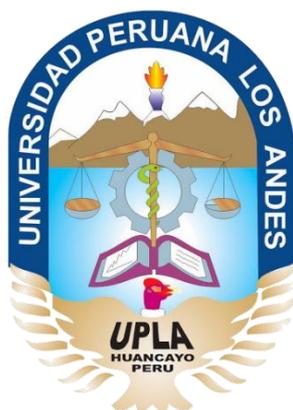


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“PRECISIÓN DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON
VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS Y ESTACIÓN TOTAL
EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA – 2016”**

Líneas de Investigación Institucional:
Transporte Urbanismo

Líneas de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil:
Transportes

PRESENTADO POR:

Bach. LAPA ZÁRATE, CARLOS LUIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO (A) CIVIL

HUANCAYO – PERÚ

2019

Ing. ERNESTO WILLY GARCÍA POMA
ASESOR

DEDICATORIA:

A Dios, por todas las enseñanzas que me da en vida, y a mis padres, por su apoyo incondicional que me brindaron durante mis estudios, para verme un profesional al servicio de la sociedad.

Carlos Luis Lapa Zarate.

Agradecimiento.

- A Dios, por iluminarme siempre el camino del bien, la responsabilidad y el triunfo como persona humana.
- A mis dilectos catedráticos de mi Alma Mater, por sus sabias enseñanzas a través de sus exposiciones y ejemplos de no claudicar jamás.
- Al distinguido Ing. Jorge Mendoza Dueñas, por su orientación en la presente tesis y por la amistad que ambos hemos cultivado.
- A mis colegas por haber comprendido que el trabajo en equipo es contundente cuando se fija una meta en la vida.

EL autor.

**HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO DE
SUSTENTACIÓN DE TESIS**

DR. CASIO AURELIO TORRES LÓPEZ
Presidente

ING. RANDO PORRAS OLARTE
JURADO REVISOR

ING. CHRISTIAN MALLAUPOMA REYES
JURADO REVISOR

ING. NATALY LUCIA CORDOVA ZORRILLA
JURADO REVISOR

MG. MIGUEL ÁNGEL CARLOS CANALES
SECRETARIO DOCENTE

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. <i>Problema general</i>	2
1.2.2. <i>Problemas específicos</i>	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.3.1. <i>Práctica</i>	3
1.3.2. <i>Teórica</i>	3
1.3.3. <i>Metodológica</i>	4
1.4. DELIMITACIONES	4
1.4.1. <i>Espacial</i>	4
1.4.2. <i>Temporal</i>	5
1.4.3. <i>Económica</i>	5
1.4.4. <i>Cuantitativa</i>	5
1.5. LIMITACIONES	6
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.6.1. <i>Objetivo general</i>	6
1.6.2. <i>Objetivos Específicos</i>	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. ANTECEDENTES	8
2.1.1. <i>A nivel local</i>	8
2.1.2. <i>A Nivel nacional</i>	8
2.1.3. <i>A nivel internacional</i>	12
2.2. MARCO CONCEPTUAL	15
2.2.1. <i>Topografía</i>	15
2.2.1.1. <i>Levantamientos terrestres</i>	18
2.2.1.2. <i>Levantamientos aéreos</i>	21
2.2.2. <i>Fotogrametría</i>	21

2.2.2.1.	<i>Tipos de fotografías aéreas</i>	21
2.2.2.1.1.	<i>Aerofotos verticales</i>	22
2.2.2.2.	<i>Principales componentes de fotogrametría aérea</i>	24
2.2.2.2.1.	<i>El vehículo aéreo</i>	24
2.2.2.2.2.	<i>Cámaras aerofotografías</i>	27
2.2.2.2.3.	<i>La película fotográfica</i>	28
2.2.2.3.	<i>Proceso metodológico de la fotogrametría aérea</i>	31
2.2.2.3.1.	<i>Planeamiento</i>	31
2.2.2.3.1.1.	<i>Características de la fotografía</i>	31
2.2.2.3.1.2.	<i>Errores en la formación métrica de la fotografía</i>	32
2.2.2.3.1.3.	<i>Paso de las coordenadas del comparador al terreno</i>	34
2.2.2.3.1.4.	<i>Escala de la fotografía y escala de la cartografía</i>	35
2.2.2.3.1.5.	<i>Pasadas y recubrimientos fotogramétricos</i>	39
2.2.2.3.2.	<i>Trabajo de campo</i>	41
2.2.2.3.2.1.	<i>Control de tierra para la fotogrametría</i>	41
2.2.2.3.3.	<i>Trabajo de gabinete</i>	44
2.2.2.3.4.	<i>Ortofotos</i>	72
2.2.3.	<i>La interpretación de las fotografías aéreas</i>	73
2.2.4.	<i>Aplicaciones de la fotogrametría</i>	77
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	78
2.4.	HIPÓTESIS	86
2.4.1.	<i>Hipótesis general</i>	86
2.4.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	86
2.5.	VARIABLES	86
2.5.1.	<i>Definición conceptual de la variable</i>	86
2.5.2.	<i>Definición operacional de la variable</i>	87
2.5.3.	<i>Operacionalización de las variables</i>	88
	CAPITULO III	90
	METODOLOGÍA	90
3.1.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	90
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	90
3.3.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	91
3.4.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	91
3.5.	POBLACIÓN Y MUESTRA	91
3.5.1.	<i>Población</i>	91
3.5.2.	<i>Muestra</i>	92
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE DATOS	92
3.6.1.	<i>Técnicas</i>	92
3.6.2.	<i>Instrumentos</i>	93
3.7.	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	94

3.8. TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE DATOS	94
3.8.1. <i>Técnicas</i>	94
3.8.2. <i>Análisis de datos</i>	95
CAPITULO IV	96
RESULTADOS	96
4.1. RESULTADOS	96
4.2. CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS.....	123
4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	125
4.3.1. <i>Comprobación de la hipótesis general</i>	125
4.3.2. <i>Comprobación de las hipótesis específicas</i>	127
CAPITULO V	131
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	131
5.1. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	131
CONCLUSIONES	133
RECOMENDACIONES	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137
ANEXOS	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación entre el tipo de cámara y la altura de vuelo	37
Tabla 2: Relación de escala cartográfica con la escala fotográfica	38
Tabla 3: Medida de lado de marcas artificiales cuadradas.....	43
Tabla 4: Relación de distancia entre ojos-objeto y diferencial de distancia.	46
Tabla 5: Definición conceptual de las variables	86
Tabla 6: Operacionalización de las variables.....	87
Tabla 7: Operacionalización de las variables en estudio	88
Tabla 8: Puntos de control con RTK GPS.....	96
Tabla 9: Puntos de control con UAV	97
Tabla 10: Distancia entre puntos de control entre GPS y UAV	99
Tabla 11: Puntos de estructuras con Estación Total	100
Tabla 12: Puntos de estructuras con UAV	104
Tabla 13: Distancia de puntos de estructuras entre ET Y UAV	108
Tabla 14: Estructura de costos y tiempo - con UAV.....	113
Tabla 15: Estructura de costos y tiempo - con Estación Total.....	114
Tabla 16: Diferencial de áreas y perímetros con Estación Total y UAV	115
Tabla 17: Diferencial de costo por áreas con Estación Total y UAV	117
Tabla 18: Diferencial de tiempo por áreas con Estación Total y UAV	119
Tabla 19: Diferencial cantidad puntos de levantamiento topográfico con Estación Total vs UAV	121
Tabla 20: Reporte de errores de puntos de control con el software Agisoft PhotoScan	122
Tabla 21: Tolerancias para trabajos de levantamientos topográficos, replanteos y estacado en construcción de carreteras	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Delimitación Espacial del área de estudio.	5
Figura 2: Datos técnicos estación total Topcon, modelo GTS-235.	19
Figura 3: Datos técnicos estación total Leica, modelo TPS-403.	20
Figura 4: Datos técnicos estación total robótica Topcon, GPT-8201.	20
Figura 5: Relación geométrica en una aerofoto vertical.	23
Figura 6: (a) Superposición longitudinal (b) superposición lateral.	24
Figura 7: Cámara aerofotográfica con visor y controles electrónicos.	28
Figura 8: Estructura de un soporte fotogramétrico.	30
Figura 9: Monocomparador.	32
Figura 10: Desplazamiento de un objeto en una fotografía vertical.	35
Figura 11: Distintas escalas de vuelo dependiendo de la topografía.	36
Figura 12: Direcciones de las pasadas fotogramétricas.	39
Figura 13: Configuración de los recubrimientos.	40
Figura 14: Puntos de apoyo en el modelo fotográfico.	43
Figura 15: Distancia mínima para tener percepción del relieve.	45
Figura 16: La visión estereoscópica y el efecto pseudoscópico.	47
Figura 17: Estereoscopio de refracción.	48
Figura 18: Estereoscopio de espejos.	49
Figura 19: Antes y después corregir la paralaje vertical, visto a través de los oculares del estereoscopio.	51
Figura 20: Paralaje estereográfica.	52
Figura 21: Medición de la paralaje de un punto.	54
Figura 22: Sistema gráfico para la determinación de las ecuaciones de la paralaje.	55
Figura 23: Diferencia entre el punto principal y el obtenido por intersección de las marcas fiduciales.	60
Figura 24: Curvas de distorsión correspondientes a la media de las cuatro semidiagonales de una cámara.	61
Figura 25: Efecto de la distorsión.	62
Figura 26: Desplazamientos de δy y δr , debidos a la esfericidad terrestre y refracción atmosférica.	63
Figura 27: Condición de colinealidad.	65

Figura 28: Ubicación de los pantos Gruber en la zona de recubrimiento....	68
Figura 29: Condición de coplaneidad.	69
Figura 30: Puntos de control con RTK GPS.	97
Figura 31: Puntos de control con UAV.	98
Figura 32: Distancia entre puntos de control entre GPS Y UAV.	100
Figura 33: Puntos de estructuras con Estación Total.	103
Figura 34: Puntos de estructuras con UAV.	107
Figura 35: Distancia de puntos de estructuras entre ET Y UAV.	112
Figura 36: Diferencial de áreas con Estación Total y UAV.	116
Figura 37: Diferencial de áreas con Estación Total y UAV.	116
Figura 38: Diferencial de costo por áreas con Estación Total y UAV.....	118
Figura 39: Diferencial de tiempo por áreas con Estación Total y UAV.....	120
Figura 40: Diferencial de tiempo por áreas con Estación Total y UAV.....	121
Figura 41: Reporte de errores de puntos de control con el software Agisoft PhotoScan.	122

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Bach. LAPA ZÁRATE, Carlos Luis, estudiante de la Facultad de Ingeniería, carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Los Andes, identificado con DNI N° 09849718, habiendo concluido la tesis titulada “PRECISIÓN DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS Y ESTACIÓN TOTAL EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA – 2016”.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De identificarse fraude (datos falsos), plagio (información sin citar a autores), auto plagio (presentar como nuevo algún trabajo de investigación propio que ya ha sido publicado), piratería (uso ilegal de información ajena) o falsificación (representar falsamente las ideas de otros), asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Peruana Los Andes.

Huancayo, noviembre de 2018.

Bach. LAPA ZARATE, Carlos Luis

D.N.I. 09849718

RESUMEN

La tesis de investigación, intitulada “PRECISIÓN DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS Y ESTACIÓN TOTAL EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA – 2016”, en la cual se planteó el problema general: ¿Cómo es la precisión de levantamiento topográfico con vehículo aéreo no tripulado y con estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016?, cuyo objetivo fue, comparar la precisión del levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados frente a la Estación Total en la Universidad Nacional de Ingeniería– 2016, que mediante las técnicas de recolección de datos, se realizó teoría recepto a la materia a tratar, para formular la hipótesis general: “El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados es más preciso con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016”.

Para desarrollar la investigación y dar respuesta a la hipótesis planteada se usó la metodología analítico-sintético y deductivo-inductivo, para el tipo de investigación aplicada, del nivel de investigación descriptivo - comparativo, aplicando el diseño un diseño no experimental de investigación transeccional descriptivo.

Llegándose a la principal conclusión mediante la aplicación del método estadístico que, el levantamiento topográfico usando UAV frente a la Estación Total son iguales, en condiciones óptimas.

Palabra Clave:

Precisión, levantamiento topográfico, UAV, Estación Total, fotogrametría.

ABSTRACT

The research thesis, entitled "PRECISION OF TOPOGRAPHIC LIFTING WITH UNTRIPULATED AIR VEHICLES AND TOTAL STATION IN THE NATIONAL ENGINEERING UNIVERSITY - 2016", in which the general problem was raised: How is the topographic survey accuracy with Unmanned aerial vehicle with a total station at the Universidad Nacional de Ingeniería - 2016 ?, whose objective was to compare the accuracy of the topographic survey with unmanned aerial vehicles in front of the Total Station at the Universidad Nacional de Ingeniería – 2016, which by means of Data collection techniques, a receiver theory was applied to the subject to be treated, to formulate the general hypothesis: "The topographic survey with unmanned aerial vehicles is more precise with respect to the total station at the Universidad Nacional de Ingeniería - 2016".

To develop the research and respond to the hypothesis proposed, the analytical-synthetic and deductive-inductive methodology was used, for the type of applied research, of the level of descriptive - comparative research, applying the design a non-experimental design of descriptive transectional research.

Coming to the main conclusion by applying the statistical method, the topographic survey using UAV in front of the Total Station are the same, under optimal conditions.

Keyword:

Precision, topographic survey, UAV, Total Station, photogrammetry.

INTRODUCCIÓN

Señor presidente del jurado examinador y señores miembros del jurado, presentamos a vuestro ilustrado criterios, la tesis de investigación titulado: “PRECISIÓN DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS Y ESTACIÓN TOTAL EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA – 2016”, el cual se ha elaborado, según las normas emanadas por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana Los Andes.

La presente investigación tiene la finalidad de realizar la comparación del levantamiento topográfico con vehículo aéreo no tripulado (UAV) y con Estación Total, para lo cual, en primer lugar, se realizó la toma de datos en la universidad nacional de ingeniería el año 2015, el procesamiento y análisis de datos a inicios del año 2016. Por todo esto, el presente trabajo de investigación se ha desarrollado de acuerdo a los lineamientos del reglamento de grados y títulos de la Universidad Peruana Los Andes para obtener el grado de Ingeniero Civil, la investigación para su mayor comprensión consta de cinco capítulos, analizados y distribuidos de la siguiente manera:

El Capítulo I, sobre el problema de investigación, en este capítulo se ha formulado y analizado el problema general: ¿Cómo es la precisión de levantamiento topográfico con vehículo aéreo no tripulado y con estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016?, justificándolo en la práctica, teoría y metodológicamente. Delimitándolo principalmente en el ámbito espacial que es la Universidad Nacional de Ingeniería y temporal en el año 2016, teniendo en cuenta las limitaciones al acceso de tecnologías, se ha planteado el objetivo general que es, comparar la precisión del levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados frente a la Estación Total en la Universidad Nacional de Ingeniería– 2016 y los objetivos específicos de la tesis de investigación que son: calcular el diferencial de tiempo entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a Estación Total según el tiempo para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería– 2016 y calcular el diferencial costo unitario entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a Estación Total según el costo unitario para el levantamiento

topográfico de la Universidad de Ingeniería– 2016.

El Capítulo II, sobre el marco teórico, mediante las técnicas de recolección de datos de las fuentes de información digital principalmente, se recopilaron los antecedentes nacionales e internacionales, en los cuales se tratan fundamentalmente la precisión fotogramétrica con UAV y sus aplicaciones, en los ámbitos de la geomática y agricultura. Basándome en el marco conceptual de la definición de los términos empleados, mediante la documentación apropiada encontrada y la normativa existente del estado peruano, se ha planteado la hipótesis general: “El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados es más preciso con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016” y las hipótesis específicas: el tiempo requerido entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a la Estación Total es menor para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016 y el costo unitario entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a la Estación Total es menor para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016. finalmente, se definieron conceptualmente las variables que intervienen en la tesis de investigación, respecto a la precisión, tiempo y costo unitario, para operacionalizar dichas variables.

El Capítulo III, sobre la metodología de investigación, para desarrollar la investigación sistemática y ordenadamente se empleó el método de investigación metodología analítico-sintético y deductivo-inductivo, para el tipo de investigación aplicada, del nivel de investigación descriptivo - comparativo, aplicando el diseño un diseño no experimental de investigación transeccional descriptivo - comparativo. La población de la materia de estudio fueron 278,879 m² de área levantada en la Universidad Nacional de Ingeniería, y la muestra fueron 17 estructuras mediante el muestreo no probabilístico por la vía del muestro no aleatorio por conveniencia, las técnicas empleadas fueron la documental y de campo, mediante los instrumentos de observación directa, equipos electromecánicos, software especializado en la materia y equipo de cómputo, para la recolección de datos, para el procesamiento de la información se empleó la técnicas cuantitativas, registro y tabulación, finalmente se analizaron los de datos mediante la prueba estadística de prueba t de student

para la tesis de investigación.

El Capítulo IV, sobre los resultados, los resultados obtenidos en la presente tesis de investigación, con respecto a las problemáticas planteadas, en base a la muestra y los datos obtenidos, están representadas a partir de la tabla 4 hasta la tabla 16 y representadas a partir de la figura 10 hasta la figura 21. Para luego hacer el proceso de la prueba de hipótesis, comprobando la hipótesis general en base a normativa del estado peruano, primero mediante áreas de las unidades de observación, la cual dio como resultado: El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería, de acuerdo con los resultados obtenidos presentan la misma precisión, con una confianza del 95%, y finalmente para los puntos de control mediante distancia entre los puntos (error lineal), el cual dio como resultado: El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total tienen una precisión permitida de 0.02 en la Universidad Nacional de Ingeniería al observar los puntos mediante el error lineal, con una confianza del 95%. De la misma forma se comprobaron las hipótesis específicas respecto al tiempo y costo unitario las cuales fueron: El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería, de acuerdo con los resultados obtenidos se observa que el tiempo requerido entre la aplicación de vehículos aéreos no tripulados frente a estación total presentan un tiempo similar, con una confianza del 95%, el levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería, de acuerdo con los resultados obtenidos se observa que los costos unitarios requeridos entre la aplicación de vehículos aéreos no tripulados frente a estación total presentan un costo unitario similar, con una confianza del 95%, respectivamente.

El Capítulo V, sobre la discusión de resultados, se demuestra que la precisión del levantamiento topográfico con UAV frente a la Estación Total, son similares de acuerdo al tratamiento de los datos estadísticamente presentados en esta tesis, también se discutió de la gran cantidad de datos obtenidos con UAV.

En las conclusiones, la principal conclusión que del levantamiento

topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016, presentan la misma precisión respecto a la planimetría en base a los datos estadísticamente tratados.

En las recomendaciones, se recomiendan aspectos principalmente de la toma de datos y su procesamiento.

Finalmente se consignan las referencias bibliográficas empleadas, y también en los anexos la matriz de consistencia, el panel fotográfico y por último los planos creados.

Asimismo, espero que los resultados del presente estudio aporten a la comunidad científica e ingeniería.

En espera de su aprobación.

Bach.: LAPA ZARATE, Carlos Luis.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Como sabemos, el ingeniero civil ha tenido a través de los años el compromiso de proyectar, diseñar, analizar, construir y dar un mantenimiento a obras ciento por ciento funcionales y confiables que satisfagan las necesidades de una población o comunidad, teniendo como primicia la de dar una solución a problemas de cualquier índole. Así mismo, por su perfil formativo el ingeniero civil regularmente desarrolla trabajos topográficos, convirtiéndose en ocasiones en un especialista; y tal razón es suficiente para impulsar el desarrollo de esta tesis. Los instrumentos topográficos han evolucionado a la par con los avances tecnológicos, incorporando lo últimos avances creando equipos más eficientes, ligeros, pero sobre todo más fáciles de utilizar. Dando como resultado de sus aplicaciones, datos de campo cada vez más confiables, de mejor calidad y sobre todo en un tiempo de ejecución menor y ahorrando en la mayoría de los casos las largas jornadas que transcurrían para el ordenamiento y clasificación de la información

recabada y al cálculo de datos para poder realizar los planos correspondientes. Con dichas innovaciones tecnológicas sobre los aparatos tradicionales de topografía, se tienen ahora los sistemas de posicionamiento global, libretas electrónicas, distanciómetros laser, niveles laser, estaciones totales y fotogrametría o teledetección conocido como levantamiento fotogramétrico con drones llamado topodrones. Con este trabajo se pretende mostrar al lector no solo el conocimiento teórico del levantamiento fotogramétrico con drones llamado topodrones y sus accesorios, sino la aplicación en un levantamiento topográfico real en campo, en condiciones de trabajo muy distintas a las que se pueden presentar en cualquier simulación de práctica, ya que como sabemos, es durante el trabajo de campo donde los conocimientos, criterios son puestos a prueba, dependerá del operador tratar de dar una solución práctica a todos los problemas que se le puedan presentar durante dicho trabajo. Por último, se espera que el esfuerzo que se invirtió en la elaboración de este documento se encuentre con un texto de fácil comprensión y que les sea de utilidad en su vida profesional a los futuros ingenieros civiles.

1.2. Formulación y sistematización del problema

En este sentido, el presente trabajo de investigación buscó responder la pregunta ¿Cuál es la contribución el uso de vehículos aéreos no tripulados para el levantamiento topográfico real en campo?, de esta interrogante se establecieron los siguientes problemas:

1.2.1. Problema general

¿Cómo es la precisión de levantamiento topográfico con vehículo aéreo no tripulado y con estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016?

1.2.2. Problemas específicos

a) ¿Cuál es el diferencial entre la aplicación de vehículos aéreos no tripulados frente a la estación total según el tiempo para el

levantamiento en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016?

b) ¿Cuál es el diferencial entre la aplicación de vehículos aéreos no tripulados frente a la estación total según el costo unitario para el levantamiento topográfico en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016?

1.3. Justificación

1.3.1. Práctica

Carrasco (2016) refiere que el trabajo de investigación servirá para resolver problemas prácticos, es decir, resolver el problema que es materia de investigación”. (p. 119)

Por ser métodos reproducibles que serán aplicados en cualquier momento de la realidad en la obtención de datos a través de la medición de campo. El presente estudio de investigación es importante y relevante porque contribuirá a la sociedad como un instrumento de medición preciso para hacer levantamientos topográficos de toda índole, simplificando en tiempo, costo y toma de datos del lugar de interés.

1.3.2. Teórica

Carrasco (2016) sustenta “que los resultados de la investigación podrán generalizarse e incorporarse al conocimiento científico y además sirvan para llenar vacíos o espacios cognoscitivos existentes”. (p 119)

La presente investigación se realizó con la finalidad de aportar al conocimiento existente sobre el uso e implicancia en la precisión de los vehículos aéreos no tripulados, como un instrumento en la obtención de datos de campo, cuyo producto de esta investigación podrá sistematizarse en una propuesta para ser incorporado como conocimiento en el campo de la ingeniería.

El presente trabajo tiene un valor teórico debido a que nos permitirá describir con la más absoluta veracidad, transmitir conocimientos que tienen una aplicación muy sustantiva que no es aprovechada en su real dimensión debido a su desconocimiento y complejidad. La teoría que sustenta la aplicación de vehículos aéreos no tripulados de forma óptimo para hacer levantamiento topográfico bajo la rigurosidad estadística que implica la obtención de la muestra representativa que infiera a la población.

1.3.3. Metodológica

Carrasco (2016) Sustenta que “si los métodos, procedimientos y técnicas e instrumentos diseñados y empleados en otros trabajos de investigación, tienen validez y confiabilidad, y al ser empleados en otros trabajos de investigación resultan eficaces, y de ello se deduce que pueden estandarizarse, entonces podemos decir que tiene justificación metodológica” (p 119).

El desarrollo de esta investigación servirá como base para la realización de otras investigaciones, ya que los métodos, procedimientos y técnicas e instrumentos empleados sirven como modelo de diseño para llevar a cabo la obtención de datos de campo con vehículos aéreos no tripulados en el campo de la ingeniería civil.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Espacial

El ámbito geográfico delimitado para esta investigación está representado por la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, ubicada en la región Lima, provincia u distrito de Lima.

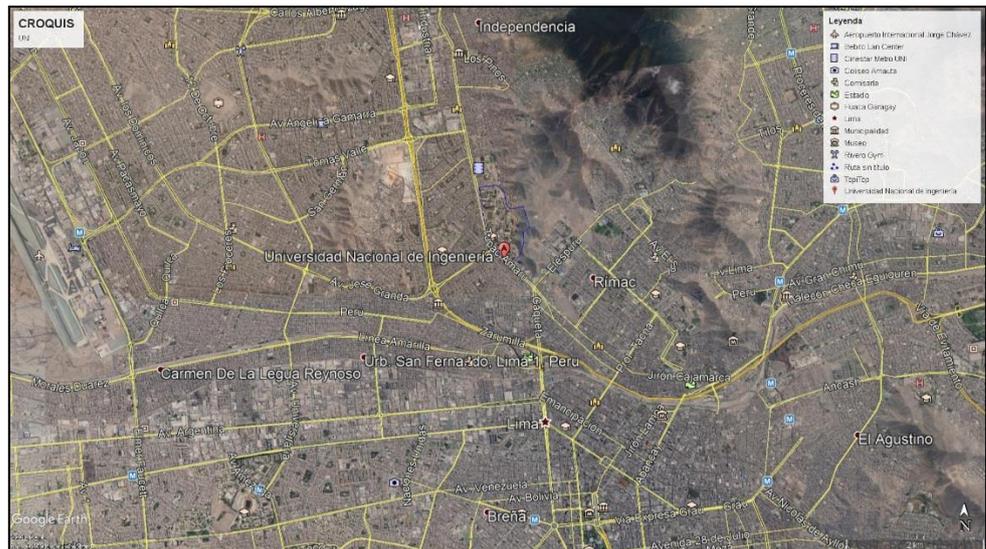


Figura 1: Delimitación Espacial del área de estudio.

Fuente: Google Earth.

1.4.2. Temporal

Puesto que el trabajo es de tipo aplicativo, descriptivo - exploratorio, el periodo de estudio corresponde al año 2016.

1.4.3. Económica

Está delimitada, por la no adquisición de un vehículo aéreo no tripulado (VANT), de una mejor tecnología que contenga RTK y de mayor capacidad.

1.4.4. Cuantitativa

Se ha recurrido a la colaboración de docentes de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, de la especialidad de Geomática quienes desinteresada e incondicionalmente participaron con su aporte, por cuanto los resultados de la investigación también son de su interés. Asimismo, se emplearon las instalaciones de la misma universidad, donde se llevó a cabo el levantamiento topográfico y toma de muestras respectivas.

1.5. Limitaciones

Según Bernal (2010) Las limitaciones en un proyecto de investigación pueden referirse a:

Limitaciones de tiempo Es necesario determinar cuál será el período, sea retrospectivo o prospectivo, dentro del cual se realizará el estudio del hecho, la situación, el fenómeno o población investigados. Por ejemplo, si el interés es estudiar el comportamiento de un sector económico, o los indicadores económicos de un país, es indispensable definir durante qué período (años, meses) se realizará tal análisis.

Limitaciones de espacio o territorio Son aquellas demarcaciones del espacio geográfico dentro del cual tendrá lugar una investigación. Las investigaciones pueden limitarse a una zona de una ciudad, a una ciudad, una región, un país, un continente, etcétera.

Limitaciones de recursos Mencionan la disponibilidad de recursos financieros para la realización del proyecto de investigación.

Además de estas limitaciones, en un proyecto de investigación puede haber limitaciones de información, población disponible para el estudio, dificultad de acceso a la misma, etcétera. (p. 107)

Básicamente las limitaciones de la investigación se centran en que los equipos utilizados varían de acuerdo con la marca, el error de precisión y el costo de dichos equipos, por lo que para la presente investigación se adquirió un equipo de costo medio en el mercado, así mismos también otro factor limitante fue el servidor (ordenador), para el procesamiento de las fotos (data).

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo general

Comparar la precisión del levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados frente a la Estación Total en la Universidad Nacional de Ingeniería– 2016.

1.6.2. Objetivos Específicos

- a) Calcular el diferencial de tiempo entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a la Estación Total según el tiempo para el levantamiento topográfico en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016.
- b) Calcular el diferencial costo unitario entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a la Estación Total según el costo unitario para el levantamiento topográfico en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Toda investigación, cuenta con el marco teórico conceptual para dar solidez a la investigación y así mismo, apoyarse por los antecedentes bibliográficos, como fuente de información, lo cual es un punto de partida para la iniciativa del presente trabajo.

2.1.1. A nivel local

Al realizar la presente revisión bibliográfica referente al tema no se encontraron a nivel local ni regional, estudios realizados sobre la temática relacionada a estudios sobre aplicaciones o levantamientos topográficos con vehículos aéreos no tripulados. Es decir, nuestra tesis contiene aspectos novedosos para nuestro medio local.

2.1.2. A Nivel nacional

Ante tal realidad, recurrimos a los referentes nacionales de

la aplicación de la fotogrametría tanto métrica e interpretativa para levantamientos topográficos con vehículos aéreos no tripulados, los cuales sirvieron de asidero para formular las bases científicas, teóricas y metodológicas para su aplicación en el proceso de ejecución y pruebas de campo en la solución de problemas de necesidades de transporte, vías, carreteras, así, que encontramos los siguientes trabajos que coadyuvaron como herramientas de estudio y análisis, en la presente investigación:

A. En la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, el Bachiller en Ingeniería Civil Hilario Tacca, Qquelca, sustentó en agosto de 2015 la tesis titulada: *“Comparación de Resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con Drones al método tradicional”*. Esta investigación comparativa, fue realizada en la obra, “Construcción de la Vía Costa Verde, Tramo Callao KM 0+000 al KM 4+987.26ll, ubicado en la Provincia Constitucional del Callao, en la Ciudad de Lima, ubicado en la costa central del país, a orillas del Océano Pacífico, con coordenadas UTM del centroide: N 8664788.627, E 267783.453 a una altitud de 10.12 m.s.n.m., con un clima mayormente cálido durante la mayor parte del año, para el cual se ha planteado realizar la digitalización y vectorización de imágenes de las formas del terreno, obtenidas a través de una cámara aérea instalada en un UAV (Unmanned aerial vehicle). Vehículo aéreo no tripulado, denominado también DRONE. El objetivo principal de dicha tesis fue el comprobar el resultado de medidas obtenidas en forma directa con una estación total, equipo que es catalogado como instrumento de alta precisión una vez configurado; con las medidas obtenidas de las fotos aéreas tomadas desde un Drone (UAV), y con el apoyo de un software especializado en este tema, con la finalidad de comparar la precisión adecuada. A partir de este procesamiento se puede obtener el

modelamiento en forma virtual, así mismo la comparación de tiempo en cada una de las modalidades de trabajo, y así determinar la forma más adecuada para su ejecución. La principal conclusión a la que arriba el investigador, nos da a conocer en un nivel de precisión, costo y tiempo en un 95% de confianza, en la comparación hecha tanto con la estación total, así como el procesamiento de las aerofotos obtenidas con el Drone (UAV). Esto quiere decir que ambos métodos son similares estadísticamente en resultado de medidas. La obtención de un modelamiento en el Pix4D, con el uso de estos equipos voladores (Drones), se ha obtenido en menor tiempo con respecto a una estación total, además no contar con la disponibilidad de personal en campo, sin embargo, en la etapa de gabinete el tiempo es mucho mayor en el procesamiento y la obtención del modelamiento del mismo, de los datos obtenidos con estación total. En cuanto a costo de alquiler del equipo en la investigación fue significativamente mayor, ya que el propietario considera al realizar la renta del equipo, sin embargo, en este tipo de trabajo existe un costo – pérdida, ante la posible pérdida del equipo como suele darse en caso de surgir algún accidente.

- B.** La tesis titulada *“Integración de un sistema UAV con control autónomo en un equipo aéreo para agricultura de precisión”*, Danna Rabanal Carretero, en la Pontificia Universidad Católica del Perú en diciembre de 2011 mostró las bondades del empleo del dron en labores de ingeniería. En este estudio muestra los avances tecnológicos de los diferentes fabricantes en el diseño de equipos aéreos sin mando a distancia, aplicados a tareas de censado remoto de los cultivos. En ese sentido, en primer lugar, se presenta los vehículos aéreos no tripulados o más conocidos por sus siglas en inglés UAV (Unmanned Aerial Vehicle) y luego algunos modelos comerciales de UAV con control autónomo, describiendo sus características principales para hacer

comparaciones entre ellos. En nuestro país, la agroindustria está en un constante desarrollo y crecimiento, y para su sostenimiento, la agricultura de precisión se constituye como una herramienta fundamental, ya que ésta aportaría en gran medida una mejor productividad y calidad de los cultivos. Actualmente, la inversión en este Sector está en ascenso e intervienen capitales públicos y privados, promoviendo el desarrollo de nuevas tecnologías o la adaptación de éstas a las condiciones reales del país. Concluye que los vehículos aéreos no tripulados, según OSD UAV tienen sus orígenes durante la Primera Guerra Mundial (1917), esta tecnología es ampliamente utilizada por los militares estadounidenses quienes han contribuido al desarrollo de los UAV. Si bien es cierto su principal uso es militar, existen también aplicaciones civiles como menciona Kimon P. Valavanis en su libro “Advances in Unmanned Aerial Vehicles. State of the Art and the Road to Autonomy”: No sólo incluye el patrullaje aéreo, búsqueda de petróleo y gas, sino que también se encuentran aplicaciones como la **topografía**, predicciones meteorológicas, ubicación de incendios, agricultura (Japón), etc.

- C. En la Universidad Nacional de Ingeniería, Sak, Inga Pariona el 2014, sustentó la tesis titulada “*Diseño de carreteras utilizando herramientas BIM y vuelo no tripulado*”, en esta investigación precisa los diferentes problemas asociados a la visualización de proyectos de infraestructura vial en conjunto con las diferentes especialidades participantes, así como las imprecisiones documentarias ingenieriles de los diferentes especialistas las cuales ejecutan de reforma tradicional con softwares como AutoCAD Civil 3D y AutoCAD básicamente, pues mediante este método existen siempre modificaciones adicionales de obra que inicialmente no han sido previstas en las diferentes etapas del proyecto; cabe decir en el perfil, prefactibilidad , factibilidad y expediente técnico. Por ello

sostiene el tesista, resulta conveniente realizar un modelo virtual con todos los datos de las especialidades participantes obteniendo así un mejor diseño, modelamiento y visualización del proyecto vial. Estas situaciones en obra exigen y promueven introducir el uso de Herramientas Virtuales (BIM) y vuelo no tripulado DRON, en la industria de la construcción de infraestructura vial. Entre las principales conclusiones, el investigador precisa que, existiendo la necesidad de mejorar las metodologías de diseño de carreteras mediante herramientas tecnológicas modernas que simplifiquen el trabajo de diseño de carreteras en impostergable el uso de BIM y Drones, justificándose incluso económicamente por su menor costo en la etapa de estudios básicos específicamente en la partida de topografía ya que el vuelo no tripulado con drones reduce el tiempo y costo del expediente técnico.

2.1.3. A nivel internacional

A. El mexicano, Héctor Hugo Neria Álvarez, en la tesis titulada “*La fotogrametría satelital*”. Presentada en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Politécnica Nacional D.F., México, el 4 de abril de 2013; llego a las siguientes conclusiones:

La fotogrametría es una ciencia nueva en comparación con otras, con muchos problemas por resolver y muchos usos y métodos por descubrir.

Pero vemos que la fotogrametría clásica aprovecha y desarrolla como toda ciencia cambios y no solo en aspectos particulares sino también en radicales. La fotogrametría clásica basada en la foto convencional va decayendo ante el impacto de los sensores remotos y otros sistemas de fotografía. Anticipando al futuro cercano con los siguientes hechos:

Incremento de la altitud del vehículo espacial para la adquisición de datos básicos o de otro tipo de datos. Los sensores cada vez

captan información más precisa del terreno y al mismo tiempo mejoran su posicionamiento del sensor lo que nos da una precisa posición en cada instante de tiempo. Reducción de los puntos de control por el uso de sistemas que en forma automática dan las coordenadas de cámara o del sensor con lo cual este hecho nos lleva a la automatización de la aerotriangulación analítica. Reducción práctica y automatizada de los sistemas de producción de ortofotos, con curvas de nivel y modelos digitales de terreno. Desarrollo de métodos de manipulación de la imagen y de varios sensores que permiten extraer y clasificar en forma automática los datos provenientes de ellos. Desarrollo integrado de sistemas cartográficos agilizando toda la cadena del proceso. Desarrollo de nuevas clases de productos en gráficos, en productos digitales o formas de imagen.

Es evidente que esta ciencia es la llave de las frases y palabras del futuro pues la fotogrametría es posicionamiento inercial, automatización, sistemas de sensores, sistemas digitales, calidad de imagen, sistemas espaciales.

Nos encontramos ante algo que ya no tiene fronteras y que cada día presenta ante nuestros ojos un nuevo desafío lo que implica estar siempre en completo estudio para entender a esta ciencia, la Fotogrametría.

B. La investigación realizada por Juan Manuel Macedo Manríquez, sobre *“Restituidores fotogramétricos en la Facultad de Ingeniería de la UNAM”*. En la Universidad Nacional Autónoma de México D.F., México, el 21 de octubre de 2009; llego a las siguientes conclusiones:

Estos instrumentos han sido construidos con el propósito de hacer posible la representación gráfica de los elementos existentes en la superficie de la tierra, por medio del análisis de la imagen contenida en fotografías tomadas con cámaras especiales.

Están integrados con sistemas de proyección de imágenes, de observación, de medición y con un mecanismo o fuente de salida de datos, que permite el trazo de mapas y planos a una escala determinada, habiendo logrado gran desarrollo gracias a las

innovaciones de la óptica y la electrónica.

Las características básicas de la fotogrametría, cartografía y topografía son la ubicación precisa de los elementos y la representación a escala de su forma y dimensiones reales.

Cumplir con estas condiciones sería imposible sin la aplicación de las matemáticas y la utilización de instrumentos de gran precisión, fabricados con las mejores innovaciones en óptica, mecánica, electrónica y computación; los cuales han permitido determinar y representar con exactitud, la forma y dimensiones de nuestro planeta.

Como se ve, en todas las áreas del saber humano, el cambio tecnológico es impactante. La fotogrametría no es la excepción ya hemos visto cómo han cambiado los métodos de restitución. En campo desde la determinación del valor de una distancia, con cinta primero, con distanciómetros de onda radio, de infrarrojos y de láser después. Actualmente con GPS vía los satélites y en la mañana inmediata, ¿qué más vendrá?

Lo razonable es que para hacer frente a lo que venga, el nuevo profesionalista tendrá que estar mejor preparado y abierto a los retos del futuro.

C. Por Humberto Sandoval García, en la investigación “*Análisis de la precisión de levantamiento topográfico a baja altitud empleando UAV*”. Facultad de Ingeniería–Universidad Nacional de Loja Ecuador, en el año 2015, llegó a las siguientes conclusiones: El levantamiento topográfico a baja altitud con UAVs es un complemento del censado remoto, vía satélite o usando avioneta, y cuando comparado a métodos tradicionales, posee una gran cantidad de ventajas; por ejemplo, es flexible, preciso, rápido, de bajo costo, eficiente, y permite obtener imágenes de alta resolución en áreas de difícil acceso.

- **Gran flexibilidad**, plataformas UAV permiten cerrar la brecha entre la recolección de datos terrestres y aéreos.

- **Mayor precisión**, la alta resolución de las fotos tomadas a baja altitud permite obtener modelos digitales del terreno con

mayor nivel de detalle.

- **Ahorro de tiempo**, el levantamiento topográfico se puede completar en cuestión de horas (hasta 30 hectáreas diarias), en comparación a métodos de topografía terrestre y fotogrametría tradicional.

- **Reducción de costos operativos**, ya que el levantamiento topográfico toma menos tiempo y menos recursos.

- **Mejoras en seguridad**, ya que el uso de una plataforma UAV puede eliminar o reducir la necesidad de acceder a zonas peligrosas.

- **Manejo de más información**, fotografías verticales y oblicuas combinadas, levantamientos topográficos precisos, modelos digitales del terreno y también análisis volumétrico.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Topografía

Según Schmidt y Rayner (1983) los orígenes de la topografía se confunden con los de la astronomía, la astrología y las matemáticas. Las primeras teorías matemáticas se desarrollaron a partir del uso práctico de los números que se requerían en la vida de las comunidades antiguas. Los egipcios, griegos y romanos emplearon la topografía y los principios matemáticos para el establecimiento de linderos de terrenos, para el trazo de edificios públicos, y para la medición y el cálculo de superficies (p. 16). Según Rincón, Vargas y Gonzáles (2017) “topografía es la ciencia por medio de la cual se establecen las posiciones de puntos situados sobre la superficie terrestre, encima y debajo de ella; para lo cual se realizan mediciones de distancias, ángulos y elevaciones (p. 01). La representación gráfica de la topografía se realiza mediante los levantamientos topográficos, y según Wolf y Ghilani (2009) se emplean para (1) elaborar mapas de la superficie terrestre, arriba y abajo del nivel del mar; (2) trazar cartas de navegación aérea, terrestre y marítima; (3) deslindar propiedades privadas y públicas; (4) crear bancos de datos

con información sobre recursos naturales y usos de suelo, para ayudar a la mejor administración y aprovechamiento de nuestro ambiente físico; (5) evaluar datos sobre tamaño, forma, gravedad y campos magnéticos de la tierra; y (6) preparar mapas de la luna y otros planetas. (p. 10)

Los levantamientos topográficos han evolucionado de la mano de los adelantos tecnológicos y se han especializado, según Wolf y Ghilani (2009) clasifica los levantamientos topográficos especializados en:

Los levantamientos de control establecen una red de señalamientos horizontales y verticales que sirven como marco de referencia para otros levantamientos. Muchos levantamientos de control que se realizan actualmente se hacen usando técnicas estudiadas en el capítulo 14 con instrumentos de GPS.

Los levantamientos topográficos determinan la ubicación de características o accidentes naturales y artificiales, así como elevaciones usadas en la elaboración de mapas.

Los levantamientos catastrales de terreno y de linderos establecen las líneas de propiedad y los vértices de propiedad. El termino catastral se aplica generalmente a levantamientos de terrenos federales. Existen tres categorías importantes: levantamientos originales, los cuales determinan nuevos vértices de secciones en áreas sin levantamientos, con las que existen en Alaska y en varios estados del occidente de Estados Unidos; levantamientos de retrazado, utilizados cuando se desea recuperar líneas limítrofes que ya se habían fijado anteriormente; y levantamientos de subdivisión, usados para colocar señalamiento y delinear nuevas parcelas de propiedad. Los levantamientos de condominio se hacen para dar un registro legal de propiedad y constituyen cierto tipo de levantamiento limítrofe.

Los levantamientos hidrográficos definen la línea de playa y las profundidades de lagos, corrientes, océanos, represas y otros cuerpos de aguas. Los levantamientos marinos están asociados con industrias portuarias y de fuera de la costa, así como con el

ambiente marino, incluyendo investigaciones y mediaciones marinas hechas por el personal de navegación.

Los levantamientos de rutas se efectúan para planear, diseñar y construir carreteras, ferrocarriles, líneas de tuberías y otros proyectos lineales. Éstos normalmente comienzan en un punto de control y pasan progresivamente a otro, de la manera más directa posible permitida por las condiciones de terreno.

Los levantamientos de construcción determinan la línea, la pendiente, las elevaciones de control, las posiciones horizontales, las dimensiones y las configuraciones para operaciones de construcción. También proporcionan datos elementales para calcular los pagos a los contratistas.

Los levantamientos finales según obra construida documentan la ubicación final exacta y disposición de los trabajos de ingeniería, y registran todos los cambios de diseño que se hayan incorporado a la construcción. Estos levantamientos son sumamente importantes cuando se construyen obras subterráneas de servicios, cuyas localizaciones precisas se deben conocer para propósitos de mantenimiento y para evitar daños inesperados al llevar a cabo, posteriormente, otras obras subterráneas.

Los levantamientos de minas se efectúan sobre la superficie y abajo del nivel del terreno, con objetivo de servir de guía a los trabajos de excavación de túneles y otras operaciones asociadas con la minería. Esta clasificación también incluye levantamientos geofísicos para minerales y exploración de recursos de energía.

Los levantamientos solares determinan los límites de las propiedades, los derechos de acceso solar y la ubicación de obstrucciones y colectores de acuerdo con los ángulos solares; además cumplen con otros requisitos de comités zonales y de los títulos de las compañías de seguros.

La instrumentación óptica (también conocida como levantamientos industriales o alineamiento óptico) es un método para realizar mediciones extremadamente precisas en procesos

de manufactura donde se requieren pequeñas tolerancias.

Exceptuando los levantamientos de control, la mayoría descritos aquí se realizan normalmente usando procedimientos de topografía plana; no obstante, se pueden emplear métodos geofísicos en otros tipos de levantamiento cuando éste abarca un área muy grande o exige una gran precisión.

Los levantamientos terrestres, aéreos y por satélite son la más amplia clasificación usada en algunas ocasiones. Los levantamientos terrestres utilizan medidas realizadas con equipo terrestre tales como niveles automáticos e instrumentos de estación total. Los levantamientos aéreos pueden lograrse ya sea utilizando la fotogrametría o a través de percepción remota. La fotogrametría usa cámaras que se montan en los aviones, en tanto que el sistema de precisión remota emplea cámaras y otros tipos de sensores que pueden transportarse tanto en avión como en satélites. Los procedimientos usados para obtener y analizar los datos de la fotografía aérea se describen en el capítulo 27. Los levantamientos aéreos se han usado en todos los tipos de topografía especializada que se enumeraron aquí, a excepción del sistema de alineación óptica, y en esta área se usan con frecuencia fotografías terrestres (con base en el terreno). Los levantamientos por satélite incluyen la determinación de sitios en el terreno usando receptores GPS, o de imágenes por satélite para el mapeo y observación de grandes regiones de la superficie de la tierra. (pp. 11,12)

2.2.1.1. Levantamientos terrestres

Este levantamiento se realiza principalmente con el instrumento topográfico denominado estación total que según Mendoza Dueñas (2017) es:

Aquel instrumento topográfico constituido por un teodolito electrónico unido solidariamente con un distanciómetro, estos a su vez llevan en su interior una libreta electrónica y

un microprocesador, el cual le permite registrar los datos de campo, obviando la libreta tradicional, así como compensar y procesar los datos obtenidos para registrarlos en un archivo de su memoria.

La estación total nos permite obtener trabajos de alta precisión y un gran ahorro de tiempo; no obstante, es preciso aceptar que la presencia de este equipo no cambia en absoluto los principios básicos de la topografía.

Con la estación total, podemos medir ángulos horizontales y verticales, así como distancias inclinadas; su procesador interno le permite calcular y mostrarnos inmediatamente la proyección horizontal y vertical de la distancia medida, así como las coordenadas de los puntos medidos, dependiendo del caso.

Estación Total TOPCON GTS-235	
DATOS TÉCNICOS	
Descripción	GTS-235
Ampliación	30x
Imagen	Derecha
Distancia mínima de enfoque	1,30 m
Medida electrónica de ángulo	
Método	Absoluto continuo
Lectura mínima	1"
Precisión	5"
Plomada	
Tipo	Láser
Sensibilidad del nivel	
Nivel tubular	30"/2 mm
Nivel circular	10'/2 mm
Compensador	
Sistema	Dual
Rango de trabajo	± 3'
Medida de distancia	
Precisión	±(2 mm + 2 ppm)
1 prisma	3 000 m
Otros	
Capacidad Bluetooth	Si

Figura 2: Datos técnicos estación total Topcon, modelo GTS-235.

Fuente: "Topografía, técnicas modernas", Mendoza D., 2017, p. 283, Lima/Perú: Editores Maraucano E.I.R.L.

La estación total permite medir y calcular la altura de ciertas estructuras, así como replantear puntos en el terreno con gran precisión.

Los datos obtenidos en campo por encontrarse digitalizado, pueden ser enviados a la memoria de un USB,

luego copiado a una computadora, o en caso inverso, los datos de un proyecto ubicados en una memoria USB pueden ser transferidos a la estación total para el posterior replanteo de los puntos.

Con el avance de la tecnología, las estaciones totales robóticas, se hacen cada vez más importantes, en donde al carecer de operador, el portaprisma se convierte en el protagonista del levantamiento de campo. (pp.281-284)

DATOS TÉCNICOS	
Descripción	TPS-403
Ampliación	30x
Imagen	Derecha
Distancia mínima de enfoque	1,70 m
Medida electrónica de ángulo	
Método	Absoluto continuo
Lectura mínima	1"
Precisión	3"
Plomada	
Tipo	Láser
Sensibilidad del nivel	
Nivel tubular	Electrónico
Nivel circular	6"/2 mm
Compensador	
Sistema	Dual
Rango de trabajo	± 4'
Medida de distancia con prisma	
Precisión	±(2 mm + 2 ppm)
1 prisma	3 500 m
Medida de distancia sin prisma	
Alcance de medición	80 m
Precisión	±(3 mm + 2 ppm)
Otros	
Capacidad Bluetooth	No

Figura 3: Datos técnicos estación total Leica, modelo TPS-403.

Fuente: "Topografía, técnicas modernas", Mendoza D., 2017, p. 284, Lima/Perú: Editores Maraucano E.I.R.L.

DATOS TÉCNICOS	
Medida de distancia con prisma	
Gamma w/prisma de la medida	7 000 m
Precisión	±(2 mm + 2 ppm)
Medida de distancia (no prisma)	
Gamma de la medida	Modo normal: 3 m - 120 m Modo de gamma larga: 100 m - 1 200 m
Precisión	Modo normal: ±(3 mm + 2 ppm) Modo de gamma larga: ±(10 mm + 10 ppm)
Medida del ángulo	
Método	Absoluto continuo
Precisión	1"
Entrada - salida	
Puerto serial	9-pin RS.232C
Tarjeta de memoria	Tipo 1 de destello/2 de ATA (hasta 32 Mb)
El seguir robótico	
Velocidad que da vuelta del máximo	50°/sec
Velocidad que sigue del máximo	12°/sec
Seguir la gamma	800 m

Figura 4: Datos técnicos estación total robótica Topcon, GPT-8201.

Fuente: "Topografía, técnicas modernas", Mendoza D., 2017, p. 284, Lima/Perú: Editores Maraucano E.I.R.L.

2.2.1.2. Levantamientos aéreos

Los levantamientos aéreos principalmente se desarrollan en vehículos aéreos los cuales llevan cámaras u otros sensores para la toma de datos, principalmente para desarrollar fotogrametría.

2.2.2. Fotogrametría

Según Alcántara (2007) “fotogrametría es la ciencia o arte de obtener medidas por medio de la fotografía, pasando de la proyección cónica del objeto fotografiado a la proyección ortogonal del plano mediante una operación fundamental que recibe el nombre de restitución” (p. 281).

Según Schmidt y Rayner (1983) indican que:

La fotogrametría se subdivide en varias clases, pero las dos categorías básicas son la fotogrametría terrestre y la fotogrametría aérea. En la primera, las fotografías se toman con la cámara sobre un tripié, y el eje óptico del lente es, por lo general, horizontal. La fotogrametría aérea hace uso de fotografías tomadas desde cualquier vehículo aéreo. (p. 261)

2.2.2.1. Tipos de fotografías aéreas.

Según Wolf y Ghilani (2009) menciona que:

Las aerofotos logradas con cámaras unilentes de cuadro se clasifican como verticales y oblicuas. Las fotografías oblicuas se clasifican además en altas, si el horizonte aparece en la foto, o baja, si no aparece.

Las fotos aéreas ilustran claramente todos los detalles naturales y artificiales de la región abarcada, como caminos, ferrocarriles, edificios, ríos, puentes, árboles y tierras de cultivo.

Las fotos verticales son el modo principal de poseer imágenes para el trabajo fotogramétrico. Las fotos

oblicuas rara vez se usa en aplicaciones métricas, pero son útiles en trabajos de interpretación y reconocimiento. (p.797)

2.2.2.1.1. Aerofotos verticales.

Una foto verdaderamente vertical se logra cuando el eje de la cámara esta exactamente a plomo a efectuar una exposición. A pesar de las precauciones tomadas existen invariablemente pequeñas inclinaciones, por lo general menores de 1° y rara vez mayores de 3° , y las fotos resultantes se llaman fotografía casi vertical o con ladeo. Aunque las aerofotos verticales parecen mapas a lo lejos, no son proyecciones verdaderas ortogonales de la superficie de la tierra. En realidad, son vistas en perspectivas y deben aplicarse los principios de la geometría de la perspectiva para preparar mapas a partir de ellas. La figura 4 ilustra los detalles geométricos de una fotografía vertical tomada desde la estación L en exposición. La fotografía, considera como una impresión positiva de control, es una inversión exacta de 180° de la toma negativa. La positiva mostrada en la figura 4 se usa para desarrollar ecuaciones fotométricas en secciones subsecuentes.

La distancia oL figura 05 es la distancia focal a la cámara. El sistema de eje x y y de referencia para medir coordenadas fotográficas de las imágenes, está definida por la recta que unen las marcas de colimación opuestas indicadas en la positiva en la figura 5. El eje x, designado arbitrariamente como la línea lo más paralela posible a la dirección de vuelo. Es positivo en esta dirección. El eje y positivo se encuentra a 90° , en el sentido contrario a las manecillas del reloj con respecto al eje x positivo.

Las fotografías verticales para la cartografía topográfica se toman en sucesión según franjas o bandas que, por lo

general, corren a lo largo del área por fotografiar. Esta banda o línea de vuelo tienen comúnmente una superposición lateral (traslape entre bandas de vuelo adyacente) de aproximadamente 30 por ciento. La superposición longitudinal (traslape hacia delante de fotografía contiguas en la misma banda de vuelo) suele ser 60 ± 5 por ciento. En la figura 06. (a) y (b) se ilustran respectivamente estas superposiciones. Es necesario un traslape hacia delante de 50% o mayor para asegurar que todos los puntos del terreno aparezcan por lo menos en dos fotografías, y algunos en tres. Imágenes comunes a tres fotografías permiten la aerotriangulación para extender o densificar el control a través de una banda o bloque de fotografías, utilizando sólo el mínimo control existente. (Wolf y Ghilani, 2009, pp.797-799)

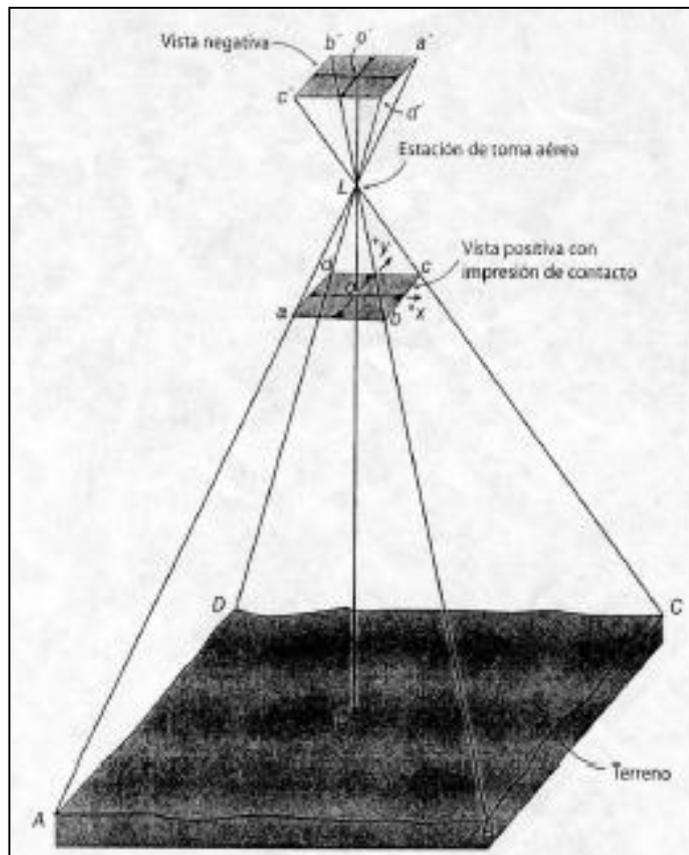


Figura 5: Relación geométrica en una aerofoto vertical.

Fuente: "Topografía", Wolf, P., & Ghilani, C., 2009, p. 800, D.F./México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

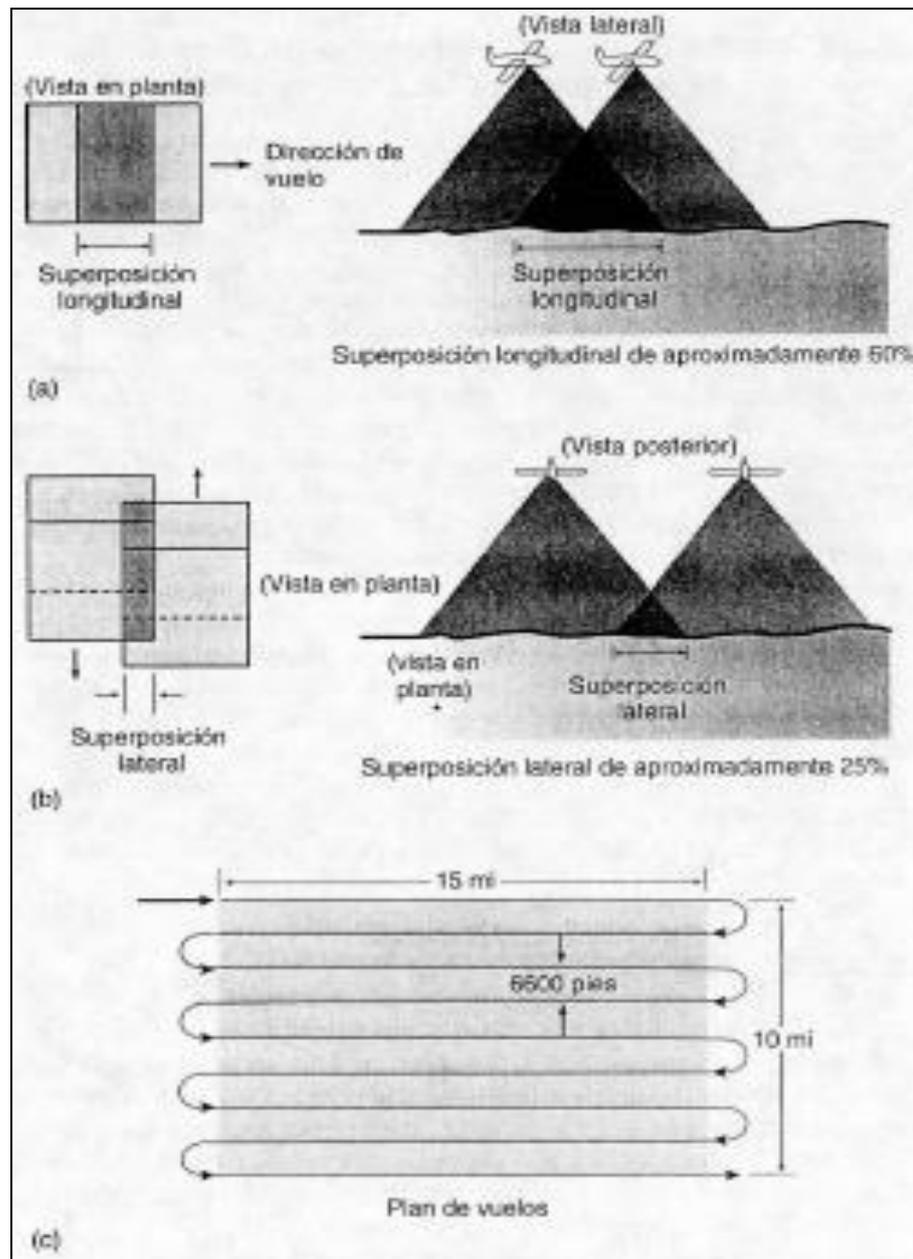


Figura 6: (a) Superposición longitudinal (b) superposición lateral.

Fuente: "Topografía", Wolf, P., & Ghilani, C., 2009, p. 827, D.F./México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

2.2.2.2. Principales componentes de fotogrametría aérea

2.2.2.2.1. El vehículo aéreo

Los primeros indicios de la fotogrametría aérea según Schmidt y Rayner (1983) indica que:

Datan cuando el Coronel Aimé Laussedat, del Ejército Francés, llevó a cabo en 1849 los primeros experimentos que involucraban principios

fotogramétricos con fines cartográficos. Trato de obtener, aunque con limitados éxito, fotografías desde globos. Desde esa época, hasta principios del siglo XX, hasta el primer vuelo exitoso en un avión de motor por los hermanos Wright, los adelantos de la fotogrametría estuvieron restringidos a la fotografía terrestre. La primera utilización significativa de los vehículos aéreos como plataforma para una cámara, tuvo lugar durante la Primera Guerra Mundial... La fotogrametría avanzo rápidamente de 1920 a 1940 y recibió un fuerte impulso por las necesidades militares de la Segunda Guerra Mundial.

También cabe señalar que durante la primera guerra mundial se inicia la creación de los vehículos aéreos no tripulados por radio. (p. 262)

Según Juan de Sanjosé, Martínez, López y Atkinson (2013) las características principales del avión para la realización de fotografías aéreas son:

- a) Gran estabilidad en el vuelo.
- b) Buena visibilidad delante y debajo del piloto.
- c) Los gases del avión no deben afectar al objetivo de la cámara.
- d) Buena instalación de los equipos fotogramétricos en el suelo del fuselaje.

También señalan que hay tres personas que son fundamentales en el vuelo foto gramático que son:

- a) El fotógrafo aéreo: Sus funciones son:
 - Verticalidad del eje óptico de la cámara, a través de un nivel esférico.
 - Girar la cámara fotográfica un ángulo igual a la deriva del avión, para que sea paralelo el eje que determinan todos los puntos principales de las fotografías de una pasada con la ruta verdadera del avión.

- Mantener los recubrimientos transversales y longitudinales de las pasadas, de acuerdo con el proyecto de vuelo.
- b) El piloto: Tiene la misión de pilotar el avión controlando las siguientes funciones:
- Mantener la altitud del avión en el momento de hacerse las fotografías.
 - Llevar un azimut o un rumbo fijo.
 - Mantener la verticalidad de las tomas fotográficas.
- c) El navegante: Además de los instrumentos propios para navegar lleva un anteojo de navegación, el cual le permite practicar los movimientos necesarios al anteojo para seguir la ruta marcada en el proyecto de vuelo, y estos movimientos son transmitidos a la cámara métrica para realizar las fotografías. El anteojo de navegación le permite al navegante desarrollar las siguientes funciones:
- Determinar la deriva: Ángulo entre la ruta verdadera y el azimut verdadero o eje de simetría del avión. Este ángulo hay que aplicarlo a la cámara fotogramétrica para modificar los recubrimientos de las fotografías.
 - Indicar en cada momento la vertical de la ruta del avión, y medir ángulos respecto a la vertical en la dirección del avión o en su perpendicular. (pp. 138-140)

Debemos tener en cuenta que en la actualidad tras el avance tecnológico de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) estas tres personas son reemplazadas por un piloto o sistema remoto quien monitorea la aeronave todo momento y es responsable de la conducción segura de la aeronave.

2.2.2.2.2. Cámaras aerofotografías

Wolf y Ghilani, (2009) explican que:

Las cámaras fotográficas para cartografía aérea son tal vez los instrumentos más importantes, ya que con ellos se toma las fotos de las que depende está tecnología. Para entender la fotometría, especialmente la base geométrica de sus ecuaciones es fundamental tener un conocimiento elemental de las cámaras y cómo operan. Las cámaras aéreas tienen que realizar un gran número de exposiciones en rápida sucesión, mientras se desplazan en un aeroplano en alta velocidad, de modo que se necesita un ciclo corto, lenta rápida, obturador eficiente y magazín de gran capacidad.

La cámara de cuadro y una sola lente son el tipo más usado en fotogrametría métrica. Esta cámara expone todo el cuadro o formato simultáneamente, a través de una lente sostenida a una distancia fija del plano focal. Generalmente tiene un tamaño de formato de 9 x 9 plg. (23 x 23 cm), y lentes con una distancia focal de 3½, 8¼ y 12 plg (90, 120 y 305 mm). En la figura 7 se muestra una cámara de cuadro y una sola lente junto a un visor y sus controles electrónicos.

Los componentes principales de una cámara de cuadro y una sola lente se muestran en el diagrama de la figura 4. Estos incluyen la lente que capta los rayos luz incidente y los dirige al foco sobre el plano focal; el obturador, para controlar el intervalo en que pasa la luz por la lente; el diafragma, que regula el diámetro de la abertura de paso de la luz; el filtro, que reduce el efecto bruma o neblina y distribuye la luz uniformemente sobre el cuadro; el cono de soporte, que sostiene el conjunto lente-obturador-diafragma e

impide que haya infiltraciones de luz a la película: el plano focal, que es la superficie donde descansa la película expuesta; las marcas de colimación o fiduciales, cuatro u ocho el número y que sirve para definir la geometría de las fotografías; el cuerpo de cámara para alojar el mecanismo impulsador, cuya función es preparar y disparar el obturador, extender la película para su perfecto aplanamiento y hacer que se desplace entre una y otra exposición; y el magazín que aloja las cargas de material fotográfico expuesto y no expuesto. (p.795)

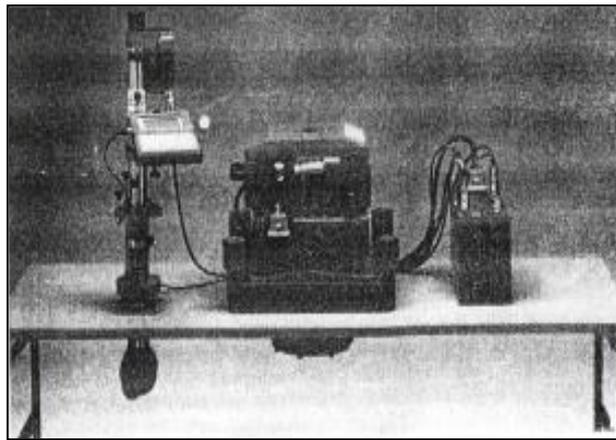


Figura 7: Cámara aerofotográfica con visor y controles electrónicos.
Fuente: “Topografía”, Wolf, P., & Ghilani, C., 2009, p. 795, D.F./México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

2.2.2.2.3. La película fotográfica

Juan de Sanjosé, Martínez, López y Atkinson (2013) explican que:

Las películas fotográficas que se emplean en fotogrametría tienen un soporte sobre el cual se pone en una de sus caras una emulsión de gelatino-bromuro de plata en un porcentaje del 95 % y el resto de ioduro de plata y en la otra cara del soporte una capa opaca denominada antihalo.

El poder separador de una emulsión, esto es, las líneas por milímetro de una

película depende de la finura o tamaño del grano de bromuro de plata y del ioduro de plata. El tamaño del grano está por debajo de la centésima de milímetro y relacionado con el tamaño del grano está la sensibilidad, la cual nos indica la calidad granulométrica de la película y la velocidad con la cual queda impresionada.

Según sea la emulsión que tenga la película, será sensible a diferentes radiaciones

cromáticas, clasificándose en:

a) Ordinarias: Emulsiones sensibles a los violetas y azules. Su longitud de onda λ hasta 0,540 micras.

b) Ortocromáticas: Emulsiones insensibles al rojo y poco sensible al verde. Su λ hasta 0,590 micras.

c) Pancromáticas: Sensibles a lo largo de todo el espectro visible.

d) Infrarrojas cercanas: Las emulsiones son sensibles hasta el infrarrojo cercano, esto es $\lambda = 1,5$ micras.

Las longitudes de onda que es capaz de percibir la sensibilidad del ojo humano son:

- Azul: De 0,4 a 0,5 micras.
- Verde: De 0,5 a 0,6 micras.
- Rojo: De 0,6 a 0,7 micras.

Los soportes de la emulsión pueden ser:

a) Placas de vidrio: Se empleaban para trabajos de mucha precisión en fotogrametría terrestre. Al ser placas de 3 milímetros de espesor conservan muy bien su planeidad y, por tanto, sufren pocas deformaciones. Actualmente están en desuso.

b) Películas: Su soporte es de poliéster de 0,13 milímetros de espesor, tienen deformaciones mayores que las placas de vidrio, pero a pesar de esto son muy estables. Es el tipo de soporte normalmente

empleado en fotogrametría.

Para prevenir el halo, esto es, zonas iluminadas alrededor de detalles muy iluminados, producidos por reflexiones en la base del soporte, se introduce una capa denominada antihalo (Figura. 08).



Figura 8: Estructura de un soporte fotogramétrico.

Fuente: “Topografía para estudio de grado”, Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 144, Madrid/España: Bellisco.

El proceso que se produce desde que se abre el obturador de la cámara hasta que se realiza el positivo obtenido del negativo de la película es:

1. Impresión de la película: La energía de la radiación queda impresionada en la película a través de las partículas de bromuro de plata e ioduro de plata, formando una imagen invisible, denominada imagen latente. A mayor intensidad de iluminación, mayor cantidad de bromuro de plata queda afectado.

2. Revelado: Hace visible la imagen invisible anterior, formando lo que se llama el negativo, el cual los puntos que han sufrido mayor iluminación aparecen en el negativo más oscuros.

3. Baño de agua: Se realiza para detener la acción del revelado.

4. Fijado: Elimina el bromuro de plata y el ioduro de plata no afectado por la exposición, de forma que se consigue que la emulsión deje de ser sensible a la luz.

5. Lavado: Se realiza para quitar todo elemento

que produzca efectos no deseados sobre la película.

6. Secado: Quitar el agua que se haya quedado en el proceso sobre la película.

7. Positivo: Una vez obtenido el negativo es posible, a partir de él, impresionar cuantos positivos se necesiten. Las copias positivas se realizan sobre una cartulina, en la cual, sobre una de sus caras se pone una capa de barita y sobre ella, una emulsión sensible a la luz.

Normalmente el formato útil de las películas aéreas es de 23 por 23 centímetros. (pp. 142-144)

2.2.2.3. Proceso metodológico de la fotogrametría aérea

2.2.2.3.1. Planeamiento

2.2.2.3.1.1. Características de la fotografía

Juan de Sanjosé et al. (2013) afirman que:

La fotografía es una proyección cónica, en la cual el vértice del cono es el centro de proyección de la cámara y es el lugar por donde pasan todos los rayos ópticos (rayos en los puntos imagen con los puntos de la realidad) y quedan impresionadas en el cliché. La distancia focal o principal es la que hay desde el centro de proyección hasta el punto principal del cliché.

El punto principal se determina proyectando ortogonalmente el centro de proyección sobre la fotografía.

Los tipos de fotografías aéreas dependiendo del ángulo de inclinación del eje óptico son:

a) Verticales: Cuando el ángulo que forma la vertical que pasa por el centro perspectivo y el eje óptico es inferior a 3° .

b) Oblicuas: Cuando el ángulo que forma la vertical que pasa por el centro perspectivo y el eje óptico es superior a 3° .

c) Panorámicas: Cuando en la fotografía aparece impresionado el horizonte. (pp. 144-145)

2.2.2.3.1.2. Errores en la formación métrica de la fotografía

Según Juan de Sanjosé et al. (2013) consideran que:

En la realización de la fotografía aérea se produce un cambio de posición de los haces del objeto sobre la imagen o cliché, respecto al haz ideal en el que se apoya la fotogrametría.

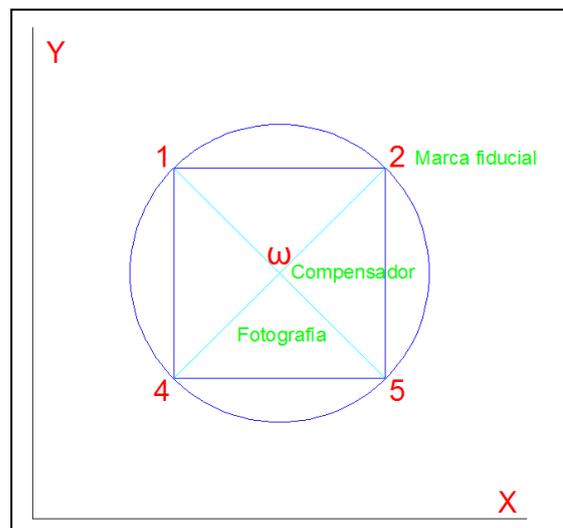


Figura 9: Monocomparador.

Fuente: “Topografía para estudio de grado”, Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 145, Madrid/España: Bellisco.

Las coordenadas (x, y) de un punto en una película se obtienen, a través de los comparadores. Cuando se miden las coordenadas sobre una fotografía aislada se realiza con un monocomparador. Un estereocomparador consiste en conectar dos monocomparadores e introducirle un sistema binocular, de forma que se

vean los puntos homólogos de un par de fotografías.

En un monocomparador, se coloca la fotografía sobre un disco que se traslada y gira respecto a un sistema de coordenadas instrumental (Fig. 9).

Se miden las coordenadas de las marcas fiduciales, de forma que se obtiene coordenadas del centro fiducial.

$$x_{\omega} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4}$$
$$Y_{\omega} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4}$$

Restando las coordenadas de un punto medido en el monocomparador a coordenadas del centro fiducial, se refiere el punto del sistema de coordenadas comparador al sistema de coordenadas fijado en el centro fiducial.

Las coordenadas del comparador están afectadas por una serie de errores, los cuales hay que corregir:

a) Defectos debidos al material fotográfico: Para hacer el cambio de las; coordenadas del comparador a las coordenadas cliché se aplica una transformación de semejanza: un giro en el plano XY, una traslación en el eje X, una traslación en el eje Y y un factor de escala.

b) La falta de coincidencia del punto principal con el punto de intersección de las marcas fiduciales.

c) Efectos de la distorsión en la cámara métrica.

d) Refracción atmosférica.

e) Esfericidad terrestre.

Es obligatorio realizar estas correcciones para la realización de fotogrametría analítica. Estas correcciones se aplican en la orientación interna del "método general de la fotogrametría". (pp. 145-146)

2.2.2.3.1.3. Paso de las coordenadas del comparador al terreno

Para el paso de las coordenadas del comparador al terreno Juan de Sanjosé et al. (2013) indican que:

Se deducen las siguientes fórmulas de transformación:

$$X_p = \frac{H_0 + h_{p2}}{f} \cdot x_p$$

$$Y_p = \frac{H_0 + h_{p2}}{f} \cdot y_p$$

Siendo:

f : La distancia focal.

H_0 : Altura de vuelo sobre el nivel del mar.

h_p : Altitud del punto sobre el nivel del mar, este dato se obtiene del mapa. (x_p, y_p) : Coordenadas de la fotografía obtenida por un comparador.

Se puede determinar la altura real de un objeto h , en una fotografía respecto a una altitud origen, como puede ser el nivel del mar, si se cumple que en la fotografía aparecen los dos extremos del objeto (parte superior y parte inferior) (Fig. 10). Ambos extremos del objeto producen en la fotografía un desplazamiento, el cual es radial desde el punto principal:

$$h = \frac{(r' - r)}{r} \cdot H_o = \frac{(\Delta r)}{r} \cdot H_o \quad (\text{pp.}$$

146-147)

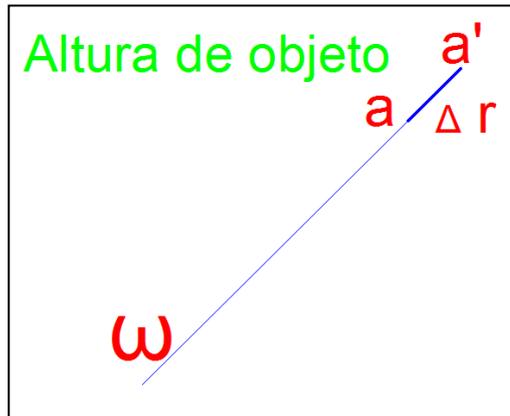


Figura 10: Desplazamiento de un objeto en una fotografía vertical.

Fuente: “Topografía para estudio de grado”, Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 147, Madrid/España: Bellisco.

2.2.2.3.1.4. Escala de la fotografía y escala de la cartografía

Dado que, en la fotogrametría, a partir de las fotografías obtenidas en el trabajo de campo se realizan mapas cartográficos, es de vital importancia conocer las relaciones entre: las principales características de los equipos que realizan las fotografías con el terreno, para prever determinar los errores máximos permisibles.

Juan de Sanjosé et al. (2013) explican que:

La distancia principal influye en la determinación de la altura de vuelo y sobre la escala de la fotografía, de forma que tiene la siguiente relación:

$$\frac{1}{E} = \frac{(f)}{H_o}$$

Siendo:

f : La distancia principal o focal de la cámara.

H_0 : Altura de vuelo sobre el nivel medio del mar.

En un terreno quebrado existirían muchas alturas de vuelo, puesto que depende de la altura de la cámara sobre el terreno, por tanto lo que se hace es coger la altura de los puntos más notables (elevación y depresión) y realizar la media entre ambos valores obteniéndose h_m . La escala debida a h_m no debe diferir más del 10% de la escala obtenida para el punto más elevado h_2 , y para el punto con mayor depresión h_1 , de la fotografía (Fig. 11).

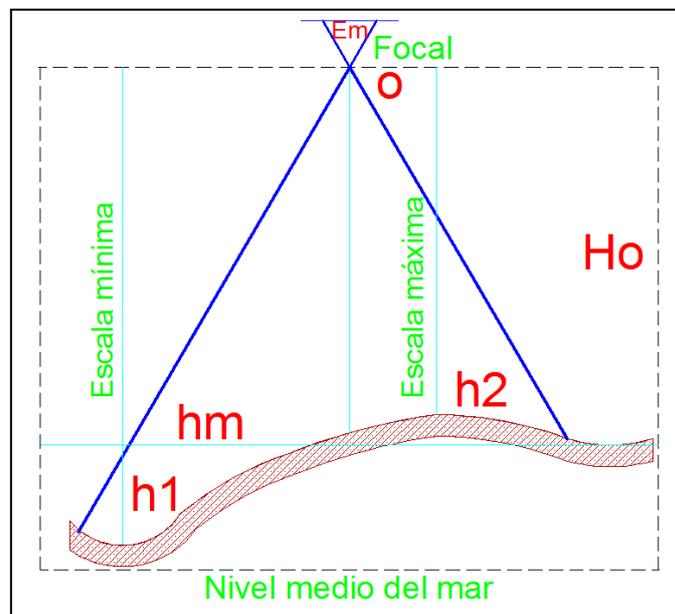


Figura 11: Distintas escalas de vuelo dependiendo de la topografía.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 148, Madrid/España: Bellisco.

Escala media:

$$\frac{1}{E_m} = \frac{f}{H_0 - h_m}$$

Siendo:

$$h_m = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

La relación entre el tipo de cámara y la altura de vuelo es:

Tabla 1

Relación entre el tipo de cámara y la altura de vuelo

Tipo de cámara	Altura de vuelo	Relación base-altura
Normal	0,3·E	1/3
Granangular	0,15·E	2/3
Supergranangular	0,088·E	1/1

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 149, Madrid/España: Bellisco.

Siendo el termino E, el denominador de la escala fotografía.

Para obtener una mayor calidad fotográfica se pretende que la altura de vuelo sea lo menor posible, puesto que atraviesan menos capas en la atmosfera. Por lo tanto, con las cámaras supergranangulares, se obtiene una mejor relación base-altura.

La fórmula que relaciona la escala de la fotografía con la escala de la cartografía es:

$$E = 200 \cdot \sqrt{E_c}$$

Donde, E es el denominador de la escala de la fotografía y E_c el denominador de la escala cartográfica. También se puede aplicar la siguiente tabla que relaciona las escalas:

Tabla 2*Relación de escala cartográfica con la escala fotográfica*

Denominador de escala cartográfica	500	1.000	5.000	10.000	25.000
Denominador escala fotografía	4.000	7.500	14.000	20.000	32.000

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 149, Madrid/España: Bellisco.

El error probable planimétrico tolerable en la determinación de las coordenadas de un punto a través de un restituidor debe ser parecido a $0,2 \cdot E$ (valor en milímetro):

$$e_p = E \cdot 0,02 \cdot \sqrt{2}$$

Error planimétrico para un punto bien definido, en milímetros:

$$e_p = E \cdot 0,01 \cdot \sqrt{2}$$

El error probable altimétrico tolerable en la determinación de la cota de un punto a través de un restituidor debe ser parecido a un tercio de la equidistancia. La expresión empleada para la determinación del error probable altimétrico, en milímetros:

$$e_z = 1,25 \cdot \cotan \frac{\omega}{2} \cdot E \cdot dp_A$$

Siendo:

ω = Campo o ángulo de la lente u objetivo.

Dp_A =Error en el posado de la marca flotante sobre el punto. Para terreno llano el valor es de 0,005 mm y para grandes desniveles 0,015 mm. (pp. 147-150)

2.2.2.3.1.5. Pasadas y recubrimientos fotogramétricos

Para reducir los errores producidos al tomar mosaico de fotografías, es necesario conocer los recubrimientos en base de la relación de los equipos fotográficos a emplear y la altura de vuelo, para ello Juan de Sanjosé et al. (2013) explican que:

Mediante el vuelo fotogramétrico se pretende tomar las fotografías de un terreno a una altura y velocidad constante, realizando pasadas rectas y paralelas, de forma que el ángulo formado entre un fotograma con su fotograma anterior y posterior es de $200g$, con un margen de desviación de $\pm 5 g$ (Fig. 12).

La cámara va tomando fotografías del terreno en un intervalo fijo de tiempo entre una exposición y otra, de forma que, entre cada toma fotográfica se produce un recubrimiento longitudinal en la misma pasada y a su vez un recubrimiento transversal con las pasadas adyacentes, las cuales son en sentido inverso (Fig. 13).

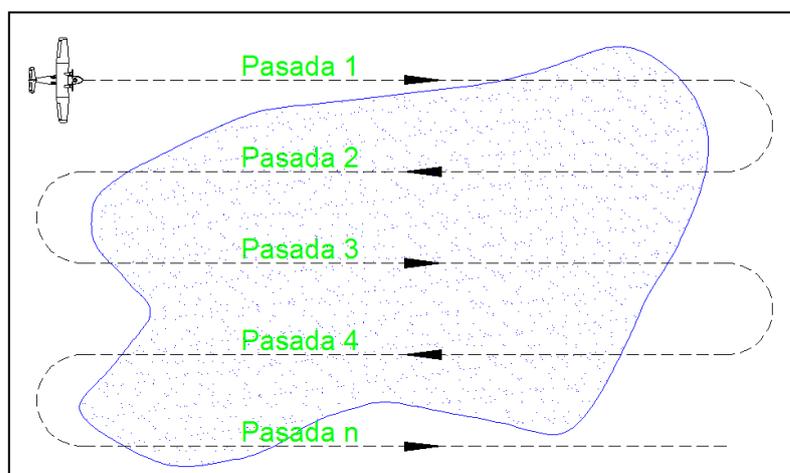


Figura 12: Direcciones de las pasadas fotogramétricas.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 150, Madrid/España: Bellisco.

Las dos fotografías que producen el recubrimiento longitudinal se denominan par fotogramétrico, y la distancia que hay entre ellas es la base de vuelo.

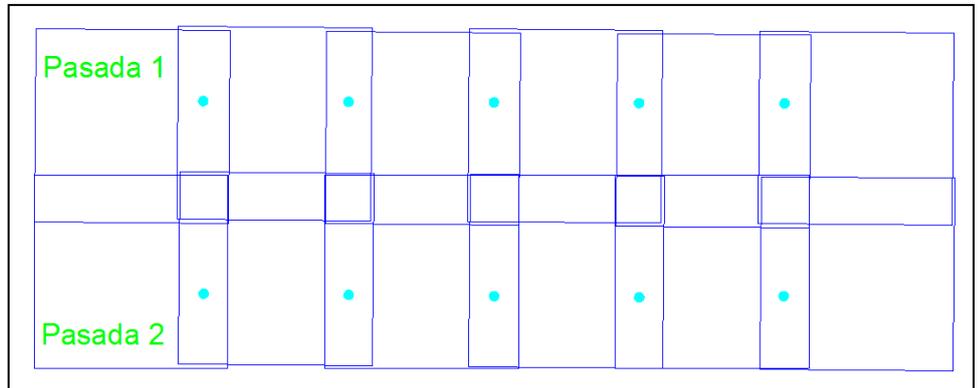


Figura 13: Configuración de los recubrimientos.

Fuente: “Topografía para estudio de grado”, Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 151, Madrid/España: Bellisco.

El recubrimiento longitudinal suele ser del 60%, aunque puede tener valores mayores, llegando incluso a valores del 90%.

El recubrimiento transversal depende de la altura de vuelo:

- Altura de vuelo sobre el terreno inferior a 1.500 metros: $30\% \pm 10\%$.
- Altura de vuelo sobre el terreno superior a 1.500 metros: $25\% + 10\%$.

Hay otros valores de la fotografía que se pueden deducir de los datos obtenidos de los recubrimientos son:

Recubrimiento longitudinal:

$$p(\%) = \frac{s - b}{s} \cdot 100$$

Recubrimiento transversal:

$$q(\%) = \frac{s - a}{s} \cdot 100$$

Despejando de las expresiones anteriores se deduce: Longitud de la base:

$$b = s \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right)$$

Distancia entre los ejes de dos pasadas contiguas:

$$a = s \cdot \left(1 - \frac{q}{100}\right)$$

Siendo:

s: Lado de la fotografía en la superficie terrestre:

s': Lado del negativo. En fotogrametría aérea normalmente es de 23 cm. (pp. 150-152)

2.2.2.3.2. Trabajo de campo

2.2.2.3.2.1. Control de tierra para la fotogrametría

Según Wolf y Ghilani (2009) consideran que:

Casi todas las fases de la fotogrametría dependen del control terrestre (puntos de posición y elevación conocidas con imágenes identificables en las fotografías). El control de tierra puede ser control básico (los señalamientos de poligonal, triangulación, trilateración o GPS ya existentes, se marcan previamente a las tomas fotográficas para que se identifiquen con facilidad en las fotos o control fotográfico (los puntos naturales tienen imágenes reconocibles en las fotografías y posiciones determinadas subsecuentemente por levantamientos terrestres que se originan del control básico).

Comúnmente los puntos de control fotográficos se seleccionan después de las tomas para garantizar su ubicación satisfactoriamente e identificación positiva. El premarcaje de puntos con

señales artificiales a veces es necesario en aéreas que no sean objetos naturales que proporcionen imágenes bien definidas.

Los esteremodelos de escalado y nivelación para cartografía con estereotrazadores requieren un mínimo práctico de tres puntos de control horizontal y cuatro puntos verticales en cada modelo. Por lo tanto, para trabajos grandes de cartografía, el costo del establecimiento del control en tierra que se requiere es considerable. En estos casos, se usa la aerotriangulación analítica para establecer muchos de los puntos de control necesarios a partir de sólo una red escasa de puntos levantados en tierra. Esto reduce el costo significativamente. (p.824-825)

A. PUNTOS DE APOYO

Juan de Sanjosé et al. (2013) definen a los puntos de apoyo como:

Se entiende el apoyo de campo al proceso de dar coordenadas terrestres a una serie de puntos que aparecen en la fotografía y que sirve para nivelar y dar escala al modelo estereoscópico.

Para ello, se dan coordenadas al menos a tres puntos de apoyo por cada par fotogramétrico mediante métodos topográficos (teodolito, taquímetro, estación total, G.P.S., ...), pues sirven de apoyo para la zona de recubrimiento de las fotografías anterior y posterior de la misma pasada y la superior e inferior de las pasadas adyacentes.

Previo a la salida topográfica de campo, se realiza la delimitación en las fotografías de las zonas donde se pretende dar los puntos de apoyo (Fig. 14).

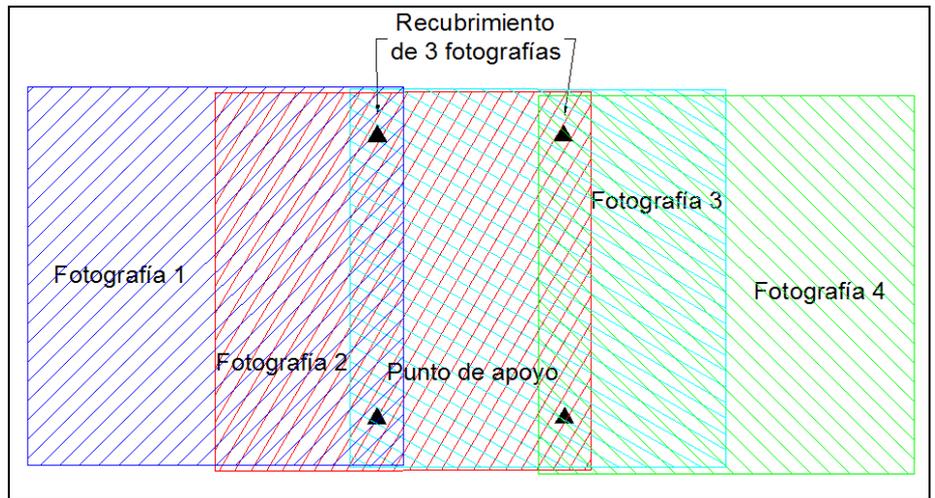


Figura 14: Puntos de apoyo en el modelo fotográfico.

Fuente: “Topografía para estudio de grado”, Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 174, Madrid/España: Bellisco.

Hay casos donde no es posible identificar los puntos de apoyo debido a ciertos donantes: altura de vuelo, terreno homogéneo sin detalles reseñables... y por tanto, hace necesaria la preseñalización mediante placas de plástico o tela, en las cuales hay una marca geométrica, generalmente en forma de cuadrado.

Los valores que tienen las marcas artificiales de forma cuadrada, mediante la fórmula $E/250$ son:

Tabla 3

Medida de lado de marcas artificiales cuadradas

Escala de la fotografía	Altura de vuelo (m.)	Lado de la señal (cm.)
1/4.000	600	16
1/5.000	750	20
1/10.000	1.500	40
1/15.000	2.225	60
1/25.000	3.750	100
1/50.000	7.500	200
1/80.000	12.000	320

Fuente: “Topografía para estudio de grado”, Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 175, Madrid/España: Bellisco.

Los puntos de apoyo deben reunir las siguientes características:

- a) Cualquier elemento natural o artificial sobre la superficie terrestre puede servir de punto de apoyo (postes, esquinas de edificaciones, cruce de caminos, matorrales,..), pero debe estar claramente definido y reconocible en todas las fotografías donde aparezca.
- b) El punto de apoyo estará dentro de la zona delimitada de la fotografía en el trabajo preparatorio de gabinete.
- c) El punto de apoyo cumplirá la condición de tener una dimensión mayor de: $E/250$ o en su defecto, lo más aproximadas posibles a $E/250$. Siendo E el denominador de la escala de la fotografía y el resultado está expresado en centímetros.
- d) También se realiza un croquis del punto de apoyo y de la zona donde se encuentra.

Con un elemento punzante se pincha el lugar donde aparece el punto en todas las fotografías, y posteriormente se referencia mediante un círculo y su número de apoyo. (pp. 174-176)

2.2.2.3.3. Trabajo de gabinete

Para procesar los datos de campo, es necesario conocer los conceptos fundamentales, que tienen como fin último primordial, plasmar los datos procesados en planos, para ello se desarrollaran los siguientes conceptos básicos.

A. LA VISIÓN ESTEREOSCÓPICA NATURAL

Juan de Sanjosé et al. (2013) explican la visión estereoscópica natural de la manera siguiente:

Observando un objeto desde un solo punto de vista, el cerebro no es capaz de formar una imagen tridimensional, o sea una persona tuerta no tiene capacidad de tener la sensación de relieve. La persona que tiene esta discapacidad suple la deficiencia con la experiencia, por ejemplo sabe que un objeto está más alejado que otro cuando observa que está oculto parcialmente o por la proyección de su sombra. Por tanto, es necesaria la visión binocular para la formación del relieve, la cual consiste en ver con cada ojo una imagen del objeto y al observarlo desde dos puntos de vista se tiene en el cerebro dos imágenes distintas, de forma que el cerebro las fusiona formando una sola imagen tridimensional.

La distancia entre las pupilas de los ojos se denomina base, generalmente las personas tienen una base de 65 milímetros. Para que se produzca sensación de relieve el ángulo paraláctico o de convergencia que deben formar las dos visuales debe ser mayor de $30''$, para ángulos menores las visuales son casi paralelas y, por tanto el cerebro no es capaz de percibir la sensación de relieve.

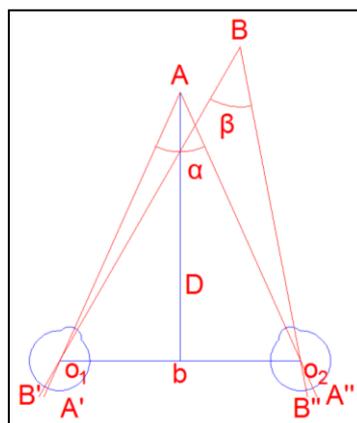


Figura 15: Distancia mínima para tener percepción del relieve.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 153, Madrid/España: Bellisco.

A continuación, se deduce la agudeza visual estereoscópica o poder separador, la cual es el valor mínimo en la paralaje, a través de la cual una persona puede distinguir profundidad (Fig. 15).

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{b}{2}}{D}$$

Desarrollando:

$$\alpha = \frac{b}{D}$$

Derivando la expresión anterior se obtiene la paralaje estereoscópica, la cual está relacionada con la diferencia de los ángulos paralácticos.

$$d\alpha = \frac{b}{D^2} \cdot dD$$

Siendo:

$$d\alpha = \beta - \alpha = -Ps$$

Por tanto:

$$Ps = \frac{b}{D^2} \cdot dD$$

Despejando, dD:

$$dD = \frac{D^2 \cdot Ps''}{b \cdot 206265''}$$

Para los valores Ps igual a 30" y b de 65 milímetros:

Tabla 4

Relación de distancia entre ojos-objeto y diferencial de distancia

Distancia ojos-objeto (metros):	1.000	500	200	100	10
Diferencial en distancia (metros):	2.237	559	89	22	0,22

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 154, Madrid/España: Bellisco.

Con los datos anteriores, la máxima distancia para tener sensación de relieve es de 447 metros.

Artificialmente se puede aumentar esta distancia máxima, de forma que se puede apreciar 1 metro de profundidad a una altura de vuelo de 4.000 metros. (pp. 153-155)

B. LA VISION ESTEREOSCOPICA ARTIFICIAL

Juan de Sanjosé et al. (2013) también explican la visión estereoscópica artificial de la manera siguiente:

La visión estereoscópica artificial es la sensación de relieve que tiene una persona al observar dos fotografías de un mismo objeto desde dos puntos de vista, esto es desde ion ojos, a través de un instrumento denominado estereoscopio.

En la visión artificial se van a cortar los haces de visión colocando unas fotografías que cumplen las propiedades de la fotogrametría entre los ojos y el objeto.

Para poder tener sensación de relieve en el cerebro se deben cumplir los «{guíenles puntos:

- a) Los haces de visión de los ojos se tienen que intersectar en las fotografías dentro de un rango de incertidumbre pequeño. Evitándose la formación de paralajes verticales en la observación de la fotografía.

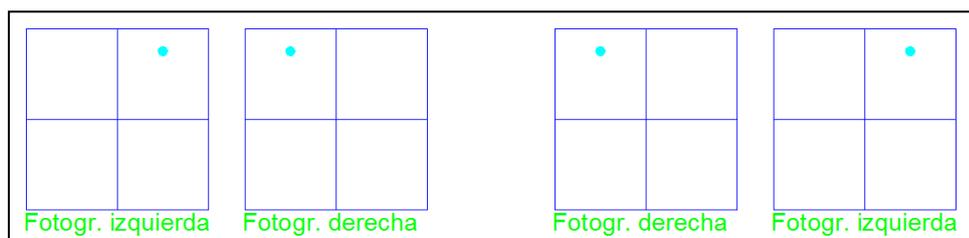


Figura 16: La visión estereoscópica y el efecto pseudoscópico.

Fuente: “Topografía para estudio de grado”, Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 155, Madrid/España: Bellisco.

Las fotografías tienen que observarse en la posición en la que fueron realizadas, de forma que en la observación de un mismo objeto el ojo izquierdo debe observar la fotografía donde se encuentre más cercano a la izquierda y el ojo derecho la fotografía donde aparece situado a la derecha. Si se cambia la posición de las fotografías se produce el efecto de la pseudoscopía, esto es, los valles o vaguadas de la realidad se convierten en el momento de la observación estereoscópica en divisorias de las montañas y viceversa (Fig. 16).

B.1. Instrumentos para la visión estereoscópica

Se clasifican los instrumentos fotogramétricos según el método de observación

en:

B.1.1. Estereoscopio de refracción

Se conocen con el nombre de estereoscopios de bolsillo y consisten en unos oculares con unos apoyos, que tiene dos lentes convergentes con la misma distancia focal y la posibilidad de separar las lentes una distancia igual a la distancia interpupilar, normalmente 65 milímetros (Fig. 17).

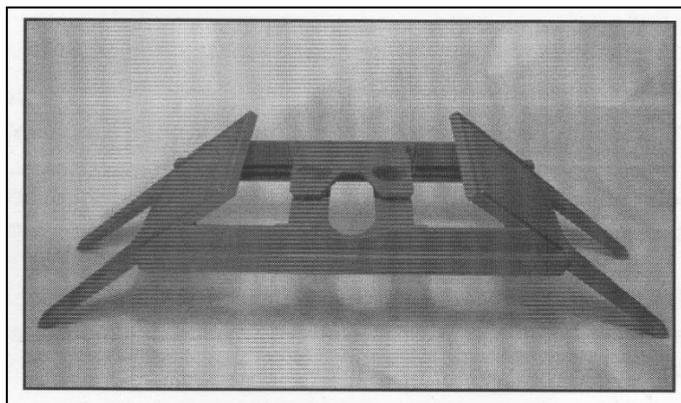


Figura 17: Estereoscopio de refracción.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 156, Madrid/España: Bellisco.

Es un método de observación cansado, ya que hay que observar las fotografías convergiendo los haces hacia el infinito, pero la acomodación de la vista se realiza a la distancia de las fotografías.

Los estereoscopios de bolsillo tienen el defecto de no permitir observar todo el recubrimiento longitudinal. La zona que no se puede observar se denomina zona oscura.

B.1.2. Estereoscopio de reflexión

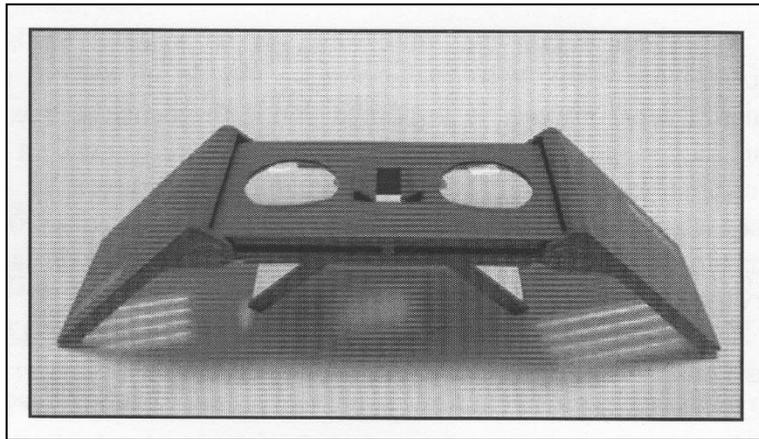


Figura 18: Estereoscopio de espejos.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 156, Madrid/España: Bellisco.

Se conocen con el nombre de estereoscopios de espejos, y para evitar la zona oscura que producían los estereoscopios de bolsillo se amplía la distancia interpupilar introduciendo dos espejos o un prisma y un espejo formando 45 grados, entre el ocular y las fotografías (Fig. 18).

A estos estereoscopios se les pueden acoplar unos oculares con aumentos, lominándose estereoscopios mixtos.

B.1.3. Anáglifo

Se obtienen las fotografías de un objeto desde dos puntos de vista y posteriormente cada

fotografía se imprime con un color complementario a la otra haciendo coincidir sus puntos principales. En la impresión la fotografía izquierda tiene el color azul y la fotografía derecha el color rojo, en la observación se colocan lentes coloreadas de forma que el ocular izquierdo es rojo y el ocular derecho es azul.

Los anáglifos tienen la ventaja de poderse observar el par estereoscópico por varias personas a la vez.

B.2. Colocación de las fotografías para la visión estereoscópica

Los fotogramas se colocan en el plano de la mesa de trabajo, por tanto de los tres giros que se pueden producir al realizar la toma de dos fotografías consecutivas para formar el modelo estereoscópico solo se puede corregir el producido por la deriva del avión.

Para realizar la visión estereoscópica hay que realizar los siguientes pasos:

- a) Evitar el efecto pseudoscópico: Hay que colocar las fotografías en la posición en que se realizaron las tomas fotográficas.
- b) Identificación de los puntos principales: Con la intersección de las marcas fiduciales se determina el punto principal de la fotografía. A continuación, se identifica ese punto principal en la otra fotografía, lo que se denomina punto principal conjugado.

Las distancias entre un punto principal y el conjugado de la fotografía que forma el par estereoscópico es la representación de la base aérea sobre la fotografía.

- c) Corrección de la deriva: Girando una

fotografía respecto a la otra y colocando alineados los dos puntos principales y sus conjugados se corrige la deriva.

d) Colocación de las fotografías con una separación determinada por la base estereoscopio, se fijan la fotografías a la mesa y se coloca el estereoscopio produciendo unos giros en el plano de la mesa hasta que la imagen en el ocular izquierdo esté en línea con su conjugado en el ocular derecho para que se elimine la paralaje vertical p_y (Fig. 19). Esta paralaje vertical es debida a que las fotografías del par estereoscópico no están a la misma altura de vuelo o están inclinadas. Y la paralaje horizontal p_x no será constante en el par estereoscópico si el terreno es abrupto y las fotografías no son verticales. (pp. 155-158)

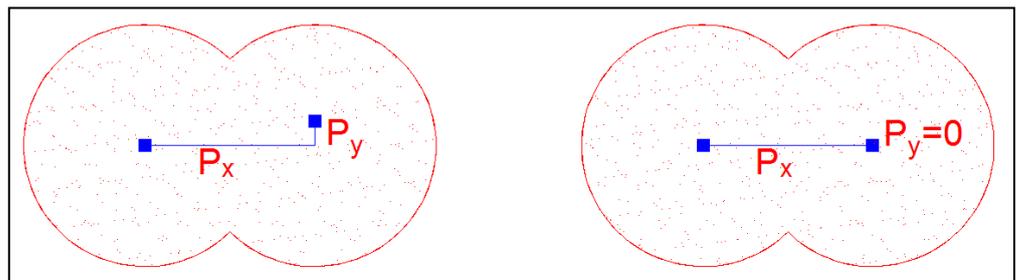


Figura 19: Antes y después corregir la paralaje vertical, visto a través de los oculares del estereoscopio.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 158, Madrid/España: Bellisco.

C. LA PARALAJE ESTEREOSCOPICA

C.1. Concepto de paralaje. Barra de paralaje

Juan de Sanjosé et al. (2013) afirman que:

La paralaje estereoscópica es el desplazamiento de un objeto inmóvil, que se produce en dos fotografías cuando se realiza la

toma de un objeto desde dos puntos de vista causada por el movimiento de la cámara que va en el avión.

En la figura de la paralaje estereoscópica se deduce que los puntos de toma de la cámara son O_1 y O_2 . El objeto A que está en la superficie terrestre queda impresionado en un fotograma en a_1 y en el otro fotograma en a_2 , por tanto la paralaje es la diferencia entre a_1 y a_2 . Haciendo una sencilla regla de tres se deduce el valor de la paralaje para un punto A (Fig. 20).

$$P_A = \frac{B \cdot f}{H_A}$$

De la fórmula de la paralaje se deduce: cuanto más cerca se encuentre un objeto del punto de toma de la cámara, mayor será el valor de la paralaje. Teniendo en cuenta esto, se puede determinar las altitudes de los puntos mediante medidas de la paralaje.

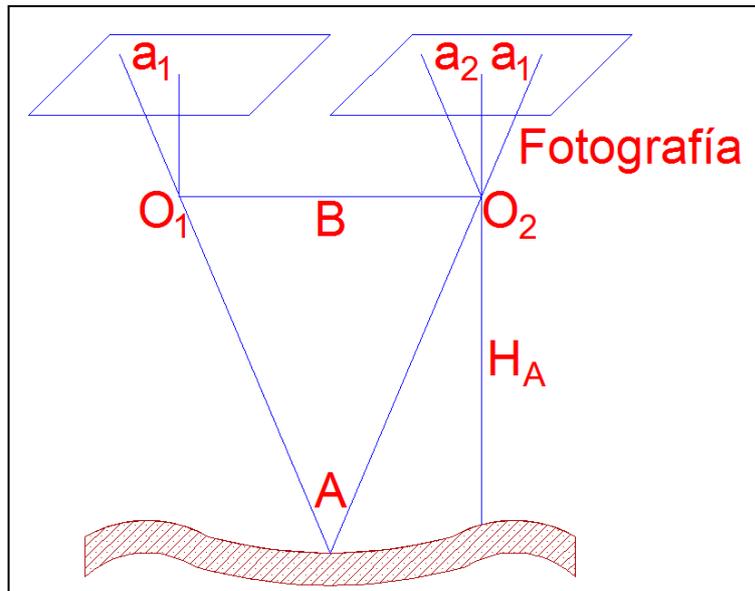


Figura 20: Paralaje estereográfica.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 159, Madrid/España: Bellisco.

Como se vio anteriormente, la paralaje estereoscópica tiene una componente horizontal y una componente vertical. La paralaje vertical hay que intentar eliminarla y la paralaje horizontal se determina mediante la barra de paralaje.

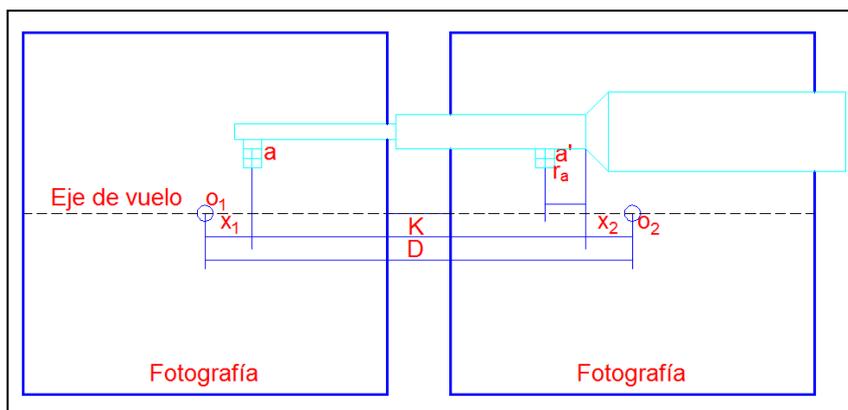
La barra de paralaje es un instrumento sencillo que pretende interpretar sin mucha precisión las fotografías. Si se quiere conseguir grandes precisiones para obtener cartografía hay que recurrir al empleo de los restituidores.

La barra de paralaje consta de dos placas, una fija y otra móvil. Las placas llevan unas marcas, las cuales son las que se ponen encima del punto y su conjugado. En el micrómetro que tiene la barra de paralaje se obtiene las paralajes horizontales con precisiones de hasta la centésima de milímetro.

C.2. Medida de la paralaje

Para la realización de las medidas de la paralaje se necesita un estereoscopio de espejos y la barra de paralaje.

Se colocan las fotografías en la mesa como se explicó en el apartado: “2. 2. Colocación de las fotografías para la visión estereoscópica”. A continuación, se coloca la barra de paralaje encima del par estereográfico, de forma que la placa fija se sitúa encima del punto en la fotografía de la izquierda y la placa móvil se va moviendo hasta colocarla encima de su punto conjugado en la fotografía de la derecha del par estereográfico. Si se observa el par de fotografías a través del estereoscopio deben coincidir las dos marcas de la barra de paralaje (Fig. 21).



D: Distancia entre los puntos principales. K: Distancia entre la marca izquierda y el índice.

Figura 21: Medición de la paralaje de un punto.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 160, Madrid/España: Bellisco.

Los valores de D y K son fijos para todas las medidas. La distancia entre la placa móvil de la derecha y el índice del micrómetro es r_a .

La paralaje es:

$$p_A = D - d = x_1 - x_2$$

Siendo:

$$\text{Por tanto: } d = K - r_a$$

$$p_A = D - K + r_a$$

Siendo la constante de la barra:

$$C = D - K = D - d - r_a$$

Determinando C con varios puntos sólo hay que leer e n para determinar la paralaje de cada punto:

$$p_A = C + r_a$$

C.3. Ecuaciones de la paralaje

Midiendo la paralaje de la forma que se acaba de exponer, se puede determinar las coordenadas de un punto A(X_A , Y_A , h_A), conociéndose

previamente la focal, la altura del centro de proyección sobre la superficie de referencia y la base o distancia entre tomas (Fig. 22). Observando la figura siguiente se determina la igualdad:

$$\frac{X_A}{x_1} = \frac{Y_A}{y_1} = \frac{H - h_A}{f}$$

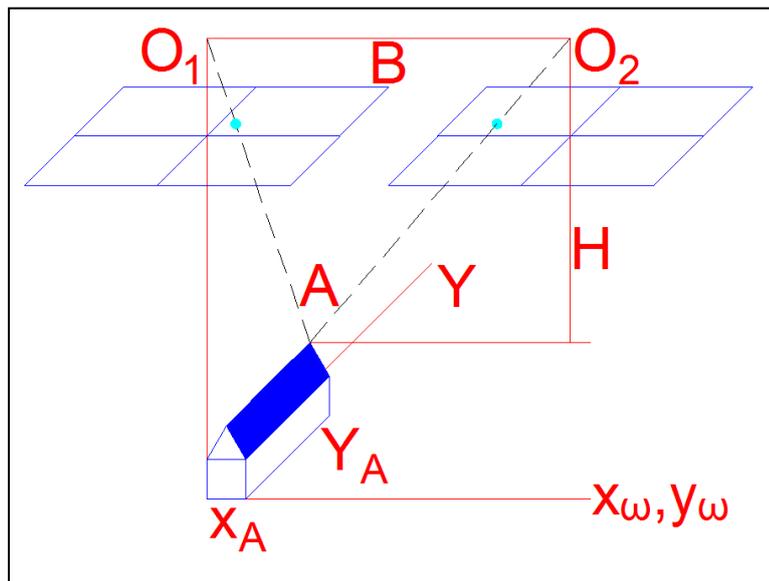


Figura 22: Sistema gráfico para la determinación de las ecuaciones de la paralaje.

Fuente: “Topografía para estudio de grado”, Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 161, Madrid/España: Bellisco.

Las ecuaciones de la paralaje son:

$$X_A = B \cdot \frac{x_1}{p_A}$$

$$Y_A = B \cdot \frac{y_1}{p_A}$$

$$h_A = H_A - \frac{B \cdot f}{(x_1 - x_2)} = H_A - \frac{B \cdot f}{p_A}$$

Además, la altura de vuelo y la base fotogramétrica se pueden d conociendo la altitud

de dos puntos S y T, y formando un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$h_S = H - \frac{B \cdot f}{p_S}$$

$$h_T = H - \frac{B \cdot f}{p_T}$$

Una determinación aproximada de la diferencia de altitudes entre dos puntos, mediante la medición de la paralaje es:

$$h_A - h_B = \frac{\Delta p_A^B}{b} \cdot H_m$$

Siendo h_B un punto de altitud conocida, H_m la altura media de vuelo y Δp_A^B el incremento de paralajes.

$$\Delta p_A^B = p_A - p_B$$

Si el terreno es llano se puede aproximar: $P_A=b$.

$$h_A - h_B = \frac{\Delta p_A^B}{b} \cdot H_m$$

En la determinación de la altitud de un punto se produce una incertidumbre o error que es proporcional a la apreciación del micrómetro en la lectura de la paralaje.

$$dh_A = \frac{H_{A^2}}{B \cdot f} \cdot dp_A$$

El valor medio de dp_A es de 0,01 milímetros.

(pp. 158-162)

D. RESTITUCIÓN Y AJUSTE DE UN PAR FOTOGRAMÉTRICO

Finalmente, para la obtención de los planos o mapas, es necesario conocer las definiciones y el procedimiento de cálculo que conllevan la restitución y ajuste de las

fotografías.

D.1. Restitución

Según Juan de Sanjosé et al. (2013) definen la restitución como:

Se denomina restitución a las actuaciones que hay que realizar sobre las fotografías para transformar su proyección cónica en una proyección ortogonal y dibujar un mapa o plano, Por tanto, con el proceso de la restitución lo que se pretende es colocar las fotografías en la misma posición en la que fueron tomadas en el vuelo fotogramétrico y a una determinada escala.

Se denomina restitución a las actuaciones que hay que realizar sobre las fotografías para transformar su proyección cónica en una proyección ortogonal y dibujar un mapa o plano, Por tanto, con el proceso de la restitución lo que se pretende es colocar las fotografías en la misma posición en la que fueron tomadas en el vuelo fotogramétrico y a una determinada escala.

La recogida de información sobre el objeto fotografiado hay que realizarla a través de unas máquinas denominadas restituidores, Según la forma de reconstruir el par estereográfico a partir de las fotografías se clasifican en:

- a) Restitución analógica: Son los instrumentos más antiguos y disponen de unos mecanismos ópticos-mecánicos que reproducen la geometría de los rayos que han impresionado la película, Los restituidores según la forma de reconstruir el rayo desde el cliché hasta el centro de proyección (espacio imagen) o desde el centro de proyección al objeto o intersección de los rayos homólogos del par estereográfico

(espacio objeto), se clasifican:

- Restituidores ópticos: La reconstrucción de los rayos es óptica, tanto en el espacio imagen como en el espacio objeto.
- Restituidores óptico-mecánicos. Reconstrucción óptica en el espacio imagen y reconstrucción mecánica en el espacio objeto.
- Restituidores mecánicos: Reconstrucción mecánica en el espacio imagen y en el espacio objeto.

b) Restitución analítica: En este tipo de restituidores no se realizan medidas óptico-mecánicas sobre los fotogramas, sino que, a través de un ordenador se recogen coordenadas de los fotogramas y mediante cálculos matemáticos se obtienen coordenadas terreno.

c) Restitución digital: Para realizar la restitución digital es necesario escanear la fotografía para convertirla en un fichero digital ráster de alta resolución, además se necesita un ordenador con gran capacidad de almacenamiento de información y un sistema de visión estereoscópica en la pantalla del restituidor. Mediante este sistema se puede restituir la imagen registrada de forma vectorial.

(p. 164)

D.2. Ajuste de un par fotogramétrico

Según Juan de Sanjosé et al. (2013):

Para la formación del modelo en el restituidor en la misma posición en que fueron realizadas las

fotografías hay que seguir el "método general de la fotogrametría":

- a) Orientación interna.
- b) Orientación relativa.
- c) Orientación absoluta.

Para resolver el ajuste las fotografías aéreas deben cumplir que sean verticales, esto es, el ángulo de la vertical del lugar con el del eje principal es menor a 30° , y que el recubrimiento de las fotografías sea al menos del 50 %. Sobre el área de recubrimiento es donde se va a analizar el ajuste del par estereográfico.

Para hacer el ajuste, lo primero a realizar es colocar el positivo transparente de la fotografía izquierda en el proyector de la izquierda del restituidor y el positivo transparente de la fotografía derecha en el proyector de la derecha, para evitar el efecto pseudoscópico.

D.2.1. Orientación interna

Para aplicar la orientación interna debe disponerse del certificado de calibración de la cámara y deben medirse la posición de las marcas fiduciales (cuatro u ocho marcas), para proceder posteriormente a la realización de las operaciones:

a) Transformación de coordenadas del sistema fotográfico al sistema calibrado: Puede aplicarse una transformación conforme, afín o proyectiva, depende del número de marcas fiduciales medidas.

b) La falta de coincidencia del punto principal con el punto de intersección de las marcas fiduciales: En el certificado de calibración de la cámara vienen las

coordenadas del punto principal referidas al centro fiducial. Este error se produce porque no existe coincidencia entre el eje óptico del objetivo y el eje mecánico de las lentes y, a su vez perpendicularidad de estos ejes con el plano focal (Fig. 23).

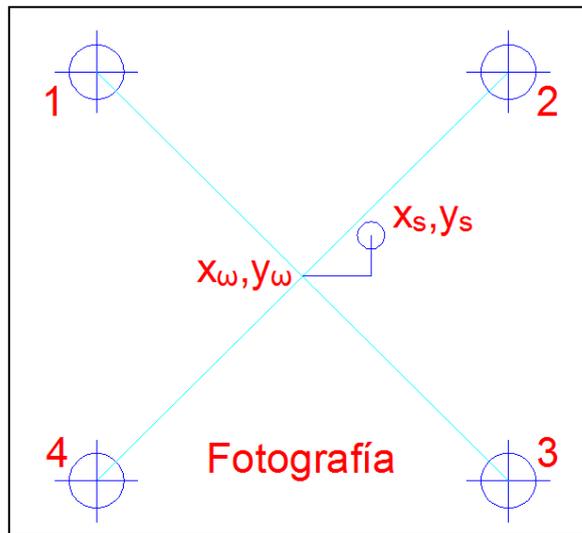


Figura 23: Diferencia entre el punto principal y el obtenido por intersección de las marcas fiduciales.

Fuente: “Topografía para estudio de grado”, Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 165, Madrid/España: Bellisco.

$$T_x = x_s \pm x_w$$

$$T_y = y_s \pm y_w$$

Siendo:

(T_x, T_y) : Traslación del centro fiducial al punto principal.

(x_s, y_s) : Coordenadas del centro principal.

(x_w, y_w) : Coordenadas del centro fiducial.

Para un punto cualquiera se corrige mediante una simple traslación, que normalmente tiene valores de pocas micras.

$$x_{s1} = X_{w1} \pm T_x$$

$$x_{S1} = X_{w1} \pm T_x$$

Siendo:

(X_{S1} , Y_{S1}): Coordenadas de un punto en el sistema principal.

(X_{w1} , y_{w1}): Coordenadas de un punto en el sistema fiducial.

La discrepancia entre los dos puntos se obtiene mediante el proceso de la calibración.

c) Efectos de la distorsión en la cámara métrica: Mediante el certificado de calibración de la cámara se muestra la curva de distorsión, a través de la cual se conoce el desplazamiento de la imagen (Fig. 24).

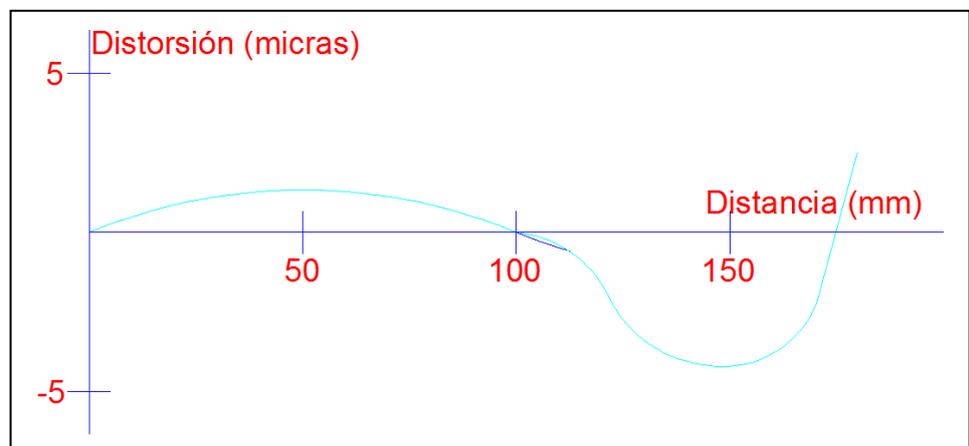


Figura 24: Curvas de distorsión correspondientes a la media de las cuatro semidiagonales de una cámara.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 166, Madrid/España: Bellisco.

Se analiza la diferencia del ángulo de incidencia sobre las lentes del objetivo respecto al ángulo refractado o de salida del objetivo en el cliché.

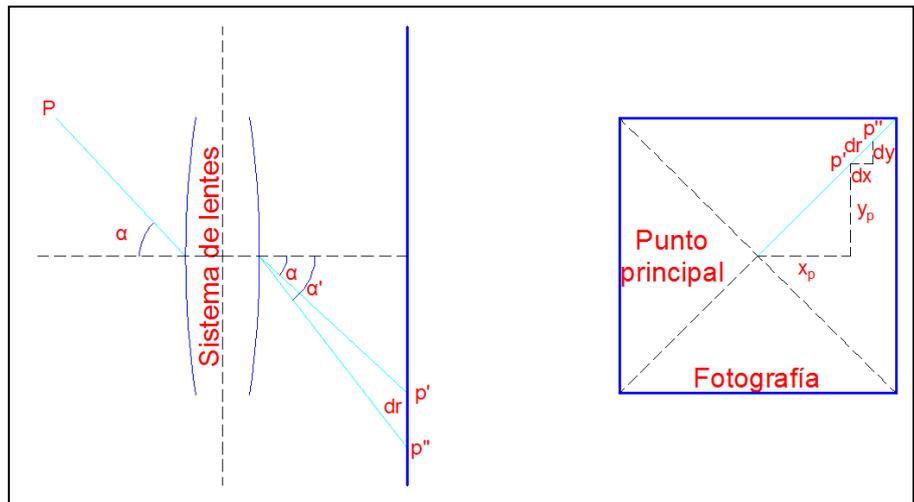


Figura 25: Efecto de la distorsión.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 166, Madrid/España: Bellisco.

La corrección debida a la distorsión es (Fig. 25):

$$x_{p''} = x_{p'} + d_x = x_{p'} + \frac{x_{p'}}{r} \cdot dr$$

$$y_{p''} = y_{p'} + d_y = y_{p'} + \frac{y_{p'}}{r} \cdot dr$$

Siendo:

dr: La función de distorsión, la cual tiene la expresión:

$$dr = a_1 r + a_2 r^3 + a_3 r^5 + a_4 r^7$$

d) Refracción atmosférica: Debido a que la presión atmosférica y la temperatura que hay entre el avión y la superficie terrestre no son constantes, el rayo de captación de la imagen no es recto sino que se produce una pequeña curvatura. El desplazamiento, dr debido a la refracción atmosférica es mayor cuanto más alto se realice la fotografía aérea y mayor ángulo exista entre el objeto y el punto principal.

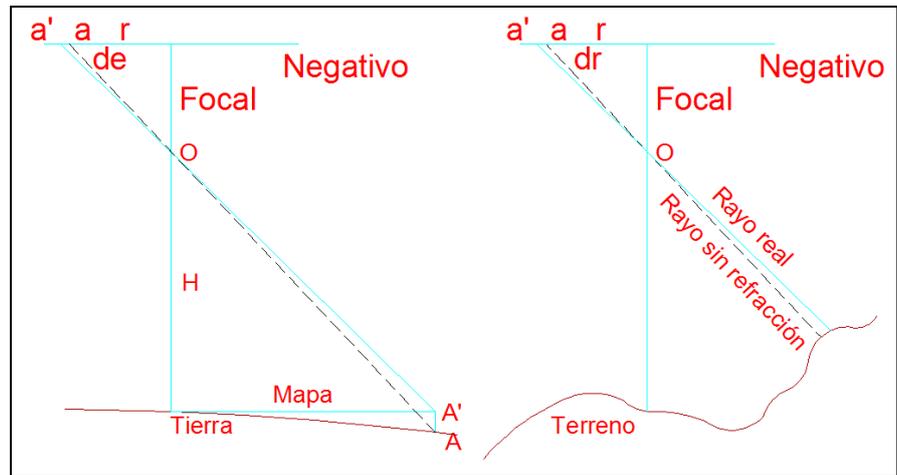


Figura 26: Desplazamientos de y dr, debidos a la esfericidad terrestre y refracción atmosférica.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 167, Madrid/España: Bellisco.

$$d_r = f \cdot \left(1 + \frac{r^2}{f^2} \right) \cdot d\alpha = \frac{f}{\cos^2 \alpha} \cdot d\alpha$$

Siendo:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{f} \right)$$

Para determinar $d\alpha$ existen tablas en función de la altitud de vuelo y las condiciones atmosféricas. La refracción atmosférica tiene un efecto contrario a la esfericidad terrestre. En fotogrametría terrestre no se aplica corrección.

e) Esfericidad terrestre: La fotografía aérea es un paso previo para la obtención de la cartografía, la cual debe cumplir la característica que debe ser una representación plana (Fig. 26).

El error debido a la esfericidad terrestre tiene mayor importancia cuanto menor sea la focal de la cámara y más alejado este el punto imagen del punto principal. En fotogrametría terrestre no se aplica.

Debido a que la Tierra no es una superficie plana, se produce un desplazamiento de la imagen en la fotografía., d_e .

$$d_e = \frac{H \cdot r^3}{2 \cdot R \cdot f^2}$$

Siendo:

R=Radio medio terrestre.

f = Distancia focal de la cámara.

H= Altitud sobre el terreno.

Es obligatorio aplicar todas las correcciones analizadas para la realización de la fotogrametría analítica y aerotriangulación analítica. Las coordenadas que se obtienen después del proceso de orientación interna se denominan coordenadas imagen.

D.2.2. Orientación relativa

Una vez determinadas las coordenadas imagen quiere obtenerse analíticamente las coordenadas terreno de los puntos. Para calcular las coordenadas terreno es necesario colocar los centros de proyección y los planos de las fotografías misma posición espacial que en el momento de hacerse las fotografías, para ello debe referenciarse las posiciones de las fotografías en el sistema de coordenadas terreno.

La solución analítica al problema de obtención de coordenadas terreno a partir de las coordenadas imagen, pasa por la aplicación de dos métodos:

- Condición de colinealidad: Cálculo simultaneo de todos los elementos de orientación de las dos fotografías. Esta condición obliga a la intersección de los rayos homogéneos y que

esta intersección contenga a los puntos de apoyo (terreno).

- Condición de coplaneidad: Se realiza esta condición en fases, puesto que primero se realiza la orientación relativa (intersección de rayos homólogos) donde se obtienen las coordenadas modelo, y posteriormente se ejecuta una transformación tridimensional de semejanza entre las coordenadas del modelo y del terreno.

D.2.2.1. Condición de colinealidad

Esta condición obliga a que se encuentren en la misma recta el centro de proyección, el punto imagen y el punto terreno. De esta manera, sí se consigue esta condición en las dos fotografías, queda asegurada la intersección de los rayos homólogos en el punto terreno prefijado (Fig. 27).

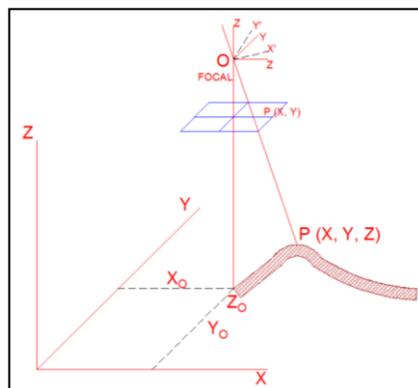


Figura 27: Condición de colinealidad.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 169, Madrid/España: Bellisco.

La transformación debida a la rotación en el plano imagen es:

$$x = a_{11}x' + a_{12}y' + a_{13}f$$

$$y = a_{21}x' + a_{22}y' + a_{23}f$$

$$x = a_{31}x' + a_{32}y' + a_{33}f$$

Siendo:

(x', y', f) : Coordenadas imagen obtenidas en la orientación interna.

(x, y, z) : Coordenadas imagen paralelas al sistema terreno.

$(a_{11}, a_{12}, \dots, a_{33})$: Componentes de la matriz de rotación tridimensional (Euler).

Desarrollando el sistema se llega a las ecuaciones de la condición de colinealidad (intersección inversa para un proyector):

$$x' = f \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y' = f \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

Estas ecuaciones contienen 12 elementos independientes:

- Coordenadas imagen: (x', y', f)
- Coordenadas del centro de proyección: (X_0, Y_0, Z_0)
- Coordenadas del objeto (terreno): (X, Y, Z)
- Elementos de la matriz de rotación $(\omega, \varphi, \alpha)$, los cuales están en la matriz m (inversa de la matriz de rotación de Euler) de dimensión 3×3 .

De igual forma se procede con el otro proyector, y debido a la dificultad de resolver el sistema de ecuaciones (sistema no lineal), se realiza un desarrollo en serie de Taylor. El sistema que se obtiene es:

$$0 = dx' + A_{11}dX + A_{12}dY + A_{13}dZ - A_{11}dX_0 - A_{12}dY_0 - A_{13}dZ_0 \\ + A_{14}d\omega + A_{15}d\varphi + A_{16}dX + P$$

$$0 = dy' + A_{21}dX + A_{22}dY + A_{23}dZ - A_{21}dX_0 - A_{22}dY_0 - A_{23}dZ_0 \\ + A_{24}d\omega + A_{25}d\varphi + A_{26}dX + Q$$

Los términos (A_{11} , A_{12} , ..., A_{26}) son los coeficientes correspondientes a la resolución de las derivadas parciales.

Se crea un sistema de ecuaciones para cada punto en cada proyector, por lo tanto un punto terreno tiene cuatro ecuaciones (dos en la fotografía izquierda y dos en la fotografía derecha). La resolución del sistema sigue la metodología de mínimos cuadrados y es necesario conocer al menos tres puntos de apoyo. Los tres puntos generan doce ecuaciones y las doce incógnitas son las coordenadas de los centros de proyección (X_0 , Y_0 , Z_0) y los giros (ω , φ , X) para cada uno de los proyectores. Los valores obtenidos de las incógnitas para un primer cálculo, se suman a los datos aproximados iniciales (proyector izquierdo y derecho) y se obtienen los datos para una primera iteración. Cuando los diferenciales son despreciables se dejan las iteraciones.

$$\begin{array}{ll} X_0^i = X_{0a}^i + dX_0^i & X_0^d = X_{0a}^d + dX_0^d \\ Y_0^i = Y_{0a}^i + dY_0^i & Y_0^d = Y_{0a}^d + dY_0^d \\ Z_0^i = Z_{0a}^i + dZ_0^i & Z_0^d = Z_{0a}^d + dZ_0^d \\ \omega_0^i = \omega_{0a}^i + d\omega_0^i & \omega_0^d = \omega_{0a}^d + d\omega_0^d \\ \varphi_0^i = \varphi_{0a}^i + d\varphi_0^i & \varphi_0^d = \varphi_{0a}^d + d\varphi_0^d \\ X_0^i = X_{0a}^i + dX_0^i & X_0^d = X_{0a}^d + dX_0^d \end{array}$$

D.2.2.2. Condición de coplaneidad

El mínimo número de puntos para ejecutar la orientación relativa es de cinco, con una distribución por la zona de recubrimiento según propone Otto von Gruber (Fig,28).

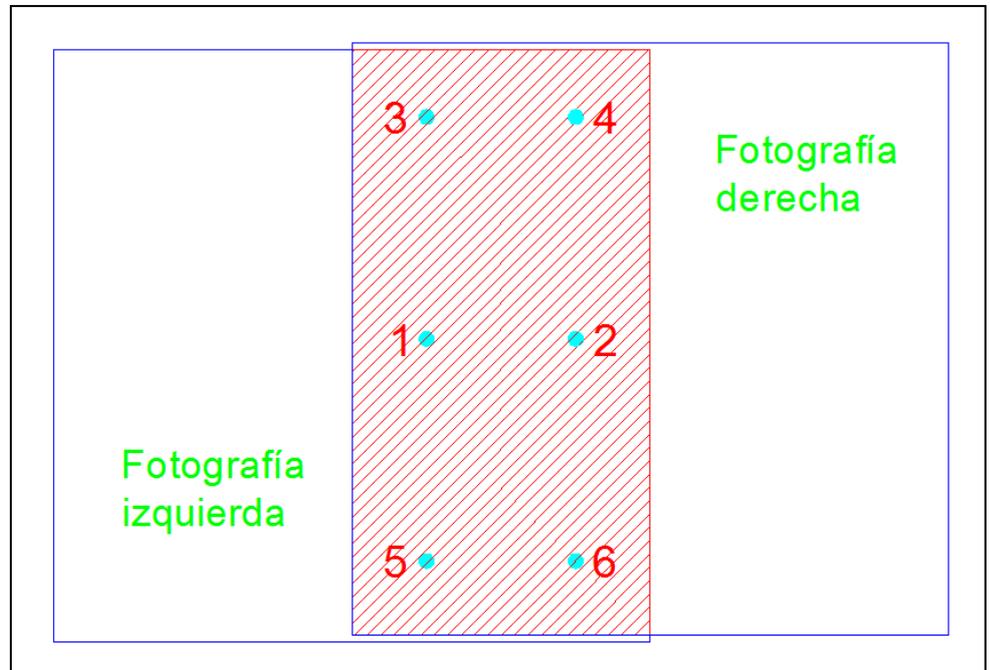


Figura 28: Ubicación de los puntos Gruber en la zona de recubrimiento.

Fuente: "Topografía para estudio de grado", Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 171, Madrid/España: Bellisco.

La condición de coplaneidad puede expresarse como (Fig. 29).

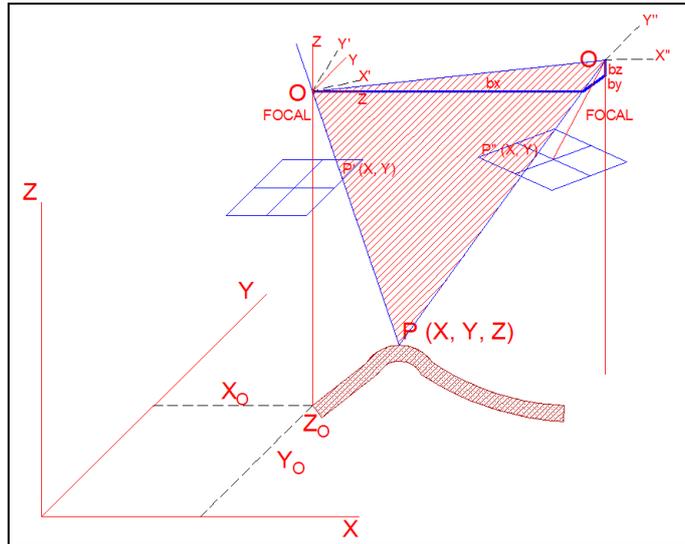


Figura 29: Condición de coplaneidad.

Fuente: “Topografía para estudio de grado”, Juan de Sanjosé, J., Martínez E., López M. y Atkinson A., 2013, p. 172, Madrid/España: Bellisco.

$$\Delta = \begin{vmatrix} x_o^i & y_o^i & z_o^i & 1 \\ x' & y' & z' & 1 \\ x_o^d & y_o^d & z_o^d & 1 \\ x'' & y'' & z'' & 1 \end{vmatrix} = 0$$

Suponiendo que el origen del sistema está en el centro de proyección fotograma izquierdo se obtiene la expresión general de la condición de coplaneidad:

$$\Delta = (x' \ y' \ z') \begin{pmatrix} a_{11}^i & a_{21}^i & a_{31}^i \\ a_{12}^i & a_{22}^i & a_{32}^i \\ a_{13}^i & a_{23}^i & a_{33}^i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & bz & -by \\ -bz & 0 & bx \\ by & -bx & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11}^d & a_{21}^d & a_{31}^d \\ a_{12}^d & a_{22}^d & a_{32}^d \\ a_{13}^d & a_{23}^d & a_{33}^d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ f \end{pmatrix} = 0$$

Haciendo:

$$\beta y = \frac{by}{bx}$$

$$\beta z = \frac{bz}{bx}$$

Queda la expresión:

$$\Delta = \begin{matrix} bx & by & bz \\ \bar{x}' & \bar{y}' & \bar{z}' \\ \bar{x}'' & \bar{y}'' & \bar{z}'' \end{matrix} = 0$$

Aplicando el desarrollo en serie de Taylor a la expresión anterior de Δ (hasta un primer término), se obtiene la expresión general:

$$\Delta = (\Delta)_0 + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial \beta_y}\right)_0 d\beta_y + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial \beta_z}\right)_0 d\beta_z + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial \omega_1}\right)_0 d\omega_1 + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial \varphi_1}\right)_0 d\varphi_1 \\ + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial \chi_1}\right)_0 d\chi_1 + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial \omega_d}\right)_0 d\omega_d + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial \varphi_d}\right)_0 d\varphi_d + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial \chi_d}\right)_0 d\chi_d$$

La expresión es:

$$B_{11}^i d\beta_y + B_{12}^i d\beta_z + B_{13}^i d\omega_i + B_{14}^i d\varphi_i + B_{15}^i d\chi_i + B_{16}^i d\omega_d + B_{17}^i d\varphi_d + B_{18}^i d\chi_d + (\Delta)_0 = 0$$

Se miden las coordenadas imagen de un número de puntos igual o mayor a cinco en las dos fotografías (izquierda y derecha) y se fijan valores aproximados para cada elemento de la orientación.

A partir de este método general puede realizarse la orientación en dos direcciones:

- Fotografía izquierda fija: El sistema de referencia del modelo coincide con el sistema de referencia de la fotografía izquierda. Se emplean los componentes de la base y rotaciones del fotograma derecho. Por ello, $\omega_i = \varphi_i = \chi_i$ y las incógnitas a resolver son: $\beta_y = \beta_z = \omega_d = \varphi_d = \chi_d$.
- Empleo de los giros de las fotografías: El sistema de coordenadas modelo tiene su origen en el centro de proyección izquierdo y el eje x pasa por el centro de proyección del fotograma derecho y el eje y es paralelo al plano imagen del fotograma izquierdo. Estos condicionantes

implican que $\omega_i = \beta_y = \beta_z = 0$ y las incógnitas son: $\varphi_i = \chi_i = \omega_d = \varphi_d = \chi_d$.

Una vez se hayan resuelto las incógnitas por uno de los métodos anteriores, se deben calcular las coordenadas modelo para cada punto en relación a los valores obtenidos de $\beta_y = \beta_z = \omega_i = \varphi_i = \chi_i = \omega_d = \varphi_d = \chi_d$.

1.2.3. Orientación absoluta

Una vez calculadas las coordenadas terreno (condición de coplaneidad), la siguiente operación es la nivelación del modelo y trasladarlo a su verdadera posición espacial.

Para proceder a este cálculo deben conocerse las coordenadas de al menos tres puntos tanto en el sistema de referencia modelo como en el sistema terreno. Debe hacerse una transformación tridimensional de semejanza:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \lambda \cdot R \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{pmatrix}$$

Donde:

(X, Y, Z): Coordenadas terreno de un punto de apoyo.

(x, y, z): Coordenadas modelo.

(T_X, T_Y, T_Z): Translación entre el sistema de coordenadas modelo y terreno.

λ : Factor de escala entre los dos sistemas de coordenadas.

R: Matriz de rotación, dependiente de los giros (ω , φ , χ).

Las siete incógnitas son: T_X, T_Y, T_Z, λ , ω , φ , χ . Por lo tanto, con conocer las coordenadas tridimensionales de dos puntos y la cota de un

tercero, es posible resolver el sistema. (pp. 164-174)

2.2.2.3.4. Ortofotos

Según Wolf y Ghilani (2009) explican que:

Las ortofotos son representaciones en proyección ortogonal del terreno en forma de fotos. Se obtienen a partir de las fotos aéreas en un proceso llamado rectificación diferencial, que elimina las variaciones de escala y los desplazamientos de imágenes debido al relieve y la inclinación. Por consiguiente, los detalles representados se muestran en su posición planimetría verdadera.

Los instrumentos utilizados en la rectificación diferencial varían bastante en diseño. Las primeras versiones eran básicamente trazadores estereoscópicos modificados con proyección óptica o mecánica. En los instrumentos de proyección óptica, una ortofoto se obtiene escaneando sistemáticamente un estereomodelo y fotografiándolo en una serie de bandas angostas y adyacentes. La rectificación (supresión del ladeo o inclinación) se efectúa nivelando el modelo al control de tierra antes de proceder al escaneado, y las variaciones de escala divididas al relieve del terreno se eliminan variando la distancia de proyección durante el escaneado.

A medida que el instrumento va y viene automáticamente por todo el modelo, se toma una exposición a través de una ranura angosta en un ortonegativo situado debajo. Un operador, que visualiza el modelo en tres dimensiones, vigila

continuamente el proceso. (p.823)

2.2.3. La interpretación de las fotografías aéreas.

Después de haber realizado los pasos anteriores mencionados líneas arriba, se realizan las interpretaciones a las fotografías aéreas, como explican Juan de Sanjosé et al. (2013) de la manera siguiente:

Una vez realizado el ajuste del par estereoscópico, el índice del restituidor se puede colocar sobre cualquier detalle que aparece en el par estereoscópico y realizando la intersección de los rayos homólogos se determinan sus coordenadas planimétricas e incluso se tiene la posibilidad de hacer el relieve mediante las curvas de nivel. Para ello, se introduce en el contador altimétrico del restituidor la altitud de la curva a restituir y con el índice posado se va recorriendo el terreno fotográfico sin perder su altitud. A medida que se van restituyendo los distintos detalles, se almacenan en un ordenador, y posteriormente se puede hacer un proceso de edición.

La restitución se realiza después de muchas horas de trabajo delante de un restituidor, puesto que hay que conocer la forma real de los objetos e imaginarla como se verían desde un avión reducidos a la escala fotográfica para identificarlos en las fotografías, y por otra parte hay que tener la práctica de posarse con el índice a una misma altitud sin estar por encima o debajo del terreno. Pero, además hay que tener en cuenta otros detalles:

- a) Tono: La tonalidad de un objeto es más claro cuando ha reflejado más luz y depende de factores como: existencia de humo o neblina en la atmósfera, posición relativa del Sol, estructura de la superficie fotografiada, ...
- b) Forma: Las actuaciones del Hombre sobre la superficie terrestre suele configurar formas regulares: Cultivos, edificaciones, caminos, muros, ...

c) Tamaño: Ciertos detalles conocidos pueden ayudar a interpretar otros, por ejemplo, el tamaño de un coche circulando por una carretera ayuda a reconocer el ancho de la vía de circulación.

d) Sombreado: Se intentan realizar las tomas fotográficas en horas del día donde las sombras sean pequeñas para que no oculten otros detalles, pero hay objetos que en la toma fotográfica están cerca del punto principal y que solo podrían interpretar sus detalles mediante la proyección de las sombras: Depósitos elevados de agua, número y forma de los arcos que tiene puente,...

A. Interpretación del relieve

Se puede determinar el relieve observando la hidrología o valles fluviales, las alineaciones montañosas, las sombras proyectadas por las montañas, el tipo de vegetación, ...

Hay que tener cuidado con la interpretación de la línea de costa, puesto que en la toma fotográfica la línea de costa, no coincide con la reflejada en la cartografía, ya que la fotografía puede hacerse en un instante en el que el nivel del mar no ocupa la posición de la curva de nivel cero de la cartografía.

B. Interpretación de las actuaciones humanas sobre el terreno

La Naturaleza no alterada por actuaciones humanas tiene formas irregulares mientras que la actuación humana sobre ella configura formas regulares, destacando:

a) Obras lineales: Este es el caso de los carreteras, caminos, ferrocarriles y tendidos eléctricos. Las autopistas y carreteras principales siguen un trazado geométrico. Los caminos y carreteras secundarias se adaptan a la forma del terreno y, por tanto su trazado

es irregular. Las vías ferroviarias tienen curvas de mayores parámetros y radios, la pendiente de su trazado es menor y la ocupación de la vía es más estrecha. El trazado de los tendidos eléctricos se puede determinar a través de las torres que sujetan los cables.

b) Edificaciones aisladas: En el par fotogramétrico, las casas de campo aparecen como un rectángulo en mitad del campo y normalmente con un camino de acceso.

c) Núcleos de población: Mirando la fotografía aérea se puede intuir la historia urbanística de la ciudad o pueblo, por ejemplo de la época medieval se definen calles estrechas y desordenadas rodeadas por las murallas, y en la actualidad, las formas regulares de las calles con sus anchas y rectas.

d) Grandes obras superficiales: Los aeropuertos son fáciles de identificar en las fotografías, más difícil es la interpretación de las pistas de montaña para avionetas, las cuales tienen una sola pista alargada y sin vegetación. Los puertos marítimos tienen en su límite costero formas geométricas y grandes almacenes y explanadas donde descargar el material de los barcos.

C. Interpretación de la hidrología

Los detalles hidrológicos más representativos son:

a) Ríos: Lógicamente los ríos discurren por el fondo de las vaguadas acompañados de vegetación en sus orillas. Los cauces de los ríos que tienen agua son más oscuros que los cauces secos. El sentido de los cauces se puede deducir observando detalles como: La forma de V que presentan las afluencias de los ríos, la forma puntiaguda que presentan las islas dentro del cauce aguas abajo y la retención de las aguas en las presas de

contención.

b) Canales: La característica más significativa es la forma geométrica de su trazado, siguiendo las curvas de nivel y cruzando los cauces de los ríos. Debido al tono oscuro del agua se pueden confundir con las carreteras asfaltadas, pero se pueden distinguir porque hay veces que el agua produce reflejos en la fotografía.

c) Lagos y embalses: Su color es oscuro. En los embalses se detecta la existencia de la presa y la interrupción en la orilla del embalse de caminos, muros,...

d) Costa marina: En las fotografías el mar es siempre más oscuro que la tierra. Se debe realizar el vuelo fotogramétrico en los periodos en que se produce la bajamar.

D. Interpretación de la vegetación y los cultivos

Uno de los inconvenientes de la representación cartográfica mediante fotogrametría es la dificultad de interpretar el tipo de cultivo, pero se pueden trazar líneas que delimiten los distintos cultivos, y posteriormente la labor de campo será capaz de identificarlos. Hay cultivos que debido a su forma, tamaño, sombra,... pueden ser interpretados en las fotografías:

a) Montes: Observando la sombra que se proyecta en los bordes de la masa arbórea se puede determinar si es monte alto o bajo. Las repoblaciones forestales pueden ser identificadas puesto que siguen una distribución regular manteniendo las curvas de nivel. La sombra que proyecta un árbol aislado puede dar idea de su especie.

b) Cultivos arbóreos: La distribución de las plantaciones son regulares y geométricas y suelen ser de regadío (existencia de acequias).

c) Terrenos despejados: En este grupo se incluyen los eriales, las praderas y tierras de labor. En los eriales no existen muros, las sendas quedan claramente definidas en la fotografía aérea y el terreno tiene una tonalidad uniforme. Los prados tienen tonalidades distintas y existen muros, alambradas,... con una clara definición geométrica. La tierra de labor aparece en la fotografía configurando formas geométricas y de diferentes tonalidades.

d) Parques y jardines: Combinación de distintos con praderas y regularidad de los caminos. (pp.176-1178)

2.2.4. Aplicaciones de la fotogrametría.

La aplicación de la fotogrametría, explican Wolf y Ghilani (2009) inicia desde:

La fotografía data de 1839, y el primer intento de utilizar la fotogrametría para elaborar un mapa topográfico ocurrió un año después, la fotogrametría es actualmente el principal método empleado en la cartografía topográfica y en la compilación de otras formas de datos espaciales. Por ejemplo, el servicio geológico de estados unidos usa el procedimiento casi exclusivamente para la compilación de sus mapas. Continuamente se mejora las cámaras, películas y otros instrumentos y técnicos fotogramétricos, de modo que los datos espaciales recolectados por la fotogrametría actualmente satisfagan normas de muy alta precisión. Otras ventajas en este método son: (1) la velocidad de recolección de datos espaciales en una región, (2) costos relativamente bajos, (3) facilidad para lograr detalles topográficos, sobre todo en las zonas inaccesibles y (4) menor probabilidad de omitir detalles en la recolección de datos espaciales.

En la actualidad, la fotogrametría tiene muchas aplicaciones en ingeniería y en topografía, se usa, por

ejemplo, en los levantamientos de tierra para el cálculo de vértices de secciones, o en la determinación de vértices de linderos o en puntos que ayuden a fijar esos vértices. Los mapas de gran escala se elaboran utilizando procedimientos fotogramétricos con fines múltiples, uno de los cuales es el diseño de subdivisiones. La fotometría se usa para determinar riberas o líneas de costa en los levantamientos hidrográficos, para determinar con precisión las coordenadas de punto en tierra en los levantamientos de control y para elaborar mapas y definir secciones transversales en los levantamientos de caminos y de ingeniería. La fotogrametría está desempeñando un papel importante en la creación de los datos necesarios para los modernos sistemas de información geográfica y sobre tierras.

La fotogrametría se aplica también con éxito se aplica también en muchos campos ajenos de la ingeniería, por ejemplo, geología, dasonomía, agricultura, conservación ecológica, planificación, arqueología, inteligencia militar, administración de tráfico e investigación de accidentes. El uso de la ciencia fotogramétrica ha aumentado notablemente en años recientes, y su creciente futuro para resolver problemas de medición y de cartografía está asegurado. (p.794)

2.3. Definición de términos

Se extrajeron de varios autores los conceptos básicos de las variables que son las siguientes:

A. Precisión

Según Schmidt y Rayner (1983) “la precisión se refiere al cuidado y refinamiento con el que se efectúa cualquier medición física. Se relaciona con la destreza de manipulación por parte del observador o con las capacidades del instrumento empleado” (p. 22).

Otro autor afirma: la precisión se refiere al grado de refinamiento o consistencia de un grupo de mediciones y se evalúa con base en la magnitud de las discrepancias. Si se hacen mediciones múltiples de la misma cantidad y surgen pequeñas discrepancias, esto refleja una alta precisión. El grado de precisión alcanzable depende de la sensibilidad del equipo empleado y de la habilidad del operador (Wolf y Ghilani, 2009, p. 48).

También “la precisión de un instrumento o un método de medición está asociado a la sensibilidad o menor variación de la magnitud que se puede detectar con dicho instrumento o método. Todo instrumento tiene una precisión finita, por lo que, para un instrumento dado, siempre existe una variación mínima de la magnitud que puede detectar. Esta mínima cantidad se denomina la apreciación nominal del instrumento” (Pantigoso, 2014, p. 46).

Y finalmente, Mendoza (2017) afirma que “precisión es el grado de perfección de los instrumentos y/o procedimientos aplicados. La precisión de un instrumento está determinada por la mínima división de la misma (sensibilidad)” (p. 28).

B. Exactitud

Según Schmidt y Rayner (1983) la “exactitud se refiere a la diferencia entre el valor medido final de una cantidad y su valor absoluto, o verdadero” (p. 22).

También, Wolf y Ghilani (2009) afirman que: “exactitud denota una absoluta aproximación de las cantidades medidas a sus verdaderos valores”, (p. 48).

Y finalmente, Pantigoso (2014) afirma que “La exactitud de un instrumento o un método de medición está asociado a la calidad de la calibración del mismo. La exactitud es una medida de la calidad de la calibración de nuestro instrumento respecto de patrones de medida aceptados internacionalmente” (pp. 45-46).

C. Precisión y exactitud

Rincón, afirman que la exactitud es el grado de proximidad que se tiene en una medición al verdadero valor de su magnitud.

Precisión es lo contrario a dispersión de las observaciones. Explica que tanto defiere una serie de mediciones de otra, que se toman bajo las mismas condiciones.

En una serie de mediciones de una misma magnitud, si los valores obtenidos son muy cercanos, se puede concluir que la precisión de la medición es alta. En topografía se puede hablar de precisión mas no de exactitud, ya que por las leyes de la probabilidad nunca se conoce el verdadero valor de una medida. (Vargas y Gonzáles 2017, p.11)

D. Topografía

Según Schmidt y Rayner (1983) “la topografía es la ciencia y arte de efectuar las mediciones necesarias para determinar las posiciones relativas a puntos situados arriba, sobre, o debajo de la superficie de la tierra” (p. 13).

También, “topografía se puede definir como el arte o tecnología de hacer mediciones de las posiciones relativas accidentales naturales y obras hechas por el hombre sobre la superficie de la Tierra, así como la representación gráfica o numérica de esta información” (Bannister, Raymond y Baker, 2002, p. 1).

Así mismo, “ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la tierra” (Alcántara 2007, p. 2).

Otro autor la define de la siguiente manera, “la topografía, que recientemente se ha denominado también geomántica (véase la sección 1.2), y se ha definido tradicionalmente como la ciencia, el arte y la tecnología para encontrar o determinar las posiciones relativas de

puntos situados por encima de la superficie de la Tierra, sobre dicha superficie y debajo de ella. Sin embargo, en un sentido más general, la topografía (geomántica) se puede considerar como la disciplina que comprende todos los métodos para medir y recopilar información física de la Tierra y nuestro medio ambiente, procesar esa información y difundir los diferentes productos resultantes a una amplia variedad de clientes” (Wolf y Ghilani, 2009, p. 1).

También otro autor otro autor la define, “Dentro de la geodesia, cabe destacar también la Topografía que es la parte de ella cuyo objetivo es la determinación de la forma y dimensiones de una cierta extensión del terreno y su representación sobre un mapa. En el mapa figuran unos puntos principales perfectamente determinados que ayudaran a dar idea de la configuración y relieve de la zona tratada.

La diferenciación más relevante que caracteriza a la Topografía es que actúa en extensiones donde se puede considerar ciertas hipótesis, como la de prescindir de la verdadera forma de la tierra, es decir, prescindir de su curvatura” (Juan de Sanjosé, Martínez, López y Atkinson, 2013, p.7).

Y finalmente, Pantigoso (2014) afirma que “topografía es la ciencia y la técnica de realizar mediciones de ángulos y distancias en extensiones de terreno lo suficientemente reducidas como para poder despreciar el efecto de la curvatura terrestre, para después procesarlas y obtener así coordenadas de puntos, direcciones, elevaciones, áreas o volúmenes, en forma gráfica y/o numérica, según dentro de los requerimientos del trabajo” (p. 19).

E. Levantamiento topográfico

Según Davis, Foote y Kelly (1971) afirma que “levantamiento topográfico se llama así al conjunto de operaciones que tiene por objeto la determinación de la posición relativa de puntos en la superficie de la Tierra o a poca altura sobre la misma” (p. 3).

También, los autores del libro “Topografía para estudio de grado” Juan de Sanjosé, Martínez, López y Atkinson (2013, p. 381) en la introducción de la sección aplicaciones topográficas, capítulo 1: fases de un levantamiento topográfico, menciona que “la topografía clásica se realiza mediante el denominado levantamiento topográfico, con el cual se pretende plasmar de forma gráfica y con una determinada escala y equidistancia de curvas de nivel elementos tales como: el relieve, la hidrología, vegetación y todas las actuaciones humanas sobre el territorio (vías de comunicación, edificios,...)”.

Y finalmente, Pantigoso (2014, p. 24) “levantamiento topográfico es el conjunto de operaciones que se necesita realizar para poder confeccionar una correcta representación gráfica planimétrica, o plana, de una extensión cualquiera de terreno, sin dejar de considerar las diferentes cotas o desniveles que represente dicha extensión. Este plano es esencial para emplazar correctamente cualquier obra que desee llevar a cabo, así como lo es para elaborar cualquier proyecto. Es primordial contar con una buena presentación gráfica, que contemple tanto los aspectos altimétricos como planimétricos, para ubicar de buena forma un proyecto”.

F. Vehículo Aéreo no Tripulado

La denominación «vehículo aéreo no tripulado», de siglas «VANT», proviene del inglés *Unmanned Aerial Vehicle*, de siglas *UAV*. Es también muy usada la denominación «sistema aéreo no tripulado», de *Unmanned Aerial System* y de siglas *UAS*. (García de la Cuesta,J)

Más extendido es el término **dron**, recogido en la 23.^a edición del *Diccionario de la lengua española*, derivado por asimilación del inglés *drone*, que literalmente significa zángano, siendo su forma plural regular *drones*. Al tratarse de una adaptación al español, no es preciso destacarla con cursivas ni comillas. Con este término se designa a diversos tipos de vehículos aéreos no tripulados. En una primera etapa, este término aludía a aparatos básicamente de uso militar y con

aspecto similar al de un avión, por lo que se extendió como alternativa al término procedente del inglés la expresión «avión no tripulado», que puede considerarse adecuada en muchos casos. No obstante, en los últimos tiempos han surgido otros vehículos que no guardan apenas semejanza con los aviones. Para ellos pueden emplearse expresiones más genéricas como «vehículos aéreos no tripulados» o «robots voladores», según los casos. Otra alternativa usada por las fuentes es «aeronave no pilotada» o «aeronave no tripulada». (Diccionario Español de Ingeniería).

G. Estación total

Según Bannister, Raymond y Baker (2002, p. 156) “los tipos más comunes de instrumentos electrónicos ahora disponibles se llaman instrumentos de estación total. Éstos incorporan un teodolito con círculo electrónico y un MED. De ordinario el MED trabaja en forma concéntrica con el ocular del telescopio y en general se aloja en un bastidor que forma parte del telescopio. La figura 5-10 ilustra un instrumento Sokkia Set 4C. En este modelo, los círculos del teodolito tienen una precisión de 5”, aunque otros instrumentos de la misma serie se pueden graduar para una precisión de 1” a 10”. Están indexados en forma automática pasando por el telescopio por la horizontal después de que el instrumento se enciende. El círculo horizontal se puede activar para medir ya sea en dirección de las manecillas del reloj o en forma inversa, y las escalas dan casi una continua exhibición al girar el instrumento. El teodolito tiene un compensador líquido de doble eje, que permite corregir inclinaciones de hasta 3' antes de exhibir el ángulo. Con indicaciones mayores, en el panel de exhibición del cristal líquido aparece un mensaje de error, el cual indica que el instrumento se ha perturbado.

El MED usa una onda infrarroja portadora con modulación de dos frecuencias para dar un intervalo mínimo de 1km con un prisma, incrementándose a casi 3 km con un banco de prismas. El fabricante garantiza precisión para la medición de distancias de $\pm 5 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$

(partes por millón). El instrumento puede usarse en modo de rastreo para replanteos, donde la distancia se actualiza cada 0.4 s con una precisión reducida. El MED mide distancias inclinadas y un microprocesador puede calcular y puede exhibir la distancia horizontal y el desnivel. También tiene varias rutinas trigonométricas integradas que permiten el cálculo de coordenadas, elevaciones remotas y líneas faltantes”.

También “Los instrumentos de estación total (llamados también taquímetros electrónicos) combinan un instrumento de MED, un teodolito digital electrónico y una computadora en una sola unidad. Estos dispositivos, descritos con más detalle en el capítulo 8, miden automáticamente ángulos horizontales y cenitales (o verticales), así como distancias y transmiten los resultados en tiempo real a una computadora incorporada. Pueden exhibirse los ángulos horizontales y cenitales (o verticales), así como las distancias inclinadas, y luego usando los comandos del teclado, las componentes de las distancias verticales y horizontales se calculan y se muestran instantáneamente. Si el instrumento está orientado en dirección de las coordenadas de la estación ocupada se ingresan al sistema, y pueden obtenerse inmediatamente las coordenadas de cualquier punto visado. Estos datos pueden almacenarse dentro del instrumento, o en un recolector automático de datos, eliminando así todo registro manual” (Wolf y Ghilani, 2009, p. 153).

Juan de Sanjosé, Martínez, López y Atkinson (2013, p.7) a la Estación Total la clasifican como: “Goniómetro: Con esta denominación se incluyen todos los instrumentos que son capaces de medir ángulos y algunos incluso distancias, pero la medición de la distancia se hace de forma indirecta. Por tanto, en ese grupo están los siguientes instrumentos:

- El teodolito: ...
- La brújula taquimétrica: ...

- El taquímetro: ...
- La estación total: Mide ángulos de forma electrónica y la distancia mediante ondas infrarrojas”.

También, “se denomina a la estación total a un aparato electro-óptico, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico” (Rincón, Vargas y Gonzáles, 2017, p. 12).

Finalmente, Mendoza (2017) afirma que “es aquel instrumento topográfico construido por un teodolito electrónico unido solidariamente con un distanciómetro, estos a su vez llevan en su interior una libreta electrónica y un microprocesador, el cual le permite registrar los datos de campo, obviamente la libreta tradicional, así como compensar y profesar los datos obtenidos para registrarlos en un archivo de su memoria” (p. 281).

H. Costo

Según Zeballos (2014) define costo como: “un conjunto de erogaciones o desembolsos con el fin de obtener un producto o servicio. Así también se dice que es un conjunto de pagos, obligaciones contraídas, consumos, depreciaciones, amortizaciones y aplicaciones atribuidas a un periodo determinado, relacionados con las funciones de producción, distribución, administración y financiamiento. En otras palabras, es lo que cuesta hacer algo” (p. 247).

I. Gestión de Tiempo

Según Aguirre (2010) define gestión de tiempo como: “los procesos necesarios para asegurar la realización del proyecto de acuerdo a lo señalado en el cronograma. Es una de las áreas más visibles de la gestión de proyectos” (p. 41).

J. Tiempo Normal

Según los autores Krajewski, Ritzman y Malhotra (2008, p. 86) afirman que “el tiempo normal (NT) (del inglés normal time) es el tiempo necesario para completar una actividad en tiempos normales”.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados es más preciso con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) El tiempo requerido entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a la Estación Total es menor para el levantamiento topográfico en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016.
- b) El costo unitario entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a la Estación Total es menor para el levantamiento topográfico en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de la variable

El proceso de definición conceptual de las variables de estudio se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5

Definición conceptual de las variables

VARIABLES	Definición conceptual
Variable	
PRECISIÓN CON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO	Es lo contrario a dispersión de las observaciones. Explica que tanto difieres

	una serie de mediciones con respecto a las resoluciones de las fotos tomadas a una determinada altitud, permitiendo obtener modelos digitales del terreno con mayores niveles de detalle.
Variable	
PRECISIÓN CON ESTACIÓN TOTAL	Es el método de medición que está asociada a la sensibilidad o a la menor variación de la magnitud que se puede detectar con dicho instrumento de estación total mediante la combinación de tres componentes básicos: un instrumento de medición electrónica de distancias, un componente electrónico de medición de ángulos y un microprocesador, todo ello en una sola unidad.
Variable	
TIEMPO	Es el periodo necesario para completar una acción o actividad, y que está sujeta a mutación. (Krajewski, 2008, p. 86).
Variable	
COSTO UNITARIO	Es un conjunto de erogaciones o desembolsos con el fin de obtener un producto o servicio. En otras palabras, es lo que cuesta hacer algo. (Zaballos, 2014, p. 247).

Nota: Identificación, definición conceptual de la hipótesis general y específicas.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.2. Definición operacional de la variable

El proceso de definición de operacionalización de las variables de estudio se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6

Operacionalización de las variables

VARIABLES	Definición operacional
Variable	
PRECISIÓN CON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO	Es una serie de mediciones a través de la fotogrametría analítica y digital, para la obtención, áreas, distancias, elevaciones, altimetría y planimetría.
Variable	
PRECISIÓN CON ESTACIÓN TOTAL	Es el proceso de medición, el cual permite automáticamente registrar los

	datos de campo, como distancias, ángulos verticales y horizontales, para la obtención de componentes horizontales y verticales de las distancias, las elevaciones y coordenadas.
Variable	
TIEMPO	Son los procesos necesarios para asegurar la realización del proyecto o trabajo requerido de acuerdo a lo señalado en el programa.
Variable	
COSTO UNITARIO	Es la sumatoria de la mano de obra, equipos, herramientas y materiales necesarios para la realización del levantamiento topográfico.

Nota: Operacional de las variables de la hipótesis general y específicas.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.3. Operacionalización de las variables

El proceso de operacionalización de las variables de estudio se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7

Operacionalización de las variables en estudio

Variables	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Variable			
PRECISIÓN CON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO	SERIE DE MEDICIONES	AREA MEDIDA	Continuas
		DISTANCIA LINEAL (ERROR LINEAL)	Continuas
Variable			
PRECISIÓN CON ESTACIÓN TOTAL	PROCESOS DE MEDICIÓN	AREA MEDIDA	Continuas
		DISTANCIA LINEAL	Continuas
Variable			
TIEMPO	PERIODO	=Días x m ²	Continuas
Variable			

**COSTO
UNITARIO**

DESEMBOLSO

Costo unitario
 $= \sum (MO + EQ + HR + MT) \times m^2$

Continuas

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Métodos de investigación

En la realización de la presente tesis, se empleó los métodos DEDUCTIVO-INDUCTIVO, a fin de manejar apropiadamente la información obtenida en el desarrollo de la investigación y que están referidas a las variables de estudio, debido a que se obtendrán resultados a partir del uso de vehículos aéreos no tripulados y estación total en la obtención de datos de campo precisos y óptimos del levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería, que permitirán la generalización de los mismos.

3.2. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo APLICADA, ya que se aplica métodos conocidos que se utilizaran en la obtención de datos de campo con Vehículo Aéreo no Tripulado, así como con Estación total, buscando en ambos casos la precisión en el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería. Asimismo, los procedimientos efectuados podrán ser aplicados en el futuro en levantamientos topográficos similares. El período de evaluación estuvo comprendido

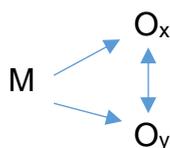
entre los meses de diciembre del 2015 y abril de 2016. Además, sus resultados pueden ser plasmados en contextos o realidades similares. Hernández Sampieri R., et al. (2001)

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es DESCRIPTIVO - COMPARATIVO, porque se encarga de especificar propiedades, características y rasgos importantes del empleo de vehículos aéreos no tripulados y con estación total en el levantamiento topográfico de la unidad de análisis, de manera que se describa las bondades y desventajas de ambos y el grado de significancia entre las variables identificadas, además, se busca comparar cuál de los dos procedimientos es mejor.

3.4. Diseño de investigación

Se empleó un diseño no experimental de investigación transaccional descriptivo, Hernández Sampieri R., et al (2001), cuyo esquema es el siguiente:



En donde:

- Ox es la variable: UAV – vehículos aéreos no tripulados.
- Oy es la variable: precisión de datos en levantamiento topográfico.
- M: muestra

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Según Carrasco (2005, p. 238), define población como “conjunto de todos los elementos que forman parte del espacio territorial al que pertenece la muestra el problema de infestación

y poseen características mucho más concretas que el universo”.

La población materia de estudio se circunscribe a las unidades de observación conformada por el área levantada en la Universidad Nacional de Ingeniería que son en total 278,879 m², el mismo que consta de 74 estructuras.

3.5.2. Muestra

Según Carrasco (2005, p. 238), define muestra como “fragmento representativo de la población, que debe poseer las mismas propiedades y características de ella”.

El muestreo que se aplica para el presente estudio es el muestreo aleatorio simple, considerando una confianza del 95%, y un margen de error del 6%.

$$p = 0.96$$

$$q = 0.04$$

$$n = \frac{NZ^2PQ}{NE^2 + Z^2PQ} = 17$$

Se obtiene una muestra de 17 estructuras, las mismas que han sido seccionadas al azar.

3.6. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

3.6.1. Técnicas

A. Documental

Por lo tanto, para el desarrollo de la investigación se revisaron libros, artículos científicos, tesis, manuales y reglamentos nacionales e internacionales.

B. De Campo

Para el desarrollo de la investigación se realizará la

observación insitu mediante aparatos de precisión para levantamiento topográfico tradicional y la fotogrametría.

3.6.2. Instrumentos

A. Observación directa

Para el desarrollo de la investigación se realizará la observación insitu, levantamiento topográfico tradicional y la fotogrametría.

B. Vehículo aéreo no tripulado

A bordo de un hexacoptero se instaló una cámara Sony A6000 con sensor ILCE-6000 (16 mm), con resolución 6000 x 4000 y distancia focal de 16 mm.

C. Estación total.

El equipo empleado es una estación marca Topcon ES 105, con las siguientes especificaciones técnicas:

- Número de serie: ES 105
- Precisión angular: 03"
- Lectura Mínima: 01"/05"
- Precisión de distancia: + 1-2mm x 3ppm de line de base
- La memoria interna permite 1900 filas de datos.
- La batería permite trabajar durante 9 horas seguidas.
- Plomada óptica.
- Teclado con 10 teclas de diferentes funciones (softkeys).

D. Software.

Se usó el software Agisoft Photoscan versión 1.2.6 build

2834, para sistema operativo Windows 64 bit, con la finalidad de procesar de las imágenes y el software AutoCAD Civil 3D 2015 versión de prueba, para sistema operativo Windows 64 bit, con la finalidad de extraer los datos para la estadística.

E. Computadora.

Para ejecutar el software anteriormente mencionado se empleó una laptop marca HP 15 NOTEBOOK PC, microprocesador INTEL(R) CORE(TM) 5i-4210U CPU @ 1.7 GHz. 2.4 GHz. Con RAM 16GB, tarjeta de video NVIDIA GeForce 820M 4GB.

3.7. Procesamiento de información

El procesamiento de datos se realizó teniendo en cuenta:

- a) Selección, tabulación y presentación de datos extraídos del plano final denominado "TOPOGRAFIA UAV VS ESTACION TOTAL.dwg"
- b) Se hizo uso de una Matriz de Datos, conteniendo las variables planteadas en la operacionalización de las variables.
- c) Selección y representación de variables, formulando cuadros estadísticos.
- d) Procesamos la información empleando el programa Excel. Considerando las pruebas estadísticas con la prueba t de student, exponiendo Tablas Cruzadas de Datos y otros complementarios.

3.8. Técnicas y análisis de datos

3.8.1. Técnicas

La muestra materia de estudio se circunscribe a las unidades de observación conformada por 17 estructuras elegidas por su forma, geometría e importancia en la Universidad Nacional de Ingeniería. Las técnicas empleadas fueron:

- Clasificación cuantitativa; se clasificaron las estructuras 17, representadas en variables continuas

(áreas).

- Registro; se registraron los vértices de las estructuras en coordenadas UTM.
- Tabulación, se elaboraron cuadros comparativos de las coordenadas y áreas de la muestra.

3.8.2. Análisis de datos

Dado que la muestra está conformada por 17 estructuras elegidas en forma aleatoria en la Universidad Nacional de Ingeniería, es una muestra pequeña, según Martínez (2012, p. 351) “se dice que una muestra es grande, si el número de unidades es mayor a treinta y es pequeña si es menor o igual a treinta”, dadas estas circunstancias los datos extraídos de la muestra se analizan mediante la estadística prueba t o prueba t de student, que según Hernández (214) “es una prueba estadística para evaluar si dos grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias en una variable”. (p. 310)

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados

A. Puntos de control con GPS.

En la tabla 8 y la figura 30 se muestran los datos obtenidos (pos proceso) en coordenadas UTM en el sistema de referencia WGS84 en el campo de los puntos de control con estación RTK GPS, marca TOPCON, Modelo GR3, cuya precisión pos proceso estático respecto a H: 3mm + 0.5 ppm y V: 5 mm + 0.5 mm, estos puntos de control sirven de referencia para anclar las imágenes obtenidas con UAV, cada dato contiene: número de punto, Norte (N), Este (E) y elevación respecto al nivel del mar (cota), y finalmente su descripción.

Tabla 8

Puntos de control con RTK GPS.

N° PUNTO	PUNTOS DE CONTROL CON GPS			
	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1	8670418.739	276876.921	107.584	PC-GPS-01
2	8670292.697	276876.73	108.900	PC-GPS-02
3	8670142.667	276869.677	111.372	PC-GPS-03
4	8670129.166	276917.689	112.151	PC-GPS-04
5	8670194.195	276997.678	111.463	PC-GPS-05
6	8670411.781	276983.671	108.230	PC-GPS-06

7	8670535.338	277075.088	107.682	PC-GPS-07
8	8670495.824	277096.085	109.269	PC-GPS-08
9	8670514.357	277108.339	116.932	PC-GPS-09
10	8670543.42	277163.396	130.415	PC-GPS-10
11	8670640.91	277095.738	122.459	PC-GPS-11
12	8670412.283	277081.876	109.100	PC-GPS-12

Fuente: Datos post proceso con estación RTK GPS Topcon GR3, elaboración

propia.

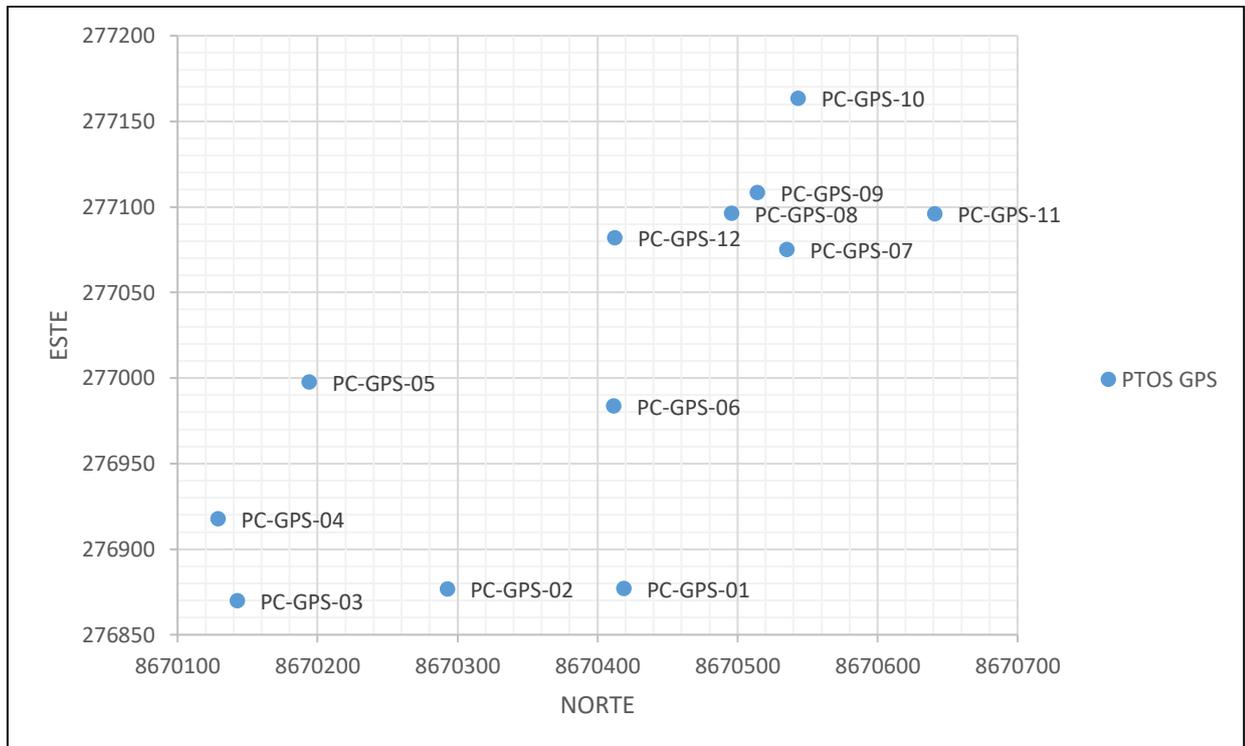


Figura 30: Puntos de control con RTK GPS.

Fuente: Datos de la tabla 8.

B. Puntos de control con UAV.

En la tabla 9 y la figura 31 se muestran los datos extraídos manualmente (pos proceso) en coordenadas UTM en el sistema de referencia WGS84, de los puntos de control con UAV, después del proceso fotogramétrico de las imágenes obtenidas con UAV, cada dato contiene: número de punto, Norte (N), Este (E) y elevación respecto al nivel del mar (cota), y finalmente su descripción.

Tabla 9

Puntos de control con UAV.

PUNTOS DE CONTROL CON UAV				
N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
5458	8670418.802	276876.918	107.5719	PC-UAV-01
5459	8670292.646	276876.6586	108.8838	PC-UAV-02
5462	8670142.716	276869.7112	111.4046	PC-UAV-03
5461	8670129.214	276917.6616	112.1693	PC-UAV-04
5460	8670194.146	276997.7388	111.5340	PC-UAV-05
5457	8670411.757	276983.653	108.2659	PC-UAV-06
5453	8670535.329	277075.083	107.7953	PC-UAV-07
5455	8670495.847	277096.0725	109.1668	PC-UAV-08
5454	8670514.368	277108.352	116.8659	PC-UAV-09
5452	8670543.368	277163.4034	130.1749	PC-UAV-10
5451	8670640.945	277095.6874	122.4127	PC-UAV-11
5456	8670412.258	277081.8976	109.1988	PC-UAV-12

Fuente: Elaboración propia.

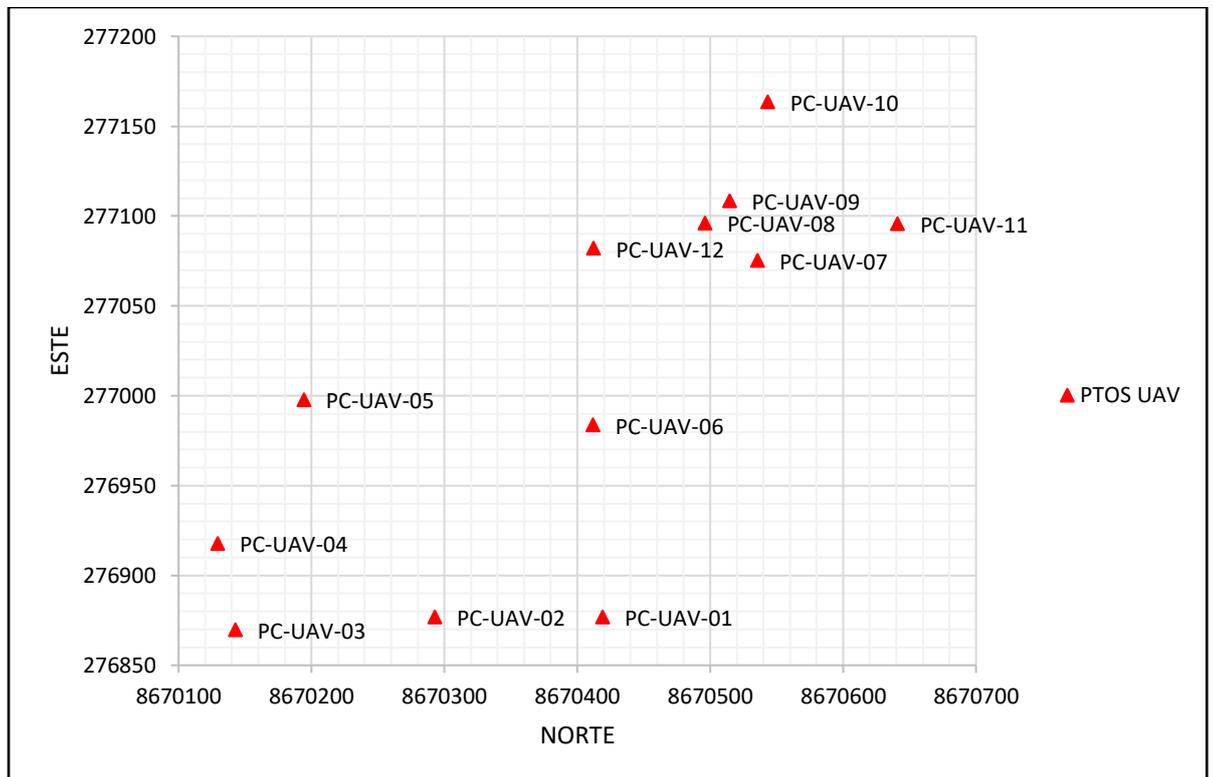


Figura 31: Puntos de control con UAV.

Fuente: Datos de la tabla 9.

C. Distancia entre puntos de control entre GPS y UAV.

En la tabla 10 y la figura 32 se muestran los diferenciales de los puntos de control del GPS y UAV, respecto al Norte (N), Este (E) y la elevación respecto al nivel del mar (cota), y finalmente la distancia en planimetría (Error Lineal).

Tabla 10

Distancia entre puntos de control entre GPS y UAV.

DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV														
ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS				PUNTOS DE CONTROL CON UAV				ΔN (m)	ΔE (m)	$\Delta COTA$ (m)	ERROR LINEAL (m)		
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE					COTA	DESCRIPCIÓN
PC - 01	1	8670418.739	276876.921	107.584	PC-GPS-01	5458	8670418.802	276876.918	107.5719	PC-UAV-01	-0.0628999993	0.0030000000	0.0121000000	0.0629715008
PC - 02	2	8670292.697	276876.73	108.9	PC-GPS-02	5459	8670292.646	276876.6586	108.8838	PC-UAV-02	0.0510000009	0.0714000000	0.0162000000	0.0877437182
PC - 03	3	8670142.667	276869.677	111.372	PC-GPS-03	5462	8670142.716	276869.7112	111.4046	PC-UAV-03	-0.0493000001	-0.0342000000	-0.0326000000	0.0600010834
PC - 04	4	8670129.166	276917.689	112.151	PC-GPS-04	5461	8670129.214	276917.6616	112.1693	PC-UAV-04	-0.0482999999	0.0274000000	-0.0183000000	0.0555306221
PC - 05	5	8670194.195	276997.678	111.463	PC-GPS-05	5460	8670194.146	276997.7388	111.534	PC-UAV-05	0.0494999997	-0.0608000000	-0.0710000000	0.0784021044
PC - 06	6	8670411.781	276983.671	108.23	PC-GPS-06	5457	8670411.757	276983.653	108.2659	PC-UAV-06	0.0242999997	0.0180000000	-0.0359000000	0.0302405355
PC - 07	7	8670535.338	277075.088	107.682	PC-GPS-07	5453	8670535.329	277075.083	107.7953	PC-UAV-07	0.0086000003	0.0050000000	-0.1133000000	0.0099478643
PC - 08	8	8670495.824	277096.085	109.269	PC-GPS-08	5455	8670495.847	277096.0725	109.1668	PC-UAV-08	-0.0228000004	0.0125000000	0.1022000000	0.0260017311
PC - 09	9	8670514.357	277108.339	116.932	PC-GPS-09	5454	8670514.368	277108.352	116.8659	PC-UAV-09	-0.0112999994	-0.0130000000	0.0661000000	0.0172246912
PC - 10	10	8670543.42	277163.396	130.415	PC-GPS-10	5452	8670543.368	277163.4034	130.1749	PC-UAV-10	0.0519999992	-0.0074000000	0.2401000000	0.0525238985
PC - 11	11	8670640.91	277095.738	122.459	PC-GPS-11	5451	8670640.945	277095.6874	122.4127	PC-UAV-11	-0.0345999990	0.0506000000	0.0463000000	0.0612986128
PC - 12	12	8670412.283	277081.876	109.1	PC-GPS-12	5456	8670412.258	277081.8976	109.1988	PC-UAV-12	0.0249000005	-0.0216000000	-0.0988000000	0.0329631617

Fuente: Elaboración propia.

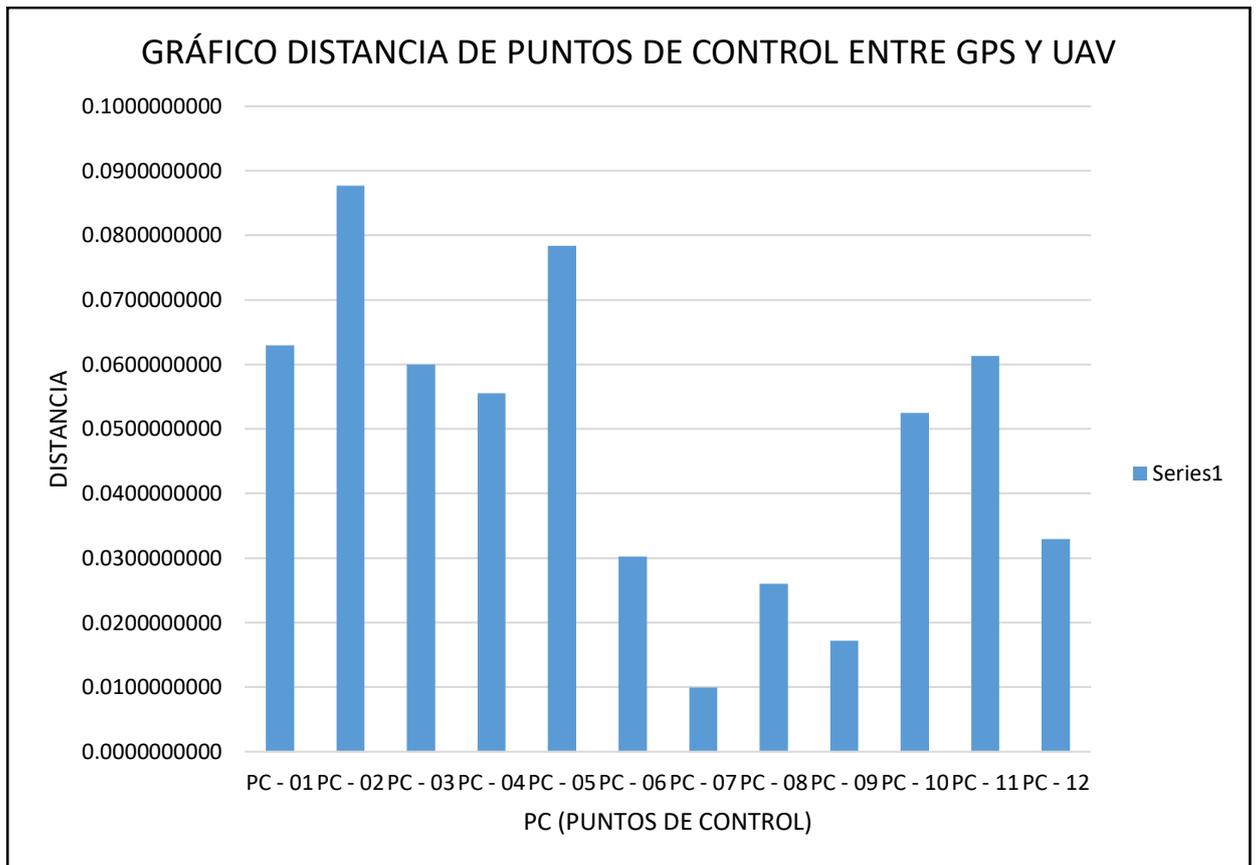


Figura 32: Distancia entre puntos de control entre GPS Y UAV.

Fuente: Datos de la tabla 10.

D. Puntos de estructuras con estación total.

En la tabla 11 y la figura 33 se muestran datos obtenidos del trabajo de campo en coordenadas UTM en el sistema de referencia WGS84, de las 17 estructuras (muestra), obtenidas a partir del levantamiento topográfico con estación total marca Topcon, modelo ES 105, que tiene una precisión es 2 mm + 2 ppm, cada dato contiene: número de punto, Norte (N), Este (E) y elevación respecto al nivel del mar (cota), y finalmente su descripción.

Tabla 11

Puntos de estructuras con Estación Total

PUNTOS DE ESTRUCTURAS CON ESTACIÓN TOTAL				
N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
7202	8670540.314	277041.6509	107.8361	PTO-TOP-01
7201	8670540.689	277066.0789	107.8586	PTO-TOP-02

7203	8670492.858	277042.3117	107.8459	PTO-TOP-03
8355	8670493.198	277066.7401	108.0509	PTO-TOP-04
6883	8670451.574	276903.3745	110.2099	PTO-TOP-05
7010	8670451.584	276923.7368	117.0694	PTO-TOP-06
6884	8670430.321	276903.4042	111.3154	PTO-TOP-07
7008	8670430.337	276913.6709	116.7406	PTO-TOP-08
7489	8670478.976	277001.7461	109.09	PTO-TOP-09
7487	8670467.333	277008.5567	109.347	PTO-TOP-10
6915	8670439.911	276961.6438	109.5287	PTO-TOP-11
8356	8670451.333	276954.9868	113.0038	PTO-TOP-12
7778	8670483.779	277064.1262	111.0262	PTO-TOP-13
7779	8670483.981	277081.1148	112.3318	PTO-TOP-14
8357	8670417.029	277081.2889	110.4034	PTO-TOP-15
8358	8670416.986	277064.6314	108.7873	PTO-TOP-16
6898	8670406.282	276885.7217	109.9948	PTO-TOP-17
6999	8670406.318	276908.4923	109.6474	PTO-TOP-18
6890	8670388.05	276881.7557	109.3419	PTO-TOP-19
7001	8670385.848	276908.5157	110.3931	PTO-TOP-20
6893	8670374.355	276881.7653	109.4466	PTO-TOP-21
7002	8670376.585	276908.5334	110.6681	PTO-TOP-22
6812	8670355.993	276885.8351	109.9507	PTO-TOP-23
6815	8670356.078	276908.6127	109.687	PTO-TOP-24
7063	8670408.038	276995.8201	113.0516	PTO-TOP-25
7062	8670408.118	277013.6171	113.0682	PTO-TOP-26
7989	8670347.117	276996.3012	111.7129	PTO-TOP-27
7921	8670347.276	277013.5572	113.2924	PTO-TOP-28
8359	8670407.893	277058.7787	113.0823	PTO-TOP-29
8360	8670408.017	277078.8408	110.1946	PTO-TOP-30
7920	8670348.072	277059.2156	113.6624	PTO-TOP-31
7918	8670348.209	277079.2183	113.5111	PTO-TOP-32
8018	8670331.075	276935.3477	107.6125	PTO-TOP-33
8017	8670330.949	276954.4369	107.766	PTO-TOP-34
8014	8670295.911	276935.4382	107.9505	PTO-TOP-35
8012	8670295.76	276954.6403	108.1196	PTO-TOP-36
8007	8670330.9	276958.3378	107.775	PTO-TOP-37
8203	8670330.748	276977.5355	107.88	PTO-TOP-38
8011	8670295.731	276958.4912	108.1653	PTO-TOP-39
8010	8670295.554	276977.5527	108.4042	PTO-TOP-40
4737	8670341.351	276995.028	109.23	PTO-TOP-41
4194	8670341.58	277058.66	110.675	PTO-TOP-42
8361	8670340.174	277058.6725	110.6774	PTO-TOP-43
7986	8670340.541	277083.7038	110.1715	PTO-TOP-44
8362	8670298.945	277077.5624	110.7704	PTO-TOP-45
7968	8670296.155	277074.3754	110.4937	PTO-TOP-46
8039	8670296.811	276996.5949	108.2854	PTO-TOP-47
4742	8670306.865	276996.566	109.758	PTO-TOP-48

4741	8670306.919	276995.067	109.763	PTO-TOP-49
6722	8670282.449	276786.2605	109.86	PTO-TOP-50
6721	8670281.782	276858.5356	109.7165	PTO-TOP-51
8363	8670273.453	276786.166	109.84	PTO-TOP-52
3477	8670272.694	276858.401	108.957	PTO-TOP-53
6714	8670281.615	276880.8458	111.6473	PTO-TOP-54
6711	8670281.523	276899.4904	121.1257	PTO-TOP-55
8364	8670249.753	276880.674	116.0521	PTO-TOP-56
6678	8670249.648	276899.2124	115.9916	PTO-TOP-57
6688	8670260.691	276928.4618	116.7388	PTO-TOP-58
8365	8670260.691	276961.002	116.0695	PTO-TOP-59
6655	8670251.864	276928.5812	113.3553	PTO-TOP-60
6653	8670251.661	276960.8732	113.1252	PTO-TOP-61
8026	8670264.118	276971.3051	111.8331	PTO-TOP-62
6642	8670256.971	276964.5614	113.2571	PTO-TOP-63
6521	8670257.441	276977.016	111.714	PTO-TOP-64
6622	8670251.661	276971.0099	113.2181	PTO-TOP-65
8151	8670209.315	276879.1344	120.6411	PTO-TOP-66
3946	8670209.196	276973.499	110.934	PTO-TOP-67
8149	8670197.536	276878.963	120.7818	PTO-TOP-68
6593	8670196.956	276973.9158	120.7436	PTO-TOP-69
3926	8670193.526	276945.834	110.977	PTO-TOP-70
3931	8670193.113	276980.958	110.959	PTO-TOP-71
3927	8670191.545	276945.926	110.982	PTO-TOP-72
3933	8670191.194	276980.884	110.949	PTO-TOP-73
3913	8670199.662	277045.542	112.07	PTO-TOP-74
3919	8670203.581	277053.711	112.145	PTO-TOP-75
3920	8670203.96	277063.697	112.203	PTO-TOP-76
3923	8670197.193	277063.177	112.244	PTO-TOP-77
3997	8670167.694	277037.114	112.24	PTO-TOP-78
3995	8670175.313	277029.513	112.041	PTO-TOP-79
3996	8670176.83	277031.073	112.015	PTO-TOP-80
3989	8670180.783	277027.131	111.939	PTO-TOP-81
3988	8670182.147	277028.18	111.93	PTO-TOP-82

Fuente: Elaboración propia.

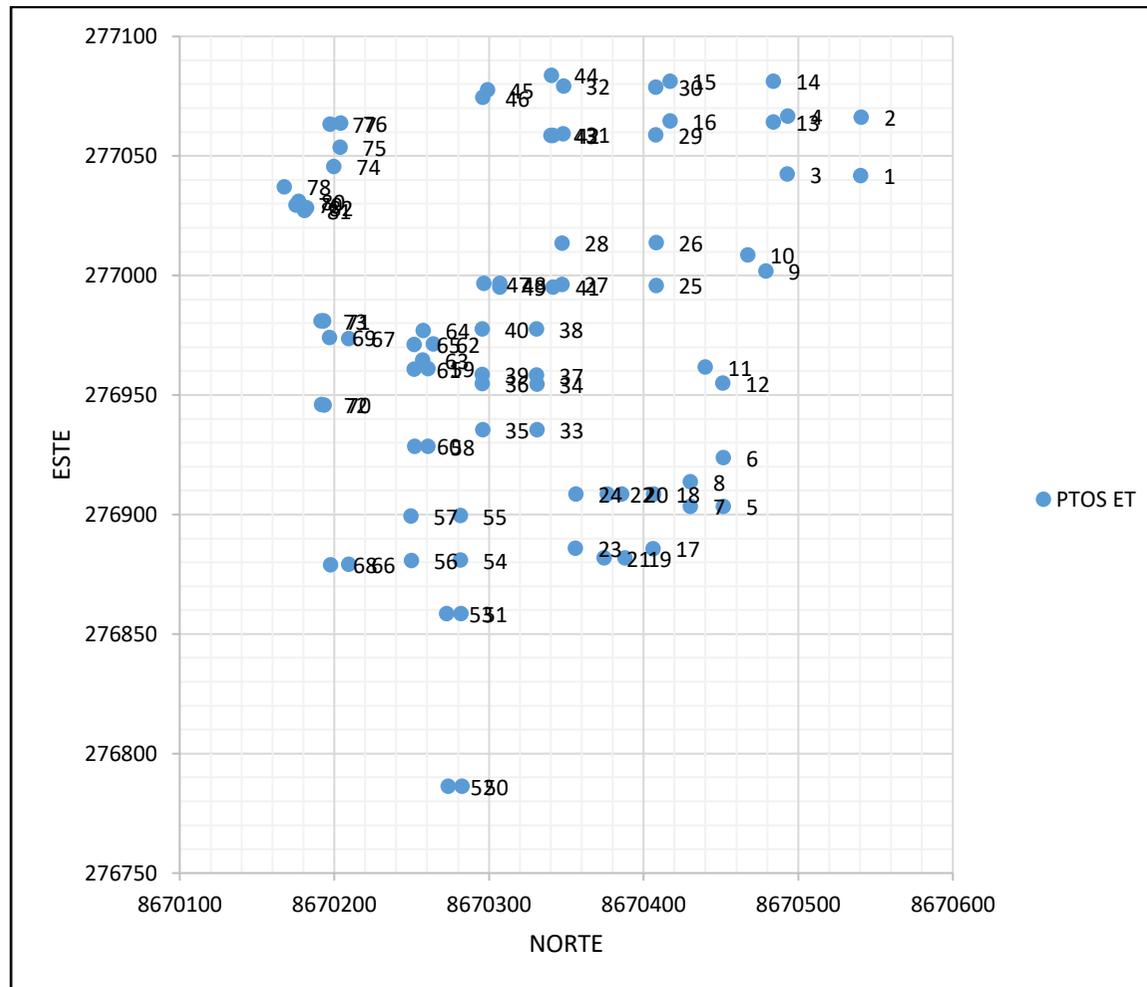


Figura 33: Puntos de estructuras con Estación Total.

Fuente: Datos de la tabla 11.

E. Puntos de estructuras con UAV.

En la tabla 12 y la figura 34 se muestran datos extraídos manualmente (pos proceso) en coordenadas UTM en el sistema de referencia WGS84, de las 17 estructuras (muestra), después del proceso fotogramétrico de las imágenes obtenidas con UAV, cada dato contiene: número de punto, Norte (N), Este (E) y elevación respecto al nivel del mar (cota), y finalmente su descripción.

Tabla 12

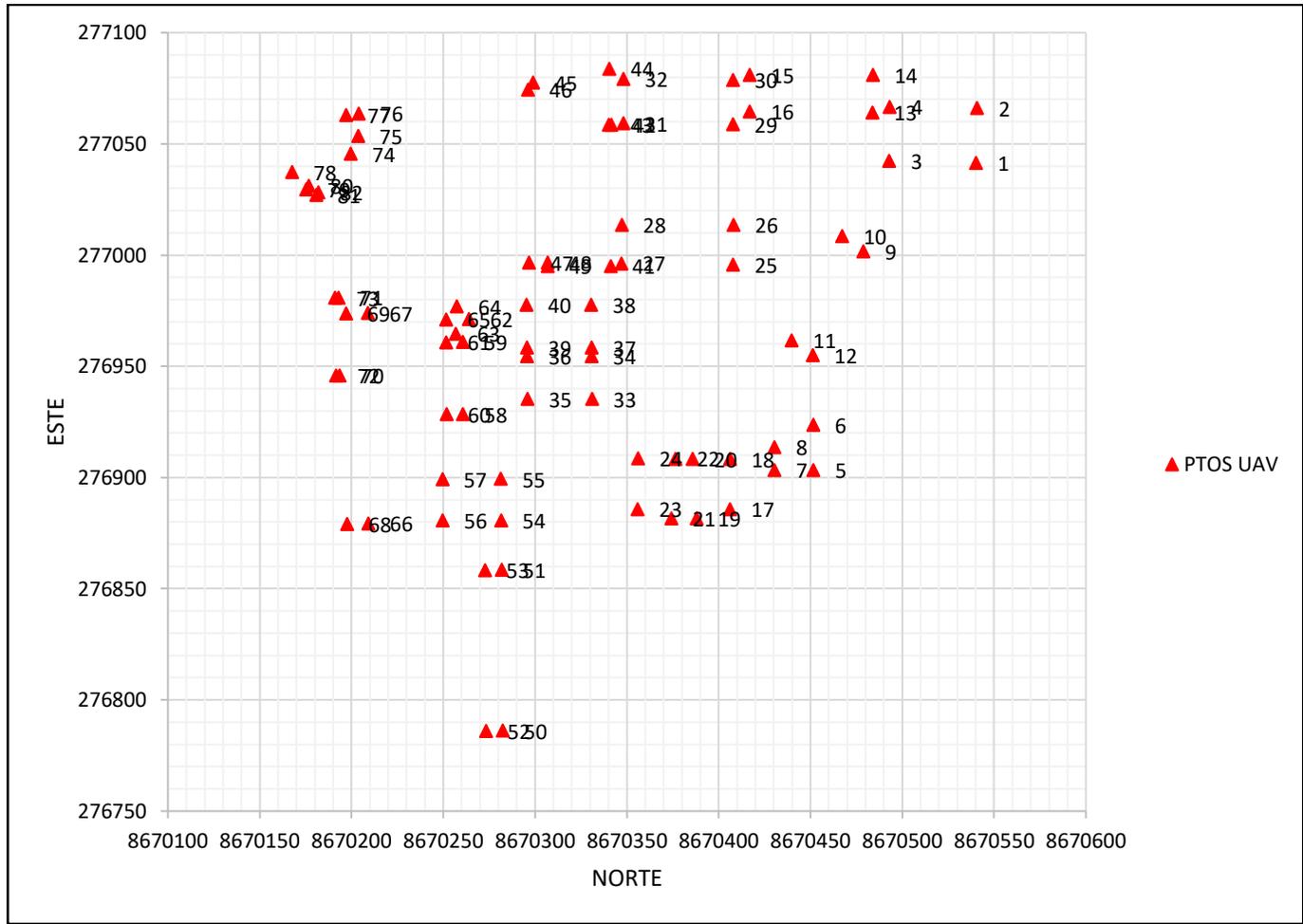
Puntos de estructuras con UAV.

PUNTOS DE ESTRUCTURAS CON UAV				
Nº PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
8366	8670540.251	277041.6108	107.8097	PTO-UAV-01
8367	8670540.719	277066.1311	107.9738	PTO-UAV-02
8368	8670492.976	277042.3425	107.9146	PTO-UAV-03
8369	8670493.177	277066.7298	108.1338	PTO-UAV-04
8370	8670451.721	276903.3716	111.0872	PTO-UAV-05
8371	8670451.539	276923.6627	113.7613	PTO-UAV-06
8372	8670430.364	276903.411	113.7784	PTO-UAV-07
8373	8670430.352	276913.6534	113.7063	PTO-UAV-08
8374	8670478.886	277001.6835	110.3778	PTO-UAV-09
8375	8670467.292	277008.6068	112.4205	PTO-UAV-10
8376	8670439.933	276961.6403	112.5148	PTO-UAV-11
8377	8670451.375	276954.9677	109.0423	PTO-UAV-12
8378	8670483.829	277064.2401	109.5712	PTO-UAV-13
8379	8670484.113	277081.1333	109.3105	PTO-UAV-14
8380	8670416.951	277081.1225	110.8518	PTO-UAV-15
8381	8670416.927	277064.7044	112.0692	PTO-UAV-16
8382	8670406.217	276885.7628	109.2909	PTO-UAV-17
8383	8670406.26	276908.4467	108.3897	PTO-UAV-18
8384	8670388.023	276881.7073	109.2707	PTO-UAV-19
8385	8670385.861	276908.4479	118.2767	PTO-UAV-20
8386	8670374.217	276881.6975	108.5093	PTO-UAV-21
8387	8670376.513	276908.4877	114.1055	PTO-UAV-22
8388	8670355.938	276885.7787	109.6222	PTO-UAV-23
8389	8670356.095	276908.7126	117.5626	PTO-UAV-24
8390	8670408.001	276995.7859	111.4324	PTO-UAV-25
8391	8670408.177	277013.6644	109.0712	PTO-UAV-26
8392	8670346.972	276996.3121	111.258	PTO-UAV-27
8393	8670347.248	277013.5946	112.0012	PTO-UAV-28
8394	8670407.832	277058.8245	112.4466	PTO-UAV-29
8395	8670407.985	277078.8879	113.5281	PTO-UAV-30
8396	8670348.100	277059.244	112.0627	PTO-UAV-31

8397	8670348.241	277079.2385	112.4286	PTO-UAV-32
8398	8670331.091	276935.3971	109.0343	PTO-UAV-33
8399	8670330.923	276954.5535	109.1786	PTO-UAV-34
8400	8670295.885	276935.4352	109.4473	PTO-UAV-35
8401	8670295.715	276954.6519	109.6788	PTO-UAV-36
8402	8670330.89	276958.4002	109.2441	PTO-UAV-37
8403	8670330.688	276977.6011	109.3795	PTO-UAV-38
8404	8670295.69	276958.4791	109.6063	PTO-UAV-39
8405	8670295.509	276977.6214	109.8501	PTO-UAV-40
8406	8670341.296	276995.0142	109.2815	PTO-UAV-41
8407	8670341.669	277058.5874	111.238	PTO-UAV-42
8408	8670340.249	277058.5909	111.8617	PTO-UAV-43
8409	8670340.545	277083.762	110.5336	PTO-UAV-44
8410	8670298.986	277077.6376	111.053	PTO-UAV-45
8411	8670296.224	277074.3952	111.0412	PTO-UAV-46
8412	8670296.835	276996.6319	109.9114	PTO-UAV-47
8413	8670306.887	276996.7099	109.7546	PTO-UAV-48
8414	8670306.897	276995.1491	109.7542	PTO-UAV-49
8415	8670282.411	276786.2501	116.5259	PTO-UAV-50
8416	8670281.765	276858.5375	115.3448	PTO-UAV-51
8417	8670273.432	276786.1087	109.7136	PTO-UAV-52
8418	8670272.721	276858.3527	113.7974	PTO-UAV-53
8419	8670281.572	276880.7923	110.315	PTO-UAV-54
8420	8670281.475	276899.4318	111.4469	PTO-UAV-55
8421	8670249.706	276880.654	113.5704	PTO-UAV-56
8422	8670249.592	276899.2504	118.0187	PTO-UAV-57
8423	8670260.712	276928.4545	114.8417	PTO-UAV-58
8424	8670260.689	276960.9767	115.5126	PTO-UAV-59
8425	8670251.778	276928.5816	112.5757	PTO-UAV-60
8426	8670251.638	276960.8694	110.9398	PTO-UAV-61
8427	8670263.915	276971.2898	112.1784	PTO-UAV-62
8428	8670256.981	276964.6388	112.9018	PTO-UAV-63
8429	8670257.442	276976.9922	113.0322	PTO-UAV-64
8430	8670251.585	276971.0122	112.9172	PTO-UAV-65
8431	8670209.292	276879.4668	111.3466	PTO-UAV-66
8432	8670209.125	276973.9647	116.8958	PTO-UAV-67
8433	8670197.601	276879.2017	110.4363	PTO-UAV-68
8434	8670197.03	276973.8432	112.0436	PTO-UAV-69
8435	8670193.495	276945.8468	110.9285	PTO-UAV-70
8436	8670193.151	276980.9483	111.0464	PTO-UAV-71
8437	8670191.561	276945.8574	110.9431	PTO-UAV-72
8438	8670191.186	276980.8631	111.1265	PTO-UAV-73
8439	8670199.733	277045.5214	112.5406	PTO-UAV-74
8440	8670203.718	277053.6935	112.5035	PTO-UAV-75
8441	8670203.953	277063.6432	112.6994	PTO-UAV-76
8442	8670197.174	277063.0054	113.1742	PTO-UAV-77

8443	8670167.768	277037.3327	113.6149	PTO-UAV-78
8444	8670175.319	277029.5283	112.5077	PTO-UAV-79
8445	8670176.827	277031.1368	112.7088	PTO-UAV-80
8446	8670180.859	277027.0524	113.6203	PTO-UAV-81
8447	8670182.115	277028.2147	114.337	PTO-UAV-82

Fuente: Elaboración propia.



F. Distancia de puntos de estructuras entre ET y UAV.

En la tabla 13 y la figura 35 se muestran los diferenciales de los puntos de las 17 estructuras (muestra), respecto al Norte (N), Este (E) y la elevación respecto al nivel del mar (cota), y finalmente la distancia en planimetría (Error Lineal).

Tabla 13

Distancia de puntos de estructuras entre ET Y UAV.

ÍTE M	PUNTOS DE ESTRUCTURAS CON ESTACIÓN TOTAL					PUNTOS DE ESTRUCTURAS CON UAV					Δ N (m)	Δ E (m)	Δ COTA (m)	ERROR LINEAL (m)
	Nº PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN N	Nº PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN N				
1	7202	8670540.314	277041.6509	107.8361	PTO-TOP-01	8366	8670540.251	277041.6108	107.8097	PTO-UAV-01	0.0627999995	0.0401000000	0.0264000000	0.0745107370
2	7201	8670540.689	277066.0789	107.8586	PTO-TOP-02	8367	8670540.719	277066.1311	107.9738	PTO-UAV-02	-0.0298000015	-0.0522000000	-0.1152000000	0.0601072382
3	7203	8670492.858	277042.3117	107.8459	PTO-TOP-03	8368	8670492.976	277042.3425	107.9146	PTO-UAV-03	-0.1184000000	-0.0308000000	-0.0687000000	0.1223405085
4	8355	8670493.198	277066.7401	108.0509	PTO-TOP-04	8369	8670493.177	277066.7298	108.1338	PTO-UAV-04	0.0208999999	0.0103000000	-0.0829000000	0.0233002145
5	6883	8670451.574	276903.3745	110.2099	PTO-TOP-05	8370	8670451.721	276903.3716	111.0872	PTO-UAV-05	-0.1472000014	0.0029000000	-0.8773000000	0.1472285652
6	7010	8670451.584	276923.7368	117.0694	PTO-TOP-06	8371	8670451.539	276923.6627	113.7613	PTO-UAV-06	0.0449000001	0.0741000000	3.3081000000	0.0866419068
7	6884	8670430.321	276903.4042	111.3154	PTO-TOP-07	8372	8670430.364	276903.411	113.7784	PTO-UAV-07	-0.0431999993	-0.0068000000	-2.4630000000	0.0437319098
8	7008	8670430.337	276913.6709	116.7406	PTO-TOP-08	8373	8670430.352	276913.6534	113.7063	PTO-UAV-08	-0.0152000003	0.0175000000	3.0343000000	0.0231795170
9	7489	8670478.976	277001.7461	109.09	PTO-TOP-09	8374	8670478.886	277001.6835	110.3778	PTO-UAV-09	0.0896000005	0.0626000000	-1.2878000000	0.1093019675
10	7487	8670467.333	277008.5567	109.347	PTO-TOP-10	8375	8670467.292	277008.6068	112.4205	PTO-UAV-10	0.0413000006	-0.0501000000	-3.0735000000	0.0649284225
11	6915	8670439.911	276961.6438	109.5287	PTO-TOP-11	8376	8670439.933	276961.6403	112.5148	PTO-UAV-11	-0.0222999994	0.0035000000	-2.9861000000	0.0225729921
12	8356	8670451.333	276954.9868	113.0038	PTO-TOP-12	8377	8670451.375	276954.9677	109.0423	PTO-UAV-12	-0.0420000013	0.0191000000	3.9615000000	0.0461390302
13	7778	8670483.779	277064.1262	111.0262	PTO-TOP-13	8378	8670483.829	277064.2401	109.5712	PTO-UAV-13	-0.0496000014	-0.1139000000	1.4550000000	0.1242311158
14	7779	8670483.981	277081.1148	112.3318	PTO-TOP-14	8379	8670484.113	277081.1333	109.3105	PTO-UAV-14	-0.1315000001	-0.0185000000	3.0213000000	0.1327949549
15	8357	8670417.029	277081.2889	110.4034	PTO-TOP-15	8380	8670416.951	277081.1225	110.8518	PTO-UAV-15	0.0787000004	0.1664000000	-0.4484000000	0.1840724044

16	8358	8670416.986	277064.6314	108.7873	PTO-TOP-16	8381	8670416.927	277064.7044	112.0692	PTO-UAV-16	0.0585999992	-0.0730000000	-3.2819000000	0.0936106826
17	6898	8670406.282	276885.7217	109.9948	PTO-TOP-17	8382	8670406.217	276885.7628	109.2909	PTO-UAV-17	0.0653999988	-0.0411000000	0.7039000000	0.0772422802
18	6999	8670406.318	276908.4923	109.6474	PTO-TOP-18	8383	8670406.26	276908.4467	108.3897	PTO-UAV-18	0.0578000005	0.0456000000	1.2577000000	0.0736220080
19	6890	8670388.05	276881.7557	109.3419	PTO-TOP-19	8384	8670388.023	276881.7073	109.2707	PTO-UAV-19	0.0269000009	0.0484000000	0.0712000000	0.0553730083
20	7001	8670385.848	276908.5157	110.3931	PTO-TOP-20	8385	8670385.861	276908.4479	118.2767	PTO-UAV-20	-0.0126000009	0.0678000000	-7.8836000000	0.0689608586
21	6893	8670374.355	276881.7653	109.4466	PTO-TOP-21	8386	8670374.217	276881.6975	108.5093	PTO-UAV-21	0.1381000001	0.0678000000	0.9373000000	0.1538455395
22	7002	8670376.585	276908.5334	110.6681	PTO-TOP-22	8387	8670376.513	276908.4877	114.1055	PTO-UAV-22	0.0719000008	0.0457000000	-3.4374000000	0.0851944841
23	6812	8670355.993	276885.8351	109.9507	PTO-TOP-23	8388	8670355.938	276885.7787	109.6222	PTO-UAV-23	0.0554000009	0.0564000000	0.3285000000	0.0790577011
24	6815	8670356.078	276908.6127	109.687	PTO-TOP-24	8389	8670356.095	276908.7126	117.5626	PTO-UAV-24	-0.0171000008	-0.0999000000	-7.8756000000	0.1013529478
25	7063	8670408.038	276995.8201	113.0516	PTO-TOP-25	8390	8670408.001	276995.7859	111.4324	PTO-UAV-25	0.0372000001	0.0342000000	1.6192000000	0.0505319702
26	7062	8670408.118	277013.6171	113.0682	PTO-TOP-26	8391	8670408.177	277013.6644	109.0712	PTO-UAV-26	-0.0587999988	-0.0473000000	3.9970000000	0.0754634340
27	7989	8670347.117	276996.3012	111.7129	PTO-TOP-27	8392	8670346.972	276996.3121	111.258	PTO-UAV-27	0.1448999997	-0.0109000000	0.4549000000	0.1453093938
28	7921	8670347.276	277013.5572	113.2924	PTO-TOP-28	8393	8670347.248	277013.5946	112.0012	PTO-UAV-28	0.0284000002	-0.0374000000	1.2912000000	0.0469608349
29	8359	8670407.893	277058.7787	113.0823	PTO-TOP-29	8394	8670407.832	277058.8245	112.4466	PTO-UAV-29	0.0609000009	-0.0458000000	0.6357000000	0.0762000663
30	8360	8670408.017	277078.8408	110.1946	PTO-TOP-30	8395	8670407.985	277078.8879	113.5281	PTO-UAV-30	0.0326000005	-0.0471000000	-3.3335000000	0.0572814981
31	7920	8670348.072	277059.2156	113.6624	PTO-TOP-31	8396	8670348.1	277059.244	112.0627	PTO-UAV-31	-0.0278999992	-0.0284000000	1.5997000000	0.0398116811
32	7918	8670348.209	277079.2183	113.5111	PTO-TOP-32	8397	8670348.241	277079.2385	112.4286	PTO-UAV-32	-0.0318999998	-0.0202000000	1.0825000000	0.0377577805
33	8018	8670331.075	276935.3477	107.6125	PTO-TOP-33	8398	8670331.091	276935.3971	109.0343	PTO-UAV-33	-0.0159000009	-0.0494000000	-1.4218000000	0.0518957612
34	8017	8670330.949	276954.4369	107.766	PTO-TOP-34	8399	8670330.923	276954.5535	109.1786	PTO-UAV-34	0.0260999985	-0.1166000000	-1.4126000000	0.1194854381
35	8014	8670295.911	276935.4382	107.9505	PTO-TOP-35	8400	8670295.885	276935.4352	109.4473	PTO-UAV-35	0.0256000012	0.0030000000	-1.4968000000	0.0257751831
36	8012	8670295.76	276954.6403	108.1196	PTO-TOP-36	8401	8670295.715	276954.6519	109.6788	PTO-UAV-36	0.0451999996	-0.0116000000	-1.5592000000	0.0466647615
37	8007	8670330.9	276958.3378	107.775	PTO-TOP-37	8402	8670330.89	276958.4002	109.2441	PTO-UAV-37	0.0102000013	-0.0624000000	-1.4691000000	0.0632281585
38	8203	8670330.748	276977.5355	107.88	PTO-TOP-38	8403	8670330.688	276977.6011	109.3795	PTO-UAV-38	0.0603999998	-0.0656000000	-1.4995000000	0.0891712957
39	8011	8670295.731	276958.4912	108.1653	PTO-TOP-39	8404	8670295.69	276958.4791	109.6063	PTO-UAV-39	0.0414000005	0.0121000000	-1.4410000000	0.0431320071
40	8010	8670295.554	276977.5527	108.4042	PTO-TOP-40	8405	8670295.509	276977.6214	109.8501	PTO-UAV-40	0.0449000001	-0.0687000000	-1.4459000000	0.0820713105
41	4737	8670341.351	276995.028	109.23	PTO-TOP-41	8406	8670341.296	276995.0142	109.2815	PTO-UAV-41	0.0546000004	0.0138000000	-0.0515000000	0.0563169605
42	4194	8670341.58	277058.66	110.675	PTO-TOP-42	8407	8670341.669	277058.5874	111.238	PTO-UAV-42	-0.0888000000	0.0726000000	-0.5630000000	0.1147004795

43	8361	8670340.174	277058.6725	110.6774	PTO-TOP-43	8408	8670340.249	277058.5909	111.8617	PTO-UAV-43	-0.0751999989	0.0816000000	-1.1843000000	0.1109666609
44	7986	8670340.541	277083.7038	110.1715	PTO-TOP-44	8409	8670340.545	277083.762	110.5336	PTO-UAV-44	-0.0036000013	-0.0582000000	-0.3621000000	0.0583112340
45	8362	8670298.945	277077.5624	110.7704	PTO-TOP-45	8410	8670298.986	277077.6376	111.053	PTO-UAV-45	-0.0405000001	-0.0752000000	-0.2826000000	0.0854124699
46	7968	8670296.155	277074.3754	110.4937	PTO-TOP-46	8411	8670296.224	277074.3952	111.0412	PTO-UAV-46	-0.0691000000	-0.0198000000	-0.5475000000	0.0718808041
47	8039	8670296.811	276996.5949	108.2854	PTO-TOP-47	8412	8670296.835	276996.6319	109.9114	PTO-UAV-47	-0.0243999995	-0.0370000000	-1.6260000000	0.0443211008
48	4742	8670306.865	276996.566	109.758	PTO-TOP-48	8413	8670306.887	276996.7099	109.7546	PTO-UAV-48	-0.0214999989	-0.1439000000	0.0034000000	0.1454972851
49	4741	8670306.919	276995.067	109.763	PTO-TOP-49	8414	8670306.897	276995.1491	109.7542	PTO-UAV-49	0.0224999990	-0.0821000000	0.0088000000	0.0851273162
50	6722	8670282.449	276786.2605	109.86	PTO-TOP-50	8415	8670282.411	276786.2501	116.5259	PTO-UAV-50	0.0384000000	0.0104000000	-6.6659000000	0.0397834136
51	6721	8670281.782	276858.5356	109.7165	PTO-TOP-51	8416	8670281.765	276858.5375	115.3448	PTO-UAV-51	0.0167999994	-0.0019000000	-5.6283000000	0.0169070985
52	8363	8670273.453	276786.166	109.84	PTO-TOP-52	8417	8670273.432	276786.1087	109.7136	PTO-UAV-52	0.0212999992	0.0573000000	0.1264000000	0.0611308430
53	3477	8670272.694	276858.401	108.957	PTO-TOP-53	8418	8670272.721	276858.3527	113.7974	PTO-UAV-53	-0.0270000007	0.0483000000	-4.8404000000	0.0553343477
54	6714	8670281.615	276880.8458	111.6473	PTO-TOP-54	8419	8670281.572	276880.7923	110.315	PTO-UAV-54	0.0434000008	0.0535000000	1.3323000000	0.0688898401
55	6711	8670281.523	276899.4904	121.1257	PTO-TOP-55	8420	8670281.475	276899.4318	111.4469	PTO-UAV-55	0.0477000009	0.0586000000	9.6788000000	0.0755595797
56	8364	8670249.753	276880.674	116.0521	PTO-TOP-56	8421	8670249.706	276880.654	113.5704	PTO-UAV-56	0.0470000003	0.0200000000	2.4817000000	0.0510783714
57	6678	8670249.648	276899.2124	115.9916	PTO-TOP-57	8422	8670249.592	276899.2504	118.0187	PTO-UAV-57	0.0559999999	-0.0380000000	-2.0271000000	0.0676756972
58	6688	8670260.691	276928.4618	116.7388	PTO-TOP-58	8423	8670260.712	276928.4545	114.8417	PTO-UAV-58	-0.0208000001	0.0073000000	1.8971000000	0.0220438200
59	8365	8670260.691	276961.002	116.0695	PTO-TOP-59	8424	8670260.689	276960.9767	115.5126	PTO-UAV-59	0.0016999990	0.0253000000	0.5569000000	0.0253570502
60	6655	8670251.864	276928.5812	113.3553	PTO-TOP-60	8425	8670251.778	276928.5816	112.5757	PTO-UAV-60	0.0861000009	-0.0004000000	0.7796000000	0.0861009300
61	6653	8670251.661	276960.8732	113.1252	PTO-TOP-61	8426	8670251.638	276960.8694	110.9398	PTO-UAV-61	0.0228000004	0.0037999999	2.1854000000	0.0231144980
62	8026	8670264.118	276971.3051	111.8331	PTO-TOP-62	8427	8670263.915	276971.2898	112.1784	PTO-UAV-62	0.2028000001	0.0153000000	-0.3453000000	0.2033763261
63	6642	8670256.971	276964.5614	113.2571	PTO-TOP-63	8428	8670256.981	276964.6388	112.9018	PTO-UAV-63	-0.0100999996	-0.0774000000	0.3553000000	0.0780561977
64	6521	8670257.441	276977.016	111.714	PTO-TOP-64	8429	8670257.442	276976.9922	113.0322	PTO-UAV-64	-0.0011999998	0.0238000000	-1.3182000000	0.0238302329
65	6622	8670251.661	276971.0099	113.2181	PTO-TOP-65	8430	8670251.585	276971.0122	112.9172	PTO-UAV-65	0.0763000008	-0.0023000000	0.3009000000	0.0763346587
66	8151	8670209.315	276879.1344	120.6411	PTO-TOP-66	8431	8670209.292	276879.4668	111.3466	PTO-UAV-66	0.0226999987	-0.3324000000	9.2945000000	0.3331742036
67	3946	8670209.196	276973.499	110.934	PTO-TOP-67	8432	8670209.125	276973.9647	116.8958	PTO-UAV-67	0.0708000008	-0.4657000000	-5.9618000000	0.4710510908
68	8149	8670197.536	276878.963	120.7818	PTO-TOP-68	8433	8670197.601	276879.2017	110.4363	PTO-UAV-68	-0.0647999998	-0.2387000000	10.3455000000	0.2473393013
69	6593	8670196.956	276973.9158	120.7436	PTO-TOP-69	8434	8670197.03	276973.8432	112.0436	PTO-UAV-69	-0.0740999989	0.0726000000	8.7000000000	0.1037379865

70	3926	8670193.526	276945.834	110.977	PTO-TOP-70	8435	8670193.495	276945.8468	110.9285	PTO-UAV-70	0.0314000007	-0.0128000000	0.0485000000	0.0339087016
71	3931	8670193.113	276980.958	110.959	PTO-TOP-71	8436	8670193.151	276980.9483	111.0464	PTO-UAV-71	-0.0379000008	0.0097000000	-0.0874000000	0.0391216061
72	3927	8670191.545	276945.926	110.982	PTO-TOP-72	8437	8670191.561	276945.8574	110.9431	PTO-UAV-72	-0.0155999996	0.0686000000	0.0389000000	0.0703514036
73	3933	8670191.194	276980.884	110.949	PTO-TOP-73	8438	8670191.186	276980.8631	111.1265	PTO-UAV-73	0.0077999998	0.0209000000	-0.1775000000	0.0223080702
74	3913	8670199.662	277045.542	112.07	PTO-TOP-74	8439	8670199.733	277045.5214	112.5406	PTO-UAV-74	-0.0711000003	0.0206000000	-0.4706000000	0.0740241180
75	3919	8670203.581	277053.711	112.145	PTO-TOP-75	8440	8670203.718	277053.6935	112.5035	PTO-UAV-75	-0.1368000004	0.0175000000	-0.3585000000	0.1379147930
76	3920	8670203.96	277063.697	112.203	PTO-TOP-76	8441	8670203.953	277063.6432	112.6994	PTO-UAV-76	0.0067000017	0.0538000000	-0.4964000000	0.0542155884
77	3923	8670197.193	277063.177	112.244	PTO-TOP-77	8442	8670197.174	277063.0054	113.1742	PTO-UAV-77	0.0190999992	0.1716000000	-0.9302000000	0.1726596941
78	3997	8670167.694	277037.114	112.24	PTO-TOP-78	8443	8670167.768	277037.3327	113.6149	PTO-UAV-78	-0.0744000003	-0.2187000000	-1.3749000000	0.2310087662
79	3995	8670175.313	277029.513	112.041	PTO-TOP-79	8444	8670175.319	277029.5283	112.5077	PTO-UAV-79	-0.0063000005	-0.0153000000	-0.4667000000	0.0165462989
80	3996	8670176.83	277031.073	112.015	PTO-TOP-80	8445	8670176.827	277031.1368	112.7088	PTO-UAV-80	0.0033000000	-0.0638000000	-0.6938000000	0.0638852878
81	3989	8670180.783	277027.131	111.939	PTO-TOP-81	8446	8670180.859	277027.0524	113.6203	PTO-UAV-81	-0.0762000009	0.0786000000	-1.6813000000	0.1094732851
82	3988	8670182.147	277028.18	111.93	PTO-TOP-82	8447	8670182.115	277028.2147	114.337	PTO-UAV-82	0.0320999995	-0.0347000000	-2.4070000000	0.0472704979

Fuente: Elaboración propia.

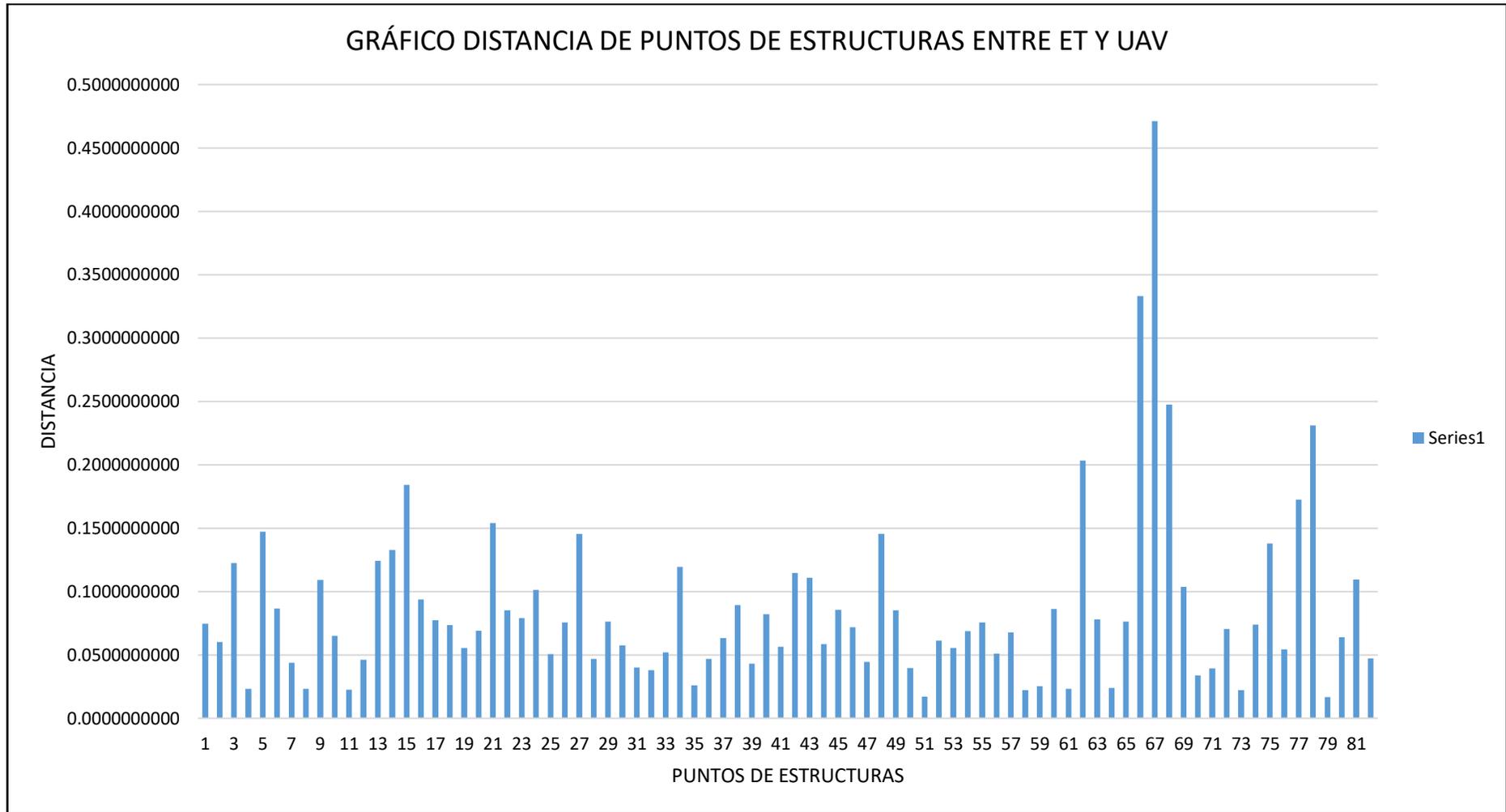


Figura 35: Distancia de puntos de estructuras entre ET Y UAV.

Fuente: Datos de la tabla 13.

G. Estructura de costos y tiempo - con UAV.

En la tabla 14 se detallan los costos y el tiempo empleados, para el levantamiento topográfico con UAV del área de estudio.

Tabla 14

Estructura de costos y tiempo - con UAV.

ESTRUCTURA DE COSTOS Y TIEMPO - CON UAV				
HONORARIOS PRE CAMPO (PLAN DE VUELO)				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
Ingeniero	Día	1	500.00	500.00
Ayudante	Día	1	100.00	100.00
Parcial				600.00
HONORARIOS CAMPO				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
Ingeniero	Día	1	500.00	500.00
ayudante (2)	Día	1	100.00	100.00
Parcial				600.00
HONORARIS GABINETE				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
Ingeniero	Día	3	500.00	1,500.00
Cadista	Día	3	300.00	900.00
Parcial				2,400.00
EQUIPO TOPOGRÁFICO				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
GPS	Unid.	1	1,200.00	1,200.00
Dron	Unid.	1	400.00	400.00
Parcial				1,600.00
MOVILIDAD LOCAL				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
Movilidad a la zona de trabajo	Unid.	1	150.00	150.00
Parcial				150.00
MISCELÁNEOS				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
Equipos computacional	Unid.	3	250.00	750.00
Informe e impresión planos	Global	1	120.00	120.00
Parcial				870.00
SUBTOTAL (27.5 ha en 5 días)			65%	6,220.00

Fuente: Instrumento proporcionado por el Ing. Jorge Mendoza Dueñas.

H. Estructura de costos y tiempo - con Estación Total.

En la tabla 15 se detallan los costos y el tiempo empleados, para el levantamiento topográfico con Estación Total del área de estudio.

Tabla 15

Estructura de costos y tiempo - con Estación Total.

ESTRUCTURA DE COSTOS Y TIEMPO - TOPOGRAFÍA CLÁSICA				
HONORARIOS PRE CAMPO				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
Ingeniero	Día	1	500.00	500.00
Ayudante	Día	1	100.00	100.00
Parcial				600.00
HONORARIOS CAMPO				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
Ingeniero	Día	3	500.00	1,500.00
Topógrafo	Día	3	300.00	900.00
ayudante (2)	Día	3	100.00	300.00
Parcial				2,700.00
HONORARIOS GABINETE				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
Ingeniero	Día	3	500.00	1,500.00
Cadista	Día	3	300.00	900.00
Parcial				2,400.00
EQUIPO TOPOGRÁFICO				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
GPS	Unid.	1	1,200.00	1,200.00
Estación total	Unid.	3	400.00	1,200.00
Parcial				2,400.00
MOVILIDAD LOCAL				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
Movilidad a la zona de trabajo	Unid.	1	150.00	150.00
Parcial				150.00
MISCELÁNEOS				
Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Sub Total
Equipos computacional	Unid.	3	50.00	150.00
Informe e impresión planos	Global	1	120.00	120.00
Parcial				270.00
SUBTOTAL (27.5 ha en 7 días)			65%	8,520.00

Fuente: Instrumento proporcionado por el Ing. Jorge Mendoza Dueñas.

I. Diferencial de áreas y perímetros con Estación Total y UAV.

En la tabla 16 y las figuras 36 y 37 se muestran los diferenciales de área y perímetro de las 17 estructuras (muestra).

Tabla 16

Diferencial de áreas y perímetros con Estación Total y UAV.

ÍTEM	CON ESTACIÓN TOTAL			CON UAV			Δ ÁREA (m ²)	%Δ ÁREA ET (%)	%Δ ÁREA UAV (%)	Δ PERÍMETRO (m)
	NOMBRE	ÁREA	PERÍMETRO	NOMBRE	ÁREA	PERÍMETRO				
1	ÁREA PTO-TOP : 1	1159.928	143.818	ÁREA PTO-UAV : 1	1159.532	143.739	0.3960000000	0.03414%	0.03415%	0.0790000000
2	ÁREA PTO-TOP : 2	325.368	75.393	ÁREA PTO-UAV : 2	325.238	75.324	0.1300000000	0.03995%	0.03997%	0.0690000000
3	ÁREA PTO-TOP : 3	725.525	135.368	ÁREA PTO-UAV : 3	726.015	135.318	-0.4900000000	-0.06754%	-0.06749%	0.0500000000
4	ÁREA PTO-TOP : 4	1125.04	167.394	ÁREA PTO-UAV : 4	1116.491	167.378	8.5490000000	0.75988%	0.76570%	0.0160000000
5	ÁREA PTO-TOP : 5	1094.828	176.601	ÁREA PTO-UAV : 5	1094.845	176.443	-0.0170000000	-0.00155%	-0.00155%	0.1580000000
6	ÁREA PTO-TOP : 6	1067.065	156.819	ÁREA PTO-UAV : 6	1072.091	157.124	-5.0260000000	-0.47101%	-0.46880%	-0.3050000000
7	ÁREA PTO-TOP : 7	1198.287	159.698	ÁREA PTO-UAV : 7	1196.548	159.538	1.7390000000	0.14512%	0.14533%	0.1600000000
8	ÁREA PTO-TOP : 8	673.457	108.646	ÁREA PTO-UAV : 8	675.486	108.788	-2.0290000000	-0.30128%	-0.30038%	-0.1420000000
9	ÁREA PTO-TOP : 9	672.994	108.624	ÁREA PTO-UAV : 9	674.63	108.724	-1.6360000000	-0.24309%	-0.24250%	-0.1000000000
10	ÁREA PTO-TOP : 10	3811.236	260.317	ÁREA PTO-UAV : 10	3812.44	260.613	-1.2040000000	-0.03159%	-0.03158%	-0.2960000000
11	ÁREA PTO-TOP : 11	653.35	162.611	ÁREA PTO-UAV : 11	651.339	162.564	2.0110000000	0.30780%	0.30875%	0.0470000000
12	ÁREA PTO-TOP : 12	592.797	100.922	ÁREA PTO-UAV : 12	593.455	100.986	-0.6580000000	-0.11100%	-0.11088%	-0.0640000000
13	ÁREA PTO-TOP : 13	289.427	82.692	ÁREA PTO-UAV : 13	291.401	82.797	-1.9740000000	-0.68204%	-0.67742%	-0.1050000000
14	ÁREA PTO-TOP : 14	121.505	39.083	ÁREA PTO-UAV : 14	120.415	38.9	1.0900000000	0.89708%	0.90520%	0.1830000000
15	ÁREA PTO-TOP : 15	1207.783	213.418	ÁREA PTO-UAV : 15	1208.304	213.01	-0.5210000000	-0.04314%	-0.04312%	0.4080000000
16	ÁREA PTO-TOP : 16	68.327	73.99	ÁREA PTO-UAV : 16	68.345	74.011	-0.0180000000	-0.02634%	-0.02634%	-0.0210000000
17	ÁREA PTO-TOP : 17	599.424	110.37	ÁREA PTO-UAV : 17	599.839	110.269	-0.4150000000	-0.06923%	-0.06919%	0.1010000000

Fuente: Elaboración propia.

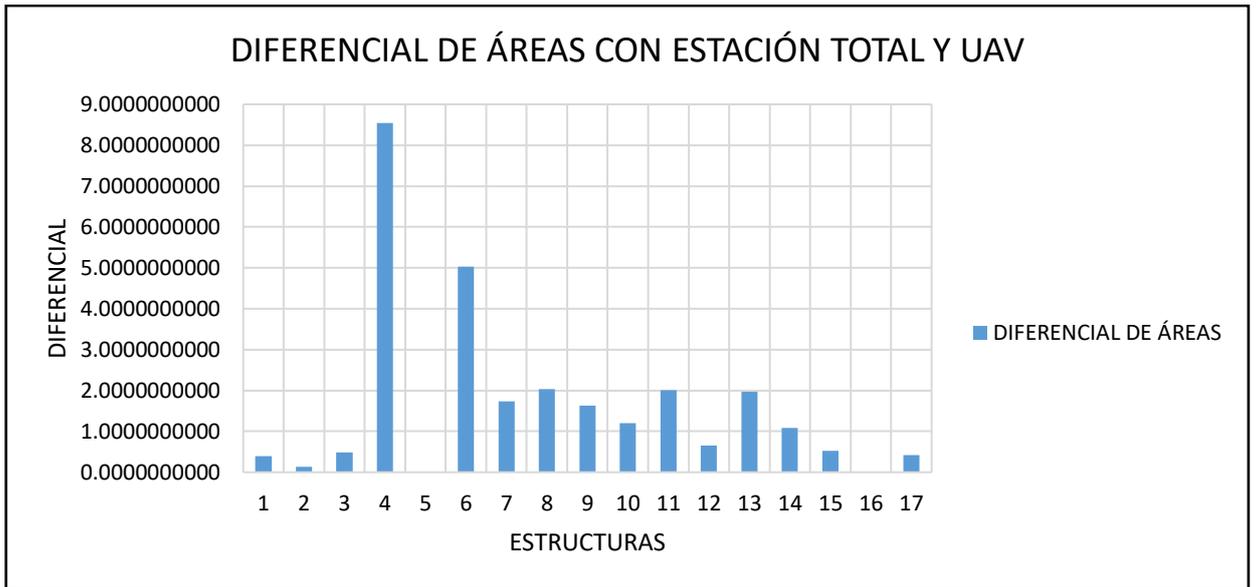


Figura 36: Diferencial de áreas con Estación Total y UAV.

Fuente: Datos de la tabla 16.



Figura 37: Diferencial de áreas con Estación Total y UAV.

Fuente: Datos de la tabla 16.

J. Diferencial de costo por áreas con Estación Total y UAV.

En la tabla 17 y la figura 38 se muestran los diferenciales de costo de área por metro cuadrado de las 17 estructuras (muestra).

Tabla 17

Diferencial de costo por áreas con Estación Total y UAV.

ÍTEM	CON ESTACIÓN TOTAL				CON UAV				Δ COSTOS	
	NOMBRE	ÁREA	C.U.	SUB TOTAL	NOMBRE	ÁREA	C.U.	SUB TOTAL		
1	ÁREA PTO-TOP : 1	1159.928	S/ 0.031	S/ 35.437	ÁREA PTO-UAV : 1	1159.532	S/ 0.022	S/ 25.862	S/ 9.575	
2	ÁREA PTO-TOP : 2	325.368	S/ 0.031	S/ 9.940	ÁREA PTO-UAV : 2	325.238	S/ 0.022	S/ 7.254	S/ 2.686	
3	ÁREA PTO-TOP : 3	725.525	S/ 0.031	S/ 22.165	ÁREA PTO-UAV : 3	726.015	S/ 0.022	S/ 16.193	S/ 5.973	
4	ÁREA PTO-TOP : 4	1125.04	S/ 0.031	S/ 34.371	ÁREA PTO-UAV : 4	1116.491	S/ 0.022	S/ 24.902	S/ 9.469	
5	ÁREA PTO-TOP : 5	1094.828	S/ 0.031	S/ 33.448	ÁREA PTO-UAV : 5	1094.845	S/ 0.022	S/ 24.419	S/ 9.029	
6	ÁREA PTO-TOP : 6	1067.065	S/ 0.031	S/ 32.600	ÁREA PTO-UAV : 6	1072.091	S/ 0.022	S/ 23.911	S/ 8.688	
7	ÁREA PTO-TOP : 7	1198.287	S/ 0.031	S/ 36.609	ÁREA PTO-UAV : 7	1196.548	S/ 0.022	S/ 26.687	S/ 9.921	
8	ÁREA PTO-TOP : 8	673.457	S/ 0.031	S/ 20.575	ÁREA PTO-UAV : 8	675.486	S/ 0.022	S/ 15.066	S/ 5.509	
9	ÁREA PTO-TOP : 9	672.994	S/ 0.031	S/ 20.561	ÁREA PTO-UAV : 9	674.63	S/ 0.022	S/ 15.047	S/ 5.514	
10	ÁREA PTO-TOP : 10	3811.236	S/ 0.031	S/ 116.437	ÁREA PTO-UAV : 10	3812.44	S/ 0.022	S/ 85.031	S/ 31.406	
11	ÁREA PTO-TOP : 11	653.35	S/ 0.031	S/ 19.960	ÁREA PTO-UAV : 11	651.339	S/ 0.022	S/ 14.527	S/ 5.433	
12	ÁREA PTO-TOP : 12	592.797	S/ 0.031	S/ 18.110	ÁREA PTO-UAV : 12	593.455	S/ 0.022	S/ 13.236	S/ 4.874	
13	ÁREA PTO-TOP : 13	289.427	S/ 0.031	S/ 8.842	ÁREA PTO-UAV : 13	291.401	S/ 0.022	S/ 6.499	S/ 2.343	
14	ÁREA PTO-TOP : 14	121.505	S/ 0.031	S/ 3.712	ÁREA PTO-UAV : 14	120.415	S/ 0.022	S/ 2.686	S/ 1.026	
15	ÁREA PTO-TOP : 15	1207.783	S/ 0.031	S/ 36.899	ÁREA PTO-UAV : 15	1208.304	S/ 0.022	S/ 26.949	S/ 9.949	
16	ÁREA PTO-TOP : 16	68.327	S/ 0.031	S/ 2.087	ÁREA PTO-UAV : 16	68.345	S/ 0.022	S/ 1.524	S/ 0.563	
17	ÁREA PTO-TOP : 17	599.424	S/ 0.031	S/ 18.313	ÁREA PTO-UAV : 17	599.839	S/ 0.022	S/ 13.379	S/ 4.934	
COSTO TOTAL CON ESTACIÓN TOTAL				S/ 470.066	COSTO TOTAL CON UAV				S/ 343.172	S/ 126.894

Fuente: Elaboración propia.

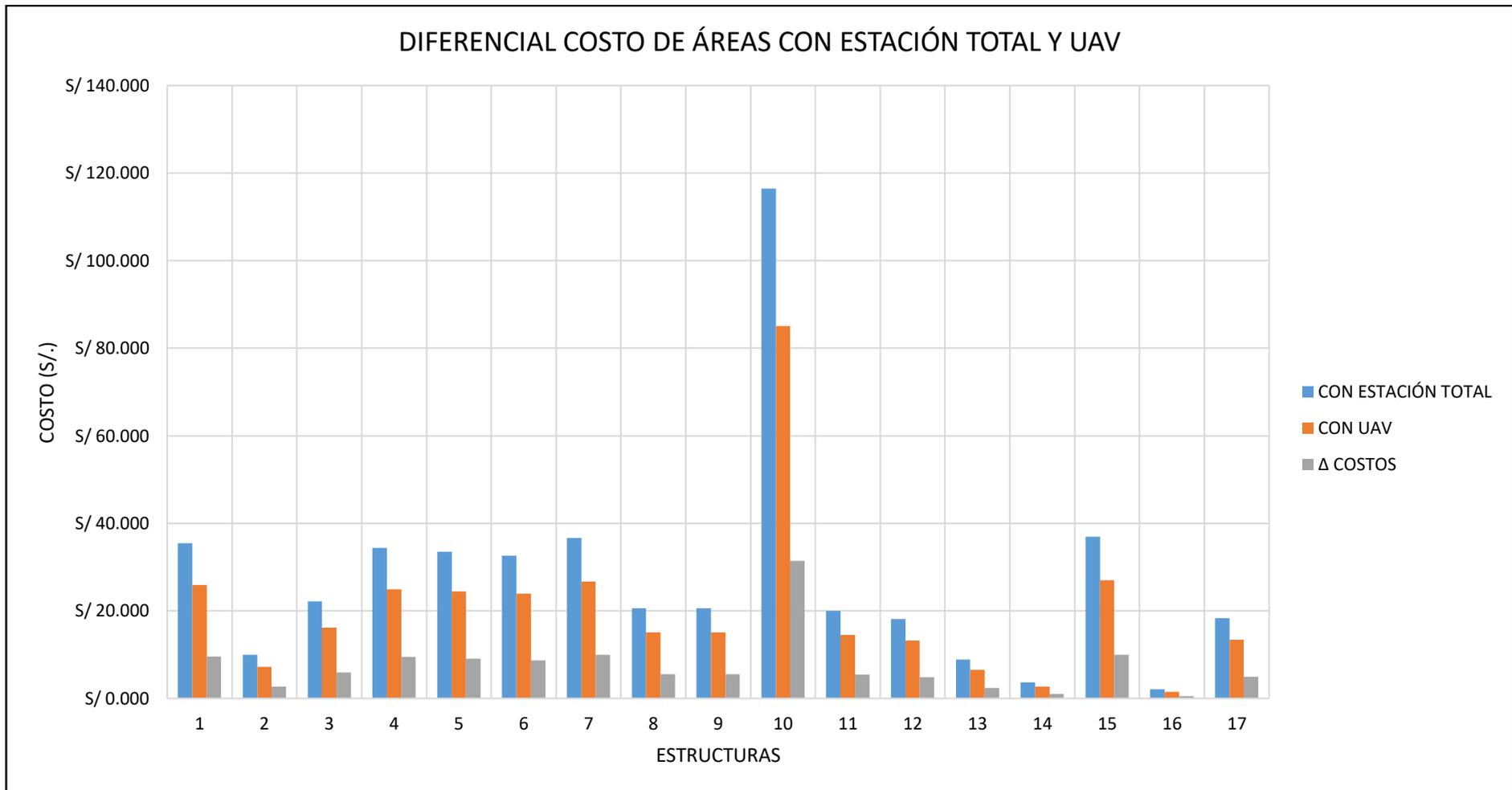


Figura 38: Diferencial de costo por áreas con Estación Total y UAV.

Fuente: Datos de la tabla 17.

K. Diferencial de tiempo por áreas con Estación Total y UAV.

En la tabla 18 y la figura 39 se muestran los diferenciales de tiempo de área por metro cuadrado de las 17 estructuras (muestra).

Tabla 18

Diferencial de tiempo por áreas con Estación Total y UAV.

ÍTEM	CON ESTACIÓN TOTAL				CON UAV				Δ TIEMPO (DÍAS)	
	NOMBRE	ÁREA	TIEMPO X m ²	SUB TOTAL	NOMBRE	ÁREA	TIEMPO X m ²	SUB TOTAL		
1	ÁREA PTO-TOP : 1	1159.928	0.000025	0.029	ÁREA PTO-UAV : 1	1159.532	0.000018	0.021	0.008	
2	ÁREA PTO-TOP : 2	325.368	0.000025	0.008	ÁREA PTO-UAV : 2	325.238	0.000018	0.006	0.002	
3	ÁREA PTO-TOP : 3	725.525	0.000025	0.018	ÁREA PTO-UAV : 3	726.015	0.000018	0.013	0.005	
4	ÁREA PTO-TOP : 4	1125.04	0.000025	0.028	ÁREA PTO-UAV : 4	1116.491	0.000018	0.020	0.008	
5	ÁREA PTO-TOP : 5	1094.828	0.000025	0.027	ÁREA PTO-UAV : 5	1094.845	0.000018	0.020	0.008	
6	ÁREA PTO-TOP : 6	1067.065	0.000025	0.027	ÁREA PTO-UAV : 6	1072.091	0.000018	0.019	0.008	
7	ÁREA PTO-TOP : 7	1198.287	0.000025	0.030	ÁREA PTO-UAV : 7	1196.548	0.000018	0.021	0.009	
8	ÁREA PTO-TOP : 8	673.457	0.000025	0.017	ÁREA PTO-UAV : 8	675.486	0.000018	0.012	0.005	
9	ÁREA PTO-TOP : 9	672.994	0.000025	0.017	ÁREA PTO-UAV : 9	674.63	0.000018	0.012	0.005	
10	ÁREA PTO-TOP : 10	3811.236	0.000025	0.096	ÁREA PTO-UAV : 10	3812.44	0.000018	0.068	0.027	
11	ÁREA PTO-TOP : 11	653.35	0.000025	0.016	ÁREA PTO-UAV : 11	651.339	0.000018	0.012	0.005	
12	ÁREA PTO-TOP : 12	592.797	0.000025	0.015	ÁREA PTO-UAV : 12	593.455	0.000018	0.011	0.004	
13	ÁREA PTO-TOP : 13	289.427	0.000025	0.007	ÁREA PTO-UAV : 13	291.401	0.000018	0.005	0.002	
14	ÁREA PTO-TOP : 14	121.505	0.000025	0.003	ÁREA PTO-UAV : 14	120.415	0.000018	0.002	0.001	
15	ÁREA PTO-TOP : 15	1207.783	0.000025	0.030	ÁREA PTO-UAV : 15	1208.304	0.000018	0.022	0.009	
16	ÁREA PTO-TOP : 16	68.327	0.000025	0.002	ÁREA PTO-UAV : 16	68.345	0.000018	0.001	0.000	
17	ÁREA PTO-TOP : 17	599.424	0.000025	0.015	ÁREA PTO-UAV : 17	599.839	0.000018	0.011	0.004	
TIEMPO TOTAL CON ESTACIÓN TOTAL				0.386	TIEMPO TOTAL CON UAV				0.276	0.110

Fuente: Elaboración propia.

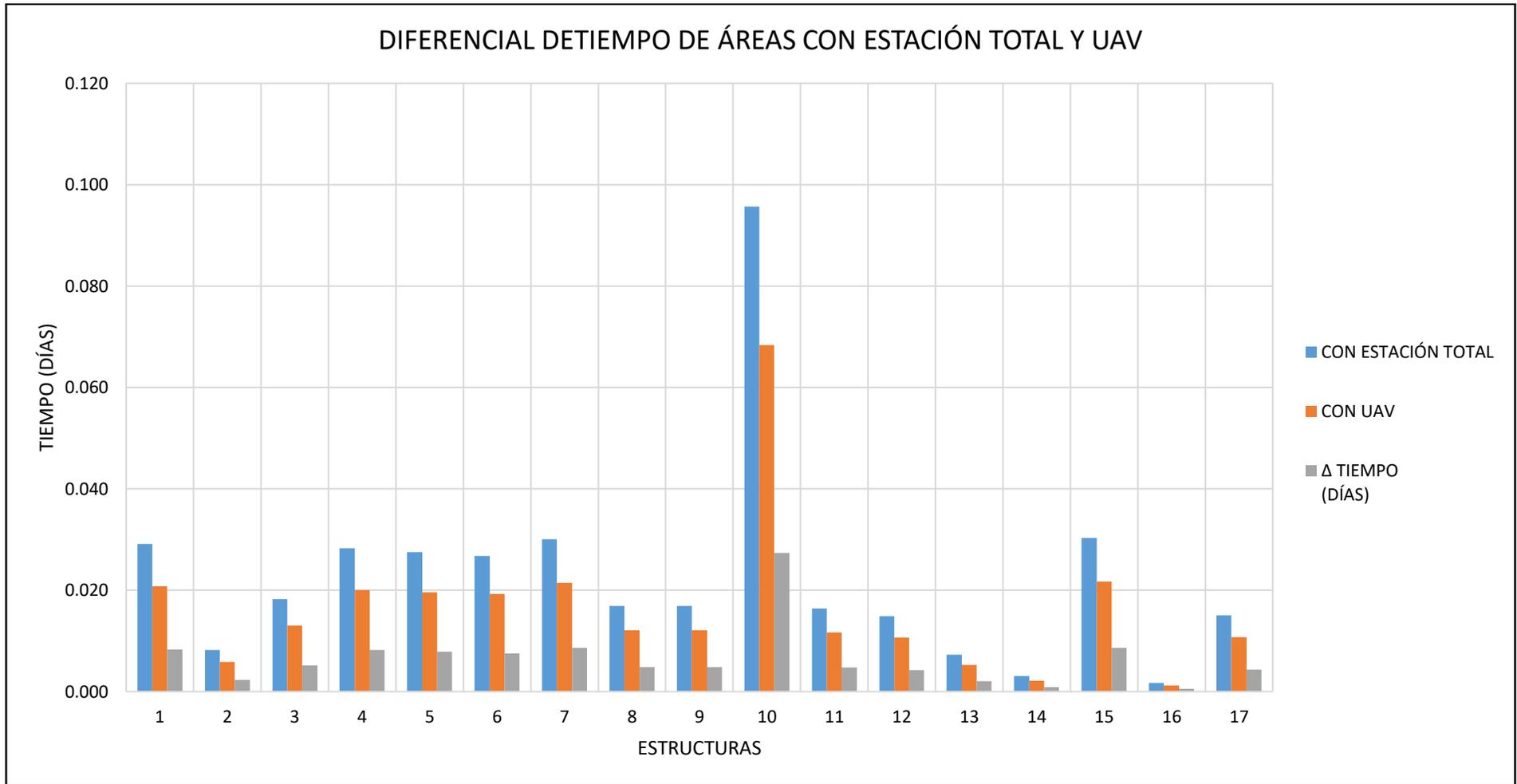


Figura 39: Diferencial de tiempo por áreas con Estación Total y UAV.

Fuente: Datos de la tabla 18.

L. Comparación de cantidad puntos de levantamiento topográfico con Estación Total vs UAV.

En la tabla 19 y la figura 40 se muestra los diferenciales en la cantidad de puntos topográficos obtenidos con Estación Total frente a UAV, en el área de estudio que son 278,879.28 m², dando como resultado un 428,359.19% más de datos a favor del levantamiento topográfico con UAV.

Tabla 19

Diferencial cantidad puntos de levantamiento topográfico con Estación Total vs UAV.

ÍTEM	CANTIDAD (ptos)	Densidad (ptos/m ²)	TIPO
ESTACIÓN TOTAL	5,438.000	0.019	PUNTOS
UAV	29,624,414	83.528	NUVE DE PUNTOS

Fuente: Elaboración propia, extraída del procesamiento con Autocad Civil 3d 2015.

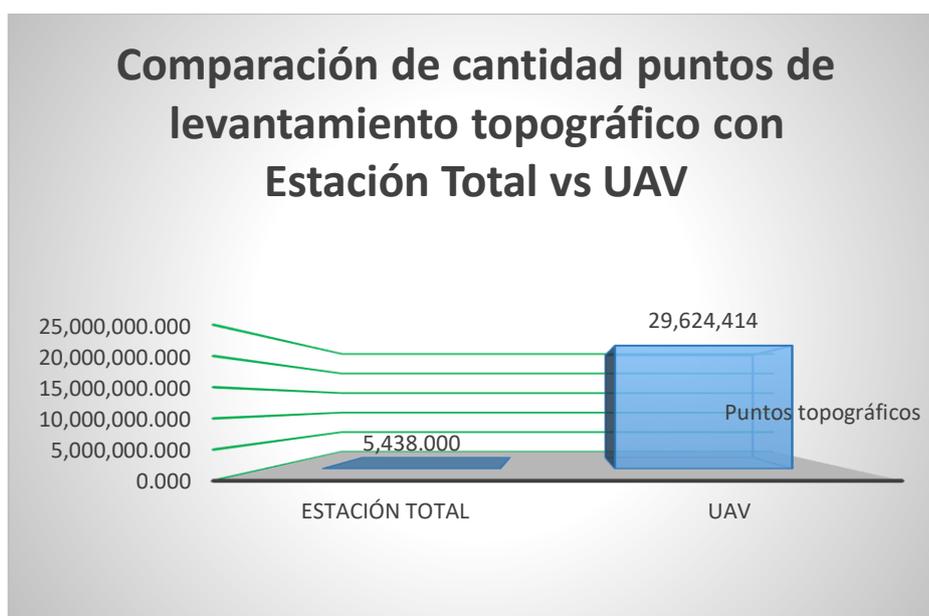


Figura 40: Diferencial de tiempo por áreas con Estación Total y UAV.

Fuente: Datos de la tabla 19.

M. Resultados de procesamiento fotogramétrico de imágenes con el software Agisoft PhotoScan.

En la tabla 20 y la figura 41 se muestra el reporte procesamiento

fotogramétrico de imágenes con el software Agisoft PhotoScan. de fecha 03 de abril de 2016, de los puntos de control dando un resultado total de error por pixel 0.10 m.

Tabla 20

Reporte de errores de puntos de control con el software Agisoft PhotoScan.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
1	-0.377818	0.190489	-1.465359	1.525224	13	0.12669
2	-0.316467	-0.212332	-1.74324	1.784411	19	0.166061
3	0.487907	0.138911	3.681084	3.715875	18	0.000094
4	0.31976	0.337234	2.940098	2.976601	16	0.065318
5	-0.098981	0.05717	-1.294779	1.299815	17	0.000103
6	-0.175952	0.153947	-3.671934	3.67937	26	0.094346
7	0.115346	0.388941	-0.176366	0.442363	50	0.046917
8	0.179503	0.179812	-1.441418	1.463639	37	0.102182
9	0.107721	-0.057687	-0.633549	0.645226	41	0.021977
10	-0.145326	-0.691967	1.578475	1.729602	26	0.129009
11	-0.031478	-0.45878	5.618189	5.636978	28	0.163817
12	-0.065375	0.048242	-3.643262	3.644168	23	0.141957
Total	0.242808	0.305494	2.774579	2.801887	314	0.10089

Fuente: Reporte software Agisoft PhotoScan.

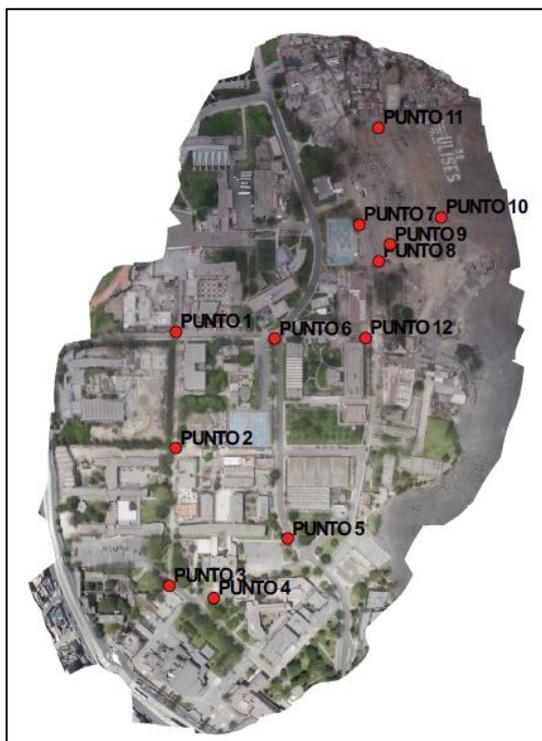


Figura 41: Reporte de errores de puntos de control con el software Agisoft PhotoScan.

4.2. Contratación de las hipótesis

Para contrastar los resultados se tomaron como referencia las normas vigentes del estado peruana que son:

- A. Según el Instituto Geográfico Nacional, del Ministerio de Defensa de la república del Perú, en la página 51 de la norma técnica V1.0 titulada: “ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CARTOGRAFÍA BÁSICA ESCALA 1:1 000”, publicada en mayo del 2011.

En su artículo 4.8 menciona;

4.8. Precisiones

a. Planimetría:

Precisión de los puntos de apoyo. Planimetría: error cuadrático medio RMS, (Root mean square) menor o igual a 0,05 metros, en X e Y independientemente.

b. Altimetría:

El error de cierre no será en ningún caso superior a $\pm 12 \text{ mm } \sqrt{K}$, siendo K la longitud en kilómetros.

- B. Según Consejo Nacional de Catastro del estado peruano mediante RESOLUCION N°03-2008-SNCP/CNC aprobó la directiva: DIRECTIVA N°01-2008-SNCP/CNC “TOLERANCIAS CATASTRALES - REGISTRALES”, en la cual precisa en el inciso 7, lo siguiente:

7. DISPOSICIONES:

- a. Los rangos de tolerancias Catastrales – Registrales; son los siguientes:

NATURALEZA URBANA	
Rango de área (m ²)	Tolerancia (%)
Menores de 200	2.5
de 200 a 1000	2.0
Mayores a 1000	1.0

NATURALEZA RURAL	
Rango de área (Ha)	Tolerancia (%)
Menores de 1	7.5
de 1 a 5	6.3
Mayores a 5	3.0

C. Según el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de la república del Perú, en la página 101 titulado: “MANUAL DE CARRETERAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN EG-2013”, actualizado a junio 2013 mediante “Resolución Directoral N° 22 – 2013 – MTC/14”, en la provincia de Lima, con fecha 17 de julio del 2013.

Los trabajos de topografía y de control estarán concordantes con las tolerancias que se dan en la Tabla 21 (102-01).

Tabla 21

Tolerancias para trabajos de levantamientos topográficos, replanteos y estacado en construcción de carreteras.

Tabla 102-01		
<i>Tolerancias para trabajos de levantamientos topográficos, replanteos y estacado en construcción de carreteras</i>		
Tolerancia Fase de trabajo	Tolerancia Fase de trabajo	
	Horizontal	Vertical
Georeferenciación	1:100.000	± 5 mm
Puntos de Control	1:10.000	± 5 mm
Puntos del eje, (PC), (PT), puntos en curva y referencias	1:5.000	± 10 mm
Otros puntos del eje	± 50 mm	± 100 mm
Sección transversal y estacas de talud	± 50 mm	± 100 mm
Alcantarillas, cunetas y estructuras menores	± 50 mm	± 20 mm
Muros de contención	± 20 mm	± 10 mm
Límites para roce y limpieza	± 500 mm	--
Estacas de subrasante	± 50 mm	±10 mm
Estacas de rasante	± 50 mm	± 10 mm

Fuente: MANUAL DE CARRETERAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN EG-2013

4.3. Proceso de la prueba de hipótesis

4.3.1. Comprobación de la hipótesis general

A continuación, procedemos a realizar la comparación de la hipótesis general considerando los datos obtenidos como producto del trabajo de campo obtenida de la muestra.

- A) El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados es más preciso con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016.

Utilizando áreas

- a) $H_0: \mu_1 = \mu_2$ El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados es igualmente de preciso con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería
 $H_1: \mu_1 < \mu_2$ El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados es más preciso con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería.

- b) Sea $\alpha = 0,05$

- c) Como n es pequeño, σ^2 es desconocido, entonces

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - 0}{\sqrt{V(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}} \sim t_{n_1+n_2-2}$$

$$V(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right)$$

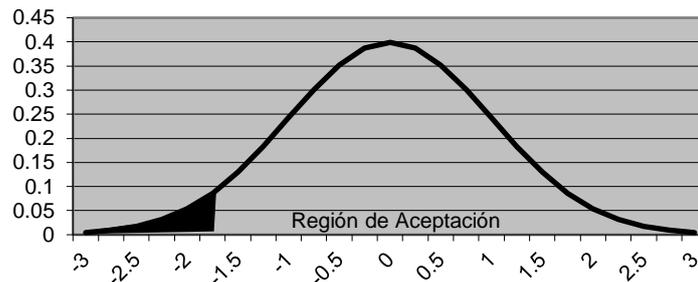
- d) Si $t < t_\alpha \Rightarrow$ Se rechaza H_0

$$t_\alpha = t_{32, 0.05} = - 1.694$$

- e) Se realizan los cálculos

$$t = \frac{(905.0832 - 905.079)}{\sqrt{82523.5373}} = 0.0000149$$

T Student



f) Decisión: Se acepta H_0

El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería, de acuerdo con los resultados obtenidos presentan la misma precisión, con una confianza del 95%.

B) El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados es más preciso con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016.

Utilizando puntos (error lineal)

a) $H_0: \mu = 0.02$ El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total tienen una precisión permitida de 0.02 en la Universidad Nacional de Ingeniería.

$H_1: \mu \neq 0.02$ El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no Tripulados con respecto a la estación total tienen una precisión diferente de 0.02 en la Universidad Nacional de Ingeniería.

b) Sea $\alpha = 0,05$

c) Como n es grande, σ^2 es desconocido, entonces

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{S / \sqrt{n}} \sim Normal$$

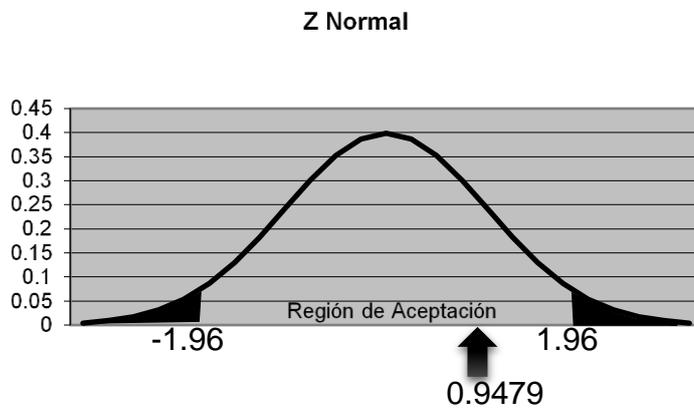
d) Si $z < z_{\alpha/2}$ o $z > z_{1-\alpha/2} \Rightarrow$ Se rechaza H_0

$$Z_{\alpha/2} = Z_{0.025} = -1.96$$

$$Z_{1-\alpha/2} = Z_{0.975} = 1.96$$

e) Se realizan los cálculos

$$Z = \frac{(0.0863315 - 0.02)}{\sqrt{0.00489653}} = 0.94792$$



f) Decisión: Se acepta H_0

El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total tienen una precisión permitida de 0.02 en la Universidad Nacional de Ingeniería al observar los puntos mediante el error lineal, con una confianza del 95%.

4.3.2. Comprobación de las hipótesis específicas

A) Primera hipótesis específica

El tiempo requerido entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente Estación Total es menor para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería– 2016.

a) $H_0: \mu_1 = \mu_2$ El tiempo requerido entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente Estación Total es igual para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería.

$H_1: \mu_1 < \mu_2$ El tiempo requerido entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente Estación Total es menor para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería.

b) $\alpha = 0,05$

c) Como n es pequeño, σ^2 es desconocido, entonces

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - 0}{\sqrt{V(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}} \sim t_{n_1+n_2-2}$$

$$V(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right)$$

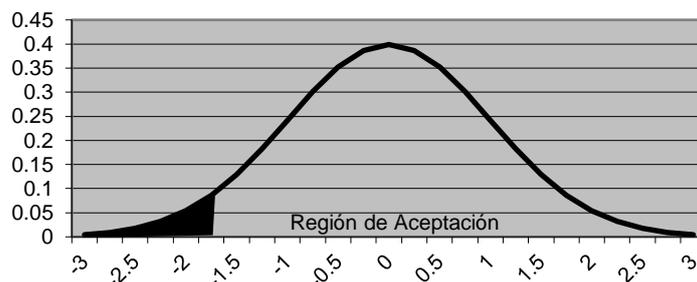
d) Si $t < t_\alpha \Rightarrow$ Se rechaza H_0

$$t_\alpha = t_{32, 0.05} = - 1.694$$

e) Se realizan los cálculos

$$t = \frac{(0.016 - 0.023)}{\sqrt{0.00003926}} = -1.03592$$

T Student



a) Decisión: Se acepta H_0

El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería, de acuerdo con los resultados obtenidos se observa que el tiempo requerido entre la aplicación de

vehículos aéreos no tripulados frente a estación total presentan un tiempo similar, con una confianza del 95%.

B) Segunda hipótesis específica

El costo unitario entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente Estación Total es menor para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016.

a) $H_0: \mu_1 = \mu_2$ El costo unitario entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente Estación Total es igual para el Levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería.

$H_1: \mu_1 < \mu_2$ El costo unitario entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente Estación Total es menor para el Levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería.

b) $\alpha = 0,05$

c) Como n es pequeño, σ^2 es desconocido, entonces

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - 0}{\sqrt{V(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}} \sim t_{n_1+n_2-2}$$

$$V(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right)$$

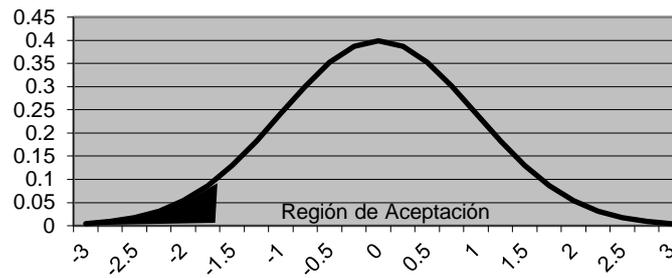
d) Si $t < t_\alpha \Rightarrow$ Se rechaza H_0

$$t_\alpha = t_{32, 0.05} = -1.694$$

e) Se realizan los cálculos

$$t = \frac{(20.187 - 27.651)}{\sqrt{59.0359}} = -0.97148$$

T Student



f) Decisión: Se acepta H_0

El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería, de acuerdo con los resultados obtenidos se observa que los costos unitarios requeridos entre la aplicación de vehículos aéreos no tripulados frente a estación total presentan un costo unitario similar, con una confianza del 95%.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Discusión de los resultados de la investigación

De acuerdo a los resultados obtenidos puedo afirmar que:

Primero, se cumplió con el objetivo general, de determinar la precisión del levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados frente a la Estación Total en la Universidad Nacional de Ingeniería– 2016, llegándose a la conclusión, mediante la aplicación del método estadístico, que; tienen las mismas precisiones en condiciones óptimas, dado que los datos de campo del levantamiento topográfico, se tomaron en condiciones climáticas óptimas.

Con respecto los puntos de control, la diferencia de distancia (error lineal) entre los puntos de control con GPS y UAV son menores a 0.02m, que de acuerdo a la norma técnica: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CARTOGRAFÍA BÁSICA ESCALA 1:1 000, en el ítem 4.8. Precisiones, a. Planimetría: Precisión de los puntos de apoyo. Planimetría: error cuadrático medio RMS, (Root mean square) menor o igual a 0,05 metros, en X e Y independientemente. Y b. Altimetría: El error de cierre no será en ningún caso superior a $\pm 12 \text{ mm } \sqrt{K}$, siendo K la longitud en kilómetros.

Con respecto a las áreas, según el Consejo Nacional de Catastro del estado peruano mediante RESOLUCION N°03-2008-SNCP/CNC aprobó la directiva: DIRECTIVA N°01-2008-SNCP/CNC “TOLERANCIAS CATASTRALES - REGISTRALES”, en la cual precisa en el inciso 7. Disposiciones: a. Los

rangos de tolerancias Catastrales – Registrales, que la tolerancia mínima es 1% de diferencial de área para que un predio urbano mayor a 1000 m² sea rectificado, de acuerdo a la tabla N° 16 “Diferencial de áreas y perímetros con Estación Total y UAV” los diferenciales de área no sobrepasan el 1%.

Segundo, se cumplió con los objetivos específicos, establecer el diferencial de tiempo entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a Estación Total según el indicador tiempo para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016, el cual determino que son similares y establecer el diferencial costo unitario entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a Estación Total según el indicador tiempo para el levantamiento topográfico de la Universidad de Ingeniería - 2016, los cuales dieron como resultado que son similares.

Tercero, dependiendo de la calidad de las imágenes digitales y por el nivel de procesamiento de ellas (bajo, medio o alto), con el software empleado y dependiendo de la calidad de este, se obtienen una cantidad considerable de puntos los cuales forman una base de datos de nube de puntos (point cloud database), de acuerdo a la tabla 19 para esta investigación se trabajaron con más de 29 millones de puntos los que forman la nube de puntos, cabe señalar que según los datos técnicos extraídos de las propiedades de la nube de puntos mediante el programa Autocad Civil 3d 2015, se visualizan como máximo 115,700 puntos, esto seguramente por el hardware empleado.

Cuarto, respecto al resultado de precisión se tiene dos resultados, el primero se basa en los puntos de control los cuales están dentro de los rangos permitidos, en la presente investigación la distancia entre el punto de control con GPS y UAV de acuerdo a la tabla 10 están desde los 0.0099 m hasta 0.087743 m. y el segundo en base a los puntos de las áreas la cual tiene un mayor interés, dado que son el producto final en los planos catastrales, de acuerdo a la tabla 13, la distancia entre los puntos de estructuras entre Estación Total y UAV de están desde los 0.01655m hasta 0.471 m, los cuales representan una significativa diferencia. En alguna de las tesis de investigación consignadas, a diferencia de la presente, las precisiones se basan en los puntos de control o error de pixel, y no principalmente de los puntos extraídos del producto final (planos).

CONCLUSIONES

Luego de haber concluido la investigación y producto de haber realizado el tratamiento de los datos recogidos, a través de los instrumentos de observación y libreta de campo, me permito afirmar lo siguiente:

1. Con respecto a la hipótesis general, en base a las áreas medidas, con un nivel de confianza del 95% y un 5% de incertidumbre, empleando la estadística de la prueba t de Student, se acepta la hipótesis nula y se afirma que el levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016, presentan la misma precisión respecto a la planimetría.
2. Con respecto a la hipótesis general, en base a los puntos de error lineal, con un nivel de confianza del 95% y un 5% de incertidumbre, empleando la estadística de la prueba Z Probabilidad Normal, se acepta la hipótesis nula y se afirma que el levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016, tiene una precisión permitida de 0.02m.
3. Con respecto a la hipótesis específica, con un nivel de confianza del 95% y un 5% de incertidumbre, empleando la estadística de la prueba

t de Student, se acepta la hipótesis nula y se afirma que los tiempos requeridos en aplicación de levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016, son similares.

4. Con respecto a la hipótesis específica, con un nivel de confianza del 95% y un 5% de incertidumbre, empleando la estadística de la prueba t de Student, se acepta la hipótesis nula y se afirma que los costos unitarios requeridos de la aplicación de levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados frente a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016, son similares.
5. En las áreas sin estructuras se observa que las precisiones son más aceptables, dado que no hay interferencias visuales.
6. Las diferencias considerables en elevación, son debido a la falta de tratamiento de los datos (nube de puntos) obtenidos con UAV con respecto a las estructuras existentes como son las edificaciones.
7. Esta prueba ha demostrado que el modelo del terreno a partir de datos adquiridos por medios aéreos utilizando vehículos aéreos o tripulados hexacoptero, puede competir con éxito en cuanto a la precisión, con un levantamiento convencional topográfico de suelo completo, utilizando Estación Total.
8. Los verdaderos beneficios de esta de esta tecnología es el tiempo que se emplea para hacer estas mediciones, sustancialmente diferente. La medición de tierra requiere tres días completos en campo, mientras que las mediciones aéreas una hora, la cual incluye la instalación y el desmontaje. El ajuste y la determinación de los puntos de control se añade otras tres horas a la medición del terreno en este caso. El tiempo de post proceso es similar a ambos casos, aunque hay más opciones disponibles dependiendo de computadora para procesar la información y el software que en este caso es Agusof.PhotoScan y CAD3D.
9. La disminución sustancial del tiempo que el personal debe estar en campo, se traduce en un ahorro sustancial en costo.
10. El mayor beneficio que tiene la medición aérea es, sin embargo, la cantidad de datos que se adquieren. En este caso, la medición por tierra obtuvo 5438 puntos de datos, escogidos selectivamente por los

ojos entrenados del personal de campo. Existen limitaciones, respecto de lo bien en que el equipo de medición puede medir constantemente recoger líneas de quiebre del terreno. En comparación con la medición aérea adquirió más de 29 millones de puntos de datos de densidad de 83.5 puntos por metro cuadrado. Con tal alta densidad de adquisición de datos, no hay necesidad para que la plataforma aérea difiera de las características del terreno para proporcionar una descripción exacta de la superficie.

RECOMENDACIONES

1. Clasificar los datos (nube de puntos) extraídos del levantamiento con UAV para una mejor precisión de elevación.
2. Para procesar los datos del levantamiento topográfico con UAV, es necesario usar una estación de trabajo (computadora), de acuerdo a los requerimientos óptimos del fabricante del software a usar.
3. Se conveniente realizar los vuelos con los vehículos aéreos no tripulados por la mañana, de preferencia de 8 a 11 de la mañana, con el fin de evitar la descompensación AUV, por las corrientes de aire que se originan por las tardes, más aún en las zonas altas con respecto al nivel medio del mar.
4. Es preferible hacer le plan de vuelo en escritorio sonde tenga conexión a internet, con el fin de determinar el punto home, ya que muchas veces la señal en campo del internet es pésima.
5. Es recomendable llevar dos a mas baterías de repuesto si el proyecto supera el kilómetro, porque la vida útil de carga solo tiene de 5 a 10 minutos, dependiendo la altura y la zona te encuentres; no olvides que a más altura sobre el nivel del mar menos presión los motores consumen más energía.
6. De preferencia al ir a tomar datos con el UAV, deberá ir por los menos dos personales para el manejo, monitoreo y control de vehículo Aéreo no tripulado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografías

1. Alcántara, D. (2007). *Topografía y sus aplicaciones* (1ra. Ed.). Mexico: Grupo Editorial Patria, S. A. de C.V.
2. Angulo, L. (2010). *Gestión de proyectos con Project, Excel y Visio* (1ra. Ed.). Lima: Empresa Editora Macro E.I.R.L.
3. Burga, J. (1992). *Principios de fotogeología*. Lima: MultiRey S.A.
4. Carranza, O. (2016). *AutoCAD 2016* (1ra. Ed.). Lima: Empresa Editora Macro E.I.R.L.
5. Conde, D. (1994). *Método y calculo topográfico* (4ta. Ed.). Lima: Imprenta Editora Lugo E.I.R.L.
6. Davis, R., Foote, F., & Kelly, J. (1971). *Topografía general* (3ra. ed.). México: Alfa Omega Grupo Editor, S.A. de C.V.
7. Díaz, C. (2016). *Metodología de la investigación científica* (2da. Ed.). Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L.
8. Flores, E. (2010). *Introducción al Estilo APA* (6a. Ed.). Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico.
9. Gamarra, G., Rivera, T., Wong, F., & Pujay, O. (2015). *Estadística e investigación con aplicaciones de SPSS* (2da. ed.). Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L.
10. Goddard, W., & Melville, S. (2001). *Research methodology. An introduction* (2a. ed.). Landsowne, Sudáfrica: Juta & Co.
11. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta. ed.). México: Mc Graw Hill.
12. Juan de Sanjosé, J., Martínez, E., López, M., & Atkinson, A. (2013). *Topografía para Estudio de Grado* (3ra. ed.). Madrid: Bellisco.
13. Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Administración de operaciones: Procesos y cadena de valor* (8va. ed.). México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
14. Martínez, C. (2010). *Estadística y muestreo* (13va. Ed.). Colombia: Editora Géminis Ltda.

15. Martínez, E., De Sanjosé, J., López, M., & Atkinson, A. (2013). *Topografía para estudios de grado* (3ra. ed.). Madrid: Bellisco. Ediciones Técnicas y Científicas.
16. Mendoza, C. (2018). *Fotogrametría, Prácticas de fotogrametría básica y problemas* (1ra. Ed.). Bogotá: Alfaomega.
17. Mendoza, J. (2017). *Topografía, técnicas modernas*. Lima: Editores Maraucano E.I.R.L.
18. Nadvivi, W. (2006). *Estadística para ingenieros y científicos* (1ra. Ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
19. Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2013). *Metodología de la investigación científica y elaboración de tesis* (3ra. ed.). Perú: Centro de Producción Editorial e Imprenta de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
20. Pantigoso, H. (2014). *Manual práctico de topografía* (1ra. Ed.). Lima: Megabyte s.a.c.
21. Pino, R. (2007). *Metodología de la investigación* (1ra. Ed.). Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L.
22. Quezada, N. (2010). *Metodología de la investigación: Estadística aplicada en la investigación* (1ra. Ed.). Lima: Empresa Editora Macro E.I.R.L.
23. Rincón, M., Vargas, W., & Gonzáles, C. (2017). *Topografía, conceptos y aplicaciones* (3ra. ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones Ltda.
24. Schmidt, M., & Horace, W. (1983). *Fundamentos de topografía* (2da. Ed.). México: Compañía Editora Continental, S.A. de C.V.
25. Tassara, L. (2008). *Topografía I - II* (3ra. Ed.). Lima: Editorial Ciencias S.R.Ltda.
26. Ugarte, O. (2008). *Diseño geométrico de carreteras con AutoCAD Civil 3D 2013* (1ra. Ed.). Lima: Empresa Editora Macro E.I.R.L.
27. Ugarte, O. (2008). *Diseño geométrico de carreteras con AutoCAD Civil 3D 2013* (1ra. Ed.). Lima: Empresa Editora Macro E.I.R.L.
28. Vara, A. (2015). *7 pasos para elaborar una tesis* (1ra. Ed.). Lima: Empresa Editora Macro E.I.R.L.
29. Villalba, N. (2015). *Topografía aplicada* (1ra. Ed.). Lima: Empresa Editora Macro E.I.R.L.

30. Wolf, P., & Ghilani, C. (2009). *Topografía* (11va. Ed.). México: Compañía Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
31. Wolf, P., & Ghilani, C. (2016). *Cómo hacer un proyecto de investigación* (2da. Ed.). Bogotá: Alfaomega.
32. Zeballos, E. (2014). *Contabilidad general* (1ra. Ed.). Perú: Erly Zeballos Zeballos, impreso en Impresiones Juve E.I.R.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“PRECISIÓN DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS Y ESTACIÓN TOTAL EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA – 2016”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN
GENERAL	GENERAL	GENERAL	VARIABLE:		MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:
¿Cómo es la precisión de levantamiento topográfico con vehículo aéreo no tripulado y con estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016?	Comparar la precisión del levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados frente a la Estación Total en la Universidad Nacional de Ingeniería– 2016.	El levantamiento topográfico con vehículos aéreos no tripulados es más preciso con respecto a la estación total en la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016.	Precisión con Vehículo Aéreo no Tripulado	ÁREA MEDIDA Metros cuadrados (m ²)	Método universal: Método científico
			Precisión con Estación Total	DISTANCIA LINEAL (ERROR LINEAL) Metro lineal (m)	Métodos específicos: Deductivo – inductivo Analítico-sintético
ESPECÍFICAS	ESPECÍFICAS	ESPECÍFICAS	VARIABLES:		TIPO DE INVESTIGACIÓN:
¿Cuál es el diferencial entre la aplicación de vehículos aéreos no tripulados frente a estación total según el tiempo para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016?	Calcular el diferencial de tiempo entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a Estación Total según el tiempo para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería– 2016.	El tiempo requerido entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a la Estación Total es menor para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016.	Variables de Tiempo	TIEMPO ESTÁNDAR Días por metro cuadrado (díaxm ²)	Aplicativo Descriptivo – Comparativo Exploratorio
¿Cuál es el diferencial entre la aplicación de vehículos aéreos no tripulados a frente estación total según el costo unitario para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería – 2016?	Calcular el diferencial de costo unitario entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a Estación Total según el costo unitario para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería– 2016.	El costo unitario entre la aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados frente a la Estación Total es menor para el levantamiento topográfico de la Universidad Nacional de Ingeniería - 2016	Variables de costo	COSTO UNITARIO $\sum (MO + EQ + HR + MT) \times m^2$	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: No experimental transeccional descriptivo - Comparativo
				MO: Costo mano de obra. EQ: Costo alquiler de equipos. HR: Costo de herramientas. MT: Costo de materiales.	TÉCNICAS Documental Campo Observación INSTRUMENTOS Observación directa Estación total UAV POBLACIÓN Área levantada de la Universidad Nacional de Ingeniería (278,879 m ²). MUESTRA Infraestructura de la UNI (17 obras civiles de UNI).

PANEL FOTOGRÁFICO



Colocación de punto de control con estación RTK GPS, marca TOPCON,
Modelo GR3



Colocación de punto de control



Colocación de punto de control



colocación de punto de control



Colocación de punto de control



Punto de control 12



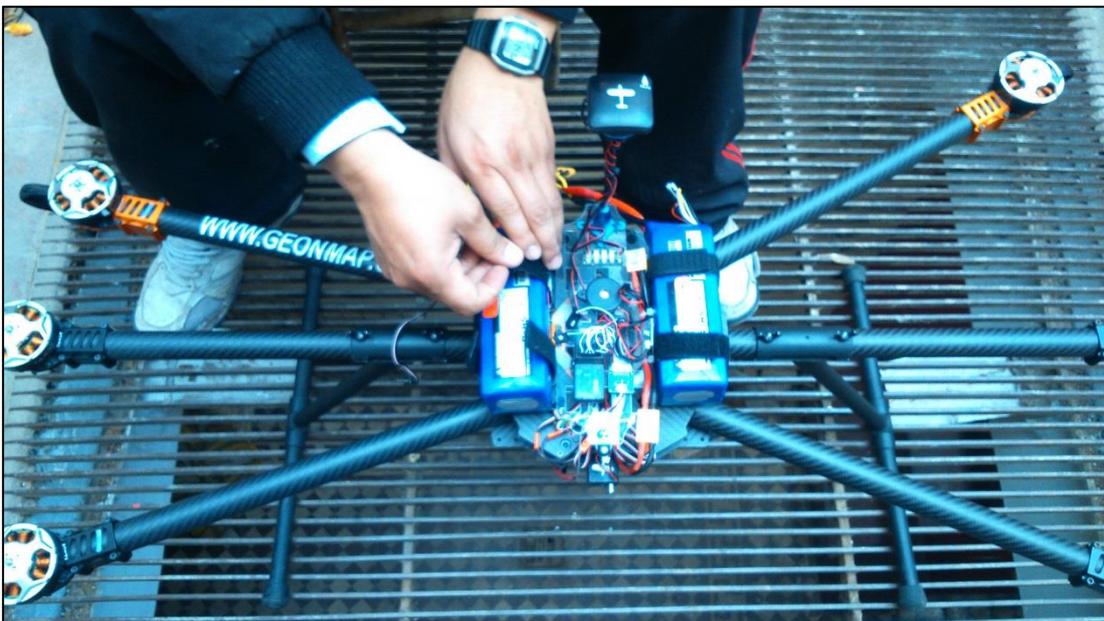
Elaboración de marcas para puntos de control



Inicio de vuelo



Rotores de drone hexacoptero



Instalación de baterías de drone hexacoptero



Instalación de hélices de drone hexacoptero



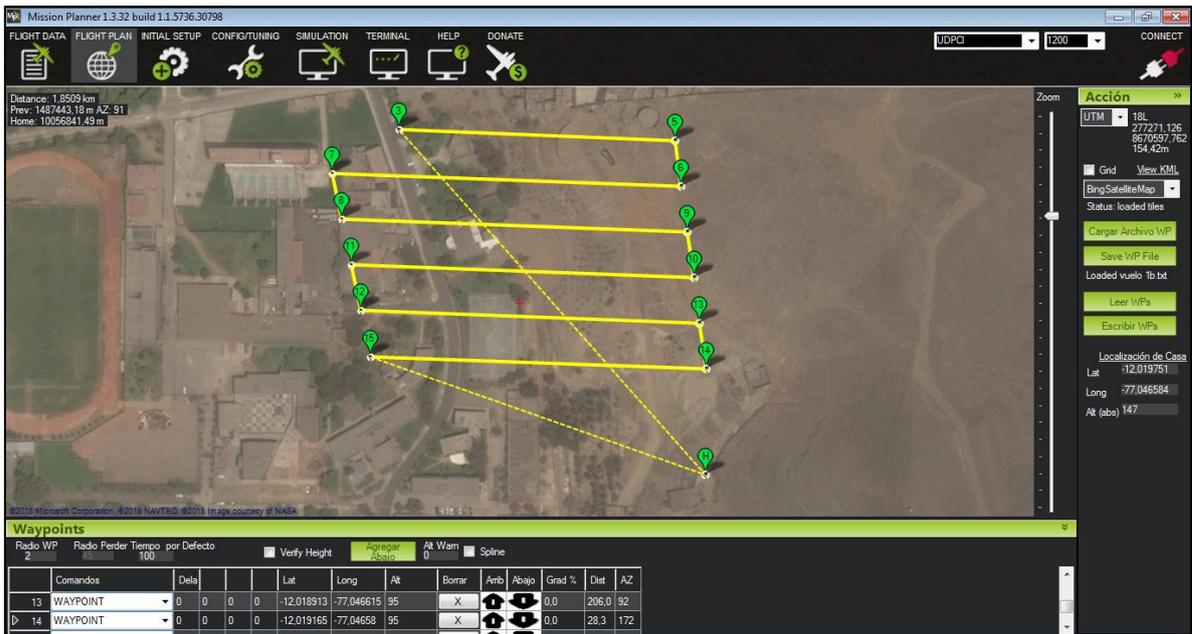
Instalación de gimbal y cámara en drone hexacoptero



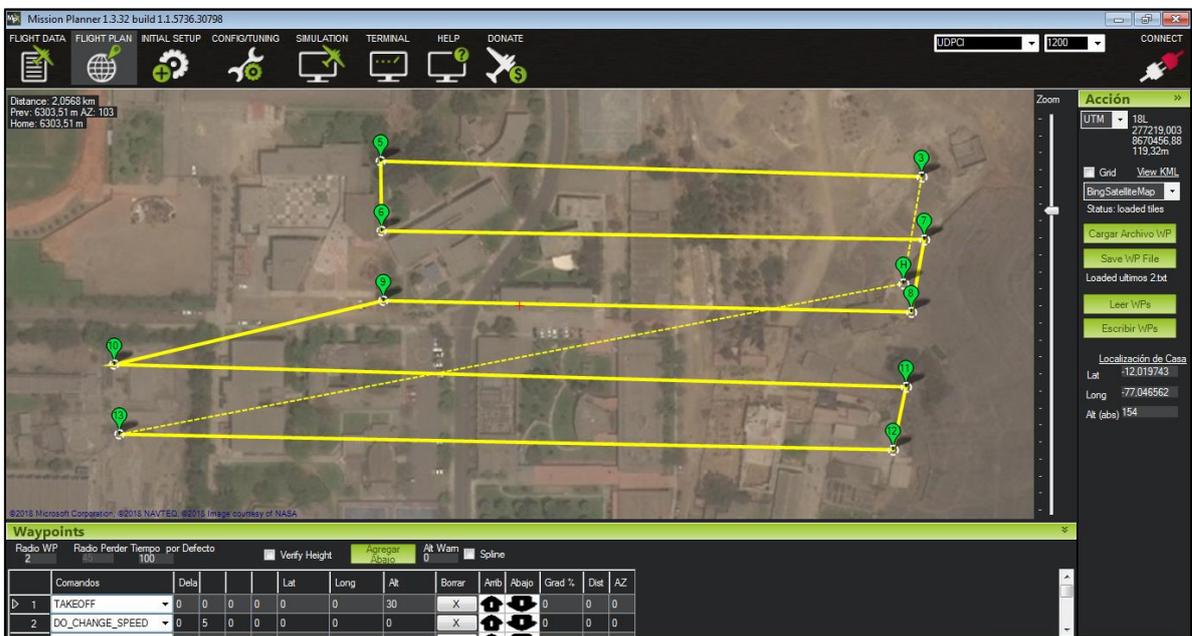
Planificación de vuelo con el software Mission Planner



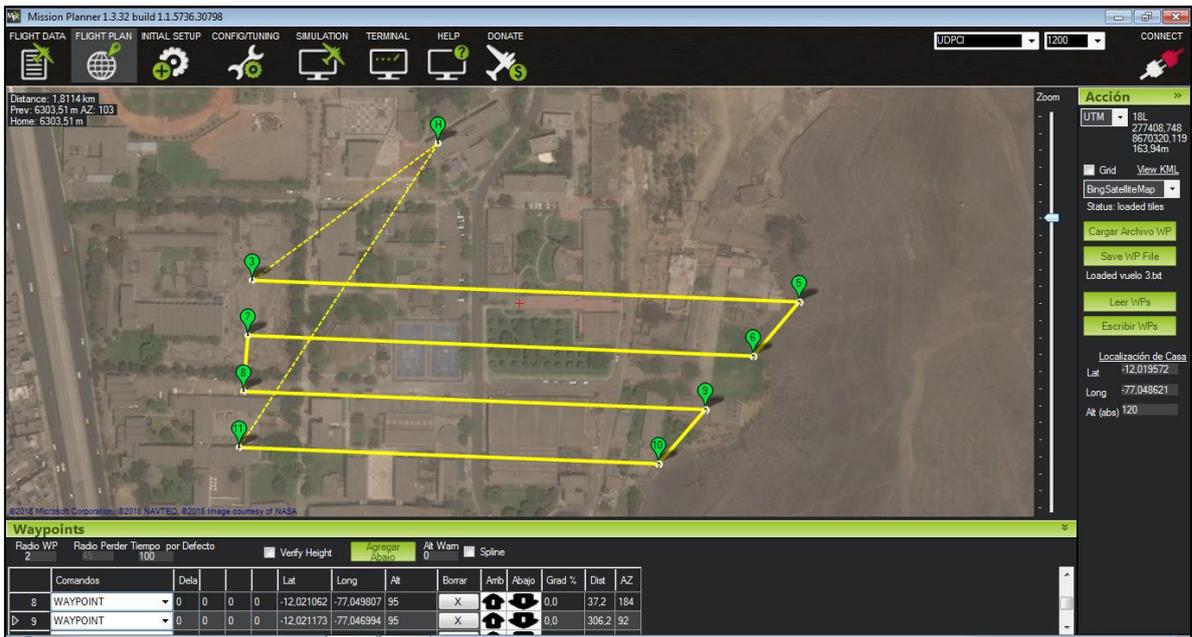
Planeación de vuelo general



Planeación de vuelo primer tramo



Planeación de vuelo segundo tramo



Planeación de vuelos tramo tres



Planeación de vuelo tramo cuatro



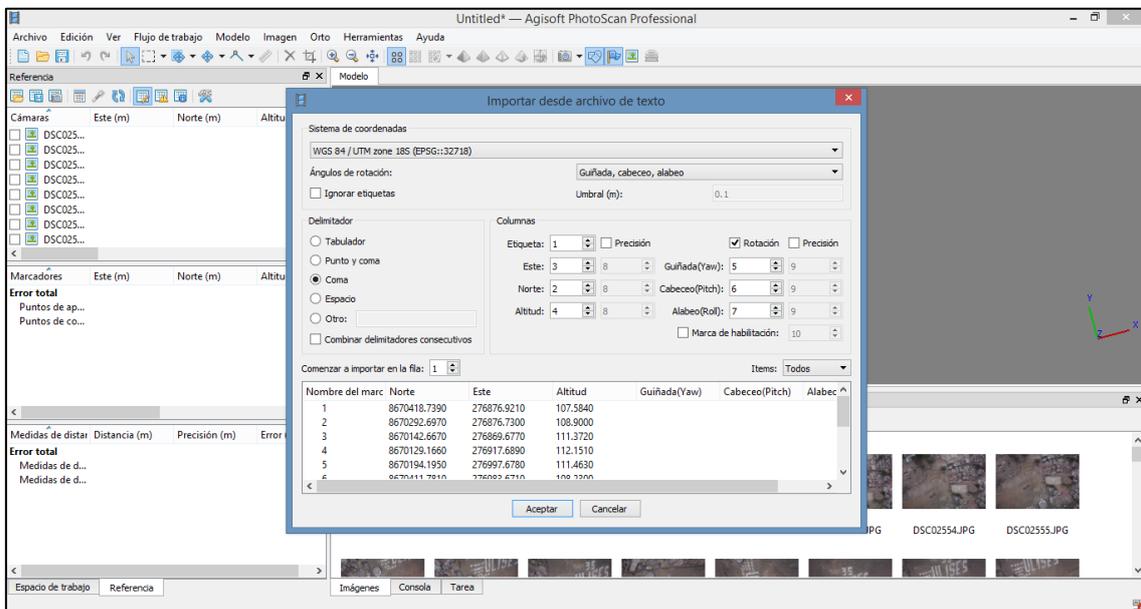
Inicio de despegue de vuelo



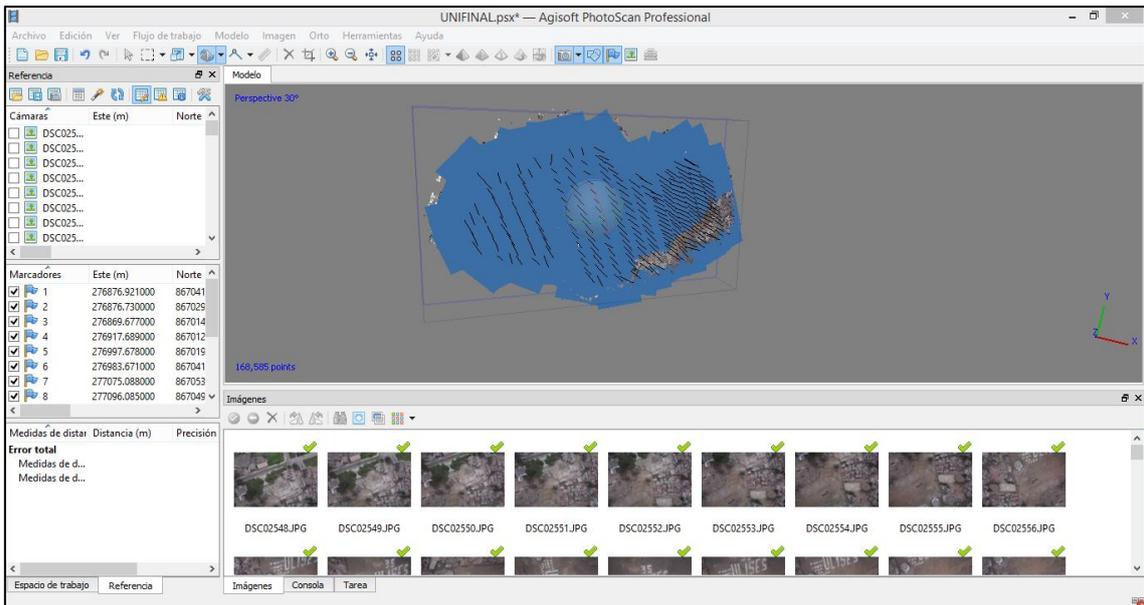
Vuelo de prueba



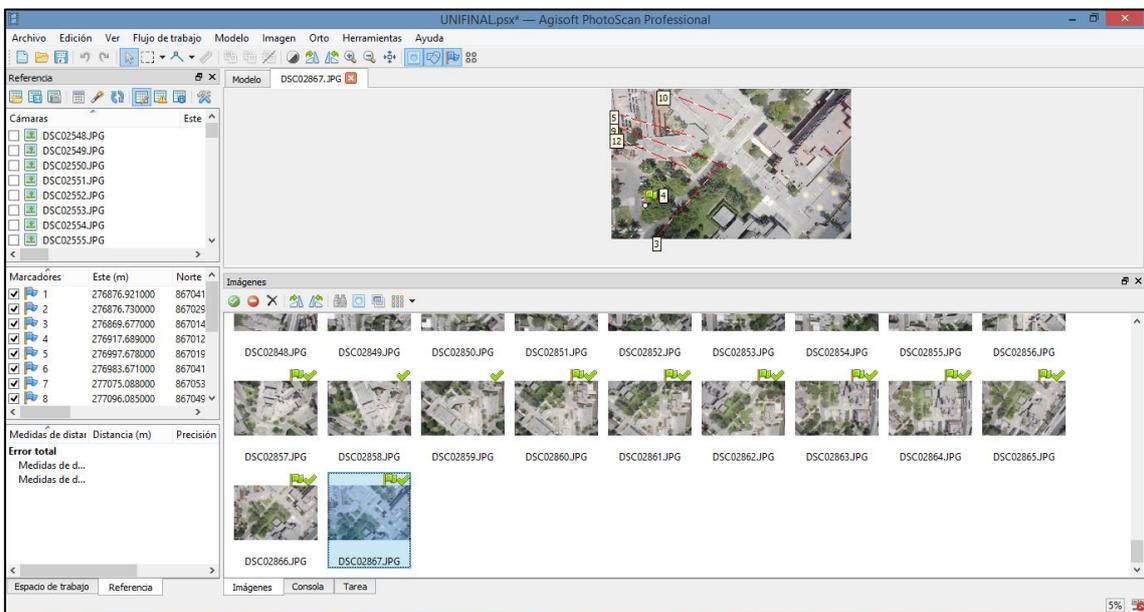
Aterrizaje de drone hexacoptero



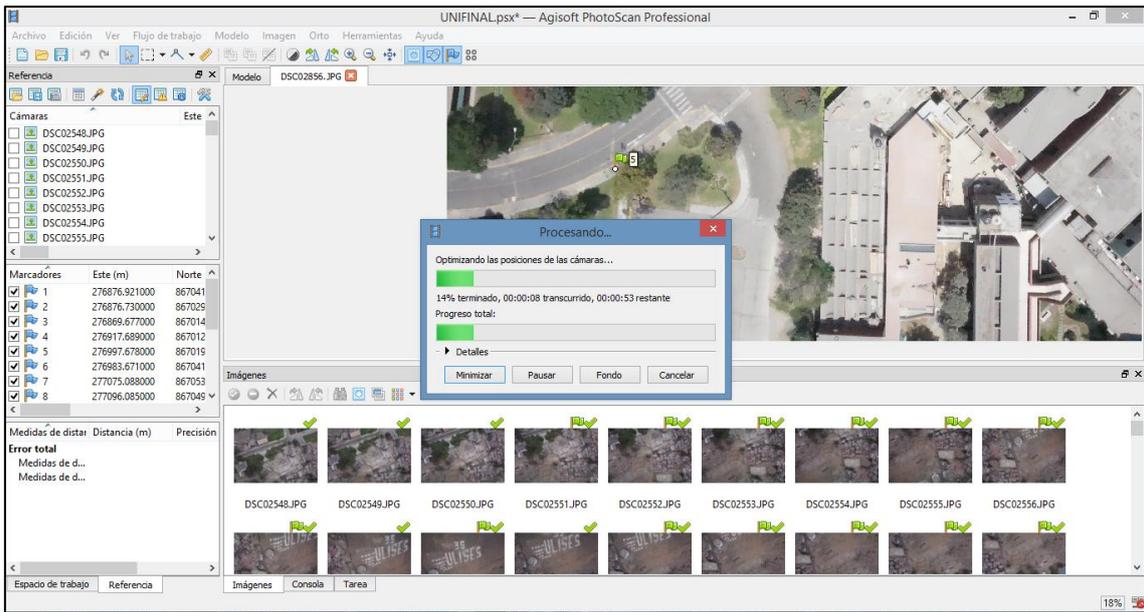
Procesamiento de imágenes con software Agisoft Photoscan, referenciación de puntos de control mediante archivo .TXT.



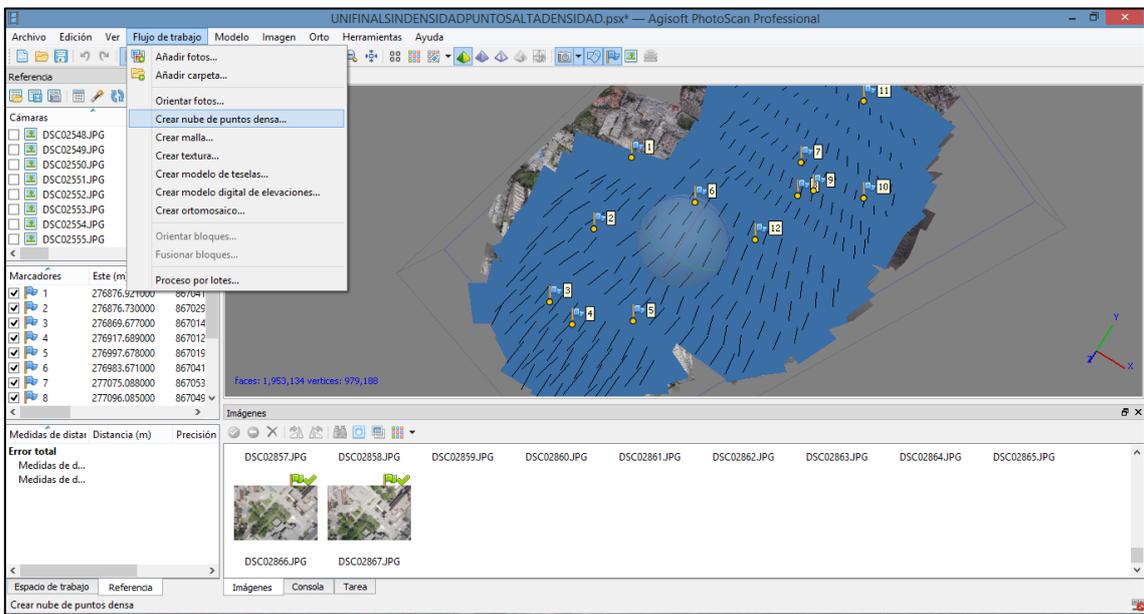
Imágenes referenciadas.



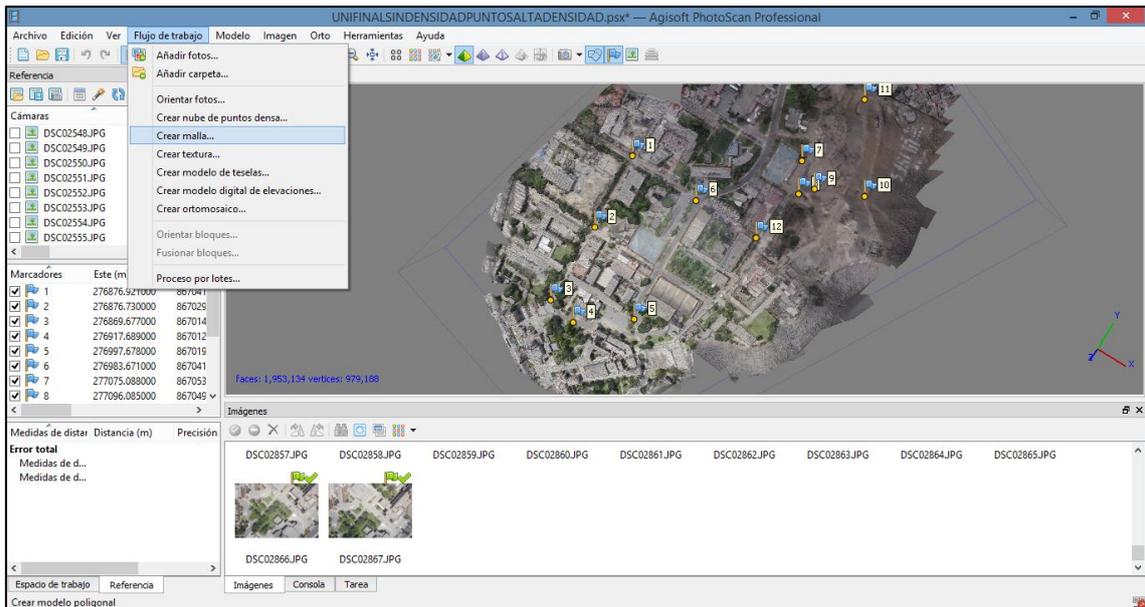
Imágenes corregidas.



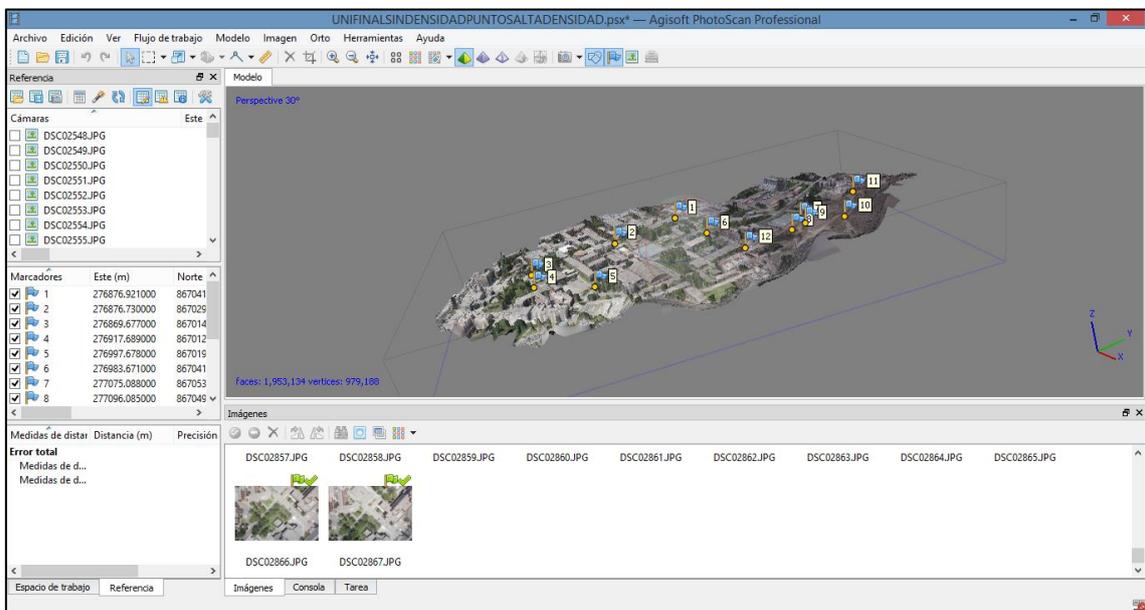
Creación de la nube de puntos



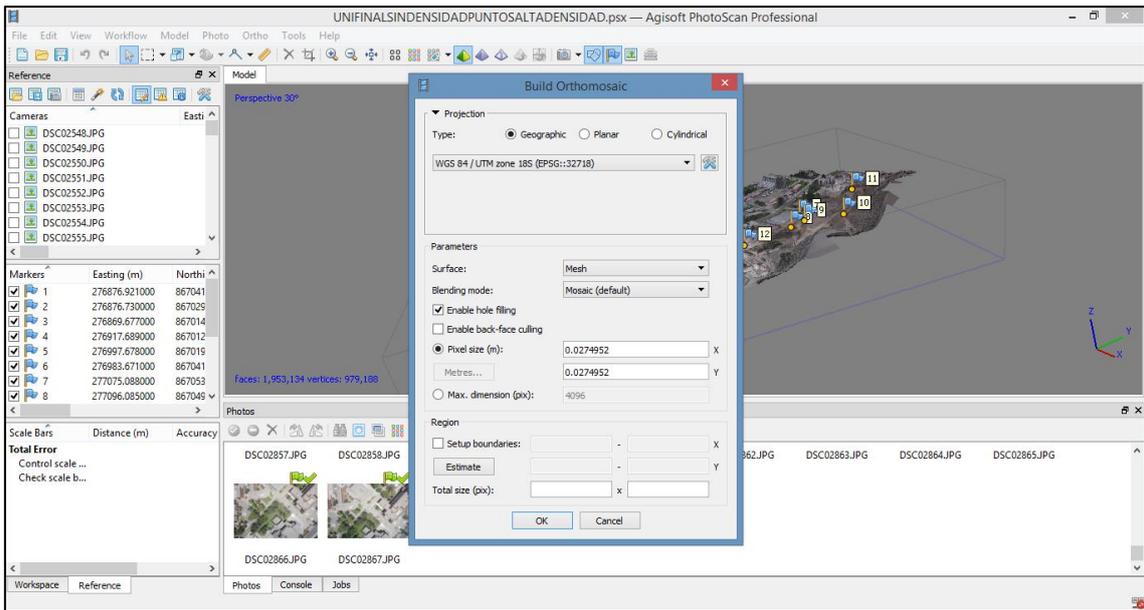
Creación de la malla



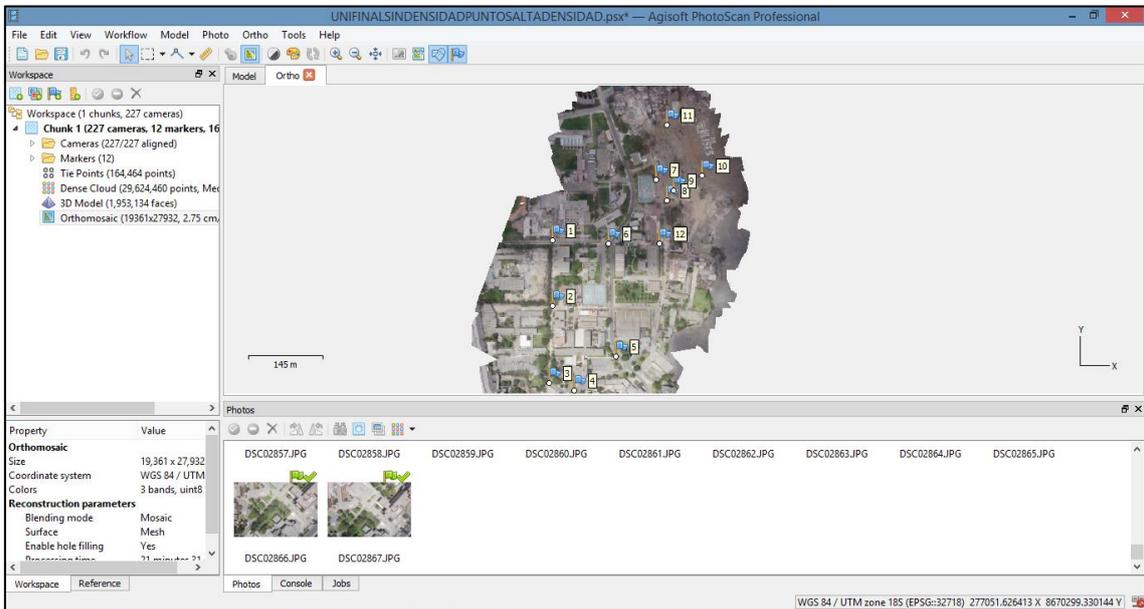
Malla terminada



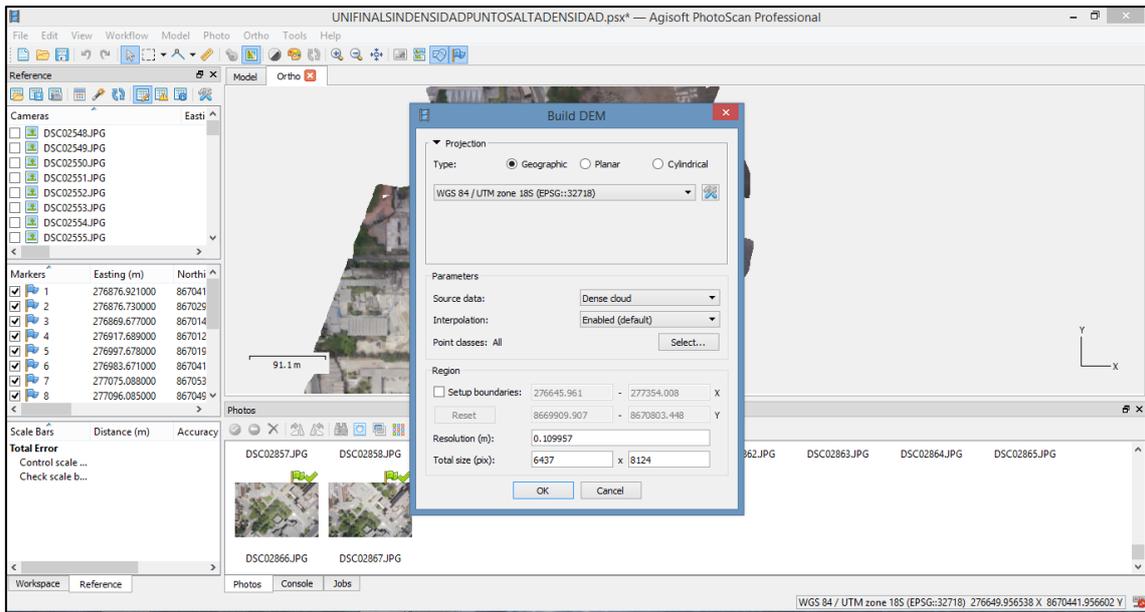
Exportación de modelos



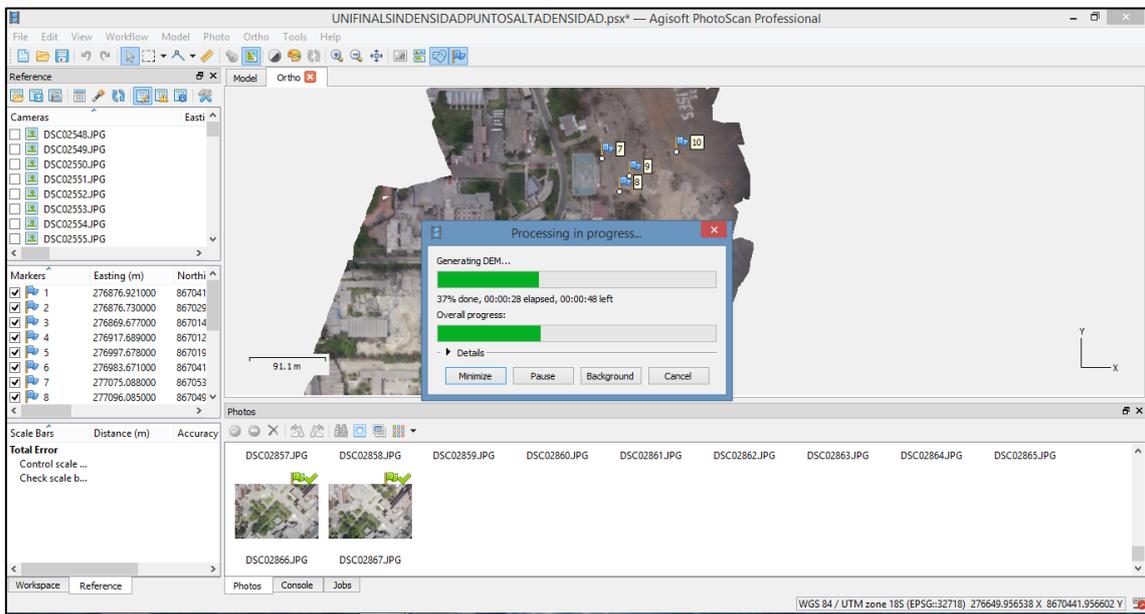
Creación del ortomosaico



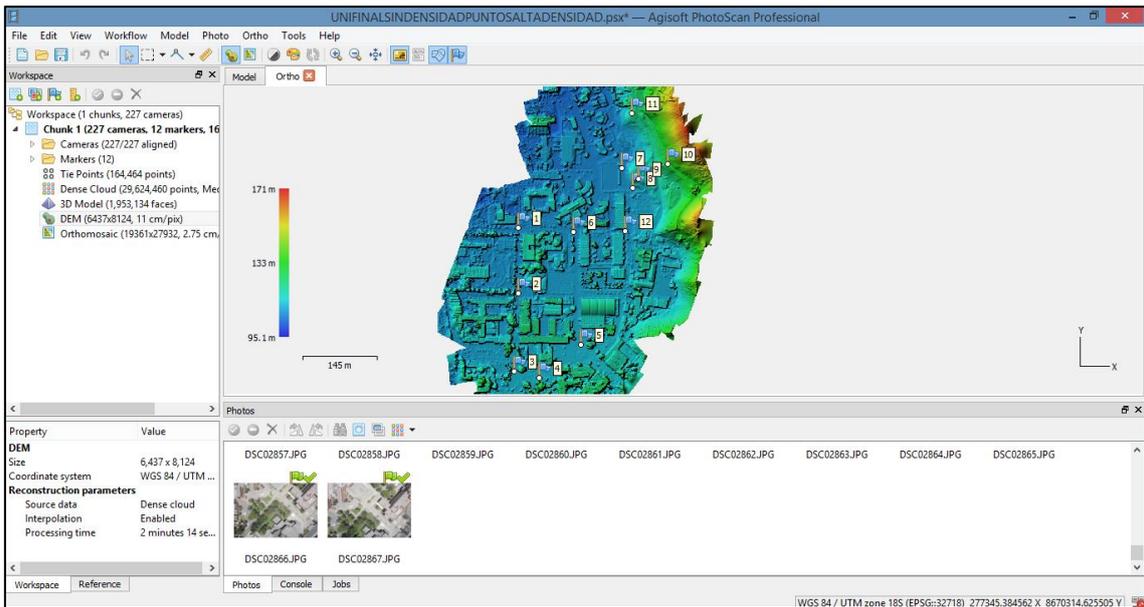
Ortomosaico creado



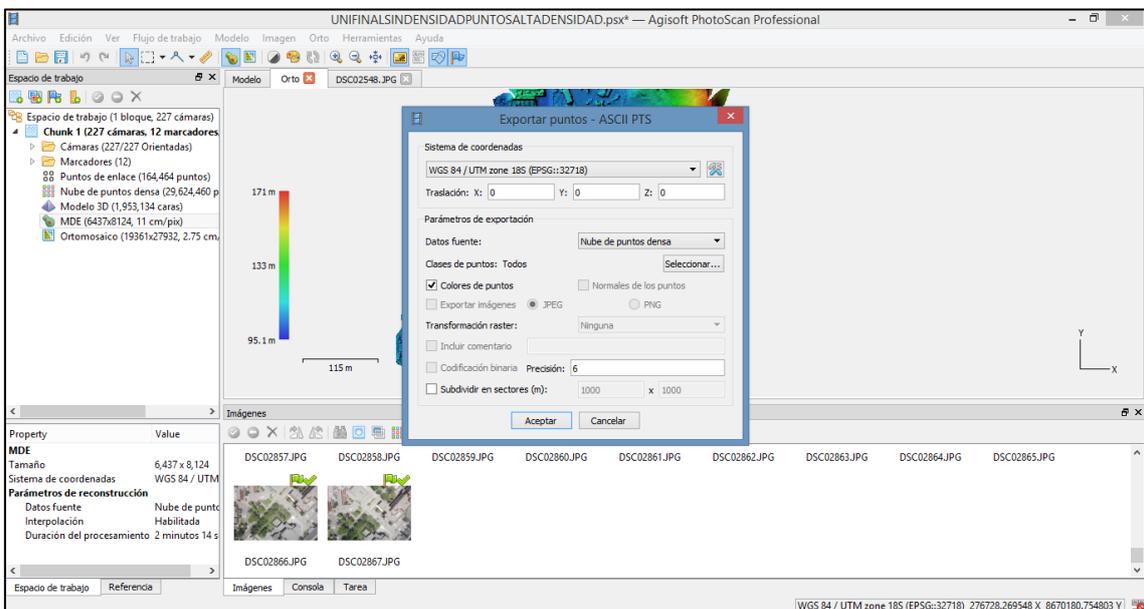
Creación del modelo digital de elevación.



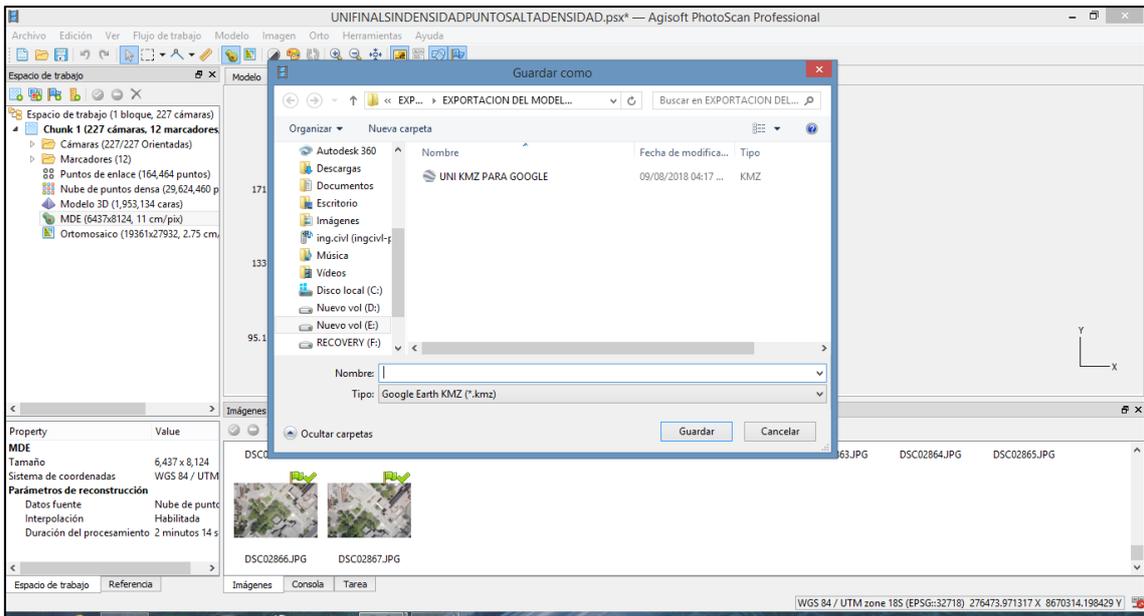
Procesamiento del modelo digital de elevación.



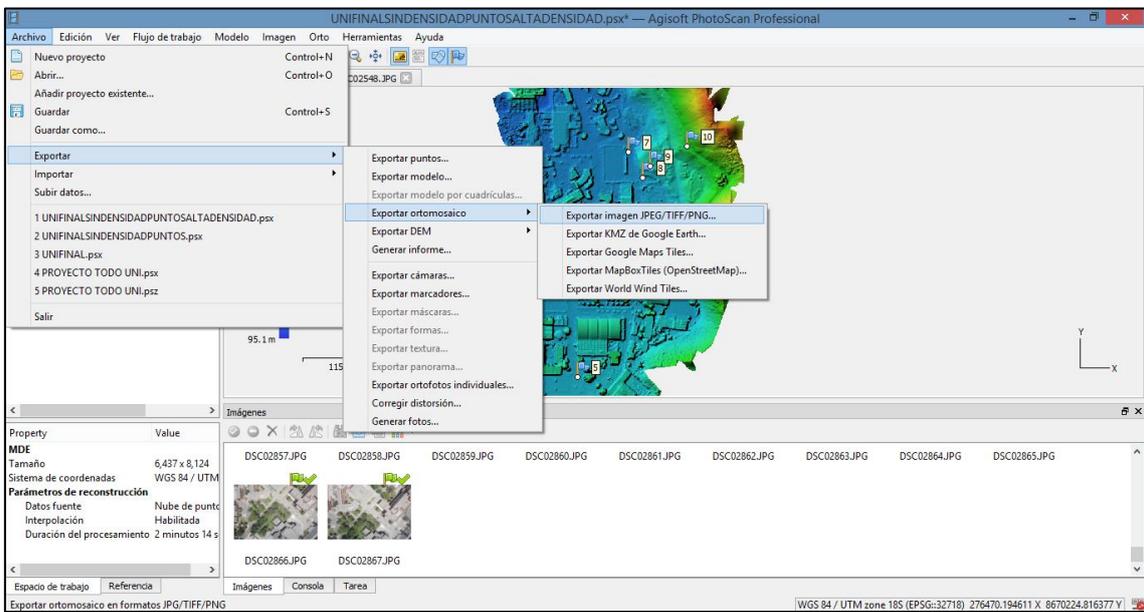
Exportación de puntos



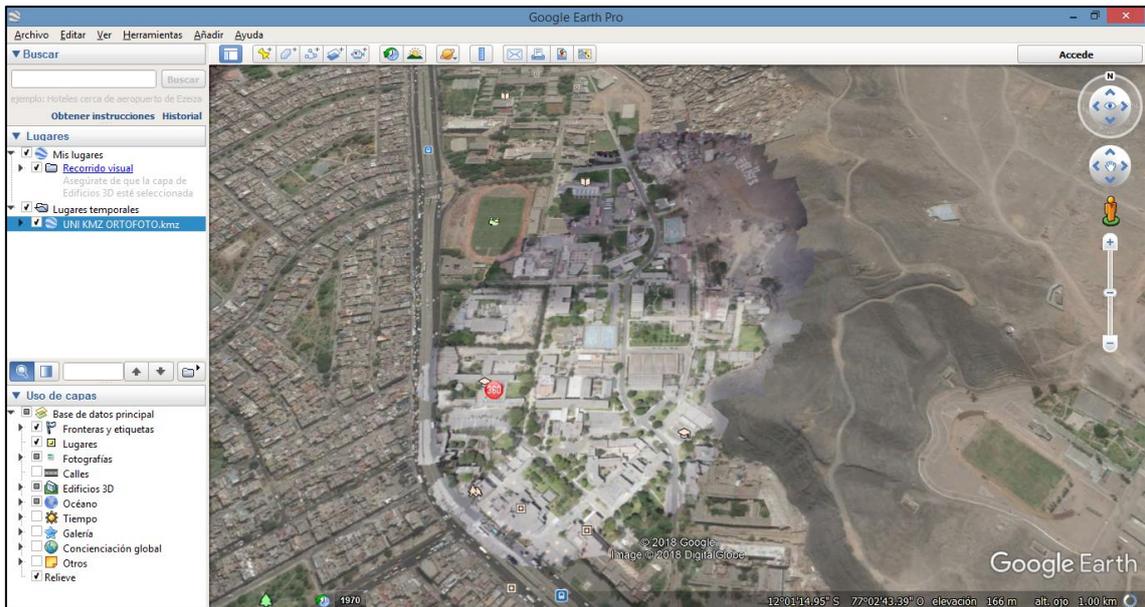
Exportación de la ortofoto



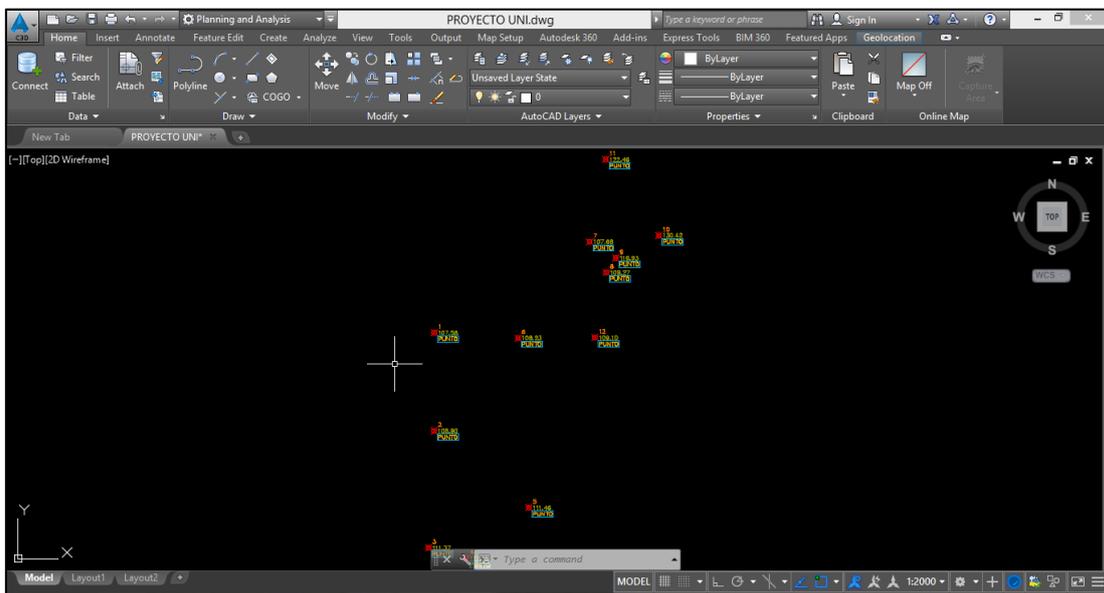
Exportación del ortomosaico



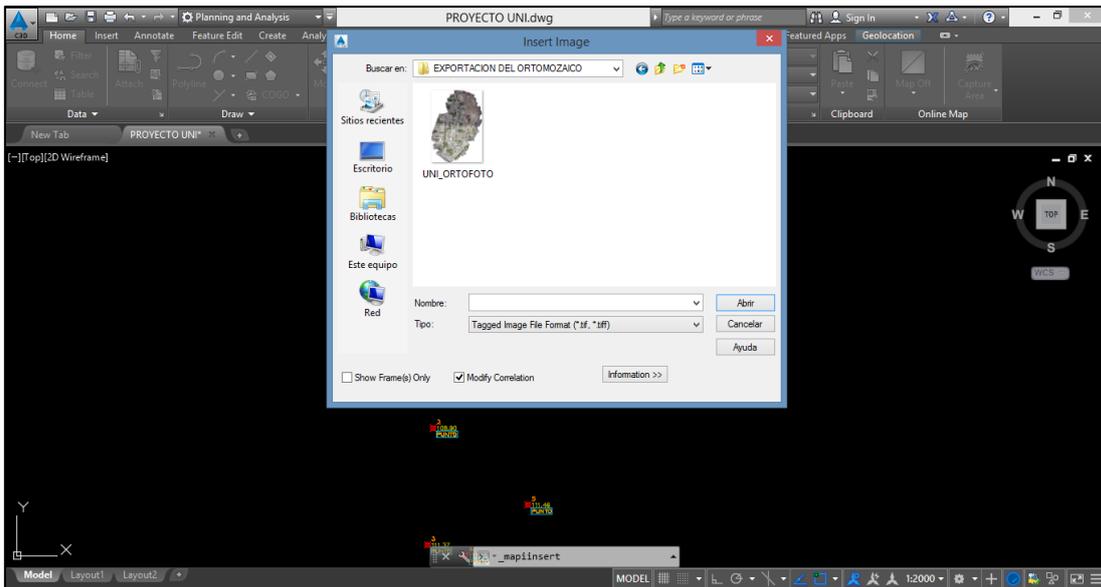
Exportación en imagen JPEG.



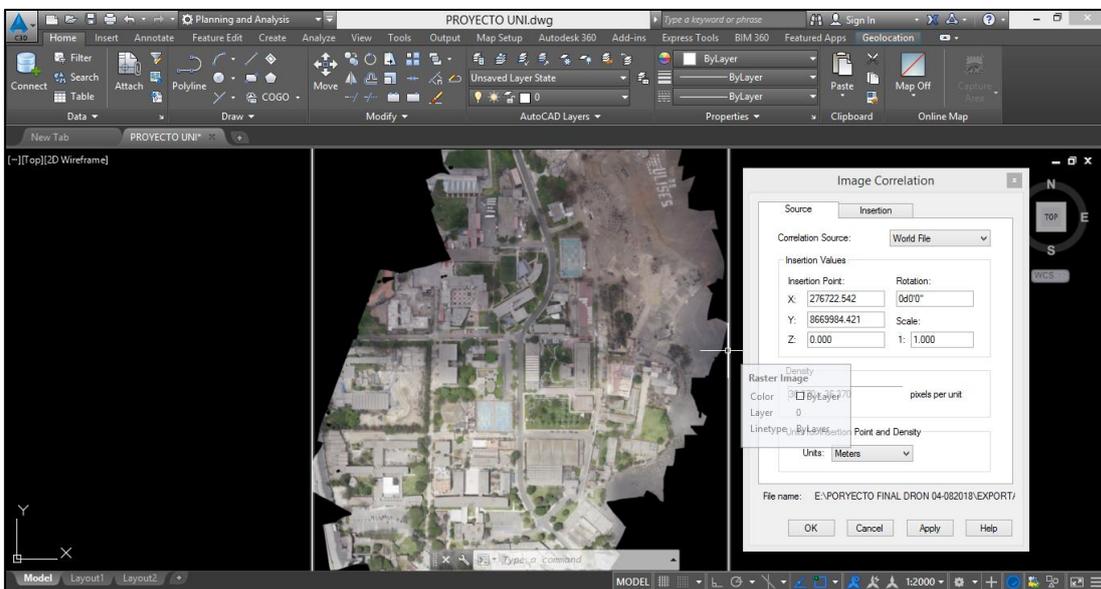
Compaginación para que vena otros usuarios normales para archivo Google Earth.



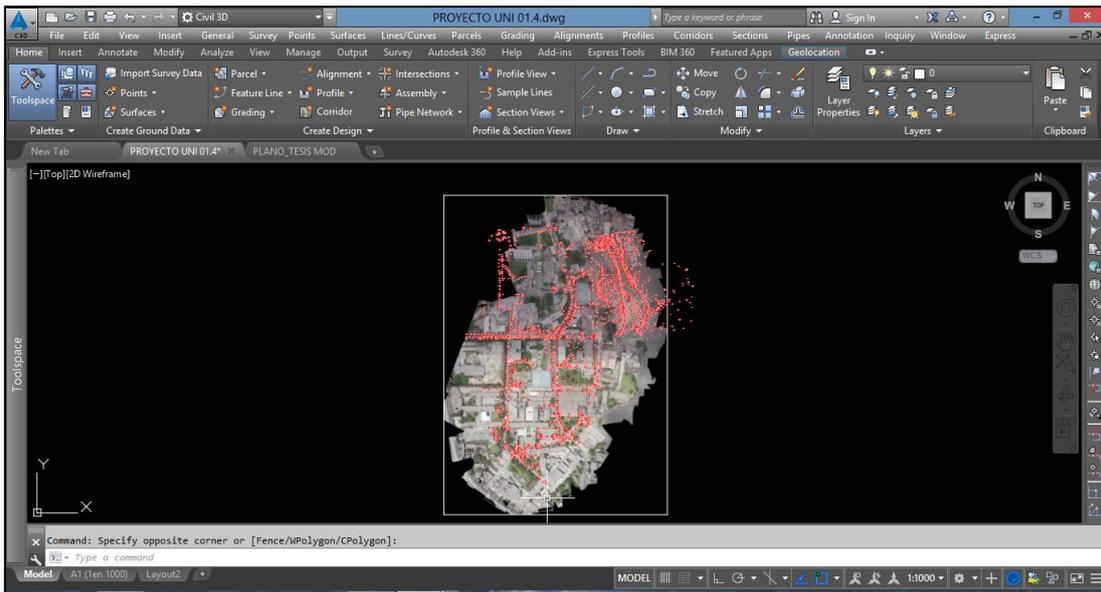
Procesamiento de ortofoto para generar los planos finales en Autocad Civil 3d 2015, puntos de control.



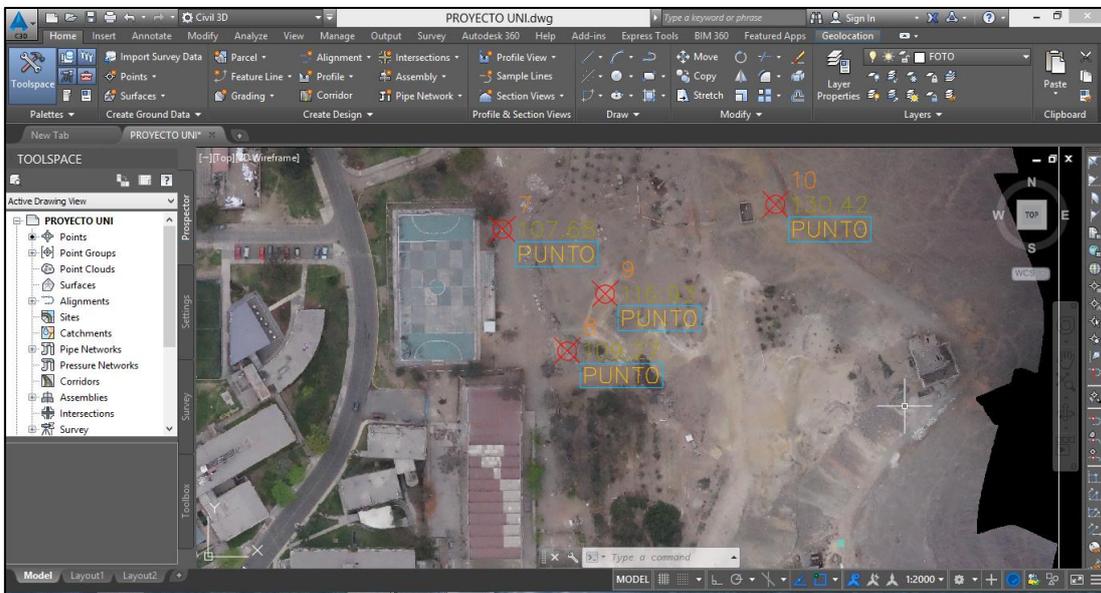
Inserción de imagen automática.



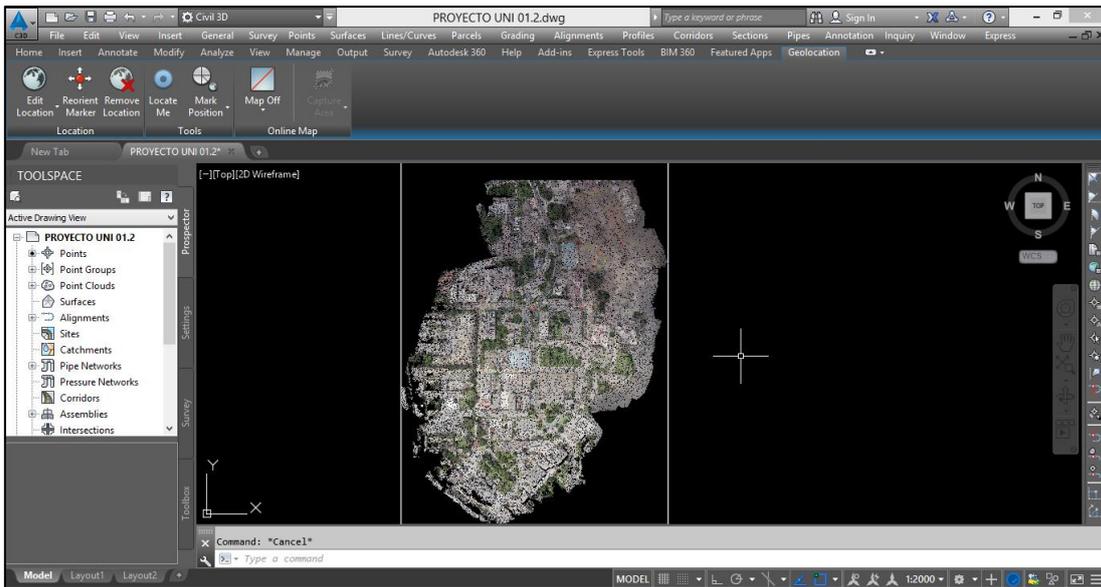
Este archivo viene acompañado de otro archivo con extensión TFW, que le da el posicionamiento.



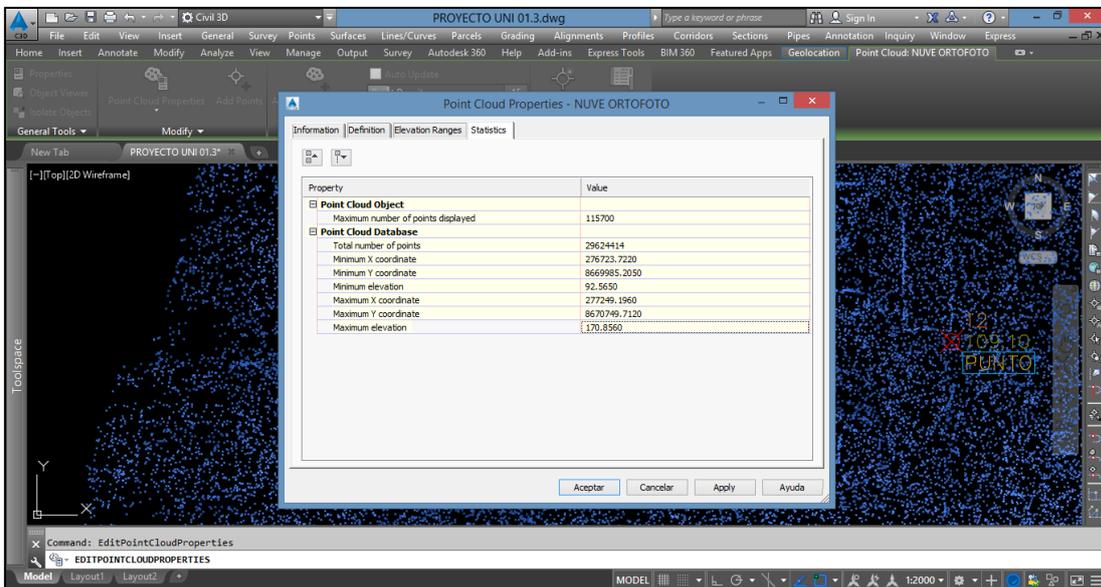
Inserción de los puntos topográficos con estación total.



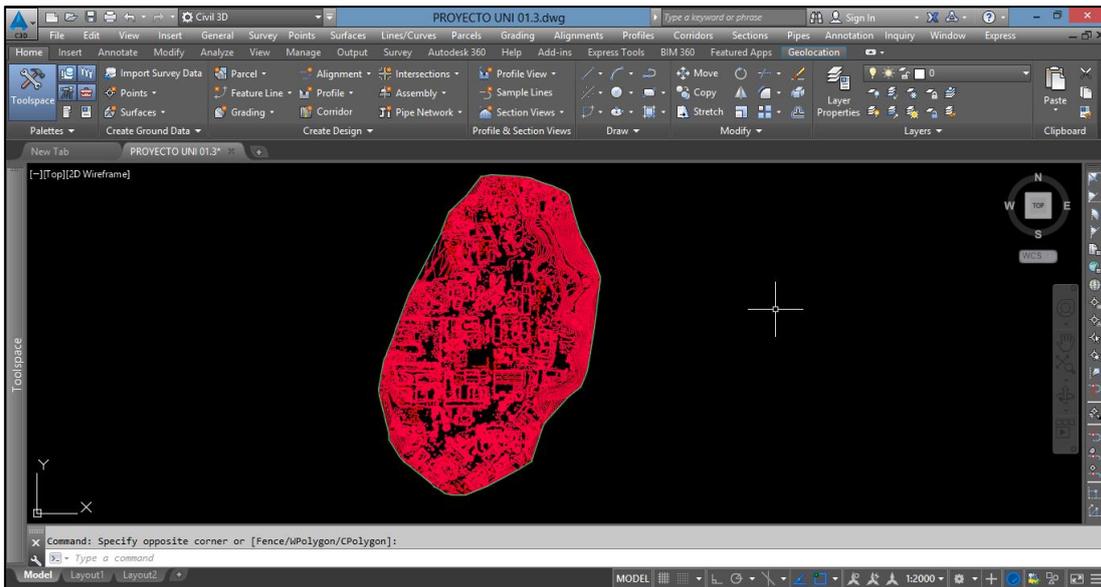
Dando formato a los puntos.



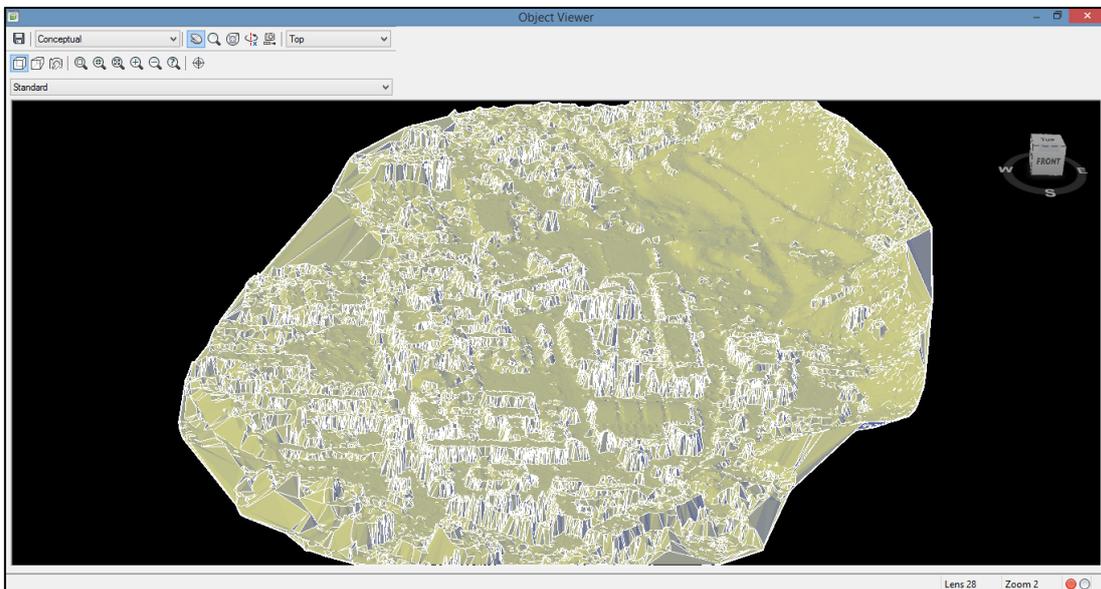
Importación de la base de datos de nube de puntos del Agisoft Photoscan



Propiedades de la base de datos de nube de puntos.



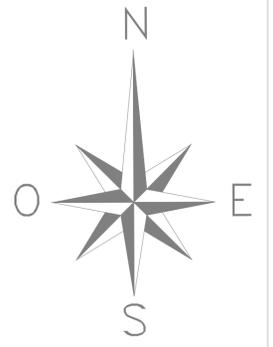
Generación de curvas de nivel.



Vista en del terreno natural con UAV 3d.

PLANOS

276600 276800 277000 277200 277400
 8670800 8670600 8670400 8670200 8670000



LEYENDA

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
BENCH MARK - PUNTO DE CONTROL	
CURVA DE NIVEL MAESTRA (5m)	
CURVA DE NIVEL INTERMEDIA (1m)	
POSTE DE ALUMB. - TRES PASTORALES	
POSTE DE ALUMB. - DOS PASTORALES	
POSTE DE ALUMB. - UN PASTORAL	
POSTE DE ALUMB. - ORNAMENTAL	
POSTE DE ALUMBRADO	
EDIFICACIÓN	
ÁREA VERDE	
CABINA DE TELÉFONO PÚBLICO	
DELIMITACIÓN CON UAV	
DELIMITACIÓN CON ESTACIÓN TOTAL	



276600
8669800

277400
8669800

CURVA DE NIVEL INDICE	
CURVA DE NIVEL INTERMEDIA	
COTA FOTOGRAMETRICA	
POSTE UNA LUMINARIA	
POSTE DOS LUMINARIAS	



SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84
 CUADRILLADO CADA 200 mts. ZONA 18 UTM
 DATUM VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR
 DATUM HORIZONTAL WGS 84

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

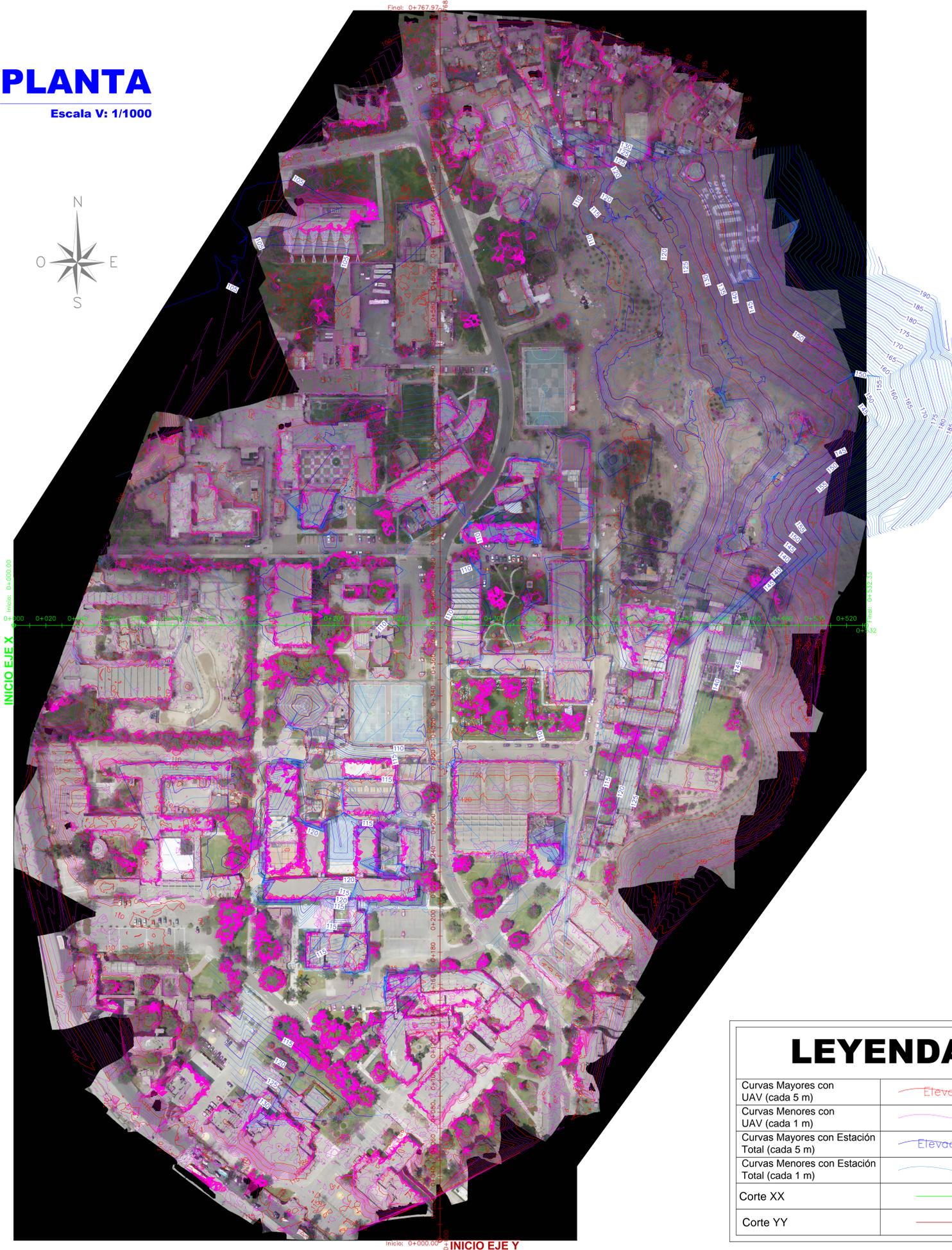


PLANO: "PLANO TOPOGRÁFICO DE DELIMITACIÓN CON UAV VS ESTACIÓN TOTAL"
AUTOR: CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FECHA: 01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA: 1/1500
LÁMINA: PT - 01



PLANTA

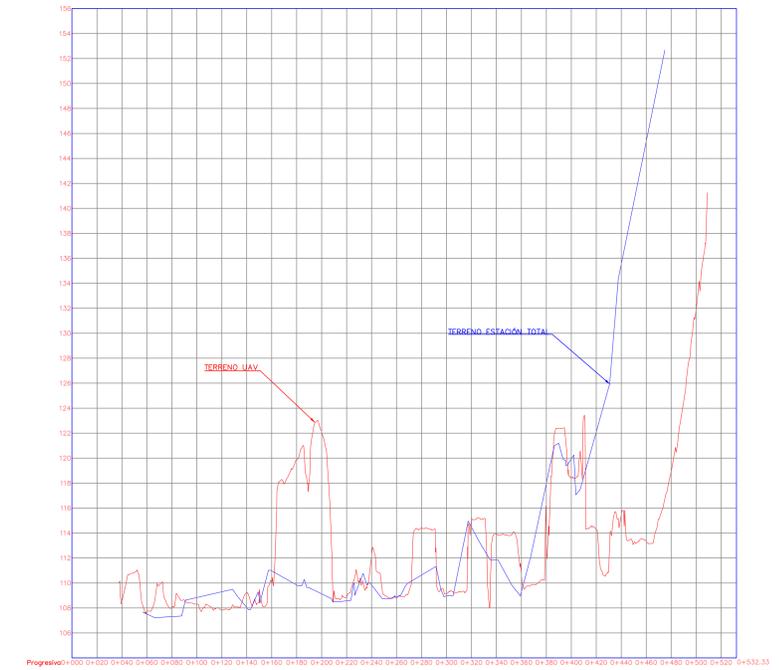
Escala V: 1/1000



PERFIL LONGITUDINAL - EJE X

Escala H: 1/2000

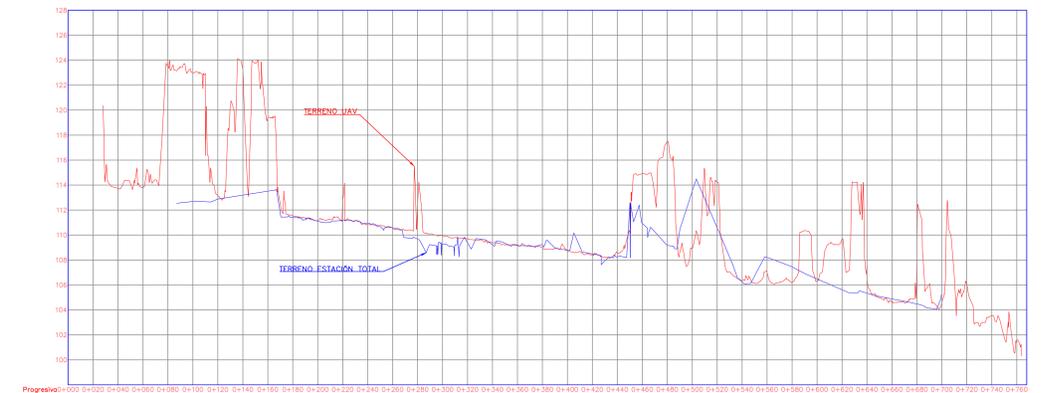
Escala V: 1/200



PERFIL LONGITUDINAL - EJE Y

Escala H: 1/2000

Escala V: 1/200



LEYENDA

Curvas Mayores con UAV (cada 5 m)		Elevación
Curvas Menores con UAV (cada 1 m)		
Curvas Mayores con Estación Total (cada 5 m)		Elevación
Curvas Menores con Estación Total (cada 1 m)		
Corte XX		
Corte YY		

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PLANO: "PLANO COMPARACIÓN DE ELEVACIONES"

AUTOR: CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE

LUGAR: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FECHA: 01 DE AGOSTO DE 2018

ESCALA: INDICADA

LÁMINA: PCE - 01





Final: 0+767.97

INICIO EJE X

0+000 0+020 0+040 0+060 0+080 0+100 0+120 0+140 0+160 0+180 0+200 0+220 0+240 0+260 0+280 0+300 0+320 0+340 0+360 0+380 0+400 0+420 0+440 0+460 0+480 0+500 0+520 0+540 0+560 0+580 0+600 0+620 0+640 0+660 0+680 0+700 0+720 0+740 0+760 0+780 0+800 0+820 0+840 0+860 0+880 0+900 0+920 0+940 0+960 0+980 0+1000

Inicio: 0+000.00

INICIO EJE Y

LEYENDA	
Curvas Mayores con UAV (cada 5 m)	
Curvas Menores con UAV (cada 1 m)	
Curvas Mayores con Estación Total (cada 5 m)	
Curvas Menores con Estación Total (cada 1 m)	
Corte XX	
Corte YY	

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PLANO:	"PLANO TERRENO NATURAL CON ESTACIÓN TOTAL"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/1000
LÁMINA:	PTN - 02





Final: 0+767.97768

Inicio: 0+000.00

Final: 0+532.33

0+000 0+020 0+040 0+060 0+080 0+100 0+120 0+140 0+160 0+180 0+200 0+220 0+240 0+260 0+280 0+300 0+320 0+340 0+360 0+380 0+400 0+420 0+440 0+460 0+480 0+500 0+520 0+532

INICIO EJE X

Inicio: 0+000.00

INICIO EJE Y

LEYENDA

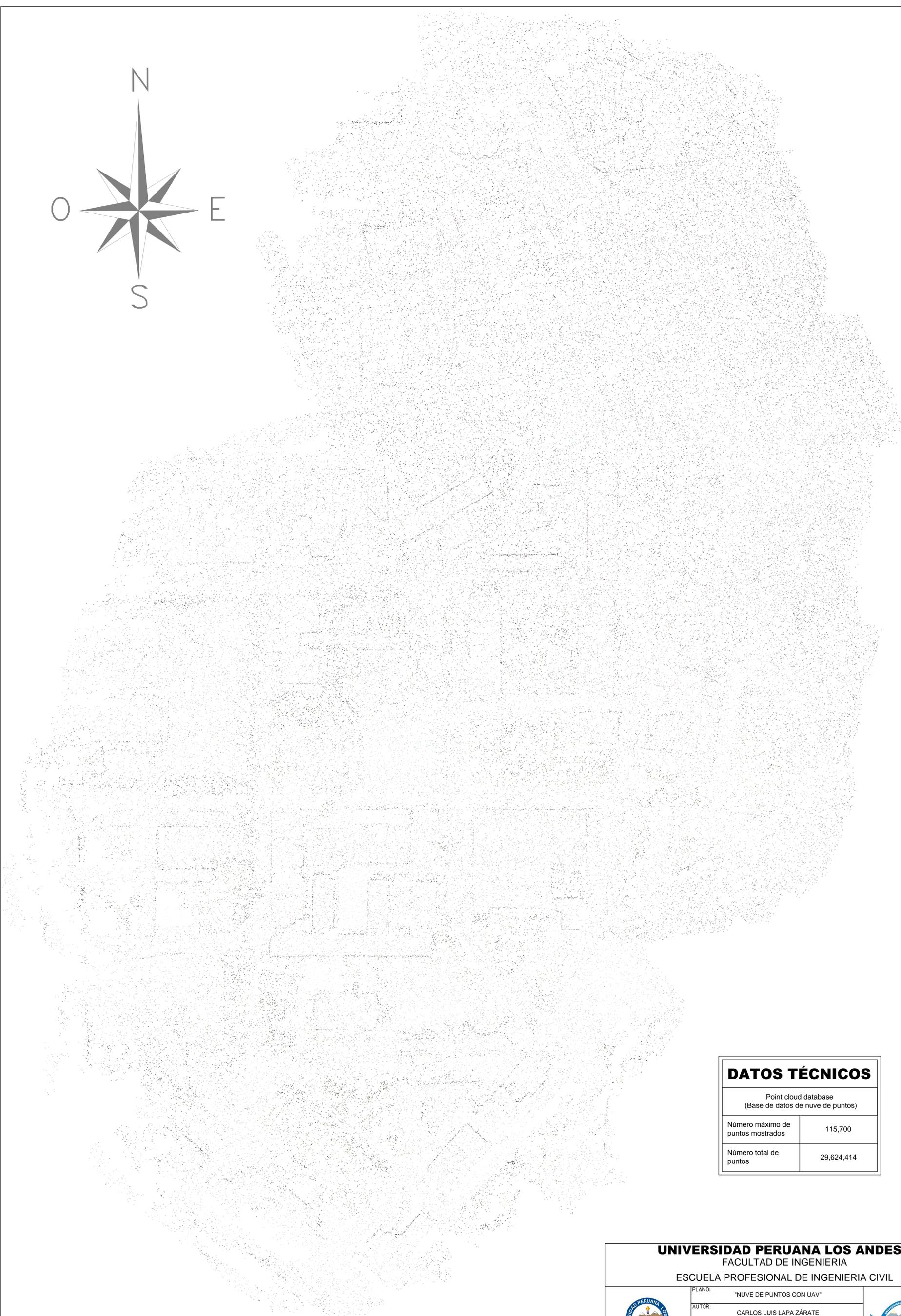
Curvas Mayores con UAV (cada 5 m)		Elevación
Curvas Menores con UAV (cada 1 m)		
Curvas Mayores con Estación Total (cada 5 m)		
Curvas Menores con Estación Total (cada 1 m)		
Corte XX		
Corte YY		

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PLANO:	"PLANO TERRENO NATURAL CON UAV"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/1000
LÁMINA:	PTN - 01



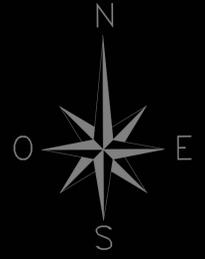
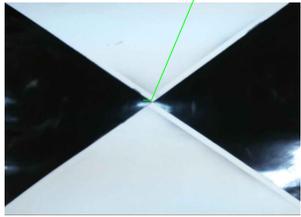
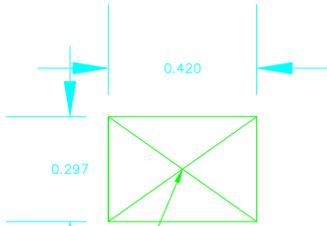


DATOS TÉCNICOS	
Point cloud database (Base de datos de nube de puntos)	
Número máximo de puntos mostrados	115,700
Número total de puntos	29,624,414

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
	PLANO: "NUVE DE PUNTOS CON UAV"
	AUTOR: CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
	LUGAR: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
	FECHA: 01 DE AGOSTO DE 2018
	ESCALA: 1/1000 LÁMINA: PNP - 01

MARCA DE PISO

ESC: 1/10



N° Pto	Nota	Este	Elevación	Descripción
1	8670418.7390	276876.9210	107.5840	PC-GPS-01
2	8670292.6970	276876.7300	108.9000	PC-GPS-02
3	8670142.6670	276868.6770	111.3720	PC-GPS-03
4	8670128.1680	276917.0980	112.1910	PC-GPS-04
5	8670104.1950	276997.6780	111.4630	PC-GPS-05
6	8670111.7810	276983.6710	108.2300	PC-GPS-06
7	8670535.3380	277075.0880	107.6820	PC-GPS-07
8	8670495.8240	277096.0850	109.2890	PC-GPS-08
9	8670514.3570	277108.3390	116.9320	PC-GPS-09
10	8670543.4200	277163.3960	130.4150	PC-GPS-10
11	8670640.9100	277095.7380	122.4590	PC-GPS-11
12	8670412.2830	277081.8760	109.1000	PC-GPS-12

N° Pto	Nota	Este	Elevación	Descripción
5451	8670640.9446	277095.6874	122.4127	PC-UAV-11
5452	8670543.3990	277163.4034	130.1749	PC-UAV-10
5453	8670535.3394	277075.0830	107.7953	PC-UAV-07
5454	8670514.3683	277108.3520	116.8559	PC-UAV-09
5455	8670495.8468	277096.0725	109.1668	PC-UAV-08
5456	8670412.2581	277081.8976	109.1988	PC-UAV-12
5457	8670411.7567	276983.6530	108.2659	PC-UAV-06
5458	8670418.8019	276876.9180	107.5719	PC-UAV-01
5459	8670292.6480	276876.6588	108.8838	PC-UAV-02
5460	8670194.1455	276997.7388	111.5340	PC-UAV-05
5461	8670129.2143	276917.6616	112.1893	PC-UAV-04
5462	8670142.2163	276869.7112	111.4046	PC-UAV-03

PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
MARCA DE PISO	

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

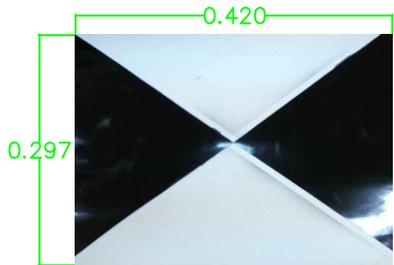


PLANO:	"PLANO PUNTOS DE CONTROL"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/1000
LÁMINA:	PC - 01

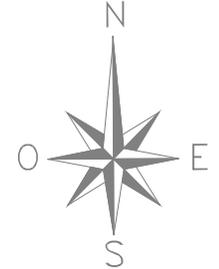


DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 01	1	8670418.739	276876.921	107.584	PC-GPS-01	5458	8670418.802	276876.918	107.5719	PC-UAV-01	-0.0628999993	0.0030000000	0.0121000000	0.0629715008



MARCA DE PISO

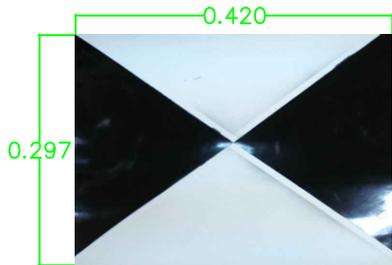


LEYENDA	
PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

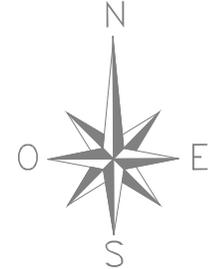
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
	PLANO: "PLANO PUNTO DE CONTROL 01 (PC - 01)" AUTOR: CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE LUGAR: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FECHA: 01 DE AGOSTO DE 2018 ESCALA: 1/200 LAMINA: PC - 02
	

DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 02	2	8670292.697	276876.73	108.9	PC-GPS-02	5459	8670292.646	276876.6586	108.8838	PC-UAV-02	0.0510000009	0.0714000000	0.0162000000	0.0877437182



MARCA DE PISO

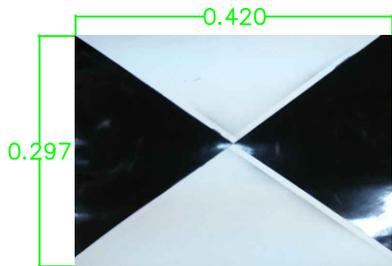


LEYENDA	
PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

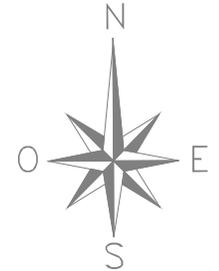
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
PLANO:	"PLANO PUNTO DE CONTROL 02 (PC - 02)"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/200
LÁMINA:	PC - 03

DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 03	3	8670142.667	276869.677	111.372	PC-GPS-03	5462	8670142.716	276869.7112	111.4046	PC-UAV-03	-0.0493000001	-0.0342000000	-0.0326000000	0.0600010834



MARCA DE PISO

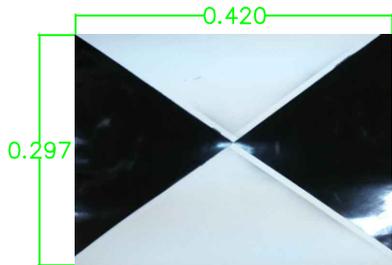


LEYENDA	
PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

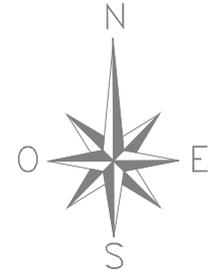
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
PLANO:	"PLANO PUNTO DE CONTROL 03 (PC - 03)"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/200
LÁMINA:	PC - 04

DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 04	4	8670129.166	276917.689	112.151	PC-GPS-04	5461	8670129.214	276917.6616	112.1693	PC-UAV-04	-0.0482999999	0.0274000000	-0.0183000000	0.0555306221



MARCA DE PISO



LEYENDA

PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

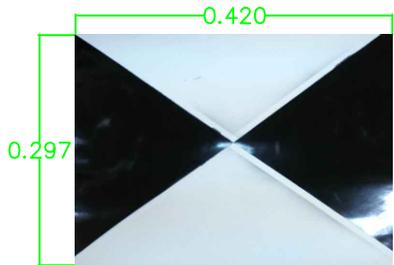


PLANO:	"PLANO PUNTO DE CONTROL 04 (PC - 04)"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/200
LÁMINA:	PC - 05

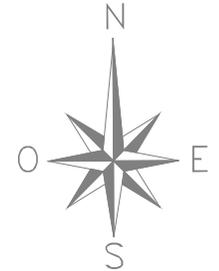


DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 05	5	8670194.195	276997.678	111.463	PC-GPS-05	5460	8670194.146	276997.7388	111.534	PC-UAV-05	0.0494999997	-0.0608000000	-0.0710000000	0.0784021044



MARCA DE PISO



LEYENDA

PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

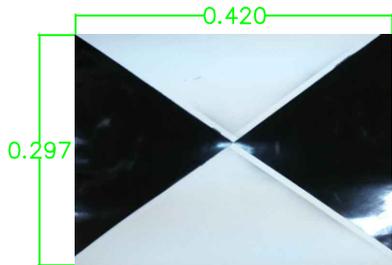


PLANO:	"PLANO PUNTO DE CONTROL 05 (PC - 05)"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/200
LÁMINA:	PC - 06

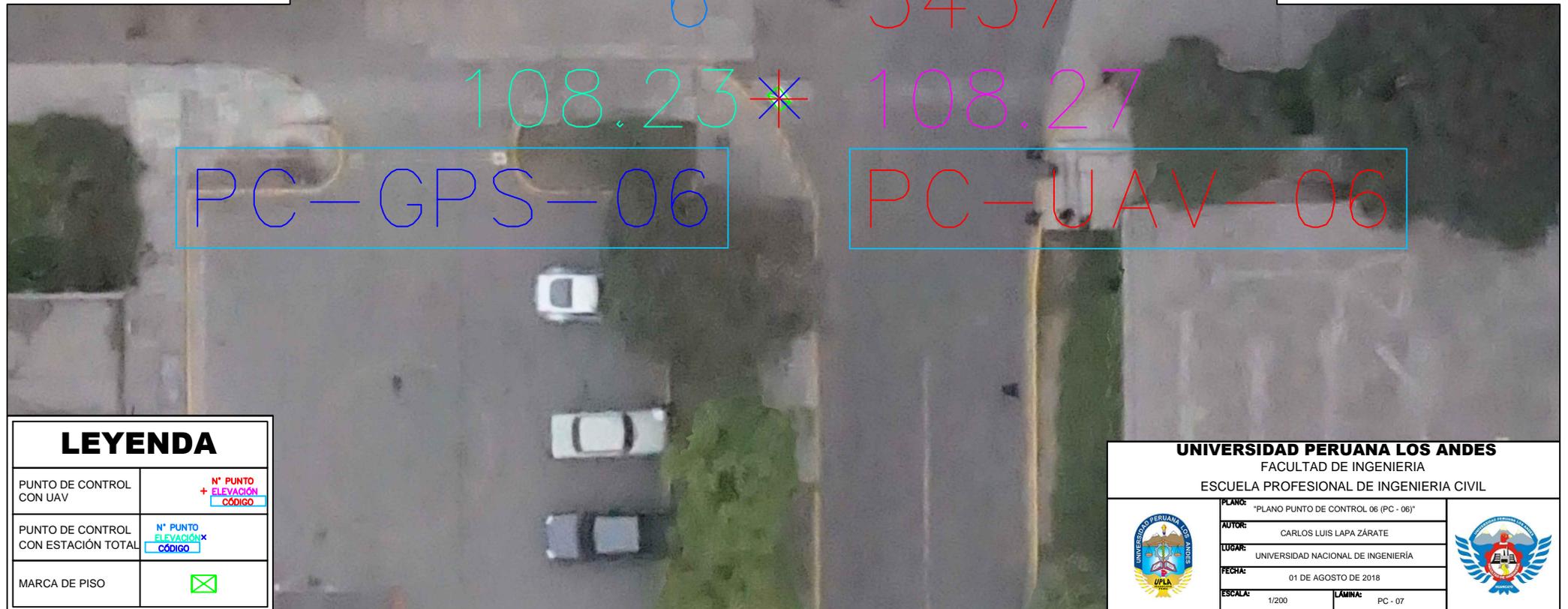
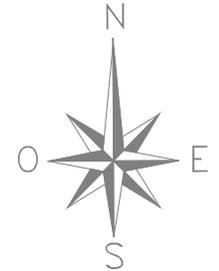


DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 06	6	8670411.781	276983.671	108.23	PC-GPS-06	5457	8670411.757	276983.653	108.2659	PC-UAV-06	0.0242999997	0.0180000000	-0.0359000000	0.0302405355



MARCA DE PISO

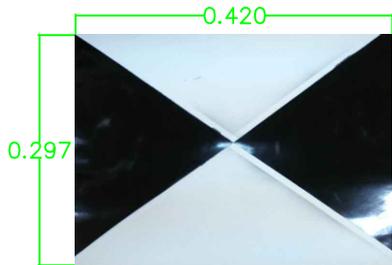


LEYENDA	
PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

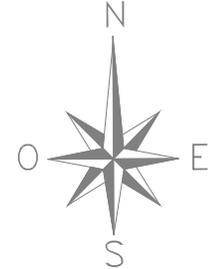
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
PLANO:	"PLANO PUNTO DE CONTROL 06 (PC - 06)"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/200
LÁMINA:	PC - 07

DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 07	7	8670535.338	277075.088	107.682	PC-GPS-07	5453	8670535.329	277075.083	107.7953	PC-UAV-07	0.0086000003	0.0050000000	-0.1133000000	0.0099478643



MARCA DE PISO

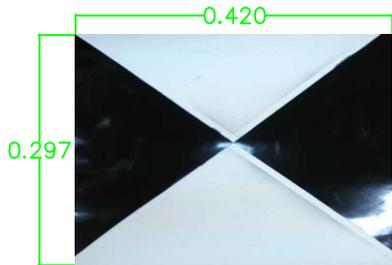


LEYENDA	
PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

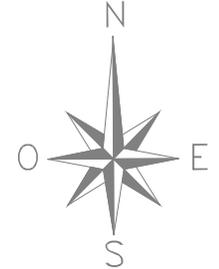
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
PLANO:	"PLANO PUNTO DE CONTROL 07 (PC - 07)"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/200
LÁMINA:	PC - 08

DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 08	8	8670495.824	277096.085	109.269	PC-GPS-08	5455	8670495.847	277096.0725	109.1668	PC-UAV-08	-0.0228000004	0.0125000000	0.1022000000	0.0260017311



MARCA DE PISO

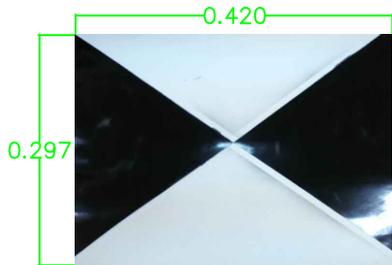


LEYENDA	
PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

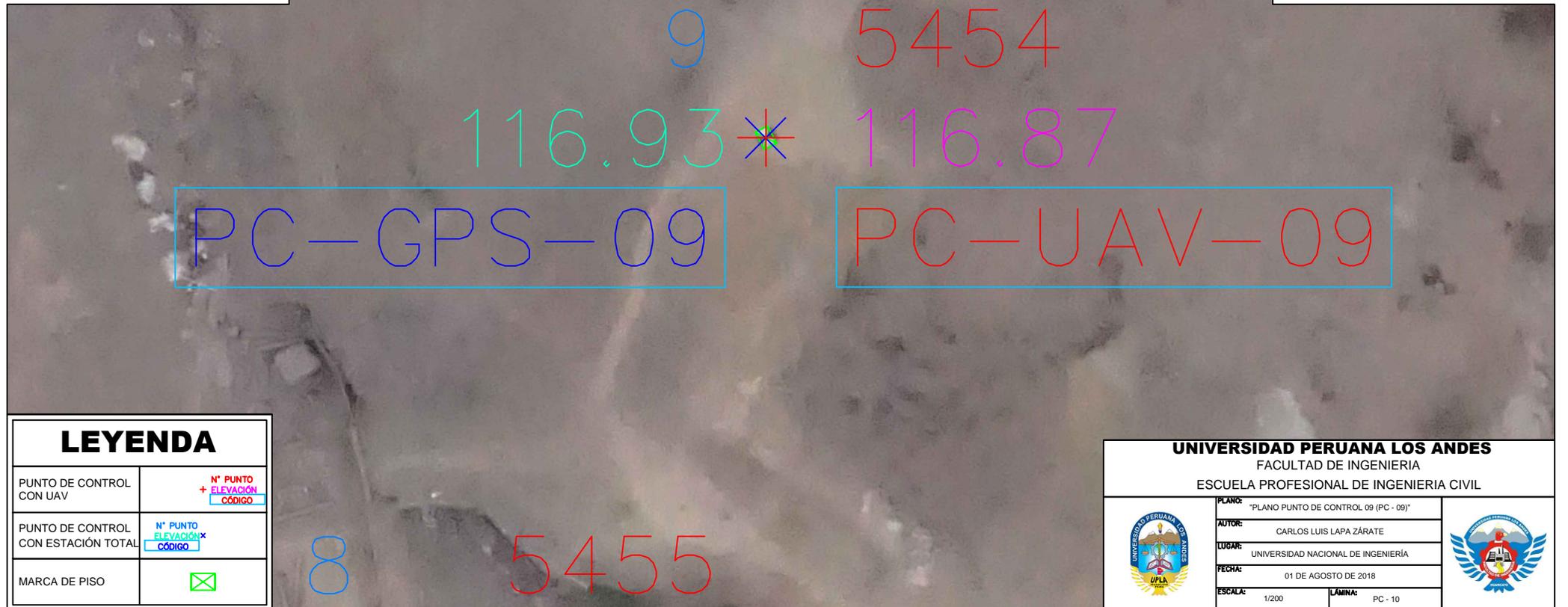
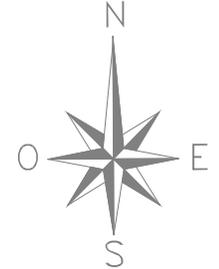
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
PLANO:	"PLANO PUNTO DE CONTROL 08 (PC - 08)"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/200
LÁMINA:	PC - 09

DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 09	9	8670514.357	277108.339	116.932	PC-GPS-09	5454	8670514.368	277108.352	116.8659	PC-UAV-09	-0.0112999994	-0.0130000000	0.0661000000	0.0172246912



MARCA DE PISO



LEYENDA

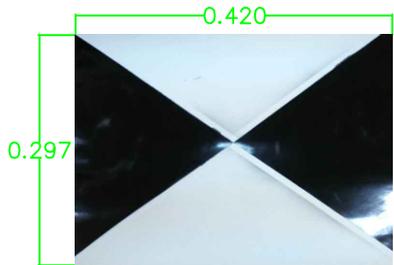
PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

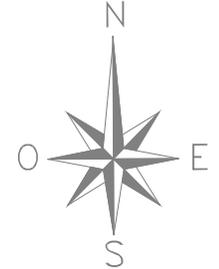
	PLANO:	"PLANO PUNTO DE CONTROL 09 (PC - 09)"	
	AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE	
	LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
	FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018	
	ESCALA:	1/200	

DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 10	10	8670543.42	277163.396	130.415	PC-GPS-10	5452	8670543.368	277163.4034	130.1749	PC-UAV-10	0.0519999992	-0.0074000000	0.2401000000	0.0525238985



MARCA DE PISO

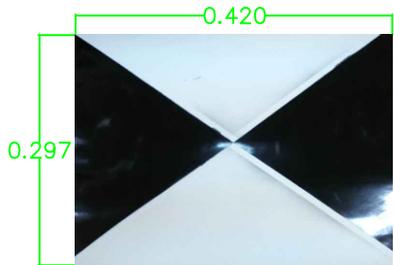


LEYENDA	
PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

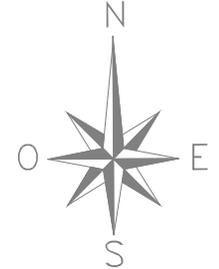
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
PLANO:	"PLANO PUNTO DE CONTROL 10 (PC - 10)"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/200
LÁMINA:	PC - 11

DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 11	11	8670640.91	277095.738	122.459	PC-GPS-11	5451	8670640.945	277095.6874	122.4127	PC-UAV-11	-0.0345999990	0.0506000000	0.0463000000	0.0612986128



MARCA DE PISO

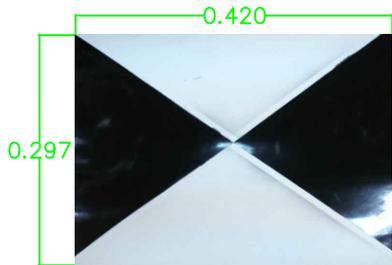


LEYENDA	
PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

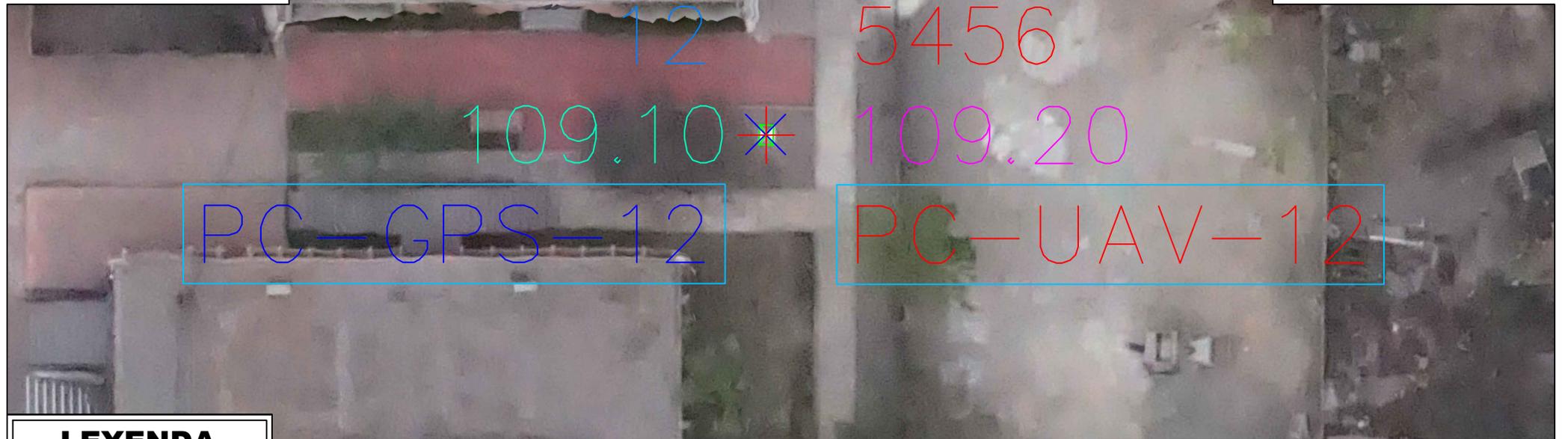
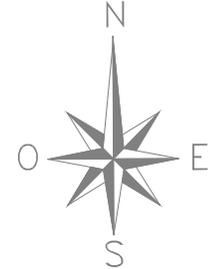
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
PLANO:	"PLANO PUNTO DE CONTROL 11 (PC - 11)"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/200
LÁMINA:	PC - 12

DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE CONTROL ENTRE GPS Y UAV

ÍTEM	PUNTOS DE CONTROL CON GPS					PUNTOS DE CONTROL CON UAV					Δ N	Δ E	Δ COTA	ERROR LINEAL
	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	N° PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN	(m)	(m)	(m)	(m)
PC - 12	12	8670412.283	277081.876	109.1	PC-GPS-12	5456	8670412.258	277081.8976	109.1988	PC-UAV-12	0.0249000005	-0.0216000000	-0.0988000000	0.0329631617



MARCA DE PISO



LEYENDA	
PUNTO DE CONTROL CON UAV	N° PUNTO + ELEVACIÓN CÓDIGO
PUNTO DE CONTROL CON ESTACIÓN TOTAL	N° PUNTO ELEVACIÓN* CÓDIGO
MARCA DE PISO	☒

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
PLANO:	"PLANO PUNTO DE CONTROL 12 (PC - 12)"
AUTOR:	CARLOS LUIS LAPA ZÁRATE
LUGAR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FECHA:	01 DE AGOSTO DE 2018
ESCALA:	1/200
LÁMINA:	PC - 13