



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

INFORME

**“LA FOTOGRAMETRÍA Y EL SISTEMA LIDAR
APLICADOS EN TOPOGRAFÍA DE PRECISIÓN”**

MODALIDAD DE TITULACIÓN:

“TRABAJO PROFESIONAL”

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEOMÁTICO

PRESENTA:

DIEGO ROMÁN OROZCO HERNÁNDEZ

NÚMERO DE CUENTA: 304562194

ASESOR DE INFORME:

M.I. ROBERTO ASCENCIO VILLAGÓMEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2015

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres, siempre tuvieron la dedicación y paciencia, han sido mi inspiración y me han llevado por el camino correcto, con su ejemplo y motivación, su perseverancia y su amor incondicional.

Gracias a mi hermano Christian, ha sido mi apoyo y mi confidente, me ha enseñado todo lo que un buen hermano haría.

Agradezco infinitamente a mi novia Shantal, por ser el motor y la felicidad que me impulsa siempre a seguir adelante.

Gracias a todos los profesores, que tuve durante mi vida académica trabajaron arduamente para difundir sus conocimientos y experiencia. Singularmente agradezco a mi asesor el M.I. Roberto Ascencio Villagómez, por el empeño y apoyo que siempre me brindó. A la Ing. Beatriz Cervantes García, por su gran disposición y apoyo durante el proceso de titulación.

Además quiero agradecer a todos mis amigos que han estado en los momentos difíciles y han sido parte fundamental de mi vida siempre contando con ellos.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	2
EMPRESA.....	5
PUESTO DE TRABAJO	5
MARCO TEÓRICO	5
FOTOGRAMETRÍA	5
CRONOLOGÍA DE LA FOTOGRAMETRÍA.....	6
ÓPTICA GEOMÉTRICA	10
ESTEREOSCOPIA.....	12
VISIÓN ESTEREOSCÓPICA EN LA FOTOGRAFÍA DIGITAL:	12
PLANEACIÓN DE UN PROYECTO DE VUELO AEROFOTOGRAMÉTRICO.....	13
LIDAR	15
PROBLEMÁTICA ABORDADA Y OBJETIVOS	16
Aerotriangulación y alineación fotogramétricas	16
Generación de mosaico fotogramétrico para la creación de Ortofoto.....	17
Archivos con extensión kmz para la visualización de las líneas de vuelo en Google Earth.....	17
Restitución fotogramétrica digital por medio de pares estereoscópicos y pseudopares o pares sintéticos.	18
Clasificación y Edición de LiDAR.	18
Calibración Q780 1 DAS1.	19
Rectificación de Imágenes.	19
METODOLOGÍA	20
Alineación.....	20
Mosaico Fotogramétrico	26
Archivos KML	27
Propuesta de Puntos de Control Terrestre	27
Restitución Fotogramétrica	29
Clasificación y Edición de LiDAR.	32
Calibración Q780 1 DAS1.	33
Rectificación de Imágenes.	33
ÁREAS DE APLICACIÓN.....	36
FLUJO DE TRABAJO DE LOS PROYECTOS.	37
DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	38

Programas.....	38
Hardware.....	38
Estación Fotogramétrica.....	38
AERONAVE.....	40
CAMARAS DIGITALES.....	40
LIDAR.....	44
PROYECTOS Y REPORTE DE ACTIVIDADES.....	46
CONCLUSIONES.....	47
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	48
GLOSARIO.....	49
REFERENCIAS BIBLIOHEMEROGRÁFICAS.....	50

EMPRESA

Sistemas Avanzados y Proyectos S.A. de C.V.

Alejandro Dumas 103-3er piso, Col. Polanco Chapultepec, Del. Miguel Hidalgo, C.P. 11560, Delegación Miguel Hidalgo, Ciudad de México, D.F., México

TELÉFONOS 018005094111 55251232 EXT.101



Sistemas Avanzados y Proyectos fundada en 1994 es una empresa mexicana líder y pionera en el uso de tecnología para fotogrametría digital y LIDAR aerotransportado, con amplias aplicaciones en proyectos de ingeniería civil, minería, arquitectura, desarrollo urbano, ordenamiento territorial, catastro, estudios de impacto ambiental, prevención de desastres naturales, arqueología y supervisión de obras en construcción.

PUESTO DE TRABAJO

INGENIERO AUXILIAR DE PROYECTOS. Área de fotogrametría

MARCO TEÓRICO

FOTOGRAMETRÍA

Fotogrametría se deriva de las palabras griegas photos que significa "luz," gramma significa "dibujo" y metron que significa "medida;" o sea medición grafica por medio de luces.

La fotogrametría es la disciplina que nos permite obtener características geométricas de los objetos a partir de fotografías, obtenidas por diversos tipos de sensores remotos. Nos permite crear modelos en 3D a partir de imágenes 2D, mediante el uso de relaciones matemáticas establecidas en la geometría proyectiva, y de la visión estereoscópica. Ya que las imágenes de los objetos son obtenidas por medios fotográficos, la medición se realiza a distancia, sin que exista contacto físico con el objeto.

Si trabajamos con una foto podemos obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si trabajamos con dos fotos, en la zona común a éstas (zona de solape), podremos tener visión estereoscópica; o dicho de otro modo, información tridimensional.

Básicamente, la fotogrametría aérea es una técnica de medición de coordenadas 3D que utiliza fotografías aéreas u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

La fotogrametría digital surge como consecuencia del gran desarrollo de la computación, y que nos permite realizar todos los procesos fotogramétricos mediante la utilización de programas especializados para el procesamiento de las imágenes y de cámaras fotográficas digitales.

Con la fotogrametría digital crecen las posibilidades de explotación de las imágenes, permitiendo con ello la generación automática de modelos digitales del terreno (MDT), modelos digitales de elevación (MDE), ortofotos, generación y visualización de modelos tridimensionales, etc.

La utilización de la fotogrametría consiste en la realización de mapas y planos topográficos, estos se utilizan en el proyecto y diseño de obras tales como autopistas, carreteras, vías de ferrocarril, puentes, tuberías, oleoductos, gasoductos, líneas de transmisión, presas hidroeléctricas, estudios urbanos, búsqueda de aguas subterráneas, , estudios de movimientos tectónicos, estudios agrícolas, forestales, minerales, aplicaciones militares, exploraciones extraterrestres, etcétera.

Una importante cantidad de la información cartográfica producida mediante el empleo de la fotogrametría, es utilizada como referencia espacial en bases de datos digitales. Éstos, se integran con otros datos obtenidos por diferentes medios, generalmente de carácter cualitativo y descriptivo para conformar sistemas de información geográfica.

La cámara aérea en general puede definirse como un instrumento dentro del conjunto de los sensores remotos (no se presenta contacto entre el sensor y el objeto) el cual recoge o capta propiedades físicas de los objetos usando las longitudes de onda comprendidas en el rango del espectro electromagnético entre el ultravioleta y el infrarrojo por medio de la absorción, refracción o reflexión.

CRONOLOGÍA DE LA FOTOGRAMETRÍA

384 a.c. – 322 a.c. Aristóteles, plantea la posibilidad de conservar la forma del sol y de la luna, al ser observados a través de un orificio sin una forma determinada.

Siglo III a.c. Euclides, enuncia que dada la posición diferente de cada uno de los ojos estos obtienen imágenes distintas del mismo objeto.

965 – 1038 Alhazan, presenta una descripción de la cámara oscura, la cual es utilizada para la observación de los eclipses de sol.

1452 – 1519 Leonardo Da Vinci, hace descripción y definición de la cámara oscura la cual solo se conoce hacia finales del siglo XVIII. Retoma el principio planteado por Euclides en el siglo III a.c., acerca de las diferentes imágenes obtenidas del mismo objeto por cada uno de los ojos.

1501 – 1576 Giralamo Cardan, menciona la posibilidad de colocar una lente en el orificio de la conocida cámara negra. No obstante se conserva la imagen invertida proyectada.

1727 Federico Schulse, confirma la alteración de las sales de plata por acción de la luz.

1771 - 1834 Alois Senefelder, inventa la litografía permitiendo la reproducción de imágenes trazadas con tinta sobre una superficie de piedra calcárea.

En 1804, W. H. Wollaston inventó la llamada cámara lúcida, consistente en un prisma de cuatro caras montados a una distancia conveniente sobre la superficie de una mesa y en 1812, mejoró mucho la calidad de las imágenes producidas en la cámara oscura, al reemplazar las lentes biconvexas por un menisco (lente convexo por una cara y cóncavo por la otra).

1822 Joseph Niepce, obtiene las primeras imágenes permanentes en placas sensibles, sobre un papel impregnado en cloruro de plata y ácido nítrico donde los tintes están invertidos. Se descubre de esta manera un negativo. El otro inconveniente es que no se logra fijar la imagen en el papel.

1833 William H. Fox Talbot, realizan unos croquis con la ayuda de la cámara oscura. Un año después preparando papales impregnados en una solución de sal corriente y luego de secarlos los impregna con una solución de nitrato de plata y obtiene así imágenes por contacto que lava con agua salada y yoduro de potasio.

1838 Charles Wheastone, construye un instrumento de visión que se denomina estereoscopio el cual permite ver, por cada ojo, una imagen distinta en dos dimensiones y genera en el cerebro una tercera imagen tridimensional.

1839 Francois Dominique Arago, el siete de enero, se hace público el descubrimiento de la invención de la fotografía que se le atribuye a Louis Daguerre, quien modifica el contrato de asociación firmado con Joseph Niepce en 1829, en el que se vinculaban los adelantos sobre imágenes en superficies sensibles. Es Daguerre quien logra fijar las imágenes con sal de mar y mercurio. El invento lo bautiza con el nombre de "daguerrotipo". William Talbot, queriendo dejar clara la antigüedad de sus avances en ese sentido envía copia de los resultados obtenidos al Royal Institute. A 30 de enero de 1839 dicta una conferencia que titula "Algunas notas sobre el arte del dibujo fotogénico o el procedimiento por el cual los objetos naturales pueden dibujarse a sí mismos, sin la ayuda del lápiz del artista.". Talbot asegura haber descubierto el negativo y los positivos de imágenes en superficies sensibles o la fotografía como actualmente se concibe

1840 William Talbot, descubre la imagen latente, consistente en un procedimiento que reduce la toma de una foto de una hora a unos cuantos minutos, lo que denomina "calotype".

1840, se obtiene un daguerrotipo (fotografía) con imagen de la Luna.

1841, Talbot e Hyppolyte Bayard, desarrollaron un proceso mediante el cual se conseguía un negativo que permitía la realización de copias positivas.

1845, se obtiene un daguerrotipo (fotografía) del Sol.

1851 Aimé Laussedat, inicia las investigaciones para probar la utilidad de la fotografía con fines topográficos. Es considerado el PADRE DE LA FOTOGRAFÍA, la cual definió como "Metrofotografía". Crea el primer aparato apropiado para ejecutar levantamientos fotogramétricos y el primer método de restitución por intersección.

1857, se obtienen imágenes de Júpiter, Saturno y el Sol.

1858 Félix Tournachon "Nadar", obtiene la primera foto desde un globo cautivo de una parte de la ciudad de Paris entre el Arco de la Estrella y las Tullerías.

1861 Aimé Laussedat, ejecuta las primeras pruebas fotogramétricas para levantar un plano topográfico y el cálculo de distintas medidas de un monumento.

1861 La Academia de Ciencias de Madrid, convoca al concurso “Aplicaciones de la fotografía al levantamiento de planos”, el cual es ganado por Aimé Laussedat, quien presentó el levantamiento de la Villa de Buc (Versalles).

1863 Antonio Terrero, presenta sus primeros estudios sobre la fotogrametría.

1867 Aimé Laussedat, presenta el primer fototeodolito (combinación de teodolito y cámara fotográfica) y enseña el primer plano de París levantado por medio de fotografías terrestres. La posición de los detalles sobre los planos se obtuvo por intersección de las direcciones leídas con fotografías tomadas desde diferentes sitios. Para aplicar este método es necesario poder identificar determinados detalles comunes a dos fotografías consecutivas lo que se hacía a veces difícil, lo cual se superó con la aparición del estereoscopismo (toma de fotos con una zona común a un par fotográfico observable con un estereoscopio).

1873 Enrique Deville, realiza un levantamiento fotogramétrico de una región de Canadá.

1888 George Eatsman, saca al mercado la primera cámara Kodak de rollo portátil.

1891 Lippman, descubre la fotografía a color.

1892 Federico Stolze, determina el principio de “la marca flotante”.

1893 Meydenbauer, introduce la utilización de la palabra “fotogrametría”, al llamar la atención hacia el empleo de nuevos métodos de levantamientos terrestres por medio de fotografías.

1895 Enrique Deville, publica uno de los libros clásicos de la fotogrametría: “Photographic Surveyng.”.

1898 Teodoro Scheimpflug, realiza la invención del doble proyector, obtiene fotomapas a partir de fotografías aéreas, establece la teoría de la transformación y de la triangulación radial.

1899 Iriarte y Navarro, publican la primera obra teórica escrita en español titulada: “Topografía Fotográfica”.

1900 Teodoro Scheimpflug, resuelve inconvenientes de la fotografía aérea empleando una cámara de ocho lentes sostenida en la canasta de un globo. Con siete fotos oblicuas y una vertical formaba una sola foto de gran campo angular. La determinación de la posición del globo en el momento de la toma de la foto es superada a la par del invento de los globos dirigibles y su utilización en la toma de fotografías con fines fotogramétricos.

1901 Carlos Pulfrich, inicia la estereoscopia métrica con su invento del estereocomparador, que marca el arranque de una nueva era para la fotogrametría.

1903 los hermanos Wright, inventan el aeroplano.

1907 José María Torroja, elabora la primera tesis doctoral sobre fotogrametría titulada “Fotografía teórica y práctica.”.

1909 Von Orel, inventa el “estereoautógrafo”, prototipo que da inicio a una serie de instrumentos que permitieron la mecanización en la cartografía a partir de fotografías.

1909 los hermanos Wringht, obtienen la primera foto aérea tomada desde un aeroplano, cuando se sobrevolaba sobre la región de Conocelli, Italia.

1913 Tardivo, publica datos sobre el empleo cartográfico de fotografías tomadas desde un avión y presenta además un fotomosaico de la ciudad de Bangasi en Libia.

1915 Oscar Messter, desarrolla la cámara para la toma de las fotos en serie.

1916 José María Torroja, funda la Sociedad Estereográfica Española, que se convierte en la primera entidad privada de fotogrametría. Realiza trabajos como el levantamiento escala 1: 1000 de las minas de Cardona y del puente de Toledo siendo este último levantamiento la primera aplicación de la fotogrametría a la arquitectura en España.

1930, La fotogrametría es aplicada al levantamiento de grandes áreas. Es medida una extensión de 40.000 millas cuadradas en el Valle del Tennessee.

1940, el gran desarrollo de la fotogrametría se da en su utilización con fines bélicos. La ofensiva alemana sobre territorio francés, fue preparada luego de un análisis intenso de reconocimiento aéreo de todas las instalaciones militares, principales edificios gubernamentales, aeropuertos, infraestructura básica, redes de transporte terrestre.

1940, a partir de este año, se desarrolla la fotointerpretación con todas sus aplicaciones.

1941, se logró el traslado de la imagen de diapositiva a papel fotográfico.

1944, en réplica la invasión aliada de Normandía fue cuidadosamente planeada utilizando fotointérpretes que cubrieron todas las necesidades de identificación logística alemana como: instalaciones militares, instalaciones mimetizadas o de señuelo, líneas férreas que desembocaban en túneles cerrados, equipos aerotransportados y terrestres camuflados.

1955 Rosemberg, plantea "La teoría de la información es una guía y ayuda en el estudio, evaluación y desarrollo de los métodos e instrumentos fotogramétricos, topográficos y cartográficos para la automatización electrónica de la elaboración de mapas".

1958 Helava , describe la ventaja de los restituidores analíticos respecto de los restituidores analógicos.

1965 Sharp, hace la descripción del Sistema de Compilación Digital Automatizada de mapas (Digital Automatic Map Compilation) "DAMC" , el cual se utiliza en el trazado de mapas topográficos y la producción de ortofotos desde imágenes digitalizadas.

1969, en el proyecto de la llegada del hombre a la Luna, juega papel importantísimo el estudio y la fotointerpretación de la zona escogida para el alunizaje así como el conocimiento previo del tipo de litología que allí existía, verificado luego con las muestras de rocas obtenidas.

1975, el conocimiento de los planetas vecinos y de partes de más allá del universo, se realiza por medio de la información suministrada por diferentes tipos de sensores remotos que envían imágenes que luego cumplen procesos de fotointerpretación y que han marcado un gran avance en el conocimiento científico del espacio sideral.

1981 Sarjakoski, describe el primer restituidor digital.

1982 Case, muestra el diseño de un prototipo de un Sistema Fotogramétrico Digital (Digital Stereo Comparator / Compiler) "DSCC".

1986 Gagan y Dowman, precisan las cuatro características fundamentales para un Sistema Fotogramétrico Digital: manejo de la visión estereoscópica, operatividad de grandes volúmenes de imágenes, precisión de medidas submilimétricas, digitalización en tiempo real del modelo 3D.

1988 en el Congreso de ISPRS (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing) en Kyoto, se muestra la primera estación estereofotogramétrica digital comercial, Kern DSP1.

1990 y 2003 En las guerras contra el Gobierno Iraki, los militares estadounidenses han hecho despliegue de la utilización de la fotografía como herramienta estratégica con fines bélicos.

2003, las aplicaciones de la fotogrametría y la fotointerpretación cubren casi todos los espacios de la ingeniería.

ÓPTICA GEOMÉTRICA

Se conoce como "luz" a la energía radiante que por su acción ilumina los objetos y los hace visibles; es la porción del espectro electromagnético (entre el violeta y el rojo) que percibe el sentido de la vista. Su velocidad de propagación es de 299,800 kilómetros por segundo.

Los objetos analizados en la fotogrametría reflejan la luz, por lo que siguen las leyes de reflexión y refracción.

Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, una parte es rebotada, esto se conoce como "reflexión"; mientras que la otra parte al cruzar sufre una desviación que se conoce como "refracción".

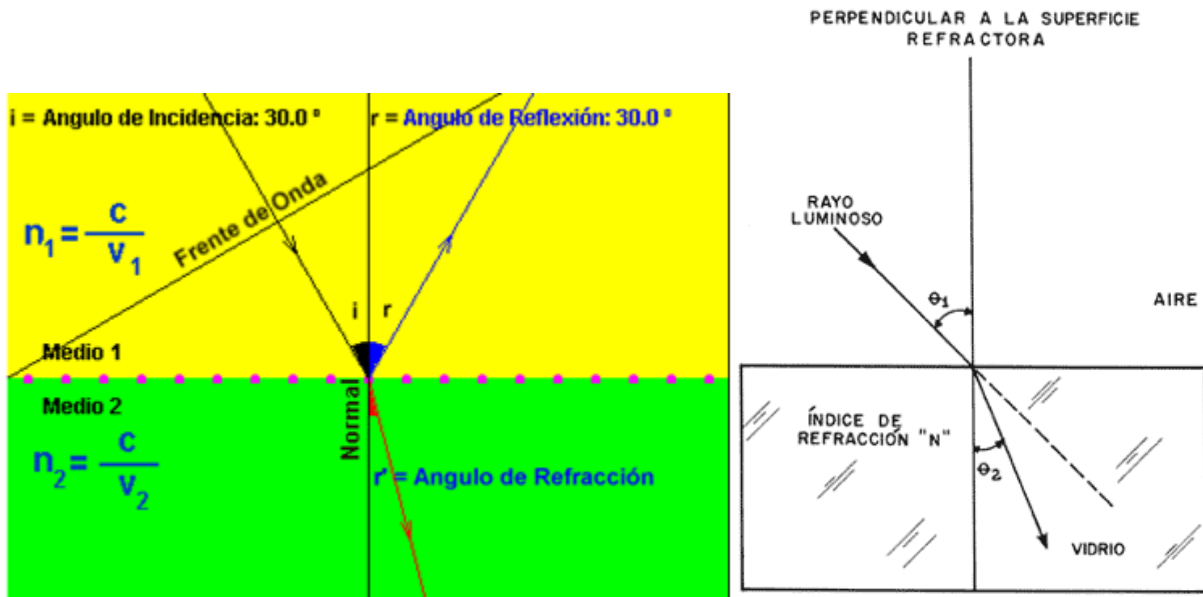


Ilustración 1: Diagramas de reflexión y refracción

El ángulo de incidencia -i- es el formado por el rayo incidente y la normal. La normal es una recta imaginaria perpendicular a la superficie de separación de los dos medios en el punto de contacto del rayo.

El ángulo de reflexión -r- será el formado por el rayo reflejado y la normal.

El ángulo de refracción -r'- es el formado por el rayo refractado y la normal.

Willebrod Snell (1591-1626), en Leyden, Holanda, en 1621, descubrió la ley de la refracción.

Esta ley es válida y exacta para cualquier magnitud del ángulo de incidencia. La ley de Snell es el pilar fundamental de la óptica geométrica, gracias a la cual fue posible establecer más tarde toda la teoría de la formación de imágenes con lentes y con espejos. La podemos enunciar diciendo que el cociente de los senos de los ángulos de incidencia y de refracción, respectivamente, es igual a una constante característica del medio, n , a la que llamamos índice de refracción. Esto se puede representar por:

$$\frac{\text{Sen}\theta_2}{\text{Sen}\theta_1} = n$$

donde θ_1 es el ángulo de incidencia y θ_2 es el ángulo de refracción, respectivamente, que se miden con respecto a una línea imaginaria perpendicular a la superficie. Estos índices de refracción son unas constantes, que tienen valores característicos para diferentes materiales. En general, el índice de refracción es tanto mayor cuanto más denso sea el material.

La óptica geométrica usa la noción de rayo luminoso; es una aproximación del comportamiento que corresponde a las ondas electromagnéticas (la luz) cuando los objetos involucrados son de tamaño mucho mayor que la longitud de onda usada; ello permite despreciar los efectos derivados de la difracción, comportamiento ligado a la naturaleza ondulatoria de la luz. Se utiliza en el estudio de la transmisión de la luz por medios homogéneos (lentes, espejos), la reflexión y la refracción.

La óptica física explica los colores como frecuencias distintas de las ondas luminosas y encuadra la luz visible dentro del marco más general del espectro electromagnético.

Luz visible: Es la pequeña parte del espectro electromagnético a la que es sensible el ojo humano (400nm-750nm).

Se producen por saltos electrónicos entre niveles atómicos y moleculares. Las longitudes de onda que corresponden a los colores básicos son

ROJO	De 6200 a 7500 Å
NARANJA	De 5900 a 6200 Å
AMARILLO	De 5700 a 5900 Å
VERDE	De 4900 a 5700 Å
AZUL	De 4300 a 4900 Å
VIOLETA	De 4000 a 4300 Å

ESTEREOSCOPIA

La estereoscópica también llamada visión en tres dimensiones o 3D, no es más que la capacidad del sistema visual del hombre de dar tres dimensiones a los objetos a partir de las imágenes de cada una de las retinas de los ojos. Estas imágenes son procesadas y comparadas por el cerebro, el cual acaba creando una sensación espacial. De tal manera si somos capaces de crear dos imágenes con un ángulo ligeramente distinto y se las mostramos a cada ojo por separado, el cerebro podrá reconstruir la distancia y por lo tanto dicha sensación de profundidad.

VISIÓN ESTEREOSCÓPICA EN LA FOTOGRAFÍA DIGITAL:

Los Sistemas de visión estereoscópica más comunes empleados en los estudios con fotografías digitales son:

- **DIVISIÓN DE PANTALLA:** Funciona de manera similar a un estereoscopio de espejos, pero la separación se hace sobre uno de los monitores.

- **POLARIZACIÓN CON GAFAS ACTIVAS:** En este tipo de aparatos la pantalla de polarización en vez de estar adaptada a un monitor, se encuentra instalada en las gafas y la sincronización del sistema se hace mediante la utilización de rayos infrarrojos.
- **POLARIZACIÓN CON GAFAS PASIVAS:** Las imágenes son mostradas en la pantalla de forma alternativa y un modulador de cristal líquido del mismo tamaño que la pantalla sincronizado con un paquete gráfico, proporciona la polarización variable de las imágenes para cada ojo.

PLANEACIÓN DE UN PROYECTO DE VUELO AEROFOTOGRAMÉTRICO.

DEFINICIÓN de un plan de vuelo a seguir, al momento de la toma de fotografías de un proyecto.

PLANEACIÓN de los controles terrestres y los chequeos de campo para satisfacer los requerimientos del proyecto.

VALORACIÓN de los costos del proyecto.

El diseño y cálculo de un proyecto de vuelo requiere la determinación de los siguientes elementos:

- **ÁREA DEL TERRENO**
- **ALTURA ABSOLUTA DE VUELO (H).**
- **ALTURA DE VUELO RELATIVA AL TERRENO (Z).**
- **DISTANCIA FOCAL.(f)**
- **BASE AÉREA (B).**
- **SEPARACIÓN ENTRE LAS LÍNEAS DE VUELO (A).**
- **NÚMERO DE LÍNEAS DE VUELO (n').**
- **CORRIMIENTO DE LA IMAGEN (e).**
- **TIEMPO NETO DE VUELO (T ').**
- **ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA. (E). $f/H=1/E$**
- **RECUBRIMIENTO TRASNSVERSAL.**
- **DIRECCIÓN DE LA LÍNEA DE VUELO:** Se fija en función de la configuración del terreno, siguiendo el rumbo de la mayor dimensión de este. Favorece en la práctica, que haya el mínimo de variaciones en la cota en la dirección de vuelo.
- **EL TIEMPO:** Las condiciones climáticas son factores también a tener en cuenta: los días deben ser claros y con atmósfera libre de nubes, humo o calina además de momentos de poco viento.
- **LA HORA DE VUELO:** La altura del sol al momento de la toma de fotografía favorece los contrastes luz y sombra permitiendo mejores fotografías para manejo de fotointerpretación , por lo cual se trata de realizar vuelos hacia las nueve de la mañana o hacia las tres de la tarde.
- **EL AVIÓN:** Se emplean aviones comerciales o militares debidamente acondicionados con suficiente espacio para acomodar las robustas cámaras fotográficas utilizadas. Son muy utilizados aviones tipo Cessna 180, Aerocomander 680F o Beechcraft T – 11.

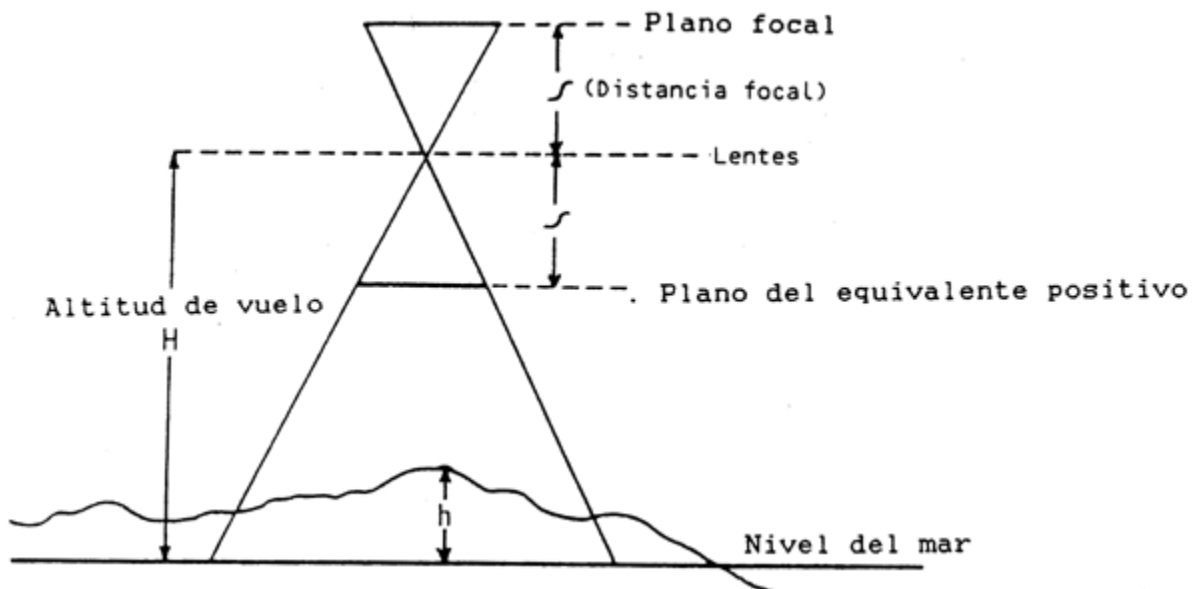


Ilustración 21. Diagrama de la altura de vuelo

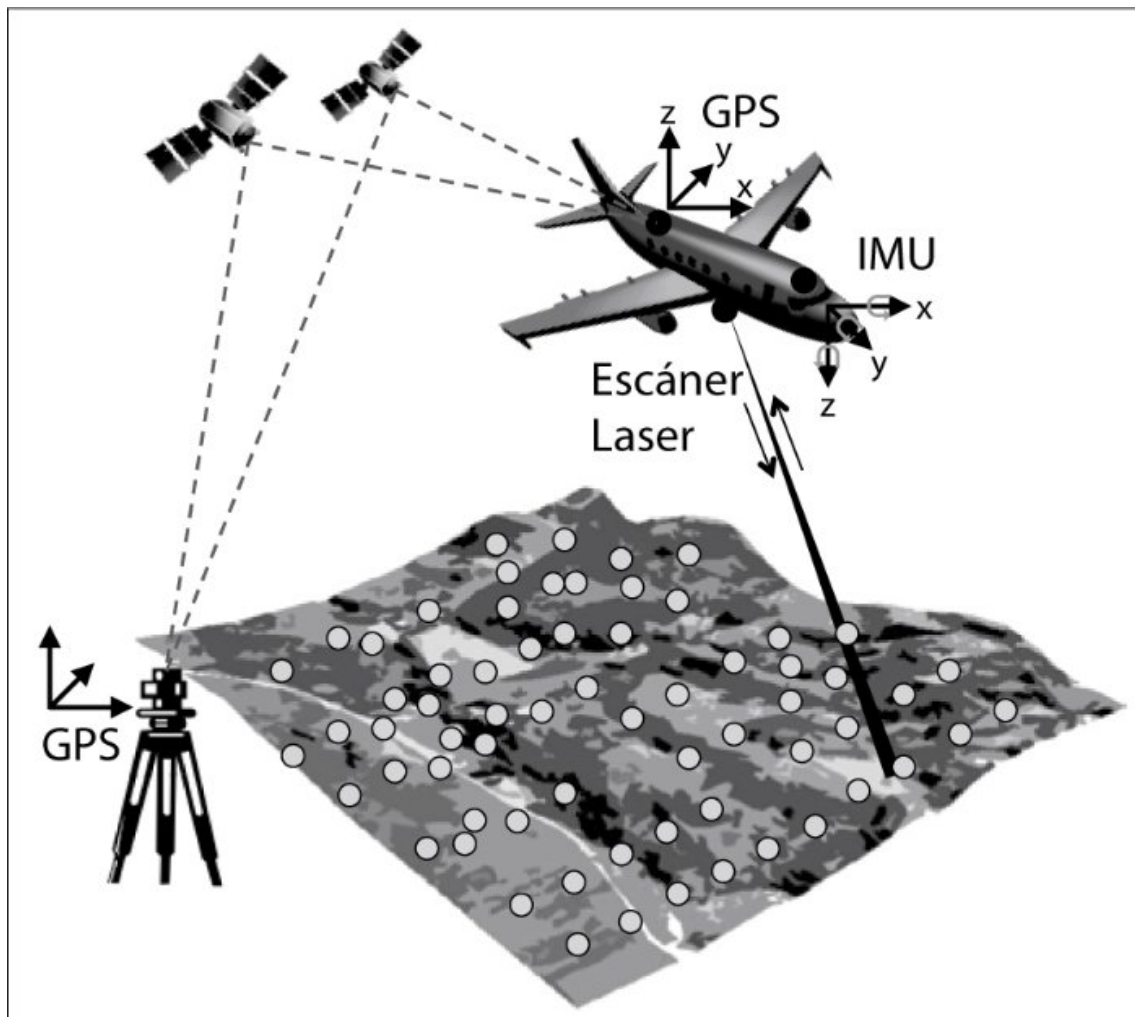


Ilustración 3: Elementos que intervienen en un vuelo fotogramétrico

LIDAR

El rayo láser es un sistema de amplificación de la luz que produce rayos coincidentes de enorme intensidad, los cuales presentan ondas de igual frecuencia que siempre están en fase.

Todo se remonta a 1917, cuando Albert Einstein descubrió que si se estimulaban los átomos de una sustancia, estos podían emitir una luz con igual longitud de onda.

Este proceso se conoce también como emisión estimulada. Sin embargo para tener una plataforma capaz de producir un láser se requiere amplificar esa emisión estimulada.

La palabra LASER es la sigla (en inglés): Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, que traducido al español es: amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación.

En el año 1958, los físicos A. Schawlow y C. Hard Townes describieron los principios del funcionamiento del láser y dos años más tarde, el estadounidense Theodore Maiman concretó el primer proceso láser con un cristal de rubí.

La radiación láser se caracteriza por una serie de propiedades, diferentes de cualquier otra fuente de radiación electromagnética, como son:

Monocromaticidad: emite una radiación electromagnética de una sola longitud de onda, en oposición a las fuentes convencionales como las lámparas incandescentes (bombillas comunes) que emiten en un rango más amplio, entre el visible y el infrarrojo, de ahí que desprendan calor. La longitud de onda, en el rango del espectro electromagnético de la luz visible, se identifica por los diferentes colores (rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta), estando la luz blanca compuesta por todos ellos. Esto se observa fácilmente al hacer pasar un haz de luz blanca a través de un prisma.

Coherencia espacial o direccionalidad: la radiación láser tiene una divergencia muy pequeña, es decir, puede ser proyectado a largas distancias sin que el haz se abra o disemine la misma cantidad de energía en un área mayor. Esta propiedad se utilizó para calcular la longitud entre la Tierra y la Luna, al enviar un haz láser hacia la Luna, donde rebotó sobre un pequeño espejo situado en su superficie, y éste fue medido en la Tierra por un telescopio.

Coherencia temporal: La luz láser se transmite de modo paralelo en una única dirección debido a su naturaleza de radiación estimulada, al estar constituido el haz láser con rayos de la misma fase, frecuencia y amplitud.

Hace ya más de 3 décadas, los aparatos topográficos comenzaron a utilizar ondas electromagnéticas para medir la distancia, donde a partir de un rayo láser y un prisma que reflejaba el rayo, se hallaba la distancia en función de la velocidad de la luz y el número de longitudes de ondas. Así se fundamenta al LiDAR.

EL LiDAR (Light Detection And Ranging) emite impulsos de alta frecuencia y recoge las reflexiones que se producen en los elementos, permitiendo mediante estas observaciones el cálculo posterior de las coordenadas tridimensionales. Al igual que ocurre con la tecnología radar, donde se utilizan ondas de radio en vez de luz, la distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. Además de medir la distancia que existe entre el escáner emisor y el punto del terreno donde se ha reflejado, se deberá medir la

posición y orientación del punto de vista, de manera que se pueda determinar las coordenadas tridimensionales únicas de cada punto de la superficie. Por eso, todo sistema LIDAR, irá dotado con un sistema de posicionamiento global (GPS) y un sistema de navegación inercial (IMU)

Los sistemas láser permiten la captura masiva de puntos con gran precisión y productividad, pudiendo sustituir otras técnicas basadas en la fotogrametría.

Con el post-procesamiento se pueden obtener los siguientes datos:

- Extracción de cota suelo
- Extracción de edificios
- Extracción de árboles y masas forestales
- Herramientas de depuración del terreno
- Creación de vectores tridimensionales
- Herramienta de cuadratura de edificios
- Herramienta de edición.
- Recorte de imágenes

La precisión de los datos obtenidos mediante la técnica LiDAR dependen de:

- La frecuencia del pulso.
- La altura de vuelo.
- El diámetro del rayo láser (dependiente del sistema)
- La calidad de los datos GPS / IMU y los procedimientos de post procesamiento.

PROBLEMÁTICA ABORDADA Y OBJETIVOS

Aerotriangulación y alineación fotogramétricas

La Aerotriangulación es un proceso mediante el cual se propaga el apoyo terrestre registrado en campo mediante imágenes. Es una técnica empleada para la referenciación absoluta de un bloque de imágenes. Su función es disminuir los costos de la campaña de apoyo en campo y acortar los tiempos de ejecución en la formación de cartografía por fotogrametría o imágenes de satélite. Permite reducir el número de puntos de control terrestre medidos en campo y ahorrar hasta 75% – 80% el trabajo de campo, midiendo y calculando coordenadas reales vía programa.

La alineación es el proceso equivalente a la aerotriangulación para cámara digital de barrido 3-DAS-1. Consiste en formar un bloque de imágenes paralelas con sobreposición longitudinal de 30%, con base 3 puntos de apoyo terrestre por imagen, uno al centro y dos en cada extremo y en la sobreposición con las imágenes contiguas, aprovechando la rigidez que da una fotografía por cada línea de vuelo.

El resultado de estos procesos es el conjunto de parámetros que permiten orientar cada modelo que forme parte del área a cubrir.

El objetivo de la alineación es el darle a cada imagen su orientación relativa y absoluta, esto es, intersecar los pares estereoscópicos, darles una escala, y ubicación correcta.

Generación de mosaico fotogramétrico para la creación de Ortofoto

La ortofotografía digital es una imagen rectificadas y georreferenciada a un sistema de coordenadas, a escala fija con posibilidades de desplegarla en computadoras convencionales y programas comerciales como AutoCAD, MicroStation, etc. El sistema de referencia generalmente es el del INEGI (UTM, Datum horizontal: ITRF08 Época 2010.0, Datum vertical: Bancos de Nivel de INEGI, Modelo Geoidal EGM2008).

El proceso consiste en ajustar imagen por imagen a los puntos aerotriangulados. Una a una, las imágenes adquieren georreferencia y se eliminan las líneas de mosaico entre una y otra hasta formar una sola imagen, la cual, se conforma de toda una línea de imágenes en el sentido en el que se haya realizado el vuelo.

Para el caso de cámara de barrido 3-DAS-1, la Ortofoto se obtiene mediante el proceso de rectificación y alineación de cada una de las líneas de vuelo con los puntos de apoyo en el terreno. Se liga una con otra y se utiliza para la representación la fotografía nadir. Con ésta las deformaciones en las orillas son mínimas.

Archivos con extensión kmz para la visualización de las líneas de vuelo en Google Earth

KML o Keyhole Markup Language (lenguaje de marcas de cerradura) es una gramática XML o eXtensible Markup Language (Lenguaje de marcas extensible), así como un formato de archivo para la creación de modelos y el almacenamiento de datos geográficas, entre los que se encuentran puntos, líneas, imágenes, polígonos y modelos que se mostrarán en Google Earth, Google Maps y otras aplicaciones. Se utilizan los archivos KML para compartir lugares e información con otros usuarios de estas aplicaciones.

Google Earth procesa los archivos KML de una manera similar a la forma en la que los navegadores web procesan los archivos HTML (Lenguaje de marcas de hipertexto) y XML. Al igual que los archivos HTML, los KML cuentan con una estructura basada en etiquetas con nombres y atributos utilizados para poder visualizarlos. Por lo tanto, Google Earth actúa como un navegador de archivos KML.

Nota: un archivo KMZ (Keyhole Markup Zip) es una versión comprimida de un archivo KML. Google Earth puede abrir todos los archivos KML y KMZ que tengan la extensión de nombre de archivo adecuada (.kml o .kmz).

Restitución fotogramétrica digital por medio de pares estereoscópicos y pseudopares o pares sintéticos.

La restitución es la última etapa dentro de la secuencia de trabajo en fotogrametría. En ella se junta todo el trabajo realizado con anterioridad (Fotografía aérea ya rectificadas, apoyo terrestre y ortofoto) para trazar de acuerdo a los intereses del cliente los mapas propiamente dichos.

En la digitalización de planimetría pueden dibujarse de acuerdo al proyecto: parcelas, instalaciones industriales, manzanas, predios, construcciones, carreteras, brechas, terracerías, veredas, torres de alta tensión, vías férreas, puentes, líneas de transmisión, arroyos, canales, escurrimientos, ríos, lagos, zonas propensas a inundación, entre otras. Como paso final, se incluye a la restitución la simbología y textos convenidos.

Del mismo modo se crea la digitalización de la altimetría, generalmente expresada en curvas de nivel. Dichas curvas de nivel se presentarán de acuerdo al tipo de proyecto y a los requerimientos del cliente, serán equidistantes, a distintas medidas (50 cm., 1 m., 2m., etc.).

Clasificación y Edición de LiDAR.

El sistema conocido como LiDAR (Light Detection and Ranging), que significa detección y medición a través de la luz (en específico en el espectro de onda láser), permite registrar mediante la superficie de incidencia los objetos y sus altitudes en un terreno. De tal manera, éstos pueden ser reproducidos en un mapa en 2 o 3 dimensiones.

El levantamiento LIDAR aerotransportado es un servicio cuyo resultado es un conjunto de puntos con coordenadas conocidas y georreferenciadas (X, Y, Z). En formato digital, se utiliza con la extensión .las (Log ASCII Standard). Este levantamiento representa la configuración de todos los objetos detectados en el terreno durante el vuelo.

La clasificación de los puntos obtenidos durante el levantamiento se lleva a cabo mediante un programa que permita su visualización, ya sea en 3D, por medio de secciones de terreno o por medio de un *Surface* o modelo de superficie. Según la necesidad del proyecto se clasificarán los puntos de terreno, vegetación, cables, postes, construcción, torres de alta tensión, *default*, etc., mediante un estudio de la nube de puntos en un programa especial, que cuenta con visualización en 3D, y de secciones.

Calibración Q780 1 DAS1.

Se requiere una calibración de la cámara de forma periódica, mediante la obtención de los valores de orientación interna de ésta, con el fin compensar los parámetros y así tener mayor precisión en las imágenes y el LiDAR. Para calibrar la cámara se necesita hacer un vuelo con puntos premarcados, obtenidos con GPS a terreno. Posteriormente, se harán las mediciones sobre las imágenes o sobre la nube de puntos LiDAR, se obtienen así los residuales que utilizaremos para calcular los parámetros de la cámara y del LiDAR.

Rectificación de Imágenes.

Las imágenes digitales son capturadas en formato RAW (crudo) las cuales presentan distorsiones que son normales en formato nivel 0. Para eliminar totalmente esas distorsiones las imágenes deben ser rectificadas vía programa en gabinete.

Para eliminar esas distorsiones, las imágenes se rectificarán usando los programas especiales PostExtract y DASRectify; estos permiten seleccionar los datos de la trayectoria completa del vuelo, corregir la radiometría y rectificar las imágenes originales Nivel 0 para obtener imágenes Nivel 1. En realidad, imagen Nivel 1 es una imagen ortorrectificada en el centro de la línea. Las imágenes de la cámara 1-DAS-1 son imágenes de color primario RGB (rojo, verde, azul).

El proceso de rectificación le agrega a la imagen información geográfica básica, sistema de coordenadas, datum y geoide de referencia. Además unifica en una misma imagen las 3 bandas (RGB). Como producto de la rectificación se obtendrá una imagen de forma completa en un solo archivo en formato Geo TIFF a color.

METODOLOGÍA

Alineación

La metodología para la alineación de imágenes digitales dependerá del tipo de cámara a utilizar, ya sea, la 3-DAS1 o la 1-DAS1.

La información necesaria para la alineación de imágenes obtenidas por las cámaras digitales de barrido son los descritos en la tabla siguiente:

DATOS REQUERIDOS PARA LA ALINEACIÓN	
3-DAS1	1-DAS1
Imágenes en formato *.tif de los 3 sensores (Backward, Forward y Nadir)	Imágenes en formato*.tif para el sensor Nadir
Archivo *.att que contiene los datos de vuelo de cada imagen en cada sensor	Archivo *.att que contiene los datos de vuelo de cada imagen
Archivo de cámara (*.cmr)	Archivo de cámara (*.cmr)
Ejecutable DASCorrect.exe	Ejecutable DASCorrect.exe
Archivo de texto con puntos de control terrestres	Archivo de texto con puntos de control terrestres y LiDAR
Sobre posición longitudinal de 30%	Sobre posición longitudinal de 50%

Tabla 1: Insumos requeridos en la alineación para 3-DAS1 y 1-DAS1

Para proyectos en los que se ocupa la cámara **3-DAS1** el proceso de alineación es el siguiente:

Se genera un bloque de imágenes paralelas sobrepuestas entre sí, este bloque puede ser de una o más imágenes, teniendo como principal beneficio que las imágenes registradas por cámara de barrido pueden ser de cualquier longitud.

El proceso de corrección exige que cada bloque cuente con un cierto número de Puntos de Control Terrestre y un cierto número de Puntos de Pase. En promedio puede decirse que para cada bloque son suficientes 3 Puntos de Control Terrestre y entre líneas consecutivas son necesarios 4 puntos de pase como mínimo.

Se coleccionan los Puntos de Pase o *Tie points* en el programa DASCorrect versión 2014 desarrollado especialmente por el fabricante de las imágenes de barrido. Para la obtención de estos puntos, la colección se llevará a cabo en 3D, primero para la combinación estereoscópica Nadir-Forward, seguido de la combinación Backward-Nadir. Los puntos de pase serán ubicados buscando detalles a terreno, evitando sombras o proyecciones que afecten en la precisión.

Se ubican 4 puntos distribuidos en la parte superior de la primera imagen del bloque y 4 puntos en la parte inferior, estos siempre deben estar en la superposición con la siguiente imagen. De la misma forma, se efectúa para todas las imágenes del bloque a alinearse.

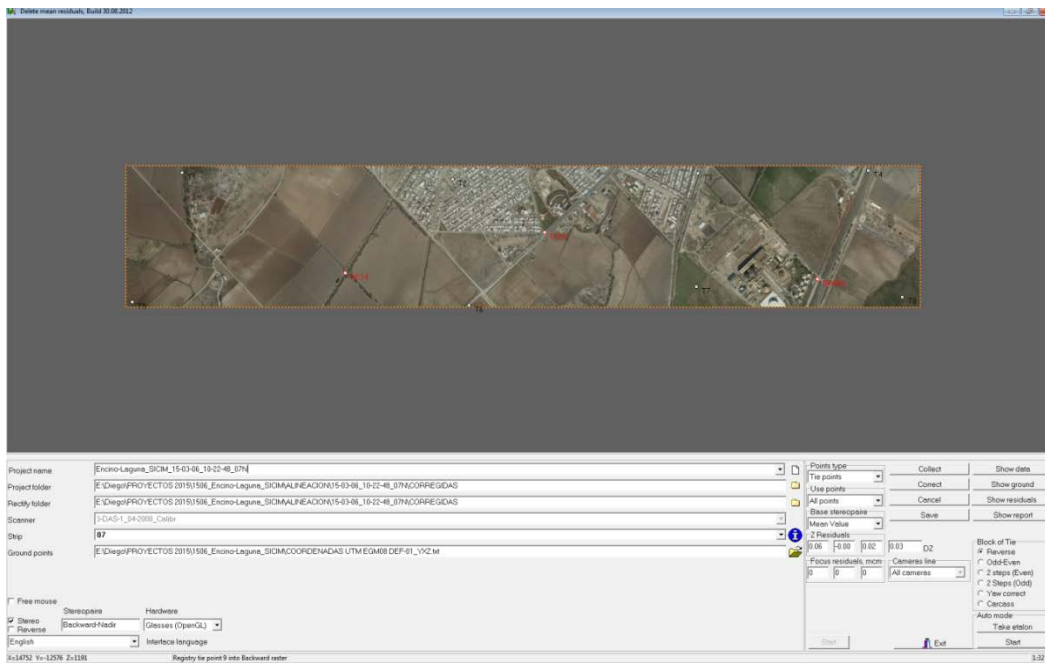


Ilustración 4: Ubicación de puntos Tie y Puntos de Control en el Programa DASCORRECT.

Al terminar de coleccionar los puntos de pase se realiza la primera corrección con el botón Correct, la cual, genera una tabla de residuales como se muestra a continuación.

Residuals of ground points				
Tie points		Ground points		
	Backward-Nadir	Nadir-Forward	Forward-Backward	
Point	DX, m	DY, m	DZ, m	
T1/07	0.02	-0.03	-0.06	
T2/07	-0.01	0.02	0.04	
T3/07	-0.01	0.02	0.04	
T4/07	-0.00	-0.01	-0.08	
T5/07	-0.00	-0.01	-0.07	
T6/07	0.02	-0.01	0.04	
T7/07	0.02	-0.01	0.07	
T8/07	-0.02	0.02	-0.00	
RMS	0.00	0.00	0.00	
RMS	0.00			
Mean	0.00			
Mean	0.00			
Max	0.00	0.00		
Min	0.00			

Ilustración 5: Tabla con Residuales de Puntos de Pase.

En caso de obtener residuales mayores a 10cm. en los ejes 'x' y 'y' o de 15 cm en el eje 'z', debemos volver a colectarlos buscando mayor precisión, cuando se tienen residuales menores a estos valores, obteniendo así la precisión requerida, sigue la alineación colectando los Puntos de Control Terrestre.

Para la correcta distribución de los Puntos de Control se busca que cada bloque contenga tres puntos posicionados de forma diagonal hacia los extremos de las imágenes. De esta forma un punto puede formar parte de dos imágenes transversales siempre y cuando se ubique en el traslape de las mismas. En caso de haberse realizado levantamiento LiDAR, se utilizarán Puntos de Control extraídos de la nube de puntos de LiDAR previamente ajustada.



Ilustración 6: Ejemplo de la ubicación de Puntos de Pase (Negro, círculos pequeños) y Puntos de Control Terrestre (Rojo, círculos grandes).

La precisión requerida dependerá de los parámetros siguientes:

ESCALA	ALTURA (m)	GSD (cm)	ANCHO DE IMAGEN (m)	VELOCIDAD MÁXIMA (km/h)	PRECISIÓN XY	PRECISIÓN Z
5000	550	4.5	360	122	4.5	6.8
6000	660	5.4	432	146	2.4	8.1
7000	770	6.3	504	170	6.3	9.5
8000	880	7.2	576	194	7.2	10.8
9000	990	8.1	648	219	8.1	12.2
10000	1100	9.0	720	243	9.0	13.5
11000	1210	9.9	792	267	9.9	14.9
12000	1320	10.8	864	292	10.8	16.2
13000	1430	11.7	936	316	11.7	17.6
14000	1540	12.6	1008	340	12.6	18.9
15000	1650	13.5	1080	365	13.5	20.3
16000	1760	14.4	1152	389	14.4	21.6
17000	1870	15.3	1224	413	15.3	23.0
18000	1980	16.2	2196	437	16.2	24.3
19000	2090	17.1	1368	462	17.1	25.7
20000	2200	18.0	1440	486	18.0	27.0
25000	2750	22.5	1800	608	22.5	33.8
30000	3300	27.0	2160	729	27.0	40.5
40000	4400	36.0	2880	972	36.0	54.0

Ilustración 7: Tabla de Parámetros de Precisión para la cámara 3DAS1. Escala, Altura del vuelo en metros, GSD tamaño de pixel en el terreno (Ground Sampling Distance) en cm, Swath width (ancho de la imagen), Velocidad máxima del vuelo, precisión requerida, precisión en z.

Mediante la tabla de residuales podemos verificar que los puntos colectados sean precisos. Después de dicha verificación, es posible llevar a cabo la corrección de la imagen obteniendo una nueva imagen tif alineada.

Point	DX, m	DY, m	DZ, m
1105/02	0.05	-0.01	0.00
1106/02	0.08	-0.05	0.00
1112/02	-0.00	0.06	0.00
1083/03	0.03	0.05	0.00
1084/03	0.04	-0.06	0.00
1105/03	-0.09	0.04	0.00
1106/03	0.08	-0.09	0.00
1107/03	0.06	-0.04	0.00
1113/03	-0.08	0.05	0.00
1114/03	-0.04	0.05	0.00
1084/04	0.03	-0.03	-0.00
1107/04	-0.03	0.05	0.00
1108/04	0.10	-0.09	0.00
1113/04	-0.09	0.04	0.00
1114/04	-0.08	0.10	0.00
1115/04	0.08	-0.09	0.00
1116/04	0.01	0.03	0.00
1108/05	-0.05	0.08	0.00
1109/05	-0.01	-0.10	0.00
1115/05	-0.01	0.09	0.00
1116/05	-0.03	0.08	0.00
1117/05	0.02	-0.05	0.00
1118/05	0.02	-0.08	0.00
1109/06	-0.01	0.05	0.00
1110/06	0.03	-0.08	0.00
1117/06	-0.04	0.00	0.00
1118/06	-0.02	0.09	0.00
1119/06	0.06	0.02	0.00
1120/06	-0.01	-0.09	0.00
1110/07	-0.07	0.09	0.00
1111/07	0.07	-0.08	0.00
1119/07	0.00	0.06	0.00
1120/07	-0.07	0.01	-0.00
1121/07	0.06	-0.09	0.00
RMS	0.05	0.06	0.00
Plane RMS	0.08		
Mean	-0.00	0.00	0.00
Plane Mean	0.00		
Max	0.10	-0.10	0.00
Plane Max	0.14		

Ilustración 8: Tabla de residuales para los Puntos de Control Terrestres

Para la cámara **1 DAS1** la alineación se iniciará buscando puntos de control LiDAR, desde los archivos Las en el programa MicroStation con los módulos TerraScan y TerraModel. A continuación, se utilizan las herramientas de Surface (terreno), secciones y/o imágenes de intensidad. Esto se realiza, primeramente, buscando un detalle de tamaño similar a la precisión requerida en el proyecto y a la altura de terreno en la imagen a alinear y después ubicando ese detalle en la nube de puntos LiDAR. De aquí, se obtienen las coordenadas del punto (X, Y, Z), localizado en el sistema de referencia que se solicite.

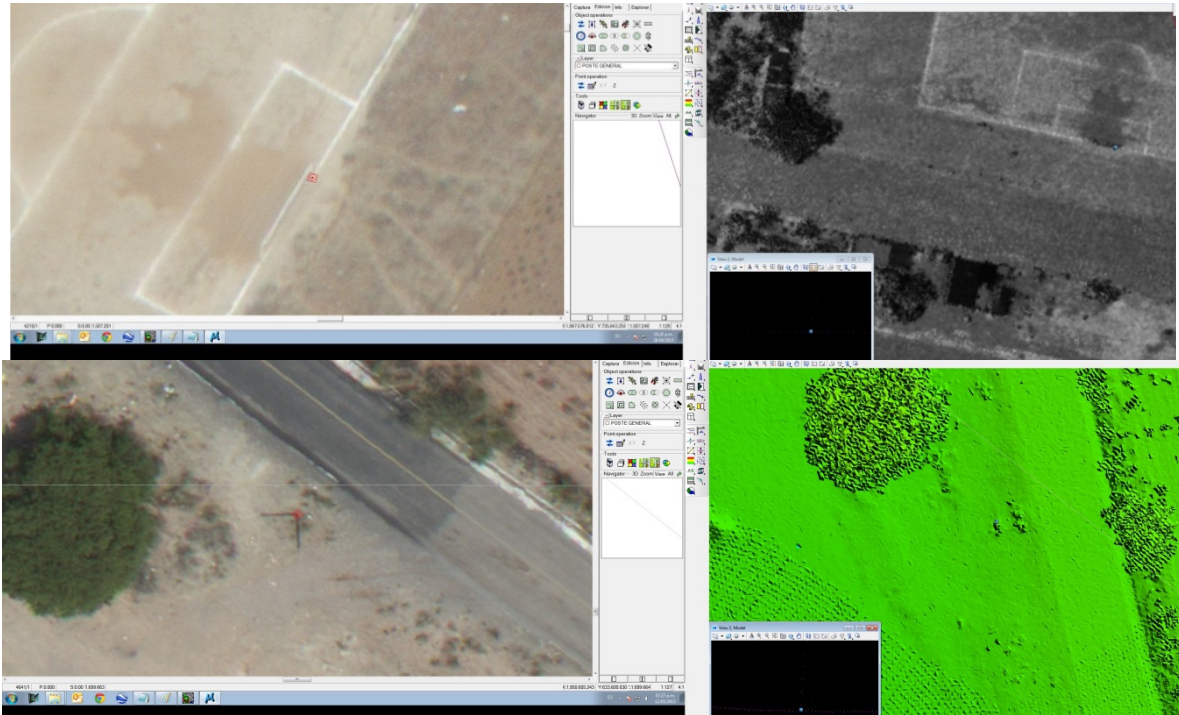


Ilustración 9: Ejemplo de puntos de control obtenidos de LiDAR (Arriba: Con imagen de intensidad, Abajo: Con surface).

Los puntos se distribuyen buscando apoyar los extremos y el centro de la imagen, así como su sobre posición con las imágenes contiguas. Después de obtener todos los puntos se iniciará la alineación de las imágenes en el programa DASCORRECT, esta vez utilizando los puntos de control LiDAR y puntos de control terrestre, estos nos sirven tanto de unión entre líneas como de geo referencia terrestre.

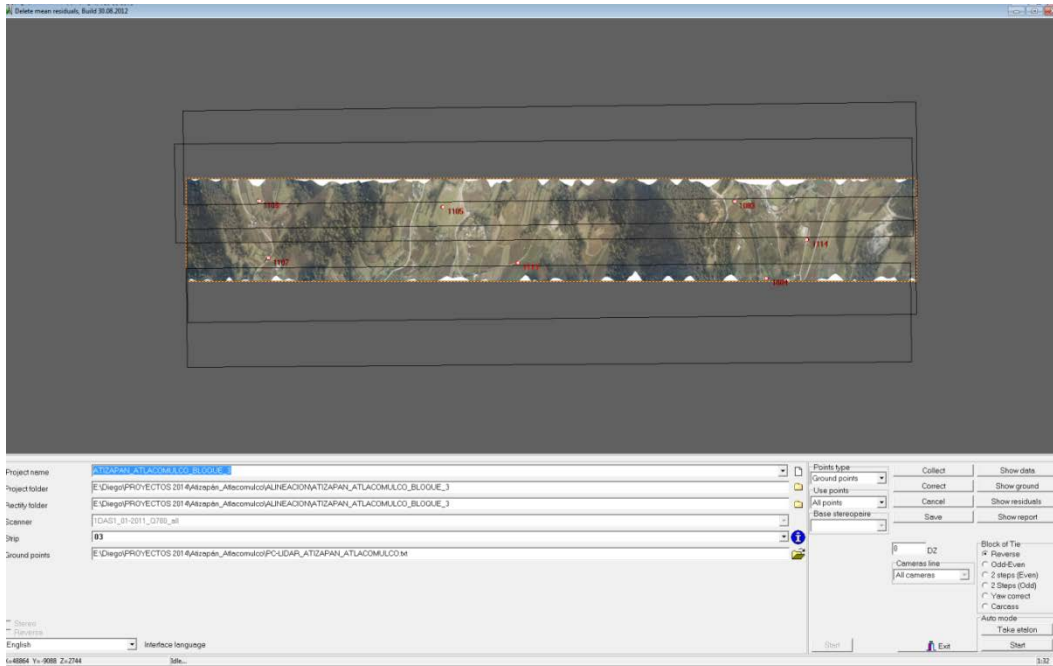


Ilustración 10: Colección de Puntos de Control LiDAR

Al igual que para la alineación de la cámara 3 DAS1, se obtienen residuales para los puntos de control, los cuales no podrán generar error mayor a las restricciones del proyecto.

Mosaico Fotogramétrico

Para la generación del mosaico fotogramétrico se utiliza el programa ImagePro de Visiontek.

De las imágenes alineadas se reestablecen los límites obteniendo un archivo *.rlx, para cada imagen. Este archivo contiene los nuevos linderos, los cuales, deben de tener una ligera sobre posición con las imágenes vecinas para así generar un mosaico fotogramétrico. A su vez, el mosaico genera la ortofoto.



Ilustración 11: Ejemplo de archivo rlx

Archivos KML

Se genera el archivo KML en Google Earth, utilizando el archivo Map.inf de cada imagen del cual se obtienen las coordenadas planimétricas 'X' y 'Y' del inicio y fin de la línea de vuelo.

Con esto y con la vista de perfil que proporciona Google Earth obtenemos la altura máxima, mínima y media del terreno. Posteriormente, se ocupa dicha altura en la rectificación de las imágenes.

El archivo KML consta de una carpeta por vuelo. Esta carpeta contiene las imágenes resultado del vuelo para su visualización.

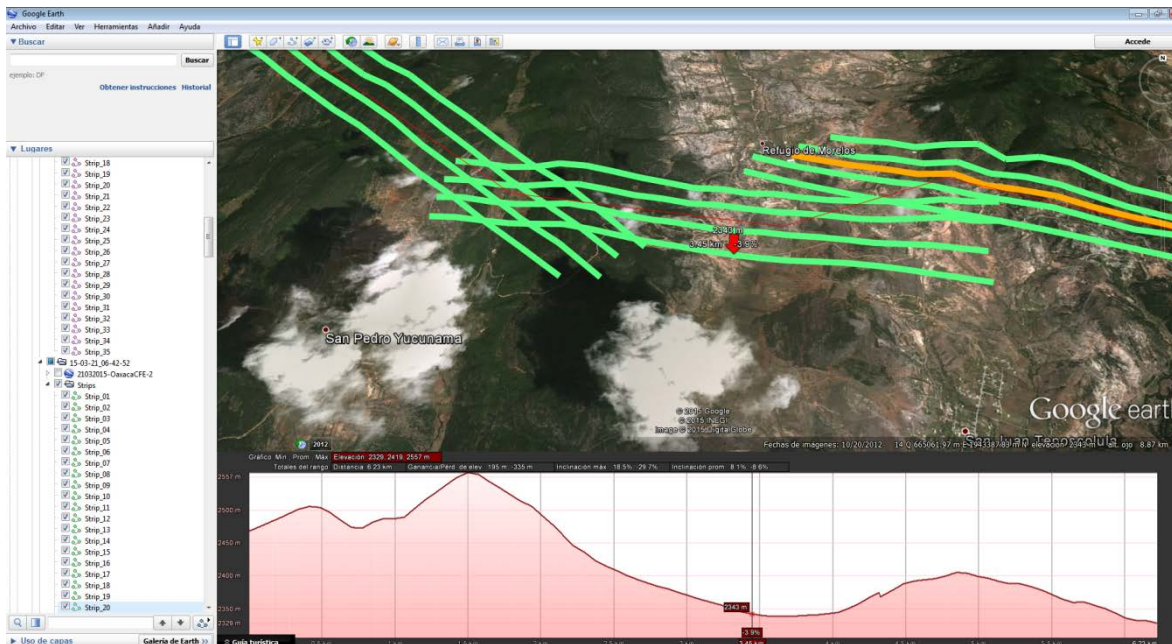


Ilustración 12: Visualización en Google Earth de las líneas de vuelos y su perfil.

Propuesta de Puntos de Control Terrestre

Cuando el apoyo terrestre se hace después del vuelo fotogramétrico, es decir, no se marcan previamente en campo los puntos de control, se deben tomar puntos de control que se observen en las imágenes obtenidas. A su vez éstas, deben encontrarse dentro del eje de proyecto; por lo que, en conjunto con el plan de vuelo, las imágenes y el archivo Kml, se proponen puntos de control para apoyo terrestre, en lugares visibles y accesibles.

Estos puntos de control se tomarán con la debida precisión en campo, para después ser utilizados en la alineación de las imágenes.

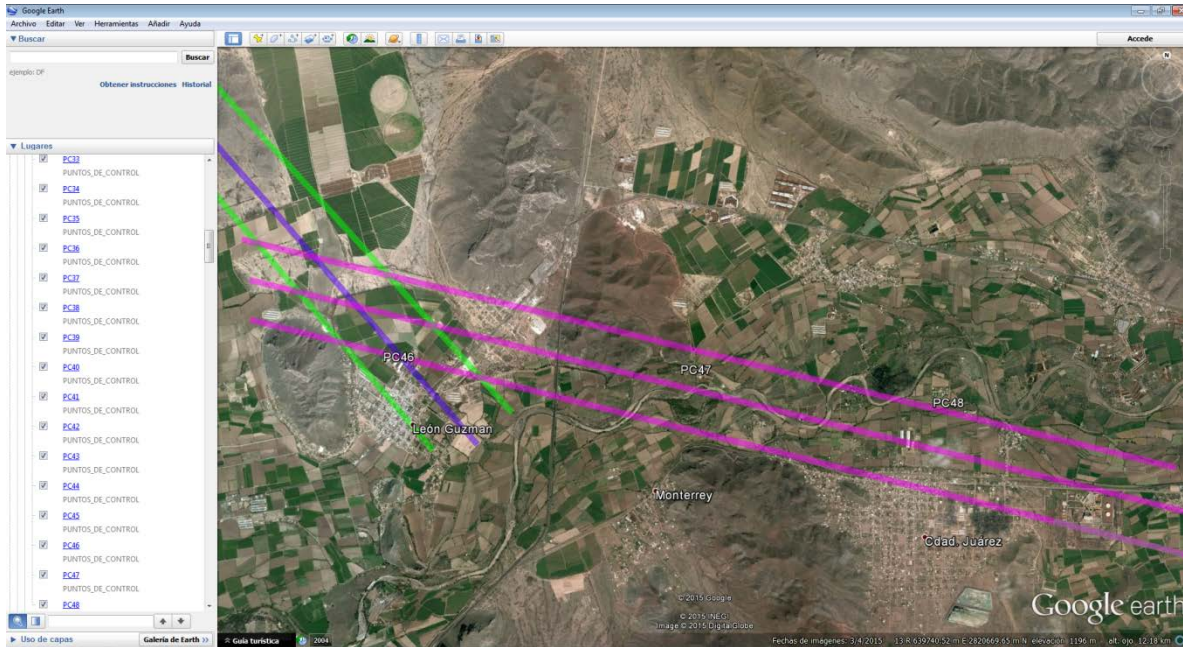


Ilustración 13: Visualización de los Puntos de Control Propuestos en Google Earth

Se genera un archivo con coordenadas previas, así como, imágenes de cada punto propuesto con el fin de que sean fácilmente encontrados en campo. Junto con estos archivos se les proporciona a los topógrafos el archivo kml con los puntos de Google Earth.



Ilustración 14: Ejemplo de punto de Control Propuesto

Restitución Fotogramétrica

La restitución fotogramétrica es la digitalización de los elementos de altimetría y planimetría de la imagen. Se genera con ayuda del programa Ged De Delta, y/o con MapMatrix de Visiontek.

La planimetría se genera con métodos de fotointerpretación. La restitución es la transformación de los datos no cartográficos en formas representativas cartográficamente. Su propósito es seleccionar y organizar la información necesaria para solucionar las necesidades de los usuarios.

La generalización comprende desde la selección, esquematización y armonización de los elementos del plano, en función de los siguientes factores: propósito y tema de su representación, escala, caracteres geográficos regionales, nivel de lectura, reglas de visibilidad y valor y precisión de los datos.

Es necesario cumplir con las siguientes reglas de generalización:

- Las dimensiones mínimas de los objetos a representar en el plano topográfico se realizan de acuerdo al GSD.
- Los objetos se representan como elementos de tipo línea, punto o polígono.
- Los elementos del mismo tipo se pueden unir si la distancia entre ellos es menor que el límite establecido para el proyecto.
- El contorno de los elementos de tipo polígono es cerrado, en excepción de casos extraordinarios.

Los rasgos planimétricos serán los siguientes:

- Hidrografía
- Caminos
- Construcciones
- Vegetación y suelo
- Líneas de transmisión eléctrica y de comunicación
- Otros elementos

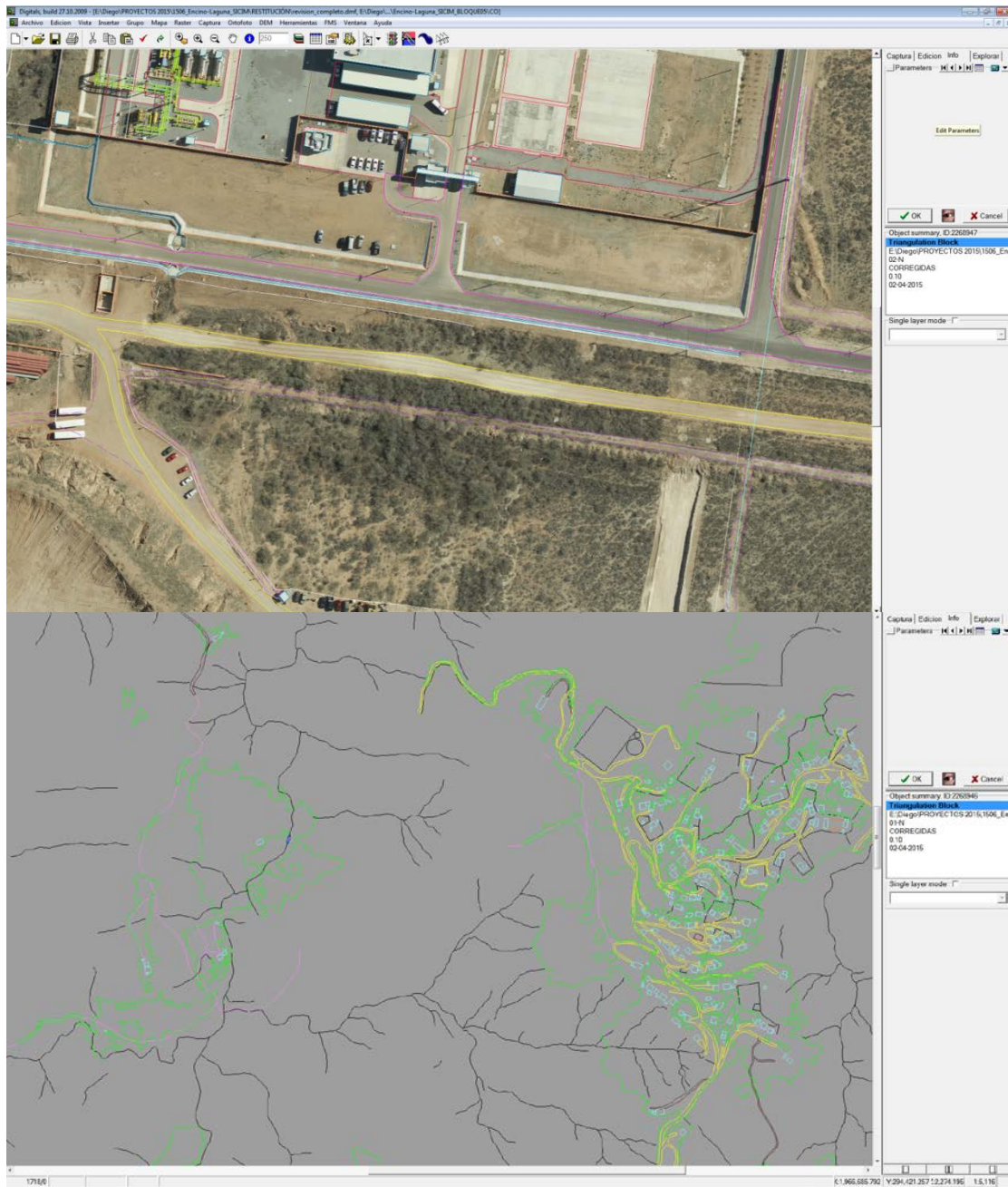


Ilustración 15: Ejemplos de Restitución de planimetría.

Para la altimetría se generarán curvas de nivel equidistantes según los criterios acordados con el cliente. Estas deben encontrarse cerradas y sin cruces. Existen 3 tipos de curvas de nivel: maestras, intermedias y auxiliares. Existen 4 curvas intermedias localizadas dentro de dos maestras. A su vez, las curvas auxiliares se separan con la mitad de distancia vertical que las anteriores, en el caso de encontrarse muy lejos entre ellas brindando una mayor precisión.

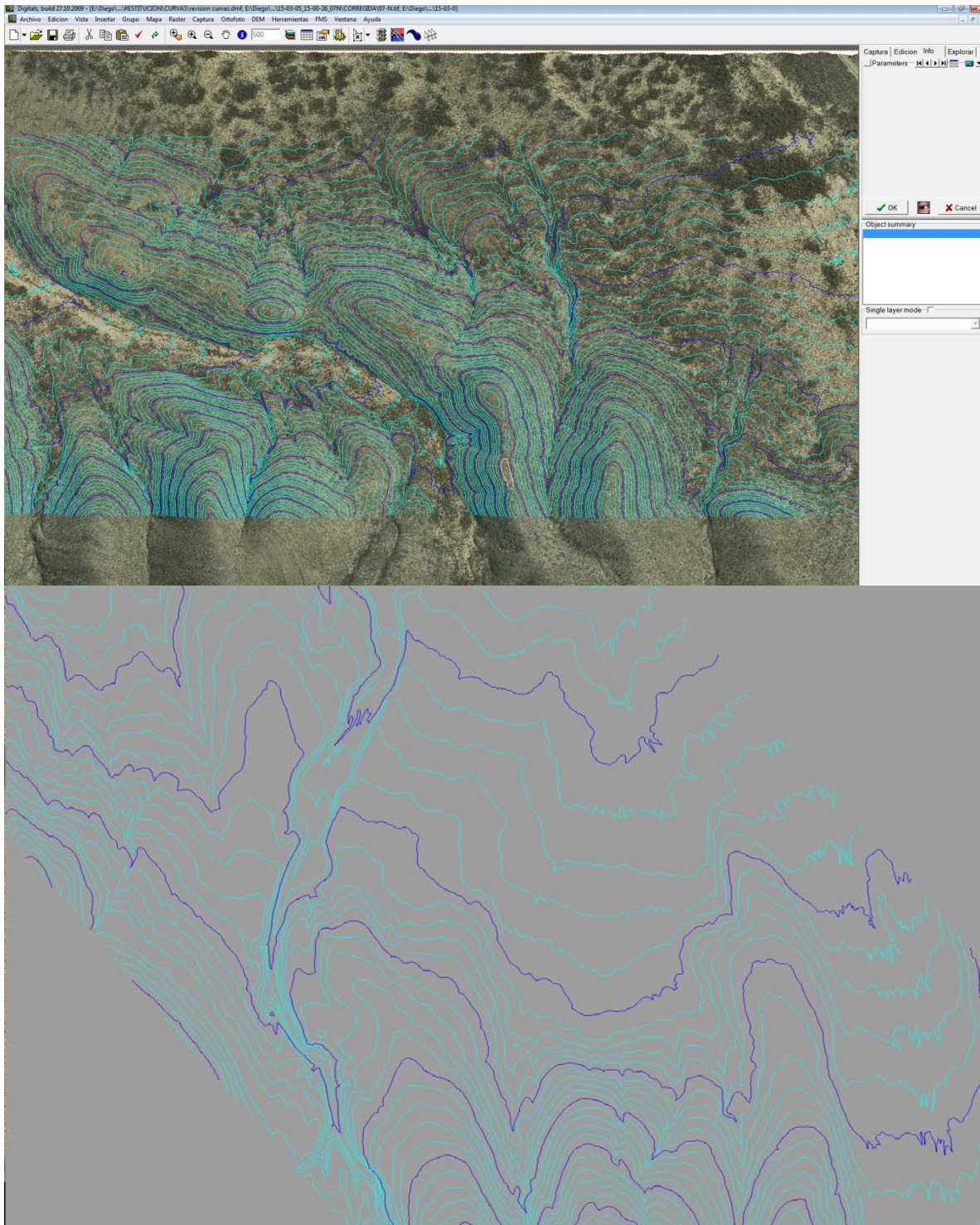


Ilustración 16: Ejemplos de Restitución de Altimetría.

Clasificación y Edición de LiDAR.

Con el programa MicroStation de Bentley y los módulos TerraScan y TerraMod se eliminan los puntos no deseados (enterrados en el terreno o fugados en el aire). Después se clasifican los puntos mediante distintos macros o “manualmente”, por medio de vistas en 3D, superficie o secciones transversales, en distintos layers según las exigencias del proyecto. Estas capas pueden ser: terreno, vegetación, vegetación baja, media y alta, cables, construcciones, torres de alta tensión, etcétera. Posteriormente, se editan los modelos para obtener curvas de nivel, DSM (Modelo Digital de Superficie), DTM (Modelo Digital de Terreno), así como, la nube de puntos clasificada y editada.

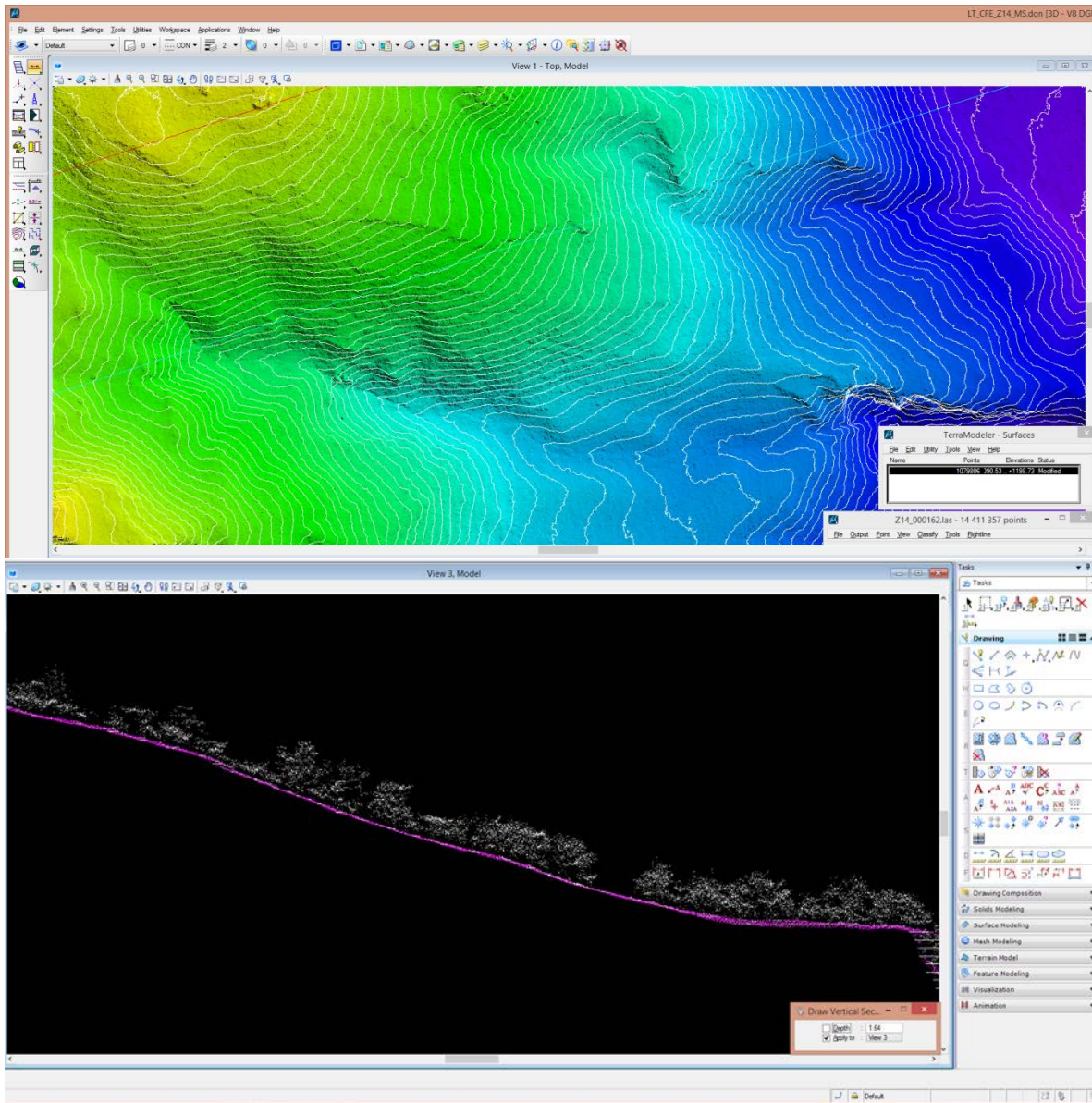


Ilustración 17: Edición de LiDAR (Arriba: Surface, Abajo: Vista de perfil de nube de puntos).

Calibración Q780 1 DAS1.

Se utiliza esta metodología de trabajo para el cálculo de la trayectoria de cada vuelo que consiste en el siguiente proceso:

1. El vuelo de calibración será complementado con otro tramo de vuelo a la misma escala que el vuelo del proyecto a una distancia aproximada de 50 km. Se establecen previamente en el terreno de dos a tres puntos de control señalados con marcas en cruz (palomas) realizadas con pintura blanca, con un ancho de al menos 2 veces el tamaño de pixel en la imagen.
2. Las coordenadas de estos puntos se determinan con mediciones estáticas con precisión muy alta que no sobrepasen un error de 2 a 3 cm. en posición y altura.

Sobre estos puntos se vuelan en forma de cruz dos líneas perpendiculares para obtener coordenadas con máxima resolución de escaneo de los dos sensores, laser y de imagen. En el momento del mismo vuelo se coloca otra base adicional para captura de datos GPS con el mismo equipo e intervalo de grabación, de la misma forma en que se encuentra en el equipo GPS de base colocado en el área del polígono de calibración. Obteniendo un control terrestre en tiempo de vuelo.

3. Se calculan tres trayectorias por cada línea de vuelo de forma independiente:

- Con base(s) GPS en el área del polígono de calibración.
- Con todas las bases que se encuentren a una distancia aproximada de 50 km.
- Sin bases a través de un programa especial.

Con esto obtenemos los parámetros necesarios para generar un nuevo archivo .cmr que contiene las especificaciones correctas de la cámara con las que se realizan los vuelos.

Los parámetros que se corrigen son:

- Distancia Focal, para cada sensor RGB.
- Número de Píxeles por línea.
- Corrección de Altitud (x, y, z).
- Level Arms de la cámara.
- Valores de distorsión Radiométrica.

Rectificación de Imágenes.

En el proceso de rectificación de imágenes utilizaremos los programas POSExtract y DASRectify. El primero procesa datos de los archivos de trayectoria de cada imagen (*.sbic), con los que obtiene las altitudes y posiciones de la toma de imagen y genera archivos *.atx. Con estos archivos y las imágenes crudas, en el programa DASRectify, se configuran parámetros de georreferenciación (Datum, zona UTM), GSD (Ground Sample Distance), archivo de cámara (.cmr), número de bits de la imagen (8 bits, Nivel digital entre 0 y 255) y la altura promedio de terreno o en su caso DEM de la zona a rectificar.

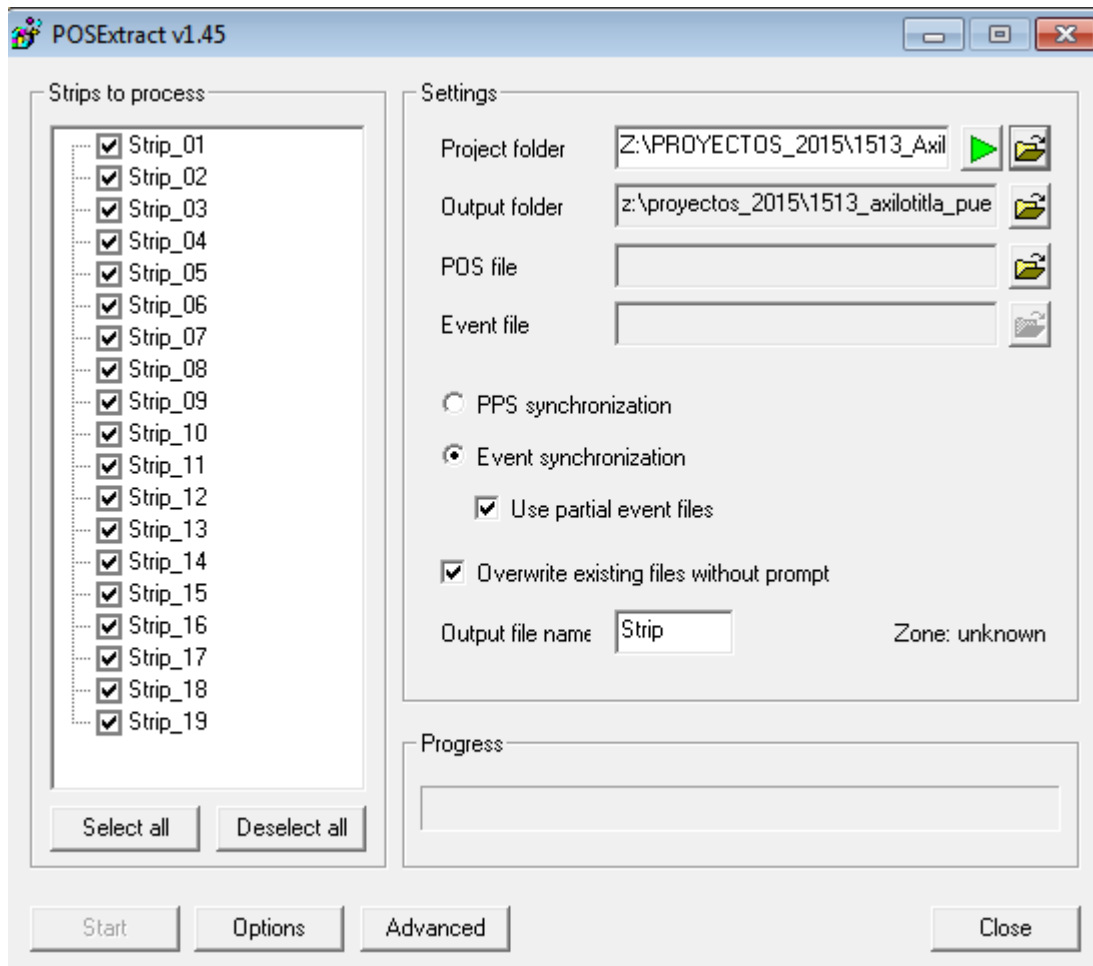


Ilustración 18: Programa POSExtract.

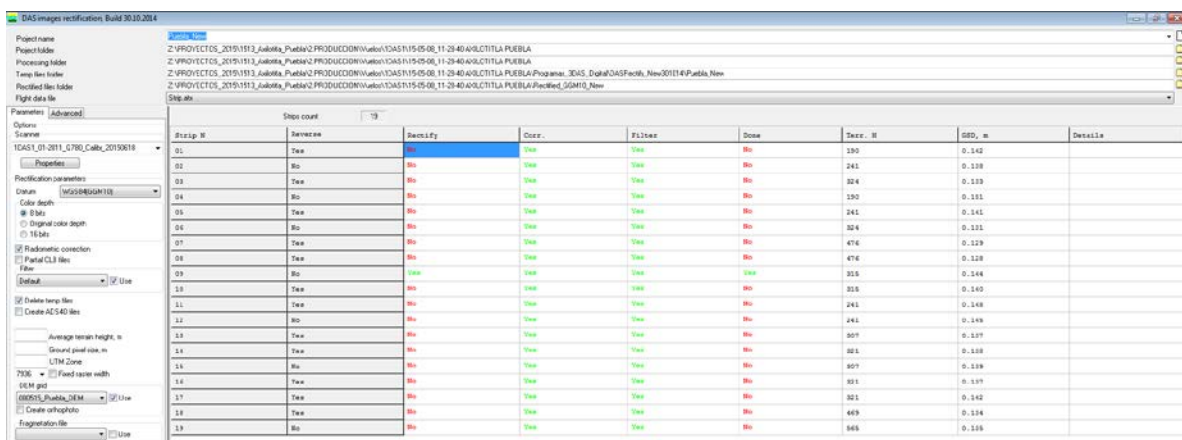


Ilustración 19: Programa DASRectify. Se observan los valores parámetros utilizados del lado izquierdo



Ilustración 20: Imagen Nadir antes (arriba) y después (abajo) de la rectificación.

ÁREAS DE APLICACIÓN

- Proyectos de ingeniería civil.
- Catastro, sistema de información geográfica.
- Planeación
- Urbanización de municipios.
- Sistema inteligente de manejo de transporte.
- Regularización del uso del suelo.
- Protección civil.

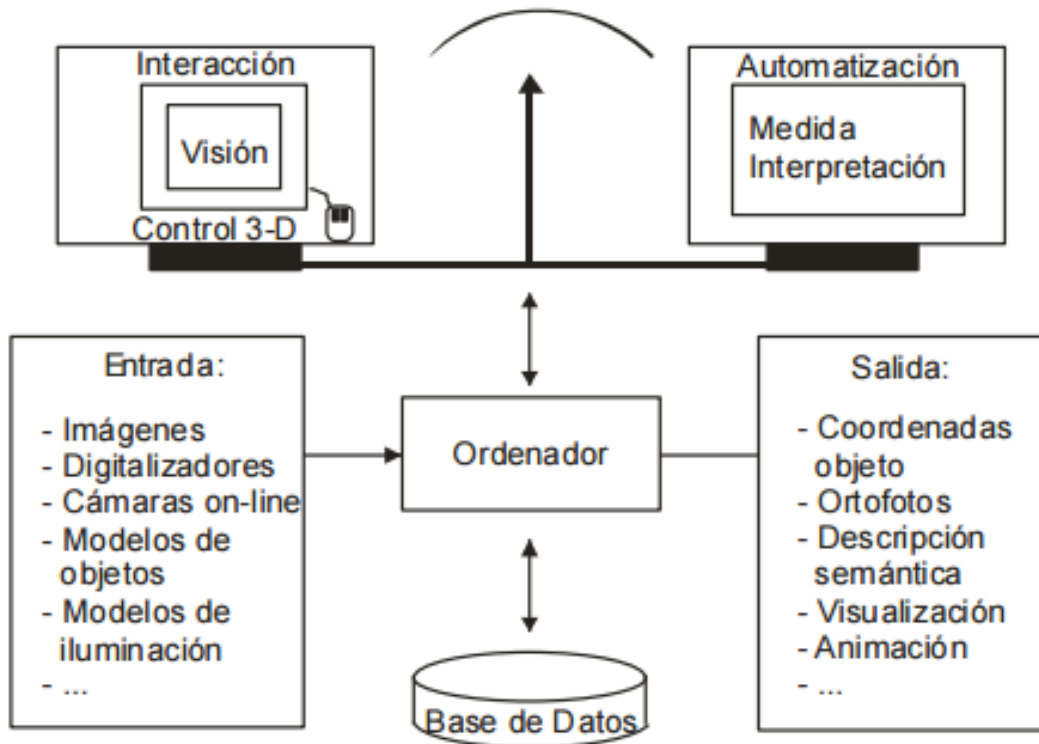


Ilustración 21. Diagrama de eficiencia de la fotogrametría

FLUJO DE TRABAJO DE LOS PROYECTOS.

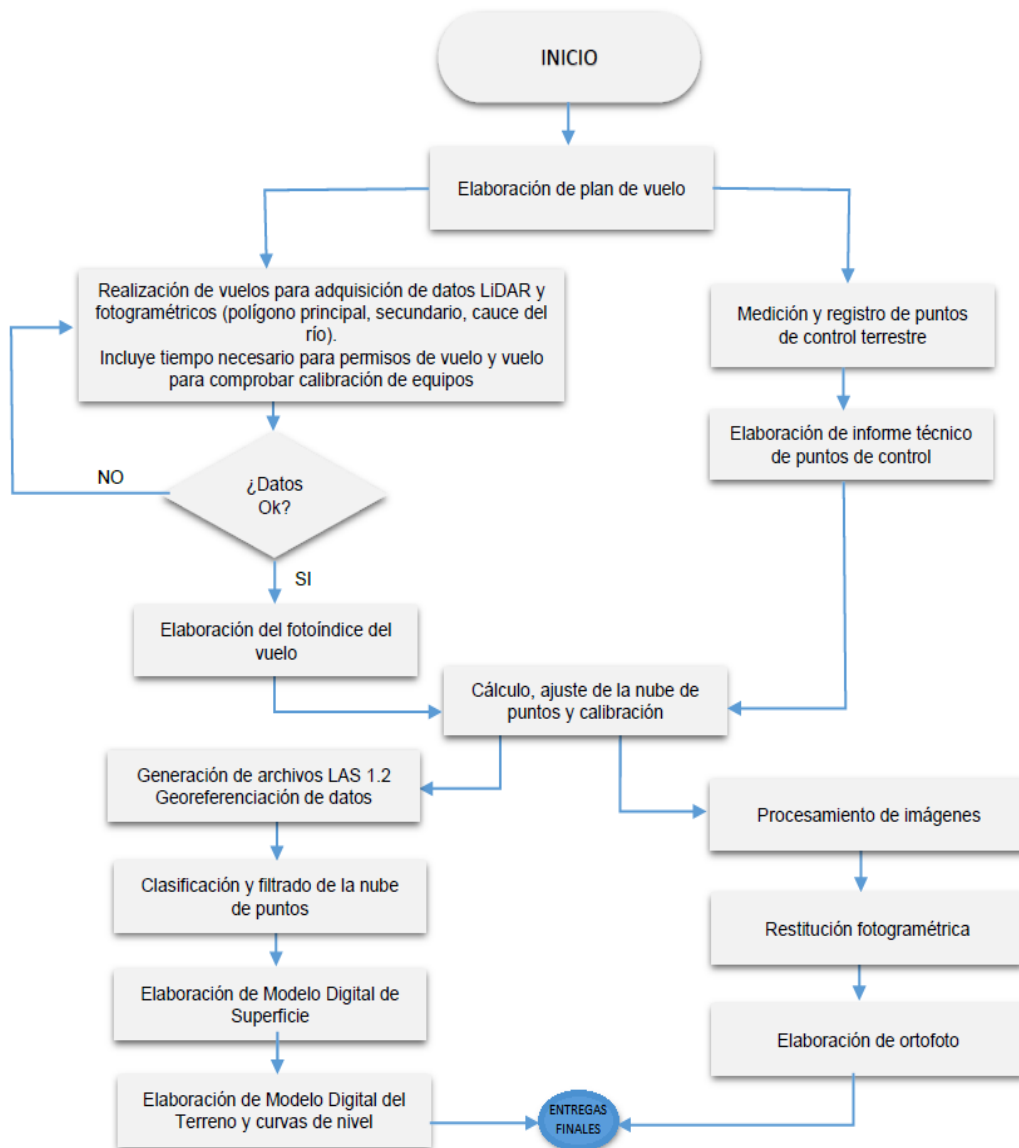


Ilustración 22. Diagrama de flujo de trabajo de SAP.

DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS.

Programas

Delta.- Programa de fotogrametría que se ocupa para rectificación, alineación y restitución fotogramétricas.

Microstation.- Programa para visualización y edición de la nube de puntos LiDAR.

Visiontek - MapMatrix.- Programa fotogramétrico para rectificación de imágenes, creación de ortofoto, pares sintéticos y restitución.

AutoCAD.- Programa CAD. programa de dibujo asistido por computadora, que se utiliza como uno de los dispositivos de salida de información, para elaborar planos en formato *.dxf y *.dwg

Google Earth.- Es un programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital, en el que se observarán las líneas de vuelo, puntos de control, elevación y tipo de terreno.

Microsoft Office.- Paquetería para procesar textos.

Hardware

Estación Fotogramétrica

La estación fotogramétrica se basa en un computador Intel-compatible, bajo el sistema operativo Windows 98/NT/2000/XP. El Programa da soporte a los modos de video 1024x768xHiColor hasta 1600x1200xTrueColor, entre otros. Trabaja con estereoscopio (régimen split-screen) y además con OpenGL estereógrafas activas (régimen page-flipping). En modo de estereoscopio provee la marca fija con imágenes en movimiento para lo cual no exige soporte del hardware. El desplazamiento por la imagen se realiza por medio de la combinación de palancas manuales, disco de pedal y/o por medio del ratón.

Programa de orientación:

- Permite la creación de catálogos de puntos de apoyo y listado de cámaras.
- Genera la orientación semi-automática del estereograma y de la imagen por separado.
- Da un control de errores y la posibilidad de corrección en cada etapa de orientación.
- Funciona con fotografías aéreas y con fotografías satelitales de proyección central y panorámica.
- Permite crear y/o renovar mapas digitales a partir de imágenes de mapas de bits, crear orto fotos, mosaicos fotogramétricos, restitución de altimetría y planimetría.



Ilustración 23. Estación Fotogramétrica

AERONAVE



Ilustración 24: AERONAVE CESSNA T206H

Especificaciones Técnicas:

Planta Motriz:	Lycoming
Peso Vacío:	1049 kg
Máximo para despegue:	1633 kg
Alcance o Autonomía:	703 nm @ 10,000'
Velocidad Crucero :	164 knots @ 75% 20,000'
Altura Máxima de vuelo:	27,000 ft
Dimensiones:	Envergadura: 36', Longitud: 28'-3", Alto: 9'-3 ½"
Equipos de Navegación:	GARMIN 1000, etc.

CAMARAS DIGITALES

Digital Camera (Airborne Scanner) 3-DAS-1 Geosystem



Características Técnicas cámara 3-DAS1

– Tecnología de barrido lineal (pushbroom).
– Tres sensores en línea RGB de Kodak 8,000 pixeles de ancho e ilimitado de largo.
– Tres lentes de alto contraste backward, forward y nadir. Vista nadir a 0 ° / Vista delantera a 26° / Vista trasera a 16°.
– Distancia Focal de 110 mm.
- Tamaño de píxel 9 micras.
– GSD de 4.5 – 36 cm.
– GSD de 10 cm a 1,210 m de altura.
– FOV (across the strip): 36°.
– Ángulos estéreo: 16°, 26° o 42°.
– Sin obturadores.
– Conectada al sistema GPS /IMU SPAN -1 SYSTEM con IMU LN 200 con doscientas actualizaciones por segundo.
– Precisiones mejores de 0.1 m con orientación directa por métodos GPS/INS diferenciales utilizando estaciones de referencia, incluyendo apoyo de campo y aerotriangulación.
– Precisiones cercanas a 0.2 m con orientación directa GPS/INS con solución de código, utilizando efemérides precisas (PPP Solution), sin apoyo de campo y sin aerotriangulación.
– Conectada a la Plataforma Estabilizadora con interface al IMU. Precisión del estabilizador 0.02°.

Especificaciones Técnicas cámara 3-DAS1

Parámetros	Valores
Altura de vuelo, m	600-6000
Ancho de franja, m	837-8370
Tamaño de pixel en terreno, GSD (Ground sample distance), cm	5.4-54
Número de canales RGB	3
Resolución Radiométrica, bit	42
Ángulos entre sensores nadir y forward, grados	22
Distancia Focal, mm	100
Field of view (across the strip), degree	75
Velocidad de línea, Hz	210-740
Requisitos de potencia	DC 28V/15A
Peso, kg	65/160

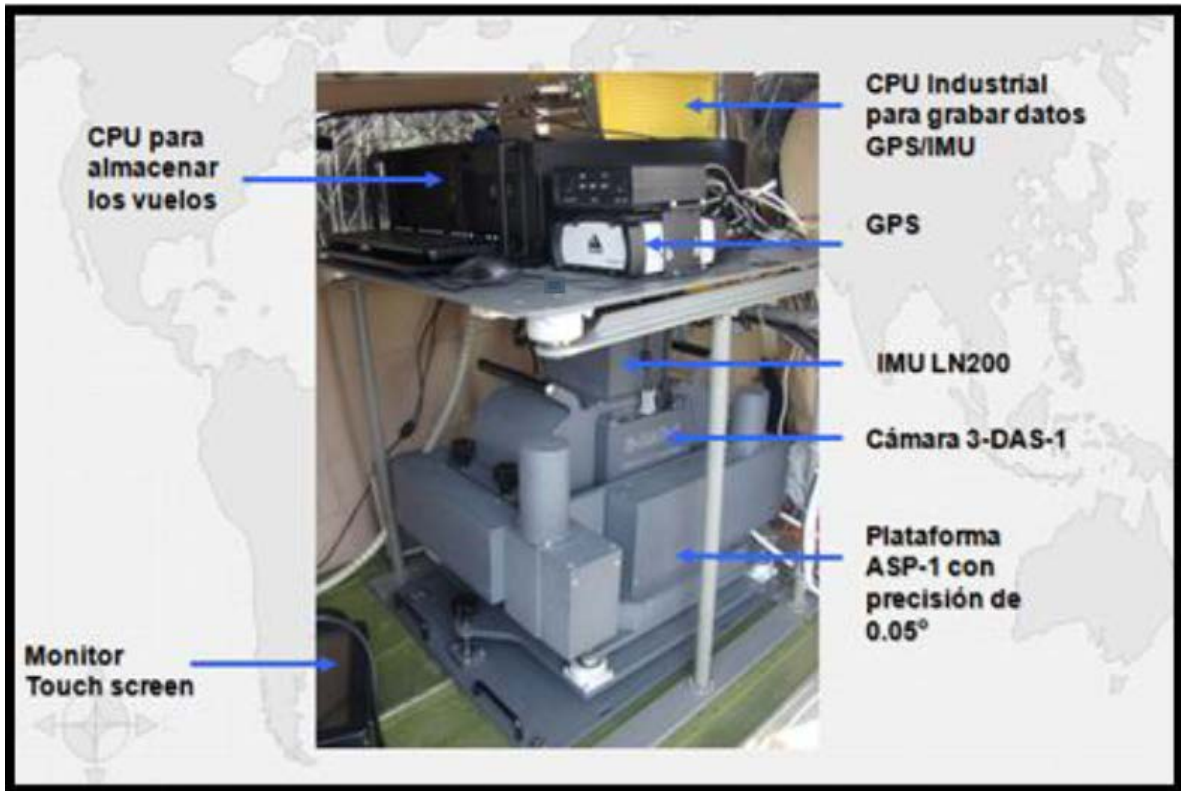


Ilustración 25. Componentes Cámara 3 DAS1

Digital Camera (Airborne Scanner) 1-DAS-1/65 Geosystem



Características Técnicas cámara 1-DAS1

– Tecnología de barrido lineal (pushbroom).
– Un sensor RGB al nadir de Kodak 8,000 pixeles de ancho e ilimitado de largo.
– Distancia Focal de 65 mm.
– Tamaño de píxel 9 micras.
– GSD de 4.5 – 45 cm.
– GSD de 10 cm a 722 m de altura.
– FOV (across the strip): 36°.
– Sin obturadores.
– Conectada al sistema GPS /IMU SPAN -1 SYSTEM con IMU LN 200 con doscientas actualizaciones por segundo.
– Conectada al LiDAR RIEGL VQ-480, para realizar los vuelos simultáneos con láser aerotransportado.

Focal Distance 65,0 mm
 CCD Pixel Size 9,0 mkm
 Number of Pixels 8000

Max Frequency 6,0 MHz
 Oversampling 10,0 %

GSD cm	Swath width m	Altitude AGL m	Max. speed km/h		GSD inch	Swath width ft	Altitude AGL ft
5,0	400	361	123		2,0	1312	1185
5,5	440	397	135		2,2	1444	1303
6,0	480	433	147		2,4	1575	1422
6,5	520	469	160		2,6	1706	1540
7,0	560	506	172		2,8	1837	1659
7,5	600	542	184		3,0	1969	1777
8,0	640	578	196		3,1	2100	1896
8,5	680	614	209		3,3	2231	2014
9,0	720	650	221		3,5	2362	2133
9,5	760	686	233		3,7	2493	2251
10,0	800	722	245		3,9	2625	2369
10,5	840	758	258		4,1	2756	2488
11,0	880	794	270		4,3	2887	2606
11,5	920	831	282		4,5	3018	2725
12,0	960	867	295		4,7	3150	2843
12,5	1000	903	307		4,9	3281	2962

Tabla 2: Parámetros de vuelo para la cámara 1-DAS1

Formatos de Entrega

- Imágenes TIFF RGB de 3 bandas.
- Imágenes de 8 o 14 bits por banda.
- Imágenes con o sin compresión.
- Imágenes con tiles.

Aplicaciones de las Cámaras Digitales

- Restitución fotogramétrica para la obtención de cartografía digital.
- Fotogrametría digital: ortofoto y ortofoto verdadera ("True Ortho").
- Reconocimiento del territorio: fotointerpretación.
- Archivos de información métrica.
- Estudios ambientales, agronómicos y forestales.
- Combinación con otros sensores de distinta tecnología: LIDAR.

LIDAR

Procedimiento de obtención de la nube de puntos

El LIDAR emite pulsos de luz láser que se propagan hasta llegar al suelo y todos los objetos sobre él, regresando un reflejo de luz al propio sistema emisor. Como resultado, el escáner registra pulsos provenientes de todos los objetos.

1. Un controlador de alta velocidad mide el intervalo de tiempo entre el envío y la recepción del pulso, calculando para cada punto, la distancia entre el avión y el suelo.
2. Se determina la posición de cada punto, al correlacionar el tiempo de cada rayo, con la información grabada por un receptor GPS (Posición del avión), una Unidad de Medición Inercial (IMU) (inclinaciones de la aeronave) y estaciones GPS terrestres.
3. Toda vez que el rayo de luz láser, se difunde al viajar al suelo, cada pulso del LIDAR se refleja en distintos objetos a la vez. Dichos reflejos son registrados y corresponden a la vegetación, las edificaciones y el suelo. Es posible entonces medir la posición de los objetos en el terreno, al obtenerse un Modelo Digital de Superficie.
4. Clasificando los puntos que se reflejaron en el terreno se obtiene un Modelo Digital de Elevación del terreno. Es posible obtener, asimismo, un modelo digital de vegetación.
5. El reconocimiento de los objetos y la codificación de los puntos se realizan con un post-procesamiento de los datos obtenidos. El cliente recibe una posición tridimensional precisa de la localización de las torres, estaciones, subestaciones, los puntos base, objetos, cruces entre otras.

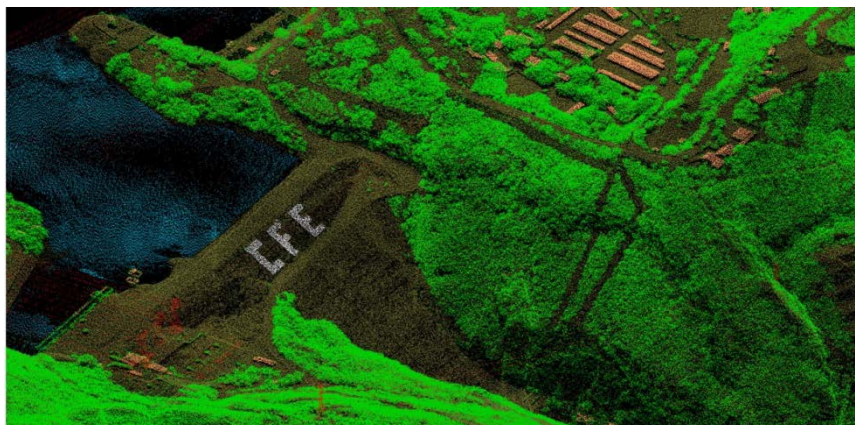
Productos asociados

Los productos principales de un levantamiento del LIDAR son:

- Nube de puntos sin clasificación
- Nube de puntos clasificada
- Modelo digital de superficie que contiene todos los objetos observados (suelo, vegetación, edificaciones, etc.)
- Modelo Digital del terreno donde está representado solo el terreno natural
- Digitalización 3D sobre la ortofoto y modelo digital del terreno
- Restitución con la estereoscopia obtenida de la nube de puntos y ortofoto

Alcances técnicos

- Catastro
- Actualización de infraestructura existente.
- Flexibilidad y mejora de seguridad.
- Actualización de líneas de alta tensión y soluciones de mantenimiento a bajo costo.
- Análisis para estudios de impacto ambiental.
- Monitoreo y control de crecimiento de vegetación.
- Análisis de vegetación.
- Construcción de nuevas líneas de transmisión y distribución.
- Cálculo de volumen en las exportaciones mineras.



PROYECTOS Y REPORTE DE ACTIVIDADES.

Durante el periodo de trabajo profesional dentro de la empresa Sistemas Avanzados y Proyectos, he participado en los proyectos enumerados a continuación con las actividades mencionadas:

1. *DURANGO. CONAGUA*: Realicé la alineación de un bloque con 2 imágenes de cámara 1 DAS, utilizando 6 puntos de control LiDAR y 6 puntos de control terrestre.
2. *LOS RAMONES NORTE. TECHINT*. Analicé las imágenes 3 DAS a procesar, realicé la alineación de 2 bloques de 5 y 8 imágenes respectivamente, utilizando los tres sensores, Nadir, Backward y Forward. Obtuve 40 puntos de control LiDAR.
3. *LOS RAMONES SUR. ICA*. Analicé las imágenes 1 DAS a procesar, realicé la alineación de 5 bloques de 7,6,5,7 y 2 imágenes respectivamente. Obtuve 168 puntos de control LiDAR, además de utilizar 6 puntos de control terrestre. Generé archivos *.rlx para ortofoto.
4. *VALLECITOS GUERRERO. SCT*. Analicé las imágenes 3 DAS y 1 DAS a procesar, realicé la alineación de 3 bloques de 3,6 y 6 imágenes respectivamente. Obtuve 61 puntos de control LiDAR, además de utilizar 15 puntos de control terrestre. Revisé la restitución de planimetría.
5. *PUERTO TUXPAN. SCT*. Analicé las imágenes 3 DAS a procesar, realicé la alineación de 2 bloques de 51 y 9 imágenes respectivamente, utilizando los tres sensores, Nadir, Backward y Forward. Utilicé 29 puntos de control terrestre y 244 puntos de paso o tie points. Generé archivos *.rlx para ortofoto, revisé restitución de planimetría.
6. *GRAN CANAL – LÍNEA 4. STCM*. Análisis de imágenes 1 DAS a procesar, alineación de 5 bloques de 3,3,2,2 y 2 imágenes, además de 16 imágenes independientes con 124 puntos de control LiDAR obtenidos y 25 puntos de control terrestre. Revisión de restitución de planimetría.
7. *GEOAMBIENTE: CFE*. Análisis de imágenes 1 DAS a procesar, alineación de 28 bloques, 77 imágenes, utilizando 227 puntos de control LiDAR y 22 puntos de control terrestre.
8. *ATIZAPÁN-ATLACOMULCO*. Análisis de imágenes 1 DAS a procesar, alineación de 5 bloques de 10,9,7,6 y 2 imágenes, además de 12 imágenes independientes con 34 puntos de control LiDAR y 6 puntos de control terrestre. Revisión de planimetría.
9. *POLANCO. SCT*. Análisis de imágenes a procesar, y alineación de 1 bloque con 12 imágenes 1 DAS, obteniendo y utilizando 37 puntos de control LiDAR.
10. *INDIOS VERDES. SCT*. Análisis de imágenes a procesar, y alineación de 1 bloque con 8 imágenes 1 DAS, utilizando 23 puntos de control LiDAR y 3 puntos de control terrestre.
11. *GUERRERO. UNAM*. Análisis de imágenes a procesar, y alineación de 1 bloque con 12 imágenes 1 DAS, obteniendo y utilizando 29 puntos de control LiDAR, Supervisión de alineación y edición de LiDAR en 3 km².
12. *OAXACA. CFE*. Análisis de imágenes a procesar, y supervisión de alineación de y alineación de 41 bloques, 215 imágenes 1 DAS, utilizando 407 puntos de control LiDAR y 150 puntos de control terrestre. Revisión de altimetría y planimetría.
13. *ENCINO-LAGUNA. SICIM*. Análisis de las imágenes 3 DAS a procesar, realicé la alineación de 5 bloques de 3,3,3,2 y 2 imágenes respectivamente, además de 39 imágenes independientes, utilizando los tres sensores, Nadir, Backward y Forward. Propuse 50 puntos de control terrestre, que posteriormente fueron utilizados para la alineación, revisé restitución de planimetría y altimetría de 600km².
14. *AXILOTITLA*. Análisis de 50 imágenes a utilizar, supervisión de alineación. Revisión de restitución en planimetría.

15. *USUMACINTA. CFE.* Rectificación de 482 imágenes 1 DAS y 62 imágenes 3 DAS. Alineación de 18 bloques 1 DAS y 5 bloques de imágenes 3 DAS.

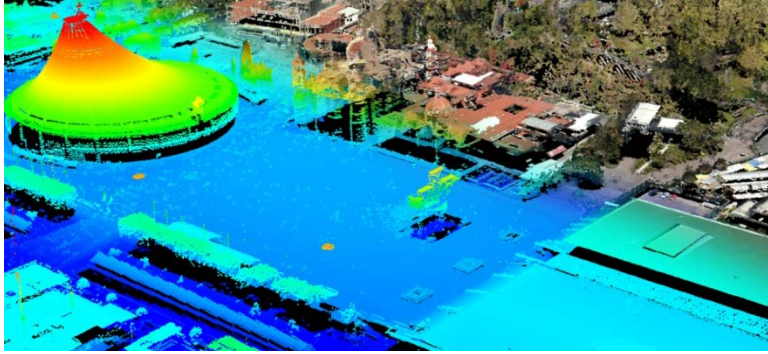


Ilustración 26: Puntos LiDAR con color según su elevación y con color tomado de la imagen.

CONCLUSIONES

Se cumplieron los objetivos de entregar imágenes rectificadas, alineadas y con la precisión requerida en tiempo y forma.

Además, he logrado aplicar varios de mis estudios profesionales de **fotogrametría, geodesia, percepción remota, y Sistemas de Información Geográfica** durante el periodo de experiencia profesional. Además he obtenido nuevos conocimientos, a la vez que he generado habilidades dentro de mi carrera profesional. El periodo de trabajo me deja muy satisfecho con mi formación académica, ya que sé que me puedo desempeñar en labores profesionales con las bases adecuadas, teniendo siempre en cuenta los valores que se me han inculcado de **respeto, responsabilidad y ética profesional**, los que me permiten seguir creciendo profesional y personalmente.

Conocí las diversas áreas que ocupan la fotogrametría, además del alcance que tienen los proyectos generados a través de esta, así como los beneficios de utilizar los productos de LiDAR combinados con el uso de imágenes, permitiendo mejorar precisión y obtener más detalles del terreno estudiado.

He reforzado la idea de que mi verdadera vocación la encontré en la Ingeniería Geomática. Debido a esto sé que nunca dejaré de actualizarme en el conocimiento, las técnicas y herramientas que se requieren para ser un buen Ingeniero Geomático.



Ilustración 27: Imagen 1 DAS1 del proyecto Usumacinta.

ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Ilustración 1: Diagramas de reflexión y refracción</i>	11
<i>Ilustración 21. Diagrama de la altura de vuelo</i>	14
<i>Ilustración 3: Elementos que intervienen en un vuelo fotogramétrico</i>	14
<i>Ilustración 4: Ubicación de puntos Tie y Puntos de Control en el Programa DASCorrect.</i>	21
<i>Ilustración 5: Tabla con Residuales de Puntos de Pase.</i>	21
<i>Ilustración 6: Ejemplo de la ubicación de Puntos de Pase (Negro, círculos pequeños) y Puntos de Control Terrestre (Rojo, círculos grandes).</i>	22
<i>Ilustración 7: Tabla de Parámetros de Precisión para la cámara 3DAS1. Escala, Altura del vuelo en metros, GSD tamaño de pixel en el terreno (Ground Sampling Distance) en cm, Swath width (ancho de la imagen), Velocidad máxima del vuelo, precisión requerida, precisión en z.</i>	22
<i>Ilustración 8: Tabla de residuales para los Puntos de Control Terrestres</i>	23
<i>Ilustración 9: Ejemplo de puntos de control obtenidos de LiDAR (Arriba: Con imagen de intensidad, Abajo: Con surface).</i>	24
<i>Ilustración 10: Colección de Puntos de Control LiDAR</i>	25
<i>Ilustración 11: Ejemplo de archivo rlx</i>	26
<i>Ilustración 12: Visualización en Google Earth de las líneas de vuelos y su perfil.</i>	27
<i>Ilustración 13: Visualización de los Puntos de Control Propuestos en Google Earth</i>	28
<i>Ilustración 14: Ejemplo de punto de Control Propuesto</i>	28
<i>Ilustración 15: Ejemplos de Restitución de planimetría.</i>	30
<i>Ilustración 16: Ejemplos de Restitución de Altimetría.</i>	31
<i>Ilustración 17: Edición de LiDAR (Arriba: Surface, Abajo: Vista de perfil de nube de puntos).</i>	32
<i>Ilustración 18: Programa POSExtract.</i>	34
<i>Ilustración 19: Programa DASRectify. Se observan los valores parámetros utilizados del lado izquierdo</i>	34
<i>Ilustración 20: Imagen Nadir antes (arriba) y después (abajo) de la rectificación.</i>	35
<i>Ilustración 21. Diagrama de eficiencia de la fotogrametría</i>	36
<i>Ilustración 22. Diagrama de flujo de trabajo de SAP.</i>	37
<i>Ilustración 23. Estación Fotogramétrica</i>	39
<i>Ilustración 24: AERONAVE CESSNA T206H</i>	40
<i>Ilustración 25. Componentes Cámara 3 DAS1</i>	42
<i>Ilustración 26: Puntos LiDAR con color según su elevación y con color tomado de la imagen.</i>	47
<i>Ilustración 27: Imagen 1 DAS1 del proyecto Usumacinta.</i>	47

GLOSARIO

Estereoscopía: Es el resultado natural de la visión binocular. Las imágenes que se perciben con el ojo derecho y con el ojo izquierdo son ligeramente distintas entre sí debido al ángulo de separación entre los ojos. El cerebro se encarga de integrarlas automáticamente y de calcular la profundidad de la imagen observada con la consiguiente percepción del relieve.

Estereoscopía sintética: La estereoscopía sintética es la técnica por la cual se obtiene una imagen 3D estereoscópica combinando un Modelo Digital del Terreno (MDT) y una imagen con 2D.

Fotogrametría: ciencia o arte de obtener medidas reales de objetos, con base en las fotografías a fin de determinar características métricas y geométricas de estos, para la elaboración de mapas topográficos.

Fotogrametría digital: el arte, ciencia y técnica de obtener información fiable sobre los objetos físicos y su entorno mediante el proceso de registro, medida e interpretación de imágenes en formato digital.

Fotointerpretación: más que una ciencia, puede ser considerada como la técnica o arte apropiada de examinar imágenes fotográficas de un área u otros elementos, con el propósito de identificar diferentes componentes captados, que se encontraban sobre la superficie al momento de fotografiarla y que pueden suministrar información de interés para ingenieros civiles, forestales, agroforestales, agrónomos, geólogos, etc.

Georreferenciación: es el proceso en el que se ubica un objeto en el espacio tridimensional con respecto a la tierra utilizando un sistema de coordenadas y un DATUM determinado, con el fin de establecer las relaciones entre las imágenes y un sistema de coordenadas.

GSD: Ground Sample Distance o Ground Surfel (surface x element) Distance, es el tamaño de píxel proyectado sobre el terreno, depende del tamaño de la digitalización y de la escala de la imagen.

Imagen digital: es una representación bidimensional de una imagen utilizando bits (unos y ceros). Dependiendo de si la resolución de la imagen es estática o dinámica, puede tratarse de un gráfico rasterizado o de un gráfico vectorial.

LiDAR: (un acrónimo del inglés Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada por el objeto.

Orientación Interna: consiste en reproducir el haz perspectivo de rayos definidos por los puntos imagen y el centro de proyección; para lo cual resulta indispensable conocer los datos de calibración de la cámara aérea empleada en la toma de la fotografía como son: distancia focal, marcas fiduciales y distorsión.

Orientación Relativa: es reconstruir el modelo estereoscópico en la misma posición relativa que tenían cuando se realizó la toma fotográfica, para lo cual será preciso que los pares de rayos homólogos del par estereoscópico se intersecten en el espacio.

Orientación Absoluta: la última operación de reconstrucción es el nivelado, escalado (ampliación o reducción entre la escala de la fotografía y la de su proyección) y traslación en el modelo estereoscópico.

Ortofotos digitales: fotografías rectificadas, corregidas geoméricamente y radiométricamente, y con geo-referencia

Punto de Control: El punto de control (PC) es un punto con coordenadas XYZ conocidas, u obtenidas mediante métodos de medición precisos y directos en campo, el punto de control se utiliza para hacer un control de error del modelo estereoscópico generado.

REFERENCIAS BIBLIOHEMEROGRÁFICAS

www.sap.mx

<https://support.google.com/earth/answer/148118?hl=es-419> 14-01-15

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/LiDAR.aspx> (por usarse)

http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/Conf_lbero/doc/ET1_25_ARELLANO.pdf

<http://www.vingeo.com/index.html>

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1098/Tesis.pdf?sequence=1>

http://coello.ujaen.es/Asignaturas/fotodigital/descargas/FD_tema1.pdf

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201722/FOTOINTERPRETACION_eXe_2011/unidad_1_definicion_y_objeto_de_la_fotointerpretacion.html

http://unvirtual.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/2611/mod_resource/content/1/libro_fotogrametria_parte1.pdf

<http://www.rcg.cat/articles.php?id=281>

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/ortofoto/>

http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA_11_FOTOGAMETRIA_Y_TELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria_cap_libro.pdf

<http://www.fotosuy.com/index.php/productos-y-servicios/fotogrametria>

<http://www.bdigital.unal.edu.co/12562/6/70074527.2003.pdf>