

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS
TOPOGRÁFICOS CON ESTACIÓN TOTAL COMO
MÉTODO DIRECTO Y EL USO DE DRONES Y GPS COMO
MÉTODOS INDIRECTOS.**

PRESENTADO POR:

JIMENEZ CALERO, NELY MARGARITA

MAGAÑA MONGE, ALEXIS OSWALDO

SORIANO MELGAR, EDUARDO

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIA GENERAL:

MSc. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS
TOPOGRÁFICOS CON ESTACIÓN TOTAL COMO
MÉTODO DIRECTO Y EL USO DE DRONES Y GPS COMO
MÉTODOS INDIRECTOS.**

Presentado por:

JIMENEZ CALERO, NELY MARGARITA

MAGAÑA MONGE, ALEXIS OSWALDO

SORIANO MELGAR, EDUARDO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores:

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

ING. JOSE ALEXANDER, CHÁVEZ H.

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

SAN SALVADOR, MARZO DE 2019

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores:

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

ING. JOSE ALEXANDER, CHÁVEZ H.

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

AGRADECIMIENTOS

De manera especial queremos agradecer a nuestros asesores, quienes compartieron parte de su tiempo en el desarrollo de nuestro trabajo de graduación “para enseñarnos y ayudarnos” en todo este proceso, haciendo posible culminar el último paso de algo que empezó hace varios años, así logrando alcanzar una de todas las metas que nos hemos planteado en nuestras vidas.

Por todo su apoyo incondicional gracias: Ing. Jorge Oswaldo Rivera Flores, por su ayuda en nuestro trabajo de investigación, empezado desde la selección del tema de la misma. Al Ing. Wilfredo Amaya Zelaya, quien nos brindó parte de sus conocimientos para la realización de levantamientos topográficos, empezando desde el uso del equipo, además por prestarnos su equipo para llevar acabo nuestro trabajo de graduación, sin el cual no hubiera sido posible realizar. Al Ing. José Alexander Chávez Hernández, por ayudarnos a desarrollar una nueva tecnología para realizar levantamientos topográficos, como lo es el uso del Dron.

Así también agradecer a nuestro jurado calificador Ing. Mauricio Ernesto Valencia e Ing. Oscar Amílcar Portillo Portillo, por estar a la disposición de colaborar con el desarrollo del trabajo de graduación.

Muchas gracias a todos ustedes.

DEDICATORIA

A **Dios**, por ser el guía espiritual de mi vida, por protegerme durante el largo camino recorrido, por brindarme sabiduría y ayudarme a levantarme en los momentos difíciles y por todas las bendiciones que derrama sobre mi cada día.

A mis padres, **Blanca Calero** y **Venancio Jiménez**, por su apoyo incondicional, por todos sus consejos, por siempre estar, por confiar en mí y darme la oportunidad de realizarme profesionalmente.

A mis hermanos, **Zulma Jiménez**, **Dagoberto Jiménez** y **Doris Jiménez** (la princesa de la familia) y mi sobrino hermoso, **Derick Jiménez**.

A mis abuelos, **Celestino Sigüenza**, **Fernanda Martínez** y **Toribio López**, por sus consejos y oraciones.

A mi cuñado, **Carlos García**, por brindarme su apoyo en momentos difíciles de a lo largo de mi carrera.

A mis compañeros de tesis, **Eduardo Soriano** y **Alexis Magaña**, por su apoyo y compañía, y a todos mis amigos por todas las experiencias vividas durante mi carrera.

Nely Margarita Jiménez Calero

DEDICATORIA

Le dedico esto gran logro en mi vida principalmente al forjador de mi camino, al **Creador**, por poner en marcha los mecanismos que darían como consecuencia en mi persona la superación profesional y el deseo por seguir avanzando y superándome cada vez más, así también le agradezco por poner en mi vida a tantas personas que me han servido de inspiración y apoyo.

A mi padre: **Yuli Oswaldo Magaña Linares** y mi madre: **Gloria Ana Monge de Magaña**, por haberme enseñado tanto sobre la vida, ser mis guías y la principal influencia sobre la persona en la que me he convertido, les agradezco por todos los sacrificios que han pasado para poder verme superar esta meta y en especial por su amor.

A mis hermanos **Mayrene Giselle Magaña Monge** y **Marlon Raúl Magaña Monge**, por siempre estar a mi lado y ser tan importantes en mi vida, gracias totales.

A mi abuelita **Alicia Magaña** por darme siempre sus bendiciones, a mis demás abuelos que, aunque ya no se encuentren con nosotros físicamente, siempre estarán presente en mi corazón **Matilde Linares**, **María del Carmen** e **Isabel Monge**.

A mis tíos y primos, por siempre creer en mí y apoyarme siempre.

A mi compañera de tesis y mejor amiga **Nely Margarita Jiménez Calero** con quien he compartido los momentos más importantes en el desarrollo de mi carrera, por ser una parte muy preciosa de mi vida y darme tantas alegrías.

A mi compañero de tesis **Eduardo Soriano Melgar** por cada uno de los momentos que hemos vivido en este recorrido para convertirnos en Ingenieros Civiles.

A **Carlos García** y **Zulma Jiménez** por brindarme su ayuda en una época muy difícil de mi vida.

Alexis Oswaldo Magaña Monge

DEDICATORIA

Por este logro alcanzado y por muchas bendiciones más que han llegado a mi vida en primer lugar agradecerle a mi **Padre Celestial** ya que me ha permitido llegar hasta aquí, culminando una meta que me planteé desde que tengo uso de razón ya que desde niño quise ser Ingeniero.

Agradezco infinitamente a mis padres: **Juan Soriano Deras y Marta Alicia Melgar de Soriano**, quienes me han apoyado en toda mi vida y nunca dejaron de creer en mí, me siento feliz porque no los defraude, nunca les terminaré de agradecer, sólo me queda demostrarles que todo ese esfuerzo y sacrificio que invirtieron en mi ha valido la pena. También agradecer a cada uno de mis hermanos que siempre han estado ahí apoyándome y animándome cuando yo creía que no podía más; en especial dirigirme a mi hermano: **Carlos Ulises Soriano Melgar**, quien ha sido y sigue siendo un pilar para nuestra familia, estoy muy agradecido con mi hermano ya que él dedica todo su trabajo al sustento de la familia, pensando en todos nosotros antes que en sí mismo, infinitamente gracias hermano.

Quiero agradecerle a una persona muy especial para mí, quien me ha apoyado mucho en esta etapa, le agradezco a Dios por ponerla en mi vida, gracias **Iris Yesenia Día Melara**, por su apoyo incondicional. Así también les agradezco a todos mis amigos y compañeros que de alguna manera me han apoyado a cumplir mis sueños de quienes me reservo los nombres porque no alcanzaría mencionarlos a todos.

A mis compañeros de tesis: **Nely Margarita Jiménez Calero y Alexis Oswaldo Magaña Monge**, con quienes compartimos muchos momentos en el transcurso de la carrera y sobre todo en nuestro trabajo de investigación. Agradecerles de manera especial a todos los maestros que me han enseñado en todo este trayecto ya que sin su enseñanza no sería posible este logro.

A todos y para todos muchas pero muchas gracias.

Eduardo Soriano Melgar

RESUMEN

El contenido de este trabajo de graduación consiste en comprobar el resultado de medidas obtenidas en forma directa con una Estación Total, equipo que es catalogado como instrumento de alta precisión; con las medidas obtenidas de las fotos aéreas tomadas desde un Dron, y los obtenidos con el sistema de GPS (Sistema de Posicionamiento Global o Global Positioning System) el cual es un sistema global de navegación por satélite (GNSS).

Se mencionan los precedentes de nuestra investigación, los métodos e instrumentos de medición existente y más utilizada en la topografía, y su avance tecnológico en el tiempo, se define el problema y las razones por la cual se realiza la investigación, tomando esto como base para definir la meta y los objetivos a cumplir al finalizar el proyecto considerando los aspectos que limitan la realización de esta, se exponen las razones por las cuales se realiza la investigación así como los beneficios a obtener, los usos que se le dará a esta información.

Como parte de la investigación se describe el área de estudio donde se realizó el levantamiento topográfico, los métodos de medición y recursos utilizados para cumplir los objetivos planteados, así como la información teórica que resulte pertinente dentro de la investigación.

Se tiene como resultado de la práctica en campo, el cálculo de los costos por el método directo e indirecto, así como también las precisiones y tiempos obtenidos en ambos métodos; con el propósito de poder estimar a través de la práctica cual es el mejor método a utilizar de acuerdo a las características del lugar.

Ante la necesidad de contar con nuevas alternativas para levantamientos topográficos se hace necesario investigar estos métodos, es por ello que nace la idea de realizar el presente trabajo titulado, "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON ESTACIÓN TOTAL COMO MÉTODO DIRECTO Y EL USO DE DRONES Y GPS COMO MÉTODOS INDIRECTOS", el cual cuenta con seis partes integrales, que dan al final una visual del que hacer topográfico, principalmente en el área rural.

Se presentará además una serie de manuales del uso del colector con estación total, el procesamiento de datos obtenidos con GPS por el método estático utilizando el software Trimble Total Control y el postproceso del levantamiento con Dron, utilizando el software pix4d.

Se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta investigación, y finalmente se encuentra la sección de anexos que contiene información utilizada en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Alcances	6
1.5 Limitaciones.....	7
1.6 Justificación	8

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS.....	9
2.1 Definición de topografía.....	9
2.2 Marco de referencia geodésico.....	9
2.3 Métodos utilizados para un levantamiento topográfico	10
2.3.1 Método directo: Estación total	10
2.3.2. Método indirecto: GPS de doble frecuencia	34
2.3.3. Método indirecto: Dron (fotogrametría)	47
Fotogrametría	47
GSD y altura de vuelo	63
Recubrimientos o traslapes	64

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE INVESTIGACIÓN	75
3.1. Lugares de ejecución del proyecto	75
3.1.1. Ubicación de las zonas de estudio	75

CAPÍTULO IV

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.....	78
4.1. Asignación de coordenadas de referencia.....	78
4.1.1. Visita de campo y selección de sitios.....	78
4.1.2. Georreferenciación por el método estático.....	79
4.1.3. Resultado obtenido por el método estático:.....	93
4.2. Levantamiento topográfico con Estación Total.....	94
4.2.1. Método de levantamiento topográfico utilizado.....	94
4.2.2. Resultados obtenidos:.....	94
4.3. Levantamiento topográfico con GPS de doble frecuencia método RTK.....	95
4.3.1. Descripción del trabajo de campo.....	95
4.3.2. Resultados obtenidos.....	96
4.4. Levantamiento topográfico con Dron por medio de la fotogrametría.....	97
4.4.1. Descripción del trabajo de campo.....	97
4.4.2. Manual para el procesamiento Fotogramétrico con el programa Pix4d.....	98
4.4.5. Resultados obtenidos.....	121

CAPÍTULO V

EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	123
5.1 Análisis de precisión de levantamientos topográficos.....	123
5.2 Análisis de tiempos y costos en Levantamientos Topográficos.....	125
5.3 Aplicación del método Estático y RTK.....	127

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
7.1 Conclusiones	133
7.2 Recomendaciones	135
BIBLIOGRAFIA	136
ANEXOS	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Precisión de GPS y DGPS	38
Tabla 2.2. Características de los trabajos que pueden realizar los diferentes tipos de equipo UAV.	56
Tabla 3.1: ubicación de las áreas donde se realizarán los levantamientos.	75
Tabla 4.1: Tipos de mojones utilizados en cada vértice de la poligonal.	79
Tabla 4.2: Coordenadas geográficas.	93
Tabla 4.3: Coordenadas de cuadrícula nacional.	93
Tabla 4.4: Coordenadas obtenidas con estación total.....	94
Tabla 4.5: Coordenadas obtenidas con GPS.	96
Tabla 4.6: Coordenadas planas obtenidas por medio de la fotogrametría con el uso de un Dron.....	121
Tabla 5.1: Desviación de coordenadas entre Estación Total y GPS (RTK).....	123
Tabla 5.2: Desviación de coordenadas entre Estación Total y DRON (FOTOGRAMETRIA).....	124
Tabla 5.3: Desviación de coordenadas entre GPS (RTK) y DRON (FOTOGRAMETRIA).....	124
Tabla 5.4: análisis de costo para Estación Total, Dron y GPS.	125
Tabla 5.5: Características topográficas en condiciones comunes.....	126
Tabla 5.6: Criterios de análisis entre métodos de medición	127
Tabla 5.7: Primera medición de coordenadas geográficas en fábrica y bodega de Sherwin Williams (método estático)	128
Tabla 5.8: Medición de coordenadas geográficas en fábrica y bodega de Sherwin Williams (método estático)	128
Tabla 5.9: Coordenadas geográficas en fabrica por el método RTK en Sherwin Williams.....	129

Tabla 5.10: Coordenadas geográficas en bodega por el método RTK en Sherwin Williams.....	129
Tabla 5.11: Segunda medición de coordenadas geográficas en fábrica y bodega de Sherwin Williams (método estático)	130
Tabla 5.12: Segunda medición de coordenadas geográficas en fábrica y bodega de Sherwin Williams (método estático)	130
Tabla 5.13: Segunda medición de coordenadas geográficas en fábrica por el método RTK en Sherwin Williams.....	131
Tabla 5.14: Segunda medición de coordenadas geográficas en Bodega por el método RTK en Sherwin Williams.....	131
Tabla 5.15: Desviación de coordenadas entre RTK 2 y RTK 1 en bodega	132
Tabla 5.16: Desviación de coordenadas entre RTK 2 y RTK 1 en fabrica	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: SIRGAS-ES2007.....	10
Figura 2. 2: Componentes de una estación total.....	11
Figura 2. 3: Colector Carlson.....	12
Figura 2. 4: Transferencia de archivos.....	13
Figura 2. 5: Equipos receptores GPS en técnica de medición Estática.....	42
Figura 2. 6: Ubicación recomendada para receptor Base y Móvil en técnica RTK.....	44
Figura 2.7: Levantamientos topográficos con Dron por medio de la Fotogrametría	47
Figura 2.8. Línea cronológica de nombres que han ido adoptando los vehículos aéreos no tripulados a lo largo de la historia.....	51
Figura.2.9 Dron DJI Phantom 4.....	53
Figura 2.10. Representación del giro de la aeronave durante el vuelo.	55
Figura 2.11. Vuelo en terreno con variaciones de elevación.....	64
Tabla 2.3. Recubrimiento recomendado para vuelos fotogramétricos.	64
Figura 2.12. Solape longitudinal y transversa.....	65
Figura 2.13. Posibles causas de que el recubrimiento entre dos fotogramas consecutivos sea insuficiente: Inclinación excesiva de una de las dos tomas, variación brusca en la altura de vuelo, cambio brusco en el relieve.....	66
Figura 2.14. Vuelo en terreno con variaciones de elevación.....	69
Figura 2.15. Señalización en puntos de control para sobrevolar la aeronave no tripulada.....	71
Figura 3. 1: Ubicación de la zona de estudio-Sherwin Williams - Ilopango	76
Figura 3. 2: Ubicación de la zona de estudio- Universidad de El Salvador - San Salvador	77
Figura 4.1: Mojón que conforma la poligonal en bóveda UES	78

Figura 4.2: Coordenadas FIA1 y FIA2.....	93
Figura 4.3: Preparación del dron previo al vuelo.....	97
Figura 4.4: Punto de partida del vuelo del dron, conectado al computador vía wifi.	97
Figura 4.5: Streaming directamente del dron al Smartphone.....	98
Figura 4.6: Puntos de poligonal ubicados por medio de la fotogrametría con el uso del dron.	122
Figura 5.1: Análisis de costo para Estación Total, Dron y GPS.....	126
Figura 5.2: Criterios de análisis entre métodos de medición.....	127

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

En la actualidad nos encontramos en una época donde el avance acelerado de la tecnología permite aplicar métodos alternativos de obtención de datos, especialmente en la topográfica, por tanto, investigamos estos métodos alternativos a los ya estudiados y demostrados, para poder llegar a resultados óptimos en lo referente a un modelamiento de terrenos.

El levantamiento topográfico es la primera fase del estudio técnico y descriptivo de un terreno. Se trata de examinar la superficie cuidadosamente teniendo en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, pero también las alteraciones existentes de éste y que se deban a la intervención del hombre (construcción de taludes, excavaciones, cantera, etc.).

Anteriormente las herramientas básicas utilizadas en topografía plana eran una cinta métrica para determinar las distancias más cortas, un nivel para determinar las diferencias de altura o elevación, y un teodolito, en un trípode, para medir ángulos, en combinación con el proceso de triangulación. A partir de una posición con ubicación conocida y elevación, se miden la distancia y ángulos para el punto desconocido.

Un instrumento más moderno es una Estación Total, que es un teodolito con un dispositivo electrónico de medición de distancia. Una Estación Total también se puede utilizar para nivelar cuando se establece en el plano horizontal. Desde su introducción, Estaciones Totales han hecho el cambio tecnológico de ser dispositivos óptico-mecánicos para ser totalmente electrónico.

La tecnología GPS ha tenido un gran auge en los últimos años, ya que ésta presenta en todos sus campos de aplicación resultados rápidos y eficaces. Estos campos de aplicación son fundamentales para el desarrollo humano y van desde la navegación aérea y marítima, monitoreo de actividades sísmicas, hasta las obras más vanguardistas de ingeniería.

Los sistemas de GPS de cinemática en tiempo real han aumentado la velocidad y la precisión de la topografía, hicieron posible determinar la posición de un punto en la tierra usando las señales emitidas por satélites que se encuentran girando alrededor de la Tierra.

Los topógrafos tradicionales también pueden complementar su trabajo con un modelo topográfico generado por un Dron, el cual consiste en cambiar la forma de trabajar, no es necesario definir una serie de puntos a medir, se modela de una vez toda el área de trabajo, y más tarde los puntos necesarios se miden cómodamente en el modelo.

Esto elimina el riesgo de tener que volver a hacer trabajo de campo si hacen falta nuevas medidas. Se puede generar este modelo al principio del proyecto, obteniendo una escena 3D realista que se integra sin problemas en herramientas de software estándar como ArcGIS o Civil 3d.

En pocos años los Dron han revolucionado el sector audiovisual, Semana tras semana encontramos vídeos espectaculares de lugares remotos que habrían sido imposibles de capturar con métodos tradicionales. Han contribuido a expandir el mercado audiovisual y son un complemento perfecto para los productores tradicionales.

1.2 Planteamiento del problema

La Estación Total constituye el instrumento universal en la práctica de la Topografía, que puede ser utilizada para cualquier tipo de levantamiento topográfico de una manera rápida y precisa tanto para levantamientos planimétricos como altimétricos, trabajos de alta precisión.

Aunque en la actualidad, debido a las necesidades productivas y de mejoras de rendimientos en los últimos años, la aparición de los levantamientos por satélite han aumentado, debido a que pueden ser operados de día o de noche e incluso con diferentes condiciones climáticas y que no requiere de líneas de visual libres entre estaciones, esto ha representado un gran avance respecto a los procedimientos de levantamientos convencionales, que se basan en la medición de ángulos y distancias para la determinación de posiciones de puntos.

La aparición de nuevas tecnologías persigue prioritariamente mejorar la captura y registro de datos como es el caso de los colectores, que permite transformar esos datos en información, en formatos digitales y gráficos.

El propósito del estudio es conocer las ventajas que nos ofrecen las nuevas tecnologías, tales como rapidez, precisión, eliminación de errores derivados de la intervención humana en procesos como registro, anotación y traspaso de información, almacenamiento y posibilidad de modificación del resultado final, no se puede dejar de lado la importancia del criterio del profesional de la topografía en la selección acertada de la ubicación de puntos de control.

Respecto a los datos obtenidos de forma indirecta tomados desde un Dron aplicando la fotogrametría y el uso de GPS, surgen preguntas como: ¿tienen la misma precisión respecto a un método tradicional directo? o la interrogante como ¿La diferencia de costos de ambos métodos de ejecución, alcanza alguna variación significativa? o que si ¿El tiempo empleado para los métodos indirectos, será menor al del método directo? Por estos diferentes métodos e interrogantes surge la necesidad de presentar un comparativo el cual nos proporcione como resultado una ayuda, indicando como resultado cuál de los tiempos será menor, considerando cada una de las muestras que se tomaran en campo.

Frente a este planteamiento es necesario, realizar las pruebas de campo y poder resolver las interrogantes planteadas y de esta manera optimizar dinero, tiempo y recursos.

1.3 Objetivos

Objetivo General:

- Realizar un análisis comparativo entre levantamientos topográficos con Estación Total como método directo y el uso de Dron y GPS como métodos indirectos.

Objetivos Específicos:

- Comparar el tiempo de ejecución del levantamiento topográfico a realizarse en el área de investigación, así como el costo que implica la utilización de métodos directos como indirectos.
- Describir el uso del Dron en la topografía, siguiendo un paso a paso de cómo se realiza cada etapa de un levantamiento, las bases teóricas de la fotogrametría, y las implicaciones prácticas de estas.
- Describir los parámetros técnicos para los diferentes métodos levantamiento topográfico, utilizando GPS de doble frecuencia, Dron y Estación Total.
- Comparar coordenadas obtenidas de levantamientos con Estación Total respecto a las de GPS y Dron, tomadas en una poligonal cerrada ubicada dentro de la Universidad de El Salvador
- Conocer la aplicación de las técnicas estudiadas, para la obtención de variaciones, tanto verticales como horizontales, de las mediciones periódicas en dos planteles de Sherwin Williams ubicados en el municipio de Ilopango, departamento de San Salvador, por medio de levantamientos topográficos, utilizando Métodos Directos e Indirectos.

1.4 Alcances

Para el tema presentado “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON ESTACIÓN TOTAL COMO MÉTODO DIRECTO Y EL USO DE DRONES Y GPS COMO MÉTODOS INDIRECTOS” se obtuvieron datos actualizados de la zona de estudio.

En la investigación se realizó una evaluación comparativa, mediante ello se evaluó que método es más preciso y eficiente en los levantamientos topográficos realizados en la zona de estudio, así mismo se evaluó el costo que implica la utilización de cada método tanto económico como en tiempo, como también las ventajas y desventajas entre ellos.

Contribuir con información actualizada y comprobada en campo, de la ejecución de métodos alternos a los comúnmente utilizados en nuestro país, para incentivar a una mayor implementación de Dron y GPS de doble frecuencia en el área de la topografía, logrando que estos se posicionen como los dispositivos de alta precisión que son, dejando atrás los prejuicios sobre su utilización para diferentes levantamientos, obras y proyectos civiles.

1.5 Limitaciones

- La propuesta de trabajo solo hará un comparativo de tiempo de ejecución, precisión y costo para cada método indirecto, tomando como referencia los datos obtenidos con la Estación Total.
- Los resultados obtenidos en la investigación son representativos únicamente para las condiciones de la zona de estudio analizada.
- El periodo de tiempo de recolección de la información obtenida en campo, está limitado al máximo de la duración para la realización del trabajo de graduación, según el reglamento de la Universidad de El Salvador.
- En Sherwin Williams Ilopango, debido a restricciones internas de la empresa, no se realizó el levantamiento con Dron utilizando el método de la fotogrametría.

1.6 Justificación

Algunas de las atribuciones del Ingeniero en Topografía son la realización de delimitaciones, medición de terrenos rústicos y urbanos, replanteos precisos orientados a las necesidades de la construcción y la ingeniería en general, levantamiento y creación de planos topográficos. Desde sus inicios, han sido varios y diferentes los planes de estudio estructurados, adecuando la variación de las asignaturas, a los avances tecnológicos sucedidos desde décadas atrás y a las necesidades de una sociedad en continuo desarrollo.

En la topografía se van adquiriendo conocimientos nuevos los cuales conforme el tiempo avanza; los problemas territoriales se van complicando, así como la tecnología en sus diferentes campos es innovadora.

En El Salvador los equipos de medición más utilizados son el teodolito y la Estación Total, que por muchos años han proporcionado resultados con precisiones aceptables, pero es importante que en el país se incorporen aún más tecnologías innovadoras como el GPS de doble frecuencia y el Dron por medio de la fotogrametría, ya que proporciona un marco de referencia cuyas bases se vinculan a las técnicas más modernas de medición y posicionamiento vigentes en la actualidad, contribuyendo al desarrollo en el área de la topografía.

El manejo de información y aplicación de estos métodos se concentra en su mayoría en instituciones gubernamentales, es por ello que se considera importante desarrollar una investigación acerca de estas tecnologías y sus aplicaciones prácticas en el campo de la topografía.

Se compararán las precisiones, costos y tiempo de ejecución de levantamientos topográficos realizados con Estación Total, con el GPS y Dron, con el objetivo de analizar los resultados, logrando establecer las áreas de aplicación dentro de la Ingeniería Civil.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1 Definición de topografía

La topografía (topos, “lugar”, y grafos, “descripción”) es una ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección. La topografía explica los procedimientos y operaciones del trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos y la representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala.

Importancia de la topografía

Para un Ingeniero, aun cuando nunca practique la topografía, le puede ayudar a:

- Pensar de forma lógica, planear un trabajo cuidadoso y preciso y registrarlo de forma limpia y ordenada.
- Aprender sobre la importancia relativa de las mediciones.
- Desarrollar un sentido de la proporción (¿qué es importante y qué no?).
- Adquirir el hábito de revisar los cálculos numéricos y las mediciones.
- También se puede encontrar el Ingeniero en una posición en la que debe tomar decisiones referentes a la contratación de servicios topográficos. Sin un entendimiento básico del tema no será capaz de manejar la situación.

2.2 Marco de referencia geodésico

Marco de referencia es la materialización de un sistema de referencia convencional a través de observaciones, es decir, se trata de un conjunto de puntos (lugares localizados en la superficie terrestre) con coordenadas y velocidades conocidas en ese sistema de referencia convencional y que sirven para materializar en el espacio el sistema de referencia.

Integration of the reference frame of El Salvador into SIRGAS (SIRGAS-ES2007.8)

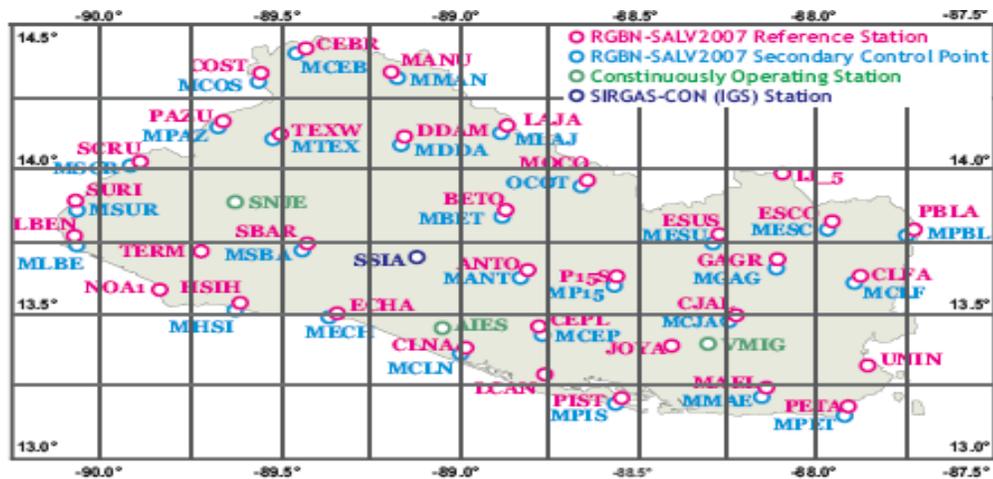


Figura 2. 1: SIRGAS-ES2007

Gracias a SIRGAS-ES2007 el país cuenta con un marco de referencia que permite obtener mediciones más precisas y por ende las proyecciones deben tomar en cuenta dicho marco de referencia para evitar algunas distorsiones.

2.3 Métodos utilizados para un levantamiento topográfico

2.3.1 Método directo: Estación total

Se denomina estación total a un instrumento electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

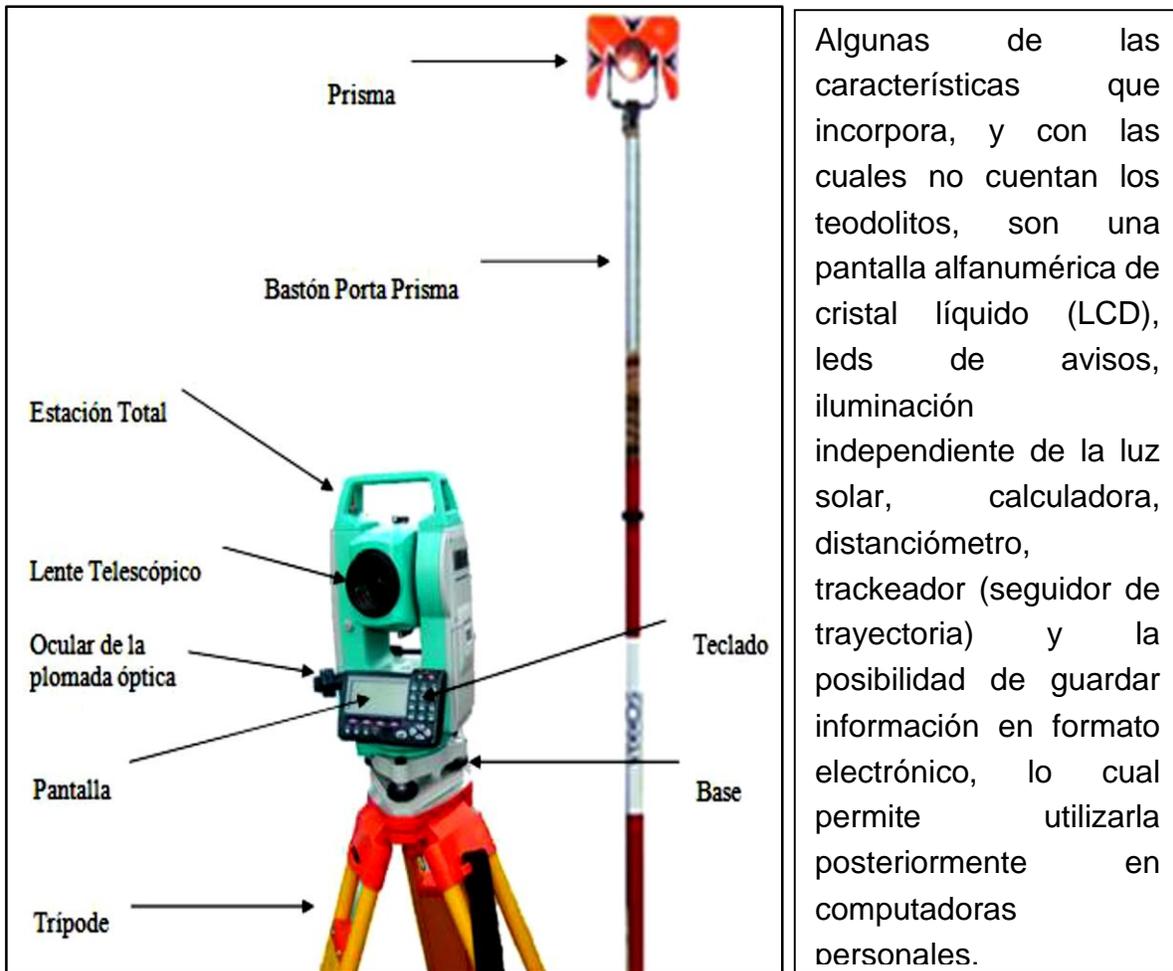


Figura 2. 2: Componentes de una estación total

Funcionamiento

El funcionamiento del aparato se basa en un principio geométrico sencillo y muy difundido entre los técnicos catastrales conocido como Triangulación, que en este caso consiste en determinar la coordenada geográfica de un punto cualquiera a partir de otros dos conocidos. En palabras claras para realizar un levantamiento con Estación Total se ha de partir de 2 puntos con coordenadas conocidas o en su defecto asumidas, y a partir de esa posición se observan y calculan las coordenadas de cualquier otro punto en campo.

Uso del colector Carlson

Libreta electrónica o Colector de Datos Es una agenda electrónica que se puede conectar a la Estación Total o el computador, con los que se comunica en ambos sentidos, pudiendo recibir y enviar datos en diferentes formatos. Una Libreta electrónica es un pequeño computador, capaz de manejarse con un Sistema Operativo, en la que pueden instalarse diferentes programas de captura de datos y de cálculo.

Los más modernos colectores de datos tienen capacidad para realizar múltiples funciones de cálculo con los datos guardados, tales como:

- Cálculo de coordenadas.
- Itinerario tridimensional y ajuste.
- Bisección y trisección inversas.
- Alineaciones.
- Cálculo de áreas.
- Replanteos por polares.
- Replanteos por coordenadas.
- Perfilados.
- Medición desplazada o excéntrica.



Figura 2. 3: Colector Carlson

Los Colectores de Datos suelen estar constituidos de forma muy flexible y el software que utilizan los “capacita” para comunicarse con diferentes instrumentos de Estación Total.

Para la transferencia bidireccional de datos se conecta la Estación Total con el computador y “se entienden” por medio de un programa especial de comunicaciones.



Figura 2. 4: Transferencia de archivos

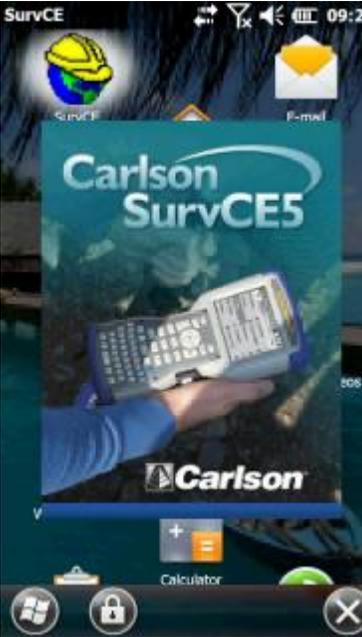
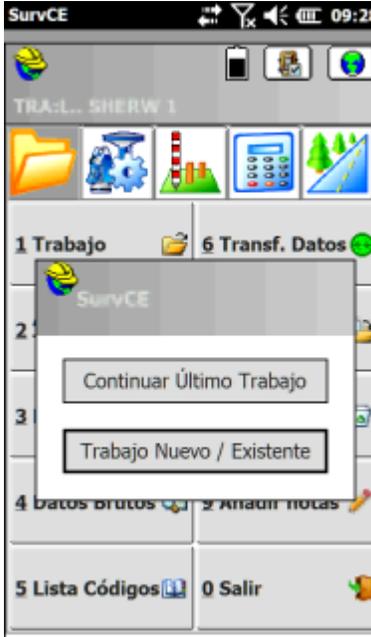
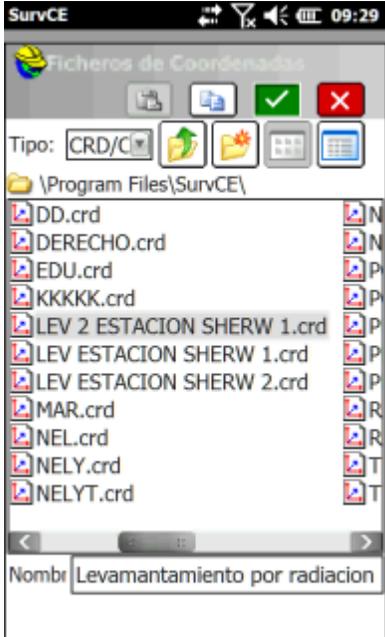
Archivo de datos. Formatos

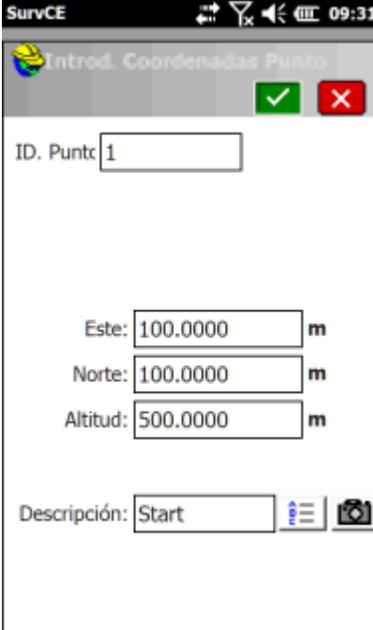
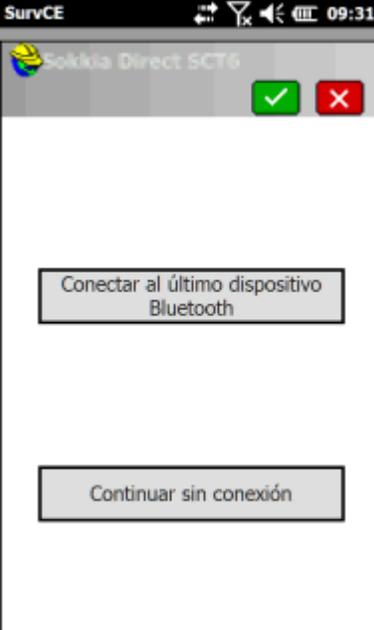
Para una mejor gestión de los datos medidos en campo es necesario una buena organización de los mismos. Esto facilitará la búsqueda o la edición para corregir o cambiar valores, o la inserción de datos aislados o anotaciones complementarias.

Todos los sistemas de archivo electrónico permiten la creación de directorios y/o ficheros que se podrán identificar fácilmente por su nombre o por su código.

Manual de uso del colector Carlson para un levantamiento con Estación Total

A. Inicio, configuración y parámetros:

<p>1.- El primer paso es abrir el programa SurvCE5 que se encuentra instalado en el sistema operativo del colector a utilizar.</p>	<p>2.- Al abrirlo te preguntará si deseas trabajar en el documento que se trabajó la última vez que se utilizó el programa, o si deseas realizar un nuevo trabajo o buscar en los documentos un trabajo previamente hecho, para el ejemplo se realizará un nuevo trabajo.</p>	<p>3.- Se realiza la búsqueda del documento con extensión .crd a utilizar, si se desea continuará con un trabajo previamente hecho. O se digita el nombre del documento nuevo a utilizar para el nuevo trabajo a realizar en el cuadro inferior de la pantalla:</p>  <p>Luego se marca el cheque verde para aceptar .</p>
		

<p>4.- Se mostrará la pantalla siguiente, en la que se establecerán los parámetros en los cuales el colector tomara los datos: Distancia, Angulo, LL, Acimut cero; así como la proyección cartográfica a utilizar.</p> <p>Al establecer las configuraciones se selecciona aceptar.</p> <p></p>	<p>5.- Se nos pedirá que introduzcamos un número de identificación para el punto desde el cual se iniciara el levantamiento, sus coordenadas este, norte y altitud, así como una descripción de este que nos servirá para poder identificarlo más claramente.</p> <p>Presionamos aceptar.</p> <p></p>	<p>6.- En la pantalla siguiente se seleccionará si se desea enlazar nuestro colector con el dispositivo que se conectó la última vez que se trabajó en el o si se continuara sin conexión.</p> <p>Seleccionaremos continuar sin conexión para establecer manualmente una conexión nueva con el equipo a utilizar en nuestro levantamiento.</p>
		

7.- Seleccionaremos la pestaña para editar los parámetros del equipo a utilizar junto al colector y establecer la conexión entre ellos:



Luego precionaremos el item Numero 1 Est. Total:



Para enlazar nuestro colector con una estación total.

8.- En la pestaña:

Actual

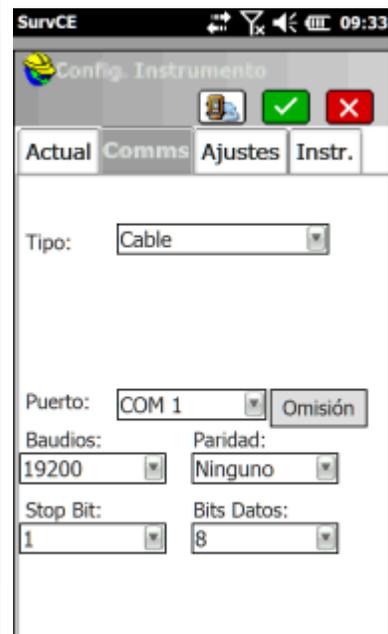
Seleccionaremos el fabricante y modelo del aparato a enlazar o seleccionaremos parámetros ya establecidos en la lista visualizada que sepamos que son las necesarias para establecer la adecuada conexión con el equipo a utilizar.

9.- En la pestaña siguiente:

Comms

Se establecerá la forma en la que se comunicarán los aparatos, si será por medio de bluetooth, cable, etc.

Para el caso estableceremos una conexión por cable así como los demás parámetros mostrados para que se establezca la adecuada comunicación al ocupar este medio.



10.- En la pestaña ajustes:

Ajustes

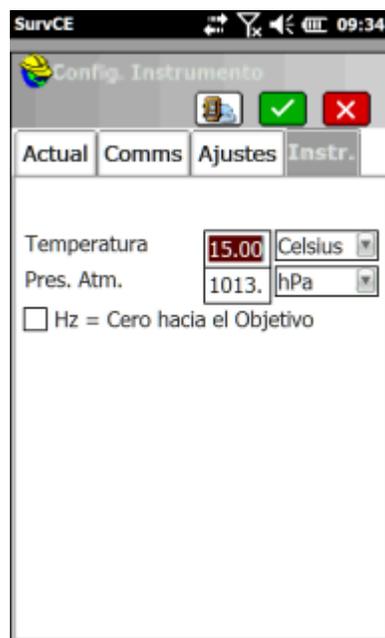
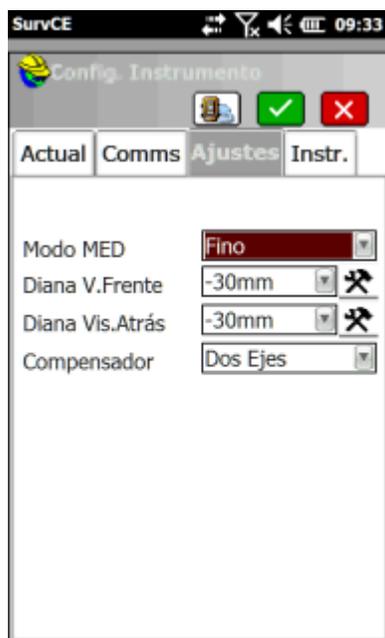
Definiremos la forma en la que el aparato realizará la medición, la compensación por el tamaño de los prismas a utilizar y si se activará en el aparato el compensador de dos ejes.

11.- Para finalizar se establecerá en la pestaña:

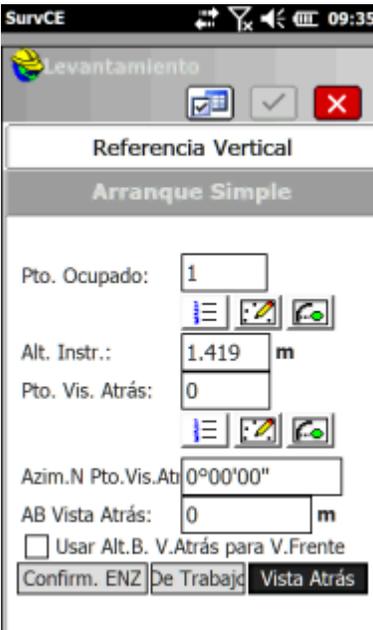
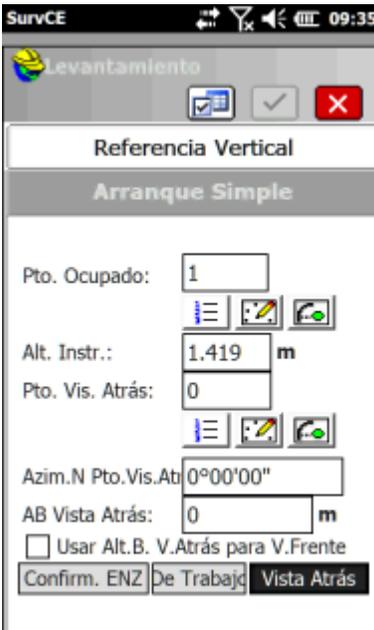
Instr.

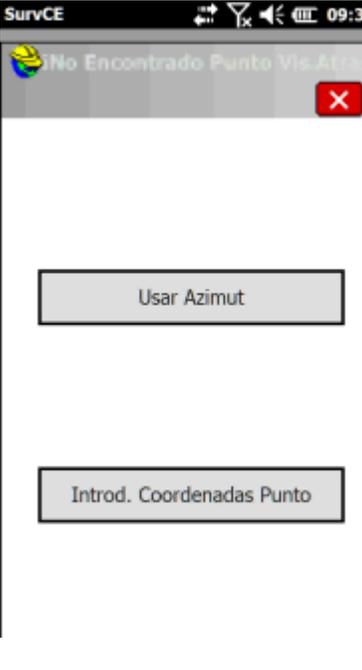
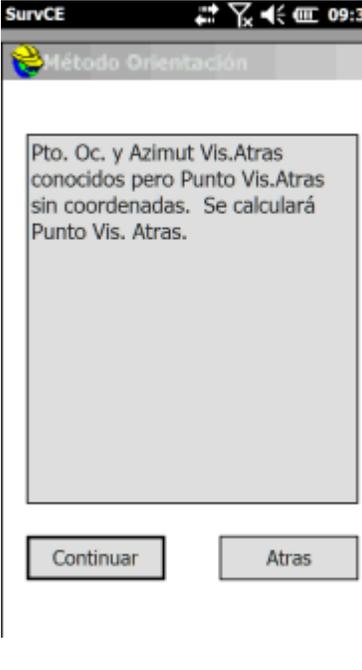
La temperatura y presión atmosférica de la zona a levantar para que el aparato realice la compensación debida a estos factores ambientales.

Terminamos presionando aceptar:



B. Levantamiento por radiación:

<p>1.- Para iniciar el levantamiento nos dirigimos a la pestaña con el símbolo siguiente:</p>  <p>Y luego seleccionamos el ítem: <u>1</u> Levantamiento.</p>	<p>2.- se nos pedirá al ingresar que digitemos el número del punto ocupado por nuestra estación total o lo seleccionemos de una lista desplegable que nos aparecerá al presionar:</p>  También podemos seleccionarlo directamente de un mapa con los puntos que tengamos almacenados en nuestro trabajo si presionamos:  Luego digitaremos la altura de nuestro aparato en el recuadro inferior.	<p>3.- Digitaremos, seleccionaremos de una lista o del mapa el punto que será nuestra vista atrás, en el caso no tengamos almacenado un punto de referencia para ocupar como vista atrás, digitaremos como 0 en el recuadro "Pto. Vist. Atrás" y estableceremos a 0°00'00" en el recuadro "Azim. N. Pto. Vis. Atrás", digitaremos a 0 en AB Vista Atrás, Luego presionaremos:</p> <p>Vista Atrás</p>
		

<p>4.- Nos lanzará un mensaje informándonos que no se encontro el punto vista atrás, esto debido a que el numeral establecido no habia sido almacenado anteriormente con sus coordenadas, nos pedira el seleccionar si usar Azimut como referencia o introducir las coordenadas del punto vista atrás, seleccionaremos la opcion:</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Usar Azimut"/></p> <p>Ya que utilizaremos como referencia vista atrás al norte magnético.</p>	<p>5.- Se nos informará que el punto que deseamos utilizar no tiene coordenadas establecidas, pero se calcularán para ser utilizadas como referencia. A lo cual seleccionaremos en aceptar para continuar con el proceso para establecer el norte magnético como referencia, en caso contrario presionaremos en atrás para regresar al recuadro anterior si se desea aun digitar las coordenadas del punto vista atrás.</p>	<p>6.- En la ventana desplegable:</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Establecer a cero"/></p> <p>Seleccionaremos establecer a cero para partir desde este ángulo al comenzar a radiar, tenemos que posicionar la vista de nuestro aparato hacia el norte magnético auxiliándonos de una brújula, una vez hecho esto presionaremos en el recuadro:</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Imp.Lectura"/></p> <p>Para iniciar nuestro levantamiento</p>
		

7.- Se nos pedirá establecer una edintificación para la vista atrás establecida hacia el norte magnético y una descripción que nos servirá como referencia, luego de digitar esto precionaremos en aceptar:



8.- Por último nos pedirá digitar la altura del bastón hacia el cual se realizó la vista atrás, en nuestro caso y ya que se impuso la lectura directamente, podemos establecer esta altura con cualquier distancia, esto debido a que la referencia que nos interesa es el ángulo medido desde el norte magnético y las elevaciones de los puntos a medir se irán estableciendo en base a la elevación del punto ocupado por el aparato con coordenadas conocidas.

9.- La imagen inferior muestra la interfaz a utilizar en el levantamiento topográfico a realizar, dentro del mapa podremos ir visualizando los puntos levantados, su número de identificación y el nombre de referencia que le hemos asignado.

En la barra inferior podremos visualizar el zoom de acercamiento y alejamiento y otras opciones que nos servirán para manipular el mapa:



--	--	--

10.- Sobre la barra de opciones de zoom encontraremos 3 recuadros en los cuales podremos digitar el número de identificación del punto próximo a realizar, el nombre que le daremos para poder referenciarlo y la altura a la que se encuentra el prisma sobre el bastón en el punto a medir.

Pt: 2 Desc: Mojon 2.2
AR: ... ZA: ... SD: ...

11.- Una vez posicionado el prisma en el punto a medir se presiona la siguiente figura:



Ubicada en la parte superior del mapa.

Esta opción nos servirá para la toma de puntos y detalles importantes que queremos levantar, siempre y cuando se encuentren dentro del radio de visualización del aparato.

La toma de puntos pueden ser tantos como sean necesarios para completar el trabajo deseado.

12.- Al presionar el botón de toma de detalle, se nos mostrará una pantalla donde podremos asignar el número de identificación del punto, altura del prisma y el nombre de identificación; estos cuadros ya aparecerán llenos con la información anterior que le introducimos en la pantalla principal, pero podemos editarla si necesitamos cambiar algo.

Hecho esto se presiona en aceptar:



The image displays three sequential screenshots of the SurvCE application interface during a point capture process.

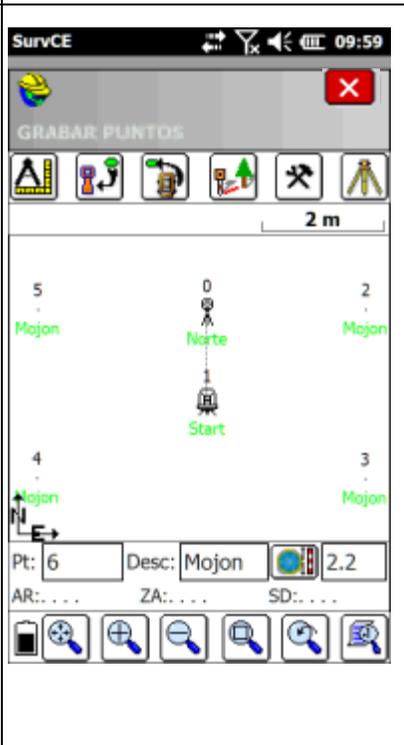
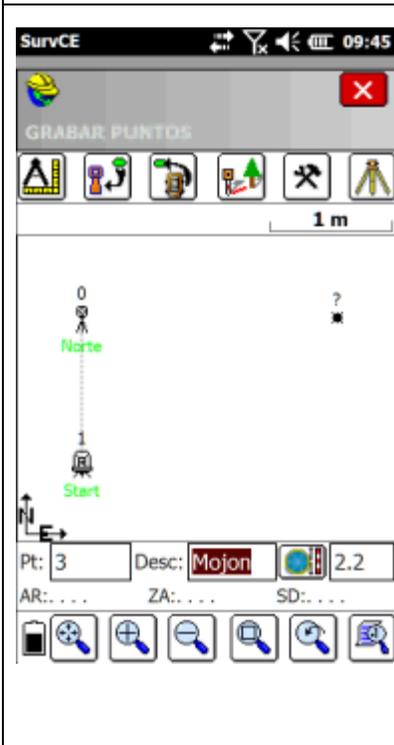
- Left Screenshot:** Shows the 'GRABAR PUNTOS' screen with a 0.9 m scale bar. A vertical dashed line indicates the distance between point 0 (labeled 'Norte') and point 1 (labeled 'Start'). The bottom control bar shows 'Pt: 2', 'Desc: Mojon', and '2.2'.
- Middle Screenshot:** Similar to the first, showing the same interface with the 'Start' button highlighted.
- Right Screenshot:** Shows the 'Grabar Punto' dialog box. It contains a green checkmark icon and a red 'X' icon. The fields are filled with 'ID Pt: 2', '2.2', and 'Desc: Mojon'. Below these fields is a list of categories: ACERA, BST, CERCO, CUNETAS, EJE, and LDC.

13.- Se nos mostrará en el mapa el punto anteriormente levantado, también podremos observar que dentro del cuadro de identificación el número correlativo a cambiado al número superior siguiente que aun no a sido tomado, esto para facilitarnos la digitación si se piensa seguir levantando puntos consecutivos, pero esto no significa que no podemos editar estos a nuestra conveniencia.

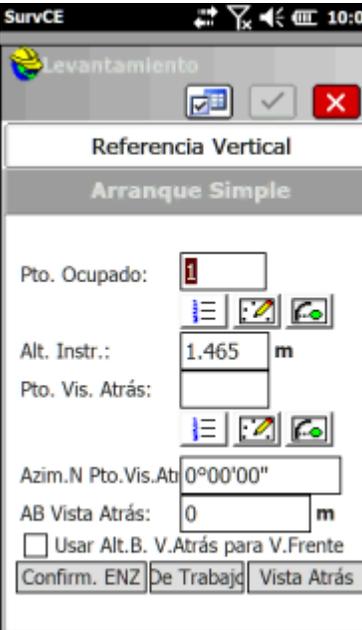
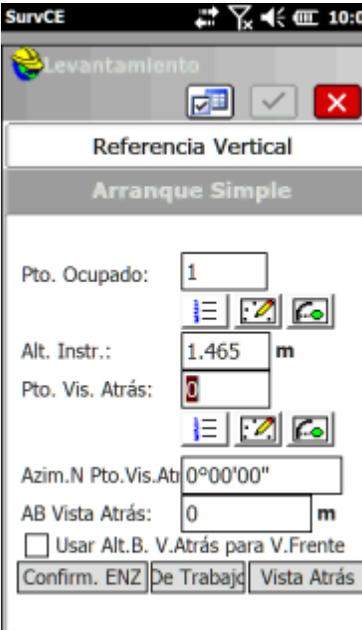
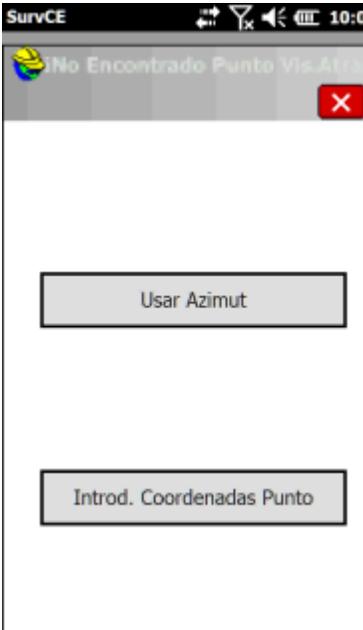
14.- se realizan los pasos anteriores (11,12 y 13), radiando el aparato para tomar cuantos puntos sean necesarios, una vez finalizado el levantamiento se presiona el botón finalizar ubicado en la parte superior derecha de la pantalla:



Esto nos sacará de la interfaz de trabajo hasta la pantalla del paso 1.



C. Levantamiento por Poligonacion:

<p>1.- Al igual que en el levantamiento por radiación nos dirigimos a la pestaña con el símbolo siguiente:</p>  <p>Y luego seleccionamos el ítem: <u>1</u> Levantamiento.</p> <p>Dentro de la primera pantalla seleccionamos el punto ocupado con coordenadas conocidas anteriormente guardado y digitaremos la altura del aparato en el punto ocupado.</p>	<p>2.- Estableceremos como 0 nuestro "Pto. Vis. Atrás", con 0 "Azim. N Pto. Vist. Atrás" y con 0 "AB Vista Atrás", luego presionaremos en:</p> <p>Vista Atrás</p>	<p>3.- Para establecer un punto de vista atrás con coordenadas conocidas presionaremos:</p> <p>Introd. Coordenadas Punto</p>
		

4.- Digitaremos en cada recuadro los datos a utilizar: Id. Punto, Coordenada Este, Coordenada Norte, Altitud y una descripción del punto para poder identificarlo mejor, luego presionaremos aceptar:



5.- En la ventana desplegable:

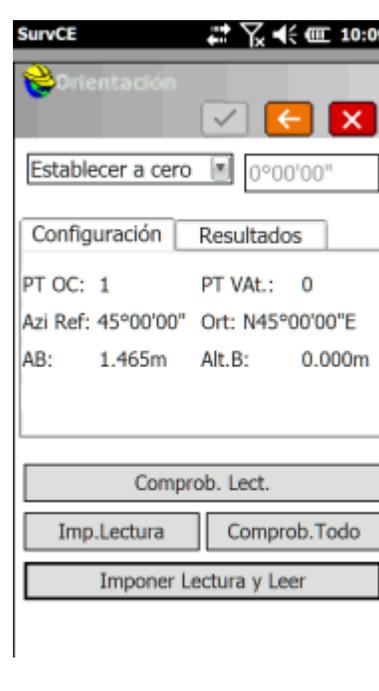
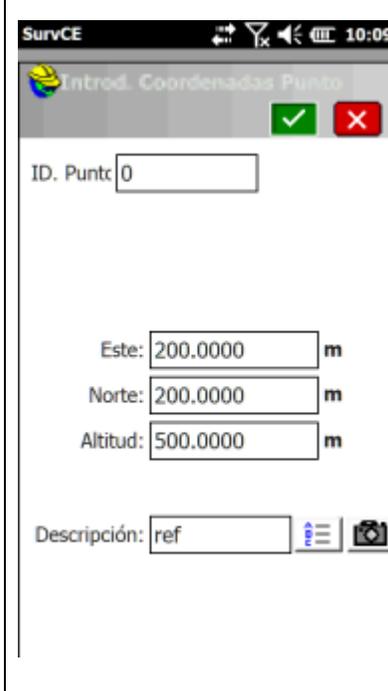
Establecer a cero

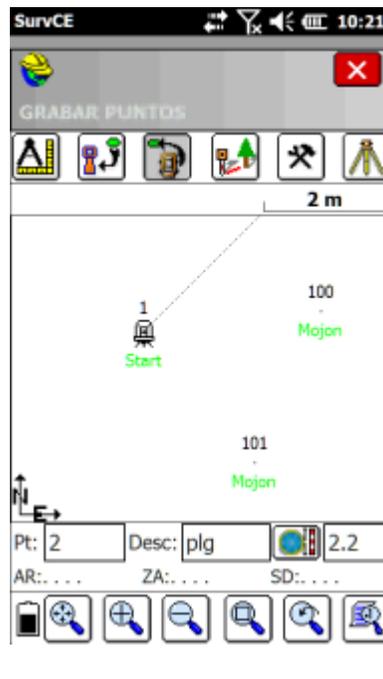
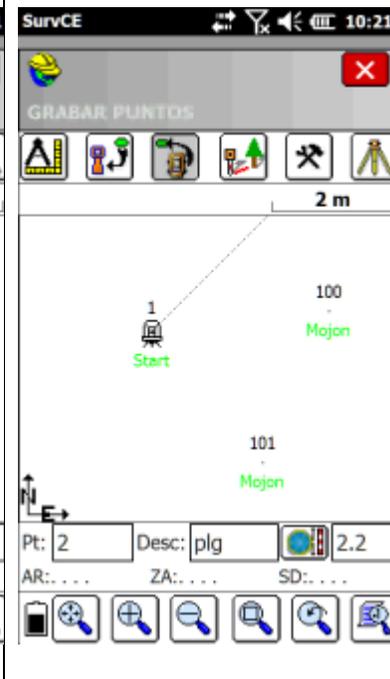
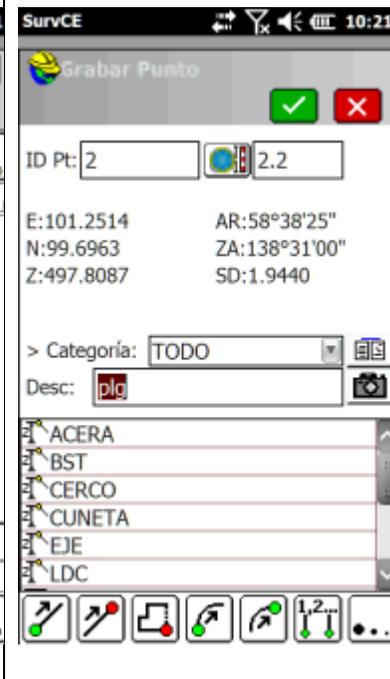
Seleccionaremos establecer a cero, posicionaremos la vista de nuestro aparato hacia el punto de referencia conocido en el cual se encontrará el prisma que recibirá la señal de nuestro aparato, una vez hecho esto presionaremos en el recuadro:

Imp.Lectura

Para iniciar nuestro levantamiento

6.- Podemos observar en el mapa nuestro punto vista atrás con un ángulo de 45° desde el norte, esto debido a que para nuestro ejemplo ocupamos un punto ocupado por el aparato 1 con coordenadas $x=100$, $y=100$ y como vista atrás el punto 0 con coordenadas $x=200$, $y=200$.



<p>7.- Tomaremos los detalles que estén dentro del radio de visión de nuestro aparato por el método de radiación. Al encontrarnos con una obstrucción para visualizar los demás puntos que necesitamos, estableceremos un punto de poligonal que nos servirá para poder observar mejor todos aquellos puntos que no podemos observar. Este nuevo punto tiene que ser estratégico tal que podamos observar el mayor número de puntos necesarios para completar el levantamiento.</p>	<p>8.- una vez establecido nuestro nuevo punto de poligonal y con nuestro aparato en dirección del prisma que estará ubicado en dicho punto presionaremos el botón siguiente:</p>  <p>El cual nos guardará nuestro punto de poligonal y nos servirá para luego mover nuestro aparato hacia ese punto.</p>	<p>9.- Al igual que en la toma de detalles rellenaremos los datos que sean pertinentes para poder reconocer nuestro punto de poligonal, así como no debemos olvidar establecer la altura del prisma al cual se está visualizando, luego presionaremos aceptar:</p> 
		

10.- Se nos preguntará si deseamos pasar nuestro aparato al nuevo punto de poligonal ahora o pasarlo después en caso hayamos olvidado algún punto a ser tomado, para nuestro ejemplo presionaremos:

Pasar Ahora

Luego podremos levantar nuestro aparato y ubicarlo adecuadamente en nuestro nuevo punto de poligonal 2

11.- Una vez ubicados digitaremos los datos que se nos solicitará en pantalla, para lo cual digitaremos el punto de poligonal ocupado 2 la nueva altura de nuestro aparato en este punto, el número de identificación de nuestra vista atrás 1 el cual es el punto desde el cual venimos con el aparato, no tocaremos el recuadro "Azim. N Pto. Vist. Atrás", digitaremos la altura del prisma ubicado en el punto de vista atrás 1 en el recuadro "AB Vista Atrás", luego presionaremos en:

Vista Atrás

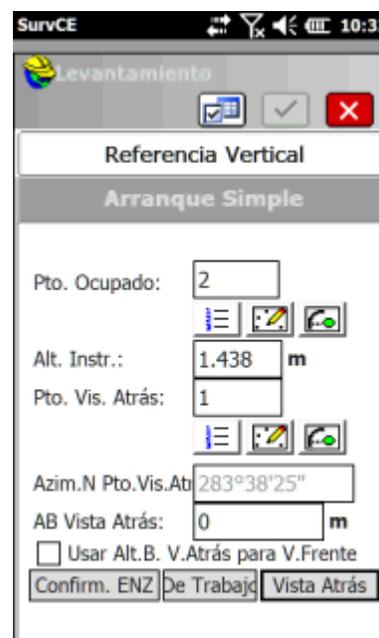
12.- Al igual que en pasos anteriores, visualizando con nuestro aparato al prisma ubicado en el punto de vista atrás 1, estableceremos a cero nuestro ángulo

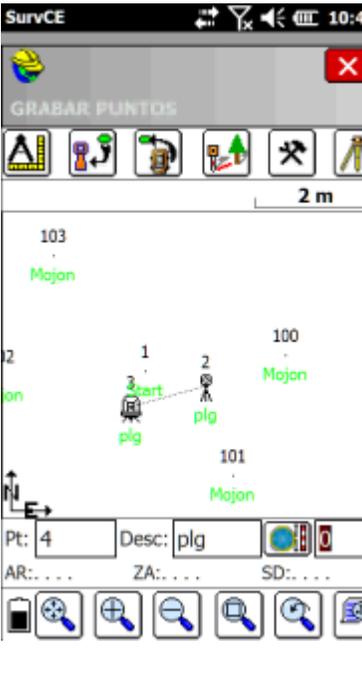
Establecer a cero

he impondremos la lectura

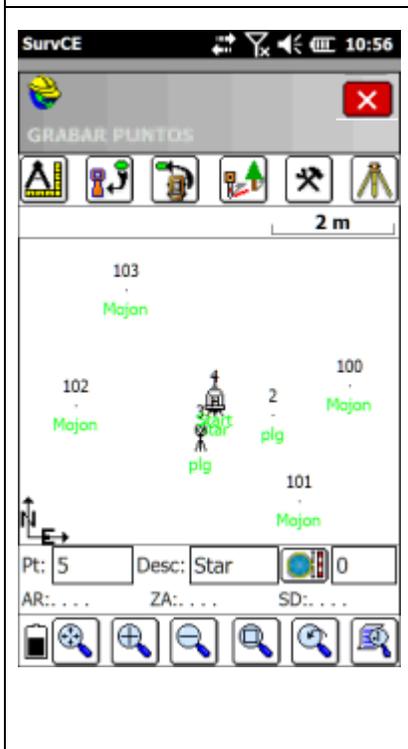
Imp.Lectura

para luego presionar aceptar:



<p>13.- Nuevamente tomaremos los detalles faltantes y que estén dentro del campo de visión de nuestro aparato ubicado en el punto de poligonal 2.</p> <p>Repetiremos los pasos para la toma de detalles y los pasos para establecer puntos de poligonal cuantas veces sea necesario para completar el trabajo que se está realizando.</p>	<p>14.- Una vez finalizada la toma de todos los detalles necesarios, realizaremos una última toma detalle presionando:</p>  <p>El cual estará ubicado en el punto de partida del aparato, este punto deberá tener las mismas coordenadas iniciales o con el menor error posible del punto 1.</p>	<p>15.- Identificaremos a este punto con un nuevo número correlativo, pero en la descripción digitaremos un nombre que nos ayude a identificar que este nuevo punto está ubicado en el mismo lugar que el punto de partida con coordenadas conocida 1.</p> <p>Presionaremos aceptar:</p> 
		

16.- Finalizado nuestro levantamiento presionaremos:



D. Cálculo del área de un polígono:

1.- Para el cálculo del área delimitado por un polígono de puntos previamente levantados nos dirigiremos a la pestaña siguiente:



Y seleccionaremos el ítem

3 Áreas:



2.- En la pantalla que se nos presentará podremos digitar los puntos que comprenderán el polígono para calcular su área interna escribiendo dichos puntos o presionando el botón:



Para luego seleccionarlos de una lista con los puntos anteriormente levantados dentro de nuestro trabajo.

3.- Seleccionaremos los puntos que delimitarán el área dentro de la lista de puntos levantados y luego presionaremos aceptar:



		<table border="1" data-bbox="1019 1155 1388 1354"> <thead> <tr> <th>ID Punto</th> <th>Este</th> <th>Norte</th> <th>Altitud</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>100.00</td> <td>101.43</td> <td>499.966</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>100.00</td> <td>100.00</td> <td>500.000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>102.52</td> <td>101.44</td> <td>500.069</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>102.50</td> <td>98.74</td> <td>500.074</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>97.31</td> <td>98.76</td> <td>500.070</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>97.32</td> <td>101.45</td> <td>500.072</td> </tr> </tbody> </table>	ID Punto	Este	Norte	Altitud	0	100.00	101.43	499.966	1	100.00	100.00	500.000	2	102.52	101.44	500.069	3	102.50	98.74	500.074	4	97.31	98.76	500.070	5	97.32	101.45	500.072
ID Punto	Este	Norte	Altitud																											
0	100.00	101.43	499.966																											
1	100.00	100.00	500.000																											
2	102.52	101.44	500.069																											
3	102.50	98.74	500.074																											
4	97.31	98.76	500.070																											
5	97.32	101.45	500.072																											

4.- podremos observar una lista con los puntos seleccionados y que comprenderán los límites del área a medir.

Si lo deseamos podemos añadir más puntos o quitar puntos ya seleccionados con los botones inferiores:



Una vez establecidos los puntos presionaremos aceptar:



5.- Se nos mostrará un cuadro con el área delimitada con los puntos seleccionados.

Podremos leer el área deseada en la esquina inferior izquierda.

Para nuestro levantamiento por radiación obtuvimos un área de 13.9809 m²

Para el levantamiento realizado en el trabajo llamado levantamiento por Poligonacion obtuvimos la imagen mostrada abajo con un área de: 13.9834 m².

Variando esta área solamente por 0.0025m², error que puedo deberse a la manipulación del equipo y el cual es un error mínimo que siempre estará presente en todo levantamiento.

The figure consists of three screenshots from the SurvCE software interface, showing the process of calculating an area.

Left Screenshot (10:01): Shows the 'Cálculo Superficies' (Area Calculation) screen. It has a title bar 'SurvCE' and a status bar '10:01'. The main area says 'Definir Área por IDs. Puntos ó seleccionando Polilínea:'. Below this is an input field and a table with the following data:

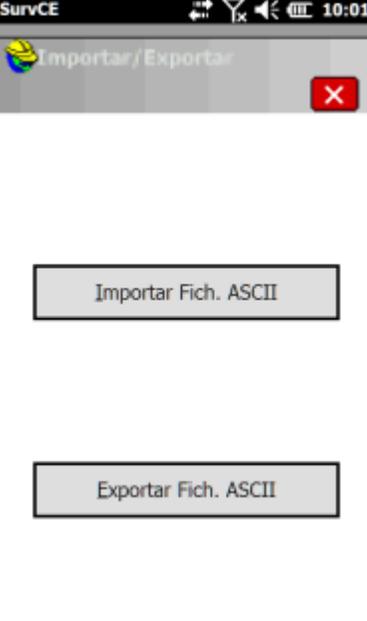
ID Pto.	Trabajo Usado
2	Actual
3	Actual
4	Actual
5	Actual

At the bottom, there are buttons for 'Añadir.Pts' and 'Borrar', and a green checkmark icon.

Middle Screenshot (10:01): Shows the 'VISTA AREA' (Area View) screen. It displays a rectangular area defined by points 2, 3, 4, and 5. The area is labeled 'Norte' (North) and 'Start'. The area value '13.9809' is shown at the bottom left. The status bar shows '10:01'.

Right Screenshot (10:57): Shows the 'VISTA AREA' (Area View) screen for a polygon. The area is defined by points 101, 102, 103, and 104. The area value '13.9834' is shown at the bottom left. The status bar shows '10:57'.

E. Exportación de datos:

<p>1.- Para exportar nuestros datos a un archivo que luego será extraído del colector y para ser manipulado desde una computadora personal, nos dirigiremos a la pestaña con el icono:</p>  <p>Luego seleccionaremos el ítem <u>I</u> Import. Export.</p> 	<p>2.- Se nos preguntará si lo que deseamos es importar un archivo de trabajo o exportarlo.</p> <p>Para exportar presionaremos:</p> 	<p>3.- Se nos presentará una pantalla en la que estableceremos el tipo de fichero en el cual deseamos exportar los datos (Utilizaremos .txt), el orden de las coordenadas dentro de este fichero, el separador que tendrá cada dato, así como deberemos digitar el punto inicial un guion y el punto final correlativo de los puntos a exportar, presionaremos aceptar:</p> 
 <p>SurvCE TRA:L...ADIACION 1 Trabajo 2 Ajustes Trabajo 3 Puntos 4 Datos Brutos 5 Lista Códigos 6 Transf. Datos 7 Import. Export. 8 Borrar Trabajo 9 Añadir notas 0 Salir</p>	 <p>SurvCE Importar/Exportar Importar Fich. ASCII Exportar Fich. ASCII</p>	 <p>SurvCE Exportar ASCII Tipo Fich: Definido Usuario Orden Coordenadas: ID_PT,Este,Norte,Aitd,De -Separador- <input checked="" type="radio"/> Coma <input type="radio"/> Tab <input type="radio"/> Espacio <input type="radio"/> Otro Export Pt <input type="checkbox"/> Notas <input type="checkbox"/> Info <input type="checkbox"/> Attrib. Otro: Rango: 1-5 Precisión: 0.0000 Formato</p>

4.- Estableceremos en la pantalla siguiente la dirección en la que se guardará nuestro fichero y digitaremos el nombre que tendrá éste, luego presionaremos aceptar:



5.- Se nos presentará un cuadro que significará que el fichero está hecho con los datos establecidos y en la ruta seleccionada dentro del colector, presionaremos OK:



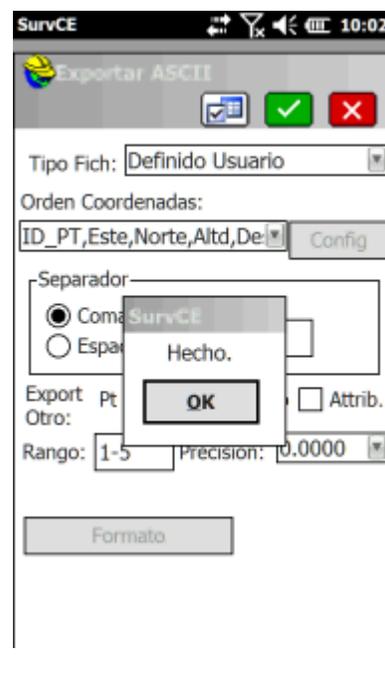
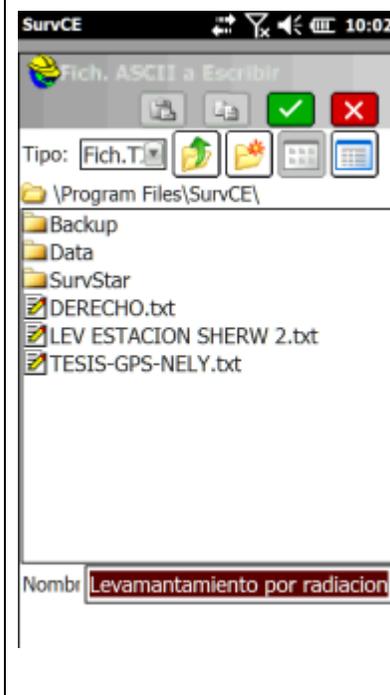
Este fichero lo podremos extraer conectando nuestro colector a una computadora personal por medio de USB y buscándolo en la ruta que se encuentra guardado.

6.- Para finalizar nuestro trabajo dentro de **SurvCE5** nos dirigiremos a la pestaña:



Y seleccionaremos el ítem

0 Salir:



7.- Nos terminará preguntando si deseamos salir a lo que presionaremos si:

Si

Fuera del programa solo nos quedará apagar el colector con el botón físico de éste.



2.3.2. Método indirecto: GPS de doble frecuencia

Introducción al GPS

El GPS es un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) basado en satélites (SV) y operado por el Ministerio de Defensa de EEUU (DoD). El GPS provee información a nivel mundial, para lo que necesita un control riguroso del tiempo (hora GPS) y posicionamiento las 24 horas del día. El GPS también se usa para proveer información sobre el clima.

Funcionamiento del GPS

1- Bases del sistema

Midiendo la distancia desde un grupo de satélites a una posición cualquiera de la Tierra pueden calcularse las coordenadas exactas de dicha posición. Los satélites actúan como puntos de referencia precisos (sus posiciones se conocen en cada momento — efemérides).

En la práctica se necesitan 4 satélites para resolver con precisión las cuatro incógnitas: X, Y, Z y el tiempo.

Alcance del satélite

Cada satélite GPS transmite dos señales de radio:

- Portadora L1, modulada con dos códigos: CIA (adquisición grosera - civil) y P (preciso - militar).
- Portadora L2, modulada con el código P.

El cálculo del tiempo se puede determinar mediante dos tipos de lectura:

- Lectura de código: el receptor utiliza el código (CIA ó P) para el cálculo.
- Lectura de fase: el receptor lee directamente la fase de las ondas portadoras (L1 ó L1 y L2) y se calcula el número de ciclos.

Precisión de tiempo

Los satélites poseen relojes atómicos con una precisión de 10^{-12} a 10^{-14} s. El receptor, por precio y tamaño, posee un reloj de cuarzo de precisión 10^{-6} s. El error

derivado de esta imprecisión temporal es $10^{-6} \text{ s} * c = 300 \text{ m}$. Para eliminar el error derivado de la medida del tiempo, es necesario un cuarto satélite que permite mejorar la precisión a 10^{-9} s calculando la imprecisión como una incógnita más (en realidad, el satélite calcula la imprecisión del reloj como una incógnita más).

La mayor parte de los receptores actuales permiten calcular posiciones con sólo 3 satélites (2D) eliminando una incógnita de las ecuaciones, la altitud, asumiendo que su valor es el de la última posición calculada con 4 satélites (3D). Esto conlleva imprecisiones de hasta 100 m.

2- Precisión de datos GPS

La coordenada vertical (Z o altitud) es entre dos y cinco veces menos precisa que las coordenadas horizontales en cualquier posición GPS hallada. En general, suele citarse la precisión horizontal y obviarse la vertical.

La precisión del posicionamiento con GPS varía desde 1 centímetro hasta unos metros, dependiendo del equipo y las técnicas de medición utilizadas.

Es importante mencionar que la precisión obtenida en la determinación de las coordenadas horizontales es de dos a cinco veces mayor que la determinación en la coordenada vertical o cota, pues se sabe que las elevaciones son elipsoidales y no ortométrica al instante de medir.

En general la exactitud obtenida en mediciones con G.P.S. depende de los siguientes factores:

- Equipo receptor
- Planificación y procedimiento de recolección de datos
- Tiempo de la medición
- Programas utilizados en el procesamiento de datos.

También cada trabajo que se pretenda realizar con GPS exige una precisión determinada, por ejemplo, solo para guiarse al momento de viajar en un vehículo basta utilizar navegadores, y proyectos como navegación espacial, marítima o

terrestre, topografía, observación de embalse hidráulico, tectónica de las placas exigen precisiones de algunos milímetros y centímetros.

Existen dos tipos de exactitudes, la absoluta y la diferencial. En cuanto a la exactitud absoluta, utilizando el Servicio Estándar de posicionamiento (SPS) se pueden obtener exactitudes en el orden de 20.00 m. Si se usa el Servicio Preciso de Posicionamiento (PPS), o código P se pueden obtener exactitudes entre 5.00 y 10.00 m.

En cuanto a la exactitud diferencial, se pueden obtener exactitudes de hasta $\pm 0,1\text{m} \pm 1$ ppm y en proyectos científicos con equipos adecuados y un riguroso control en todas las etapas del trabajo se pueden lograr exactitudes de $\pm 0,01$ m $\pm 0,1$ ppm.

Parámetros a tener en cuenta antes de salir al campo. Planificación de la colección de datos

- Almanaque: Un almanaque o archivo de efemérides contiene información de la posición orbital sobre todos los satélites GPS. Se transmite desde los satélites y es automáticamente registrado desde los receptores. Se debe transferir periódicamente (al menos cada tres meses) un almanaque desde el receptor GPS al computador para poder planificar de forma actualizada la situación de los satélites.
- Gráficos de predicción de satélites: Reflejan el número de satélites disponibles, sus elevaciones o acimutes y la PDOP en cada instante.
- PDOP (Dilución de la Precisión de la Posición): Informa sobre la calidad de la geometría de la constelación de satélites. Es un número que toma valores entre 1 e infinito, dando mayor precisión cuanto menor sea este valor. Un valor entre 4 y 8 es aceptable y por debajo de 4 es muy bueno. Se debe seleccionar el mejor tiempo (mejores horas) para la colección de datos (PDOP mínima), con los 24 satélites funcionando casi siempre hay una GDOP aceptable.

Parámetros a tener en cuenta durante la toma de datos en campo

- **Ubicación de la antena:** La presencia cercana de objetos que interfieran en la señal (edificios, cubierta arbórea...) y que impidan la “visión” directa satélite-receptor, ha de evitarse en lo posible, así como la cercanía de radares, postes de alta tensión. La antena, por tanto, debe situarse a ser posible en una zona con clara visibilidad del cielo.
- **Máscara PDOP:** Se puede configurar un valor máximo de PDOP en el receptor para ignorar las constelaciones que presenten un valor superior al dado (lo que implicaría muy poca precisión).
- **Número de satélites visibles:** Para obtener una precisión adecuada, el mínimo número de satélites visibles debe ser de cuatro. Aun así, algunos receptores permiten tomar posiciones con sólo tres, usando la última altitud registrada. Esto conlleva grandísimas imprecisiones.
- **Máscara SNR (Signal Noise Ratio o Fuerza de la Señal):** El SNR mide el contenido de la información de una señal con relación al ruido de dicha señal. Cuanto menor sea, más información se perderá en el ruido. Un valor superior a 20 se considera muy bueno. Un mínimo aceptable (valor a usar como máscara) es 6. Este valor se calcula para cada satélite.
- **Máscara de Elevación:** Es el ángulo de elevación sobre el horizonte bajo el cual no se utilizan satélites. Para un funcionamiento adecuado, esta máscara debe adoptar al menos el valor de 15. La máscara de elevación del receptor móvil debe ser superior al menos en 10 a la máscara de la base por cada 100.00 Km de distancia entre ambos, para asegurar que la estación base siga los mismos satélites que el móvil.

3.- Corrección diferencial (DGPS)

Esta técnica aumenta de forma significativa la precisión de los datos GPS capturados. Implica el uso de un receptor en una posición conocida, la estación base, y la captura de posiciones GPS en posiciones desconocidas con otros receptores, móviles o remotos. Los datos capturados en un lugar conocido se

utilizan para determinar los errores que contengan los datos del satélite. Las diferencias de desviación se utilizan para eliminar errores de las posiciones del móvil (S/A, relojes del receptor y satélite, posición del satélite, retratos ionosféricos y troposféricos). Por ello es necesario conocer con gran precisión la posición de la estación base.

Tabla 2.1: Precisión de GPS y DGPS

Error (en metros)	GPS	DGPS
<i>Horizontal</i>	15	1
<i>Vertical</i>	25	2
<i>3D</i>	30	2,3
<i>Reloj SV</i>	1,5	0
<i>Error orbital</i>	2,5	0
<i>Ionosfera</i>	5	0,4
<i>Troposfera</i>	0,5	0,2
<i>Ruido receptor</i>	0,3	0,3
<i>Multitrayectoria</i>	0 a 100	0 a 100
<i>S/A (Disponibilidad selectiva)</i>	30	0

Procedimiento para un levantamiento topográfico con GPS de doble frecuencia

Tipos de medición

Estático

Este método se utiliza para distancias largas (por lo general mayores de 20.00 Km) y la más alta precisión. Es la medición clásica de líneas bases.

Para el empleo de esta técnica de medición satelital se debe seguir una serie de procesos que van desde la planificación del lugar de medición, hasta la corrección de coordenadas en un postproceso. Para la técnica podemos identificar las siguientes etapas:

- Reconocimiento o identificación de campo.
- Monumentación.
- Medición u observaciones satelitales.
- Trabajo de Oficina o postproceso.

Reconocimiento

Consiste en operaciones de campo destinadas a verificar las características y condiciones sobre el terreno destinado a ubicar vértices geodésicos.

Permite determinar con certeza las condiciones en que se encuentran los mojones o definir la posición de uno nuevo. En esta etapa se define si un vértice cumple las condiciones de un mojón geodésico tales como su máscara o campo de rastreo satelital, la facilidad de ubicar las referencias del vértice y por supuesto la ubicación topográfica del mismo. De todo esto se elabora un informe que permite cualificar en oficina la elección o no de los vértices geodésicos posibles.

Dicho trabajo de reconocimiento cuenta con tres requerimientos para su óptimo desarrollo, y dependiendo de la magnitud del proyecto puede ser realizado por varias cuadrillas, se presentan a continuación los pasos a seguir:

- A. Seleccionar en el terreno los sitios adecuados para el establecimiento de los monumentos permanentes.

Se seleccionarán sitios donde el suelo existente tenga buena capacidad portante, que permita realizar la construcción de los monumentos y garantice su permanencia. Evitar la Monumentación en sitios donde la capa de material orgánico es demasiado profunda o donde se presenten capas de desechos sólidos de considerable espesor (basureros), y todos los sitios cuyas propiedades físicas y mecánicas no sean adecuadas para soportar el peso de los monumentos de concreto reforzado y garantizar la estabilidad.

Otro criterio importante en la selección del sitio de Monumentación es garantizar que las condiciones actuales serán constantes durante un largo periodo de tiempo, es decir que no cambiarán a corto plazo debido a los efectos del clima, erosión del suelo, trabajos de terracería, construcción de carreteras, edificaciones, etc.

En levantamientos topográficos con estación total se necesitan dos puntos con coordenadas conocidas y que sean inter visibles entre sí. Esto debe considerarse cuando se selecciona el sitio de Monumentación, porque estos vértices son muy utilizados para aplicaciones topográficas.

B. Comprobar las condiciones de observación en cada sitio elaborando para ello el Diagrama de Obstrucción o Máscara.

Una vez se han evaluado las condiciones generales del terreno, se procede a comprobar que dicho sitio cuente con las condiciones óptimas para las Observaciones satelitales.

Para lograr el acometido es necesario utilizar equipos básicos en la medición de ángulos como es un inclinometro y una brújula de mano, los cuales ayudan al proceso de llenado del diagrama de Obstrucción o Mascara. Este diagrama permite determinar si el sitio seleccionado cuenta con una ventana de observación adecuada para evitar muchos de los errores que se cometen al recibir señales satelitales.

Para llenar el diagrama de Obstrucción se deben realizar los siguientes pasos:

- Situarse sobre el sitio donde se pretende establecer el vértice geodésico.
- Observar preliminarmente cada uno de los obstáculos posibles alrededor del punto (Pueden ser edificios, arboles altos, antenas, muros, taludes, etc.).
- Para anotar uno de estos obstáculos y plasmarlo en el Diagrama de Obstrucción se debe determinar el Rango de azimut, es decir, medir desde el Norte (N) con la brújula el ángulo hasta donde inicia el ancho de dicho obstáculo, posteriormente determinar el Azimut hasta donde terminar el ancho del obstáculo.
- Después se debe medir con un inclinometro, a partir de la altura posible del aparato (Altura del ojo de un humano promedio), el ángulo vertical donde termina en altura el obstáculo, al igual que la distancia a la que se encuentra y anotarlo en el formato estándar.
- Con los rangos de Azimut y el ángulo vertical de elevación se procede a dibujar en el diagrama cada obstáculo observado, primero se debe establecer el rango de azimut en grados que ocupa dicho obstáculo, y el espesor del obstáculo en el diagrama es el ángulo vertical, medido desde el borde de la circunferencia hacia el centro de ésta.

C. Elaborar los croquis, descripciones preliminares de los puntos.

Se debe elaborar un croquis general orientado de cada punto y redactar una descripción preliminar que contenga como mínimo la designación del punto, e información sobre las características geográficas locales del sitio y del paisaje circundante, haciendo énfasis sobre los aspectos de ubicación regional, direcciones para llegar al sitio y si hay disponibilidad de servicios básicos. Deberá asimismo contener las condiciones previstas para las siguientes actividades como son la Monumentación y Medición GPS.

Monumentación

La Monumentación de los puntos que conformarán la nueva red geodésica deberán realizarse siguiendo las especificaciones dictadas por el organismo encargado de administrar dichas redes, que para el caso de El Salvador es el Instituto Geográfico y Catastro Nacional (IGCN). Se debe tomar en cuenta las normas generales que se indican a continuación:

1. Todo punto de la red geodésica deberá estar permanentemente marcado en el terreno mediante el establecimiento de monumentos construidos en concreto armado “in situ” de tal modo que se asegure razonablemente su permanencia y estabilidad.
2. En relación con la permanencia de los monumentos, se deberá ejercer el criterio de construirlos con la solidez que las circunstancias lo permitan en función de las posibilidades de pérdida o destrucción, para lo cual se deberá prever el recurso de construirle al Vértice principal y a su Marca de Azimut una base o plancha subterránea de concreto alineado verticalmente con el centro de la placa o pin, situados estos en la cara superior del mojón, además de construir sub-monumentos o marcas de referencia, con características similares pero más pequeños, que permitan la recuperación inequívoca del monumento principal.

Medición u observación satelital

Consiste en estacionar dos o más receptores en los puntos donde se desean establecer coordenadas (Figura 2.5) y uno sobre la estación de referencia conocida, y realizar la medición simultáneamente en los 3 o más receptores. Las coordenadas que se obtienen del proceso de medición se denominan coordenadas de navegación, y tienen un error aproximadamente de 1.00 m, por lo que es fundamental realizar el post proceso con software, en el que se hace un ajuste y compensación de las coordenadas, proceso que demanda utilizar las coordenadas conocidas de la estación de referencia.

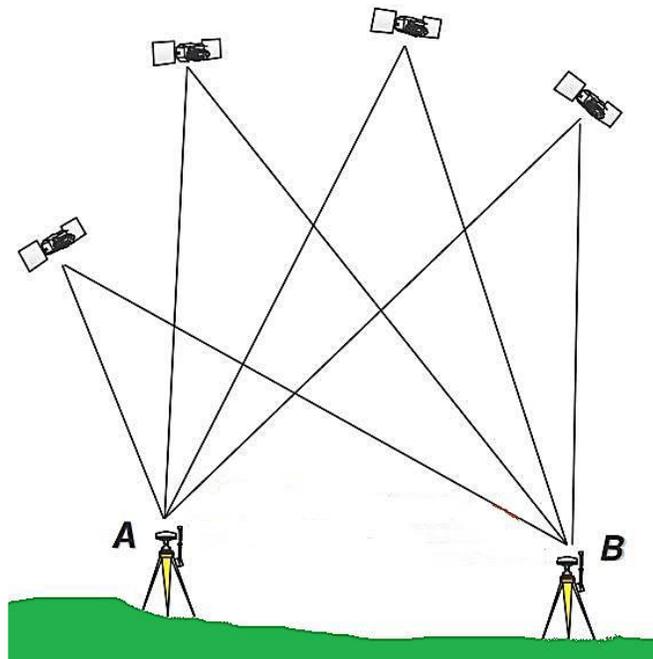


Figura 2. 5: Equipos receptores GPS en técnica de medición Estática

El tiempo de observación o medición en cada estación dependerá de la distancia entre los receptores, el número de satélites que se estén observando en cada estación y de la Dilución de la Precisión (DOP) con respecto al tiempo, ubicación y geometría de los satélites.

Cuando se ha registrado suficiente información y ha transcurrido el tiempo de medición, los receptores se apagan y se ubican en una nueva posición hasta cubrir todas las ubicaciones trazadas, posteriormente se realiza el post proceso de estos datos en conjunto, utilizando software especializado en el procesamiento de los

archivos que generan los equipos receptores para almacenar los datos de las mediciones.

En este tipo de medición se obtienen soluciones tan redundantes como se desean, tan solo se debe prolongar el tiempo de medición.

Esta técnica de medición no siempre es recomendable para levantamientos topográficos (debido al tiempo requerido de observación para cada punto, así como el costo)

Distancia entre equipos receptores GPS

Por lo general esta técnica se utiliza para medir distancias largas, mayores a 20.00 Km, sin embargo, también se puede aplicar para distancias menores.

Tiempo de medición:

Para distancias entre receptores menores de 100.00 kilómetros: 2 horas 183
Para distancias entre receptores mayores de 100.00 kilómetros: 4 horas

A mayor distancia corresponde más tiempo de medición, la relación es directamente proporcional.

Precisión:

5 mm \pm 1 ppm depende del tiempo de observación y de la distancia de la línea base.

Parámetros por considerar en esta técnica de medición:

Intervalo de Grabación: 15 ó 30 seg.

Máscara: 15°

Mínimo de Satélites: 4

Tiempo mínimo de Observación: 1 hora mínimo.

Cinemático en Tiempo Real (RTK)

La metodología de observación con GPS en tiempo real es un método rápido, cómodo y capaz de dar precisiones aceptables.

El método de trabajo con GPS en tiempo real se compone de un GPS fijo de referencia y un GPS en movimiento. El receptor fijo se sitúa sobre un punto de coordenadas conocidas. Este vértice se denomina como vértice de referencia.

La metodología en tiempo real se basa en el cálculo de ambigüedades o errores en el mismo instante de la toma de datos. A partir de la observación satelital de la estación de referencia se calculan los errores de la medición y las correcciones se envían de forma instantánea al receptor móvil, por lo que las coordenadas obtenidas en tiempo real en este receptor son las definitivas y no es necesario el postproceso.

La comunicación entre el receptor de referencia y el receptor móvil es posible gracias al sistema de telecomunicaciones de radio frecuencia. Para evitar problemas de comunicación entre receptores es recomendable elevar la antena del receptor de referencia lo máximo posible, por lo que se recomienda previamente establecer un punto de referencia de primer orden con la técnica de medición estática en sitios elevados cercanos a la zona donde posteriormente se realizará la medición con la técnica RTK (Azoteas de edificios, lomas, etc.) (Figura 2.6).



Figura 2. 6: Ubicación recomendada para receptor Base y Móvil en técnica RTK.

El procedimiento para efectuar el levantamiento con equipos GPS en tiempo real requiere el mismo equipo que para medición estática, además de sistemas de transmisión de telecomunicaciones por radiofrecuencia.

Se estaciona el equipo fijo (base) en la estación de referencia y se introducen las coordenadas de ésta. El receptor enviará las correcciones al equipo móvil a través de un sistema de telecomunicación operativo entre ambos receptores.

El levantamiento se lleva a cabo por dos operarios con dos receptores, uno de referencia y otro móvil. Uno de los operadores se encarga de la toma de puntos con el receptor móvil, mientras que el otro operario va realizando los croquis de la zona, así como anotando el número de punto y su correspondiente descripción quedando así definido cualquier tipo de elemento a representar. El receptor fijo sólo necesita vigilancia y control de la batería.

Las coordenadas de los puntos se obtienen en el sistema de referencia WGS84.

La metodología RTK permite asociar una proyección y un sistema de referencia distinto, podemos obtener las coordenadas de los puntos directamente en la proyección UTM o cualquier otro sistema. También podrían obtenerse en sistemas de referencia locales. En El Salvador se debe configurar los equipos GPS introduciéndoles el sistema de proyección cartográfico denominado "Cónico Conformal de Lambert SIRGAS-ES2007" para obtener directamente las coordenadas proyectadas, es decir, las coordenadas planas (x, y).

Distancia entre equipos receptores GPS:

La longitud de las líneas bases no debe exceder de 10.00 km, dependiendo de la potencia o alcance del radio.

Tiempo de medición:

De 1 a 5 segundos cuando la señal de radio frecuencia entre el receptor móvil y el fijo se transmita sin interferencias.

Precisión:

1 a 2 cm + 2 ppm

Parámetros por considerar en esta técnica de medición:

Intervalo de Grabación: 1 Seg.

Máscara: 10°

Mínimo de Satélites: 4

Tiempo mínimo de Observación: de 1 a 5 seg.

Sistemas de referencia

Los datos capturados con GPS pueden referenciarse de forma precisa a puntos de control en una red topográfica geodésica (esto es, una red topográfica referenciada a un elipsoide determinado). GPS utiliza WGS — 84 (World Geodetic System 1984) como sistema común de referencia. (Actualmente la cartografía no utiliza este sistema geodésico, excepto en Canarias)

Esquema de un día de trabajo en campo con GPS

- Reconocimiento de campo
- Diccionario de datos. Puntos de paso
- Transferencia de los datos del computador al receptor
- Planificación:
 1. Máscara de elevación
 2. SV
 3. PDOP
 4. SNR
- Toma de datos en campo: o Configuración del receptor
 1. Máscara SNR
 2. Máscara de Elevación
 3. Máscara PDOP

4. Intervalo de registro (frecuencia de almacenamiento de posiciones para cada tipo de característica: puntos y líneas/polígonos). Sistema de coordenadas y Datum (En España se utiliza UTM con el datum ED-50). Importante sólo en el replanteo. El GPS utiliza el datum WGS-84 O Funciones del receptor
 5. Captura de posiciones (levantamiento)
 6. Indicación de posición (replanteo)
 7. Navegación (replanteo, puntos de paso)
- Transferencia de datos del receptor al computador
 - Obtención de datos base (método estático)
 - Corrección diferencial (método estático)

2.3.3. Método indirecto: Dron (fotogrametría)

Fotogrametría



Figura 2.7:

topográficos con Dron por medio de la Fotogrametría

Levantamientos

Definición de la fotogrametría

Fotogrametría es la ciencia capaz de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado. Esta definición es en esencia, la adoptada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS).

Fundamento de la fotogrametría

El principio en el que se basa la fotogrametría consiste en proyectar en forma ortogonal sobre un plano de referencia, la imagen registrada en una Fotografía, la cual ha sido proyectada sobre el negativo mediante la proyección central, que es la usada por las lentes.

En fotogrametría se asume que la proyección central es perfecta, lo cual implica que:

- No existe desviación de los rayos de luz que atraviesan los lentes de la cámara.
- La imagen se proyecta sobre una superficie perfectamente plana.
- La relación matemática entre el objeto y su imagen se conoce con el nombre de principio de colinealidad.

Levantamiento fotogramétrico¹

El levantamiento fotogramétrico es la aplicación de la fotogrametría a la topografía. Pese a que la fotogrametría no es una ciencia nueva (sus inicios se estiman a mediados del siglo XIX), sus aplicaciones en topografía son mucho más recientes. Si se trabaja con una foto se puede obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si se trabaja con dos fotos, en la zona común a éstas (zona de solape), se podrá tener visión estereoscópica o, dicho de otro modo, información tridimensional. Básicamente, es una técnica de medición de coordenadas 3D, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

A través de la implementación de un software especial para fotogrametría, se obtiene una Orto fotografía de alta resolución georreferenciada, la cual permite hacer mediciones y realizar cálculos volumétricos, además de esto se puede

¹ *Tesis, Aplicación de fotogrametría aérea en Levantamientos topográficos mediante el uso de Vehículos aéreos no tripulados pag.40-42*

exportar estos parámetros a programas tales como AutoCAD, ArcGIS, etc. También podemos generar modelos digitales de superficie (DSM), de terreno (DTM), nubes de puntos georreferenciados, mallas 3D, líneas de curvas, etc.

Clasificación de la fotogrametría

Frecuentemente se divide en dos especialidades de acuerdo con el tipo de fotografía utilizada:

- Fotogrametría terrestre.
- Fotogrametría aérea.

Fotogrametría terrestre

Tiene su principal aplicación en la arquitectura y la arqueología y se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra, la fotografía es usada en una posición tal que el eje de la cámara fotográfica resulta horizontal y paralelo al terreno o corteza terrestre; donde la posición de la cámara y el objeto es perfectamente conocida.

Fotogrametría aérea

Es la que utiliza fotografías aéreas obtenidas con la ayuda de un vehículo aéreo. Donde el eje óptico de la cámara fotográfica resulta sensiblemente perpendicular al terreno o corteza terrestre.

También dependiendo del método empleado, se pueden distinguir tres tipos diferentes de fotogrametría:

- Fotogrametría Analógica.
- Fotogrametría Analítica.
- Fotogrametría Digital.

Fotogrametría analógica

Se basa en la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realiza la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado. Por otro lado, la confección de mapas, con

información planialtimétrica, se realiza con el principio de la marca flotante o graficadoras basadas en este principio.

Fotogrametría analítica

Con la utilización de los restituidores analógicos y la incorporación de las computadoras se da inicio a la fotogrametría analítica. Se crea al restituidor analítico agilizando los tiempos y logrando niveles de detalle a diferentes escalas. Se posibilita la exportación de la información a programas como CAD. Esto únicamente supuso una evolución en el modo de trabajar apoyada por la aparición de los sistemas informáticos, obteniendo mejores precisiones y mayor rendimiento al sustituir la analogía mecánica por los cálculos matemáticos.

Fotogrametría digital

El paso de la fotogrametría analítica a la digital supone un cambio radical en cuanto a la instrumentación, al proceso fotogramétrico y a los resultados, brindando la oportunidad de poder extraer más información de “la misma materia prima”, es decir, de las fotografías aéreas.

Esta metodología se basa en una entrada en formato digital, un procesamiento casi completamente automatizado mediante el uso de un software especializado y una salida en formato enteramente digital.

El objetivo fundamental de un sistema fotogramétrico, cualquiera que sea la metodología empleada para su construcción es la obtención de información espacial de objetos a partir de imágenes de los mismos, en el caso concreto de los Sistemas Fotogramétricos Digitales, a partir de imágenes en formato digital.

En la actualidad, para la adquisición de imágenes digitales fotogramétricas son empleados dos procedimientos básicos:

1. Digitalización de imágenes analógicas adquiridas con cámaras fotográficas convencionales.
2. Utilización de sensores digitales, o bien sensores analógicos dotados de un conversor analógico/digital.

2.3.3.2 Vehículos aéreos no tripulados²

Dentro de la industria aeronáutica, el sector de los UAV (Vehículos Aéreos no Tripulados “Unmanned Aerial Vehicle”) es una de las áreas con mayor potencial de crecimiento. El hecho de que su uso se haya multiplicado en apenas unos años lo demuestra.

En comparación con los vehículos tripulados, estas aeronaves son más maniobrables y sus costes de explotación pueden ser inferiores. Además, con ellas se puede evitar el riesgo inherente a los vuelos tripulados en entornos hostiles, en condiciones de vuelo con escasa visibilidad, o en general, con condiciones climáticas adversas. Entre las aeronaves no tripuladas se tienen las guiadas (no propulsadas), los blancos aéreos (llamados Drones en la terminología anglosajona), los señuelos, los modelos recreacionales y/o deportivos de radio-control, las aeronaves de investigación, las aeronaves de reconocimiento, las de combate, e incluso algunos modelos más extraños de vuelo extra-atmosférico.

A continuación, podemos ver una línea cronológica de todos los nombres que han ido adoptando estos instrumentos a lo largo de la historia ver figura 2.8

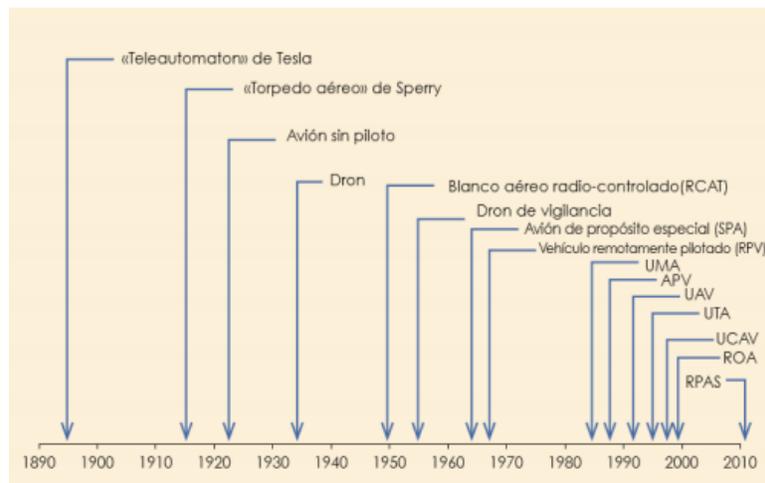


Figura 2.8. Línea cronológica de nombres que han ido adoptando los vehículos aéreos no tripulados a lo largo de la historia

² Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con Topografía clásica PAG.11

Definición UAV³

El término vehículo aéreo no tripulado, con sus siglas en inglés UAV (Unmanned Aerial Vehicle) se hizo común en los años 90's para describir a las aeronaves robóticas y reemplazó el término vehículo aéreo pilotado remotamente (Remotely Piloted Vehicle, RPV), el cual fue utilizado durante la guerra de Vietnam y con posterioridad. El documento Joint Publication 1-02, Department of Defense Dictionary editado por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos define UAV como:

Un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo a un operador humano, utilizan las fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación, puede volar autónomamente o ser tripulado de forma remota, que puede ser fungible o recuperable, y que puede transportar una carga de pago letal o no.

Los términos UAV y RPV no son más que dos entre cerca de la docena de nombres que han ido recibiendo las aeronaves robóticas no tripuladas a lo largo de su existencia.

UAVs en la Ingeniería Civil

Algunas aplicaciones de los Drones dentro del campo de la ingeniería civil son:

- Aplicaciones cartográficas. Mediante la creación de mapas catastrales a través de la digitalización de las ortofotografías georreferenciadas.
- Aplicaciones a la prospección y explotación de recursos minerales.
- Aplicaciones hidrológicas.
- Aplicaciones en agricultura. Como identificación de tipos de cultivo, recuento de plantas, medición del índice de área foliar, identificación de tipos de suelo y humedad de suelo, medición de la altura de la planta, control de deficiencias de nitrógeno, estimación de la biomasa, etc.
- Aplicaciones en el control de obras y evaluación de impactos.

³ Tesis, *Aplicación de fotogrametría aérea en Levantamientos topográficos mediante el uso de Vehículos aéreos no tripulado*, PAG.65-71

- Aplicaciones urbanísticas.

El conocimiento topográfico y cartográfico, del terreno o zona de estudio, está relacionado con el posible desarrollo urbanístico, gestión del patrimonio, hidrología, explotación de recursos minerales y otros más.

Limitaciones

A pesar de las enumeradas ventajas de la implementación del equipo tanto en el ámbito civil como militar, esta presenta algunas limitaciones actualmente:

- Dependencia de una estación de control en tierra (según su grado de autonomía).
- Vulnerabilidad y limitada capacidad de defensa.
- Limitaciones de peso y volumen de equipos a bordo.
- Dificultades de integración en el espacio aéreo.
- Dificultad en las capturas de fotografías a los puntos de coordenadas en áreas de alta vegetación.
- Limitante por el estado climático.

Dron



Figura.2.9 Dron DJI Phantom 4.

La palabra dron (avión o barco no tripulado, que puede navegar de forma autónoma) viene del inglés drone, la etimología de 'drone' viene de drān o drænan, abeja macho o zángano, en algunas lenguas europeas en el siglo XVI. El uso como nave no tripulada es de fines de la segunda guerra mundial. Hace referencia al zumbido producido por sus motores, similares al de los zánganos volando.

El uso de helicópteros y avionetas para la fotografía aérea desde comienzos del siglo XX ha hecho que aumenten las actividades de cartografía y sus posibilidades de forma sustancial.

Los UAV cuestan menos que otros sistemas tradicionales y no interfieren con las líneas aéreas comerciales, por lo tanto, pueden estar dispuestas más rápidamente. Los Drones presentan ciertas ventajas sobre los helicópteros y las avionetas, como lo es la maniobrabilidad, costo de adquisición, polivalencia y facilidad de operación, en el estudio que realizaremos para nuestra tesis utilizaremos el Drone DJI Phantom

La selección del equipo deberá tener en consideración, la naturaleza y tamaño del área o estructuras que se desean documentar, la resolución buscada, el clima en la zona de trabajo y el espacio que se tiene para realizar el despegue y aterrizaje del dron. Los UAV actualmente se reducen a dos categorías, de ala fija y ala rotatoria.

UAV de ala fija

Este se compone de un ala rígida que tiene una superficie de sustentación predeterminada, que hacen capaz el vuelo debido a la elevación causada por la velocidad de avance del UAV. Esta velocidad es generada por un empuje hacia adelante, por lo general, por medio de una hélice (El control del UAV proviene de las superficies de control integradas en el ala en sí, éstos tradicionalmente consisten en alerones, un ascensor y un timón.

Permiten al UAV girar libremente alrededor de tres ejes que son perpendiculares el uno al otro y se intersectan en el centro de gravedad del UAV. Suponiendo que la cámara está montada de tal manera que el eje x de la cámara apunta hacia el ala derecha, el eje y está apuntando hacia la cola y la lente esté apuntando hacia abajo, los ángulos yaw, pitch y roll se definen como se muestra en la figura 2.10. El ascensor permite controlar el Pitch (eje lateral), los alerones controlan el roll (eje longitudinal) y el timón el control del yaw (eje vertical). girada por un motor de combustión interna o un motor eléctrico).

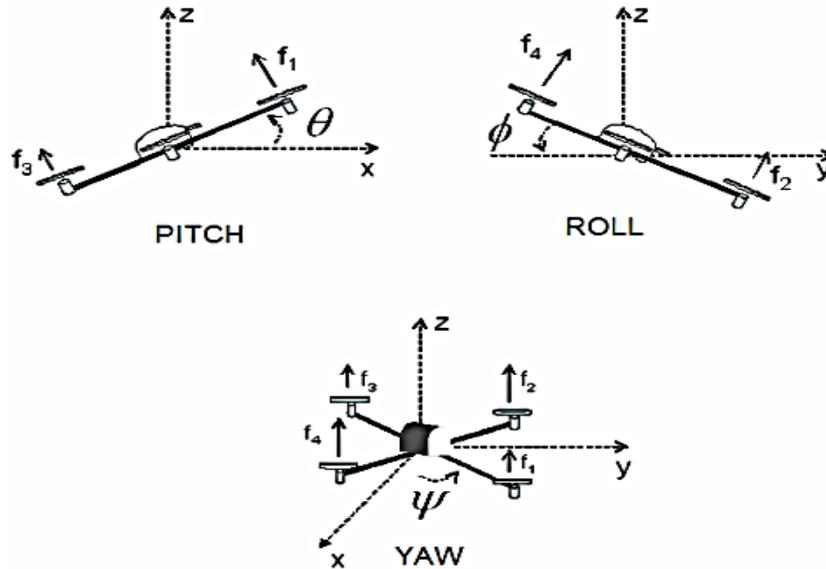


Figura 2.10. Representación del giro de la aeronave durante el vuelo.

UAV de ala rotatoria

Un UAV de ala rotatoria consiste en 2 o 3 palas de rotor que giran en torno a un mástil fijo, esto se conoce como un rotor. Estos vienen en una amplia gama de configuraciones que constan de un mínimo de un rotor (HELICÓPTERO), 3 rotores (TRICOPTER), 4 rotores (QUADCOPTER), 6 rotores (HEXACOPTER), 8 rotores (OCTOCOPTER), así como configuraciones más inusuales como 12 y 16 rotores.

Las palas del rotor funcionan exactamente de la misma manera que un ala fija, sin embargo, no es necesario un movimiento de avance constante para producir flujo de aire sobre las cuchillas. Las cuchillas en constante movimiento producen el flujo de aire requerido sobre su superficie de sustentación para generar la elevación.

El control de vehículos aéreos de ala rotatoria proviene de la variación en el empuje y el par de rotores de ella. Por ejemplo, el pitch hacia abajo de un QUADCOPTER se genera a partir de que los rotores traseros producen más empuje que los rotores en la parte delantera, esto permite que la parte trasera del QUADCOPTER se eleve más que la parte delantera produciendo así una actitud "nariz hacia abajo". El movimiento del ala utiliza la fuerza de torsión del rotor, donde rotores diagonales producen un desequilibrio en los ejes, causando que el QUADCOPTER gire sobre el eje vertical.

En la siguiente tabla (véase la Tabla.2.2) se muestra las diferentes características que ofrece cada tipo de equipo UAV.

Tabla 2.2. Características de los trabajos que pueden realizar los diferentes tipos de equipo UAV.

	ALA FIJA	MULTI-ROTOR
Cobertura	Grande	Pequeña
Altura de vuelo	70m - 160m	10m - 160m
Resolución de la imagen	cm/píxel	mm/píxel
Tiempo de vuelo	Largo	Corto
Resistencia al viento	Mucha	Poca

Uso de dron en topografía

El término adecuado para nombrar la ciencia que permite medir la superficie a través de fotografías (en este caso aéreas) es FOTOGRAMETRÍA. Es decir, con los drones no podemos hacer directamente topografía, sino que más bien tomamos fotografías sobrepuestas tanto transversal como longitudinalmente y utilizando el principio de estereoscopía podemos medir distancias y elevaciones, dado que tenemos dos o más fotografías del mismo punto, pero con diferente ángulo. Sin embargo, serán las características del proyecto las que determinen cuál es la mejor metodología a seguir; vuelo con dron, vuelo con avión o topografía tradicional (o un complemento de ellas).

Uno de los principales obstáculos para realizar levantamientos con dron es la vegetación (a menos que se cuente con un sensor lidar) por lo cual los drones y la topografía tradicional se utilizarán siempre como complementos y no como un reemplazo una técnica de la otra.

Uso de dron en cartografía

Los DRONE permiten alimentar plataformas UAV con información de imágenes de alto nivel de detalle, obteniendo así cartografía del sitio en estudio y pudiendo actualizarla en periodos de tiempo relativamente cortos, sirviendo de fuente de información oportuna para investigaciones y en la toma de decisiones.

Ventajas y desventajas del dron

Dentro de las principales ventajas tenemos la posibilidad de acceso a zonas de alto riesgo o difícil acceso, disminuir costos y bajar tiempos en trabajos de ingeniería, obtención productos de alta calidad y utilidad, en planificación y monitoreo, Captura un mayor número de puntos para crear las planimetrías, etc. Sin embargo, a pesar de todos los beneficios que nos ofrece esta tecnología, también es necesario comentar algunas desventajas, tanto en aspectos técnicos como también es aspectos éticos. En el aspecto técnico se menciona la posibilidad de romperse el canal de comunicación entre el operador y el DRON la influencia de fenómenos físicos (meteorológicos) en el funcionamiento del DRON, capacidad de vuelo limitada en la mayoría de DRON usados en trabajos de Ingeniería. En el aspecto ético destaca el uso inapropiado de imágenes o videos tomadas a gran resolución de individuos o espacios privados, constituyéndose en una seria amenaza a la inviolabilidad de la privacidad.

Métodos de navegación

Un método de navegación tiene por objeto guiar la aeronave entre un punto de partida y uno de llegada, conociendo su posición en todo momento. Generalmente las trayectorias vienen impuestas por el trabajo, de forma que la aeronave destinada al trabajo fotográfico no puede apenas separarse de su trayectoria, para asegurar el recubrimiento lateral. Existen varios métodos de navegación utilizados de forma tradicional en las tareas fotogramétricas y que tienen aplicación a la metodología planteada en el presente estudio, como son:

1. Navegación a simple vista con cartografía disponible.

Se representan los ejes de vuelo o pasadas y los puntos principales de los fotogramas, sobre los mapas-índices, con el menor error posible. Mediante UAV se podrá realizar a través de apoyo terrestre mediante una navegación guiada por puntos de referencia conocidos (puntos cardinales, alineamientos, etc.). En la fotogrametría tradicional el navegante tratará de seguirlos ayudado por las indicaciones de un telescopio de navegación, que permite usar referencias hacia adelante y hacia atrás.

2. Navegación a simple vista sin cartografía previa.

En casos donde la cartografía de la zona esté muy atrasada, sea inexacta o no exista se recurre a algún método "sin mapa", para obtener una completa cobertura fotográfica. Existen diversos métodos de navegación sin cartografía, entre los cuales están:

- **Sobrevuelo a mayor nivel:** Se usa este método cuando la zona de trabajo es relativamente pequeña (ciudades, áreas de ríos, pequeños proyectos de desarrollo, emplazamiento de presas, etc.). Este método consiste en fotografiar inicialmente la zona de trabajo desde una gran altitud y a menor escala; esto podrá realizarse de modo que se obtengan los mejores resultados posibles. Sobre las fotografías obtenidas anteriormente, se marcan las pasadas fotográficas a la escala correcta elegida para el vuelo final, ejecutando el vuelo basándose en la información obtenida.
- **Navegación de línea lateral:** Es el método más simple desde el punto de vista de la planificación, pero exige un gran respaldo en cuanto a producción fotográfica. Se basa en una o más pasadas principales que van a ser usadas para lo que se llama seguimiento de la línea lateral. De nuevo el bloque se planifica más grande de lo necesario.

Se realiza un vuelo de reconocimiento previamente para pruebas de exposición y planificación de la pasada principal. Efectuadas estas pruebas, se procede a la toma de las fotografías de la pasada principal con las especificaciones correctas para el vuelo; al final de la pasada la aeronave vuelve a la base y se procesan las fotografías. Se forma la pasada trazando una línea central (eje de vuelo) y a partir de ésta se trazan dos ejes paralelos con el recubrimiento lateral especificado. Una vez que están marcadas las dos nuevas pasadas se vuelve a realizar otro vuelo para la obtención de los fotogramas de las nuevas pasadas. El navegante usará como referencia para la toma de estas nuevas fajas, la línea del recubrimiento lateral, de esta forma tendrá una información terrestre visible en el área de recubrimiento.

Efectuadas estas nuevas tomas, la aeronave vuelve a la base, se obtienen las fotografías y sobre estas nuevas tomas se repite el proceso.

3. Sistemas de navegación avanzados.

Los sistemas electrónicos de navegación están basados en el conocimiento de las coordenadas de la aeronave respecto al terreno en cada momento del desarrollo del vuelo, con el fin de conducir automáticamente al vehículo a los puntos de exposición aérea, previamente establecidos en el planeamiento de vuelo. Dentro de estos sistemas destacan los siguientes:

- VLF/Omega: El usuario introduce la posición exacta del avión en coordenadas geográficas antes del despegue y los sistemas calculan los movimientos X e Y relativos a partir del despegue, presentando al usuario la posición y velocidad con respecto a la tierra y los errores de trayectoria, incluyendo la deriva. Este sistema se basa en el principio de "volar desde".
- Doppler: Basado en el radar Doppler y con el mismo principio que el anterior, este sistema controlado por el navegante mide la distancia y rumbo desde una posición de partida conocida.
- INS (Sistema de navegación inercial): Basado también en el principio de "volar desde", este sistema hace uso de los cambios relativos de dirección medidos dentro del avión, para estimar las coordenadas X e Y desde un punto de partida conocido.
- La tecnología GNSS (Global Navigation Satellite System), cuyo sistema más conocido, que no el único, es el GPS (Global Positioning System) permite determinar las coordenadas de cualquier punto de la superficie terrestre con gran precisión. El GPS en la actualidad es uno de los sistemas más utilizado en la realización de vuelos fotogramétrico, ya que permite obtener en modo cinemático posiciones en coordenadas X, Y, Z del orden del 0.5 m, permitiendo ser utilizado tanto en labores de navegación como en labores de obtención de ciertos elementos de la orientación externa, coordenadas de los

centros de proyección (X_0, Y_0, Z_0) , permite la generación automática de los gráficos de vuelo.

Los sistemas más utilizados en UAVs son los sistemas de navegación avanzada como el GPS y el INS.

Sistema de referencia

La primera indicación que se hace necesaria, es la de detallar el sistema de referencia en el que se desean obtener las coordenadas del trabajo.

En el procesamiento de datos se requiere conocer el sistema de coordenadas de las fotografías (escritas en el EXIF de las imágenes), así como de los puntos de apoyo (GCP) y puntos de control (Check Points) recolectados durante la fase del apoyo topográfico, donde se aclarará el significado de estos términos.

Un sistema de coordenadas es un conjunto de números y parámetros que se utiliza con el fin de definir la posición de cualquier objeto en el espacio 2D o 3D.

El sistema de coordenadas elegido depende de las necesidades del usuario final. Por lo general se podrán definir los siguientes sistemas de coordenadas para un proyecto:

- Sistema de coordenadas Global: Se definen mediante coordenadas 3D del elipsoide (latitud, longitud, altitud).
- Sistema de coordenadas Nacionales: Por lo general, se definen mediante una proyección definida para un país específico (X, Y, altitud).
- Sistema de coordenadas Local: Se definen mediante una proyección. El usuario establece el origen y la orientación en la que le es más conveniente (X, Y, altitud).

La altitud puede ser geométrica (utilizando como referencia el nivel del elipsoide) u ortométrica (utilizando como nivel de referencia el nivel medio del mar).

Plan de vuelo

El plan de vuelo se tiene que realizar con aplicaciones encargadas de la comunicación con el piloto automático, este se compone de una serie de Way Points

por los que debe sobrevolar el DRON, teniendo coordenadas en latitud, longitud y altura, además velocidad.

Para la realización de los vuelos se hace una previa planificación considerando ciertos factores:

- Escala final de la fotografía aérea.
- Traslape longitudinal y transversal.
- Velocidad de vuelo.
- Características de la cámara fotográfica como distancia focal y formato del chasis de la cámara (al ser analógica) o capacidad de almacenamiento interno (al ser digital).
- Líneas de vuelo.
- Longitud media de las líneas de vuelo.

Para una cobertura efectiva del terreno se toma, la distancia del isocentro longitudinal y lateral de cada fotografía, tiempos de vuelo y números de reabastecimientos; con lo que se diseña la altura de vuelo y el tiempo entre las capturas de la cámara. Ya que el plan de adquisición de imágenes tiene un alto impacto en la calidad de los resultados, es importante diseñarlo cuidadosamente. El levantamiento fotogramétrico con UAV, está limitado principalmente por el modelo de la cámara (tipo de lente y otras características internas) y el tiempo máximo que la aeronave se puede mantener en el aire sin necesidad de reabastecerse.

Por estas limitantes, para cumplir con el GSD requerido en el proyecto, se debe llegar a un acuerdo en la iteración de la altura de vuelo, traslape longitudinal y transversal entre fotografías y las dimensiones del área a cubrir en un vuelo.

Por las limitantes anteriores, para la definición de un vuelo fotogramétrico se propone seguir la siguiente directiva:

- Definición del GSD como punto de partida. El cual se plantea según los requerimientos de precisión del proyecto.

Intervienen:

- a. Parámetros de la cámara. El estudio de esta limitante define la Altura de Vuelo Máxima según la resolución de la fotografía.
 - b. Selección del traslape Longitudinal y Transversal. Según los requerimientos de cobertura de las fotografías sobre el terreno, así como de la disposición de la topografía de la zona (Terreno Montañoso, Cobertura vegetal densa, planicies, etc.).
- Dimensionamiento del área a cubrir en el vuelo. Definidas las condicionantes anteriores se procede a establecer las dimensiones del área de vuelo tomando en consideración la altura de vuelo seleccionada, traslape entre capturas fotográficas y las características operativas de la aeronave.

Intervienen:

- a. Características de la Aeronave. El estudio de esta limitante define el tiempo de Vuelo Máximo según la duración máxima de la aeronave sin necesidad de reabastecerse y la velocidad operativa del UAV.

Se podrá partir desde cualquier otra variable (distinta al GSD) para iniciar la definición del plan de vuelo como la altura de vuelo requerida, traslape, dimensiones de la malla y si el dron a utilizar no fuera limitante este también podría ser un punto de partida.

Orientación del vuelo

Siempre que sea posible, la orientación del vuelo debe elegirse de forma que se minimice el número de fotogramas necesario para cubrir totalmente el terreno en estudio. Si el terreno tiene una forma rectangular, lo más conveniente es que la dirección del vuelo sea paralela al lado mayor del rectángulo. De esta manera es más fácil adaptar las pasadas del avión a la forma del terreno reduciendo las zonas exteriores en los fotogramas, además la misma superficie se podrá cubrir con menor número de pares, lo que supondrá menos costos.

GSD y altura de vuelo⁴

Vuelos de mapeado 3D tratan con resoluciones en el rango de 1.00 a 10.00 cm/píxel y alturas de vuelo entre 80.00 y 200.00 metros. Sin embargo, muchas veces la altura máxima de vuelo es un factor limitante en el caso de utilizar UAVs, por lo que habrá que llegar a un equilibrio entre la altura de vuelo y el GSD.

Al momento de realizar el estudio no se cuenta con ningún reglamento o legislación que rijan el techo máximo permitido a este tipo de aeronaves ni su uso civil dentro del espacio aéreo del país.

Consideración del GSD y altura de vuelo

En la fotogrametría digital, por lo general se recomienda (para el procesamiento) que las imágenes sean capturadas a la misma altura de vuelo, ya que tendrían el mismo GSD si se usara la misma cámara. Esto significa que todas las imágenes tendrán el mismo nivel de detalles y facilita la coincidencia de puntos significativos entre las imágenes y, por lo tanto, ayuda a la reconstrucción.

Sin embargo, hay softwares que procesan imágenes con diferentes GSD como lo es el Pix4Dmapper también, siempre y cuando que el más alto GSD sea menor que dos veces el más bajo GSD ($GSD_1 \leq 2 \times GSD_2$).

Teniendo en cuenta que la altura de vuelo y el GSD tienen una relación lineal, para el mismo proyecto, capturado con la misma cámara, la mayor altura de vuelo en que se toman las imágenes no deben exceder de dos veces la menor altura de vuelo ($H_1 \leq 2H_2$).

Donde:

GSD = Distancia representativa en el terreno (cm/píxel).

H = altura de vuelo (m).

⁴ Tesis, *Aplicación de fotogrametría aérea en Levantamientos topográficos mediante el uso de Vehículos aéreos no tripulado*, PAG.91-94

Si se cubriera en un mismo vuelo una zona con variaciones de elevaciones (Figura 2.11) se podrá obtener otra limitante en relación a las elevaciones absolutas de las zonas a capturarse.

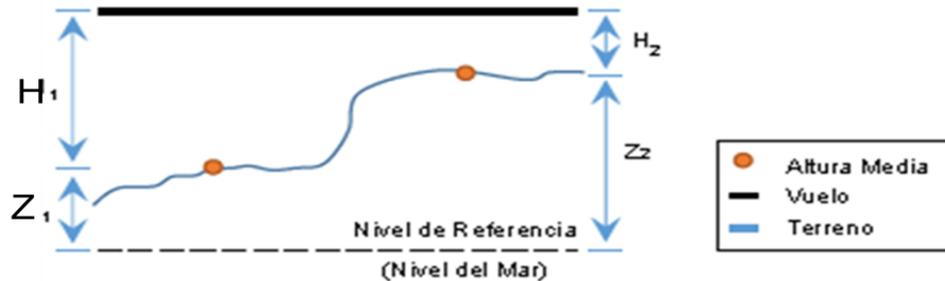


Figura 2.11. Vuelo en terreno con variaciones de elevación.

$$H_2 \geq Z_2 - Z_1$$

Z = Elevación media de la zona del terreno (m).

H2 = altura de vuelo menor (m).

Recubrimientos o traslapes⁵

En cada pasada que se realiza en el vuelo fotogramétrico, la cámara hace fotografías del terreno con un tiempo entre ellas, tal que, la distancia entre los puntos principales de dos fotografías consecutivas, permite la existencia de un solape o recubrimiento longitudinal fijado de antemano.

El objeto de los recubrimientos fotográficos es el de poder aplicar el principio de la visión estereoscópica a los fotogramas aéreos. La parte común entre dos fotografías consecutivas (véase figura 2.12), es el modelo estereoscópico, debiendo poderse enlazar estos modelos tanto longitudinalmente como transversalmente. Para vuelos fotogramétricos tradicionales y en condiciones ideales se recomiendan los recubrimientos siguientes:

Tabla 2.3. Recubrimiento recomendado para vuelos fotogramétricos.

⁵ Tesis, Aplicación de fotogrametría aérea en Levantamientos topográficos mediante el uso de Vehículos aéreos no tripulado, PAG.95-96

Tipo de terreno	Recubrimiento %	
	Longitudinal	Transversal
Llano	60	25
Ondulado	65-70	25-30
Montañoso	70-80	30-35

Figura 2.12. Solape longitudinal y transversa

Otros autores recomiendan que el recubrimiento requerido para la mayoría de los casos es 75% en la dirección de vuelo y un 50% de solapamiento lateral. Sin embargo, en terrenos difíciles tales como bosques, zonas de nieve o campo abierto estas cifras aumentan hasta el 85% y 60%.

Requisitos para la visión estereoscópica de fotografías

Para una visión plana en fotografía el traslape debe estar entre el 30% y 40%, y para una visión estereoscópica el traslape mínimo es del 60%. En visión binocular artificial se toman dos fotografías desde dos puntos de vista diferentes, cada una observada monocularmente (la fotografía izquierda con el ojo izquierdo y la derecha con el ojo derecho o viceversa) llegando al cerebro dos imágenes diferentes de un mismo objeto que producen una imagen tridimensional.

En dichas imágenes debe ser posible la acomodación y la convergencia de modo similar a como ocurre en el caso de la visión binocular normal, por lo cual dentro de la fotogrametría (principalmente la analítica) las fotografías deben satisfacer ciertas condiciones.

Recubrimiento longitudinal

En la práctica es habitual utilizar un recubrimiento longitudinal P del 60%. El recubrimiento longitudinal es el solape entre fotografías consecutivas en la dirección en que se mueve el avión. Con este valor tendremos la garantía de que pequeñas variaciones en la dirección de la toma o en la altura de vuelo, no van a provocar que algunas zonas del terreno sean cubiertas por un solo fotograma y no podrán ser restituidas (véase figura 2.13).

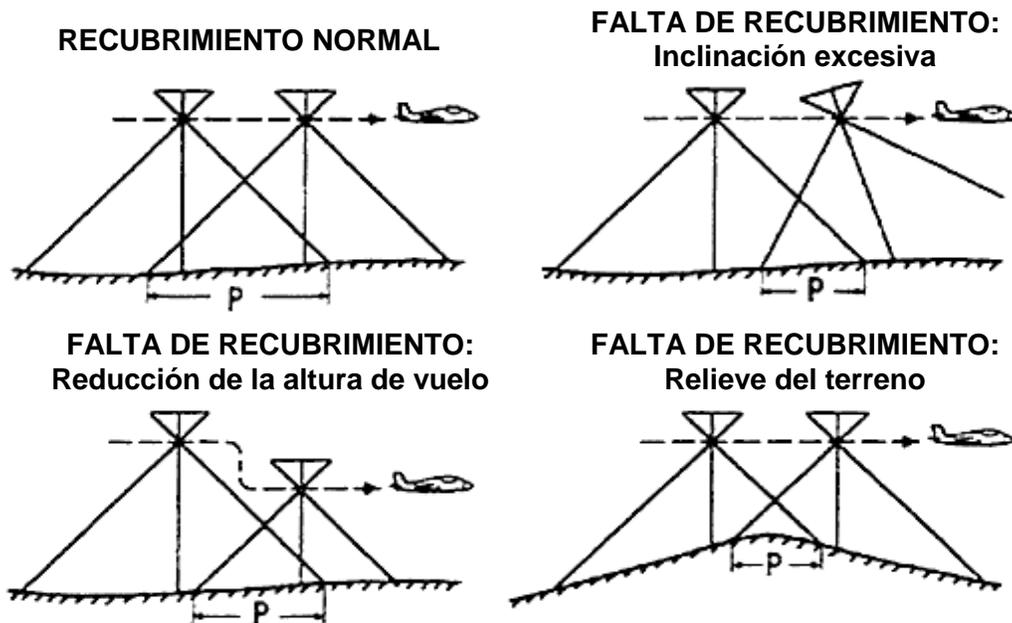


Figura 2.13. Posibles causas de que el recubrimiento entre dos fotografías consecutivas sea insuficiente: Inclinación excesiva de una de las dos tomas, variación brusca en la altura de vuelo, cambio brusco en el relieve

En el caso de que algunas zonas del terreno a levantar fotogramáticamente no quedasen cubiertas por dos fotografías, nos veríamos obligados a levantarla por procedimientos topográficos clásicos, o a efectuar un nuevo vuelo limitado a esa zona.

Normalmente, la zona del terreno a fotografiar no puede ser cubierta de una sola vez, por lo que se hace necesario varias pasadas con trayectorias paralelas entre sí.

Precisiones obtenidas⁶

Para la correcta precisión de un modelo fotogramétrico se debe tomar puntos de apoyo con GPS de doble frecuencia, lo cual determinaría una precisión óptima, estos puntos permiten corregir el modelo y ajustarlo a proporciones reales.

Una vez tomadas la fotografías, mediante un software fotogramétrico se procede a orientarlas, colocando coordenadas de vuelo de cada fotografía y mediante la restitución fotogramétrica se obtienen modelos digitales de superficie. La distribución de puntos de control en el área de estudio reducirá los errores de levantamiento, sin eliminar la naturaleza sistemática.

El margen de error en cuanto a precisión para las proyecciones “X” y “Y” es de 3.00 a 5.00 metros en cuanto a la elevación el máximo error admitido es de 1 metro, en cuanto a los pixeles a una altura de 100.00 metros la resolución varía de 4 a 5 pixeles.

Software⁷

La fotointerpretación es una herramienta muy útil para realizar la cartografía de un área, ya que permite determinar los elementos que intervienen en el terreno y medir sobre fotografías.

El desarrollo de programas especializados en fotogrametría, han facilitado el proceso de restitución, por lo que para el posterior manejo de los datos y la elaboración de la cartografía se pueden utilizar tres tipos de programas:

- Los programas orientados al Diseño Asistido por Computador (CAD), que son herramientas de diseño capaces de generar dibujos 2D y modelados 3D, que se basan en entidades geométricas vectoriales como líneas, puntos, arcos y polígonos.

⁶ Ing. Diego Neptalí Ruales Salazar, “Pertinencia del uso de Drones en la caracterización geoespacial del módulo dos juntas de agua de riego de la comuna Morlán, Imbabura” PAG.11

⁷ Tesis, Aplicación de fotogrametría aérea en Levantamientos topográficos mediante el uso de Vehículos aéreos no tripulado, PAG.81-82

- Los programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten combinar y relacionar diferentes elementos georreferenciados en el espacio.
- Programas para Teledetección que además de captar imágenes aéreas georreferenciadas permiten recoger imágenes de diferentes bandas del espectro electromagnético. Esto quiere decir que se obtiene información de la superficie que a simple vista no se podría captar ya que nuestros ojos solo permiten ver el espectro visible. Dependiendo del procesamiento informático que se haga en cada una de las bandas espectrales se mostrarán unos elementos u otros.

Procesamiento digital de imágenes

En la etapa de procesamiento de datos se utiliza un software especializado en fotogrametría que hace uso de los principios fundamentales de la técnica para hacer el tratamiento digital de las imágenes, integrando la información de cada imagen aérea georreferenciada y de los puntos de apoyo terrestre para la obtención de un modelo tridimensional de la superficie, una imagen rectificadas de la zona en tratamiento y la generación de cartografía básica.

Existe una variedad de programas especializados capaces de realizar procesamientos fotogramétricos, creando una nube de puntos con coordenadas x, y, z, un modelo digital del terreno y composición de una ortoimagen georreferenciada. Programas como Photomodeler, Agisoft Photoscan o Pix4D Mapper; algunos softwares libres como Open Drone Map, Visual SFM y el Open MVS, dichos software se encargan de generar un modelo con el conjunto de los datos obtenidos. El programa utilizado para realizar el desarrollo del levantamiento con Dron por medio de la fotogrametría es el Pix4D Mapper

Pix4D Mapper⁸

Pix4D Mapper, es un software especializado en fotogrametría que permite convertir imágenes en modelos 3D y ortomosaicos 2D georreferenciados. La creación de

⁸Tesis, *Aplicación de fotogrametría aérea en Levantamientos topográficos mediante el uso de Vehículos aéreos no tripulado* PAG. 153-155

proyectos en Pix4D se realiza a partir de conjuntos de imágenes tomadas de forma terrestre o aérea según el tipo de proyecto, haciendo posible el tratamiento de fotografías adquiridas diversas formas.

Pix4D Mapper permite procesar imágenes adquiridas con cámaras compactas ligeras, DSLR, de gran formato, de acción y con soportes. Compacta DSLR De gran formato de acción con soportes, figura 2.14.



Figura 2.14. Vuelo en terreno con variaciones de elevación

Tipos de cámara soportados por Pix4D

Las cámaras se pueden cargar en cualquier plataforma:

- UAVs para aficionados.
- UAVs profesionales.
- Aeronaves tripuladas.
- Helicópteros.
- Vehículos terrestres.
- Ninguna plataforma, para las imágenes terrestres (tomada con la mano).

Pix4Dmapper puede procesar las imágenes independientemente de las especificaciones espectrales de la cámara:

- Cámaras RGB.
- Cámaras NIR.
- Cámaras térmicas.
- Etcétera.

El software ofrece varias plantillas configuradas para el tratamiento de imágenes en casos particulares, permitiendo la creación de modelos 3D de objetos, mapas de reflectancia para agricultura de precisión y mapas 3D de superficies, entre otras opciones, siendo posible también crear plantillas personalizadas que se adapten mejor a las características particulares de cada proyecto.

Para la creación de mapas 3D el programa utiliza como imágenes de entrada cualquier fotografía aérea adquirida usando un plan de vuelo, sobre todo orientadas hacia el suelo.

En la etapa inicial del procesamiento Pix4D Mapper hace una triangulación aérea que permite la búsqueda de coincidencias entre fotografías para hacer emparejamientos y crear puntos de paso.

La segunda parte del procesamiento consiste en la densificación de la nube de puntos creada, donde es posible clasificar estos puntos entre terreno y objetos, según las dimensiones de cada conjunto de puntos. Luego de la densificación se crea la malla 3D texturizada, que es un modelo en tres dimensiones del terreno, donde son triangulados los puntos densificados de la nube.

Posterior a la segunda etapa se procede a la creación del ortomosaico, una composición de imágenes a la que se le han corregido todos los errores geométricos para que cada punto en el terreno sea observado desde una perspectiva perpendicular.

El software permite salidas en diferentes formatos digitales de los productos generados en las diferentes etapas, para poder darles un tratamiento en otros programas.

Los pasos a seguir para generar productos topográficos con Dron son:

1. Inspección de la zona de estudio

Como en cualquier trabajo topográfico, es necesario que primero se haga una revisión de la zona de estudio, preferentemente con visita a campo, pero de no ser posible, con el archivo kmz montado en google earth. Cosas importantes a considerar en este punto: la presencia de

vegetación, ya que no implica el mismo trabajo realizar un levantamiento en una zona completamente despejada con una zona llena de vegetación. Otro punto importante es la morfología del terreno, es decir, si la superficie es plana o es una sierra o un tajo o zonas con pendientes muy pronunciadas.

2. Puntos de control

Al momento de hacer un levantamiento topográfico con dron, siempre necesitamos poner puntos de control (GPC), estos puntos nos ayudarán a orientar nuestro modelo digital de superficie a un sistema de coordenadas para poder realizar su georreferenciación y alcanzar la exactitud y precisión requeridas tanto en planimetría como en altimetría. Para poder poner estos puntos de control se necesita un sistema de GPS diferencial o RTK. Se deben ligar los puntos a la estación más cercana de la Red Geodésica Nacional Activa.

Los puntos deben estar marcados (algunos lo hacen con cal, pintura, dianas), véase figura 2.15, para que se aprecien en las imágenes aéreas. Cosas importantes a considerar: El número de puntos. La ubicación de los puntos.



Figura 2.15. Señalización en puntos de control para sobrevolar la aeronave no tripulada.

3. Planeación y ejecución del vuelo

Existen muchas aplicaciones móviles para planear vuelos de dron, la elección de la más adecuada dependerá siempre del objetivo del proyecto y de la marca del dron. Los elementos más importantes al planear un vuelo fotogramétrico de manera tradicional eran el número de líneas de vuelo, la altura de vuelo, la velocidad del avión/avioneta, el porcentaje de

sobre posición de las imágenes tanto con las imágenes de su misma línea de vuelo como con las de líneas adyacentes, entre otros. El objetivo es cubrir cada parte del terreno, por pequeña que sea, para visualizarlo de manera estereoscópica con los vuelos de dron, estos parámetros siguen siendo algunos de los más importantes, y a pesar de que las aplicaciones móviles de planeación de vuelos son muy flexibles, es necesario conocer el fundamento fotogramétrico que permitirá llevar a cabo un buen trabajo.

Otro factor que puede influir es el tiempo, es decir las condiciones climáticas del día del vuelo, la temperatura es otro factor que puede afectar de manera directa la autonomía de vuelo, disminuyéndola considerablemente, los permisos que pueden llegar a requerirse en ciertas zonas, entre otras cosas, son puntos importantes a considerar también.

Al momento de realizar el vuelo, es importante que se establezca la zona de despegue/aterrizaje de dron, y de ser posible que se delimite con conos de seguridad. Al centro debe colocarse de preferencia la pista de despegue. Normalmente el piloto despegue de manera manual el dron, y posteriormente este comienza a realizar su recorrido planeado previamente. La aplicación dirá el tiempo aproximado en el que realizará la misión, aunque muchas veces no es muy exacto. No se debe perder nunca la visibilidad del vehículo Aéreo No Tripulado.

4. Procesamiento de la información

Un punto muy importante para procesar es el equipo de cómputo. Es necesario tener como mínimo una buena tarjeta de gráficos, un procesador potente como Core i7 y al menos 8 Gb de memoria RAM.

Para el procesamiento de las imágenes tomadas aéreas, los pasos más importantes dentro del proceso fotogramétrico son:

- a. **La rectificación simple**, donde se pretende corregir el efecto de la inclinación de la fotografía al obtenerla y así producir una imagen

a escala constante (pero aún desconocida) si el terreno u objeto fotografiado es relativamente plano.

- b. **Orientación Interna**, donde se recupera la geometría de cada una de las tomas fotogramétricas, utilizando las marcas fiduciales.
- c. **Orientación Relativa**, donde se crean modelos estereoscópicos y se encuentran las coordenadas de dichos modelos utilizando por lo general 6 puntos homólogos que se encuentren en el área de recubrimiento estereoscópico.
- d. **Aerotriangulación**, consiste en la determinación de puntos en el terreno mediante métodos fotogramétricos. La principal aplicación consiste en la determinación de los canevas de restitución, es decir, conseguir el suficiente número de puntos de apoyo para poder orientar absolutamente todos los pares estereoscópicos que intervengan en un proyecto cartográfico.
- e. **Orientación absoluta**, en esta parte se da escala y se nivela el modelo estereoscópico a partir de una serie de puntos de posición conocida. Es necesario disponer de una red de puntos de partida que no es determinada obligatoriamente sobre el terreno, sino también por triangulación aérea u otro método, para poder comparar las mediciones “modelo” con los de la “realidad”.
- f. **Restitución**, se obtienen detalles cartográficos de planimetría y altimetría para generar nuevos mapas o actualizar los existentes.

El **PIX4D**, permite en generar, nubes de puntos, modelos digitales de superficie, curvas de nivel, ortomosaicos, entre otros. Se debe recordar que a cualquier sistema al que se introduce información errónea, arrojará indudablemente resultados erróneos.

5. Formato y presentación final

Y como último paso, resta pasar al formato que se requiera la información, ya sea para manejarla en un entorno CAD (DXF, DWG) o en Sistemas de Información Geográfica (SHP), o darle formato para imprimirlo. No es el dron, es el procesamiento especializado de la información, lo que hace la diferencia.

CAPITULO III.

CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Lugares de ejecución del proyecto

3.1.1. Ubicación de las zonas de estudio

Las áreas donde se desarrolla el presente estudio se ubica en las coordenadas que se dan a continuación:

Tabla 3.1: ubicación de las áreas donde se realizarán los levantamientos.

Ubicación	Latitud (N)	Longitud (W)	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)
Ilopango – San Salvador	13°42'01.197"	89°06'09.141"	286522.013	488906.607	636.992
Ilopango – San Salvador	13°41'56.793"	89°06'35.760"	286387.032	488106.705	627.909
San Salvador- San Salvador	13°43'18.385"	89°12'03.447"	288900.821	478262.769	699.209



Figura 3. 1: Ubicación de la zona de estudio-Sherwin Williams - Ilopango



Figura 3. 2: Ubicación de la zona de estudio- Universidad de El Salvador - San Salvador

CAPÍTULO IV

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

4.1. Asignación de coordenadas de referencia

4.1.1. Visita de campo y selección de sitios

Para lograr establecer la poligonal, se realizó un recorrido por la bóveda que está en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, donde seleccionaremos aquellos sitios en los que es posible realizar mediciones con las tres técnicas, procurando que los puntos sean visibles entre sí.

Monumentación de vértices de la poligonal

Una vez verificados los sitios donde colocar los puntos, se procede a construir monumentos sencillos y prácticos para establecer físicamente la poligonal geodésica en la bóveda de la Facultad de Ingeniería Y Arquitectura.

Para dicha red se ocuparán un tipo de marca; Mojones de concreto simple con perno incrustado (véase la Figura 4.1).



Figura 4.1: mojón que conforma la poligonal en bóveda UES

A continuación, en la Tabla 4.1 se detalla para cada vértice de la poligonal el tipo de mojón asignado:

Tabla 4.1: Tipos de mojones utilizados en cada vértice de la poligonal.

Bóveda -UES		
N°	Nombre	tipo de monumento
1	FIA1	Mojón de Concreto
2	FIA2	Mojón de Concreto
3	PLG 1	Cilindro con perno.
4	PLG 2	Cilindro con perno.
5	PLG 3	Cilindro con perno.
6	PLG 4	Cilindro con perno.
7	PLG 5	Cilindro con perno.
8	PLG 6	Cilindro con perno.
9	PLG 7	Cilindro con perno.
10	PLG 8	Cilindro con perno.

4.1.2. Georreferenciación por el método estático.

En el desarrollo de esta técnica se planificó establecer dos vértices geodésicos de primer orden en la Universidad de El Salvador, visibles entre ellos y cuyo objetivo es funcionar como puntos de referencias geodésicos para el levantamiento topográfico en la bóveda, utilizando dichas coordenadas como referencia para los 3 métodos a utilizar en la tesis (Estación total, GPS de doble frecuencia, utilizando la técnica RTK y Dron).

Equipo utilizado:

1. Dos equipos Carlson con tipo de antena HSM320 para establecer coordenadas geodésicas.
2. Un equipo Leica con tipo de antena LEIC530.
3. Tres colectores de datos.
4. Tres trípodes.
5. Una cinta métrica de 3.00 metros.

Personal requerido:

1. Un técnico instrumentista.

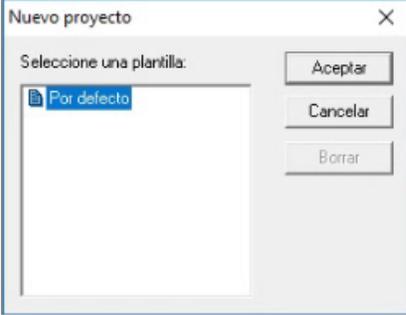
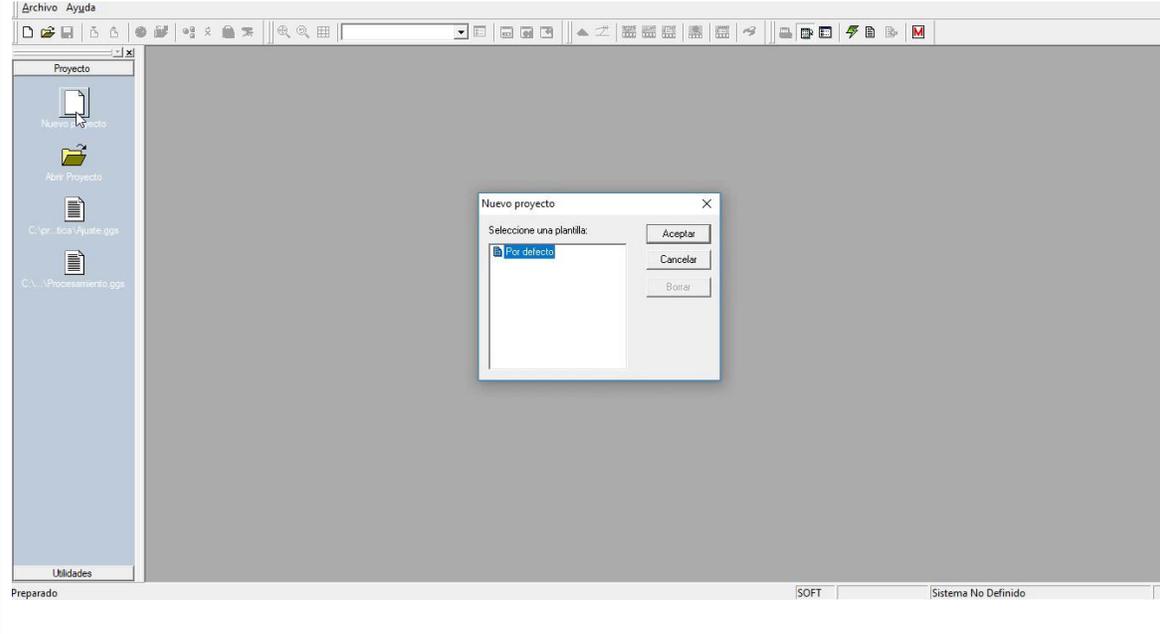
2. Dos auxiliares de topografía

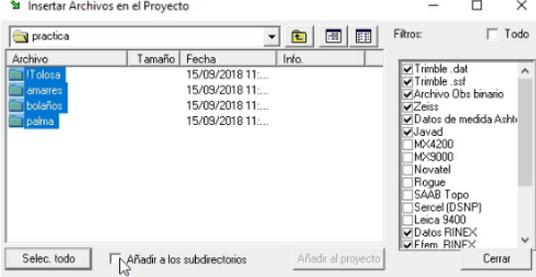
Procedimiento en campo

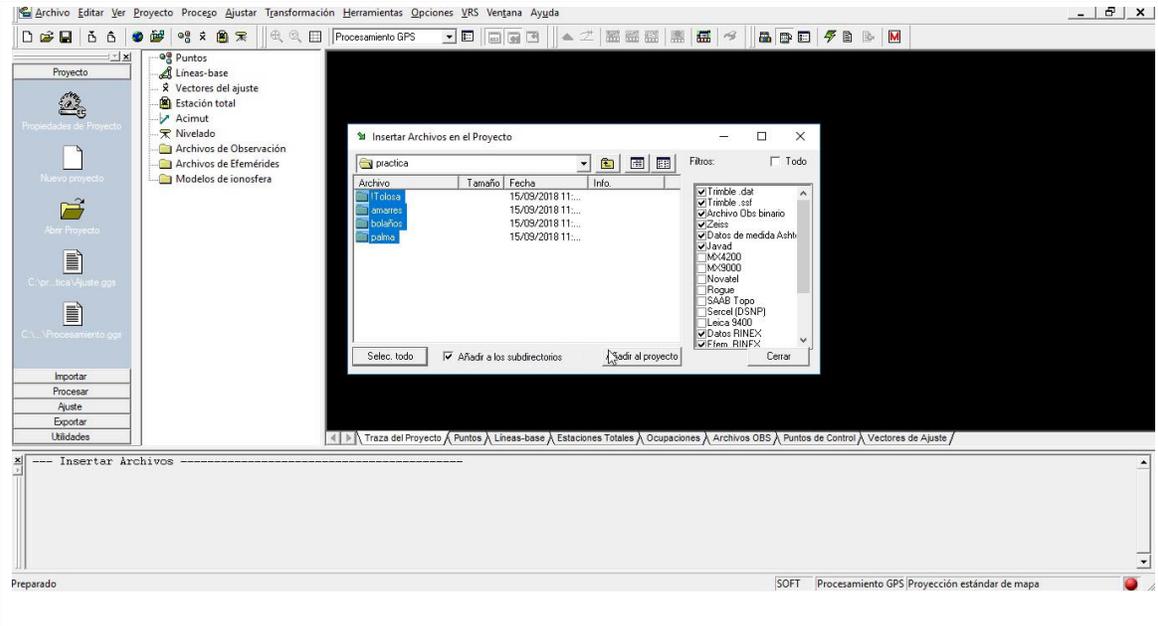
Para el establecimiento de los vértices geodésicos se aplica el procedimiento descrito en el subcapítulo 2.3.2.2

1. Montar los equipos GPS sobre los puntos a los cuales se le asignaran las coordenadas geodésicas
2. Configurar y enlazar los GPS y colectores con los parámetros necesarios para la medición.

Manual para el procesamiento de datos GPS por el método estático utilizando el software Trimble Total Control

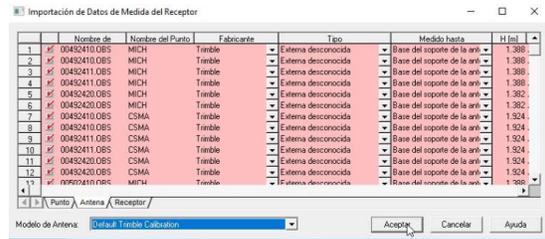
<p>1. Se inicia abriendo el programa Trimble Total Control instalado previamente dentro de nuestra PC.</p>	
<p>2. Presionaremos en el icono con nombre "Nuevo proyecto", que se encuentra al lado superior izquierdo de la pantalla para iniciar nuestro trabajo.</p>	
<p>3. Seleccionamos una plantilla de trabajo previamente establecida o seleccionamos la plantilla por defecto del programa y presionamos en aceptar.</p>	
 <p>La imagen muestra la interfaz de usuario del software Trimble Total Control. En la parte superior, se ve la barra de menú con 'Archivo' y 'Ayuda'. A la izquierda, hay un panel de 'Proyecto' con botones para 'Nuevo proyecto', 'Abrir Proyecto' y archivos de ejemplo. En el centro, se muestra la ventana de diálogo 'Nuevo proyecto' que permite seleccionar una plantilla, con 'Por defecto' seleccionada. En la parte inferior, se ve el estado del sistema como 'Preparado' y 'Sistema No Definido'.</p>	

<p>4. Presionamos el icono mostrado con nombre “Datos de medida del receptor” ubicado en la barra de herramientas superior.</p>	
<p>5. Dentro de la ventana emergente ubicaremos la dirección en la cual se ha guardado las carpetas con los datos previamente obtenidos de la memoria interna del GPS y tomados por el método estático en campo.</p>	
<p>6. Seleccionaremos los directorios a utilizar y presionaremos añadir al proyecto.</p>	

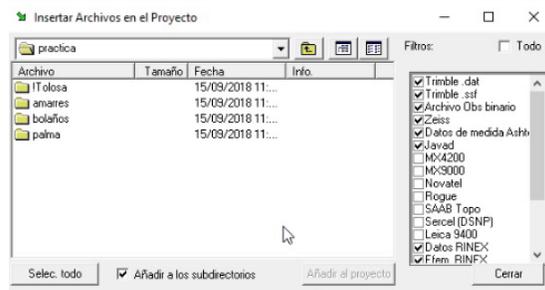


Preparado | SOFT | Procesamiento GPS | Proyección estándar de mapa

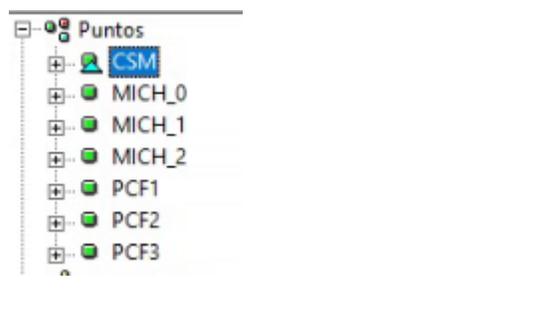
7. Nos aparecerá la siguiente pantalla con la información de los datos importados, en la cual presionaremos aceptar.



8. Presionaremos cerrar dentro de la pantalla de búsqueda de archivos una vez cargados los archivos a utilizar.



9. Presionaremos en el icono puntos para visualizarlos puntos cargados, aquí podremos unir aquellos datos que están montados dentro del mapa en un mismo lugar, en el ejemplo se observan aquellos que empiezan con nombre MICH.



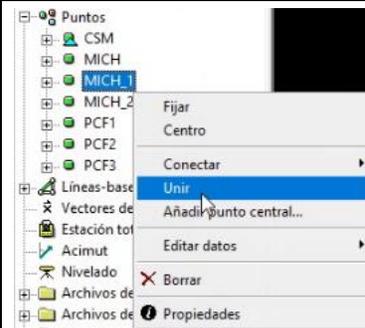
10. Presionaremos clic derecho sobre el nombre de cualquier punto a unir y luego seleccionaremos propiedades.



11. En el cuadro emergente dentro de la pestaña puntos asignaremos el nombre global que tendrán los puntos unidos, luego presionaremos asignar y cerraremos nuestra pantalla.



12. Presionaremos clic derecho sobre los puntos a unir con el punto anteriormente editado y seleccionaremos unir.



Archivo Editar Ver Proyecto Proceso Ajustar Transformación Herramientas Opciones VRS Ventana Ayuda

Procesamiento GPS

Proyecto

Propiedades de Proyecto

Nuevo proyecto

Abrir Proyecto

C:\pr...ica\ajuste.gps

C:\...rocesamiento.gps

Importar

Procesar

Ajuste

Exportar

Utilidades

Puntos

- CSM
- MICH_0
- MICH_1
- MICH_2
- PCF1
- PCF2
- PCF3

Líneas-base

Vectores de ajuste

Estación total

Acimut

Nivelado

Archivos de Observación

Archivos de Efemérides

Modelos de ionosfera

0m 500m 1km 1.5km

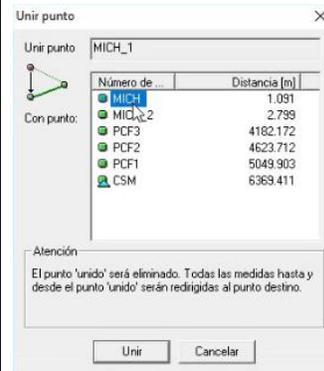
Trazo del Proyecto \ Puntos \ Líneas-base \ Estaciones Totales \ Ocupaciones \ Archivos OBS \ Puntos de Control \ Vectores de Ajuste

Archivo: C:\practica\palma\00492420.OBS ya se encuentra en el sistema
 Nombre: C:\practica\Tolosa\00492420.OBS
 Atención:
 Archivo: C:\practica\palma\00492420.OBS ya se encuentra en el sistema
 Nombre: C:\practica\Tolosa\00492420.OBS
 Preparar Estación de Ref.: MICH
 Preparar Archivos Binarios Efemérides (EF18)
 --- Generar Datos de Efemérides, (29/08/2018 01:28:45 p. m. - 30/08/2018 04:04:15 p. m.)
 Archivo 1: C:\practica\Tolosa\ecf2016.eph Correcto
 Preparar Intervalo de Procesamiento: 15.00 [seg.]

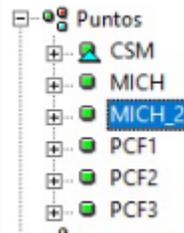
Preparado

SOFT Procesamiento GPS Proyección estándar de mapa

13. Seleccionaremos el punto con el que queremos unir nuestros datos y presionaremos nuevamente unir.



14. Repetiremos el paso anterior la veces que sea necesario hasta observar en nuestro mapa que no hay datos montados.



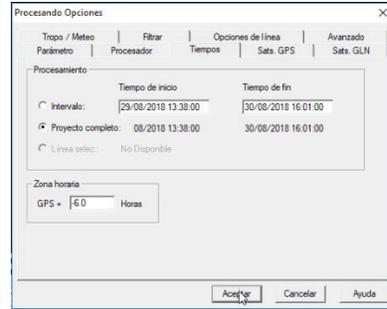
15. Presionamos la ficha "Opciones de procesamiento" para definir la zona horaria de acuerdo a la región en la que nos encontramos.



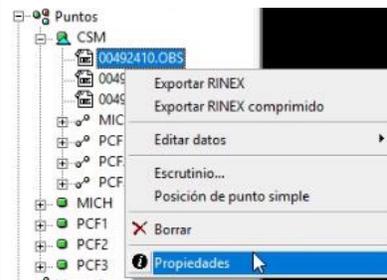
Atención: C:\practica\palma\00492420.OBS ya se encuentra en el sistema
 Nombre: C:\practica\Tolosa\00492420.OBS
 Preparar Estación de Ref: MICH
 Preparar Archivos Binarios Efemérides (EF18)
 --- Generar Datos de Efemérides. (29/08/2018 01:28:45 p. m. - 30/08/2018 04:04:15 p. m.)
 Archivo 1: C:\practica\Tolosa\ecf2016.eph Correcto
 Preparar Intervalo de Procesamiento: 15.00 [seg.]
 Unir MICH_1 en MICH
 Unir MICH_2 en MICH

Preparado SOFT | Procesamiento GPS | Proyección estándar de mapa

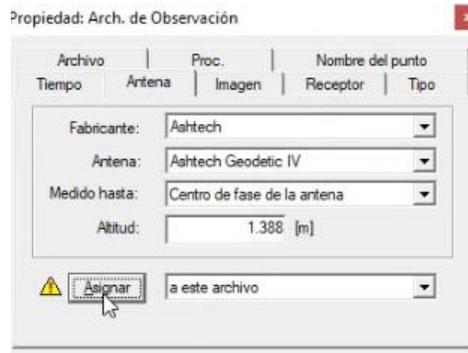
16. Dentro de la pestaña tiempos, seleccionamos la opción proyecto completo y de acuerdo a la zona horaria de El Salvador la cual es UTC-6 digitamos en el cuadro -6.0, luego presionamos aceptar.



17. Dentro de la pestaña puntos seleccionaremos los archivos con extensión .OBS de cada punto levantado con el método estático presionando clic derecho y seleccionando propiedades.



18. En el cuadro emergente nos iremos a la pestaña antena para establecer los parámetros de la antena utilizada en el levantamiento, fabricante, modelo de antena, punto hasta el cual se midió la antena y altura de la antena medida. Luego presionamos asignar.



Atención

Archivo C:\practica\palaa\00492420.OBS ya se encuentre en el sistema
 Nombre C:\practica\Tolosa\00492420.OBS
 Preparar Estación de Ref.: MICH
 Preparar Archivos Binarios Efemérides (EF18)
 --- Generar Datos de Efemérides. (23/08/2018 01:28:45 p. m. - 30/08/2018 04:04:15 p. m.)
 Preparar Intervalo de Procesamiento: 15.00 [seg.]
 Unir MICH_1 en MICH
 Unir MICH_2 en MICH

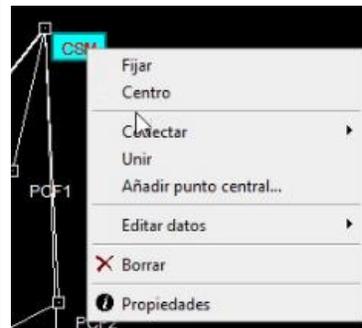
Preparado

SOFT Procesamiento GPS Proyección estándar de mapa

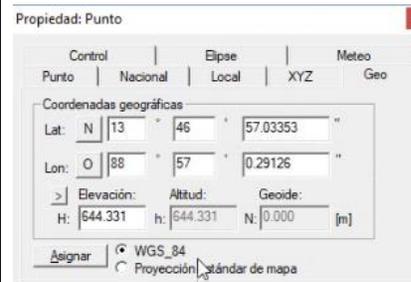
19.El paso anterior lo repetimos para cada uno de los archivos (OBS) de cada punto tomado. Como ayuda adicional en la pestaña imagen podemos observar una imagen del modelo de antena seleccionado y así estar seguros que estamos indicando la correcta.



20.Para establecer el punto con coordenadas conocidas nos ubicamos sobre el nombre de este presionando clic derecho, luego seleccionamos fijar para que la coordenada que le establezcamos no cambie por el proceso de triangulación y sean los demás puntos los que se ajusten con respecto al punto fijado.



21.Luego presionando clic derecho nuevamente sobre el punto fijo seleccionamos propiedades y nos dirigimos a la pestaña "Geo", dentro estableceremos las coordenadas Latitud, Longitud Y Altitud del punto fijo.

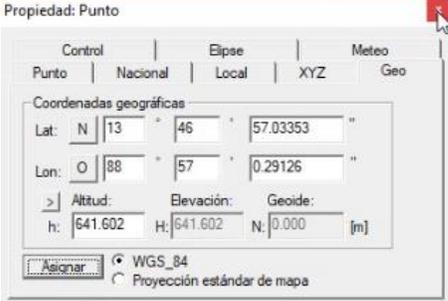
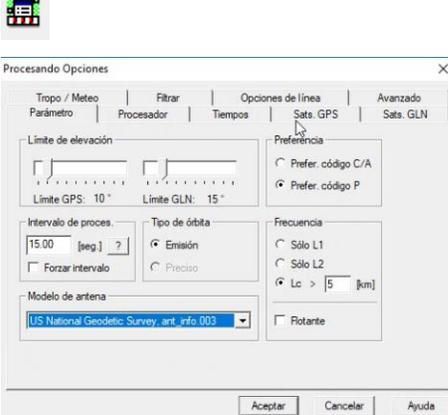
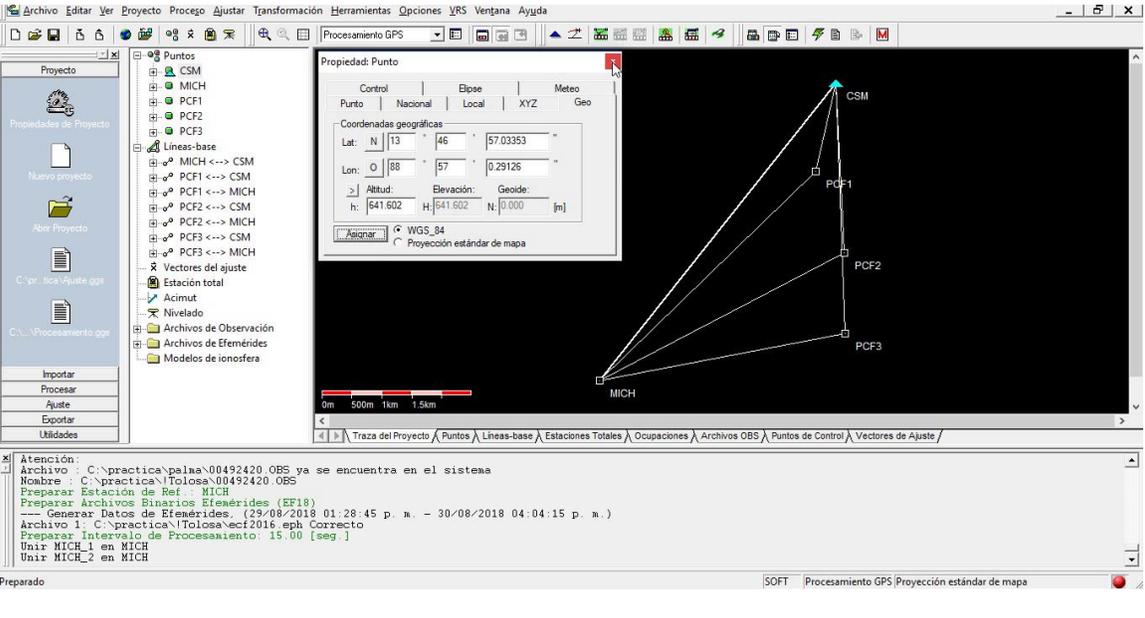


Atención:

```

Archivo : C:\practica\palma\00492420_OBS ya se encuentra en el sistema
Nombre : C:\practica\Tolosa\00492420_OBS
Preparar Estación de Ref MICH
Preparar Archivos Binarios Efemérides (EF19)
--- Generar Datos de Efemérides. (29/09/2018 01:28:45 p. m. - 30/09/2018 04:04:15 p. m.)
Archivo 1: C:\practica\Tolosa\ecf2016.eph Correcto
Preparar Intervalo de Procesamiento: 15.00 [seg ]
Uniz MICH_1 en MICH
Uniz MICH_2 en MICH
  
```

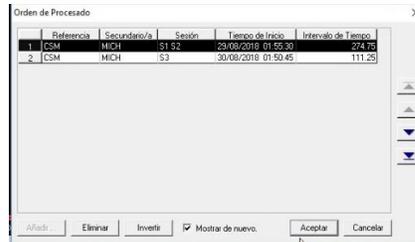
Preparado

<p>22. Para establecer la altitud presionamos en la flecha encerrada en el cuadro rojo hasta ubicarnos en altitud</p>	
<p>23. Una vez digitadas las coordenadas del punto fijo, presionamos asignar y cerramos la pantalla de propiedades</p>	
<p>24. Dentro de opciones de procesamiento deberemos establecer el modelo de antena en la pestaña parámetro como "US National Geodetic Survey.ant_info.003", luego presionamos en aceptar.</p>	
	

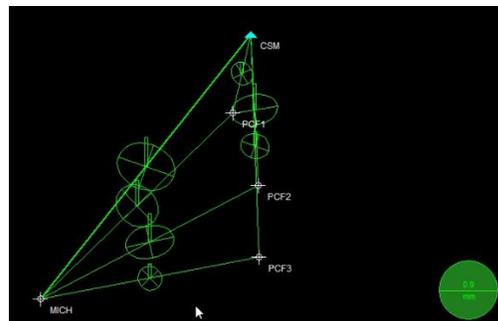
25. Para procesar los puntos nos colocamos sobre la línea que conecta el punto al que queremos establecerle coordenadas y el punto fijado, presionamos clic derecho y seleccionamos procesar.



26. Nos aparecerá el cuadro siguiente en el cual presionaremos aceptar, el paso anterior y este lo realizaremos para todas las líneas que conecten a los puntos a procesar con el punto fijo, así como las líneas que conecten entre sí a los puntos a procesar.

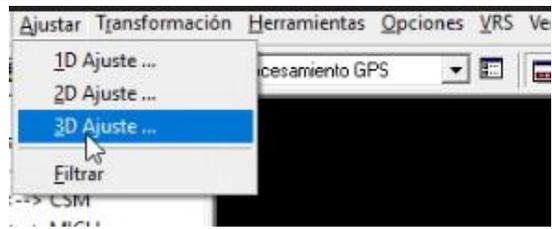


27. Al procesar cada una de las líneas se nos irán tornando de color verde, esto nos servirá para saber cuáles son las que ya hemos procesado y cuáles nos faltan procesar.



Atención:
 Archivo : C:\practica\palma\00492420_OBS ya se encuentra en el sistema
 Nombre : C:\practica\Tolosa\00492420_OBS
 Preparar Estación de Ref. : MICH
 Preparar Archivos Binarios Efemérides (EF18)
 --- Generar Datos de Efemérides. (29/08/2018 01:28:45 p. m. - 30/08/2018 04:04:15 p. m.)
 Archivo 1 : C:\practica\Tolosa\ecf2016.eph Correcto
 Preparar Intervalo de Procesamiento: 15 00 [seg.]
 Unir MICH_1 en MICH
 Unir MICH_2 en MICH

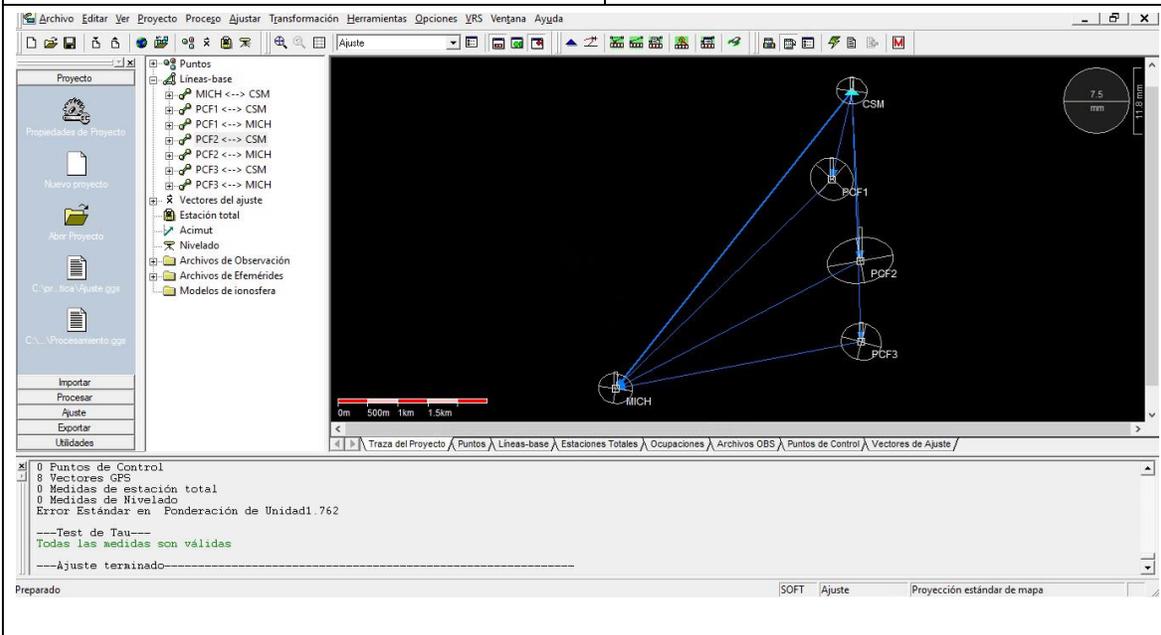
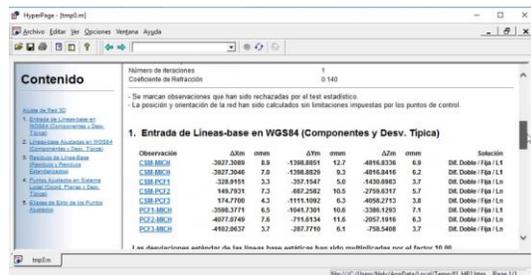
28. Dentro de la pestaña “Ajustar” de la barra de herramientas presionaremos la opción “3D Ajuste”.



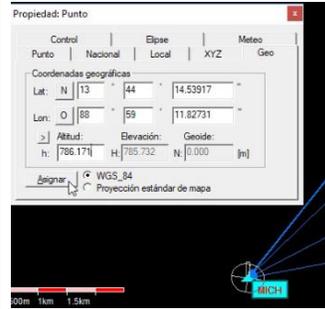
29. Dentro de la ventana emergente seleccionaremos tipo libre y luego presionaremos en el botón Ajustar.



30. Habiendo realizado el ajuste, se habrán establecido las coordenadas de los puntos que procesamos, para poder observar estas nos dirigimos a el botón informe en la ventana del paso anterior, se nos mostrara una página con los datos procesado, esta página podemos imprimirla o exportarla a un documento pdf.



31. Si contamos con dos puntos con coordenadas conocidas podemos obtener una mayor precisión en el proceso, para esto seleccionaremos el segundo punto del cual conocemos su coordenadas y repetiremos los pasos del 20 al 23 con este.



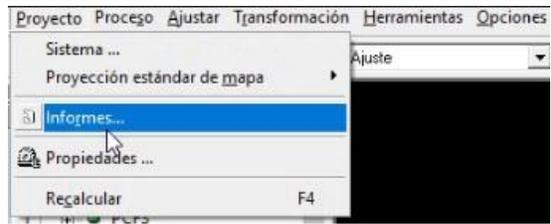
32. Debido a que ya teníamos enlazados los puntos entre sí y con la coordenada del segundo punto establecida y fijada, realizamos un nuevo ajuste como en el paso 28 y 29, pero en esta ocasión seleccionaremos en la opción con tendencia y presionamos ajustar



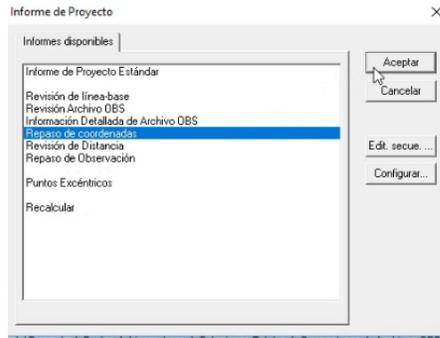
33. Igual que en el paso 30 podremos obtener un informe con las coordenadas de los puntos ajustados, finalizado esto solo deberemos, presionar el botón asignar y el proceso estará realizado.



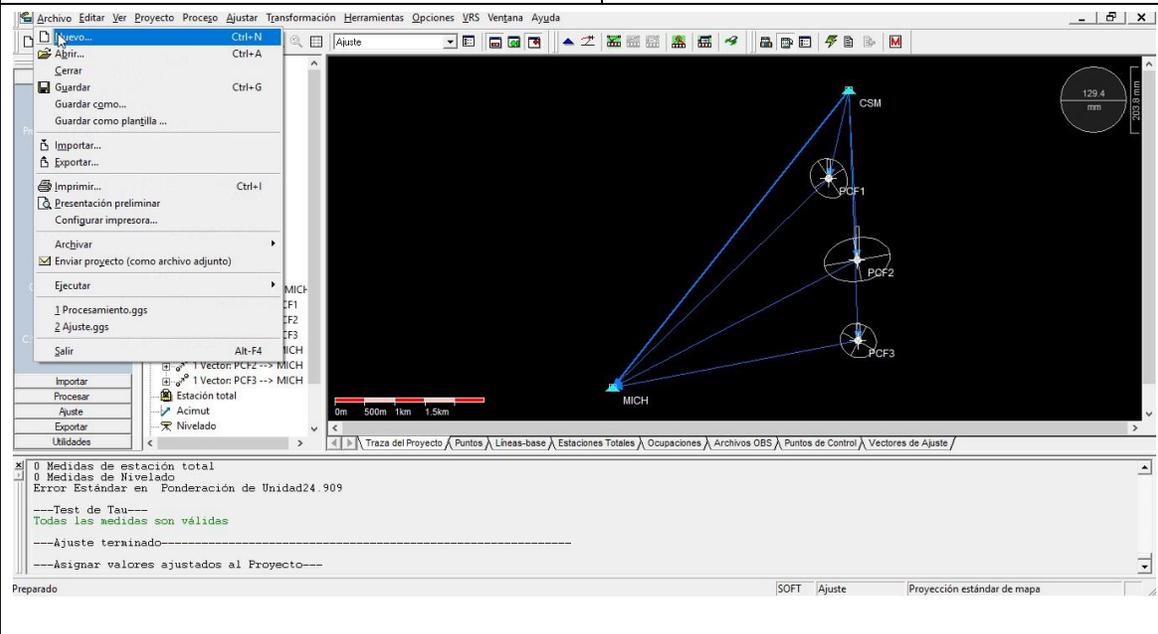
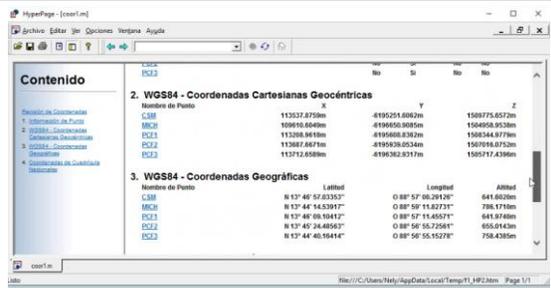
34. Para obtener el informe de las coordenadas ajustadas nos dirigimos a la pestaña proyecto en la opción informes.



35. Luego seleccionamos la opción repaso de coordenadas y presionamos aceptar, así obtendremos el informe con las coordenadas del levantamiento ajustadas



36. Este informe podremos imprimirlo o exportarlo a un documento pdf.



4.1.3. Resultado obtenido por el método estático:

Tabla 4.2: Coordenadas geográficas.

Nombre	Latitud	Longitud	Elevación Elipsoidal (m)
FIA 1	13° 43' 18.385" N	89° 12' 03.447" W	700.726
FIA 2	13° 43' 17.513" N	89° 11' 59.004" W	700.735

Tabla 4.3: Coordenadas de cuadrícula nacional.

Nombre	Este (m)	Norte (m)	Elevación Ortométrica (m)
FIA 1	478262.769	288900.821	699.209
FIA 2	478396.233	288873.913	699.219



Figura 4.2: Coordenadas FIA1 y FIA2

4.2. Levantamiento topográfico con Estación Total

4.2.1. Método de levantamiento topográfico utilizado

Se realizó el levantamiento por el método de poligonal cerrada para obtener las coordenadas de los puntos enumerados en la tabla: 4.1, tomando como referencia las coordenadas de los puntos FIA1 y FIA2 enumerados en la tabla: 4.3.

Equipo utilizado:

1. Una Estación total marca: Sokia set 610.
2. Dos trípodes.
3. Dos prismas.
4. Un colector de datos.
5. Una cinta métrica de 3.00 m.

Personal requerido:

1. Un técnico instrumentista.
2. Dos auxiliares de topografía

4.2.2. Resultados obtenidos:

Tabla 4.4: Coordenadas obtenidas con estación total.

ESTACION TOTAL			
PUNTO	Este (m)	Norte (m)	Elevación ortométrica (m)
FIA-2	478396.23	288873.91	699.219
FIA-1	478262.77	288900.82	699.209
PLG1	478345.50	288931.61	693.103
PLG2	478412.17	288906.20	692.116
PLG3	478379.77	288995.66	693.954
PLG4	478321.61	288963.24	692.605
PLG5	478248.01	289003.91	692.959
PLG6	478038.08	289013.36	692.869
PLG7	478259.53	288966.39	693.470
PLG8	478281.95	288934.26	698.062

4.3. Levantamiento topográfico con GPS de doble frecuencia método RTK

4.3.1. Descripción del trabajo de campo

1. Se instaló un GPS a utilizar como receptor base, éste permanecerá fijo, correctamente centrado y nivelado en el punto de coordenadas conocidas.
2. El receptor móvil se instala en un bastón con burbuja de nivelación, sin embargo, para trabajos que requieren mayores precisiones se recomienda utilizar el sistema trípode-bastón. El móvil se coloca en cada uno de los puntos a levantar.
3. Se debe configurar el equipo en dos partes, se configura el Receptor BASE en el colector con todos los parámetros relevantes; como la altura de la antena, la máscara de elevación y el tipo de conexión entre colector y receptor.
4. Se configuraron los parámetros del equipo que funcionó como Rover (Móvil), y la comunicación entre el receptor y colector, para la técnica RTK se recomienda que sea mediante bluetooth. Seleccionar el equipo correspondiente al Rover. Nota: El colector y el Rover deben permanecer a una distancia no mayor a tres metros entre sí.
5. Una vez configurada la Base y el Rover, se inicia el levantamiento, se sitúa el Rover sobre cada punto de interés tomando como consideración que la burbuja del bastón esté correctamente centrada y que los parámetros satelitales para realizar la medición sean aceptables.

Equipo utilizado:

1. Dos equipos GPS diferencial de doble frecuencia marca Carlson (Receptores), con todos sus accesorios y elementos necesarios para la medición.
2. Un colector marca Carlson.
3. Un trípode.

4. Un bastón
5. Una cinta métrica de 3.00 m.
6. Computadora

Personal requerido:

1. Un técnico instrumentista.
2. Un auxiliar de topografía.

4.3.2. Resultados obtenidos

Tabla 4.5: Coordenadas obtenidas con GPS.

GPS			
PUNTO	Este (m)	Norte (m)	Elevacion ortometrica (m)
FIA-2	478396.23	288873.91	699.219
FIA-1	478262.77	288900.82	699.209
PLG1	478345.48	288931.62	693.084
PLG2	478412.16	288906.22	692.143
PLG3	478379.75	288995.66	693.925
PLG4	478321.59	288963.26	692.617
PLG5	478247.99	289003.89	692.933
PLG6	478038.08	289013.38	692.846
PLG7	478259.51	288966.39	693.431
PLG8	478281.94	288934.27	698.024

4.4. Levantamiento topográfico con Dron por medio de la fotogrametría

4.4.1. Descripción del trabajo de campo

1. Verificación y preparación del equipo, se prepara el dron colocando sus baterías y las palas de rotor, véase figura 4.3.



Figura 4.3: Preparación del dron previo al vuelo. Fuente: propia

2. Colocar el dron en el punto donde se iniciará el vuelo y sincronizar con el computador vía wifi, véase figura 4.4 el cual permite un alcance de hasta 800.00 m.



Figura 4.4: Punto de partida del vuelo del dron, conectado al computador vía wifi. Fuente: propia

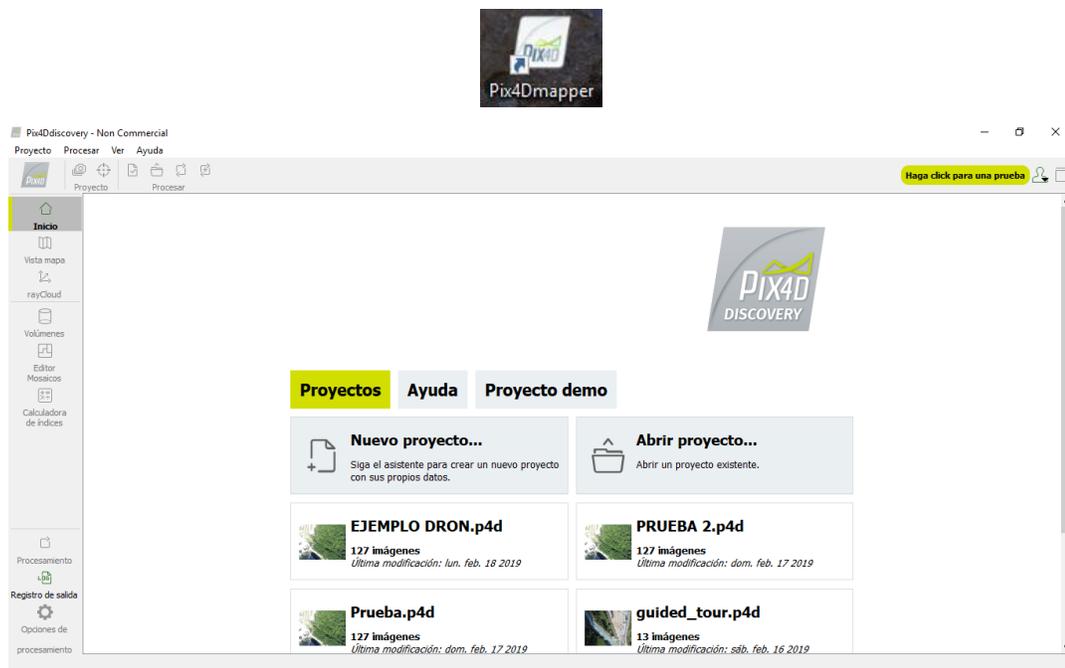
- Delimitar el área de vuelo para que el dron pueda generar su cuadrícula y cubrir toda el área en estudio, el Streaming llega directamente desde DJ Phantom 4 al Smartphone.



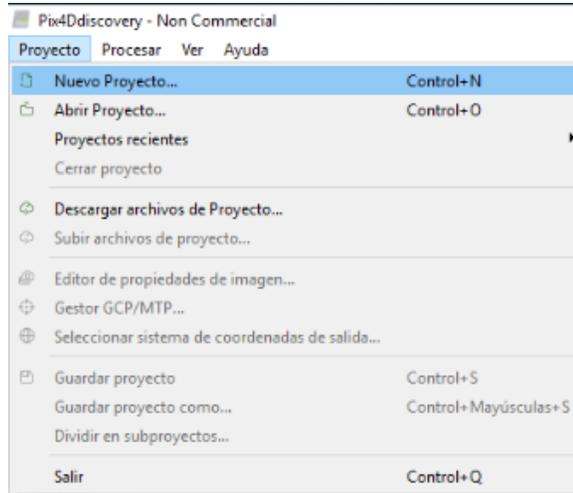
Figura 4.5: Streaming directamente del dron al Smartphone. Fuente: propia

4.4.2. Manual para el procesamiento Fotogramétrico con el programa Pix4d

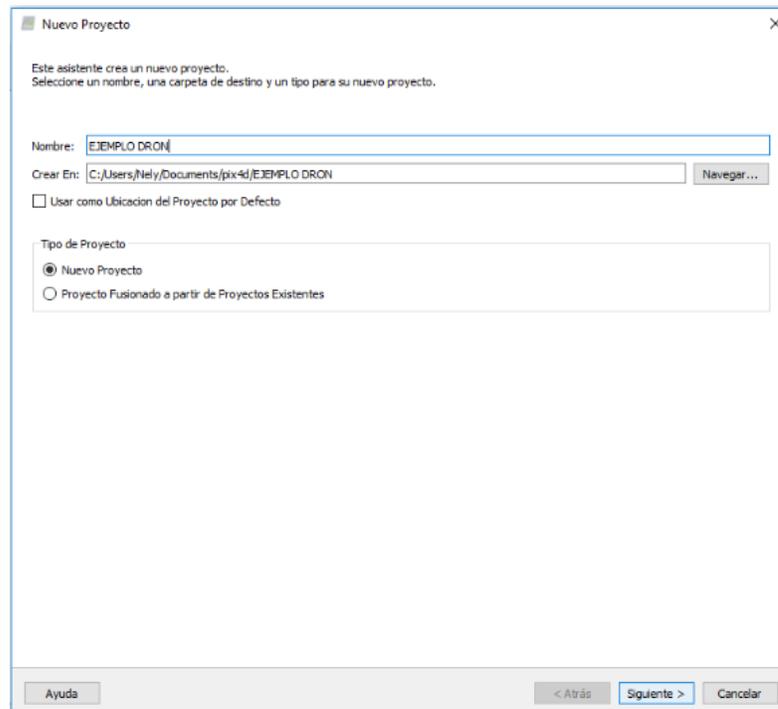
- Iniciaremos abriendo el programa previamente instalado:



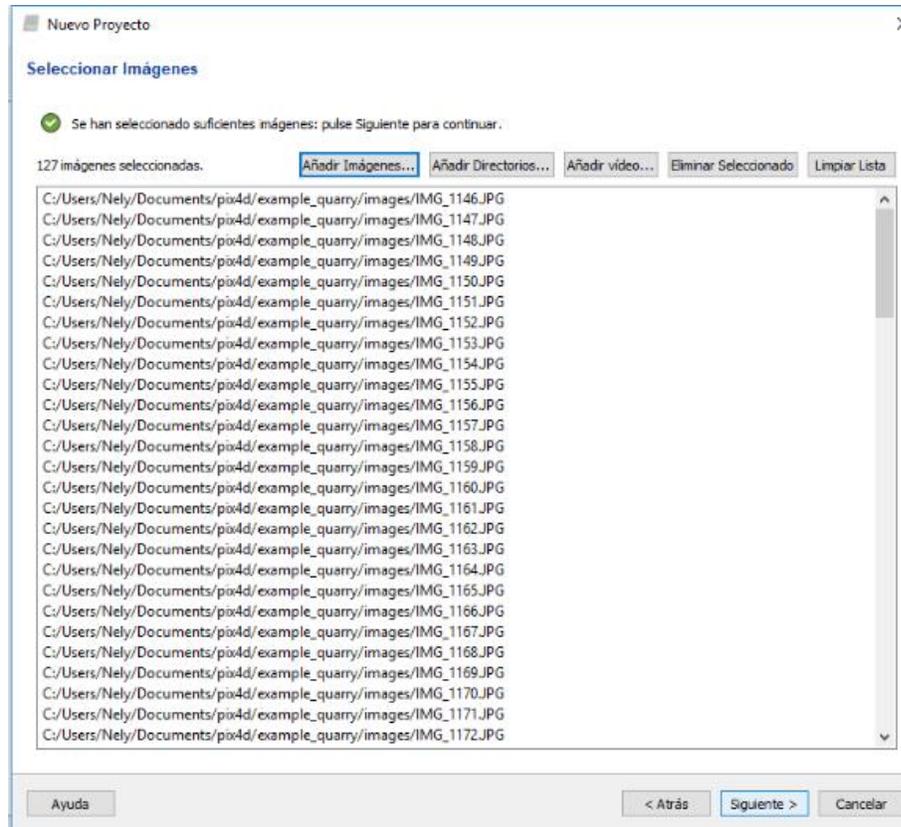
2. Dentro del entorno de trabajo nos dirigiremos a la pestaña superior izquierda con el nombre “Proyecto”, luego presionaremos “Nuevo Proyecto”.



3. Se nos mostrará una pantalla en la cual digitaremos el nombre de nuestro archivo, así como también buscaremos la ruta en la que se guardará; presionaremos el botón siguiente.



4. Seleccionaremos con el botón “Añadir Imágenes” todas las fotos a utilizar en nuestro proyecto dentro de la ruta en la que las tengamos almacenadas en nuestra computadora, presionaremos siguiente.



5. El asistente muestra la ventana “Propiedades de la imagen”. La geolocalización de la imagen se carga automáticamente desde los datos EXIF de la imagen y se proporciona en coordenadas WGS84 (latitud, longitud, altitud) con un sistema de coordenadas vertical dado por una Altura del Geode por encima del Elipsoide WGS 84 de 0 metros. El modelo de la cámara se carga desde la base de datos del modelo de la cámara (CanonIXUS220HS_4.3_4000x3000 (RGB)), presionamos siguiente.

Nuevo Proyecto

Propiedades de Imagen

Geolocalización de Imágenes

Sistema de Coordenadas

 Datum: World Geodetic System 1984; Sistema de Coordenadas: WGS 84 Editar...

Geolocalización y Orientación

Imágenes Geolocalizadas: 127 de 127 Limpiar De EXIF De Fichero... A fichero...

Precisión de geolocalización: Estándar Baja Personalizado

Modelo de Cámara Seleccionado

 CanonIXUS220HS_4.3_4000x3000 (RGB) Editar...

Activada	Imagen	Grupo	Latitud [grado]	Longitud [grado]	Altitud [m]	Precisión Horz [m]	F ^
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1146.JPG	group1	46.65611625	6.54326042	784.961	5.000	10.00
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1147.JPG	group1	46.65603320	6.54238450	780.934	5.000	10.00
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1148.JPG	group1	46.65609420	6.54155796	781.793	5.000	10.00
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1149.JPG	group1	46.65608730	6.54070200	780.951	5.000	10.00
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1150.JPG	group1	46.65613880	6.53983380	780.771	5.000	10.00
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1151.JPG	group1	46.65617870	6.53898330	779.702	5.000	10.00
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1152.JPG	group1	46.65620580	6.53813780	781.091	5.000	10.00
<input checked="" type="checkbox"/>	IMG_1153.JPG	group1	46.65624120	6.53729250	781.454	5.000	10.00

Ayuda < Atrás Siguiete > Cancelar

6. Se nos muestra la ventana “Seleccionar sistema de coordenadas de salida”. Por defecto, se selecciona el último sistema de coordenadas de salida seleccionado en el software. Seleccionamos “Detección automática”, luego Seleccionaremos “Opciones de coordenadas avanzadas” y, bajo Sistema de coordenadas verticales, seleccione Altura del geode sobre el elipsoide WGS 84. Establezca el valor en 0 y presionaremos siguiente.

The screenshot shows a software window titled "Nuevo Proyecto" with a close button (X) in the top right corner. The main content area is titled "Seleccionar Sistema de Coordenadas de Salida".

Under "Sistema de coordenadas seleccionado", there is a grid icon and the text: "Datum: World Geodetic System 1984" and "Sistema de Coordenadas: WGS 84 / UTM zone 32N".

Under "Sistema de Coordenadas de Salida/Puntos de Apoyo", there is a "Unidad:" dropdown menu set to "m". Below it are three radio button options: "Sistema de coordenadas arbitrario [m]", "Auto detectado: WGS 84 / UTM zone 32N" (which is selected), and "Sistema de coordenadas conocido [m]". Below these is a search bar with a magnifying glass icon and the placeholder text "Busca sistema de coordenadas".

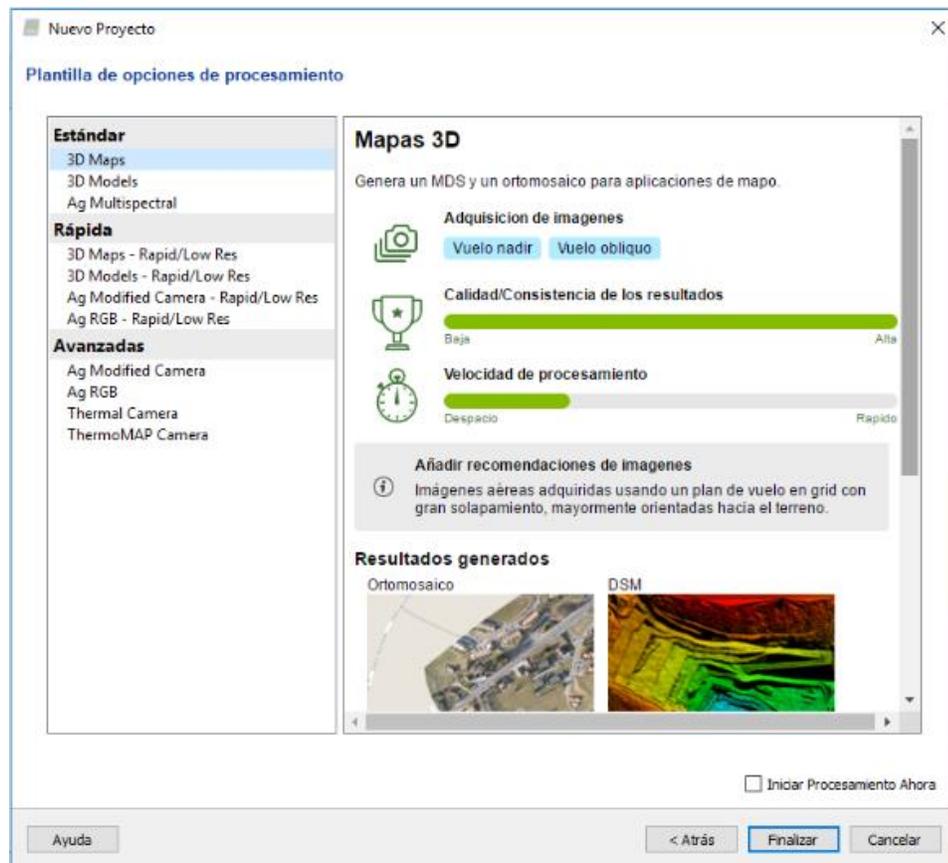
Under "Sistema de coordenadas vertical", there are three radio button options: "MSL" with a dropdown menu set to "Expresado en metre sobre WGS 84", "Altura del geode WGS 84 sobre el elipsoide [m]" with a text input field containing "0.000" (which is selected), and "Arbitrario".

At the bottom left of the dialog is a checkbox labeled "Opciones avanzadas de coordenadas" which is checked. At the bottom of the dialog are three buttons: "Ayuda", "< Atrás", and "Siguiete >" (with a typo), and "Cancelar".

7. Se nos muestra la ventana “Plantilla de opciones de proceso”. Hacemos clic en Mapas 3D para seleccionar la plantilla.

Nota: Como el objetivo de este proyecto es generar el DSM y el Orthomosaic, y como se ha tomado usando imágenes de nadir aéreas, la plantilla que se seleccionará es los “Mapas 3D”.

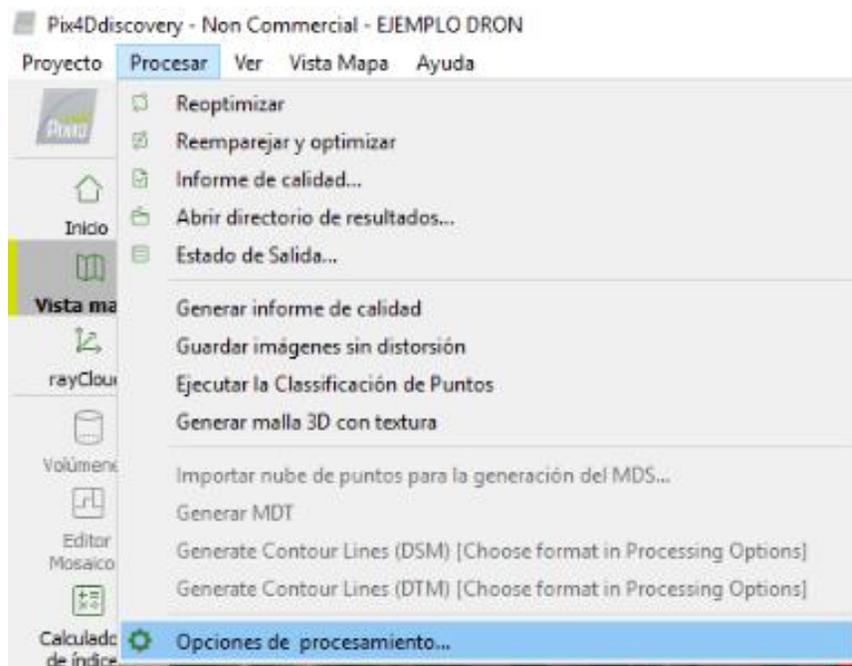
Hacemos clic en “Finalizar” para finalizar el asistente y crear el proyecto.



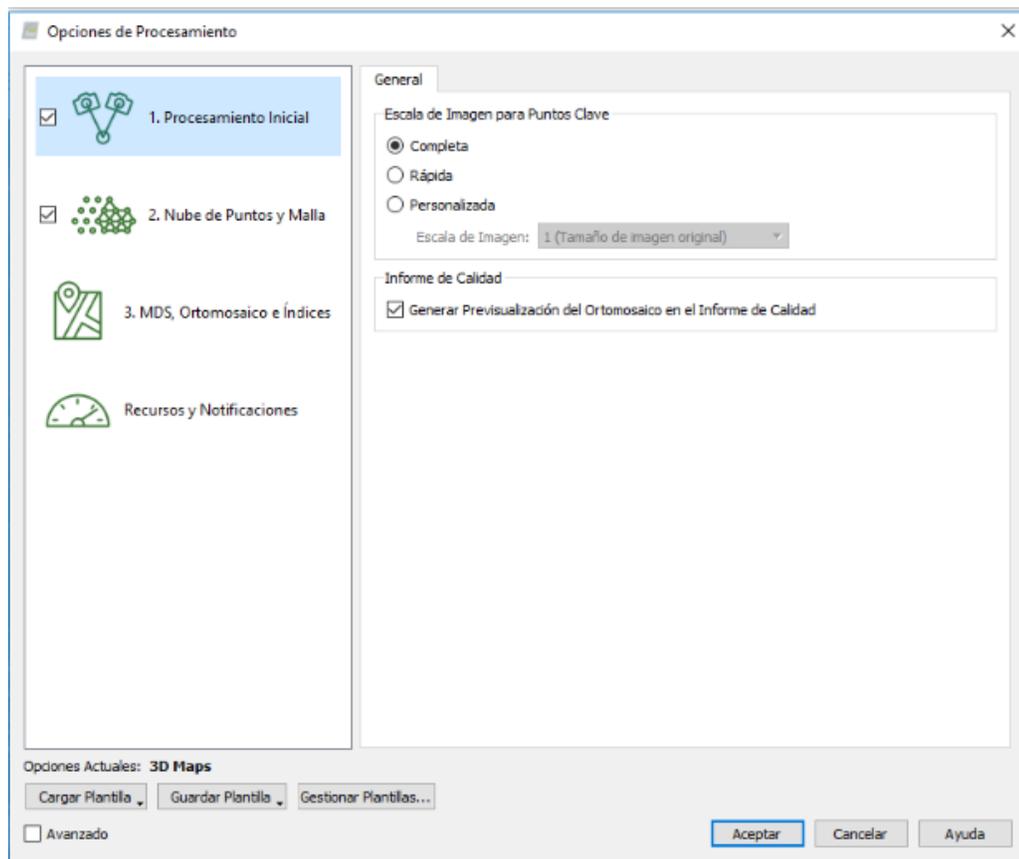
8. La barra de procesamiento se abre en la parte inferior de la ventana principal, también podemos observar el plan de vuelo utilizado por el dron sobre un mapa satelital proporcionado por Pix4d.



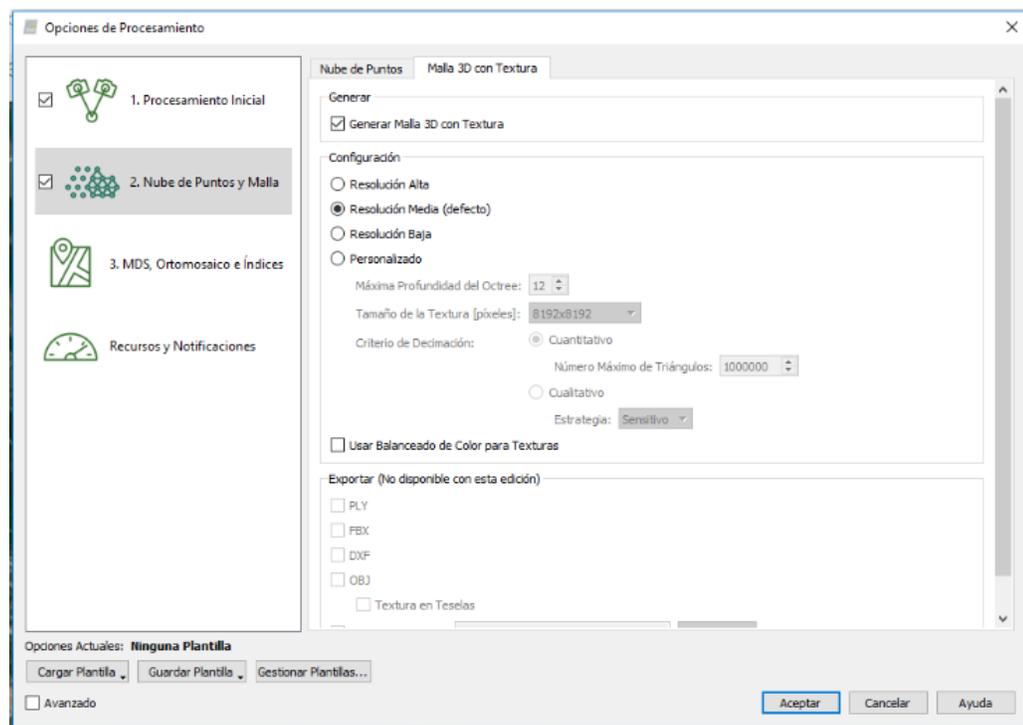
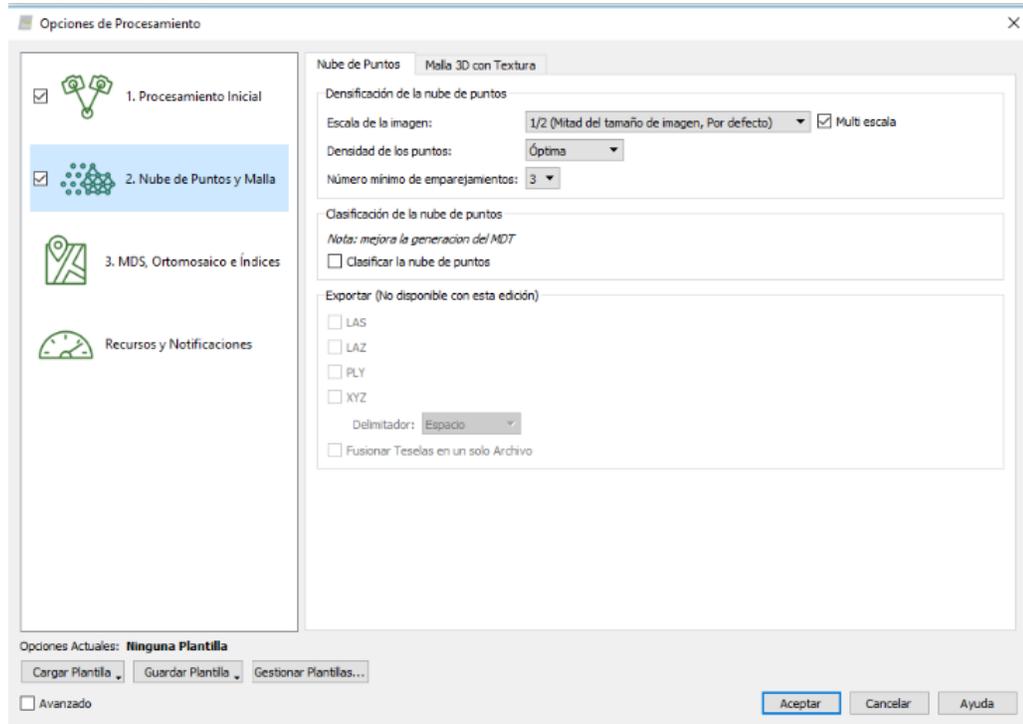
9. En la parte superior izquierda dentro de la pestaña procesar podremos seleccionar “Opciones de procesamiento” para cambiar las opciones de calidad y precisión de nuestro trabajo, así como los recursos de hardware que dispondremos para realizar dicho procesamiento.



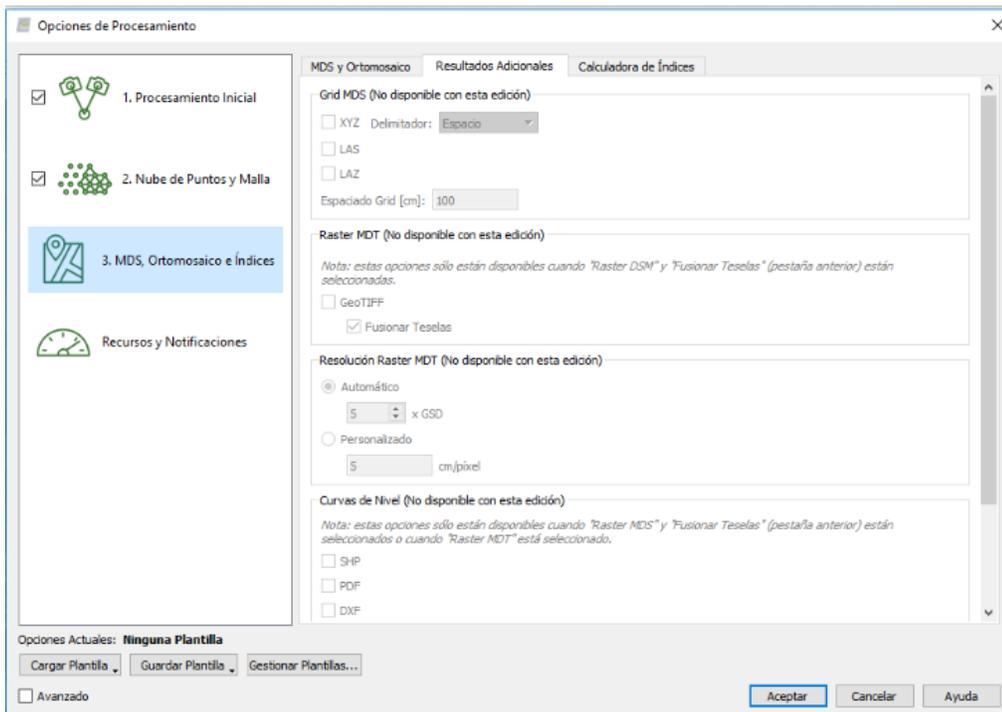
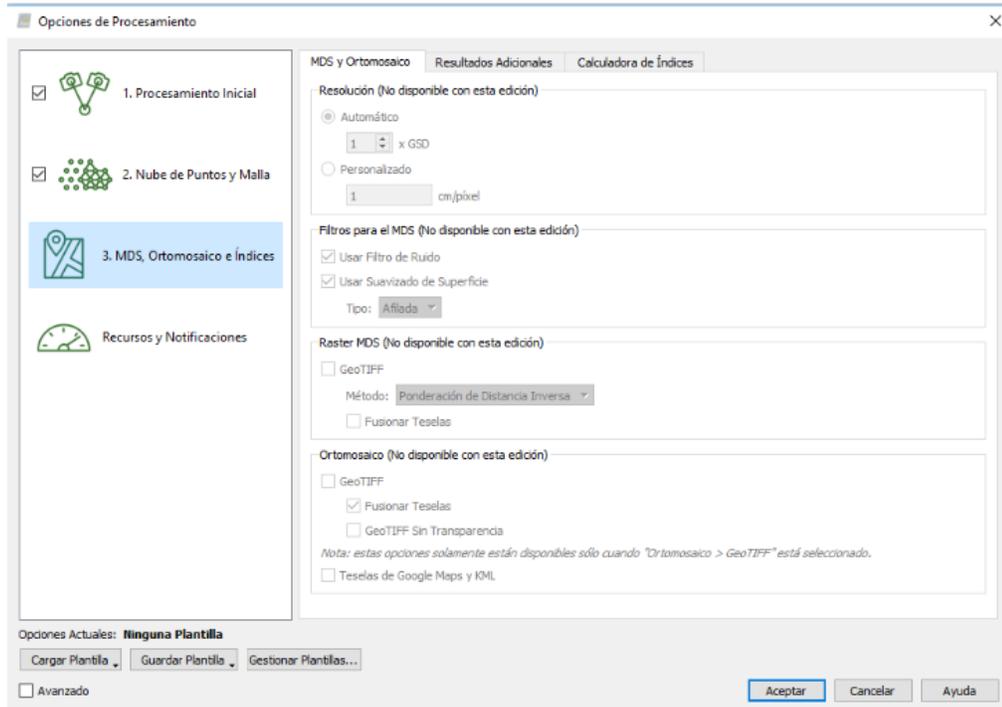
10. En “1. Procedimiento inicial” podremos definir la escala que tomará de las imágenes para realizar un primer procedimiento de éstas.

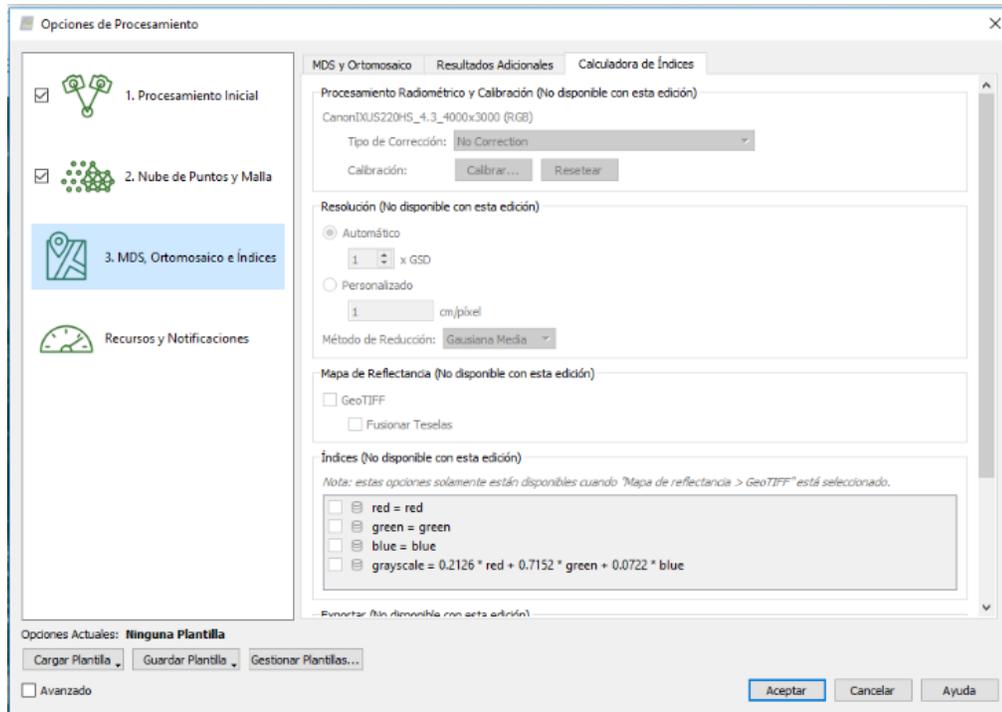


11. En la opción “2. Nube de puntos y malla” seleccionaremos la calidad que tomará de las imágenes para poder generar la nube de puntos densa, así como la malla de superficie.

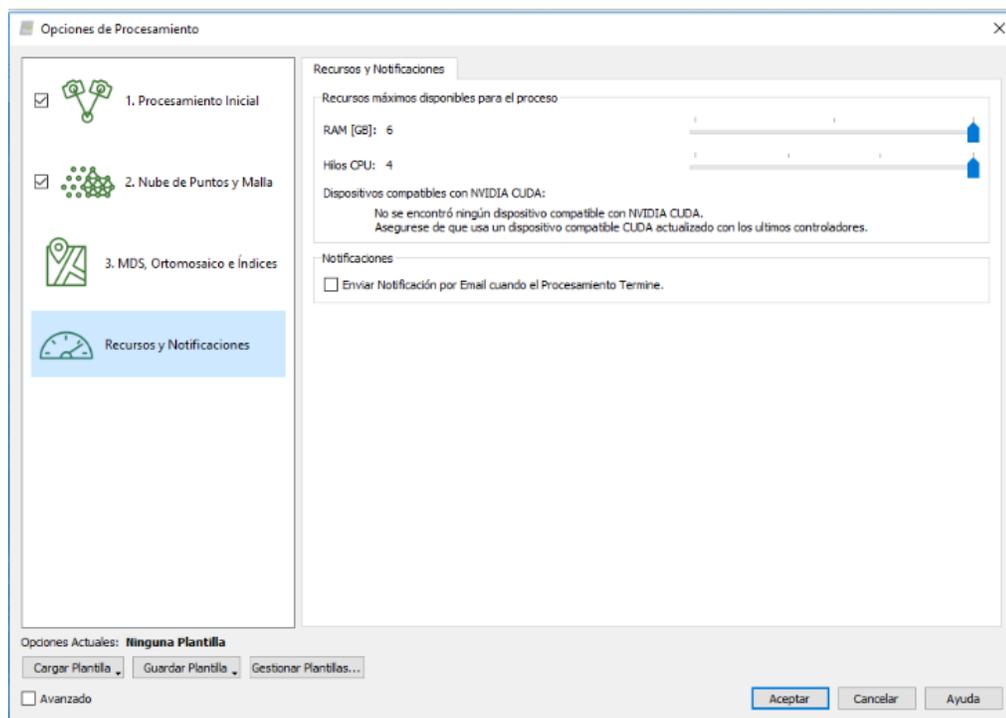


12. Dentro de la opción “3. MDS, Ortomosaico e índices” podremos seleccionar los resultados que obtendremos del procesamiento de las fotos, así como la cantidad de información obtenida de cada resultado y precisión de los datos de salida.



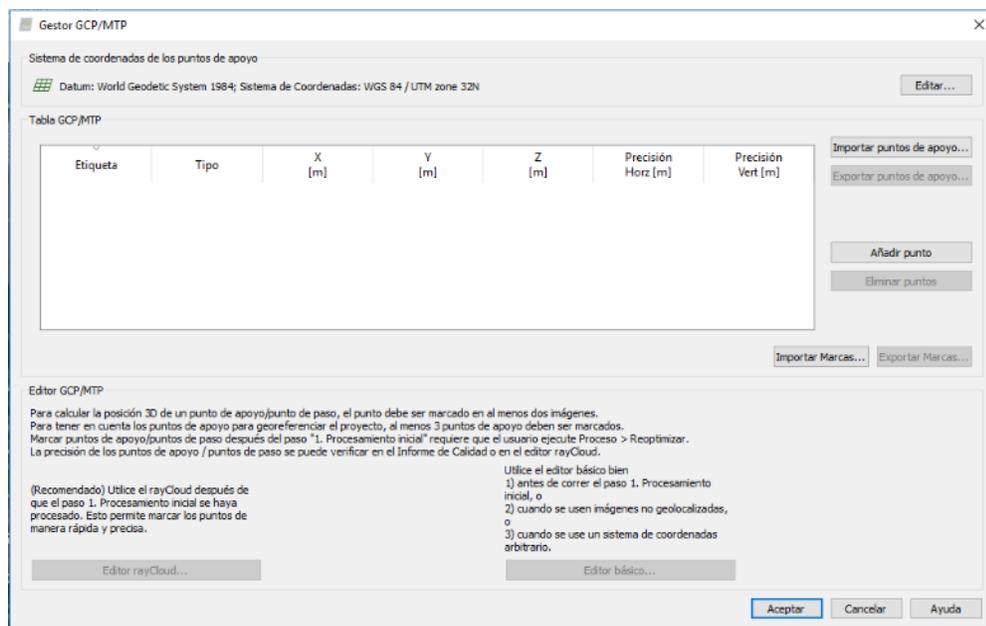
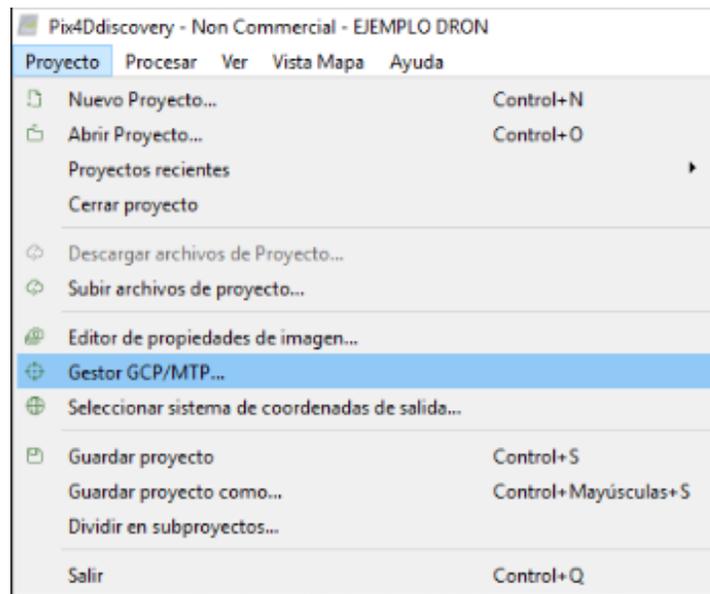


13. Por último en la opción “Recursos y Notificaciones”, seleccionaremos los recursos que destinaremos de nuestra computadora para que realice el procesamiento de las fotos.

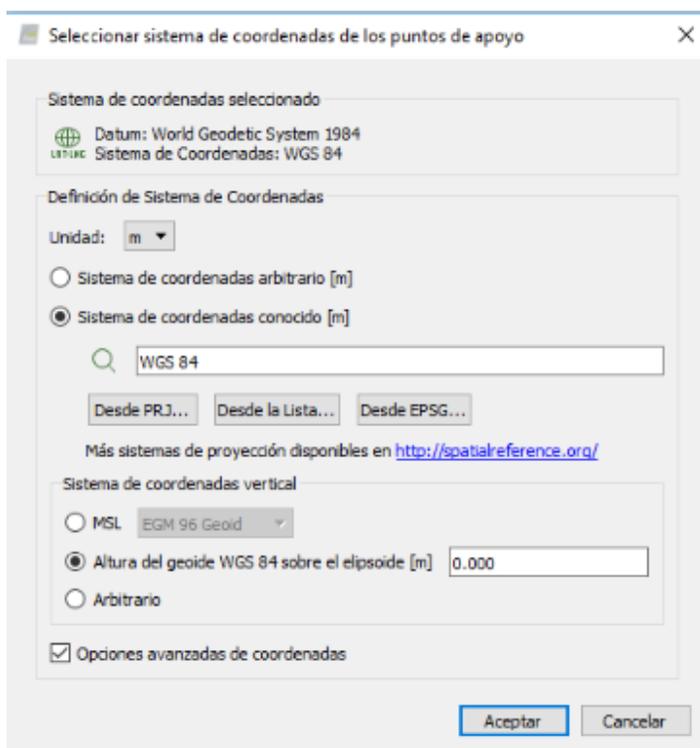


Las opciones anteriormente mencionadas en los puntos del 9 al 13 son opcionales debido a que al seleccionar la plantilla del punto número 7 se cargan los parámetros necesarios acorde a los resultados descritos por el programa en dicho punto.

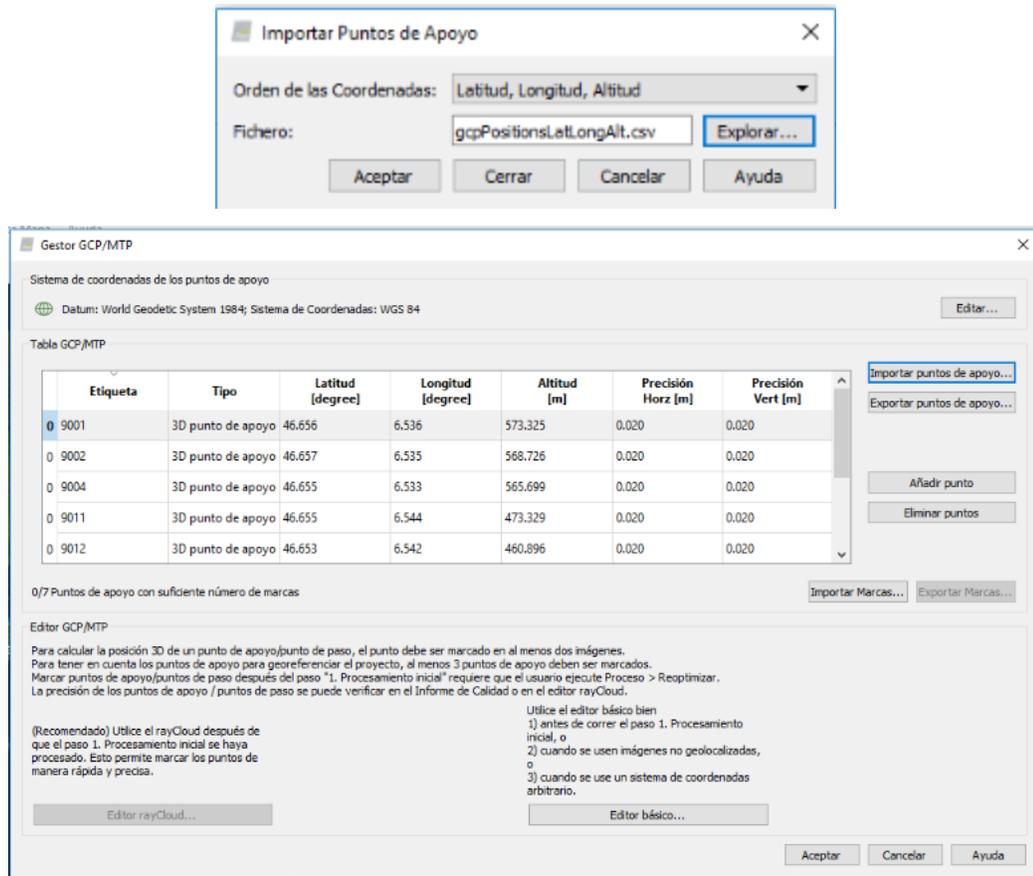
14. Nos dirigiremos a la pestaña proyecto y seleccionaremos la opción “Gestor GSP/MTP...” para subir los datos de georreferenciación con los cuales ajustaremos nuestra nube de puntos.



15. En la opción “Sistema de coordenadas de los puntos de apoyo” hacemos clic en editar. En la ventana que se nos abre configuraremos la unidad en m, seleccionaremos “Sistema de coordenadas conocidas [m]”, luego escribiremos WGS 84 y lo seleccionaremos en la lista desplegable. Para finalizar seleccionaremos “Opciones de coordenadas avanzadas” y en “Sistema de coordenadas vertical” seleccionaremos “Altura del geode WGS 84 sobre el elipsoide [m]”, digitaremos 0 y presionaremos aceptar.



16. En la pantalla anterior “Gestor GCP / MTP” haremos clic en Importar puntos de apoyo, en “Orden de coordenadas”, seleccionamos la opción Latitud, Longitud, Altitud, luego clic en “Examinar”, seleccionamos el archivo con extensión “.csv” en la carpeta en la que lo tengamos guardado y presionaremos en Aceptar. Las coordenadas de apoyo se pueden visualizar en la ventana del “Gestor GCP / MTP”.

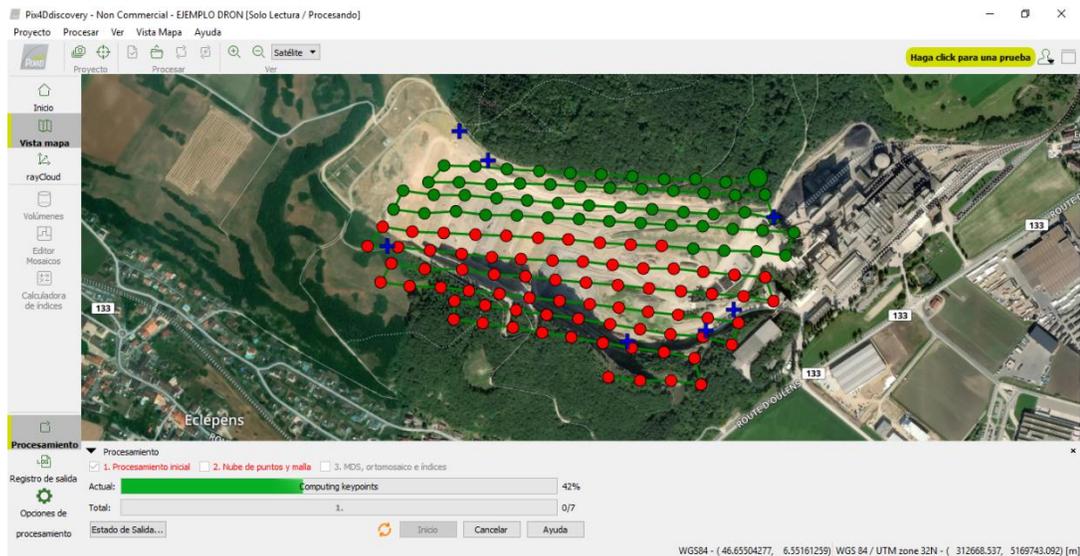
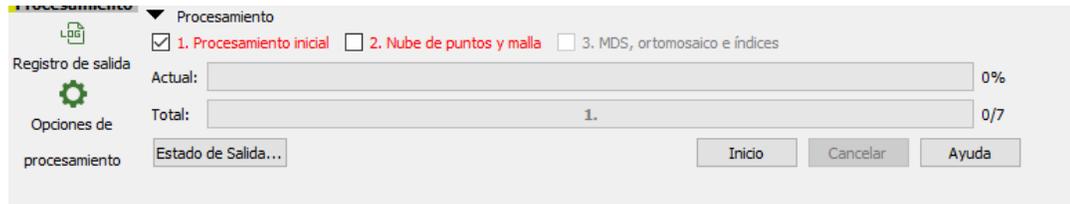


Finalizaremos presionando aceptar.

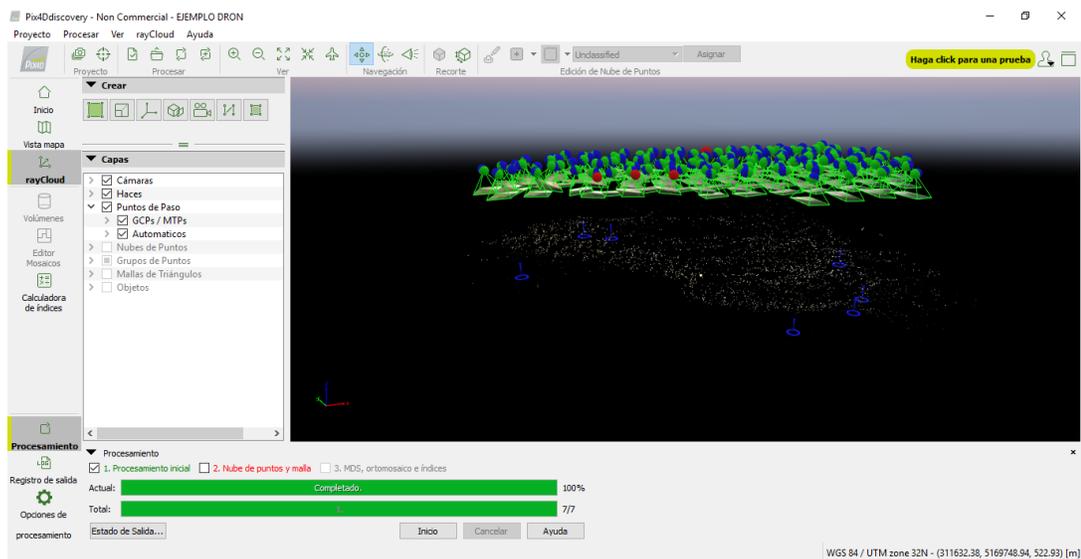
Los puntos de apoyo los podremos observar en el mapa marcados con una cruz azul.



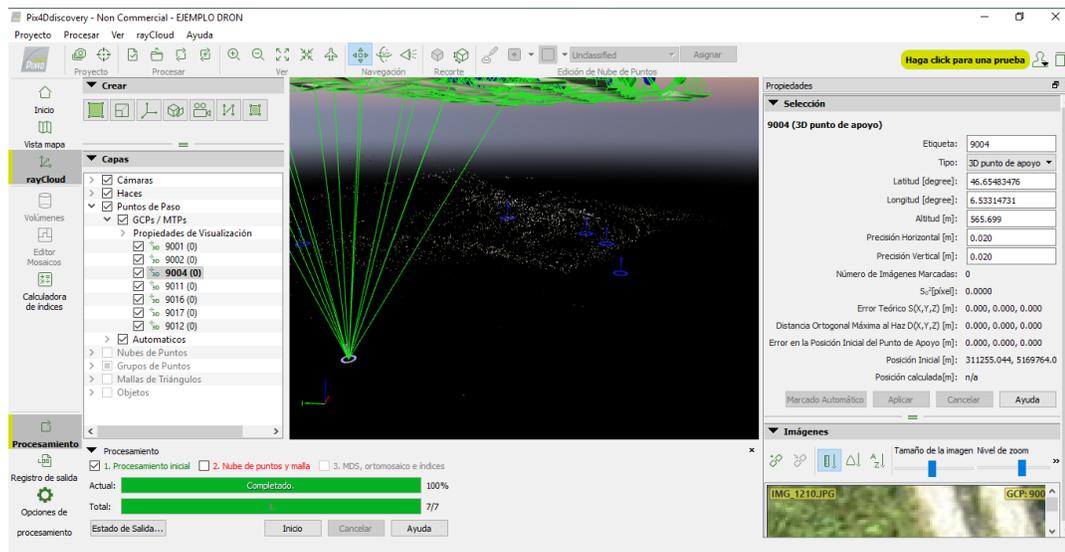
17. En la barra de procesamiento que se encuentra en la parte inferior de la interfaz, seleccionaremos “1. Procesamiento inicial”, deseleccionaremos “2. Nube de puntos y malla” y “3. DSM, Ortomosaico e Índice”, luego presionaremos Inicio.



Cuando el paso 1. Finaliza el procesamiento inicial, se abre rayCloud.



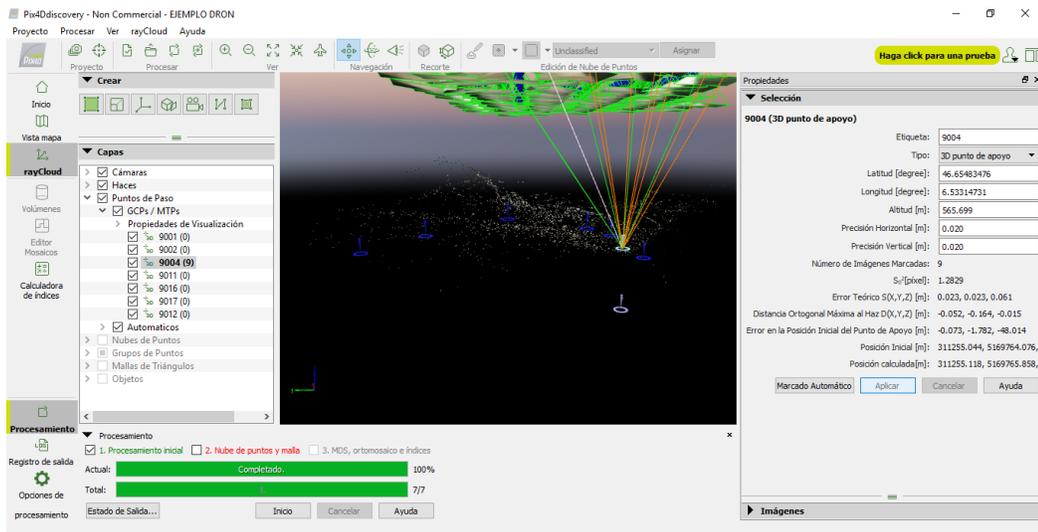
18. Dentro de rayCloud podremos visualizar los puntos generados por el procesamiento inicial, así como los puntos de apoyo para georreferenciar el trabajo; al lado izquierdo de nuestra pantalla de trabajo dentro de la pestaña capas buscaremos los puntos de apoyo que hemos agregado, para nuestro ejemplo seleccionaremos el punto con nombre "9004", al hacer esto se nos marcará con líneas de color verde la dirección desde la cual se puede observar dicho punto aproximadamente con la geolocalización de las fotos tomadas con el GPS interno del dron; también nos mostrará a nuestro lado derecho la información del punto de apoyo y las fotos en las cuales se visualiza dicho punto.



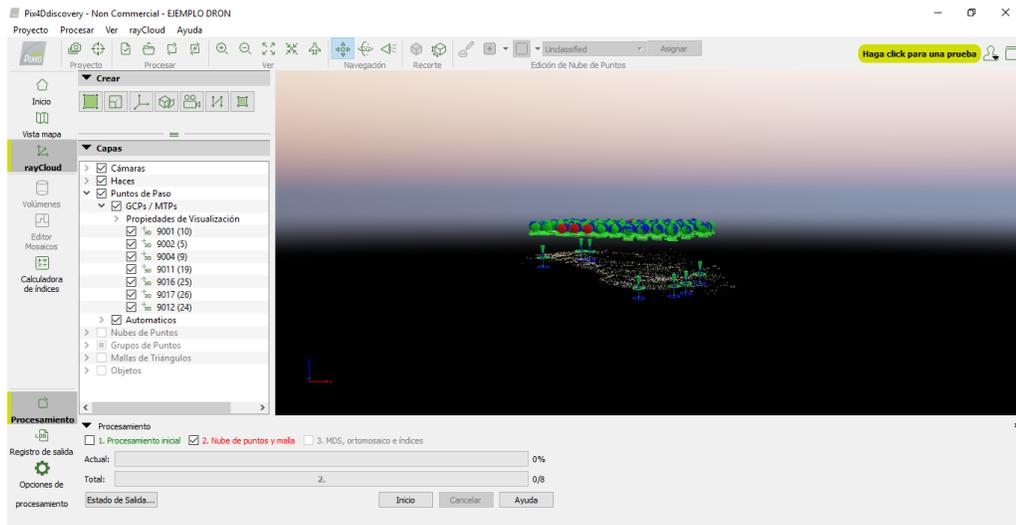
19. Para realizar la corrección de las fotos con los puntos de apoyo, marcaremos en éstas el punto al cual corresponde la coordenada de apoyo; las cuales tienen que poder visualizarse adecuadamente al realizar el vuelo del dron; nos daremos cuenta que en la imagen se observa una marca de color azul, la cual el dron ha tomado como la coordenada buscada en base a su GPS interno, nosotros marcaremos el punto exacto de la coordenada de apoyo dentro de la imagen y se generará una marca de color amarilla.



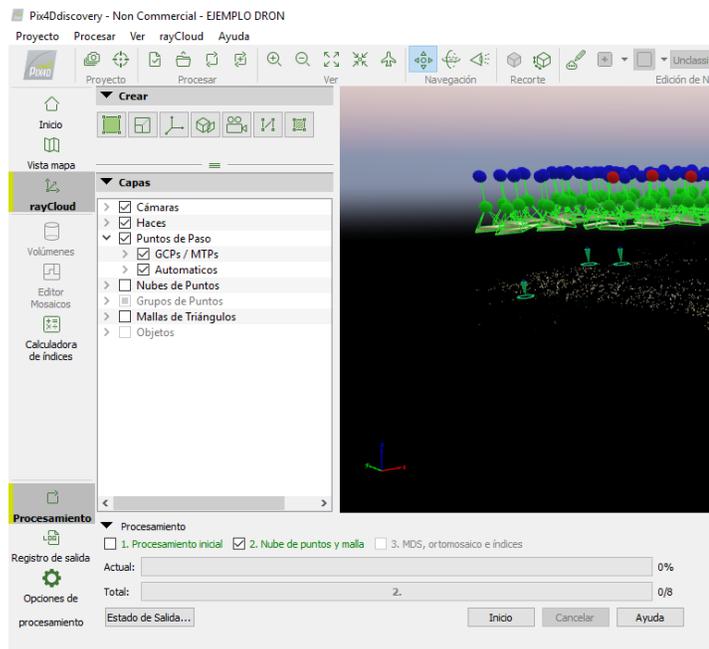
Realizaremos esto para todas las fotos en las cuales se pueda visualizar nuestro punto de apoyo y presionaremos aplicar, realizaremos este procedimiento para todos los puntos de apoyo que utilizaremos en este trabajo.

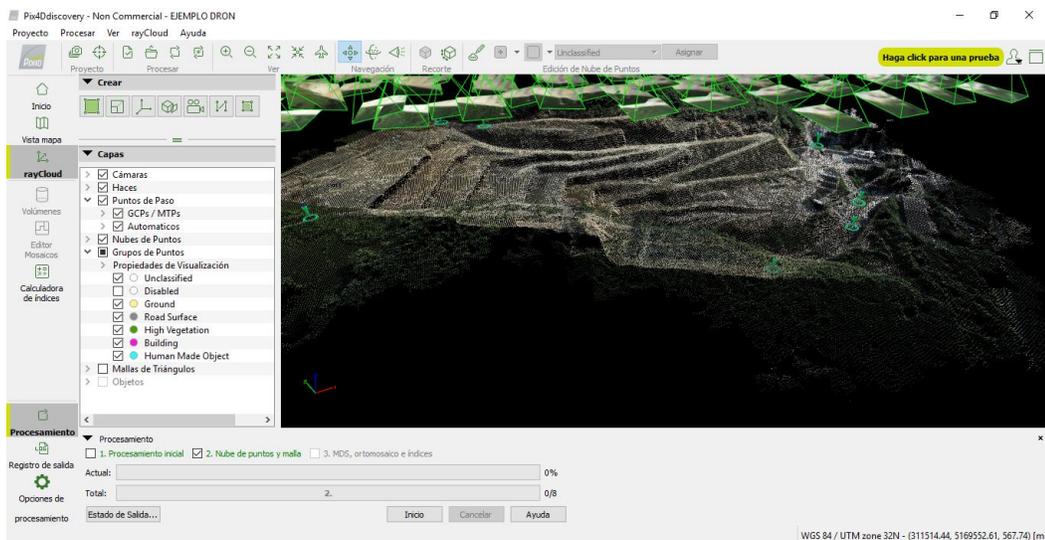


20. Una vez marcadas las correcciones de nuestros puntos de apoyo en las fotos realizaremos el segundo procesamiento marcando la casilla con nombre “2. Nube de puntos y malla”, en la parte inferior de nuestra pantalla, luego presionaremos Iniciar.

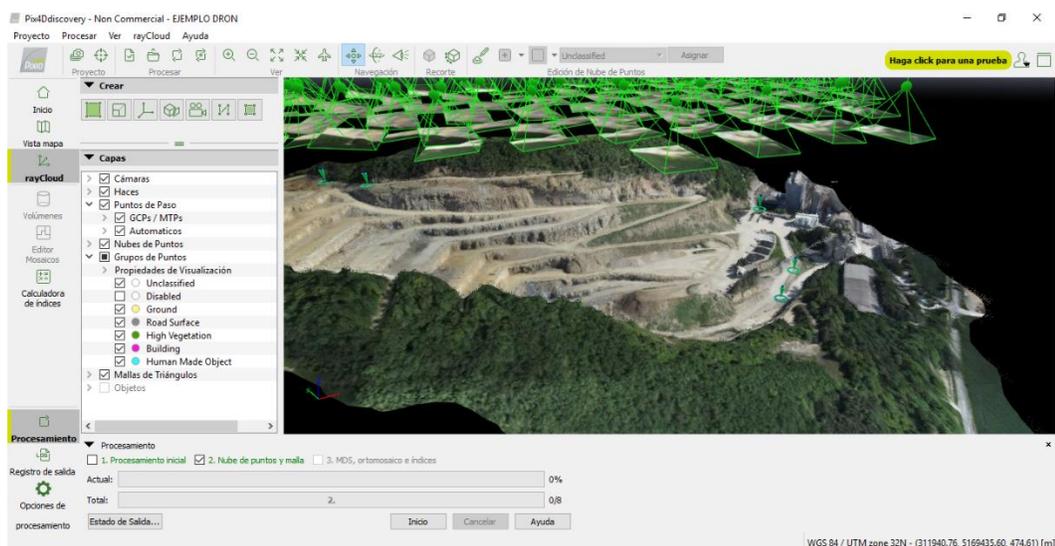


Finalizado el procesamiento macaremos dentro de la pestaña “Capas” la opción “Nube de puntos”; esto generará un mapa con una nube de puntos más densa a la generada con el primer paso y corregida por nuestros puntos de apoyo.



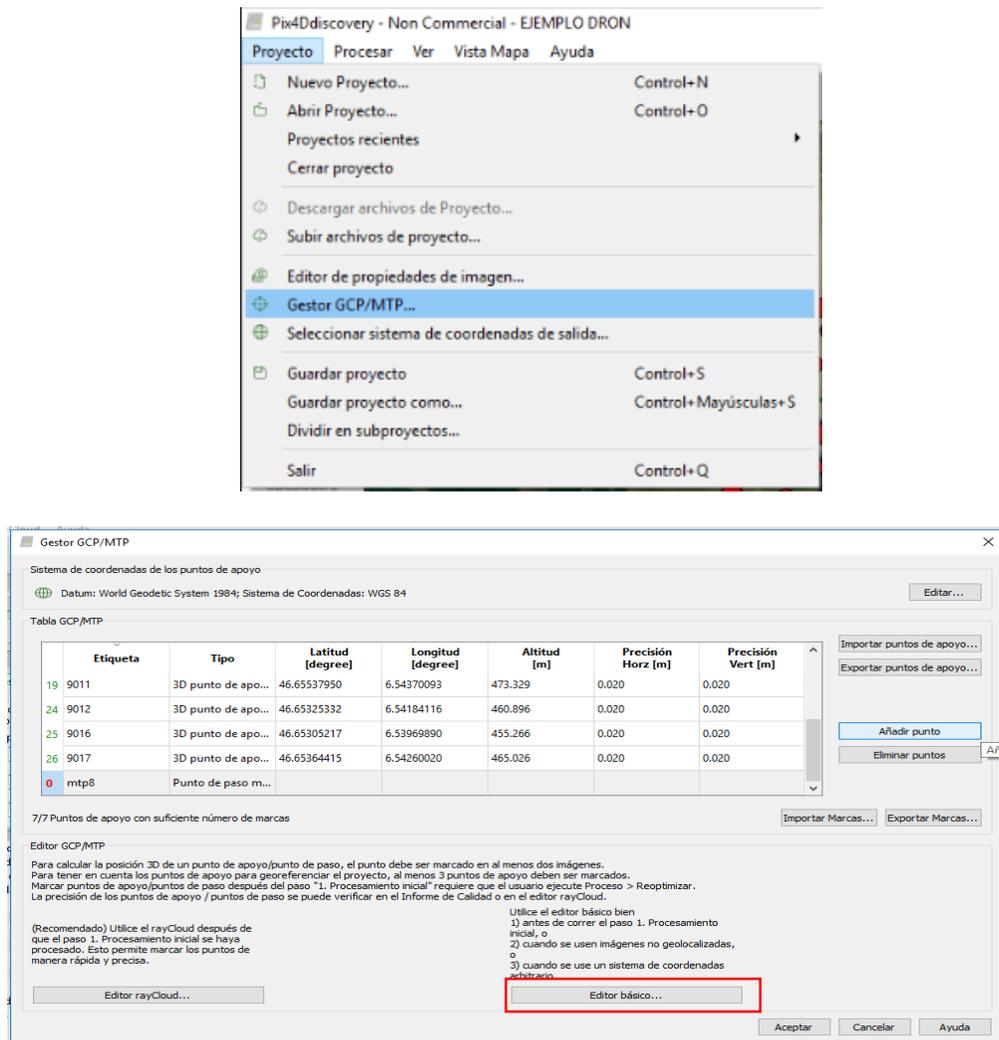


21. Para finalizar el procesamiento de nuestros datos marcaremos dentro de la pestaña “Capas” la casilla “Malla de triángulos”, la cual generará una superficie que nos dará un mayor detalle de realismo de nuestro levantamiento.

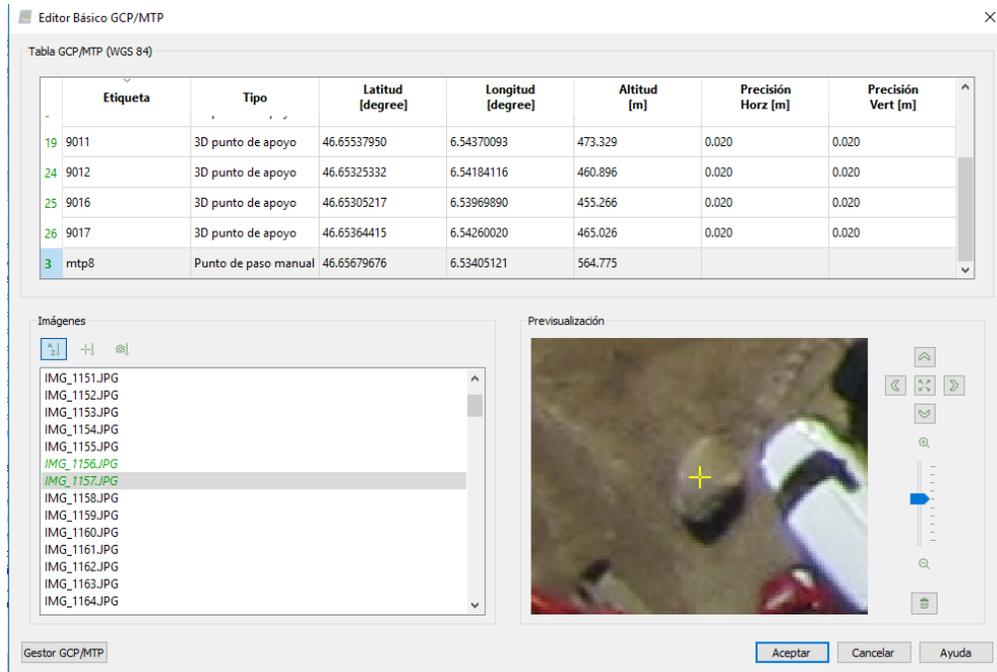


22. Para poder extraer coordenadas de puntos específicos dentro de nuestra nube de puntos, nos dirigiremos a la opción “Gestor GCP/MTP...”, luego presionaremos el botón añadir punto, dicho punto se mostrará como un punto de paso con una etiqueta con un nombre establecido por el programa, el cual podemos cambiar en cualquier momento; para ubicar

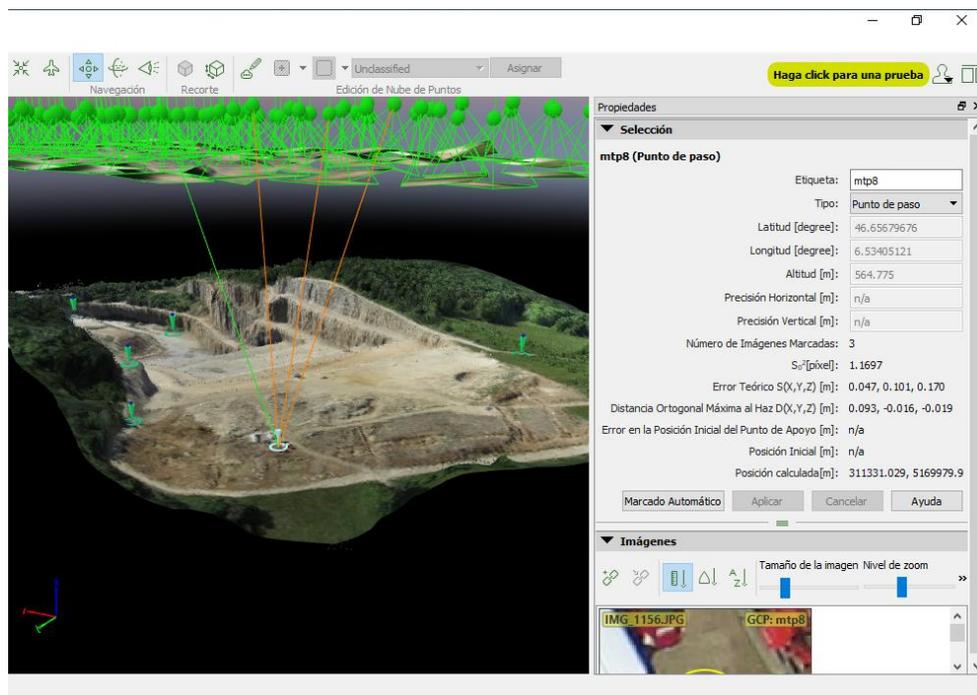
el punto dentro de nuestra malla de puntos presionaremos el botón “Editor básico...”

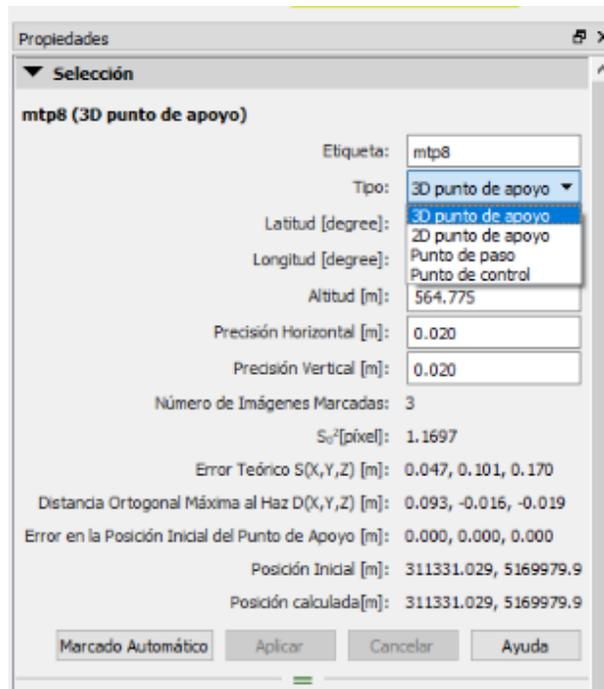


23. Dentro seleccionaremos con una marca amarilla el punto del cual necesitamos sus coordenadas dentro de cada imagen, en la cual se pueda visualizar de la lista observada, una vez finalizada la selección presionaremos aceptar

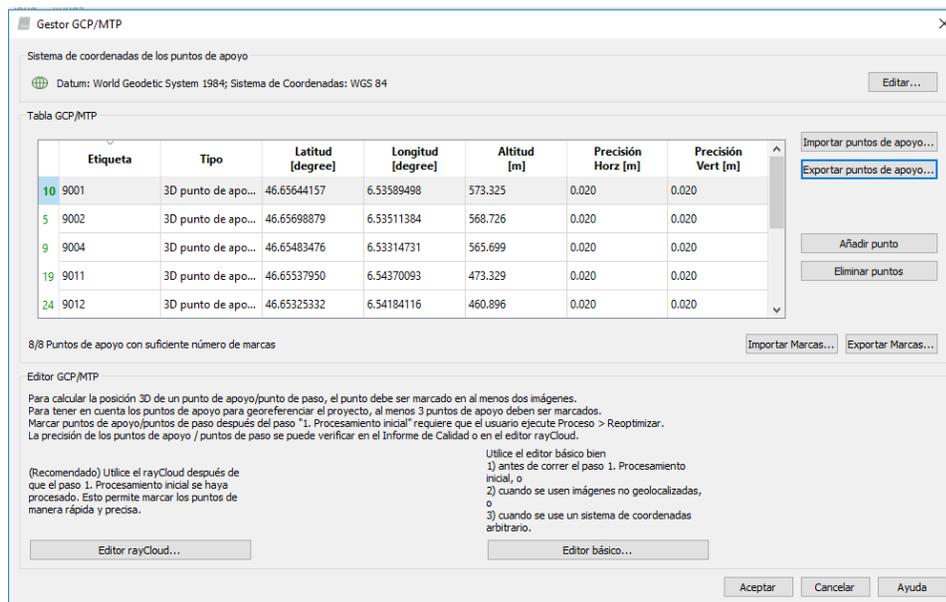


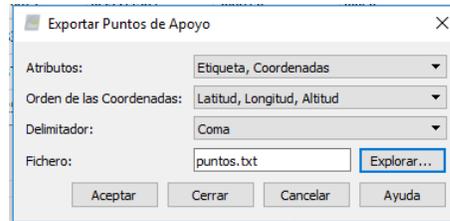
24. Podremos observar nuestro punto en el rayCloud, así como su información y coordenadas en el lado derecho de nuestra pantalla; para poder extraer las coordenadas de dicho punto en un documento txt. Debemos cambiar el tipo del punto por un “3d Punto de apoyo” y presionamos aplicar.



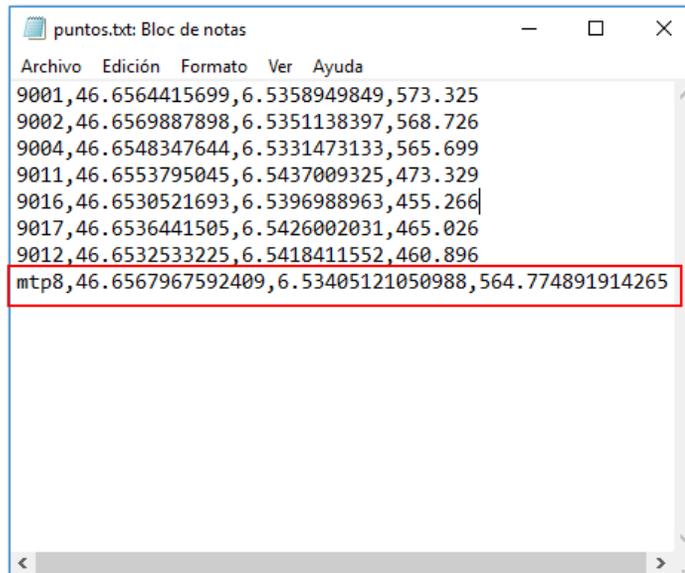


25. Dentro de “Gestor GCP/MTP...” seleccionamos la opción “Exportar puntos de apoyo”, seleccionamos los parámetros en los que deseamos obtener nuestros datos, la ubicación y nombre del archivo a extraer formato .txt y presionamos aceptar.





Finalizado el proceso habremos extraído las coordenadas de apoyo, así como el punto o puntos de los cuales deseemos conocer sus coordenadas (“mtp8”).



Equipo utilizado:

- 26. Un Dron marca DJ Phantom 4, con todos sus accesorios y dos baterías extras.
- 27. Una computadora de séptima generación, con los softwares necesarios.
- 28. Un celular Smartphone.

Personal requerido:

- 29. El Ingeniero encargado de la Topografía
- 30. Un técnico especialista en dron y con conocimientos sobre, el o los softwares a utilizar.
- 31. Un cadenero

4.4.5. Resultados obtenidos

Para realizar el trazo de la poligonal con el uso de un dron, se obtienen las coordenadas planas por medio de la fotogrametría, habiendo realizado los pasos escritos en el apartado 4.4.1, se procesa la información en el software Pix4D Mapper, para georreferenciar las fotos se utilizaron los puntos de amarre FIA 1, FIA 2 y BASE RTK, una vez habiendo realizado el procedimiento en el Pix4D Mapper, se obtienen las coordenadas planas mostradas a continuación en la tabla 4.6.

Tabla 4.6: Coordenadas planas obtenidas por medio de la fotogrametría con el uso de un Dron.

DRON			
PUNTO	Este (m)	Norte (m)	Elevacion ortometrica (m)
FIA-2	478396.903	288874.130	699.340
FIA-1	478263.470	288901.040	699.070
PLG1	478345.443	288931.611	693.210
PLG2	478412.153	288906.208	692.430
PLG3	478379.718	288995.697	693.810
PLG4	478321.570	288963.261	692.620
PLG5	478247.953	289003.921	692.820
PLG6	478038.044	289013.373	693.040
PLG7	478259.515	288966.389	693.440
PLG8	478281.913	288934.292	697.880



Figura 4.6: Puntos de poligonal ubicados por medio de la fotogrametría con el uso del dron.
Fuente: Propia

CAPÍTULO V

EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos son de acuerdo a los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación, las soluciones adoptadas, el diseño o técnica utilizada en campo, así como el uso de software especializado, técnicas topográficas, estos mismos han sido integrados para obtener finalmente el estudio.

5.1 Análisis de precisión de levantamientos topográficos

Tabla 5.1: Desviación de coordenadas entre Estación Total y GPS (RTK)

COMPARATIVO ESTACION TOTAL – GPS (RTK)			
PUNTO	$\Delta X(m)$	$\Delta Y (m)$	$\Delta Elev (m)$
1	0.023	-0.013	0.020
2	0.009	-0.015	-0.026
3	0.018	0.005	0.030
4	0.015	-0.020	-0.013
5	0.021	0.020	0.026
6	0.007	-0.020	0.023
7	0.017	0.002	0.037
8	0.011	-0.011	0.039

Mayor desviación en X = 0.023 m

Mayor desviación en Y = 0.020 m

Mayor desviación en Elev = 0.039 m

Tabla 5.2: Desviación de coordenadas entre Estación Total y DRON (FOTOGRAMETRIA)

COMPARATIVO ESTACION TOTAL – DRON (FOTOGRAMETRIA)			
PUNTO	$\Delta X(m)$	$\Delta Y (m)$	$\Delta Elev (m)$
1	0.057	-0.005	-0.107
2	0.020	-0.008	-0.313
3	0.052	-0.037	0.144
4	0.038	-0.017	-0.015
5	0.059	-0.008	0.139
6	0.040	-0.013	-0.171
7	0.012	-0.002	0.030
8	0.034	-0.034	0.182

Mayor desviación en X = 0.059 m

Mayor desviación en Y = 0.037 m

Mayor desviación en Elev = 0.313 m

Tabla 5.3: Desviación de coordenadas entre GPS (RTK) y DRON (FOTOGRAMETRIA)

COMPARATIVO GPS (RTK) – DRON (FOTOGRAMETRIA)			
PUNTO	$\Delta X(m)$	$\Delta Y (m)$	$\Delta Elev (m)$
1	0.034	0.007	-0.126
2	0.011	0.007	-0.287
3	0.035	-0.041	0.115
4	0.022	0.003	-0.003
5	0.038	-0.029	0.113
6	0.032	0.006	-0.194
7	-0.004	-0.004	-0.007
8	0.023	-0.023	0.144

Mayor desviación en X = 0.038 m

Mayor desviación en Y = 0.041 m

Mayor desviación en Elev = 0.287 m

5.2 Análisis de tiempos y costos en Levantamientos Topográficos

Análisis de costo.

Tabla 5.4: análisis de costo para Estación Total, Dron y GPS.

Descripción	Estación total	Dron	GPS
Adquisición del equipo para el levantamiento	Estación total sokia: \$7,000	DJ Phantom 4: \$1,420	GPS de doble frecuencia Carlson: \$12,000
Equipo para el procesamiento de datos	Pc i3 con 4 ram:\$500	Pc i7 con 16 ram:\$1500	Pc i3 con 4 ram:\$500
Software	Civil 3d y AutoCAD \$ 2,755.00 / año	Pix4D Mapper: \$10,000	Civil 3d y AutoCAD \$ 2,755.00 / año
Cuadrilla topográfica	Para un área de 10,000.00 m ² aprox. de terreno \$200	Para un área de 10,000.00 m ² de terreno \$200	Para un área de 10,000.00 m ² aprox. de terreno \$200
Total	\$10,455.00	\$13,120	\$15,455

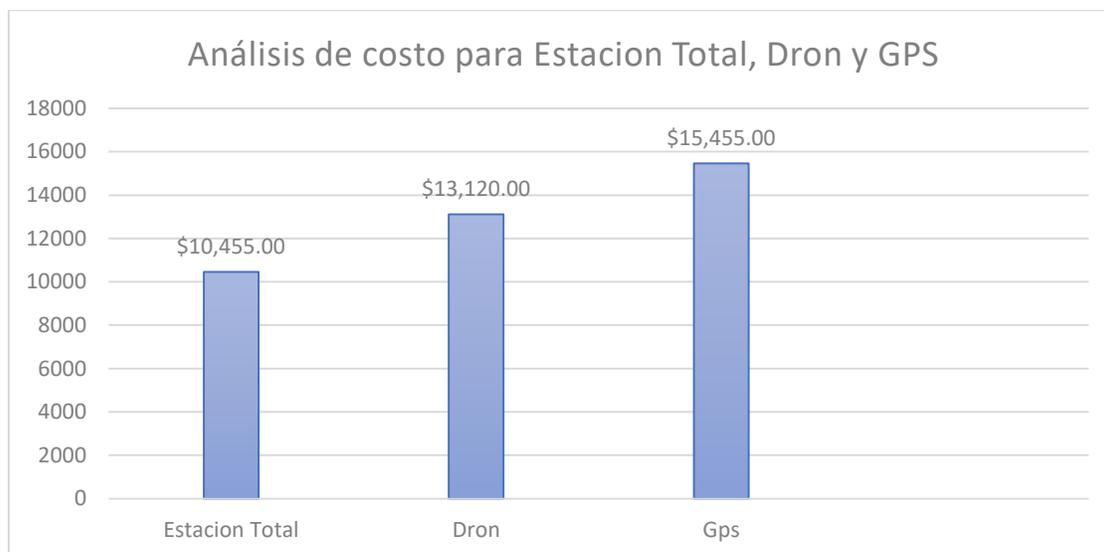


Figura 5.1: Análisis de costo para Estación Total, Dron y GPS

Para el cálculo del costo de cada uno de los métodos de levantamiento topográfico, se realizó un aproximado en base a precios actualmente vigentes, así como experiencia en campo de profesionales de esta área.

Cálculo de Tiempo

En el levantamiento topográfico del área de estudio de la presente investigación se realizó en las condiciones presentadas a continuación (véase la Tabla 5.5), condiciones comunes.

Tabla 5.5: Características topográficas en condiciones comunes.

AREA (m ²)	TOPOGRAFÍA DEL TERRENO	ESTADO DEL TIEMPO	RANGO DE ALTURA (msnm)
10,841.5639 m ²	ondulada	seco	700 aprox.

Tabla 5.6: Criterios de análisis entre métodos de medición

Descripción	Estación total (hr)	Dron (hr)	GPS (hr)
Trabajo de campo	8	0.25	4
Trabajo de oficina o postproceso	2	48	2
Total	10	48.25	6

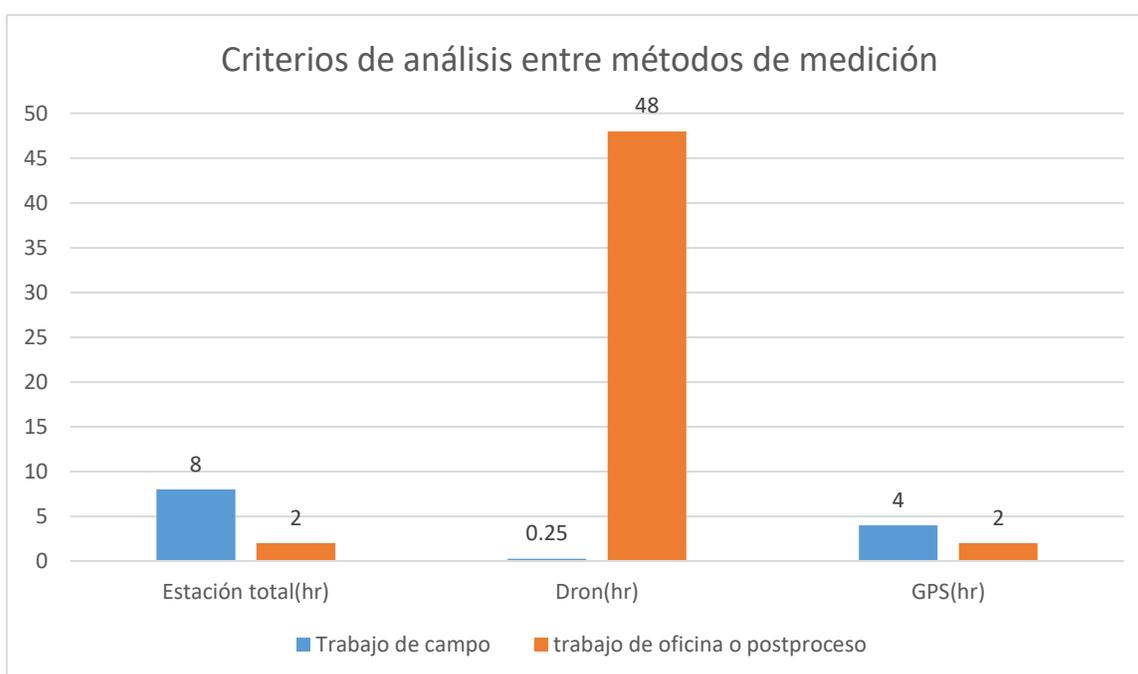


Figura 5.2: Criterios de análisis entre métodos de medición

Los tiempos presentados por cada método de levantamiento empleado, han sido tomados en base a las pruebas de campo obtenidas en la bóveda de la Universidad de El Salvador, descrita en el capítulo III, cabe aclarar que estos tiempos no incluyen: el reconocimiento del área, la Monumentación, ni la obtención de las coordenadas de referencia ocupadas.

5.3 Aplicación del método Estático y RTK

Para determinar los desplazamientos de los suelos que teóricamente podrían ocurrir en la zona de Ilopango, se optó por realizar un estudio basado en el monitoreo de

11 monumentos distribuidos en 2 planteles de la empresa Sherwin Williams ubicados dentro de la zona, de los cuales 4 se monitorearon utilizando dos GPS por el método estático y una estación de referencia de monitoreo continuo ubicada en el aeropuerto de Ilopango y los 7 restantes por el método RTK.

Se presentan a continuación los datos obtenidos:

Levantamientos Topográficos En Los Planteles De Sherwin William Ilopango.

Primera medición GPS- ESTATICO

WGS84- coordenadas geográficas

Tabla 5.7: Primera medición de coordenadas geográficas en fábrica y bodega de Sherwin Williams (método estático)

Nombre del Punto	Latitud	Longitud	Altitud
P1S1	13°42'01.204"	089°06'09.175"	639.596 m
P2S1	13°42'00.525"	089°06'11.397"	638.750 m
P1S2	13°41'56.793"	089°06'35.760"	629.340 m
P2S2	13°42'00.073"	089°06'36.336"	628.875 m

Coordenadas de cuadrícula nacional

Tabla 5.8: Medición de coordenadas geográficas en fábrica y bodega de Sherwin Williams (método estático)

Nombre del punto	Latitud	Longitud	Altitud (m)
P1S1	488905.564	286522.231	637.862
P2S1	488838.798	286501.399	637.016
P1S2	488106.716	286387.015	627.611
P2S2	488089.439	286487.841	627.143

P1S1= punto 1, Sherwin (fabrica) 1

P2S1= punto 2, Sherwin (fabrica) 1

P1S2= punto 1, Sherwin (bodega) 2

P2S2= punto 2, (bodega) Sherwin 2

Primer levantamiento con GPS con el método RTK

Tabla 5.9: Coordenadas geográficas en fabrica por el método RTK en Sherwin Williams

N°	Nombre	Este (m)	Norte(m)	Elevacion ortom (m)
1	P1S2	488905.564	286522.231	639.586
2	PLG	488838.743	286501.464	638.665
3	PLG	488945.671	286314.616	637.475
4	PLG	488933.127	286231.271	634.641
5	PLG	488854.170	286227.531	636.555
6	PLG	488843.820	286290.744	636.721

Tabla 5.10: Coordenadas geográficas en bodega por el método RTK en Sherwin Williams

N°	Nombre	Este (m)	Norte(m)	Elevacion ortom (m)
1	P1S2	488106.716	286387.015	627.905
2	PLG	488089.450	286487.834	627.510
3	PLG	488176.591	286516.611	628.300
4	PLG	488243.746	286493.485	628.585
5	PLG	488225.736	286381.176	627.369

Segunda medición GPS- ESTATICO

WGS84- coordenadas geográficas

Tabla 5.11: Segunda medición de coordenadas geográficas en fábrica y bodega de Sherwin Williams (método estático)

Nombre del Punto	Latitud	Longitud	Altitud
P1S1	13°42'01.197"	089°06'09.141"	638.726 m
P2S1	13°42'00.525"	089°06'11.398"	638.706 m
P1S2	13°41'56.793"	089°06'35.760"	629.638 m
P2S2	13°42'00.073"	089°06'36.336"	629.230 m

Coordenadas de cuadrícula nacional

Tabla 5.12: Segunda medición de coordenadas geográficas en fábrica y bodega de Sherwin Williams (método estático)

Nombre del Punto	Direc. Norte(m)	Direc. Este (m)	Elevacion ortom (m)
P1S1	286522.013	488906.607	636.992
P2S1	286501.402	488838.775	636.972
P1S2	286387.032	488106.705	627.909
P2S2	286487.848	488089.444	627.498

P1S1= punto 1, Sherwin (fabrica) 1

P2S1= punto 2, Sherwin (fabrica) 1

P1S2= punto 1, Sherwin (bodega) 2

P2S2= punto 2, (bodega) Sherwin 2

Segundo Levantamiento con GPS con el método RTK

Tabla 5.13: Segunda medición de coordenadas geográficas en fábrica por el método RTK en Sherwin Williams

N°	Nombre	Este (m)	Norte(m)	Elevacion ortom (m)
1	P1S1	488905.246	286522.022	639.366
2	P2S1	488838.775	286501.403	638.972
3	PLG	488945.453	286314.192	636.935
4	PLG	488932.960	286231.416	634.430
5	PLG	488854.001	286227.239	637.059
6	PLG	488843.793	286290.559	636.961

Tabla 5.14: Segunda medición de coordenadas geográficas en Bodega por el método RTK en Sherwin Williams

N°	Nombre	Este (m)	Norte(m)	Elevacion ortom (m)
1	P1S2	488106.705	286387.032	627.909
2	PLG	488089.424	286487.846	627.551
3	PLG	488176.570	286516.622	628.304
4	PLG	488243.716	286493.465	628.665
5	PLG	488225.674	286381.210	627.399

NOTA:

Se utilizaron las coordenadas de referencia obtenidas en el primer levantamiento de GPS - ESTATICO para definir las coordenadas de los demás puntos de control, utilizando el método de RTK-GPS.

Se realizó un segundo levantamiento para definir las coordenadas de referencia por el método GPS-ESTATICO, las cuales servirán como un segundo control.

Tabla 5.15: Desviación de coordenadas entre RTK 2 y RTK 1 en bodega

COMPARATIVO RTK 2 – RTK 1 (BODEGA)			
PUNTO	$\Delta X(m)$	$\Delta Y (m)$	$\Delta Elev (m)$
P1S2	0.011	0.017	0.004
PLG	0.026	0.012	0.040
PLG	0.021	0.011	0.004
PLG	0.030	0.020	0.080
PLG	0.062	0.034	0.030

Tabla 5.16: Desviación de coordenadas entre RTK 2 y RTK 1 en fabrica

COMPARATIVO RTK 2 – RTK 1 (FABRICA)			
PUNTO	$\Delta X(m)$	$\Delta Y (m)$	$\Delta Elev (m)$
P1S1	0.318	0.209	0.220
P2S1	0.032	0.061	0.307
PLG	0.218	0.424	0.540
PLG	0.167	0.145	0.211
PLG	0.169	0.292	0.504
PLG	0.027	0.186	0.241

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

1. Los datos obtenidos en campo tomados con el Dron y las medidas obtenidas con la estación total, ambos equipos georreferenciados, tienen resultados muy similares, sin embargo, el segundo método es el más viable por su versatilidad.
2. El análisis de tiempos y costos realizadas en cada sistema determinaron que el sistema topográfico convencional es menos eficiente, demanda de alta cantidad de costos, mano de obra y tiempo, además es muy sensible en lo referente a la accesibilidad al área de estudio y genera un alto riesgo laboral para el personal técnico que realiza el levantamiento.
3. La fotogrametría constituye una técnica que permite obtener datos de la superficie del terreno en un corto lapso de tiempo, mediante la toma de fotografías aéreas. El uso de las aeronaves no tripuladas (UAV o Dron) constituyen una herramienta adecuada para la obtención de estas fotografías, reduciendo el tiempo del trabajo de campo y permitiendo obtener resultados confiables y comparables con otros instrumentos topográficos convencionales, presentando muchas ventajas al campo fotogramétrico y dentro del área de la ingeniería civil.
4. La elección adecuada del número de puntos de apoyo a utilizarse en el proyecto y la correcta ubicación de los mismos, permite obtener un modelo digital del terreno más preciso y mejores resultados en la georreferenciación del proyecto, permitiendo escalarlo y trasladarlo a su verdadera posición en el espacio reduciendo el error de la geolocalización de las imágenes.

5. Para el levantamiento topográfico por medio de la fotogrametría se necesita del apoyo terrestre para mejorar los resultados, el uso de aparatos topográficos para la etapa de apoyo terrestre como GPS, estación total, teodolitos u otros utilizados tradicionalmente en el país, se convierte en un complemento de la técnica. Por lo que la metodología estudiada no constituye una solución definitiva a la necesidad de información topográfica ni excluye el uso de las técnicas topográficas tradicionales, sino que se apoya en ellas para compensar sus propias deficiencias.

6. Las coordenadas obtenidas en el levantamiento de la bóveda en la Universidad de El Salvador, realizado con estación total respecto a las obtenidas con GPS en técnica RTK presentan desviaciones que varían en un rango de 1.00 a 3.50 cm; así también el comparativo entre estación total y Dron presentan desviaciones que varían en un rango de 1.00 a 5.00 cm. considerando que el uso de estación total conlleva más fuentes de errores, los resultados obtenidos son satisfactorios para ambos casos por presentar poca variación entre ellos.

7. Los datos obtenidos de los levantamientos topográficos, realizados en los planteles de Sherwin Williams, no son concluyentes para demostrar los desplazamientos que se puedan estar dando en la zona; debido a que se tiene que realizar mediciones periódicas en un lapso de tiempo mayor al realizado; pero son una fuente de partida para futuros estudios a realizar.

7.2 Recomendaciones

1. Para todo levantamiento fotogramétrico mediante Un vehículo aéreo no tripulado, será necesario apoyarse de los levantamientos terrestres para mejorar su precisión. Para proyectos pequeños se deben poner como mínimo tres puntos de apoyo y para grandes proyectos un mínimo de cinco.
2. Para monitorear y actualizar periódicamente las coordenadas de las estaciones de referencia ubicadas dentro de la Universidad de El Salvador y en los planteles de Sherwin Williams en Ilopango, se debe establecer una Estación de Referencia de Operación Continua.
3. Se recomienda el planeamiento adecuado para la toma de datos en esta tecnología, el usuario debería planificar muy bien el itinerario y tener muy en cuenta los factores climatológicos al realizar los vuelos, esto de vital importancia.

BIBLIOGRAFIA

Tesis

- Claros, Guevara y Pacas. (2016). Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados.
- Funes, Martínez y Rivera. (2017). Técnicas de medición topográficas Con GPS de doble frecuencia y su procesamiento Con el software Carlson Survey GNS.
- Hilario Tacca Qquelca. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional.

Documentos Técnicos

- Figueroa, Amaya y Sánchez (2010). Integración de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador a SIRGAS (SIRGAS-ES2007), San Salvador, El Salvador.
- Furones, A. (2011). Sistema y Marco de Referencia Terrestre, Valencia, España.

Páginas web.

- Conceptos básicos y aplicaciones del software, <https://pix4d.com/products/>
- Conceptos básicos de fotogrametría digital, [wikipedia.org/](https://es.wikipedia.org/wiki/Fotogrametr%C3%ADa_digital)
- Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (nd). Geocentric Reference System [Sistema de Referencia Geocéntrico], <http://www.sirgas.org/>
- Drone DJI Phantom 4. <https://www.stuff.tv/dji/phantom-4/review>

ANEXOS

Anexo A

Plano de la poligonal cerrada Bóveda-UES por Estación
Total.

Plano de la poligonal cerrada Bóveda-UES por GPS.

Plano de la poligonal cerrada Bóveda-UES por Dron.

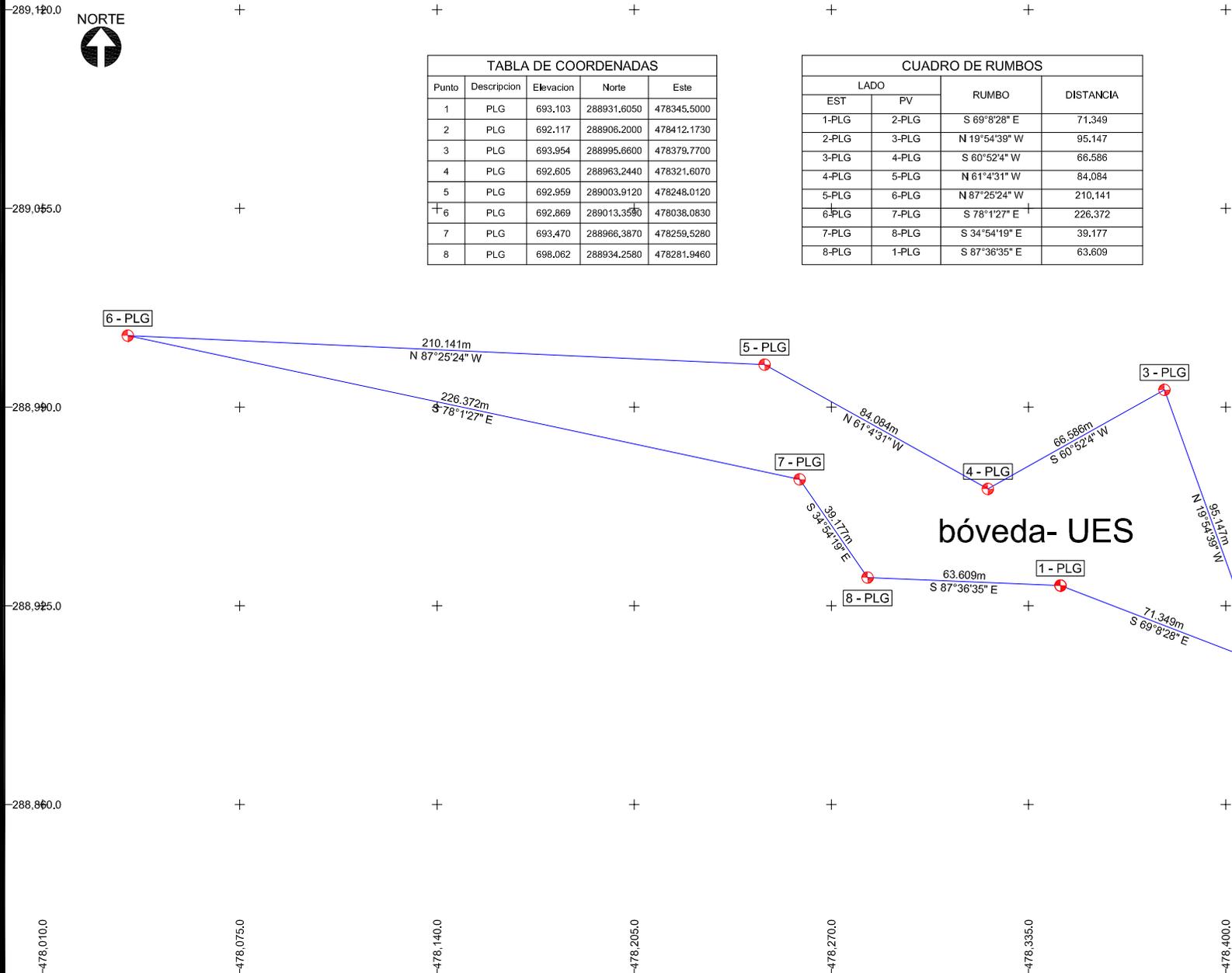


TABLA DE COORDENADAS				
Punto	Descripción	Elevación	Norte	Este
1	PLG	693,103	288931.6050	478345.5000
2	PLG	692,117	288906.2000	478412.1730
3	PLG	693,954	288995.6600	478379.7700
4	PLG	692,605	288963.2440	478321.6070
5	PLG	692,959	289003.9120	478248.0120
6	PLG	692,869	289013.3580	478038.0830
7	PLG	693,470	288966.3870	478259.5280
8	PLG	698,062	288934.2580	478281.9460

CUADRO DE RUMBOS			
LADO		RUMBO	DISTANCIA
EST	PV		
1-PLG	2-PLG	S 69°8'28" E	71.349
2-PLG	3-PLG	N 19°54'39" W	95.147
3-PLG	4-PLG	S 60°52'4" W	66.586
4-PLG	5-PLG	N 61°4'31" W	84.084
5-PLG	6-PLG	N 87°25'24" W	210.141
6-PLG	7-PLG	S 78°1'27" E	226.372
7-PLG	8-PLG	S 34°54'19" E	39.177
8-PLG	1-PLG	S 87°36'35" E	63.609

LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

-  Vértice de poligonal
-  Poligonal

NOTAS

Para el levantamiento con Estacion Total se tomaron de referencia las coordenadas que se obtuvieron previamente utilizando GPS por el método estático

ESCALA GRÁFICA



EST.BV	
ESTACION TOTAL	
Ubicación Final 25 Avenida Norte, San Salvador	
Elaboró NELY JIMENEZ ALEXIS MAGAÑA EDUARDO SORIANO	Revisó ING. WILFRENO AMAYA
02 / oct / 2018	1:1,300-Tabloide[17x11]



-289,170.0

-289,100.0

-289,030.0

-288,960.0

-288,890.0

-478,030.0

-478,100.0

-478,170.0

-478,240.0

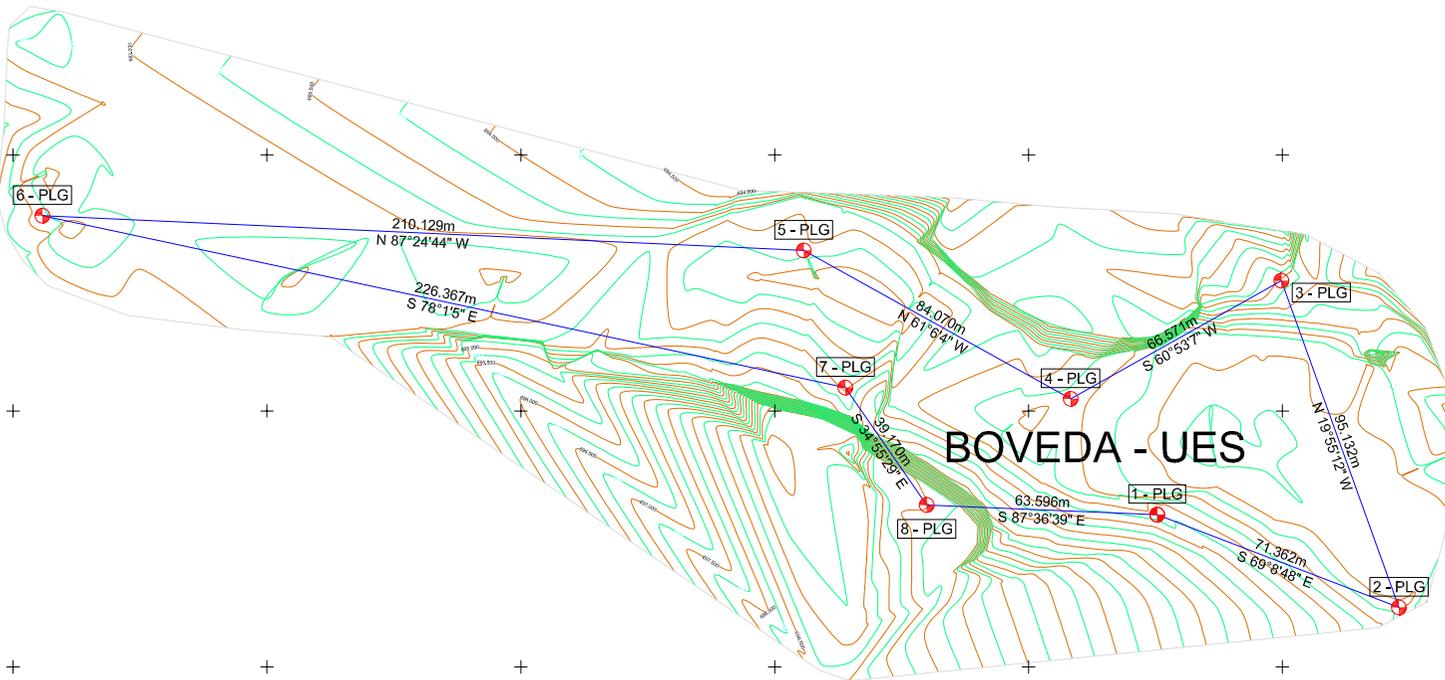
-478,310.0

-478,380.0

-478,450.0

CUADRO DE RUMBOS			DISTANCIA
EST	PV	RUMBO	
1-PLG	2-PLG	S 69°8'48" E	71.362
2-PLG	3-PLG	N 19°55'12" W	95.132
3-PLG	4-PLG	S 60°53'7" W	66.571
4-PLG	5-PLG	N 61°6'4" W	84.070
5-PLG	6-PLG	N 87°24'44" W	210.129
6-PLG	7-PLG	S 78°1'5" E	226.367
7-PLG	8-PLG	S 34°55'29" E	39.170
8-PLG	1-PLG	S 87°36'39" E	63.596

TABLA DE COORDENADAS				
Punto	Descripcion	Elevacion	Norte	Este
1	PLG	693.084	288931.6180	478345.4770
2	PLG	692.143	288906.2150	478412.1640
3	PLG	693.925	288995.6550	478379.7520
4	PLG	692.617	288963.2640	478321.5920
5	PLG	692.933	289003.8920	478247.9910
6	PLG	692.846	289013.3790	478038.0760
7	PLG	693.433	288966.3850	478259.5110
8	PLG	698.024	288934.2690	478281.9360



LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

- Vértice de poligonal
- Poligonal
- Curva mayor
- Curva menor

NOTAS

- Para el levantamiento con GPS-RTK se tomaron de referencia las coordenadas que se obtuvieron previamente utilizando GPS por el método estático

ESCALA GRÁFICA



RTK.BV

GPS-RTK

Ubicación

Final 25 Avenida Norte, San Salvador

Elaboró

NELY JIMENEZ
ALEXIS MAGAÑA
EDUARDO SORIANO

ING. WILFREDO AMAYA

04 / oct / 2018

1:1,400-Tabloide[17x11]



PLG6	478038.044 m
	289013.373 m
	693.04 m

PLG5	478247.953 m
	289003.921 m
	692.82 m

PLG3	478379.718 m
	288995.697 m
	693.81 m

PLG7	478259.515 m
	288966.389 m
	693.44 m

PLG4	478321.57 m
	288963.261 m
	692.62 m

PLG8	478281.913 m
	288934.292 m
	697.88 m

PLG1	478345.443 m
	288931.611 m
	693.21 m

PLG2	478412.153 m
	288906.208 m
	692.43 m

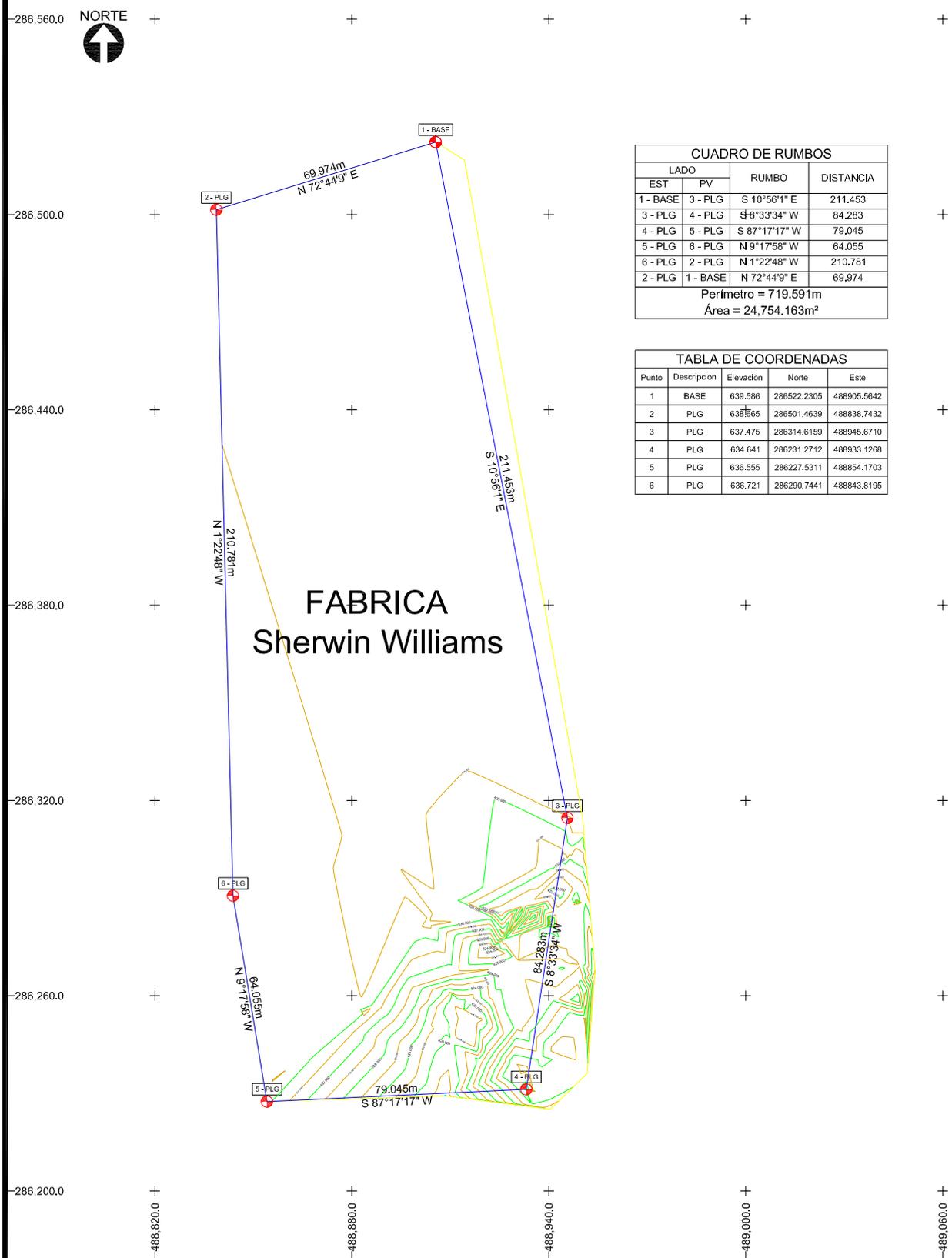
Anexo B

Plano de la poligonal cerrada Fabrica-Sherwin Williams por
GPS- RTK primera medición.

Plano de la poligonal cerrada Bodega-Sherwin Williams por
GPS- RTK primera medición.

Plano de la poligonal cerrada Fabrica-Sherwin Williams por
GPS- RTK segunda medición.

Plano de la poligonal cerrada Bodega-Sherwin Williams por
GPS- RTK segunda medición.



CUADRO DE RUMBOS			
LADO		RUMBO	DISTANCIA
EST	PV		
1 - BASE	3 - PLG	S 10°56'1" E	211.453
3 - PLG	4 - PLG	S 6°33'34" W	84.283
4 - PLG	5 - PLG	S 87°17'17" W	79.045
5 - PLG	6 - PLG	N 9°17'58" W	64.055
6 - PLG	2 - PLG	N 1°22'48" W	210.781
2 - PLG	1 - BASE	N 72°44'9" E	69.974
Perimetro = 719.591m			
Área = 24,754.163m ²			

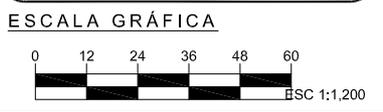
TABLA DE COORDENADAS				
Punto	Descripción	Elevación	Norte	Este
1	BASE	639.586	286522.2305	488905.5642
2	PLG	638.665	286501.4639	488838.7432
3	PLG	637.475	286314.6159	488945.6710
4	PLG	634.641	286231.2712	488933.1268
5	PLG	636.555	286227.5311	488854.1703
6	PLG	636.721	286290.7441	488843.8195

FABRICA
Sherwin Williams

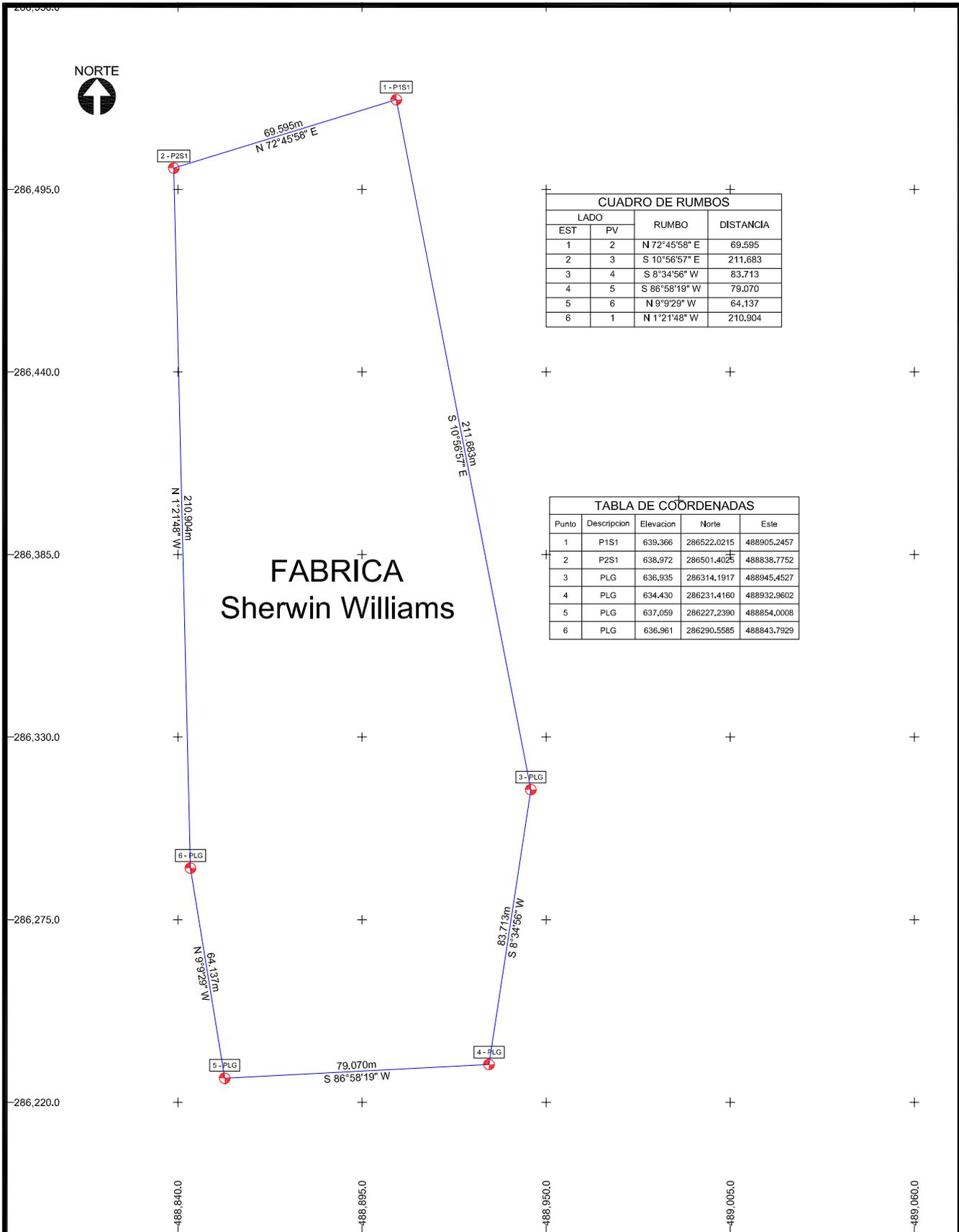


- SIMBOLOGÍA**
- Vértice de poligonal
 - Poligonal
 - Curva mayor
 - Curva menor

- NOTAS**
- Para el levantamiento con GPS-RTK se tomaron de referencia las coordenadas que se obtuvieron previamente utilizando GPS por el método estático



Clave	
RTK.FABRICA	
Plano	
ESTATICO - RTK	
Ubicación	
Carretera Panamericana Km 11, planteles de Sherwin Williams	
Elaboró	Revisó
NELY JIMENEZ ALEXIS MAGAÑA EDUARDO SORIANO	ING. WILFREDO AMAYA
Fecha	Escala
11 de sep de 2018	1:1,200-Tabloide[11x17]



CUADRO DE RUMBOS			
LADO		RUMBO	DISTANCIA
EST	PV		
1	2	N 72°45'58" E	69.595
2	3	S 10°56'57" E	211.683
3	4	S 8°34'56" W	83.713
4	5	S 86°58'19" W	79.070
5	6	N 9°9'29" W	64.137
6	1	N 1°21'48" W	210.904

TABLA DE COÓRDENADAS				
Punto	Descripción	Elevación	Norte	Este
1	P1S1	639.366	286522.0215	488905.2457
2	P2S1	638.972	286501.4025	488838.7752
3	PLG	636.935	286314.1917	488945.4527
4	PLG	634.430	286231.4160	488932.9602
5	PLG	637.059	286227.2390	488854.0008
6	PLG	636.961	286290.5585	488843.7929

FABRICA
Sherwin Williams



ESCALA GRÁFICA



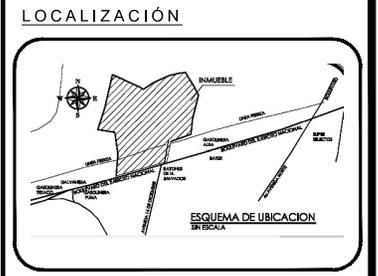
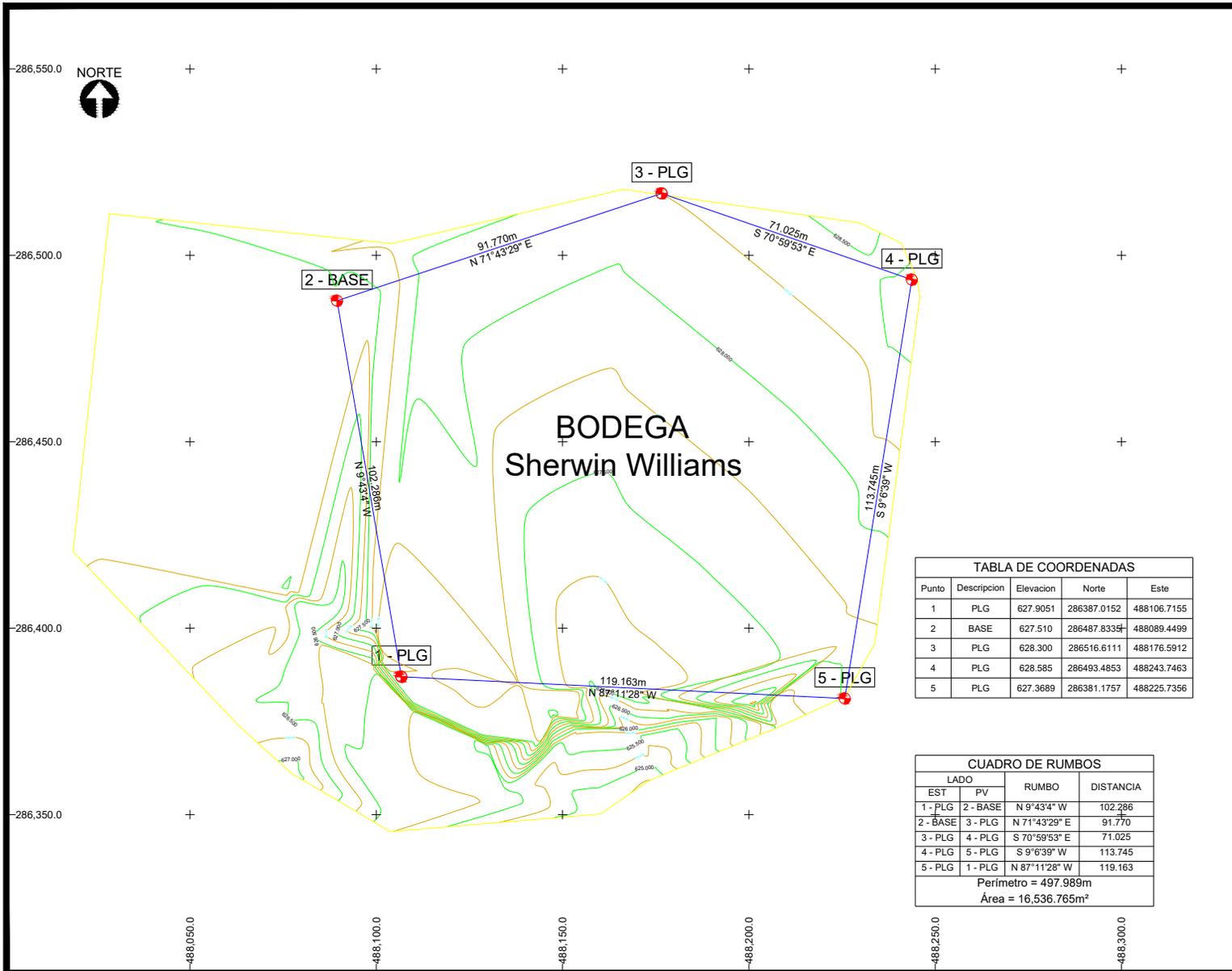
SIMBOLOGÍA

- Vértice de poligonal
- Poligonal

NOTAS

- Para el levantamiento con GPS-RTK se tomaron de referencia las coordenadas que se obtuvieron previamente utilizando GPS por el método estático

RTK.FABRICA2	
ESTATICO - RTK 2	
Carretera Panamericana km 11, planteles de Sherwin Williams	
Elaboró NELY JIMENEZ ALEXIS MAGAÑA EDUARDO SORIANO	Revisó ING. WILFREDO AMAYA
26 de ene de 2019	1:1,100-Tabloide[11x17]



- SIMBOLOGÍA**
- Vértice de poligonal
 - Poligonal
 - Curva mayor
 - Curva menor

- NOTAS**
- Para el levantamiento con GPS-RTK se tomaron de referencia las coordenadas que se obtuvieron previamente utilizando GPS por el método estático

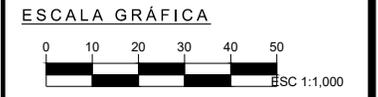


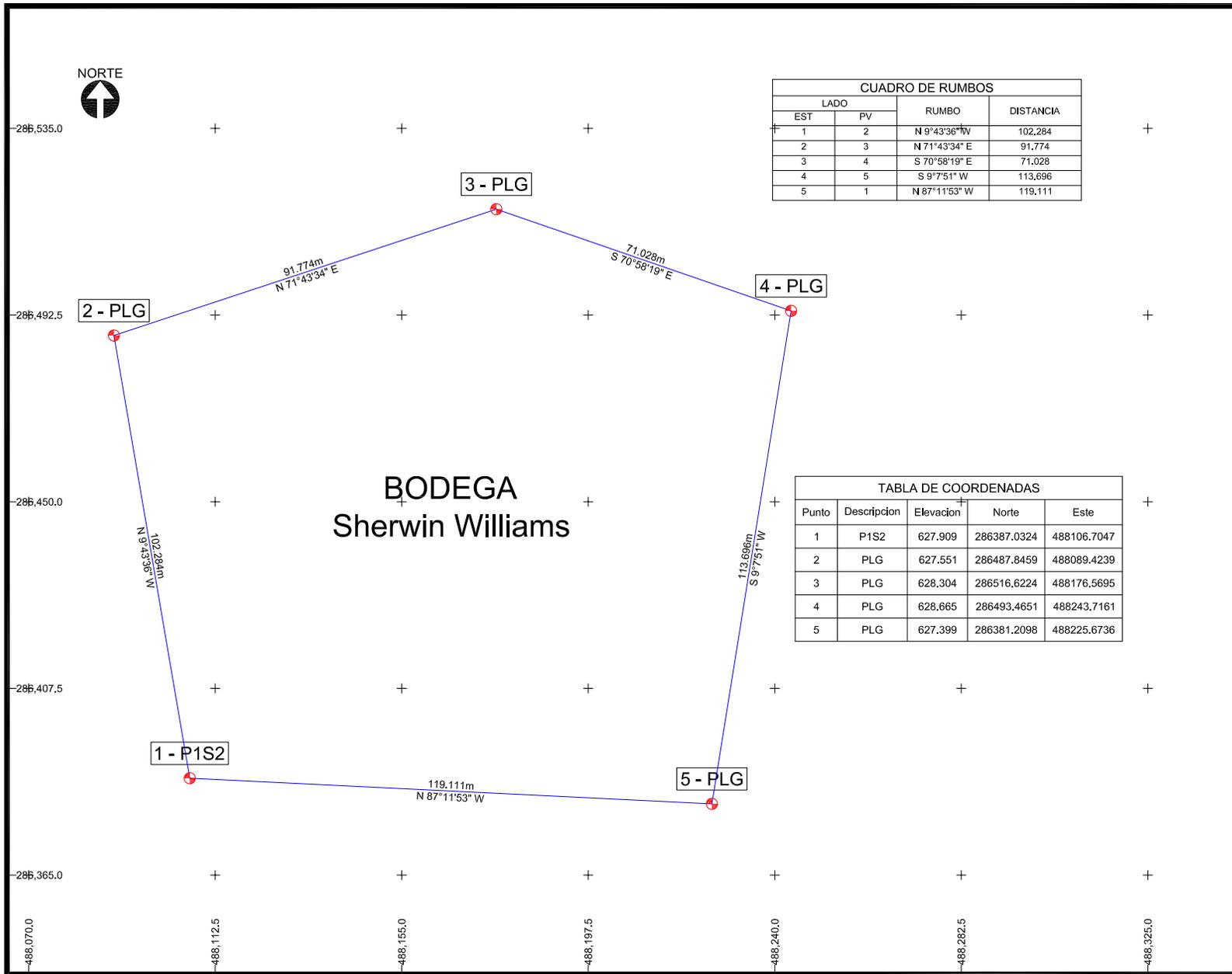
TABLA DE COORDENADAS

Punto	Descripcion	Elevacion	Norte	Este
1	PLG	627.9051	286387.0152	488106.7155
2	BASE	627.510	286487.8335	488089.4499
3	PLG	628.300	286516.6111	488176.5912
4	PLG	628.585	286493.4853	488243.7463
5	PLG	627.3689	286381.1757	488225.7356

CUADRO DE RUMBOS

LADO		RUMBO	DISTANCIA
EST	PV		
1 - PLG	2 - BASE	N 9°43'4" W	102.286
2 - BASE	3 - PLG	N 71°43'29" E	91.770
3 - PLG	4 - PLG	S 70°59'53" E	71.025
4 - PLG	5 - PLG	S 9°6'39" W	113.745
5 - PLG	1 - PLG	N 87°41'28" W	119.163
Perímetro = 497.989m			
Área = 16.536.765m ²			

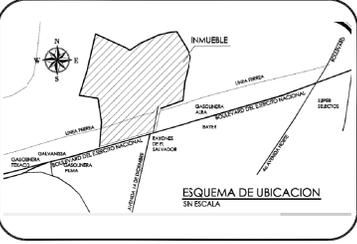
	Clave
RTK.BODEGA	
Plano	
ESTATICO - RTK	
Ubicación	
Carretera Panamericana Km 11, planteles de Sherwin Williams	
Elaboró	Revisó
NELY JIMENEZ ALEXIS MAGAÑA EDUARDO SORIANO	ING. WILFRENO AMAYA
Fecha	Escala
11 / sep / 2018	1:1,000-Tabloide[17x11]



CUADRO DE RUMBOS			
LADO		RUMBO	DISTANCIA
EST	PV		
1	2	N 9°43'36" W	102.284
2	3	N 71°43'34" E	91.774
3	4	S 70°58'19" E	71.028
4	5	S 9°7'51" W	113.696
5	1	N 87°11'53" W	119.111

TABLA DE COORDENADAS				
Punto	Descripción	Elevación	Norte	Este
1	P1S2	627.909	286387.0324	488106.7047
2	PLG	627.551	286487.8459	488089.4239
3	PLG	628.304	286516.6224	488176.5695
4	PLG	628.665	286493.4651	488243.7161
5	PLG	627.399	286381.2098	488225.6736

LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

- Vértice de poligonal
- Poligonal

NOTAS

- Para el levantamiento con GPS-RTK se tomaron de referencia las coordenadas que se obtuvieron previamente utilizando GPS por el método estático

ESCALA GRÁFICA



RTK.BODEGA2	
ESTATICO - RTK 2	
Carretera Panamericana km 11, planteles de Sherwin Williams	
Elaboró NELY JIMENEZ ALEXIS MAGAÑA EDUARDO SORIANO	Revisó ING. WILFRENO AMAYA
26 / ene / 2019	1:850-Tabloide[17x11]

Anexo C

Glosario Técnico.

Coordenadas geográficas: Son un sistema de coordenadas que permite que cada ubicación en la Tierra sea especificada por un conjunto de números, letras o símbolos. Las coordenadas de posición horizontal utilizadas son la latitud y longitud, un sistema de coordenadas angulares esféricas o cuyo centro es el centro de la Tierra y se expresan en grados sexagesimales. Las coordenadas que representan la altitud se determinan tomando como referencia el nivel medio del mar o un modelo geoidal del Globo Terráqueo.

Datum: Puntos de referencia en la superficie terrestre que sirven como base para definir un origen y situación de un sistema de coordenadas, asociado a un modelo de la forma de la Tierra.

DOP: Dilución o Degradación de la Precisión, es una medida de la fortaleza de la geometría de los satélites y está relacionada con la distancia entre los satélites y su posición en el cielo.

GDOP: Degradación de la exactitud en posición 3D y en tiempo.

Geodesia: Geodesia proviene del griego: gêodaisia (geo, tierra; daien, dividir) que significa "dividir la tierra". La geodesia es, al mismo tiempo, una de las Ciencias de la Tierra y una Ingeniería. Trata del levantamiento y de la representación de la forma y de la superficie de la Tierra, global y parcial, con sus formas naturales y artificiales.

Geoide: Superficie (de nivel) equipotencial que es perpendicular en todos sus puntos a la dirección de la gravedad resultante de la atracción terrestre y la fuerza centrífuga originada por la rotación terrestre, coincide con el nivel medio del mar (NMM) en un océano abierto sin perturbaciones o su extensión hipotética por debajo de las masas continentales.

Ionosfera: Capa de la atmósfera terrestre que se extiende entre los 80.00 y los 500.00 km de altitud aproximadamente; en ella tiene lugar abundantes procesos de ionización en los cuales se originan grandes concentraciones de electrones libres.

Latitud: La latitud es la distancia angular entre la línea ecuatorial y un punto determinado de la Tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto.

Línea del Ecuador: es el plano perpendicular al eje de rotación de un planeta y que pasa por su centro. Divide la superficie del planeta en dos partes: el hemisferio norte y el hemisferio sur.

Longitud: Expresa la distancia angular entre un punto dado de la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich medida a lo largo del paralelo en el que se encuentra dicho punto.

Máscara: Es la menor elevación en grados a la que un receptor GPS puede seguir a un satélite.

Señal: Conjunto de ondas que van desde las ondas de mayor longitud a las de menor longitud.

SIG: Sistema de Información Geográfica en español o GIS en inglés; es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial.

SIRGAS: Es el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, y como sistema de referencia se define idéntico al Sistema Internacional de Referencia Terrestre ITRS y su realización es la densificación regional del marco global de referencia terrestre ITRF en América Latina y El Caribe.

VDOP: Degradación de la exactitud en la dirección vertical.

Ventana: Es el tamaño de la abertura del cielo despejado para la recolección de la información utilizando un equipo GPS.

WGS-84 (World Geodetic System 84): Sistema Geodésico Mundial 1984, es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra.

Fotogrametría: La fotogrametría es la técnica para obtener información cuantitativa y cualitativa a partir de fotografías, de una superficie u objeto.

Geodésico: La geodesia también se emplea en matemáticas para la medida y el cálculo en superficies curvas.

EXIF de las imágenes: Exchangeable image file format (en español, Formato de archivo de imagen intercambiable; abreviatura oficial), es una especificación de formato de archivo de imagen.

GPC: Puntos de apoyo georreferenciados.

Check Points: Puntos de control georreferenciados.

Ortomosaicos: Un ortomosaico es el producto obtenido a partir de una recolección de imágenes en el que la distorsión geométrica se ha corregido y ortorrectificado.

Morfología del terreno: La superficie del terreno influye en el plan de vuelo y en el método de navegación.

Way Points: Puntos de paso, posiciones almacenadas en la memoria del aparato del lugar de la trayectoria.

Colinealidad: Ocurre cuando unos conjuntos de puntos están situados sobre la misma recta, principio utilizado en el traslape de imágenes.

Vehículos aéreos no tripulados: Son aeronaves que vuelan sin tripulación, controladas por medio de mandos automáticos.

UAV: Por sus siglas en inglés “Unmanned Aerial Vehicle”, vehículos Aéreos no Tripulados.

RPV: Por sus siglas en inglés “Remotely Piloted Vehicle”, vehículos aéreos piloteados remotamente.

INS: Sistema de navegación inercial, se parte de un punto con coordenadas, se caracteriza por realizar los cambios de dirección desde la aeronave.

GNSS: Por sus siglas en inglés “Global Navigation Satellite System”, es el sistema de navegación más conocido como el uso del GPS (Global Positioning System).

VLF/Omega: Es un método de navegación, el usuario introduce la posición exacta del avión en coordenadas geográficas antes del despegue y los sistemas calculan los movimientos X e Y relativos a partir del despegue.

EXIF: Para procesar los datos es necesario conocer las coordenadas de las fotografías escritas en el EXIF de la imagen.

GSD: Distancia representativa en el terreno (cm/pixel).

SIG: Sistema de información Geográfica, permiten combinar y relacionar diferentes elementos georreferenciados en el espacio.

DEM: Modelo de elevación digital, modelo creado para simular el relieve del terreno.

MDT: Modelo digital del terreno, se deriva del modelo digital del terreno, es un conjunto de capas que caracterizan la superficie del terreno

MDS: Modelo digital de la superficie, muestra las elevaciones de la superficie