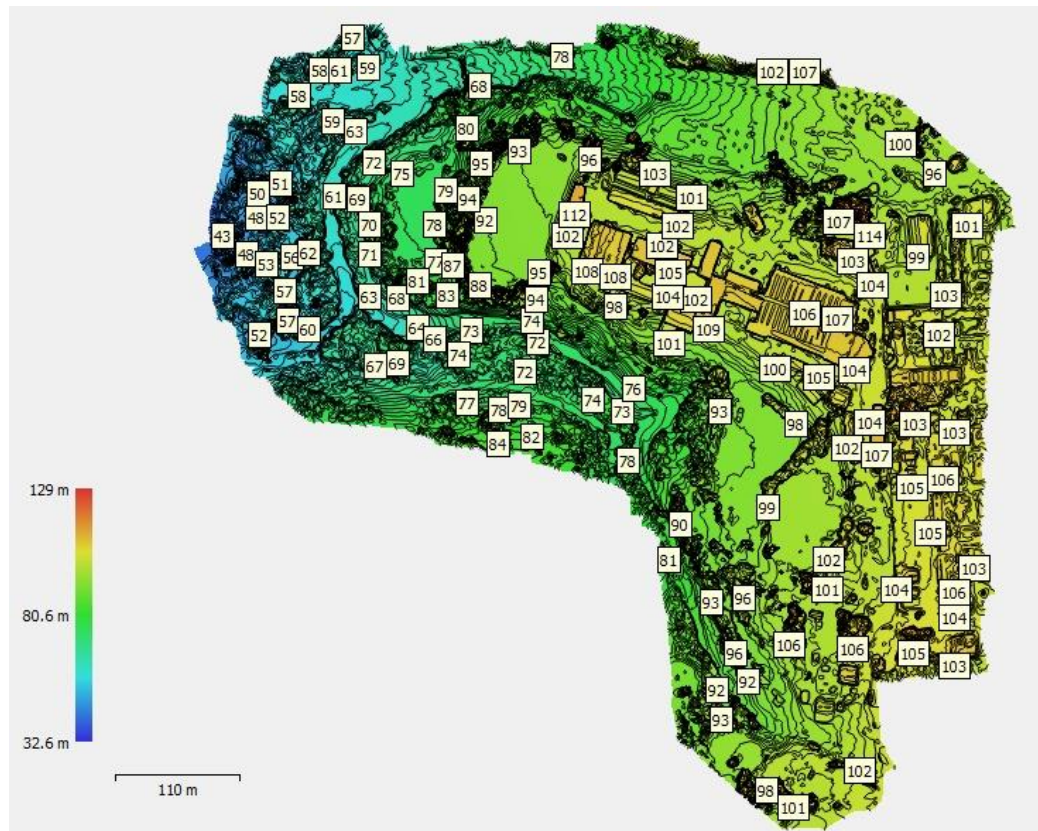


Fuente: propia

2.4. GENERAR CURVAS DE NIVEL

Ya completadas todas las etapas anteriores, se pueden generar las curvas de nivel del terreno, de esta manera se podrá ver claramente todas las diferencias de nivel que existen. Para este proceso desde el menú se marca “herramientas” y se elige la opción “generar curvas de nivel”, ya en opciones específicas tendremos los parámetros de “altitud mínima” y “altitud máxima” se mantienen tal y como las genero el software, en la opción “equidistancia” se coloca una distancia de “0.4” y se da inicio, ya terminado el proceso automáticamente se aplican las curvas de nivel en el modelo.

Figura 2-13 curvas de nivel



Fuente : propia

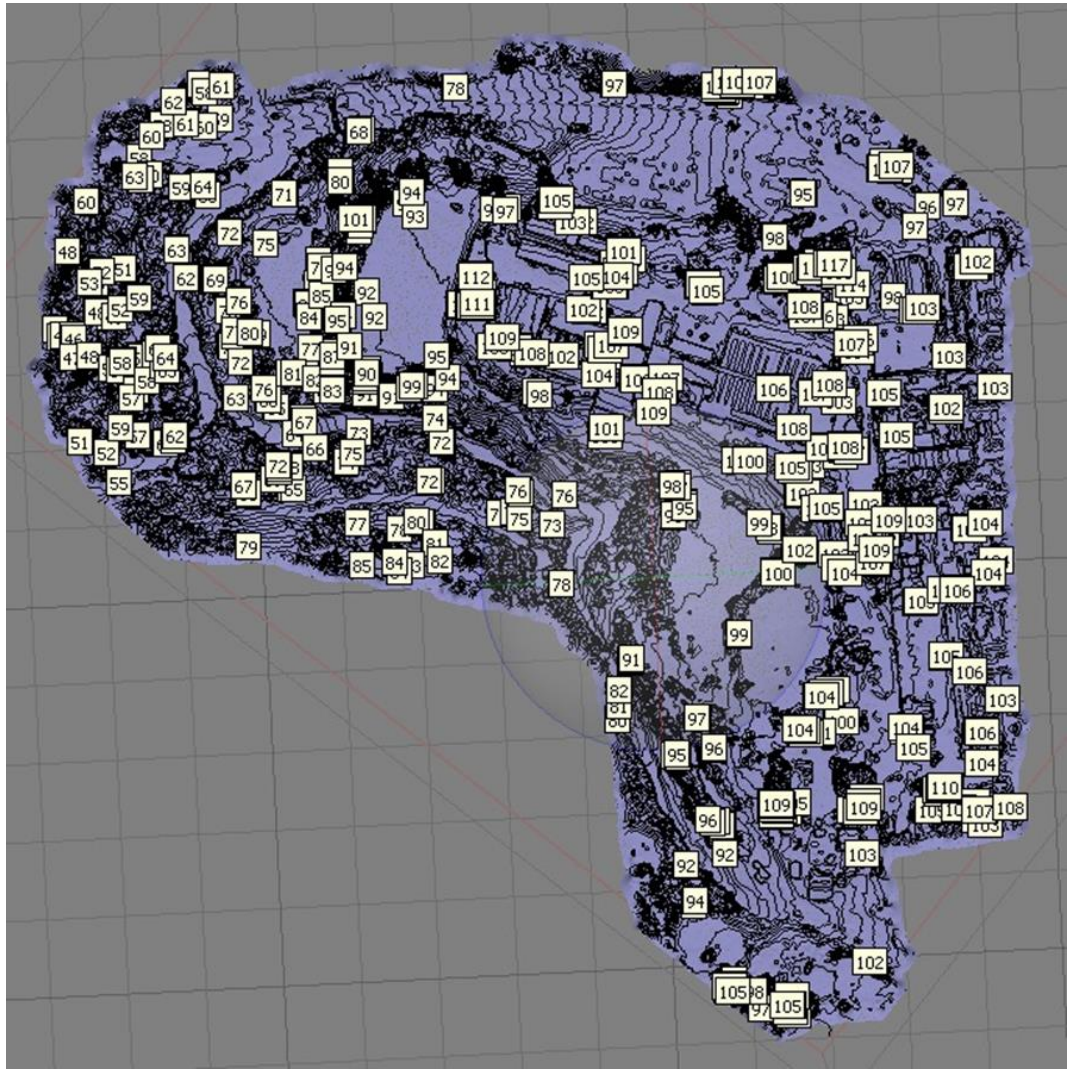
2.4.1. Exportar curvas de nivel

Ya completas las curvas de nivel para tener una vista de los datos recolectados más limpia, se tiene la opción de exportar las líneas de nivel a otro software para poder editarlas y traspasarla a planos. Para esto se desde el menú se marca “herramientas” y se elige la opción “exportar” y “exportar curvas de nivel”, ya seleccionada nos da la opción de guardado. Ya guardadas las curvas de nivel se pueden abrir desde el software AUTO CAD para editarlas o generar planos.

2.5 PLANIMETRÍA

Ya terminado el proceso de generación de curvas de nivel el software entrega un plano completo y detallado con todos los relieves del terreno además de cada altura del terreno según la posición de cada curva de nivel, esto permite contemplar y diferenciar en sumo detalle las zonas con más pendientes y las áreas donde no hay variación de alturas en varios metros cuadrados.

Figura 2-14 plano curvas de nivel



Fuente: propia

2.6 ANÁLISIS Y COTEJO DE PLANOS TOPOGRÁFICOS

En las siguientes imágenes se puede apreciar a la izquierda el plano actual de la universidad y a la derecha el plano que se creó fotogramétricamente en este proyecto, se pueden apreciar bastantes diferencias en las curvas de nivel ya que en los métodos convencionales las líneas no son totalmente exactas ya que son estimaciones de un punto a otro, por otro lado el plano fotogramétrico tiene un margen de error mínimo mostrando hasta los mínimos detalles como las irregularidades de las curvas de nivel, En el área de la cancha principal en el plano original no se ve ninguna variación de nivel pero en el plano fotogramétrico se puede ver una diferencia de un metro entre dos puntos de la cancha los cuales son las cota “93” y la cota “92” este nivel de detalle se logra gracias a el procesamiento de la nube de puntos, los planos son sumamente similares ya que se trata del mismo terreno pero al momento de exactitud el plano fotogramétrico es muchas más realista ya que muestra desde las pequeñas variaciones en el terreno hasta los detalles de los paneles solares de los techos en las estructuras.

Figura 2-15 cotejo curvas de nivel



Fuente: propia

2.6. COSTOS

A continuación, se verá la cotización del servicio de “Aerofotogrametría USM JMC”, en la localidad de Viña del Mar, los siguientes valores están basados de acuerdo con las dimensiones del terreno, considerando el valor actual del mercado. A lo largo de la cotización de este proyecto se contará con la mano de obra calificada, para la correcta ejecución de los servicios. El proyecto considera un Profesional calificado para la ejecución del levantamiento digital y procesamiento de imagen.

2.6.1. Tiempos de desarrollo

I. Levantamiento USM VIÑA DEL MAR.

Tabla 2-1 tiempo levantamiento

Tareas	tiempo
Planificación Vuelo en USM VIÑA DEL MAR	1 día
verificación del terreno. Previo a creación de Puntos de referencia.	1 día
Toma de Fotografías y videos, dependiendo de la duración de la batería.	1 día

II. Procesamiento de la Información

Tabla 2-2 tiempo de procesamiento

Tareas	tiempo
Generación Ortomosaicos en archivo	3 días
Generación de curvas de nivel del terreno.	2 días
Entrega final con los archivos correspondientes	1 día

2.6.2. Permisos de la universidad USM y DGAC

La universidad USM deberá conceder permiso para realizar los vuelos al operador del dron durante todo el proceso de aerofotogrametría al interior de la sede Viña del Mar cuando se estime conveniente dentro de los parámetros de seguridad de la DGAC.

2.6.3. Aportes de Lukas Vergara

- Mano de obra especializada.
- Dron DJI Phantom 3.
- Estación de trabajo (Ordenador 6 núcleos y 2 pantallas)

2.6.4. Valorización

En la siguiente tabla se muestran los valores estimados según las cotizaciones que se pidieron a la empresa Habitissimo para la realización de este proyecto, sus valores van desde los \$200.000 hasta los \$2.000.000 según el tipo de trabajo y las dimensiones de terreno.

Tabla 2-3 valorización7

Proceso de Aero fotogrametría PLL.	\$150.000
Proceso de Aerofotogrametría DRE. Sobre 500 metros cuadrados	\$350.000
Procesamiento de datos con equipo y software Agisoft	\$400.000
Traslado y alimentación	\$50.000
Gastos Generales (10%)	\$95.000
Utilidades (15%)	\$156.000
Valor total por servicios	\$1.201.000

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el proceso de este proyecto se implementó un dron para el uso fotogrametría para generar fotografías y mediante el software agisoft realizar un levantamiento topográfico. En primera instancia se dispuso en buscar un área en el terreno apta para el inicio de los vuelos, se recomienda un área despejada con visual aérea además de un terreno plano para un ideal despegue y aterrizaje de la aeronave. Una vez elegido el punto de despegue se da inicio al plan de vuelo ya configurado anteriormente, se recomienda si el terreno es muy grande crear más de un plan de vuelo para cubrir toda el área del terreno. Al concluir la toma de fotografías de la sede utfsm se puede ver lo útil y fácil que es el uso de un dron para este tipo de proyectos el software pix4d es sumamente útil a la hora de crear planes de vuelos y automatizar el dron para un trabajo mucho más uniforme y profesional.

Una vez ya obtenidas todas las fotografías del terreno se procede a usar un software fotogramétrico, se recomienda usar agisoft para un mejor procesamiento de las fotografías, una vez implementando el manual de uso del software siguiendo todos los pasos señalados para lograr un trabajo óptimo, el procesamiento de las fotografías y la creación de la nube de puntos dura aproximadamente 8 horas se recomienda iniciar este proceso en la noche. Ya terminado se logra realizar un levantamiento, se recomienda limpiar la nube de puntos es decir todos los objetos como autos y árboles para tener líneas de nivel más limpias.

Al terminar de procesar la información recolectada con este método en los softwares especializados se confirmó que es posible adquirir rápidamente información topográfica del terreno, facilitando la realización de diferentes actividades de proyectos topográficos ya que los resultados entregados son en formato digital, este método nos permite manipular una gran cantidad de datos con muchas más facilidad, transformando a la fotogrametría aérea es una herramienta óptima en la elaboración de planos topográficos, curvas de nivel y loteo de terrenos. Ahorrándonos una gran cantidad de tiempo y recursos.

Este método nos entrega una metodología accesible, eficaz y económica para todo tipo de proyectos. Con una fácil adquisición por la variedad de modelos y softwares en el mercado.

Bibliografía

-
- http://www.bienesnacionales.cl/wp-content/uploads/2011/05/Norma_Tecnica_MBN_2010.pdf
- http://clacsec.lima.icao.int/2016-P/MejoresPracticas/SegOperacional/CHI/DAN_151-2.pdf

- <http://www.ign.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/ESPECIFICACIONES-TECNICAS-PARA-LA-PRODUCCION-1-1.000.pdf>
- <https://www.dji.com/phantom-3-standard>