

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DEL
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON EL USO DE
DRONES RESPECTO AL MÉTODO TRADICIONAL”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

RODOLFO ALLEN, DEUDOR CONDEZO

ASESOR

MSc. JORGE, MENDOZA DUEÑAS

Lima- Perú

2021

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir del Trabajo de Suficiencia Profesional en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Deudor Condezo, Rodolfo Allen

rdeudorcondezo@gmail.com.

964399821

A mis padres Rafael y Feliciano por apoyarme siempre en las decisiones que tomo a nivel profesional, a mis hermanos y amigos, porque junto a ellos fui aprendiendo y conociendo más de esta bonita carrera y a Dios por darme la vida, salud y sabiduría a lo largo de este camino.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
PRÓLOGO	5
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	8
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1 GENERALIDADES	11
1.2 PROBLEMÁTICA	12
1.3 OBJETIVOS	13
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	14
2.1 INTRODUCCIÓN	14
2.2 EQUIPOS TOPOGRÁFICOS (GPS Y ESTACIÓN TOTAL)	14
2.3 TECNOLOGÍA DEL DRONE	18
CAPITULO III: CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE FORMA TRADICIONAL (GPS Y ESTACIÓN TOTAL) Y CON EL USO DE LOS DRONES.	31
3.1 INTRODUCCIÓN	31
3.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS ...	33
CAPITULO IV: COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE FORMA TRADICIONAL (GPS Y ESTACIÓN TOTAL) Y CON EL USO DE LOS DRONES	84
4.1 COMPARATIVO DEL PERSONAL Y RECURSOS UTILIZADOS	84
4.2 COMPARATIVO DE VOLUMEN DE CORTE Y RELLENO	85
4.3 COMPARATIVO DE COTAS DEL PERFIL LONGITUDINAL PRINCIPAL	86
4.4 COMPARATIVO DE COTAS DE LOS PERFILES LONGITUDINALES SECUNDARIOS	87
4.5 COMPARATIVO DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS CAMARAS ENTRE EL DRONE DJI PHANTOM 4 Y EL DRONE eBee RTK.....	106
4.6 COMPARATIVO DE LA RENTABILIDAD GENERAL DE LA PARTIDA	112
CAPITULO V: IMPACTO DEL USO DE LA TECNOLOGÍA DE LOS DRONES EN EL PROYECTO EN GENERAL	115
5.1 INTRODUCCIÓN	115
5.2 IMPACTO EN TIEMPO	115
5.3 IMPACTO EN COSTO	120

CONCLUSIONES.....	124
RECOMENDACIONES.....	126
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
ANEXOS.....	128

RESUMEN

El presente informe tendrá como alcance optimizar el levantamiento topográfico de un proyecto en base a las nuevas tecnologías que surgen en el ámbito de la construcción, si bien es cierto, en los proyectos de ahora aún se usa el método TRADICIONAL (GPS y Estación Total), sin embargo, en este proyecto en particular se tuvo la oportunidad de realizar dicho trabajo usando no solo GPS y Estación Total, sino también con la tecnología de los Drones.

La finalidad de este informe, es comparar resultados tanto en tiempo, precisión y costos, ya que en base a este análisis se podrá tomar decisiones para usarlos en proyectos a futuro, ya sea en la etapa de diseño o en la etapa de construcción.

El nombre del proyecto se mantendrá en reserva por motivos de confidencialidad con el cliente, tampoco se dará los nombres de las empresas que participaron en ella, debido a políticas internas.

ABSTRACT

The scope of this report will be to optimize the topographic survey of a project based on the new technologies that arise in the field of construction, although it is true, in the projects of today the traditional method is still used (GPS and Total Station), However, in this particular project we had the opportunity to carry out such work using not only GPS and Total Station, but also with Drone technology.

The purpose of doing this is to compare results both in time, precision and costs, since based on these results obtained from this analysis, decisions can be made to use them in other projects, either in the design stage or in the stage of construction.

The name of the project will be kept confidential for reasons of confidentiality with the client, nor will the names of the companies that participated in it be given, due to internal politics.

PRÓLOGO

En este informe se desarrolló primero con la recopilación de información existente durante la ejecución del proyecto. Se midió los distintos procesos desde el inicio del levantamiento topográfico hasta finalizar con el trabajo de gabinete, se estudió la tecnología del Drone y su aplicación en el levantamiento de terreno, con la finalidad de hacer la comparación entre las distintas metodologías de innovación (Drones) respecto al método TRADICIONAL (GPS y/o Estación Total).

Dicho estudio se llevó a cabo de la siguiente manera:

En el capítulo II se detalla el marco teórico del informe, ahí se habló de los equipos y los programas que usamos para realizar este estudio, en el capítulo III, indicamos el proceso que realizamos para la tomas de datos y su procesamiento, en el capítulo IV realizamos la comparación tanto en tiempo, precisión y costos de estas metodologías, y finalmente en el capítulo V indicamos de cómo es que esta decisión influencio en tiempo y en costo en el proyecto en general.

Una vez analizada los resultados obtenidos y al ser comparados, se deducirá si la nueva tecnología es conveniente o no usarlo, o en su defecto en qué condiciones podemos usarlo, para que este resulte beneficioso en futuros proyectos.

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Distancia Focal de la cámara recomendada por Pix4D según el tipo de proyecto.....	23
Tabla N° 2: Características de Estación Total Leica FlexLine TS06.....	34
Tabla N° 3: Características del GPS Trimble R8.....	36
Tabla N° 4: Puntos de control monumentados del proyecto.....	38
Tabla N° 5: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico TRADICIONAL	40
Tabla N° 6: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico TRADICIONAL – Resumen	42
Tabla N° 7: Cotas del perfil longitudinal obtenida con el levantamiento topográfico de forma TRADICIONAL.....	42
Tabla N° 8: Características Drone DJI PHANTOM 4.....	43
Tabla N° 9: Puntos de control monumentados del proyecto.....	46
Tabla N° 10: Características de la cámara.....	46
Tabla N° 11: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico con uso del Drone DJI PHANTOM 4.....	60
Tabla N° 12: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico con uso del Drone DJI PHANTOM 4 - Resumen.....	62
Tabla N° 13: Cotas del perfil longitudinal obtenida con el levantamiento topográfico usando el Drone DJI PHANTOM 4	63
Tabla N° 14: Características Drone eeBe RTK	64
Tabla N° 15: Características de la cámara.....	67
Tabla N° 16: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico con uso del Drone eBee RTK	81
Tabla N° 17: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico con uso del Drone eBee RTK- Resumen	83
Tabla N° 18: Cotas del perfil longitudinal obtenida con el levantamiento topográfico usando el Drone eBee RTK.....	83
Tabla N° 19: Cuadro comparativo del personal usado en cada metodología	84
Tabla N° 20: Cuadro comparativo de los recursos usados en cada metodología	84

Tabla N° 21: Volumen de corte y relleno – Comparativo general de las tres metodologías	85
Tabla N° 22: Comparativo de cotas del perfil longitudinal principal	86
Tabla N° 23: Comparativo de cotas del corte 10-10	88
Tabla N° 24: Comparativo de las características de las cámaras usadas y la precisión obtenida en cada una de ellas.	106
Tabla N° 25: Comparativo de los Drones más recientes cuyas cámaras son más precisas	108
Tabla N° 26: Comparativo de las características de las cámaras del Drone WintraOne	109
Tabla N° 27: Comparativo para obtener la mejor resolución en terreno real a 65 m de altitud	110
Tabla N° 28: Comparativo al realizar un vuelo a una misma altitud de 110 m..	110
Tabla N° 29: Comparativo con una misma resolución en terreno de 1.8 cm / pixel	111
Tabla N° 30: Comparativo con una misma resolución en terreno de 1.5 cm / pixel	111
Tabla N° 31: Comparativo de la rentabilidad de la partida	112
Tabla N° 32: Gastos generales por retraso de obra	121
Tabla N° 33: Análisis de precios unitarios – Excavación masiva.....	133
Tabla N° 34: Análisis de precios unitarios – Eliminación de material.....	134
Tabla N° 35: Análisis de precios unitarios – Relleno y compactación de material de préstamo.....	135

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Drone - DJI PHANTOM 4.....	19
Figura N° 2: Drone – eBee RTK.....	19
Figura N° 3: Espectro electromagnético.....	20
Figura N° 4: Espectro visible - similar al ojo humano	21
Figura N° 5: Espectro cercano al infrarrojo – Muestra de una vegetación de color rojo intenso	22
Figura N° 6: Espectro infrarrojo – las zonas rojas tienen mayor temperatura y los de color azul los de menos temperatura.	22
Figura N° 7: Dimensiones de imagen según proporción y cantidad de pixeles... ..	24
Figura N° 8: Tamaños de sensores más utilizados en las cámaras digitales	25
Figura N° 9: Relación entre resolución de terreno, altura de vuelo y características de la cámara.....	26
Figura N° 10: Representación de la toma de fotos a través de un Drone	27
Figura N° 11: Parte derecha: Imagen ortomosaico; parte Izquierda: Modelo digital	27
Figura N° 12: Menú principal del programa Pix4D	28
Figura N° 13: Menú principal del programa Agisoft PhotoScan Professional	29
Figura N° 14: Menú principal del programa eMotion 2	29
Figura N° 15: Menú principal del programa Pix4Dmapper	30
Figura N° 16: Ubicación del ámbito del Levantamiento	31
Figura N° 17: Ubicación de las edificaciones	32
Figura N° 18: Sección de volumen de corte y de relleno	33
Figura N° 19: Estación Total Leica FlexLine TS06	35
Figura N° 20: Inicio del levantamiento topográfico con Estación Total Leica FlexLine TS06	35
Figura N° 21: GPS Trimble R8.....	36
Figura N° 22: Inicio de la monumentación de puntos de control con la ayuda del GPS Trimble R8.....	37
Figura N° 23: Drone DJI PHANTOM 4	44
Figura N° 24: Drone DJI PHANTOM 4	45
Figura N° 25: Tabla de elevación solar para el día 07 de abril / elevación = 42.26°	47

Figura N° 26: Determinación de la altura de vuelo.....	48
Figura N° 27: Modelo de básico del planeamiento de vuelo.....	51
Figura N° 28: Inserción de fotos al programa Agisoft PhotoScan Professional, con su respectiva geo-referenciación y orientación	53
Figura N° 29: Inserción de puntos de control (3 puntos monumentados y 24 puntos de control adicionales) al programa Agisoft PhotoScan Professional.....	54
Figura N° 30: Referencia de los puntos de control en campo.....	54
Figura N° 31: Ajuste de fotos con la ayuda de puntos de control monumentados.	54
Figura N° 32: Nube de puntos densa generada 3D.....	55
Figura N° 33: Enmallado del modelo.....	56
Figura N° 34: Imagen ortomosaico.....	57
Figura N° 35: Exportación de la imagen ortomosaico al Civil 3D.....	58
Figura N° 36: Importación de la nube puntos al RECAP PRO.....	58
Figura N° 37: Importación de la nube de puntos al Civil 3D	59
Figura N° 38: Drone eeBe RTK junto con la estación base	65
Figura N° 39: Inicio del vuelo con el Drone eeBe RTK	65
Figura N° 40: Colocacion del punto base	67
Figura N° 41: Tabla de elevación solar para el día 10 de abril / elevación = 62.78°	68
Figura N° 42: Determinación de la altura de vuelo	69
Figura N° 43: Modelo de básico del planeamiento de vuelo.....	71
Figura N° 44: Apertura del programa eMotion 2.....	73
Figura N° 45: Modelo de básico del planeamiento de vuelo.....	73
Figura N° 46: Programacion de vuelo y selección de fotos	73
Figura N° 47: Inicialización del programa Pix4Dmapper.	74
Figura N° 48: Importación de puntos de control (verificación)	75
Figura N° 49: Ajuste fotogramétrico / Aero triangulación	75
Figura N° 50: Vuelo ajustado	76
Figura N° 51: Modelo digital de elevaciones (Archivo en formato MDS).....	77
Figura N° 52: Archivo de curvas de nivel	78
Figura N° 53: Imagen ortomosaico.....	78
Figura N° 54: Exportación de la imagen ortomosaico al Civil 3D.....	79
Figura N° 55: Importación de la nube puntos al RECAP PRO.....	79

Figura N° 56: Importación de la nube de puntos al Civil 3D	80
Figura N° 57: Error del perfil longitudinal / corte 10 – 10	95
Figura N° 58: Error del perfil longitudinal / corte 46 - 46	96
Figura N° 59: Terreno levantado – pendientes no muy pronunciadas	97
Figura N° 60: Error del perfil longitudinal / corte 7 – 7	98
Figura N° 61: Terreno levantado – pendientes muy pronunciadas	98
Figura N° 62: Error del perfil longitudinal / cortes 17 – 17, 18 – 18, 19 – 19 y 20 – 20	98100
Figura N° 63: Error del perfil longitudinal / cortes 21 – 21, 22 – 22, 23 – 23 y 24 – 24	101
Figura N° 64: Error del perfil longitudinal / cortes 73 – 73, 74 – 74, 75 – 75 y 76 – 76	102
Figura N° 65: Error del perfil longitudinal / cortes 77 – 77, 78– 78, 79 – 79 y 80 – 80	103
Figura N° 66: Grafico de dispersión	105
Figura N° 67: Primer escenario / Diagrama Gantt - Cronograma Cero.....	117
Figura N° 68: Segundo escenario / Diagrama Gantt - Cronograma Rev. 1	118
Figura N° 69: Tercer escenario / Diagrama Gantt - Cronograma interno Rev. 0	119

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Si bien es cierto la rama de la construcción ha logrado un crecimiento en masa en los últimos años en nuestro país, este ha sido un crecimiento no compartido con la tecnología aplicada, lo cual ha repercutido en varias áreas, especialidades y procesos conformantes de la construcción; sin embargo, en algunas empresas se ha logrado ya la implementación de las nuevas tecnologías.

Los levantamientos topográficos han sido modificados durante muchas décadas, y más con la incorporación de equipos de última tecnología (GPS y Estación Total). Las características de estas modificaciones se evidencian en el proceso de captura, almacenamiento, cálculo y transmisión de los datos de campo, así como también en la representación gráfica de los mismos; trayendo como consecuencia la posibilidad de obtener un producto final con mayor rapidez y precisión.

Sin embargo, en los últimos tiempos ha habido un gran interés en el estudio de los Drones, ya que ha demostrado ser una herramienta muy útil para diferentes aplicaciones en cuanto a topografía. Esto nos ofrece una perspectiva distinta de los métodos conocidos, proporcionándonos una fotogrametría accesible además de una gran variedad de programas especializados en esta y permitiéndonos desarrollar levantamientos topográficos más óptimos.

Es por ello, que este informe se centra en optimizar el levantamiento topográfico usando la tecnología de los Drones, conllevando a que sea más rentable en tiempo y costos la ejecución del proyecto.

1.2 PROBLEMÁTICA

Como se sabe, realizar un levantamiento topográfico mediante el método TRADICIONAL (GPS y la Estación Total) normalmente demanda cierta cantidad de tiempo y de recursos que finalmente se traduce en gastos que obviamente eran contemplados al momento de ejecutar el proyecto; es por eso, que para la empresa usar este tipo de metodología es muy común en la ejecución de sus proyectos; sin embargo, para esta obra en particular, el cliente decidió reducir el tiempo para hacer dicho levantamiento con la finalidad de que no haya una demora en el inicio de esta (obviamente no solo fue afectada esta partida si no también otras partidas que venían más adelante). Por ende, la empresa decidió hacer uso de la tecnología del Drone, pero obviamente existía cierta incertidumbre no solo a nivel de costos sino también a nivel de la precisión de los resultados que se obtendrían al usar dicha tecnología.

Paralelamente, con la ejecución de las futuras partidas, se decidió realizar el levantamiento topográfico usando la metodología TRADICIONAL (GPS y la Estación Total), obviamente se hacían por sectores, juntamente con los frentes que se iban construyendo, esto se hizo con la finalidad de comparar el tiempo, la precisión y el costo con la tecnología de los Drones, ya que el contrato de esta partida se hizo en base a los resultados de esta nueva tecnología, lo cual influiría en la toma de decisiones de los proyectos futuros.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Analizar la eficiencia del levantamiento de terreno con el uso de Drones versus el levantamiento de forma TRADICIONAL utilizadas en el proyecto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la eficiencia del levantamiento de terreno con en el uso de Drone DJI PHATOM 4 bajo el método de puntos de control terrestre versus el levantamiento de forma TRADICIONAL.
- Analizar la eficiencia del levantamiento de terreno con en el uso de Drone eBee bajo el método de RTK versus el levantamiento de forma TRADICIONAL.
- Realizar un análisis de impacto en tiempo y costo que asumió el proyecto al usar esta nueva tecnología.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta definiciones básicas que nos permite conocer el alcance del informe. Se empezará con la descripción de los equipos que se usan en un levantamiento topográfico TRADICIONAL (GPS y Estación Total) con el objetivo de comprender la importancia de estas en un proyecto de gran envergadura, y finalmente, se describe la tecnología de los Drones y su uso en el campo de la ingeniería civil, específicamente en el levantamiento topográfico.

Este marco teórico será necesario para comprender el desarrollo de todo el trabajo que se irá detallando poco a poco en los capítulos posteriores.

2.2 EQUIPOS TOPOGRÁFICOS (GPS Y ESTACIÓN TOTAL)

2.2.1 Sistema de posicionamiento Global (GPS)

Para llevar a cabo levantamientos topográficos es necesario utilizar equipos de medición con la tecnología más avanzada, tales como el GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Con él es posible determinar las coordenadas que permiten ubicar puntos sobre la superficie de la tierra, esta hace uso de un conjunto de satélites ubicado en el espacio agrupados en forma de constelaciones que son:

- NAVSTAR (Americano)
- GLONASS (Ruso)
- GALILEO (Europeo)

El más utilizado es el NAVSTAR, el mismo fue diseñado, financiado, controlado y operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Este consta de tres divisiones: segmento espacio, segmento control y segmento usuario.

2.2.1.1 Segmento espacio

El segmento espacio está formado por los satélites que envían señales de radio desde el espacio ya que recorren todos los puntos de la superficie terrestre, por lo tanto, su posición exacta es conocida durante las 24 horas del día.

2.2.1.2 Segmento control

Está formado por una red de estaciones de monitoreo alrededor del mundo. Consta de una estación maestra de control que funciona las 24 horas del día y los 7 días de la semana (cuyas funciones son seguimiento, monitoreo y manejo de la constelación de satélites GPS); además de 5 estaciones monitoras cuya función es el seguimiento pasivo de los satélites GPS que tienen a la vista, obteniendo la información necesaria para calcular con gran precisión sus respectivas órbitas.

2.2.1.3 Segmento Usuario

Está formado por los receptores que captan las señales emitidas por los satélites y empleados para su posicionamiento. Literalmente, consiste en recibir la señal emitida por los satélites y así calcular las soluciones de navegación (posición, altitud, velocidad y tiempo).

La precisión de los GPS no es perfecta, ya que existen factores atmosféricos que hacen que se genere errores en la toma de datos, estas pueden ir de +/- 1 metro hasta más de +/- 30 metros dependiendo de la cantidad de satélites que se encuentran visibles al momento de tomar los datos, los factores que puedan influenciar en la exactitud de los resultados pueden ser, por ejemplo: el efecto de la ionósfera y la tropósfera, cálculos numéricos, entre otros.

2.2.2 GPS diferencial

Para reducir los errores por los factores descritos en el punto anterior se utilizó comúnmente sistemas de GPS diferencial, estas permiten mejorar la precisión y por ende la fiabilidad de los resultados. Este tipo de receptor además de recibir y

procesar la información de una estación terrestre, también permite corregir las inexactitudes en tiempo real.

El método diferencial que se utilizaría para el levantamiento de información, consta de dos equipos GPS que trabajan simultáneamente. Cada uno de estos se sitúan en una posición, con la condición de que una de ellas sea conocida.

- Estación de referencia (Inmóvil, en un punto de coordenadas conocidas).
- Móvil o Rover (En movimiento, en puntos de coordenadas desconocidas).

Con esta metodología se consigue conocer algunos de los errores y corregirlos en tiempo real. Las funciones del GPS inmóvil (cuyas coordenadas son conocidas) serán de analizar las señales de todos los satélites visibles, calcular los errores recibidos en la recepción de la señal, los errores de forma individual por satélite y transmitir esta información al receptor móvil. Con este método permiten a los usuarios alcanzar hasta 3m de precisión, cubriendo un aproximado de 200 km; sin embargo, existen también receptores GPS diferencial mucho más sofisticados que funcionan recibiendo múltiples señales de radiofrecuencia cuyo margen de error no sobrepasa, por ejemplo, los 25 cm.

2.2.3 Estación Total

Instrumento que integra en un solo equipo las funciones que realizaba el teodolito electrónico, un distanciómetro y un microprocesador para realizar los cálculos necesarios que permitan determinar coordenadas rectangulares de los puntos del terreno.

La Estación Total en general según Wolf y Brinker (1997) puede mencionarse como:

Obtención de promedios de mediciones múltiples angulares y de distancias, corrección electrónica de distancias por constantes de prisma, presión atmosférica y temperatura, correcciones por curvatura y refracción terrestre, reducción de la distancia inclinada a sus componentes horizontal y vertical,

así como el cálculo de coordenadas de los puntos levantados

(p. 35).

Antes de usar este equipo, se tendría que configurar los valores como: la constante para la corrección atmosférica, la constante de prisma, los puertos de salida, las unidades de medición, las coordenadas del punto conocido, el azimut de referencia, entre otros.

La Estación Total por lo general es usada para levantamientos planímetros como también para levantamientos altimétricos independientemente del tamaño del proyecto. Todo levantamiento topográfico debe contemplar las especificaciones mostradas a continuación:

2.2.3.1 Planificación

Todo levantamiento topográfico debe de tener una planificación cuya única finalidad será hacer uso óptimo de los recursos disponibles y obtener un producto de calidad que cumpla con las exigencias del proyecto. El proceso que se debe de tener en cuenta, es primero recopilar información técnica (cartas topográficas, planos, ortofotos, entre otros), luego ver las especificaciones técnicas que manda el proyecto para analizar el alcance de estas, y finalmente ver la disponibilidad del personal y de los equipos a utilizar.

2.2.3.2 Señalización

Una vez obtenida la planificación, se procede a ver cómo realizar la señalización, por ejemplo, una opción sería la puntería que consiste en dirigir los visuales desde diversas perspectivas para señalarlas con un jalón o una mira; otra opción puede ser de observación, esta se refiere a los puntos de control monumentados y resguardados en el campo; pero, en general se da de ambos modos ya que son puntos de control y a la vez van a ser observadas desde otros puntos del terreno.

2.2.3.3 Captura de Datos

Anteriormente los registros de campo se pasaban en libretas exclusivas hechas manualmente, en la actualidad son por lo general electrónicas. Para el levantamiento topográfico y su posterior captura de datos en el que se hará uso del GPS y la Estación Total simultáneamente con la finalidad de registrar y almacenar magnitudes requeridas para el cálculo de las coordenadas de los puntos.

2.2.3.4 Representación Gráfica Asistido por computadora

Como bien se sabe las mediciones realizadas en un levantamiento topográfico deben ser representadas en gráficos de manera precisa, usualmente estos se pueden generar en computadoras que tengan disponibles los programas conocidos como CAD. El uso de este sistema, en la actualidad, proporciona grandes ventajas entre las cuales se pueden mencionar: la velocidad en la elaboración, emisión del plano topográfico, la minimización o eliminación de errores, la mejor visualización del terreno, la digitalización de la información total del trabajo levantado, la transmisión de información de forma electrónica a cada involucrado del proyecto, entre otros. Cabe resaltar, que para la elaboración de este informe se utilizará los programas del CAD para la generación de los gráficos del levantamiento topográfico.

2.3 TECNOLOGÍA DEL DRONE

2.3.1 Definición del Drone

El Drone, es un equipo que vuela sin tripulación (vehículo aéreo no tripulado), capaz de sostener un nivel de vuelo controlado y es propulsado por uno o varios motores, en el mercado existen distintos tamaños, formas y características. Se identifican dos variantes, la primera que son controlados de manera remota y la segunda que vuelan sobre un plan de vuelo programado.

Existen distintas ventajas que nos motiva a usar este tipo de tecnología, como por ejemplo la rapidez del levantamiento de información, la sustitución del ser humano

en la ejecución de levantamiento topográficos en lugares peligrosos, disminución de costos en la toma de datos, etcétera. Las desventajas podrían ser: la vulnerabilidad a cambios atmosféricos bruscos, la autonomía de la batería (ya que por lo general no suelen durar más de 2 horas) y la posibilidad de generar accidentes sobre todo cuando vuela en lugares altamente poblados.

2.3.2 Tipos de Drones

Por lo general existen diversos tipos de Drones, pero solo se detalla los dos Drones que se utiliza en el proyecto. El primero es el DJI PHANTOM 4 (cuenta con rotores del estilo de helicópteros) y el segundo es el eBee RTK o llamado Drone de ala fija (parecidas a un avión). (Ver figura 1 y 2).



Figura N° 1: Drone - DJI PHANTOM 4

Fuente: <https://www.dji.com/phantom-4/info>.



Figura N° 2: Drone – eBee RTK

Fuente: <https://www.sensefly.com/es/drones/>.

Las características generales de cada uno de estos serán mencionadas en el capítulo siguiente. Sin embargo, cabe recalcar que el eBee RTK es el más moderno, ya que cuenta con la tecnología del RTK incorporado mientras que en el DJI PHANTOM 4 no ocurre esto.

2.3.3 Ingeniería del Drone

2.3.3.1 Sensores

Se sabe que los Drones han ido evolucionando debido a que las exigencias del mercado son cada vez mayores. Por ende, en los últimos tiempos, en estos equipos se han ido incorporando opciones como giroscopios, altímetros, GPS, sensor láser, cámara de video o fotografía, etcétera; de este conjunto se puede resaltar los sensores, ya que estas capturan el cúmulo de datos requeridos de un proyecto en base a la radiación electromagnética.

Cabe resaltar, el espectro electromagnético incluye rayos gamma, rayos x, ultravioleta, entre otros; cuya diferencia es la longitud de onda o la radiación. El ojo humano no percibe todas estas, sin embargo, si lo pueden hacer los sensores, ya que muestran las diferencias que serán estudiadas detalladamente. Debido a esto, se puede decir que el conjunto de sensores es la parte más importante del propio Drone. (Ver figura 3).

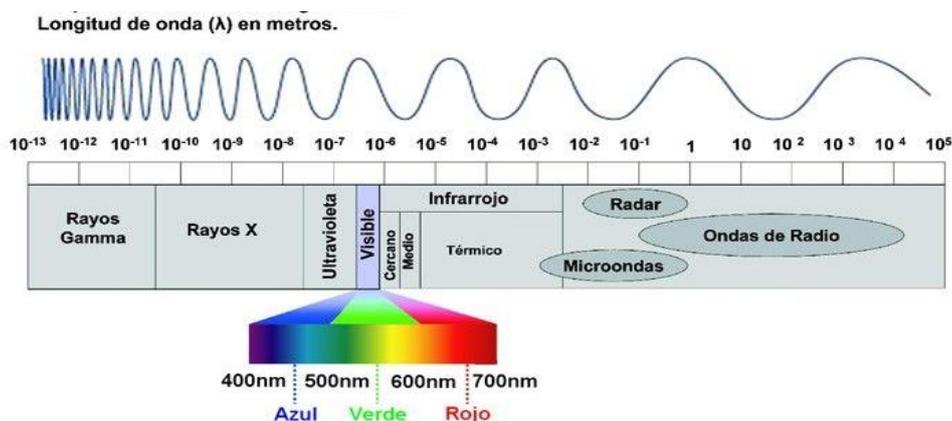


Figura N° 3: Espectro electromagnético

Fuente: https://elpais.com/sociedad/2009/01/15/actualidad/1231974010_850215.html.

2.3.3.2 Bandas electromagnéticas

- Espectro visible

Este es el rango de luz que es percibido por el ojo humano y es de forma natural. La cámara con el sensor de luz visible puede detectar los canales rojos, verde y azul, estas se mezclan y producen una alta gama de colores que son experimentados por el ojo humano. (Ver figura 4).



Figura N° 4: Espectro visible - similar al ojo humano

Fuente: Vázquez, J. y Backhoff, M. (2017). Publicación técnica – Procesamiento geo-informático de datos generados mediante Drones para la gestión de infraestructura de transporte.

- Espectro cercano al infrarrojo (NIR)

Es la más cercana a la región visible del espectro electromagnético, el ojo humano es mucho menos sensible a esta área, aquí es donde se visualiza diversas características, como, por ejemplo, áreas verdes. Estas cámaras son diseñadas exclusivamente para el uso agrícola, la silvicultura y la arqueología. (Ver figura 5).

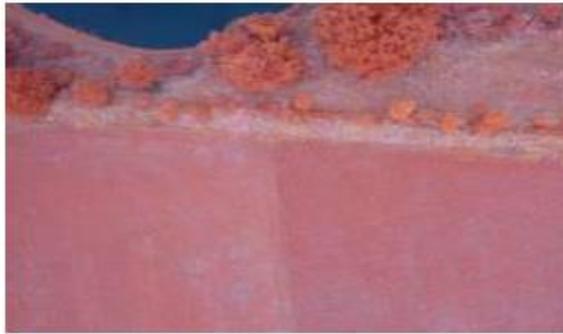


Figura N° 5: Espectro cercano al infrarrojo – Muestra de una vegetación de color rojo intenso
Fuente: Vázquez, J. y Backhoff, M. (2017). Publicación técnica – Procesamiento geo-informático de datos generados mediante Drones para la gestión de infraestructura de transporte.

- Espectro infrarrojo (IR)

Se encuentra en la parte visible y de microondas del espectro electromagnético, el ojo humano no es capaz de percibirlo, pero a medida que aumenta la intensidad (debido al movimiento de átomos y moléculas) se comienza a sentir un cierto calor. A medida que se aumenta la cantidad de movimientos la temperatura y la radiación infrarroja se incrementan, por ello, las imágenes térmicas son ideales para su aplicación. (Ver figura 6).

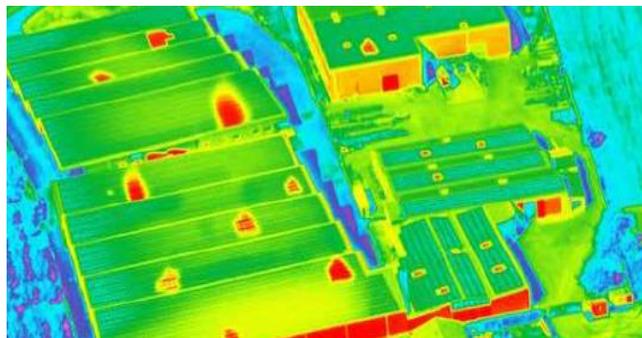


Figura N° 6: Espectro infrarrojo – las zonas rojas tienen mayor temperatura y las de color azul las de menor temperatura.

Fuente: Vázquez, J. y Backhoff, M. (2017). Publicación técnica – Procesamiento geo-informático de datos generados mediante Drones para la gestión de infraestructura de transporte.

2.3.3.3 Cámara

Las cámaras a utilizar son las que deben de tener un mínimo de distorsión al momento de tomar los datos, y estas a su vez tienen que producir resultados

óptimos y fiables. En la actualidad las cámaras digitales son las que más se utilizan porque pueden capturar información de distintas partes del espectro electromagnético.

Según el tipo de cámara estas fotografías pueden contener información más amplia del terreno, algunos programas como el Pix4D de restitución fotogramétrica recomiendan parámetros internos específicos de la cámara destinada a usarse según la naturaleza del proyecto. (Ver tabla 1)

Tabla Nº 1: Distancia Focal de la cámara recomendada por Pix4D según el tipo de proyecto.

Aplicación	Recomendación	Motivo
Mapeo: Proyecto aéreo con una altura de vuelo sobre 50 metros.	Lentes de Perspectiva: Entre 22mm y 80mm de distancia focal (formato equivalente de 35mm).	Para asegurar una buena GSD que permitirá una alta precisión en los resultados.
Interiores / Reconstrucción 3D de corto rango.	Lentes de Ojo de Pez: Distancia focal muy baja.	Flexibilidad para la adquisición de imágenes: Asegurando un traslape alto.

Fuente: Claros Z, Guevara A y Pacas C (2016). Tesis - Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos con el uso de Drones.

Se debe conocer que el tamaño de las fotografías y el tamaño de las impresiones que se desean realizar lo definirá la cantidad de megapíxeles que tenga una cámara digital. (Ver figura 7).

Megapíxeles	Tamaño imagen 3:2 (Píxeles)	Tamaño imagen 4:3 (Píxeles)	Megapíxeles	Tamaño imagen 3:2 (Píxeles)	Tamaño imagen 4:3 (Píxeles)
0,3	671x447	632x474	20	5477x3651	5164x3873
1	1224x816	1155x866	21	5613x3742	5292x3969
1,2	1341x894	1265x949	22	5745x3830	5416x4062
2	1733x1155	1633x1225	24	6000x4000	5657x4243
3	2121x1414	2000x1500	25	6123x4082	5773x4330
4	2450x1633	2309x1732	28	6480x4320	6111x4583
5	2739x1826	2581x1936	30	6708x4472	6324x4743
5,3	2820x1880	2659x1994	32	6929x4619	6532x4899
6	3000x2000	2828x2121	34	7142x4761	6733x5050
6,3	3074x2049	2899x2174	35	7245x4830	6831x5123
8	3464x2309	3265x2449	36	7349x4899	6928x5196
10	3873x2582	3652x2739	39	7649x5099	7211x5408
12	4242x2828	4000x3000	40	7746x5164	7303x5477
14	4583x3055	4320x3240	44	8124x5416	7660x5745
15	4743x3162	4472x3354	48	8486x5657	8000x6000
16	4899x3266	4619x3464	50	8661x5774	8165x6124
18	5196x3464	4899x3674			

Figura Nº 7: Dimensiones de imagen según proporción y cantidad de píxeles.

Fuente: Claros Z, Guevara A y Pacas C (2016). Tesis - Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos con el uso de Drones.

Cabe mencionar que los megapíxeles de las cámaras digitales no definen la calidad de una imagen, sino simplemente miden su tamaño. Lo que define la buena calidad de la imagen es la tecnología y tamaño del sensor.

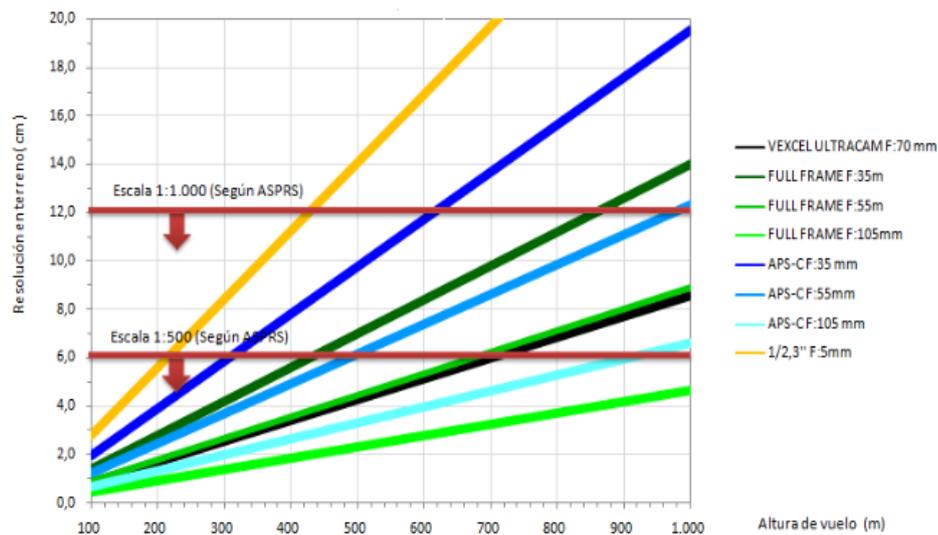
A continuación, mostramos una imagen de los distintos tamaños de sensores utilizados en las cámaras digitales. (Ver figura 8).

Tamaño	Diagonal	Ancho	Alto	Superficie	Imagen
1/3,6"	5,00 mm	4,00 mm	3,00 mm	12,00 mm ²	
1/3,2"	5,68 mm	4,54 mm	3,42 mm	15,50 mm ²	
1/3"	6,00 mm	4,80 mm	3,60 mm	17,28 mm ²	
1/2,7"	6,60 mm	5,28 mm	3,97 mm	20,87 mm ²	
1/2"	8,00 mm	6,40 mm	4,80 mm	30,72 mm ²	
1/1,8"	8,93 mm	7,18 mm	5,32 mm	38,20 mm ²	
2/3"	11,00 mm	8,80 mm	6,60 mm	58,08 mm ²	
1"	16,00 mm	12,80 mm	9,60 mm	122,88 mm ²	
4,3"	22,50 mm	18,00 mm	13,50 mm	243,00 mm ²	
APS-C	30,10 mm	23,60 mm	15,60 mm	368,16 mm ²	
APS-H	33,50 mm	27,90 mm	18,60 mm	518,94 mm ²	
Full-Frame	43,30 mm	36,00 mm	24,00 mm	864,00 mm ²	
H4D-60	64,70 mm	53,70 mm	40,20 mm	2.158,74 mm ²	

Figura N° 8: Tamaños de sensores más utilizados en las cámaras digitales

Fuente: <https://todo-fotografia.com/tecnica/tamano-y-resolucion-del-sensor/>

En la figura N° 9 se muestran los nominales de algunas cámaras en comparación con la fotogrametría, con la finalidad de poder observar la relación que existe entre la resolución del terreno con la altura de vuelo y diferentes características de cámaras.



Relación entre cámaras estándar / resolución espacial / altura de vuelo

CÁMARA	Ancho del sensor (mm)	Ancho del sensor en pixel	Sensor (Megapíxeles)	Formato eq. 35 mm	Focal (mm)		Resolución (cm) en el terreno según la altura de vuelo (m)			
					Focal (mm)	Focal eq. 35mm	1.000	500	200	100
FOTOGRAMÉTRICA VEXCEL ULTRACAM PAN	70	11.704	92	0,5	70	35	8,5	4,3	1,7	0,9
CÁMARAS FULL FRAME	36	7.360	36	1	35	35	14,0	7,0	2,8	1,4
					55	55	8,9	4,4	1,8	0,9
CÁMARAS APS-C	22,3	5.184	18	1,6	22	35	19,6	9,8	3,9	2,0
					35	55	12,3	6,1	2,5	1,2
CÁMARAS 1/2,3"	6,17	4.384	14	5,7	5	28	28,1	14,1	5,6	2,8
					65	102	6,6	3,3	1,3	0,7

Figura Nº 9: Relación entre resolución de terreno, altura de vuelo y características de la cámara
Fuente: Vázquez, J. y Backhoff, M. (2017). Publicación técnica – Procesamiento geo-informático de datos generados mediante Drones para la gestión de infraestructura de transporte.

Finalmente, al procesar las fotos tomadas con un Drone, se generan una nube de puntos que se graban en archivos binarios con formatos LAS, que contiene millones de registros con información tridimensional (x, y, z) de cada punto levantado, y una vez obtenida, esta se analiza y se elimina puntos que presentan anomalías (puntos muy altos o puntos muy bajos).

Luego se hace una comparación con los puntos de control terrestre con la finalidad de realizar el ajuste necesario y de esta forma reducir o eliminar errores sistemáticos en la altura. (Ver figura 10).



Figura N° 10: Representación de la toma de fotos a través de un Dron

Fuente: Vázquez, J. y Backhoff, M. (2017). Publicación técnica – Procesamiento geo-informático de datos generados mediante Drones para la gestión de infraestructura de transporte.

El resultado final que se obtendrá con estas tecnologías son las imágenes Ortomosaicos y los Modelos digitales. En cuanto a esta última, pueden dividirse en dos: Modelos digitales de superficie (MDS) que contiene detalles como información del terreno, vegetación, construcción, etcétera; y los Modelos digitales de terreno (MDT) que contiene detalles solo del terreno. (Ver figura 11).

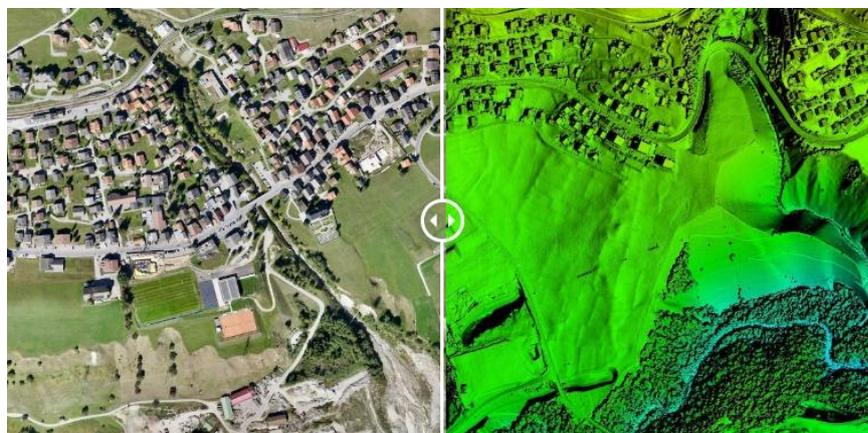


Figura N° 11: Parte derecha: Imagen ortomosaico; parte Izquierda: Modelo digital

Fuente: <https://wingtra.com/es/topografia-sig/>.

2.3.4 Software

Para este trabajo se usó distintos softwares tanto para el manejo del Dron como para el procesamiento de los datos. En este caso en particular, se describirá un poco acerca del software que se usó en el DJI PHANTOM 4 y en el eBee RTK.

2.3.4.1 DJI PHANTOM 4

Para poder realizar el plan de vuelo se hará a partir del programa “Pix 4D”, esta aplicación nos permite extender el área de trabajo, elegir la altura y estimar el tiempo total de vuelo, ya que con ello se puede preparar las baterías a usar.

Dentro del programa se puede usar, por ejemplo, la opción GRID MISSION que permite automáticamente considerar un traslape entre fotografías de un 80% longitudinal y un 60% transversal o también la opción de RESET que permitirá volver al punto de partida y volver a generar el plan de vuelo. (Ver figura 12).

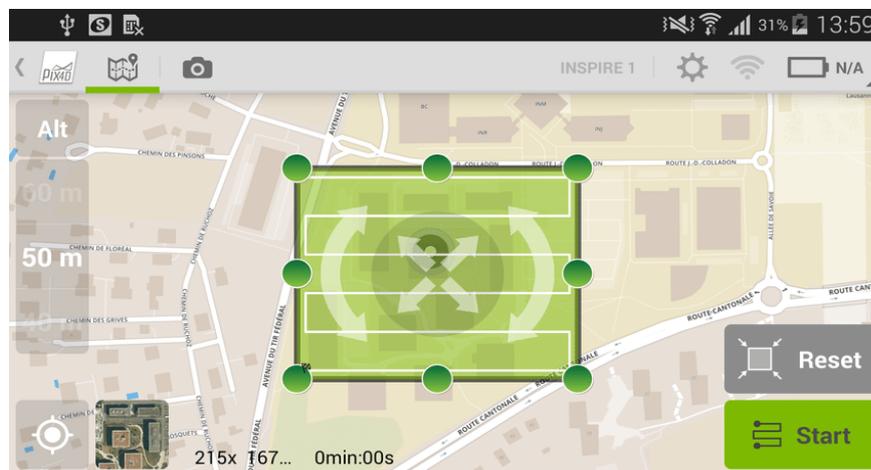


Figura N° 12: Menú principal del programa Pix4D

Fuente: <https://www.agridico.com/l/pix4dcapture/>.

Para la importación de fotos se usará el programa “Agisoft PhotoScan Professional”, ya que es una solución avanzada de modelado 3D basada en imágenes, destinada a crear contenido 3D de calidad profesional a partir de imágenes fijas. A partir de imágenes fijas, se genera automáticamente nubes de puntos densa, imágenes ortomosaicos e índices DSM /DTM de imágenes. (Ver figura 13).

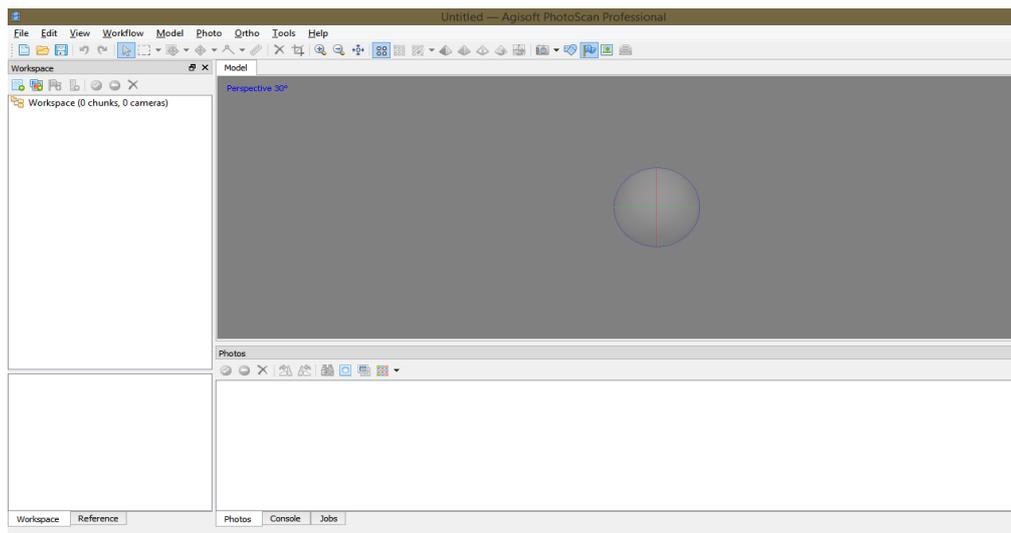


Figura N° 13: Menú principal del programa Agisoft PhotoScan Professional

Fuente: Elaboración propia.

2.3.4.2 eBee RTK

Para poder realizar el plan de vuelo se utilizará el programa “eMotion 2” que permite planificar, simular, realizar el seguimiento y controlar la trayectoria del Drone (esta se puede hacer antes o durante el vuelo), también se puede designar el área a ser mapeada, generar un plan de vuelo y actualizar su misión o el regreso del Drone a su ubicación inicial. (Ver figura 14).

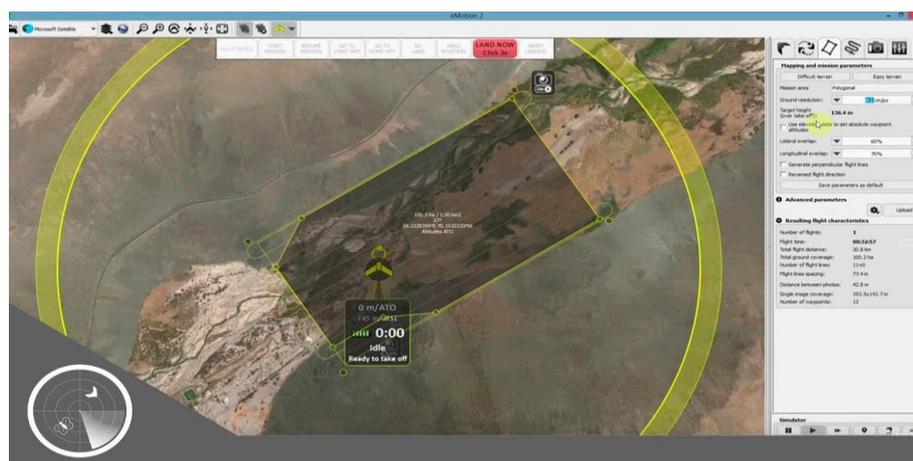


Figura N° 14: Menú principal del programa eMotion 2

Fuente: <https://tecnitop.com/es/videos-y-tutoriales/>.

Para la importación de fotos se usará el programa “Pix4Dmapper” el cual convierte sus imágenes en mapas 2D y modelos 3D georeferenciada, altamente precisas.

Estas son editables, funcionales y complementan una amplia gama de aplicaciones. La nube de puntos 3D que se genera en este programa derivada de imágenes superpuestas que proporcionan la ubicación precisa en el espacio de los objetos reconstruidos, se muestran en colores RGB o en los colores originales. (Ver figura 15).

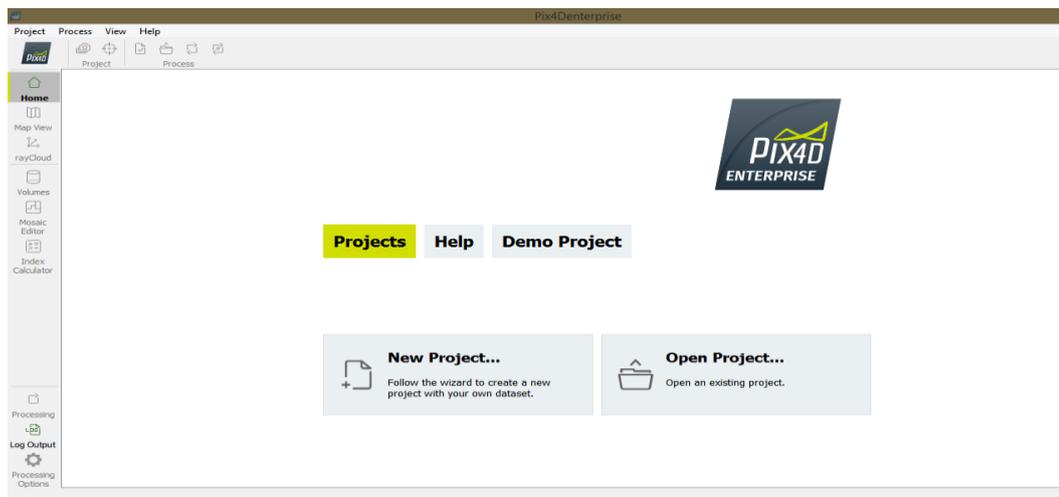


Figura N° 15: Menú principal del programa Pix4Dmapper

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III: CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE FORMA TRADICIONAL (GPS Y ESTACIÓN TOTAL) Y CON EL USO DE LOS DRONES.

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se indicará los distintos métodos de levantamiento topográfico con el cual se ha trabajado, esto para obtener los volúmenes de corte y relleno en cada una de estas. A continuación, se pasará a detallar los datos del proyecto.

Como se mencionó en el prólogo, no se brindará el nombre del proyecto ni tampoco de las empresas que formaron parte de ella, por motivos de confidencialidad, pero si es importante mencionar que este proyecto se encuentra ubicado a 2400 m.s.n.m., en el distrito de Cayma, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa. A continuación, se mostrará una imagen panorámica de la zona en estudio. (Ver figura 16).



Figura N° 16: Ubicación del ámbito del Levantamiento

Fuente: Google Earth.

Las partidas del proyecto en general cubren las edificaciones del Templo, Albergue (dormitorios) y Obras Exteriores. (Ver figura 17).



Figura N° 17: Ubicación de las edificaciones

Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones del terreno a levantar cuentan con un largo de 190 m y un ancho de 260 m aproximadamente, haciendo un área de aproximadamente 4.94 ha.

La partida de movimiento de tierra cubrirá corte y relleno de obras exteriores, y paralelo a eso la excavación del Templo y Albergue, el volumen de corte estará definido por el material de "TOP SOIL" y el material que se encuentra debajo de ella hasta llegar al nivel de -0.55 del nivel terreno final y el volumen de relleno será la cantidad de material de préstamos colocado para llegar al nivel de -0.25 del terreno final. (Ver figura 18).



Figura Nº 18: Sección de volumen de corte y de relleno

Fuente: Elaboración propia.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

En este informe se trabajó con tres metodologías para el levantamiento de terreno que son:

- Levantamiento Topográfico haciendo uso de Estación Total (Levantamiento de forma TRADICIONAL)
- Levantamiento topográfico haciendo uso del Drone DJI PHANTOM 4 (tomando puntos de control en campo)
- Levantamiento topográfico haciendo uso del Drone eeBe RTK (sin puntos de control en campo)

Cabe mencionar que el contrato para la ejecución de esta partida fue de acuerdo a los resultados del Drone eeBe RTK, tal como se indicó en la parte inicial de este informe, pero a la vez también se decidió realizarlo con el Drone DJI PHANTOM 4 ya que el proyecto contaba con este equipo. Pero debido a la incertidumbre de los resultados que obteníamos con estos equipos, se tomó la decisión de hacer dicho levantamiento de manera TRADICIONAL, pero esta se hizo paralelamente a otros trabajos y su forma de levantamientos de puntos fue por sectores con la finalidad de no interferir con el avance de la obra.

En este capítulo, una vez descrita la forma en que se tomó y se procesó los datos, se mostrará el volumen de corte y relleno que se obtuvo en cada una de estas

metodologías, también se presentaran los resultados de la cota de terreno inicial y final a lo largo del perfil longitudinal principal y secundarios.

3.2.1 Levantamiento Topográfico haciendo uso de Estación Total (Levantamiento de forma TRADICIONAL)

3.2.1.1 Generalidades

Para el levantamiento topográfico de forma TRADICIONAL se hizo uso de la Estación Total Leica FlexLine TS06, como se puede ver en la figura 19, y GPS Trimble R8, como se puede ver en la figura 21. Sabemos que el modo de operar dicha Estación Total es electrónico, que al iniciar las mediciones con estos equipos primero es necesario orientarlos, para ello se requerirá usar una estación cuyas coordenadas sean conocidas y a la vez conocer el azimut de referencia, estos datos serán colocados en la Estación Total al inicio del trabajo de campo, logrando así la obtención de coordenadas donde el equipo realizara una serie de cálculos, y luego con las lecturas obtenidas (a partir de estos cálculos y los datos colocados inicialmente) se podrá realizar dicho levantamiento punto a punto. (Ver figura 20 y 22)

- Características de la Estación Total Leica FlexLine TS06:

Tabla Nº 2: Características de Estación Total Leica FlexLine TS06

Estación Total Leica FlexLine TS06	
Precisión en medición a prismas mejorada	1.5 mm + 2 ppm
Rango de medición sin prisma	500 m incluido / 1000 m opcional
Pantalla	Con gráficos e iluminación, Blanco y Negro, Alta resolución
Medición Electrónica de Distancias (EDM)	
Medición sin prisma	2 mm de 2 ppm a cualquier superficie Extremadamente rápido (1 segundo) Puntero y spot láser de medición coaxial Tamaño de puntero laser a 30m:aprox. 7x10mm y a 50m: aprox. 8x20mm

Transferencia de datos	
Transferencia	USB extraíble
Estacionamiento	
Estacionamiento	Proceso de nivelación asistido Plomada Laser Secuencia de arranque configurable
Peso	
Peso	5.1 kg
Batería	
Capacidad	Aprox. 30 horas

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 19: Estación Total Leica FlexLine TS06

Fuente: <https://grupoacre.pe/catalogo-productos/estacion-total-leica-flexline-ts06-3/>.



Figura N° 20: Inicio del levantamiento topográfico con Estación Total Leica FlexLine TS06

Fuente: Elaboración propia.

- Características del GPS Trimble R8:

Tabla N° 3: Características del GPS Trimble R8

GPS Trimble R8	
Posicionamiento	Horizontal: 0.25m+1ppm RMS Vertical: 0.5m+1 ppm RMS
Precisión de posicionamiento diferencial	Típico < 5m 3DRMS
Medición estática alta precisión	Horizontal: 3mm+0.1ppm RMS Vertical: 3.5mm+0.4ppm RMS
Medición estática rápida	Horizontal: 3mm+0.5ppm RMS Vertical: 5mm+0.5ppm RMS
Medición cinemática en tiempo real	Horizontal: 8mm+1ppm RMS Vertical: 15mm+1ppm RMS
RED RTK	Horizontal: 8mm+0.5ppm RMS Vertical: 15mm+0.5ppm RMS
Peso	
Peso	1.52 kg con batería interna
Batería	
Capacidad	Recepción de 450 MHz: 5.0 hrs. Recep. /trasm. De 450 MHz: 5.0 hrs. Solo recepción móvil: 4.7 hrs.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 21: GPS Trimble R8

Fuente: <https://www.geocom.cl/products/trimble-r8-gnss>.



Figura N° 22: Inicio de la monumentación de puntos de control con la ayuda del GPS Trimble R8
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2 Proceso del levantamiento

A continuación, indicaremos los procesos la cual nos sometimos para llevar a cabo este levantamiento.

- Monumentación de los puntos de control
- Verificación de puntos de control con la ayuda del GPS diferencial
- Ubicación y configuración de la Estación Total
- Toma de puntos del levantamiento topográfico
- Procesamiento de datos
- Impresión de planos digitales

3.2.1.3 Recursos empleados

- Personal: Se necesitó un jefe de grupo, dos Topógrafo, un Cadista y tres peones.
- Equipo: Se utilizó dos Estación Total trimble R8, dos Prismas con sus respectivos bastones, dos Trípode metálico para el soporte del equipo de medición, un GPS diferencial (Base), un Flexómetro, una Libreta de campo, Cinta o pintura para marcar el cadenamamiento y cambios de estación, Radios intercomunicadores con sus respectivos cargadores.

3.2.1.4 Descripción del trabajo

a. Puntos de control

Se realizó el control topográfico de los puntos de control del proyecto monumentado, dichos puntos fueron verificados con el instituto geográfico nacional y verificados con el GPS diferencial. (Ver tabla 4).

Tabla N° 4: Puntos de control monumentados del proyecto

DESCRIPCIÓN	NORTE	ESTE	COTA
ST-V-VTI-A	8187988.9970	228834.4400	2436.024
ST-V-VTI-C	8187991.4420	228949.3670	2437.225
ST-V-VTI-D	8188041.5200	228920.0300	2438.441

Fuente: Elaboración propia – Puntos derivados de los planos topográficos del proyecto.

b. Proceso del levantamiento topográfico

Se realizó un recorrido preliminar para conocer las características del sitio, para ver los recursos que se debe usar y la cantidad de personal que se debe tener.

Se ubica en un lugar estratégico donde las coordenadas son conocidas, en este caso nos ubicamos en el punto “ST-V-VTI-C” cuya orientación también es conocida, luego se centra y se nivela el equipo.

Luego, se calibra el equipo seleccionando, por ejemplo, el factor de escala, las unidades, el formato de ángulos (en grados, minutos y segundos), etcétera. Posteriormente, se selecciona la opción de “configuración de la estación”, se coloca el nombre del punto inicial, se mide la altura en el que está el equipo, se coloca las coordenadas iniciales para colocar la altura del prisma y finalmente registrarlo en el campo de referencia.

Después de haber georeferenciado el aparato, se procede a tomar medidas altimétricas y planimetrías, lo cual consiste en situar el prisma en los puntos a medir. Seguidamente se da el cambio de estación de manera constantemente en

cada una de estos, siempre y cuando sea necesario ubicarlos en un nivel estratégico para dominar el mayor número de puntos de interés.

Para terminar, se descarga los datos generados donde se conocerá las coordenadas finales de los puntos levantados.

c. Procesamiento de información

Para el procesamiento de datos obtenidos en campo, se hará uso de los programa de CAD, particularmente el Civil 3D por ser hoy en día el más eficiente. Con este programa se puede analizar y representar los puntos tomados en campo, que a continuación empezamos a detallar.

Se empieza importando los puntos, el ingreso de estos será colocando la enumeración seguido de las coordenadas X, Y, Z del mismo punto. Antes de generarse las curvas de nivel debe realizarse una triangulación entre los puntos X, Y, Z para poder trazar por interpolación las curvas de nivel a intervalos específicos de tal manera que sea posible unir los puntos de igual elevación.

Por ello, las curvas de nivel deben contar con las siguientes propiedades: cerrarse entre sí mismas, ser perpendiculares a la dirección de máxima pendiente, las de diferente elevación nunca se tocan ni se cruzan y finalmente se tiene que definir la separación entre ellas.

Una vez obtenida las curvas de nivel se procede a generar el perfil longitudinal principal y las secciones transversales, con la finalidad de obtener el volumen de corte y relleno del proyecto.

A continuación, se mostrará los resultados generales en un plano en planta (TRADICIONAL– planta), donde se indican las curvas de nivel y el perfil longitudinal principal. Después de esto se mostrará una tabla con el volumen de corte y relleno de acuerdo a cada progresiva, luego una tabla con el volumen de corte y relleno en forma de resumen y finalmente una tabla donde se indique la cota de terreno inicial que se obtuvo con esta metodología. (Ver anexo N° 1, tabla 5, 6 y 7).

Tabla Nº 5: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico TRADICIONAL

Total de volumen - TRADICIONAL						
Progresiva	Área de relleno	Área de corte	Volumen de relleno	Volumen de corte	Acumulado volumen de relleno	Acumulado volumen de corte
0+000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+005.00	0.00	8.95	0.00	22.36	0.00	22.36
0+010.00	0.00	32.21	0.00	102.89	0.00	125.25
0+015.00	0.11	90.46	0.28	306.68	0.28	431.94
0+020.00	0.36	93.22	1.18	459.22	1.46	891.15
0+025.00	0.82	92.42	2.95	464.11	4.42	1355.26
0+030.00	2.17	83.85	7.49	440.68	11.90	1795.93
0+035.00	7.59	63.95	24.41	369.50	36.31	2165.44
0+040.00	15.75	58.89	58.36	307.10	94.67	2472.54
0+045.00	25.39	69.51	102.85	321.00	197.51	2793.54
0+050.00	35.52	79.66	152.27	372.91	349.78	3166.45
0+055.00	41.67	83.70	192.97	408.38	542.75	3574.83
0+060.00	49.51	83.00	227.94	416.74	770.70	3991.57
0+065.00	72.84	88.41	305.88	428.53	1076.58	4420.10
0+070.00	46.88	190.82	299.31	698.09	1375.89	5118.19
0+075.00	52.47	205.80	248.37	991.55	1624.26	6109.74
0+080.00	47.01	204.18	248.69	1024.96	1872.95	7134.69
0+085.00	39.48	222.32	216.23	1066.25	2089.17	8200.95
0+090.00	30.58	222.93	175.15	1113.12	2264.33	9314.07
0+095.00	36.98	139.83	168.88	906.90	2433.21	10220.97
0+100.00	27.75	109.75	161.82	623.95	2595.02	10844.91
0+105.00	19.48	83.58	118.08	483.32	2713.11	11328.24
0+110.00	12.96	78.87	81.10	406.12	2794.21	11734.36
0+115.00	3.67	87.62	41.56	416.22	2835.77	12150.57
0+120.00	2.76	93.25	16.07	452.16	2851.84	12602.74
0+125.00	4.82	86.63	18.96	449.71	2870.80	13052.44
0+130.00	4.10	86.74	22.32	433.44	2893.12	13485.88

0+135.00	3.39	82.53	18.74	423.19	2911.86	13909.07
0+140.00	4.90	74.12	20.73	391.64	2932.59	14300.72
0+145.00	8.74	67.75	34.09	354.67	2966.68	14655.39
0+150.00	8.69	66.03	43.58	334.43	3010.26	14989.82
0+155.00	6.68	64.21	38.42	325.60	3048.68	15315.42
0+160.00	8.13	56.57	37.02	301.95	3085.70	15617.37
0+165.00	8.51	47.39	41.60	259.90	3127.30	15877.27
0+170.00	8.77	42.38	43.20	224.45	3170.50	16101.71
0+175.00	12.92	29.22	54.24	179.01	3224.74	16280.72
0+180.00	9.70	38.93	56.57	170.37	3281.31	16451.09
0+185.00	8.23	39.76	44.83	196.72	3326.14	16647.81
0+190.00	5.16	44.75	33.46	211.28	3359.60	16859.09
0+195.00	1.85	66.71	17.50	278.67	3377.10	17137.76
0+200.00	0.90	221.86	6.86	721.44	3383.96	17859.20
0+205.00	0.28	239.07	2.95	1152.34	3386.91	19011.54
0+210.00	0.14	247.56	1.05	1216.57	3387.96	20228.11
0+215.00	0.00	123.79	0.35	928.36	3388.31	21156.48
0+220.00	1.65	137.18	4.11	652.43	3392.42	21808.90
0+225.00	5.58	133.98	18.08	677.91	3410.50	22486.81
0+230.00	3.11	105.26	21.73	598.10	3432.23	23084.91
0+235.00	2.96	80.89	15.18	465.38	3447.41	23550.29
0+240.00	4.29	67.13	18.14	370.06	3465.55	23920.36
0+245.00	4.69	51.43	22.45	296.41	3488.00	24216.76
0+250.00	1.74	38.04	16.07	223.68	3504.07	24440.44
0+255.00	0.18	24.11	4.79	155.39	3508.87	24595.83
0+260.00	0.02	14.07	0.49	95.46	3509.36	24691.29
0+265.00	0.00	2.32	0.05	40.97	3509.41	24732.26
0+265.79	0.00	0.00	0.00	0.91	3509.41	24733.18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 6: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico TRADICIONAL – Resumen

Área de relleno total	701.88	m2
Área de corte total	4,947.59	m2
Volumen de corte (-0.50)	24,733.18	m3
Volumen de relleno (-0.25)	3,509.41	m3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 7: Cotas del perfil longitudinal obtenida con el levantamiento topográfico de forma TRADICIONAL

Perfil longitudinal - TRADICIONAL													
Progresiva	0+020.00	0+040.00	0+060.00	0+080.00	0+100.00	0+120.00	0+140.00	0+160.00	0+180.00	0+200.00	0+220.00	0+240.00	0+260.00
Cota de terreno	2429.58	2430.15	2431.80	2432.32	2432.67	2432.98	2433.50	2433.95	2434.40	2434.97	2435.51	2436.02	2436.52
Cota final	2428.09	2431.28	2432.39	2429.23	2433.63	2433.37	2433.86	2434.34	2434.55	2431.18	2434.81	2435.56	2436.63
Cota a N. - 0.25	2427.84	2431.03	2432.14	2428.98	2433.38	2433.12	2433.61	2434.09	2434.30	2430.93	2434.56	2435.31	2436.38
Cota a N. - 0.50	2427.59	2430.78	2431.89	2428.73	2433.13	2432.87	2433.36	2433.84	2434.05	2430.68	2434.31	2435.06	2436.13
NTN - N.-0.50 [Corte]	1.99			-3.59		-0.11	0.14	0.1	0.35	4.29	1.20	0.96	0.39
N.-0.50 - NTN [Relleno]		0.88	0.33		0.71	0.14	0.11	0.15					

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Levantamiento topográfico haciendo uso del Drone DJI PHANTOM 4 (tomando puntos de control en campo)

3.2.2.1 Generalidades

El Drone DJI PHANTOM 4 estaba a disposición del proyecto, ya que el cliente lo adquirió para distintos fines, en este caso lo usamos para el levantamiento topográfico. (Ver figura 23 y 24).

En la tabla N° 8 se indica las características principales del Drone DJI PHANTOM 4.

Tabla N° 8: Características Drone DJI PHANTOM 4

DJI PHANTOM 4	
Peso (incluido batería)	1380 g
Máxima velocidad de subida	6 m/s (Modo Sport)
Máxima velocidad de descenso	4 m/s (Modo Sport)
Velocidad máxima	20 m/s (Modo Sport)
Máxima altitud sobre el nivel del mar	19685 feet (6000m) (Limitado por software a 500 m sobre el punto de despegue)
Máximo tiempo de vuelo	Aprox. 28 min
Sistemas de satélites	GPS / GLONASS
La exactitud de cierre	Vertical : +/- 0.1 m (cuando la visión del posicionamiento está activo) o +/- 0.5 m Horizontal : +/- 0.3 m (cuando la visión del posicionamiento está activo) o +/- 1.5 m
Gimbal	
Rango controlable	Pitch: -90° a + 30°
Cámara	
Tamaño del sensor	1/2.3"
Resolución total	12 MP
Tamaño del pixel	-----
Máximo tamaño de la imagen	4000x3000 (4:3)
Formato de imagen	JPEG, DNG (RAW)
Modos de fotografía	Un solo tiro

	Disparo Burts: 3/5/7 frames Time lapse
Máximo bitrate de video	60Mbps
Tarjetas SD compatibles	Max. Capacidad: 64GB
Control remoto	
Frecuencia de operación	2.400 GHz to 2.483 GHz
Max. Distancia de transmisión	FCC Compliant: 3.1 mi (5 km); CE Compliant: 2.2 mi (3.5 km) (Despejada, libre de interferencias)
Cargador	
Voltaje	17.4 V
Potencia nominal	100 W
Batería inteligente	
Capacidad	5350 mAh
Voltaje	15.2 V
Tipo de batería	LiPo 4S
Energía	81.3 Wh
Peso neto	462 g
Potencia máxima de carga	100 w

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 23: Drone DJI PHANTOM 4

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 24: Drone DJI PHANTOM 4

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2 Proceso fotogramétrico

A continuación indicaremos los procesos a la cual nos sometimos para llevar a cabo este levantamiento.

- Estacionamiento del GPS diferencial Base (inmóvil) y GPS diferencial Rover (móvil)
- Colocación y monumentación de los puntos de control de apoyo en campo
- Planificación de vuelo
- Aero- triangulación y Orto- rectificación (Corrección fotogramétrica con la ayuda de los puntos de control ubicadas en campo)
- Generación de nubes de puntos y la malla 3D
- Generación de ortomosaicos y modelos digitales
- Impresión de planos digitales

3.2.2.3 Recursos empleados

- Personal: Se necesitó un Técnico, dos Topógrafos, un Cadista y dos Peones.
- Equipo: Se utilizó un Drone DJI PHANTOM 4, un GPS Diferenciales TRIMBLE R8 (Base), un GPS Diferenciales TRIMBLE R8 (Rover), una computadora (Laptop), una cámara fotográfica Digital, Cintas, Pintura, Radios intercomunicadores, entre otros.

3.2.2.4 Descripción del trabajo

a. Puntos de control

Se realizó el control topográfico de los puntos de control existente en el proyecto, dichos puntos fueron verificados con el instituto geográfico nacional. (Ver tabla 9)

Tabla N° 9: Puntos de control monumentados del proyecto

DESCRIPCIÓN	NORTE	ESTE	COTA
ST-V-VTI-A	8187988.9970	228834.4400	2436.024
ST-V-VTI-C	8187991.4420	228949.3670	2437.225
ST-V-VTI-D	8188041.5200	228920.0300	2438.441

Fuente: Elaboración propia – Puntos derivados de los planos topográficos del proyecto.

También se colocaron 24 puntos adicionales (puntos de control terrestre) levantados con GPS Diferencial, lo cual nos sirvió como puntos de apoyo fotogramétrico.

b. Programación de vuelo

Una vez identificados los puntos de control existentes y de apoyo ubicados en el terreno, empezamos a programar el vuelo, pero sin antes configurar el equipo en el DATUM WGS84 Zona 19s.

- Cámara

Tabla N° 10: Características de la cámara

	DJI PHANTOM 4
Cámara	
Tamaño del sensor	1/2.3" (6.31748 mm x 4.73811 mm)
Resolución total	12 MP
Tamaño del pixel	-----
Máximo tamaño de la imagen	4000x3000 (4:3)

Distancia focal	3.61 mm
Formato de imagen	JPEG, DNG (RAW)
Puntos de Control	Si
Resolución en terreno (GSD)	-----
Resolución en terreno (GSD/ según los términos de referencia)	2.5 cm / pixel
Cobertura	4.94 ha

Fuente: Elaboración propia.

- Hora y día del vuelo

El vuelo fue realizado el día 07 de abril, aproximadamente a las 9:30 am. Usando la herramienta online https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php podemos averiguar la elevación del sol en esta fecha, cabe recalcar que para una buena imagen se debe tener una elevación mínima de 35°. (Ver figura 25).

Fecha:	07/04/2017 GMT-5	
coordinar:	-16.3746723, -71.5382534	
ubicación:	-16.37467230,-71.53825340	
hora	Elevación	Azimut
05:53:00	-0.833°	82.96°
6:00:00	0.83°	82.46°
7:00:00	15°	77.85°
8:00:00	28.9°	72.07°
9:00:00	42.26°	63.92°
10:00:00	54.42°	50.88°
11:00:00	63.69°	27.87°
12:00:00	66.36°	352.68°
13:00:00	60.56°	321.51°
14:00:00	49.81°	303.23°
15:00:00	37.05°	292.58°
16:00:00	23.43°	285.59°
17:00:00	9.4°	280.39°
17:43:09	-0.833°	277.24°

Figura N° 25: Tabla de elevación solar para el día 07 de abril / elevación = 42.26°

Fuente: https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php.

- GSD y altura de vuelo

El método por el cual se determinó la altura de vuelo fue usando el dato del GSD (Ground Sample Distance), este es muy usado en fotografía digital ya que hace referencia a la distancia entre centros de pixeles adyacentes medidos desde la tierra. Tener en cuenta que el GSD no es equivalente a la resolución de la imagen tomada, sino que depende de la resolución de la cámara y la altura de vuelo. (Ver figura 26).

Si el GSD es mayor, menor será la resolución espacial de la imagen y por ende se percibirán menos detalles.

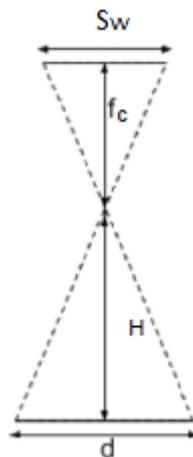


Figura N° 26: Determinación de la altura de vuelo.

Fuente: Elaboración propia.

S_w : Ancho del sensor óptico (mm)

f : Distancia focal (mm)

H : Altura de vuelo (m)

d : Distancia cubierta en el suelo por una imagen (m)

Una vez definido el valor de GSD, la altura de vuelo quedara definida mediante.

$$H = \frac{f \cdot d}{S_w} \quad (1)$$

$$d = \text{Ancho}_{\text{imagen}} * GSD \quad (2)$$

Usando las ecuaciones 1 y 2, mencionadas anteriormente, se obtiene la ecuación de la altura de vuelo.

$$H = \frac{f \cdot Ancho_{imagen} \cdot GSD}{S_w \cdot 100} \quad (3)$$

Por requerimientos del proyecto se utilizó un GSD igual a 2.5 cm / pixel, además, gracias a la orografía de la zona se mantuvo una altura de vuelo constante durante todo el tiempo.

$$f = 3.61 \text{ mm}$$

$$S_w = 6.31748 \text{ mm}$$

$Ancho_{imagen}$: Ancho de la imagen = 4000 pixel

Esto nos dio una altura de vuelo de 60 m, y debido a un proceso iterativo de las ecuaciones, se obtiene que para esta altura de vuelo el GSD es igual a 2.63 cm/pixel.

- Escala fotográfica y cartográfica

Para calcular ambas escalas necesitamos dos datos: la distancia focal y la altura de vuelo.

$$\frac{1}{E_f} = \frac{f}{H} \quad (4)$$

E_f : Escala fotográfica

Esto nos da una escala fotográfica de 1 / 16'620.50.

La escala cartográfica estará definida mediante:

$$E_f = k \sqrt{E_c} \quad (5)$$

E_c : Escala cartográfica.

k : Constante de valor medio 200 (entre 150-300)

Por lo tanto, se obtiene una escala cartográfica 1 / 6'906.02, sin embargo para la presentación de los planos se usa una escala de 1 / 25'000.

- Espacio del terreno en cada fotografía

Con el valor de la escala fotográfica y el tamaño del sensor se puede conocer que el espacio del terreno puede observarse en cada fotografía.

$S_w: a =$ Ancho del sensor óptico, 6.31748 mm.

$S_x: b =$ Largo del sensor óptico, 4.73811 mm.

Ancho: $a * Ef = 105$ m

Largo: $b * Ef = 78.75$ m

De manera análoga se tiene:

Ancho: $4000 \text{ pixel} * GSD = 105.20 \text{ m} \approx 105 \text{ m}$.

Largo: $3000 \text{ pixel} * GSD = 78.90 \text{ m} \approx 78.75 \text{ m}$.

- Traslape de las imágenes

Como se ha podido observar en campo, se trata de un terreno prácticamente llano por ende se usa un traslape de imágenes de 60% longitudinal y del 30% transversal. Con estos datos y la distancia de la imagen longitudinal se puede calcular las distancias de los centros de cada imagen.

Distancia de centro de la imagen longitudinal:

$$B = (1 - q) * l \quad (6)$$

B : Distancia entre centros

q : Porcentaje de traslape = 60%

l : Distancia de imagen longitudinal = 78.90 m

Por lo tanto, se obtiene una distancia entre centros (longitudinal) igual a 31.50 m.

Distancia de centro de las imágenes transversales:

$$A = (1 - p) * l \quad (7)$$

A: Distancia entre centros

p: Porcentaje de traslape = 30%

l: Distancia de imagen transversal = 105.20 m

Por lo tanto, se obtiene una distancia entre centros (transversal) igual 73.64 m, sin embargo, por recomendaciones del Pix4D capture se tiene:

$$A = 2 * B \quad (8)$$

Obteniendo un valor de 63.12 m.

En la figura, N° 27, se esquematiza el modelo básico del planeamiento de vuelo y los valores anteriormente obtenidos:

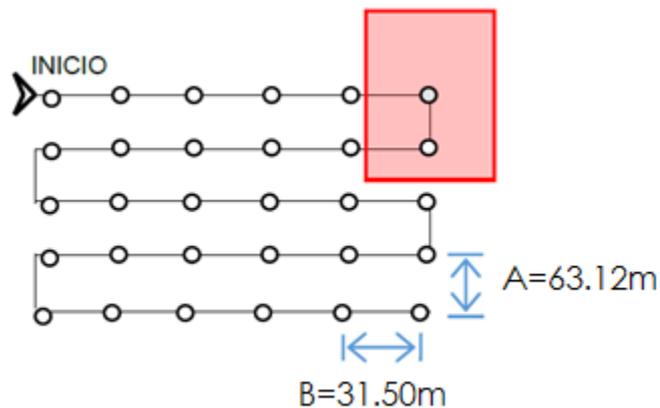


Figura N° 27: Modelo de básico del planeamiento de vuelo.

Fuente: Elaboración propia.

- Número de pasadas y número de fotografías

El número de pasadas necesarias se determinará mediante:

$$Np = \frac{L}{A} \quad (9)$$

L : Anchura = 260 m.

A : Distancia entre centros transversales, 63.12 m

Np : 4.12 \approx 5 (Número de pasadas aproximadas)

- Número de fotografías

$$Nf = \left(\left(\frac{L}{A \text{ o } B} \right) + 1 \right) * N \text{ (ambas direcciones)} \quad (10)$$

L : Distancia del recorrido=190 m

B : Distancia entre centros longitudinales, 31.56 m

N : Numero de pasadas = 5

Por lo tanto, se obtiene un total de 35 fotos, sin embargo, se tomó 40 fotos en total.

- Tiempo de vuelo y distancia recorrida:

La velocidad fijada fue de 3m/s, la distancia recorrida o distancia total se determinará mediante la ecuación 11, donde 5 es la cantidad de número de pasadas y 3 el número de veces que realiza el cambio de pasada.

$$Dt = L * 5 + B * 3 \quad (11)$$

Por lo tanto, se obtiene una distancia total de 1144.68 m.

Finalmente, conocida la distancia total se puede determinar el tiempo de vuelo mediante la ecuación 12:

$$T = \frac{Dt}{v} \quad (12)$$

Se obtiene un tiempo de vuelo igual a 6 min 21s. Sin embargo, para poder estabilizar el Drone en el aire y ubicar la altura de vuelo necesaria se usó un tiempo total de 14 min aproximadamente.

c. Procesamiento de información

Se descarga los datos del avión no tripulado (Drone DJI PHANTOM 4), a la computadora. Para el procesamiento en general de los datos obtenidos en campo, se usó como soporte el programa “Agisoft PhotoScan Professional”.

- Aero- triangulación y Orto- rectificación

Una vez iniciada el programa “Agisoft PhotoScan Professional”, pasamos a subir las imágenes en la opción “Add photos“, luego a configurar el sistema de coordenadas buscando la opción de “convert coordinates” y finalmente escogemos el sistema en la que estamos trabajando según corresponda. Seguidamente procedemos a la orientación (Aero- triangulación) de las imágenes, para eso se realiza el alineamiento automático de las fotografías con la opción “Orient photos”. El programa se inicia seleccionando, emparejando y buscando puntos homólogos de las fotografías y así crear un objeto tridimensional, para luego insertar los puntos de control colocados en el terreno, ayudando así a minimizar el error en la orientación. (Ver figura 28, 29, 30 y 31).

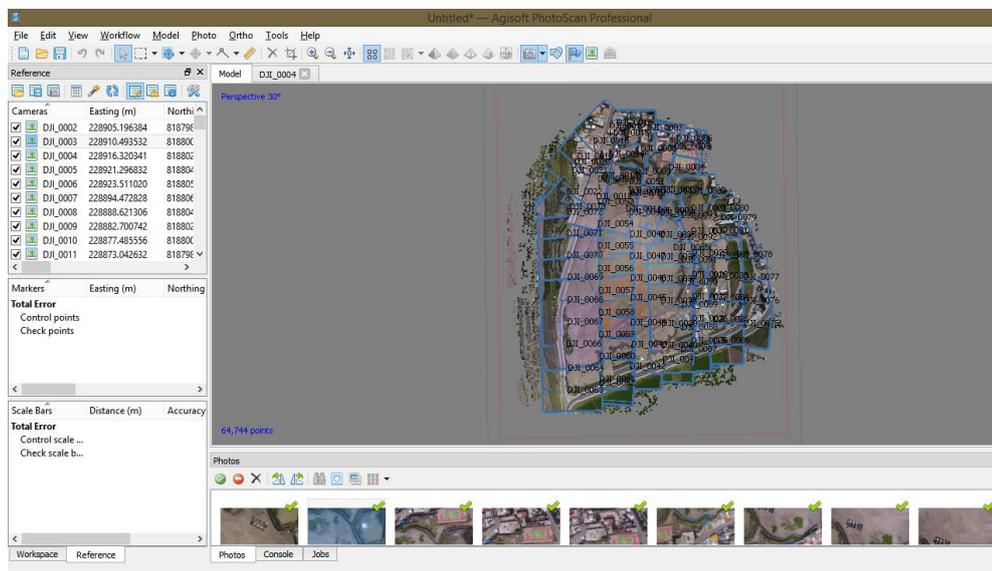


Figura N° 28: Inserción de fotos al programa Agisoft PhotoScan Professional, con su respectiva geo-referenciación y orientación

Fuente: Elaboración propia.

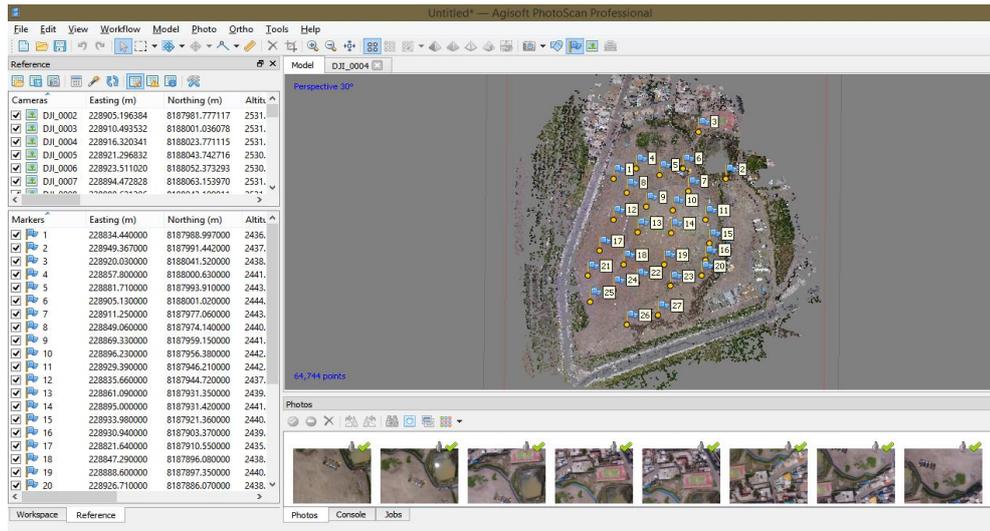


Figura N° 29: Inserción de puntos de control (3 puntos monumentados y 24 puntos de control adicionales) al programa Agisoft PhotoScan Professional

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 30: Referencia de los puntos de control en campo

Fuente: Elaboración propia.

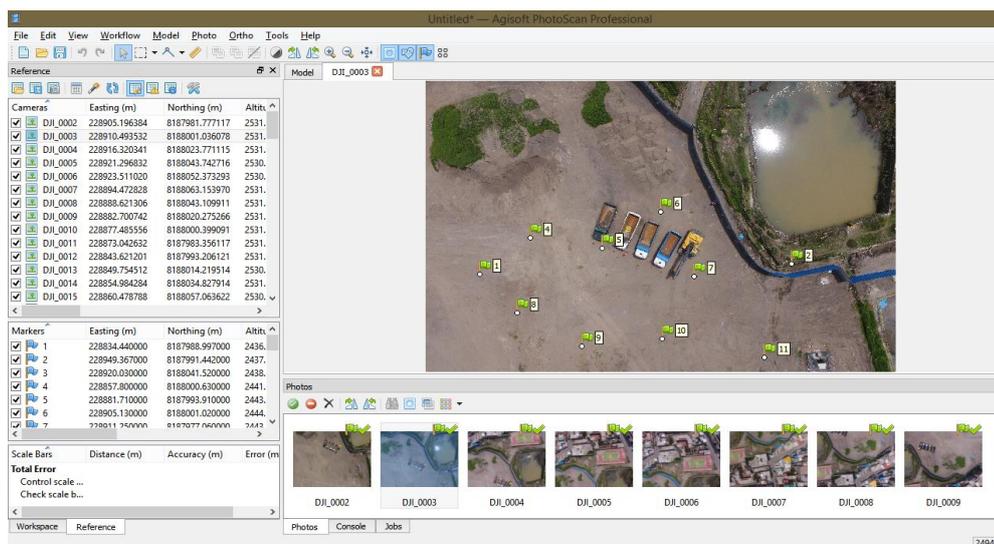


Figura N° 31: Ajuste de fotos con la ayuda de puntos de control monumentados.

Fuente: Elaboración propia.

- Nube de puntos y malla

Luego, se procede a crear la nube de puntos densa de calidad alta, con el objetivo de mejorar posteriores procesos, una vez llegado a esto es importante eliminar aquellos puntos que se ven claramente muy por debajo o muy por encima del terreno, como también podemos recortar la zona de interés que queremos procesar, acortando así los tiempos del procesado en general. (Ver figura 32).

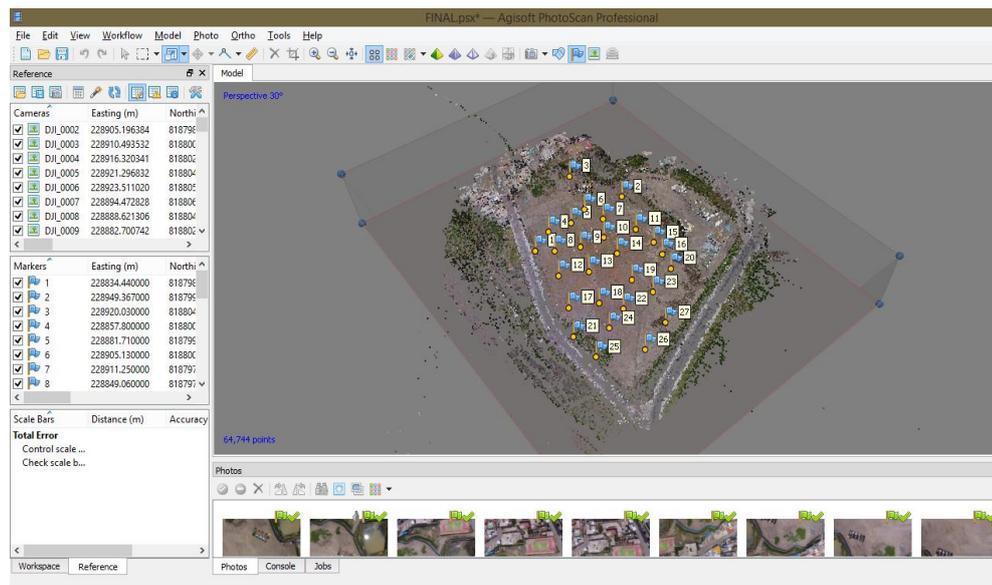


Figura N° 32: Nube de puntos densa generada 3D.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se clasifica los puntos de terreno a trabajar, esto será necesario para obtener el modelo digital del terreno (MDT), y así poder normalizar la nube de puntos y calcular la variable como la cota final del terreno.

Finalmente, para poder enmallar el terreno se usa la opción de “Surface type” y se elige “Height Field”, esta opción es la recomendada para superficies planas. En “Surface data” se elige la nube de puntos densa. En “face count” se selecciona “high”, como método de interpolación seleccionar “Enabled”. Finalmente, como “point classes” se elige “ground”, de esta forma se consigue considerar los puntos que se encuentran netamente en el suelo para generar la malla. (Ver figura 33).

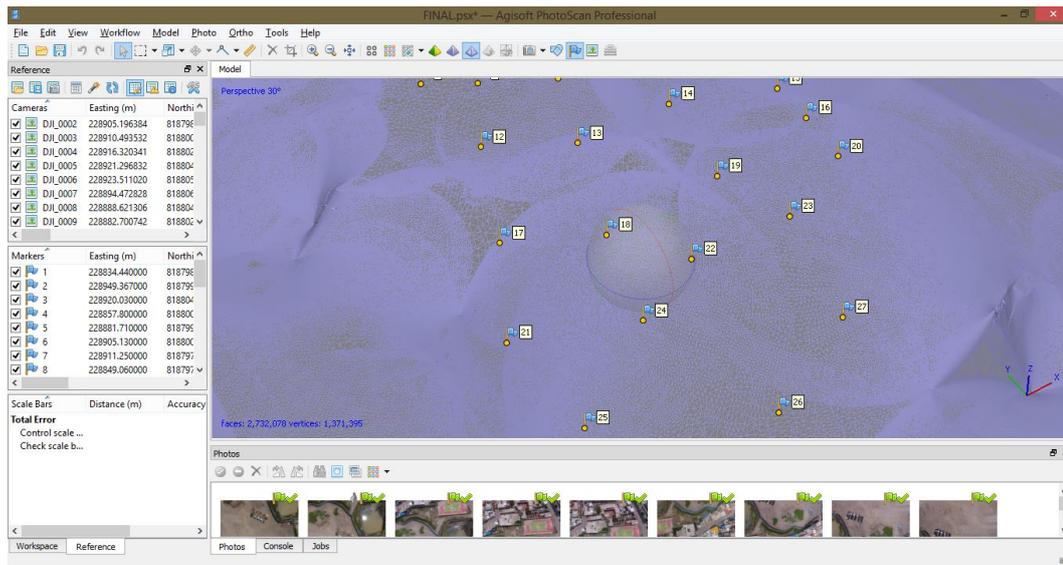


Figura N° 33: Enmallado del modelo

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se procede a construir la textura que les dará a los modelos generados un aspecto más real, visualmente.

- DSM y Ortomosaicos

El primer producto que se obtiene es el modelo digital de superficie (MDS) que contiene toda la información geométrica de la zona en estudio, así como de texturas y acabados, donde se visualiza las alturas en función de los colores para crear las curvas de nivel.

Luego, se pasa a crear el ortomosaicos, esta se genera con una composición de imágenes a la que se le han corregido los errores geométricos para que cada punto de terreno sea observado desde una perspectiva perpendicular, es aquí donde también se verifica el pixel utilizado en la toma de fotos.

Finalmente, se exporta la imagen ortomosaico junto a la nube de puntos en formato LAS desde el "Agisoft PhotoScan", y con la ayuda del Civil 3D se determina las cotas del terreno, así como también los volúmenes de corte y relleno. Por ello, se tiene en cuenta que todas estas se deben trabajar en las mismas coordenadas de exportación (coordenadas UTM/ Zona de trabajo). (Ver figura 34 y 35).



Figura N° 34: Imagen ortomosaico

Fuente: Elaboración propia.

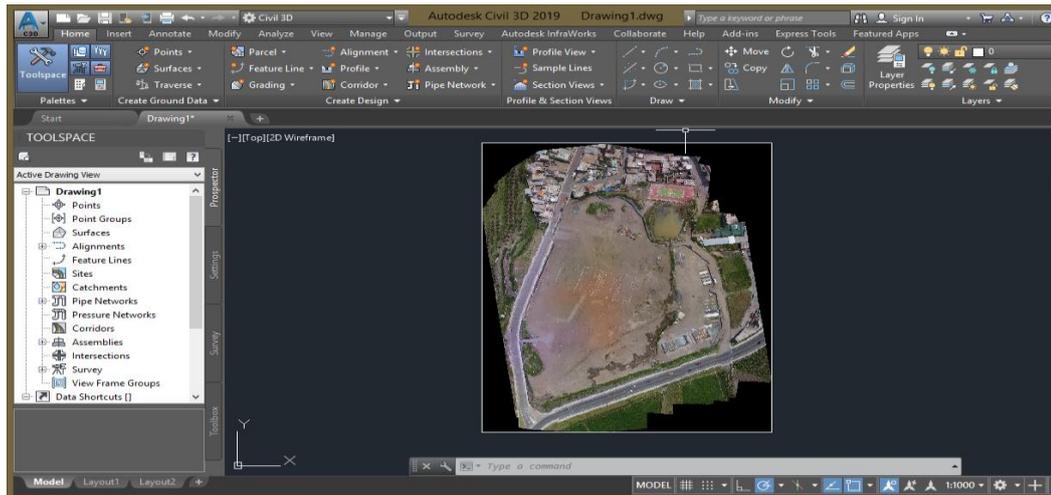


Figura N° 35: Exportación de la imagen ortomosaico al Civil 3D

Fuente: Elaboración propia.

Para la importación de la nube de puntos al Civil 3D, se utilizará el programa del RECAP PRO, debido a que las versiones últimas del Civil 3D no contemplan el icono de "Point Clouds". (Ver figura 36 y 37).

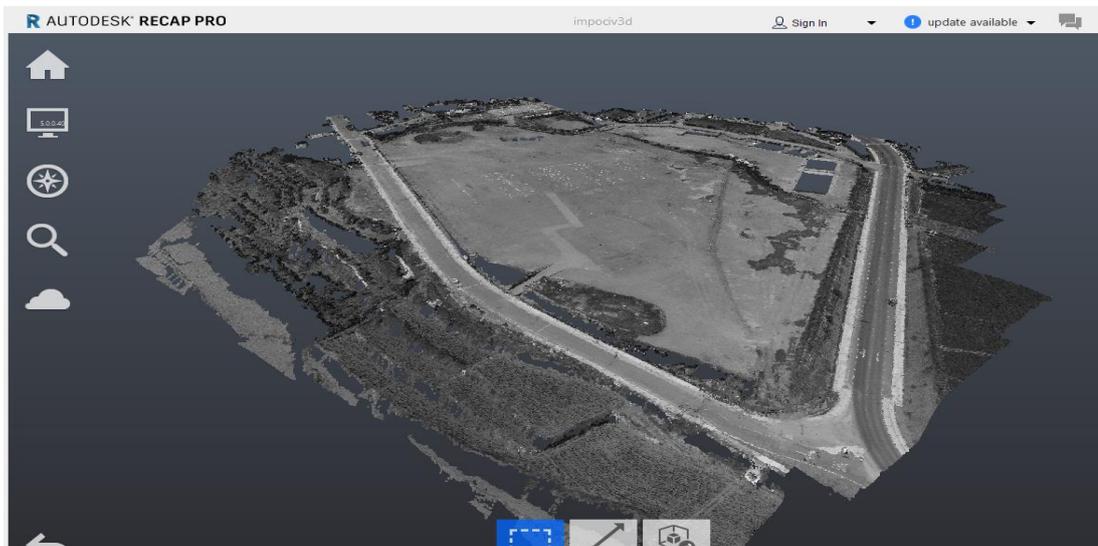


Figura N° 36: Importación de la nube puntos al RECAP PRO

Fuente: Elaboración propia.

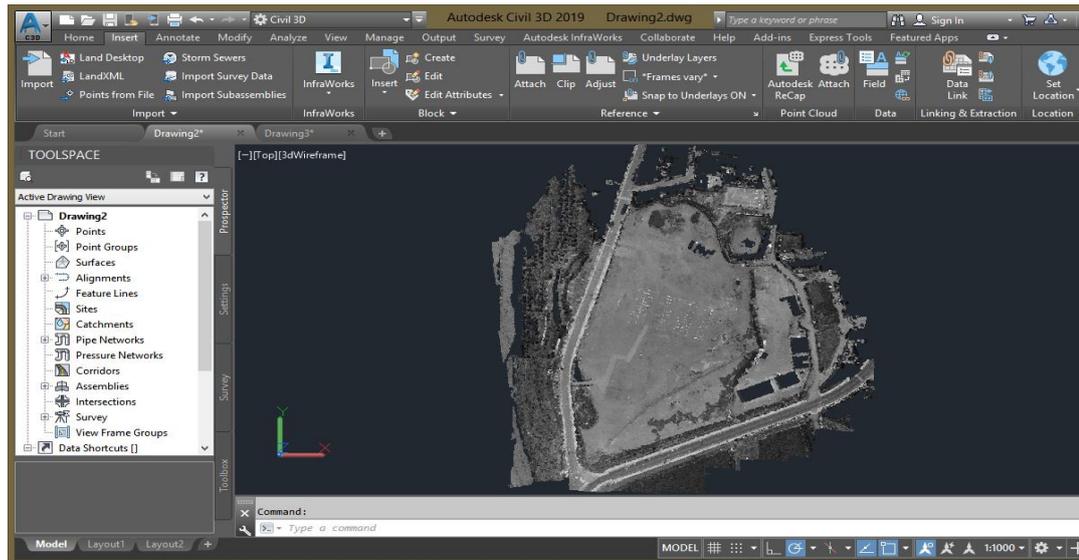


Figura N° 37: Importación de la nube de puntos al Civil 3D

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se mostrarán los resultados generales en un plano en planta (DJI PHANTOM 4 – planta), donde se indican las curvas de nivel y el perfil longitudinal principal. Después de esto se mostrará una tabla con el volumen de corte y relleno de acuerdo a cada progresiva, luego una tabla con el volumen de corte y relleno en forma de resumen y finalmente una tabla donde se indique la cota de terreno inicial que se obtuvo con esta metodología. (Ver anexo N° 2, tabla N° 11, 12 y 13).

Tabla N° 11: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico con uso del Drone DJI PHANTOM 4

Total de volumen – DJI PHANTOM 4						
Progresiva	Área de relleno	Área de corte	Volumen de relleno	Volumen de corte	Acumulado volumen de relleno	Acumulado volumen de corte
0+000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+005.00	0.00	10.51	0.00	26.28	0.00	26.28
0+010.00	0.00	39.90	0.00	126.04	0.00	152.32
0+015.00	0.00	95.31	0.00	338.03	0.00	490.36
0+020.00	0.00	98.55	0.00	484.65	0.00	975.01
0+025.00	0.00	102.95	0.00	503.75	0.00	1478.76
0+030.00	1.58	92.02	3.95	487.43	3.95	1966.19
0+035.00	6.57	72.02	20.37	410.10	24.32	2376.29
0+040.00	14.62	70.06	52.97	355.19	77.30	2731.48
0+045.00	24.13	81.59	96.88	379.12	174.17	3110.60
0+050.00	35.03	90.96	147.91	431.38	322.08	3541.98
0+055.00	40.92	94.99	189.87	464.87	511.95	4006.85
0+060.00	47.79	98.13	221.77	482.79	733.72	4489.64
0+065.00	70.55	100.73	295.85	497.16	1029.57	4986.79
0+070.00	45.39	205.60	289.85	765.84	1319.42	5752.63
0+075.00	50.03	221.75	238.55	1068.39	1557.97	6821.02
0+080.00	43.84	226.41	234.68	1120.42	1792.65	7941.44
0+085.00	37.02	235.17	202.14	1153.96	1994.79	9095.40
0+090.00	27.89	236.25	162.27	1178.55	2157.06	10273.95
0+095.00	32.91	147.72	152.01	959.92	2309.07	11233.87
0+100.00	24.04	119.24	142.37	667.41	2451.44	11901.28
0+105.00	16.45	90.44	101.21	524.21	2552.65	12425.49
0+110.00	10.22	84.97	66.67	438.52	2619.32	12864.01
0+115.00	2.91	93.21	32.82	445.45	2652.14	13309.46
0+120.00	1.95	99.09	12.14	480.76	2664.28	13790.22
0+125.00	3.61	89.69	13.90	471.94	2678.17	14262.16

0+130.00	3.29	91.74	17.25	453.55	2695.43	14715.71
0+135.00	2.64	87.31	14.82	447.63	2710.25	15163.34
0+140.00	4.42	77.83	17.64	412.85	2727.89	15576.18
0+145.00	7.82	71.85	30.59	374.19	2758.48	15950.37
0+150.00	5.77	71.74	33.96	358.98	2792.44	16309.35
0+155.00	5.63	69.06	28.50	352.00	2820.94	16661.35
0+160.00	6.70	64.33	30.84	333.48	2851.78	16994.83
0+165.00	7.43	55.35	35.33	299.22	2887.11	17294.05
0+170.00	6.61	48.91	35.11	260.66	2922.21	17554.71
0+175.00	10.25	38.43	42.15	218.34	2964.37	17773.05
0+180.00	8.33	47.46	46.43	214.73	3010.80	17987.78
0+185.00	7.96	47.59	40.72	237.62	3051.52	18225.40
0+190.00	5.12	52.89	32.70	251.19	3084.21	18476.59
0+195.00	0.98	75.45	15.26	320.85	3099.47	18797.44
0+200.00	0.00	231.90	2.46	768.39	3101.93	19565.83
0+205.00	0.00	248.89	0.00	1201.99	3101.93	20767.83
0+210.00	0.00	257.18	0.00	1265.18	3101.93	22033.01
0+215.00	0.00	136.45	0.00	984.06	3101.93	23017.07
0+220.00	1.00	148.21	2.50	711.65	3104.42	23728.72
0+225.00	3.29	152.87	10.72	752.72	3115.15	24481.44
0+230.00	3.18	117.15	16.18	675.07	3131.33	25156.52
0+235.00	3.21	92.25	15.97	523.50	3147.30	25680.02
0+240.00	3.40	118.76	16.53	527.52	3163.83	26207.54
0+245.00	4.54	111.88	19.85	576.61	3183.68	26784.15
0+250.00	1.16	93.05	14.25	512.32	3197.92	27296.47
0+255.00	0.04	44.59	3.00	344.10	3200.92	27640.57
0+260.00	0.00	21.66	0.09	165.63	3201.02	27806.20
0+265.00	0.00	7.03	0.00	71.71	3201.02	27877.91
0+265.79	0.00	0.00	0.00	2.77	3201.02	27880.68

Tabla N° 12: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico con uso del Drone DJI
PHANTOM 4 - Resumen

Área de relleno total	640.22	m ²
Área de corte total	5,579.07	m ²
Volumen de corte (-0.50)	27,880.68	m ³
Volumen de relleno (-0.25)	3,201.02	m ³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 13: Cotas del perfil longitudinal obtenida con el levantamiento topográfico usando el Drone DJI PHANTOM 4

Perfil longitudinal - DJI PHANTOM 4													
Progresiva	0+020.00	0+040.00	0+060.00	0+080.00	0+100.00	0+120.00	0+140.00	0+160.00	0+180.00	0+200.00	0+220.00	0+240.00	0+260.00
Cota de terreno	2429.91	2430.16	2431.82	2432.38	2432.75	2433.04	2433.52	2433.98	2434.41	2434.98	2435.65	2436.07	2436.78
Cota final	2428.09	2431.28	2432.39	2429.23	2433.63	2433.37	2433.86	2434.34	2434.55	2431.18	2434.81	2435.56	2436.63
Cota a N. - 0.25	2427.84	2431.03	2432.14	2428.98	2433.38	2433.12	2433.61	2434.09	2434.30	2430.93	2434.56	2435.31	2436.38
Cota a N. - 0.50	2427.59	2430.78	2431.89	2428.73	2433.13	2432.87	2433.36	2433.84	2434.05	2430.68	2434.31	2435.06	2436.13
NTN - N.- 0.50 [Corte]	2.32						0.17	0.13	0.36	4.30	1.34	1.01	0.65
N.-0.50 - NTN [Relleno]		0.87	0.32		0.64	0.08	0.08	0.12					

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Levantamiento topográfico haciendo uso del Drone eeBe RTK (Sin puntos de control en campo)

3.2.3.1 Generalidades

Para realizar este levantamiento se hará uso del Drone eeBe RTK, junto a una unidad base que es el GPS diferencial trimble R8. Cabe recalcar, que para esta medición no se requieren puntos de control de apoyo adicional, ya que este equipo tiene incorporado la tecnología RTK, debido a esto, la toma de datos se dará en tiempo real. (Ver figuras 38 y 39).

El Drone eBee RTK usado fue alquilado a una empresa dedicada al rubro de topografía.

A continuación, se indica las características del Drone eeBe RTK. (Ver tabla N° 14).

Tabla N° 14: Características Drone eeBe RTK

Drone eeBe RTK	
Peso	0.73 kg
Cobertura máxima de vuelo	8 km ²
Velocidad de crucero	11-25 m/s
Aterrizaje automático	Aterrizaje lineal con precisión de aprox. 5m
Máximo tiempo de vuelo	Aprox. 50 min
Antena y receptor GNSS RTK	GPS / GLONASS
Precisión absoluta X,Y,Z	Hasta 3cm /5cm (sin necesidad de utilizar puntos de control terrestre)
Fotografía oblicua	Pitch: -90 ⁰ a + 30 ⁰
Cámara	
Tamaño del sensor	6.16x4.63mm
Distancia focal	4.25 – 118 mm
Resolución total	18.2 MP
Tamaño de pixel	1.26 µm

Máximo tamaño de la imagen	4896x3672 (4:3)
Formato de imagen	JPEG
Resolución a terreno a 100m	Hasta 2.75 cm por pixel
Cámara fija (resolución)	0 a -50°
Conexión por radio	
Frecuencia	2.4 GHz
Comunicación con eMotion	Atreves de modem USB en tierra
Alcance aproximado	3 km

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 38: Drone eeBe RTK junto con la estación base

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 39: Inicio del vuelo con el Drone eeBe RTK

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.2 Proceso fotogramétrico

A continuación indicaremos los procesos la cual nos sometimos para llevar a cabo este levantamiento.

- Estacionamiento del GPS diferencial Trimble R8 (punto base)
- Planificación de vuelo
- Aero- triangulación y Orto- rectificación (Corrección fotogramétrica con la ayuda de los puntos de control ubicadas en campo/ opcional)
- Generación de nubes de puntos y la malla 3D
- Generación de ortomosaicos y modelos digitales
- Impresión de planos digitales

3.2.3.3 Recursos empleados

- Personal: Se necesitó un Jefe de grupo, dos Topógrafo, un Cadista y 1 peón.
- El equipo: Se utilizó un Drone eeBe RTK, un GPS Diferenciales TRIMBLE R8. (Base), una computadora (Laptop), una cámara fotográfica Digital Canon, Cintas, Pintura, Radios intercomunicadores, entre otros.

3.2.3.4 Descripción del trabajo

a. Colocación del punto base

Existen tres formas de trabajar con eBee RTK: la primera, donde el punto base está en una posición conocida; la segunda, donde el punto base se encuentra en una posición desconocida; y la tercera, donde la estación de referencia es virtual. En este caso usamos la primera, ya que el punto base era conocido y las coordenadas de este punto fueron determinadas con el GPS diferencial. Dichas coordenadas fueron introducidas al “eMotion” (programa donde se planifica el vuelo), junto con las características de la base.

Cabe mencionar que en este método se coloca 8 puntos de control terrestre, pero solo sirvió para la verificación al momento de realizar el post-proceso, ya que como

se indicó anteriormente, este método no requiere puntos de control terrestre adicionales a excepción del punto base. (Ver figura 40).



Figura N° 40: Colocacion del punto base

Fuente: Elaboración propia.

b. Programación de vuelo

Se realizó la configuración de los equipos en el DATUM WGS84 Zona 19s similar al caso anterior.

- Cámara

Tabla N° 15: Características de la cámara

	eBee RTK
Cámara	WX RGB
Tamaño del sensor	6.16x4.63mm
Resolución total	18.2 MP
Tamaño del pixel	1.26 μ m
Máximo tamaño de la imagen	4896x3672 (4:3)
Distancia focal	4.25 a 11 mm
Formato de imagen	JPEG
Puntos de Control	No
Resolución en terreno (GSD)	2.75 cm pixel a 100 m

Resolución en terreno (GSD/ Según términos de referencia)	3.00 cm / pixel
Cobertura	4.94 ha

Fuente: Elaboración propia

- Hora y día del vuelo

El vuelo fue realizado el día 10 de abril, aproximadamente a las 11:00 am. Al igual que en el caso anterior usando la herramienta online https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php, podemos averiguar la elevación del sol en esta fecha, cabe recalcar que para una buena imagen se debe tener una elevación mínima de 35°. (Ver figura 25).

Fecha:	10/04/2017 GMT-5	
coordinar:	-16.3746723, -71.5382534	
ubicación:	-16.37467230, -71.53825340	
hora	Elevación	Azimut
05:53:31	-0.833°	81.79°
6:00:00	0.7°	81.34°
7:00:00	14.83°	76.69°
8:00:00	28.64°	70.81°
9:00:00	41.87°	62.49°
10:00:00	53.83°	49.24°
11:00:00	62.78°	26.38°
12:00:00	65.23°	352.53°
13:00:00	59.54°	322.52°
14:00:00	48.98°	304.42°
15:00:00	36.36°	293.7°
16:00:00	22.83°	286.63°
17:00:00	8.86°	281.4°
17:41:01	-0.833°	278.4°

Figura N° 41: Tabla de elevación solar para el día 10 de abril / elevación = 62.78°

Fuente: https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php.

- GSD y altura de vuelo

Similar al caso anterior, el método por el cual se determina la altura de vuelo es con el dato del GSD (Ground Sample Distance), entonces se tiene: (Ver figura 42).

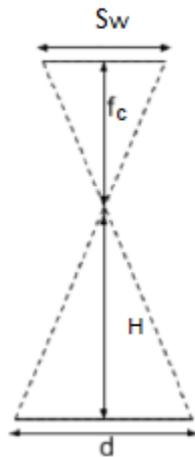


Figura N° 42: Determinación de la altura de vuelo

Fuente: Elaboración propia.

S_w : Ancho del sensor óptico (mm)

f : Distancia focal (mm)

H : Altura de vuelo (m)

d : Distancia cubierta en el suelo por una imagen (m)

Una vez definido el valor de GSD, la altura de vuelo quedará definida mediante la ecuación 1 y 2, lo cual da como resultado la ecuación 3 que permite conocer la altura de vuelo.

Por requerimientos del proyecto se utilizó un GSD igual a 3 cm / pixel.

f : 4.25 mm

S_w : 6.16000 mm

$Ancho_{imagen}$: Ancho de la imagen = 4896 pixel

Esto nos da una altura de vuelo de 120 m, y por un proceso iterativo se obtiene que para esta altura de vuelo el GSD es igual a 3.55 cm/pixel.

- Escala fotográfica y cartográfica

Utilizando la ecuación 4, la distancia focal y la altura de vuelo obtenemos una La escala fotográfica de 1 / 28'235.29.

Luego mediante la ecuación número 5, obtenemos que la escala cartográfica tiene un valor de $1 / 19'930.80$. Sin embargo, para la presentación de los planos se usa una escala de $1 / 25'000$, esto con la finalidad de comparar los 3 tipos de levantamientos.

- Espacio del terreno en cada fotografía.

Con el valor de la escala fotográfica y el tamaño del sensor se puede conocer que el espacio de terreno puede verse en cada fotografía.

$S_w: a =$ Ancho del sensor óptico, 6.16000 mm.

$S_x: b =$ Largo del sensor óptico, 4.63000 mm.

Ancho: $a * Ef = 173.93$ m

Largo: $b * Ef = 130.73$ m

De manera análoga tenemos:

Ancho: $4896 \text{ pixel} * GSD = 173.81 \text{ m} \approx 173.93 \text{ m}$.

Largo: $3672 \text{ pixel} * GSD = 130.36 \text{ m} \approx 130.73 \text{ m}$.

- Traslape de las imágenes

Al igual que en el caso anterior, se trata de un terreno prácticamente llano, por ende, usamos un traslape de imágenes de 60% longitudinal y del 30% transversal, con estos datos y con la distancia de la imagen longitudinal se puede podernos calcular las distancias de los centros de cada imagen.

Para determinar la distancia de centro de la imagen longitudinal se utiliza la ecuación 6, donde:

B : Distancia entre centros

q : Porcentaje de traslape = 60%

l : Distancia de imagen longitudinal = 130.36 m

Por lo tanto, se obtiene una distancia entre centros (longitudinal) igual 52.14 m.

La distancia de centro de las imágenes transversales se obtiene mediante la ecuación 7, donde:

A : Distancia entre centros

p : Porcentaje de traslape = 30%

l : Distancia de imagen transversal = 173.81 m

Por lo tanto, se obtiene una distancia entre centros (transversal) igual 121.75 m; sin embargo, por limitante del Pix4D capture se hace uso de la ecuación 8, obteniendo un valor de 104.36 m.

En la figura N° 43 se esquematiza el modelo básico del planeamiento de vuelo y los valores anteriormente obtenidos:

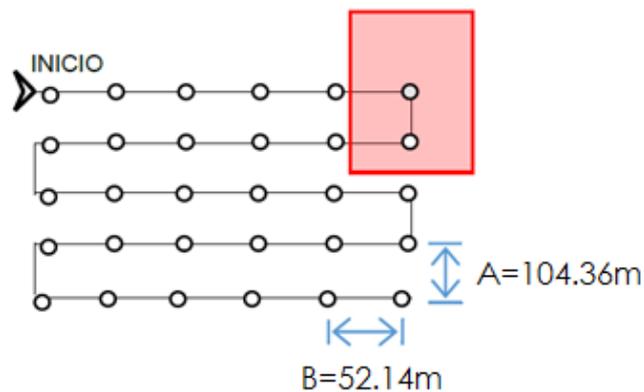


Figura N° 43: Modelo de básico del planeamiento de vuelo.

Fuente: Elaboración Propia

- Número de pasadas y de fotografías

El número de pasadas necesarias se determina mediante la ecuación 9, donde:

L : Anchura = 260 m y 190 m

Por lo tanto, se usa 6 pasadas en cada dirección.

- Número de fotografías

Se obtiene a partir de la ecuación 10, donde:

L : Distancia del recorrido =190 m y 260 m

Obteniendo un total de 50 fotos aproximadamente; sin embargo, se tomó como 80 fotos en total.

- Tiempo de vuelo y distancia recorrida

La velocidad fijada fue de 12m/s, la distancia recorrida o distancia total se determina mediante la ecuación 15:

$$Dt = L * 6 + (A \text{ y } B) * 5 \quad (15)$$

Siendo 6 la cantidad de número de pasadas y 5 el número de veces que realiza el cambio de pasada en cada dirección.

Por lo tanto, se obtiene una distancia total de 3273.94 m.

Finalmente, conocida la distancia total se puede determinar el tiempo de vuelo mediante la ecuación 12, obteniendo un tiempo de vuelo igual a 4 min 32s; sin embargo, para poder estabilizar el Drone en el aire y ubicar la altura de vuelo necesaria se usó un tiempo total de 15 min aproximadamente.

A continuación se muestra imágenes del programa "eMotion 2", donde se planifico el vuelo. (Ver figura 44, 45 y 46).

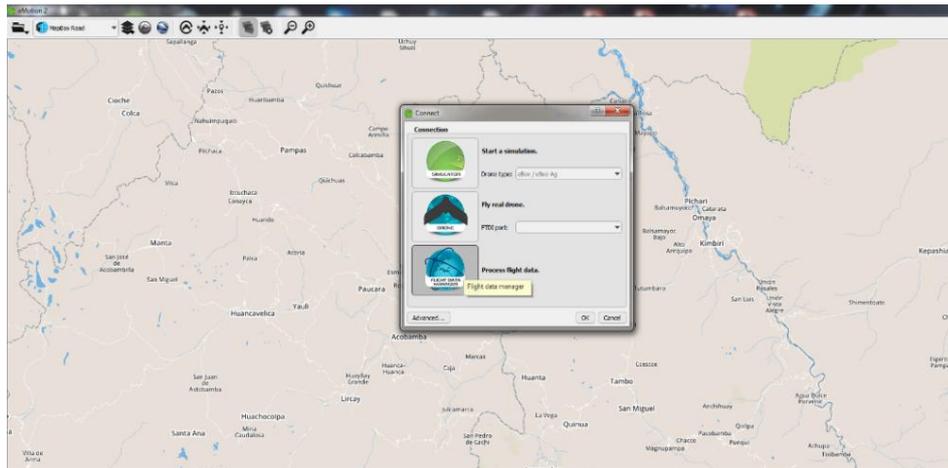


Figura N° 4444: Apertura del programa eMotion 2

Fuente: Elaboración propia.

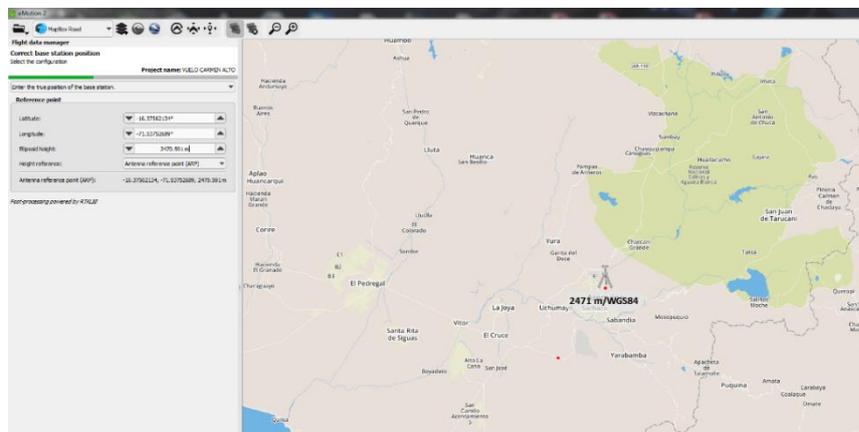


Figura N° 45: Modelo de básico del planeamiento de vuelo.

Fuente: Elaboración propia.

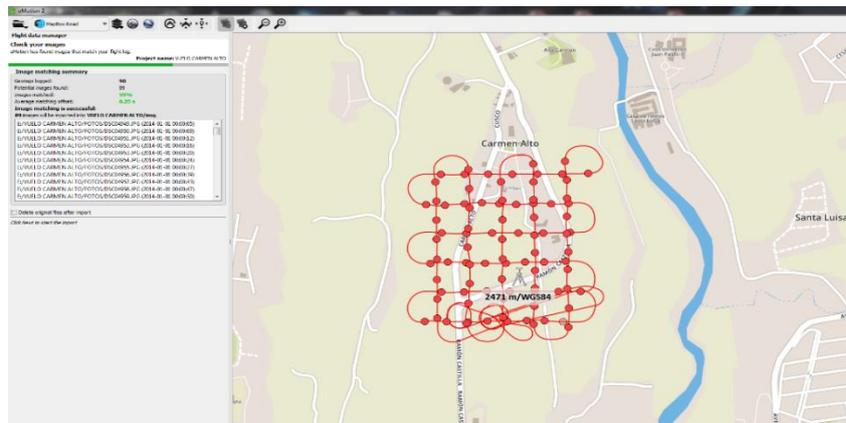


Figura N° 46: Programación de vuelo y selección de fotos

Fuente: Elaboración propia.

c. Procesamiento de información

Se descarga los datos del avión no tripulado (Drone eeBe RTK), a la computadora. Para el procesamiento en general de los datos obtenidos en campo, se usó como soporte el programa “Pix4Dmapper”.

- Aero- triangulación y Orto- rectificación

Primeramente para iniciar con el procesamiento de imágenes con el programa “Pix4Dmapper”, creamos el proyecto y le asignamos un nombre, luego procedemos a seleccionar las imágenes que serán procesadas, (tener en cuenta que el software no permite añadir más imágenes al proyecto una vez que hayan sido creadas), el “Pix4Dmapper” identifica el sistema de coordenadas en que estas fueron registradas en base a la localización de las fotografías, además del modelo de cámara con el que fueron obtenido las fotografías como también los parámetros internos de cada modelo. (Ver figura 47).

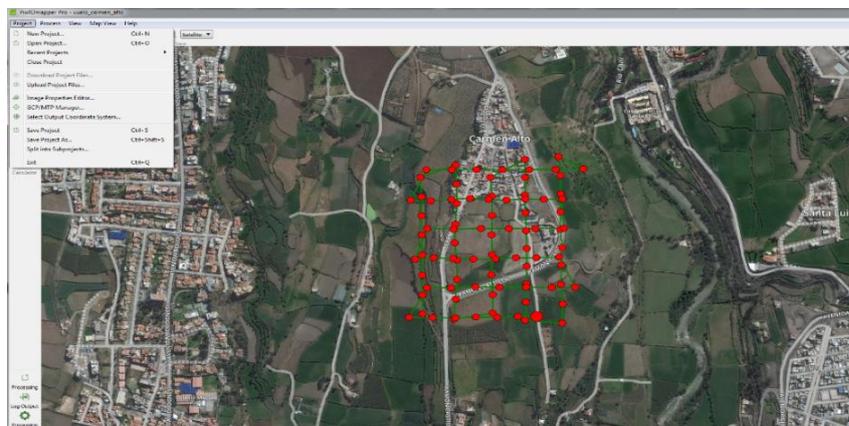


Figura N° 47: Inicialización del programa Pix4Dmapper.

Fuente: Elaboración propia.

La etapa inicial del procesamiento del programa “Pix4Dmapper” es la Aero-triangulación de imágenes obtenidas con el Drone, el programa busca coincidencia entre ellas para la creación de puntos de paso (también llamados puntos de amarre), lo cual nos permitirá determinar la nube de puntos. El programa integra la información de geo localización interna en las imágenes y de los puntos de apoyo terrestre añadidos (opcional) por el usuario, para hacer la triangulación Aérea que definirá la posición de estos puntos de paso.

Realizamos el ajuste con puntos de paso, en esta fase se realiza la corrección por medio de la línea de vuelo teniendo en cuenta que el eBee RTK cuenta con un GPS propio de frecuencia L1 para su geo-referenciación aérea, Luego importamos los 8 puntos levantados (puntos de control de campo) con GPS diferencial de frecuencias L1 (que son los más habituales para el modo en RTK) para su verificación; y de esta manera, obtener resultados con alta precisión, Si es necesario se realiza un ajuste por medio de la aérea triangulación, con la finalidad de realizar la orto-rectificación de la imagen, el raster y la nube de puntos. (Ver figuras 48, 49 y 50).

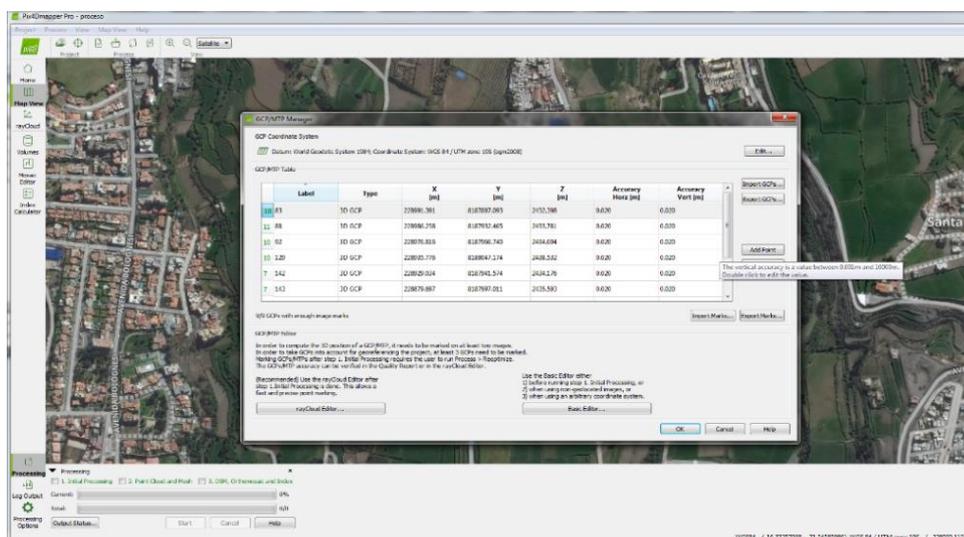


Figura N° 48: Importación de puntos de control (verificación)

Fuente: Elaboración propia.

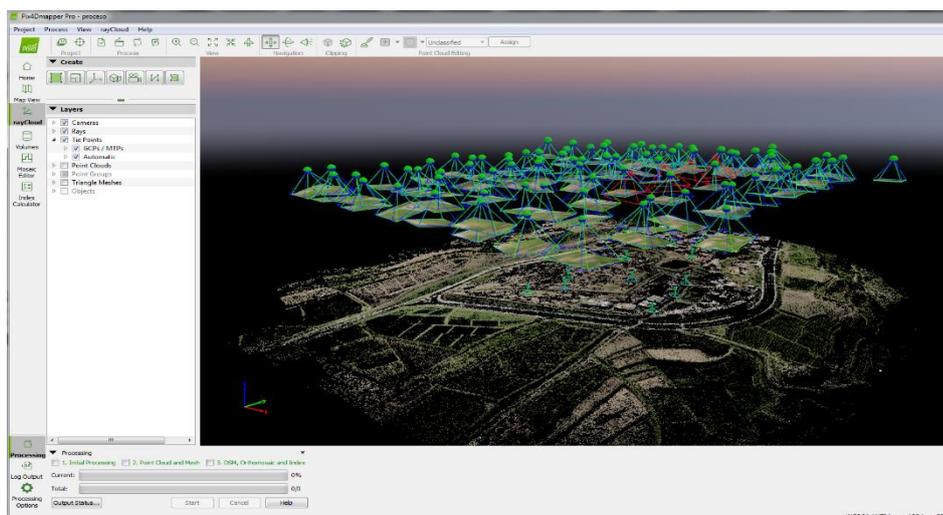


Figura N° 49: Ajuste fotogramétrico / Aero triangulación

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 50: Vuelo ajustado

Fuente: Elaboración propia.

- Nube de puntos y malla

Esta etapa consiste en la densificación de la nube de puntos y la generación de la malla 3D texturizada. Para la densificación de la nube de puntos se tuvo en cuenta lo siguiente: La escala considerada de la imagen, la densidad de puntos deseada y la cantidad mínima de coincidencias entre imágenes. Para este proyecto en particular se consideró utilizar una escala múltiple, una densidad de puntos configurada para un nivel óptimo y la cantidad mínima de coincidencia entre imágenes tuvo un valor de tres. El formato de salida que utilizamos para exportar la nube de puntos densificada es el formato LAS, este formato nos permitió visualizar la nube de puntos de forma tridimensional en el programa “Global Mapper”, lo cual también lo utilizamos para la creación de modelos digitales del terreno.

Luego procedemos a configurar las opciones de creación de malla 3D, esta fue creada en el proyecto con una resolución media “Medium Resolution”, la cual es recomendada para la mayoría de los proyectos ya que constituye un buen equilibrio entre el tamaño, el tiempo de cálculo y el nivel de detalle de la malla 3D texturizada.

- MDS y Ortomosaicos

La pestaña MDS (Modelo digital de la superficie) y Ortomosaico de la configuración, permite al usuario elegir las opciones de procesamiento y salida de datos en cuanto MDS y ortomosaico se refiere. La resolución automática asignada a estas será el valor del GSD utilizado en el proyecto. Cabe mencionar que existen distintos filtros para mejorar la calidad visual del MDS, estos filtros existen debido a que al generar la nube de puntos el programa puede generar distintos puntos erróneos y la forma de corregir estas es aplicando justamente estos filtros.

Finalmente procesamos el archivo en formato MDS, el archivo de curva de nivel y el archivo ortomosaico. Todas estas visualizaciones son mostradas a continuación en el programa “Global Mapper”. (Ver figura 51, 52 y 53).

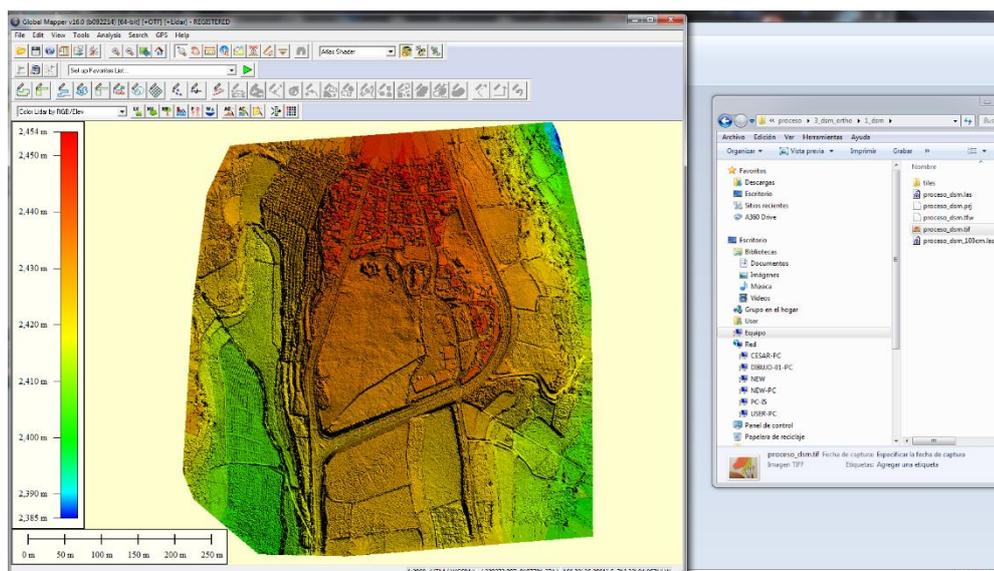


Figura N° 51: Modelo digital de elevaciones (Archivo en formato MDS)

Fuente: Elaboración propia.

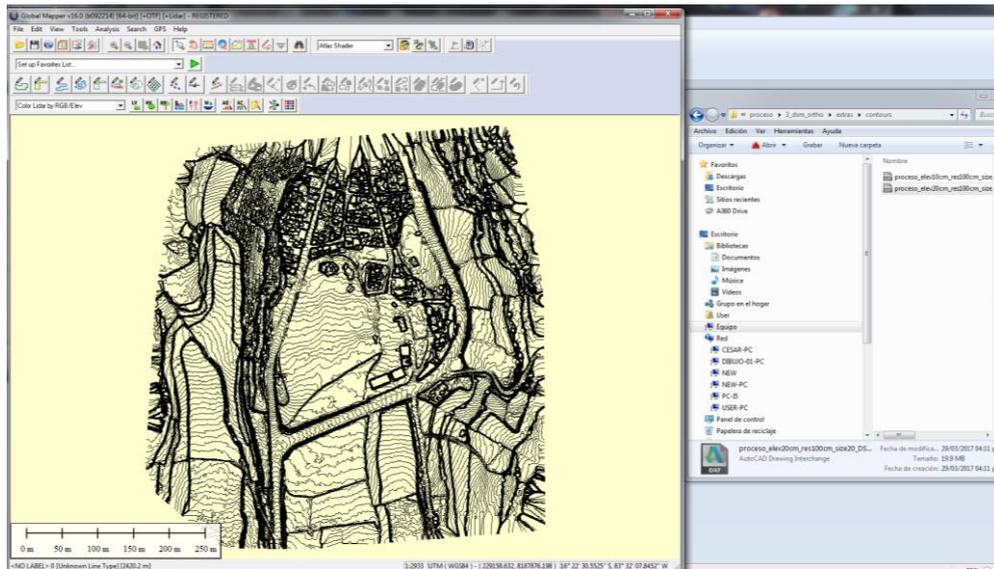


Figura N° 52: Archivo de curvas de nivel

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 53: Imagen ortomosaico

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma que en capítulo anterior una vez obtenido la foto ortomosaico y la nube de puntos en formato LAS, se exportan e importan estos archivos al Civil 3D. La importación de la nube de puntos al Civil 3D se apoya nuevamente en el programa del RECAP PRO, debido a que las versiones últimas del Civil 3D no contemplan el ícono de "Point Clouds". (Ver figuras 54, 55 y 56).

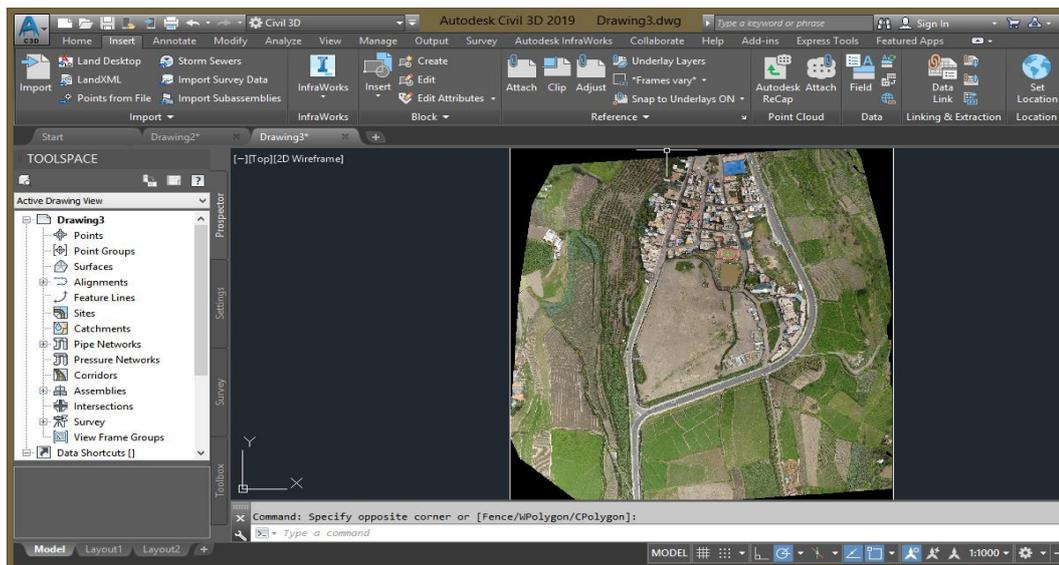


Figura N° 54: Exportación de la imagen ortomosaico al Civil 3D

Fuente: Elaboración propia.

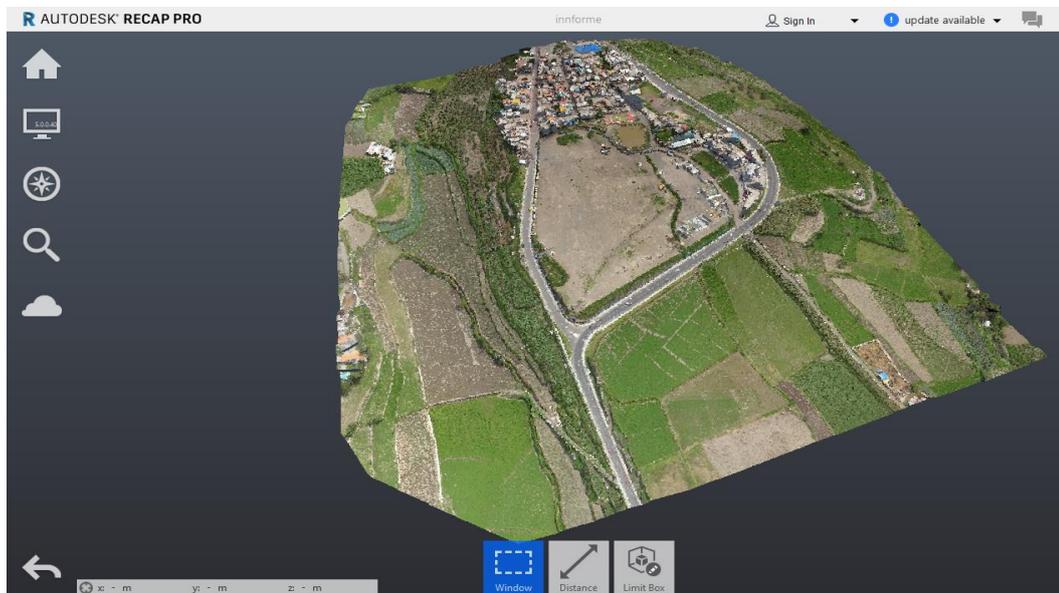


Figura N° 55: Importación de la nube puntos al RECAP PRO

Fuente: Elaboración propia.

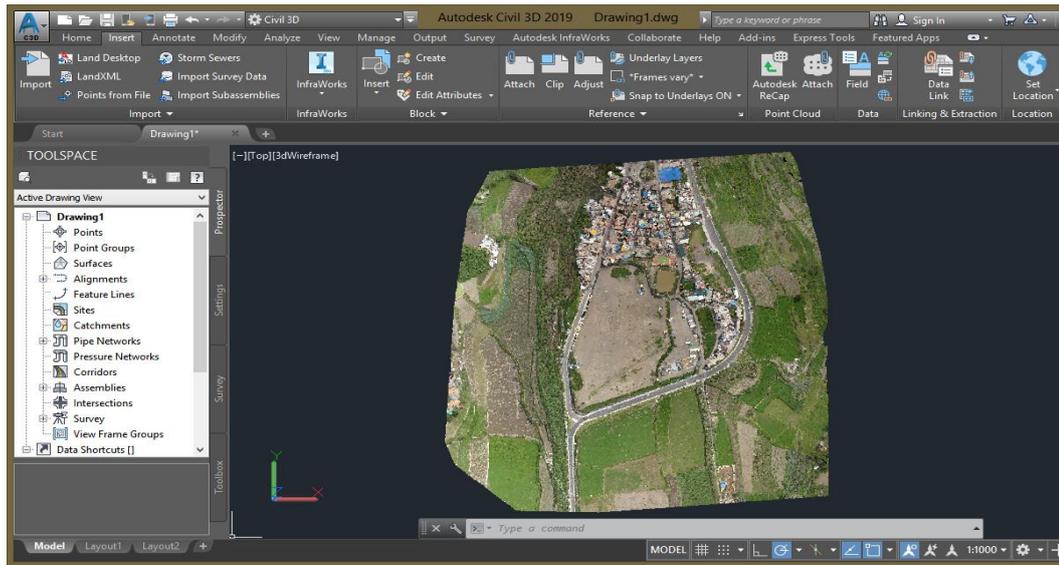


Figura N° 56: Importación de la nube de puntos al Civil 3D

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los resultados generales en un plano en planta (eBee RTK – planta), donde se indican las curvas de nivel y el perfil longitudinal principal. Después de esto se mostrará una tabla con el volumen de corte y relleno de acuerdo a cada progresiva, mostrará una tabla con el volumen de corte y relleno en forma de resumen y una tabla donde se indique la cota de terreno inicial que se obtuvo con esta metodología. (Ver anexo N° 3 y tablas 16, 17 y 18)

Tabla N° 16: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico con uso del
Drone eBee RTK

Total de volumen – eBee RTK						
Progresiva	Área de relleno	Área de corte	Volumen de relleno	Volumen de corte	Acumulado volumen de relleno	Acumulado volumen de corte
0+000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+005.00	0.00	12.53	0.00	31.34	0.00	31.34
0+010.00	0.00	32.95	0.00	113.70	0.00	145.04
0+015.00	0.00	86.65	0.00	299.00	0.00	444.04
0+020.00	0.09	92.43	0.23	447.72	0.23	891.76
0+025.00	0.64	95.55	1.83	469.96	2.06	1361.72
0+030.00	2.08	83.35	6.80	447.26	8.86	1808.98
0+035.00	7.61	67.30	24.22	376.64	33.08	2185.62
0+040.00	15.80	66.78	58.52	335.20	91.60	2520.82
0+045.00	25.22	75.41	102.56	355.45	194.16	2876.27
0+050.00	35.70	84.18	152.32	398.96	346.47	3275.24
0+055.00	41.60	87.27	193.26	428.63	539.73	3703.87
0+060.00	49.12	90.17	226.80	443.61	766.53	4147.48
0+065.00	72.42	91.84	303.85	455.02	1070.38	4602.51
0+070.00	46.95	197.23	298.42	722.67	1368.80	5325.18
0+075.00	51.56	214.99	246.27	1030.56	1615.07	6355.75
0+080.00	45.34	211.24	242.24	1065.59	1857.31	7421.33
0+085.00	38.99	218.88	210.81	1075.31	2068.12	8496.64
0+090.00	29.66	222.75	171.62	1104.08	2239.75	9600.72
0+095.00	35.27	141.24	162.32	909.99	2402.07	10510.71
0+100.00	26.59	115.86	154.65	642.75	2556.72	11153.46
0+105.00	18.61	88.65	113.00	511.27	2669.72	11664.73
0+110.00	11.86	82.35	76.18	427.49	2745.91	12092.22
0+115.00	3.63	92.58	38.72	437.32	2784.63	12529.54
0+120.00	3.04	97.31	16.66	474.73	2801.29	13004.27
0+125.00	4.21	91.11	18.11	471.07	2819.41	13475.34

0+130.00	4.07	91.40	20.70	456.30	2840.11	13931.64
0+135.00	3.11	88.44	17.96	449.60	2858.07	14381.24
0+140.00	5.16	78.84	20.68	418.20	2878.74	14799.44
0+145.00	9.02	72.18	35.46	377.55	2914.20	15176.99
0+150.00	6.64	73.53	39.17	364.28	2953.37	15541.27
0+155.00	6.40	69.00	32.60	356.33	2985.97	15897.60
0+160.00	7.65	60.67	35.13	324.16	3021.11	16221.77
0+165.00	8.29	50.97	39.85	279.10	3060.96	16500.86
0+170.00	6.91	46.35	37.98	243.31	3098.94	16744.18
0+175.00	11.58	33.37	46.21	199.30	3145.15	16943.48
0+180.00	8.61	43.46	50.46	192.06	3195.60	17135.53
0+185.00	8.46	42.14	42.67	213.99	3238.28	17349.53
0+190.00	5.69	47.09	35.38	223.09	3273.66	17572.61
0+195.00	1.64	68.00	18.31	287.75	3291.97	17860.36
0+200.00	0.12	223.56	4.39	728.90	3296.36	18589.26
0+205.00	0.00	239.67	0.30	1158.06	3296.67	19747.32
0+210.00	0.42	245.99	1.05	1214.16	3297.71	20961.48
0+215.00	0.00	126.59	1.04	931.45	3298.76	21892.93
0+220.00	2.03	138.32	5.07	662.28	3303.83	22555.22
0+225.00	5.24	140.00	18.17	695.80	3322.00	23251.02
0+230.00	4.43	108.70	24.19	621.73	3346.19	23872.75
0+235.00	4.53	84.37	22.42	482.66	3368.60	24355.41
0+240.00	4.23	108.39	21.90	481.91	3390.50	24837.32
0+245.00	6.17	96.62	26.00	512.54	3416.50	25349.86
0+250.00	2.23	74.39	21.00	427.53	3437.50	25777.39
0+255.00	0.54	32.20	6.92	266.46	3444.43	26043.85
0+260.00	0.01	15.19	1.38	118.47	3445.81	26162.33
0+265.00	0.00	4.45	0.03	49.11	3445.84	26211.44
0+265.79	0.00	0.00	0.00	1.75	3445.84	26213.19

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 17: Volumen de corte y relleno – Levantamiento topográfico con uso del Drone eBee RTK- Resumen

Área de relleno total	689.17	m ²
Área de corte total	5,244.48	m ²
Volumen de corte (-0.50)	26,213.19	m ³
Volumen de relleno (-0.25)	3,445.84	m ³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 18: Cotas del perfil longitudinal obtenida con el levantamiento topográfico usando el Drone eBee RTK

Perfil longitudinal - eBee RTK													
Progresiva	0+020.00	0+040.00	0+060.00	0+080.00	0+100.00	0+120.00	0+140.00	0+160.00	0+180.00	0+200.00	0+220.00	0+240.00	0+260.00
Cota de terreno	2429.63	2430.17	2431.80	2432.37	2432.70	2433.94	2433.48	2433.96	2434.40	2434.91	2435.51	2435.96	2436.44
Cota final	2428.09	2431.28	2432.39	2429.23	2433.63	2433.37	2433.86	2434.34	2434.55	2431.18	2434.81	2435.56	2436.63
Cota a N. -0.25	2427.84	2431.03	2432.14	2428.98	2433.38	2433.12	2433.61	2434.09	2434.30	2430.93	2434.56	2435.31	2436.38
Cota a N. -0.50	2427.59	2430.78	2431.89	2428.73	2433.13	2432.87	2433.36	2433.84	2434.05	2430.68	2434.31	2435.06	2436.13
NTN - N.-0.50 [Corte]	2.04			3.64		0.07	0.12	0.12	0.35	4.23	1.20	0.9	0.31
N.-0.50 - NTN [Relleno]		0.86	0.34		0.68	0.18	0.13	0.13					

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV: COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE FORMA TRADICIONAL (GPS Y ESTACIÓN TOTAL) Y CON EL USO DE LOS DRONES.

4.1 COMPARATIVO DEL PERSONAL Y RECURSOS UTILIZADOS

A continuación, se muestra dos cuadros comparativos una del personal y otra de los recursos usados en cada metodología.

Tabla N° 19: Cuadro comparativo del personal usado en cada metodología

TRADICIONAL		DJI PHANTOM 4		eBee RTK	
1	Jefe de grupo	1	Técnico	1	Técnico
2	Topógrafos	2	Topógrafos	2	Topógrafos
1	Cadista	1	Cadista	1	Cadista
3	Peón	2	Peón	1	Peón

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 20: Cuadro comparativo de los recursos usados en cada metodología

TRADICIONAL	DJI PHANTOM 4	eBee RTK
2 Estación total Trimble R8	1 Drone DJI PHANTOM 4	1 Drone eBee RTK
2 Prismas	2 GPS diferencial	2 GPS diferencial
2 Trípode metálico	1 Computadora	1 Computadora
2 GPS diferencial	Otros (cintas, pintura, radios, etc.)	Otros (cintas, pintura, radios, etc.)
1 Flexómetro		
1 Libreta de campo		
Otros (cintas, pintura, radios, etc.)		
Observaciones	Observaciones	Observaciones
14 días de levantamiento topográfico y 2 días de procesamiento (16 días en total).	1.5 días de levantamiento topográfico y 2 días de procesamiento (3.5 días en total).	0.5 días de levantamiento topográfico y 2 días de procesamiento (2.5 días en total).

El alquiler del equipo completo por el tiempo de un mes tiene un valor de S/.1500.	El proyecto ya contaba con el Drone DJI PHANTOM 4, y el alquiler del GPS diferencial fue de S/. 300 por mes cada uno.	El alquiler solo del Drone eBee RTK tuvo un costo de S/. 900 y el alquiler del GPS diferencial fue de S/. 300 por mes cada uno.
--	---	---

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que la tecnología de los Drones es más eficiente tanto en personal y recursos usados. Por ende, son económicamente más viables; sin embargo, en este proyecto no solo este indicador se tuvo en cuenta, sino también la precisión de los resultados obtenidos con respecto al método TRADICIONAL, en el siguiente punto se detallará los resultados obtenidos en cada metodología.

4.2 COMPARATIVO DE VOLUMEN DE CORTE Y RELLENO

Tabla N° 21: Volumen de corte y relleno – Comparativo general de las tres metodologías

	TRADICIONAL	DJI PHANTOM 4	eBee RTK	
Área de relleno total	701.88	640.22	689.17	m ²
Área de corte total	4,947.59	5,579.07	5,244.48	m ²
Volumen de corte (-0.50)	24,733.18	27,880.68	26,213.19	m ³
Volumen de relleno (-0.25)	3,509.41	3,201.02	3,445.84	m ³

Fuente: Elaboración propia

Al observar la tabla anterior notamos que los resultados obtenidos por el Drone eBee RTK son los que más se aproximan a los resultados de la metodología TRADICIONAL. Por ejemplo, la diferencia en volumen de corte entre ambos es de 1,480.01 m³ y de relleno 63.57 m³; sin embargo, para el Drone DJI PHANTOM 4 los resultados son más alejados del método TRADICIONAL, con una diferencia en el volumen de corte y relleno de 3,147.5 m³ y 308.39 m³ respectivamente.

Es bien sabido que el Drone eBee cuenta con tecnología más avanzada que es el RTK, debido a eso la toma de datos lo realiza a través un receptor de GPS incorporado en el propio equipo y lo hace en tiempo real. Este puede ser unos de los motivos más resaltantes por el cual el eBee RTK muestre mejores resultados.

4.3 COMPARATIVO DE COTAS DEL PERFIL LONGITUDINAL PRINCIPAL

Una forma de medir la precisión de los resultados obtenidos fue mediante la comparación de cotas del perfil longitudinal principal.

Tabla N° 22: Comparativo de cotas del perfil longitudinal principal

Perfil longitudinal - TRADICIONAL													
Progresiva	0+020.00	0+040.00	0+060.00	0+080.00	0+100.00	0+120.00	0+140.00	0+160.00	0+180.00	0+200.00	0+220.00	0+240.00	0+260.00
Cota de terreno	2429.58	2430.15	2431.80	2432.32	2432.67	2432.98	2433.50	2433.95	2434.40	2434.97	2435.51	2436.02	2436.52
Perfil longitudinal - DJI PHANTOM 4													
Progresiva	0+020.00	0+040.00	0+060.00	0+080.00	0+100.00	0+120.00	0+140.00	0+160.00	0+180.00	0+200.00	0+220.00	0+240.00	0+260.00
Cota de terreno	2429.91	2430.16	2431.82	2432.38	2432.75	2433.04	2433.52	2433.98	2434.41	2434.98	2435.65	2436.07	2436.78
Perfil longitudinal - eBee RTK													
Progresiva	0+020.00	0+040.00	0+060.00	0+080.00	0+100.00	0+120.00	0+140.00	0+160.00	0+180.00	0+200.00	0+220.00	0+240.00	0+260.00
Cota de terreno	2429.63	2430.17	2431.80	2432.37	2432.70	2433.94	2433.48	2433.96	2434.40	2434.91	2435.51	2435.96	2436.44

Nota: Se observa, que al medir las cotas del perfil longitudinal principal, el que más se acerca a los resultados del método TRADICIONAL es el eBee RTK; sin embargo, los resultados que se obtuvo con el DJ PHANTOM tampoco son muy alejados, ya que las progresivas 40, 120, 200 y 240 se asemejan más al método TRADICIONAL. Al ver estos resultados se solicitó al área correspondiente hacer un análisis más detallado, por lo que se propuso realizar más perfiles.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 COMPARATIVO DE COTAS DE LOS PERFILES LONGITUDINALES SECUNDARIOS

Para poder determinar la precisión con respecto al método TRADICIONAL, se decidió trazar 187 perfiles longitudinales secundarios espaciados en 1 m, esto con la finalidad de comparar la altimetría punto a punto. Ahora, como se trata de medir estos resultados y ver qué tan alejados están del método TRADICIONAL, se decidió determinar ese error o alejamiento mediante la ecuación matemática número 16.

$$Error_{Corte\ i-i} = |Cota_{(DJI\ PHANTOM\ 4\ ó\ eBee\ RTK)_{Corte\ i-i}} - Cota_{TRADICIONAL_{Corte\ i-i}}| \quad (16)$$

También se usaron mediciones como la media (\bar{u}) (error medio / este valor nos dará el valor de la precisión) y la desviación estándar (S) (este valor nos indicará que tan dispersos están los puntos tomados). Estas se calcularán en base al error que se obtiene en cada punto, para esto se usarán la ecuaciones 17 y 18.

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n Error_{corte\ i-i}}{N} \quad \text{donde } N = \text{cantidad de puntos} \quad (17)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Error_{corte\ i-i} - u)^2}{N - 1}} \quad (18)$$

donde $N =$ cantidad de puntos

A continuación, se muestra un plano en planta “COMPARATIVO FINAL” (Ver anexo 4) donde se indican 187 perfiles y/o cortes longitudinales secundarios. Luego, se muestra un plano de elevación con los cortes 10 - 10, 46 - 46, 7 - 7 “COMPARATIVO DEL PERFIL LONGITUDINAL” (Ver anexo 5). Seguido de ello, se muestra una tabla donde se indican los resultados de altimetría (cotas) obtenidas del corte 10 -10 en cada una de las tres metodologías. Finalmente, las figuras donde se indica el valor del error medio obtenido en cada corte con respecto al método TRADICIONAL.

- Corte 10-10

Tabla Nº 23: Comparativo de cotas del corte 10-10

CUADRO COMPARATIVO / EJE CORTE 10-10					
Progresiva	DJI PHANTOM 4	eBee RTK	TRADICIONAL	Δ Error = [DJI PHANTOM 4 - TRADICIONAL]	Δ Error = [eBee RTK - TRADICIONAL]
0+039.000	2427.810	2428.120	2,427.69	0.120	0.430
0+040.000	2427.820	2428.000	2,428.72	0.900	0.720
0+041.000	2427.860	2427.970	2,428.37	0.510	0.400
0+042.000	2427.880	2427.990	2,428.01	0.130	0.020
0+043.000	2427.900	2428.030	2,427.80	0.100	0.230
0+044.000	2427.940	2428.000	2,427.88	0.060	0.120
0+045.000	2427.950	2428.030	2,427.95	0.000	0.080
0+046.000	2428.000	2428.090	2,428.02	0.020	0.070
0+047.000	2428.090	2428.200	2,428.10	0.010	0.100
0+048.000	2428.170	2428.230	2,428.17	0.000	0.060
0+049.000	2428.240	2428.310	2,428.24	0.000	0.070
0+050.000	2428.300	2428.360	2,428.44	0.140	0.080
0+051.000	2428.370	2428.470	2,428.50	0.130	0.030
0+052.000	2428.430	2428.500	2,428.53	0.100	0.030
0+053.000	2428.480	2428.570	2,428.56	0.080	0.010
0+054.000	2428.560	2428.650	2428.680	0.120	0.030
0+055.000	2428.650	2428.770	2428.850	0.200	0.080
0+056.000	2428.740	2428.790	2428.910	0.170	0.120
0+057.000	2428.840	2428.870	2428.940	0.100	0.070
0+058.000	2428.930	2428.960	2428.980	0.050	0.020
0+059.000	2429.010	2429.030	2429.020	0.010	0.010
0+060.000	2429.110	2429.150	2429.050	0.060	0.100

0+061.000	2429.240	2429.250	2429.120	0.120	0.130
0+062.000	2429.370	2429.390	2429.200	0.170	0.190
0+063.000	2429.490	2429.520	2429.300	0.190	0.220
0+064.000	2429.670	2429.600	2429.410	0.260	0.190
0+065.000	2430.000	2429.590	2429.510	0.490	0.080
0+066.000	2430.700	2429.660	2429.560	1.140	0.100
0+067.000	2431.370	2429.820	2429.600	1.770	0.220
0+068.000	2431.780	2429.830	2429.820	1.960	0.010
0+069.000	2431.930	2430.140	2430.690	1.240	0.550
0+070.000	2431.920	2430.440	2431.290	0.630	0.850
0+071.000	2431.950	2430.830	2431.960	0.010	1.130
0+072.000	2432.290	2431.650	2432.650	0.360	1.000
0+073.000	2432.790	2432.830	2433.290	0.500	0.460
0+074.000	2433.020	2433.530	2433.290	0.270	0.240
0+075.000	2433.230	2433.600	2433.290	0.060	0.310
0+076.000	2433.290	2432.850	2432.630	0.660	0.220
0+077.000	2432.300	2431.170	2431.140	1.160	0.030
0+078.000	2431.800	2431.140	2431.120	0.680	0.020
0+079.000	2431.800	2431.210	2431.090	0.710	0.120
0+080.000	2432.150	2431.310	2431.240	0.910	0.070
0+081.000	2433.260	2431.890	2431.350	1.910	0.540
0+082.000	2433.770	2432.460	2433.250	0.520	0.790
0+083.000	2434.020	2432.790	2433.820	0.200	1.030
0+084.000	2434.280	2433.000	2433.840	0.440	0.840
0+085.000	2434.500	2433.030	2433.910	0.590	0.880
0+086.000	2434.500	2433.490	2434.050	0.450	0.560
0+087.000	2434.500	2433.760	2434.180	0.320	0.420
0+088.000	2434.500	2433.970	2434.320	0.180	0.350
0+089.000	2434.450	2434.050	2434.280	0.170	0.230
0+090.000	2434.310	2434.100	2434.110	0.200	0.010
0+091.000	2434.020	2434.220	2433.710	0.310	0.510
0+092.000	2433.690	2433.760	2433.320	0.370	0.440

0+093.000	2433.480	2433.470	2433.450	0.030	0.020
0+094.000	2433.420	2433.430	2433.580	0.160	0.150
0+095.000	2433.410	2433.450	2433.710	0.300	0.260
0+096.000	2433.400	2433.450	2433.690	0.290	0.240
0+097.000	2433.440	2433.500	2433.410	0.030	0.090
0+098.000	2433.480	2433.540	2433.400	0.080	0.140
0+099.000	2433.530	2433.570	2433.420	0.110	0.150
0+100.000	2433.540	2433.600	2433.430	0.110	0.170
0+101.000	2433.550	2433.600	2433.450	0.100	0.150
0+102.000	2433.550	2433.600	2433.470	0.080	0.130
0+103.000	2433.560	2433.620	2433.490	0.070	0.130
0+104.000	2433.570	2433.610	2433.510	0.060	0.100
0+105.000	2433.580	2433.630	2433.530	0.050	0.100
0+106.000	2433.610	2433.670	2433.560	0.050	0.110
0+107.000	2433.630	2433.720	2433.590	0.040	0.130
0+108.000	2433.650	2433.730	2433.610	0.040	0.120
0+109.000	2433.680	2433.750	2433.640	0.040	0.110
0+110.000	2433.700	2433.760	2433.670	0.030	0.090
0+111.000	2433.730	2433.790	2433.700	0.030	0.090
0+112.000	2433.760	2433.830	2433.720	0.040	0.110
0+113.000	2433.780	2433.860	2433.740	0.040	0.120
0+114.000	2433.800	2433.900	2433.750	0.050	0.150
0+115.000	2433.820	2433.900	2433.770	0.050	0.130
0+116.000	2433.830	2433.890	2433.790	0.040	0.100
0+117.000	2433.840	2433.920	2433.800	0.040	0.120
0+118.000	2433.860	2433.920	2433.820	0.040	0.100
0+119.000	2433.870	2433.930	2433.840	0.030	0.090
0+120.000	2433.880	2433.960	2433.860	0.020	0.100
0+121.000	2433.890	2433.950	2433.870	0.020	0.080
0+122.000	2433.900	2433.970	2433.890	0.010	0.080
0+123.000	2433.910	2433.960	2433.910	0.000	0.050
0+124.000	2433.920	2433.980	2433.920	0.000	0.060

0+125.000	2433.940	2434.030	2433.950	0.010	0.080
0+126.000	2433.950	2434.040	2433.970	0.020	0.070
0+127.000	2433.970	2434.040	2433.980	0.010	0.060
0+128.000	2434.020	2434.030	2434.000	0.020	0.030
0+129.000	2434.070	2434.070	2434.010	0.060	0.060
0+130.000	2434.090	2434.120	2434.030	0.060	0.090
0+131.000	2434.100	2434.150	2434.050	0.050	0.100
0+132.000	2434.120	2434.160	2434.060	0.060	0.100
0+133.000	2434.140	2434.170	2434.080	0.060	0.090
0+134.000	2434.170	2434.160	2434.100	0.070	0.060
0+135.000	2434.200	2434.180	2434.120	0.080	0.060
0+136.000	2434.210	2434.200	2434.140	0.070	0.060
0+137.000	2434.250	2434.230	2434.160	0.090	0.070
0+138.000	2434.290	2434.240	2434.180	0.110	0.060
0+139.000	2434.300	2434.280	2434.200	0.100	0.080
0+140.000	2434.300	2434.280	2434.220	0.080	0.060
0+141.000	2434.300	2434.330	2434.240	0.060	0.090
0+142.000	2434.310	2434.340	2434.260	0.050	0.080
0+143.000	2434.330	2434.370	2434.280	0.050	0.090
0+144.000	2434.350	2434.360	2434.290	0.060	0.070
0+145.000	2434.370	2434.400	2434.310	0.060	0.090
0+146.000	2434.390	2434.430	2434.330	0.060	0.100
0+147.000	2434.420	2434.470	2434.350	0.070	0.120
0+148.000	2434.460	2434.500	2434.370	0.090	0.130
0+149.000	2434.500	2434.500	2434.390	0.110	0.110
0+150.000	2434.500	2434.540	2434.410	0.090	0.130
0+151.000	2434.500	2434.560	2434.430	0.070	0.130
0+152.000	2434.500	2434.580	2434.450	0.050	0.130
0+153.000	2434.510	2434.570	2434.460	0.050	0.110
0+154.000	2434.510	2434.560	2434.480	0.030	0.080
0+155.000	2434.530	2434.570	2434.500	0.030	0.070
0+156.000	2434.540	2434.560	2434.510	0.030	0.050

0+157.000	2434.560	2434.580	2434.530	0.030	0.050
0+158.000	2434.570	2434.590	2434.540	0.030	0.050
0+159.000	2434.590	2434.600	2434.560	0.030	0.040
0+160.000	2434.600	2434.610	2434.570	0.030	0.040
0+161.000	2434.620	2434.670	2434.590	0.030	0.080
0+162.000	2434.650	2434.670	2434.610	0.040	0.060
0+163.000	2434.670	2434.690	2434.640	0.030	0.050
0+164.000	2434.700	2434.720	2434.670	0.030	0.050
0+165.000	2434.740	2434.720	2434.700	0.040	0.020
0+166.000	2434.780	2434.760	2434.730	0.050	0.030
0+167.000	2434.820	2434.780	2434.770	0.050	0.010
0+168.000	2434.860	2434.810	2434.800	0.060	0.010
0+169.000	2434.900	2434.860	2434.830	0.070	0.030
0+170.000	2434.920	2434.950	2434.870	0.050	0.080
0+171.000	2434.940	2434.960	2434.910	0.030	0.050
0+172.000	2434.960	2434.970	2434.950	0.010	0.020
0+173.000	2435.000	2434.990	2434.980	0.020	0.010
0+174.000	2435.040	2435.020	2435.020	0.020	0.000
0+175.000	2435.070	2435.080	2435.050	0.020	0.030
0+176.000	2435.110	2435.080	2435.070	0.040	0.010
0+177.000	2435.140	2435.110	2435.090	0.050	0.020
0+178.000	2435.170	2435.150	2435.110	0.060	0.040
0+179.000	2435.200	2435.160	2435.140	0.060	0.020
0+180.000	2435.230	2435.180	2435.160	0.070	0.020
0+181.000	2435.250	2435.220	2435.180	0.070	0.040
0+182.000	2435.280	2435.210	2435.220	0.060	0.010
0+183.000	2435.300	2435.230	2435.250	0.050	0.020
0+184.000	2435.330	2435.260	2435.280	0.050	0.020
0+185.000	2435.370	2435.290	2435.310	0.060	0.020
0+186.000	2435.410	2435.350	2435.340	0.070	0.010
0+187.000	2435.440	2435.380	2435.370	0.070	0.010
0+188.000	2435.460	2435.410	2435.400	0.060	0.010

0+189.000	2435.480	2435.410	2435.430	0.050	0.020
0+190.000	2435.500	2435.450	2435.460	0.040	0.010
0+191.000	2435.530	2435.450	2435.490	0.040	0.040
0+192.000	2435.550	2435.480	2435.520	0.030	0.040
0+193.000	2435.570	2435.500	2435.550	0.020	0.050
0+194.000	2435.590	2435.510	2435.580	0.010	0.070
0+195.000	2435.610	2435.540	2435.580	0.030	0.040
0+196.000	2435.630	2435.560	2435.590	0.040	0.030
0+197.000	2435.660	2435.550	2435.590	0.070	0.040
0+198.000	2435.680	2435.570	2435.610	0.070	0.040
0+199.000	2435.700	2435.580	2435.640	0.060	0.060
0+200.000	2435.750	2435.610	2435.680	0.070	0.070
0+201.000	2435.800	2435.640	2435.720	0.080	0.080
0+202.000	2435.940	2435.860	2435.820	0.120	0.040
0+203.000	2436.020	2435.940	2435.950	0.070	0.010
0+204.000	2436.040	2435.930	2435.980	0.060	0.050
0+205.000	2436.070	2435.940	2435.980	0.090	0.040
0+206.000	2436.070	2435.930	2435.980	0.090	0.050
0+207.000	2436.070	2435.940	2435.960	0.110	0.020
0+208.000	2436.060	2435.950	2435.940	0.120	0.010
0+209.000	2436.070	2435.940	2435.920	0.150	0.020
0+210.000	2436.090	2435.920	2435.910	0.180	0.010
0+211.000	2436.130	2435.860	2435.890	0.240	0.030
0+212.000	2436.150	2435.820	2435.890	0.260	0.070
0+213.000	2436.190	2435.990	2436.040	0.150	0.050
0+214.000	2436.210	2436.100	2436.120	0.090	0.020
0+215.000	2436.220	2436.080	2436.140	0.080	0.060
0+216.000	2436.230	2436.090	2436.150	0.080	0.060
0+217.000	2436.240	2436.090	2436.140	0.100	0.050
0+218.000	2436.210	2436.060	2436.070	0.140	0.010
0+219.000	2436.180	2435.950	2435.950	0.230	0.000
0+220.000	2436.190	2435.950	2436.010	0.180	0.060

0+221.000	2436.190	2435.980	2436.020	0.170	0.040
0+222.000	2436.190	2436.030	2436.030	0.160	0.000
0+223.000	2436.200	2436.030	2436.050	0.150	0.020
0+224.000	2436.200	2436.050	2436.070	0.130	0.020
0+225.000	2436.210	2436.070	2436.100	0.110	0.030
0+226.000	2436.240	2436.100	2436.120	0.120	0.020
0+227.000	2436.260	2436.120	2436.140	0.120	0.020
0+228.000	2436.290	2436.150	2436.170	0.120	0.020
0+229.000	2436.300	2436.160	2436.190	0.110	0.030
0+230.000	2436.300	2436.200	2436.220	0.080	0.020
0+231.000	2436.320	2436.210	2436.230	0.090	0.020
0+232.000	2436.340	2436.200	2436.240	0.100	0.040
0+233.000	2436.360	2436.260	2436.240	0.120	0.020
0+234.000	2436.390	2436.290	2436.250	0.140	0.040
0+235.000	2436.400	2436.290	2436.260	0.140	0.030
0+236.000	2436.400	2436.320	2436.270	0.130	0.050
0+237.000	2436.400	2436.340	2436.290	0.110	0.050
0+238.000	2436.400	2436.360	2436.310	0.090	0.050
0+239.000	2436.400	2436.540	2436.320	0.080	0.220
0+240.000	2436.420	2436.820	2436.340	0.080	0.480
0+241.000	2436.420	2436.760	2436.350	0.070	0.410
0+242.000	2436.440	2436.410	2436.360	0.080	0.050
0+243.000	2436.450	2436.420	2436.380	0.070	0.040
0+244.000	2436.470	2436.350	2436.390	0.080	0.040
0+245.000	2436.490	2436.360	2436.400	0.090	0.040
0+246.000	2436.520	2436.370	2436.410	0.110	0.040
0+247.000	2436.560	2436.400	2436.430	0.130	0.030
0+248.000	2436.600	2436.370	2436.450	0.150	0.080
0+249.000	2436.680	2436.480	2436.470	0.210	0.010

Fuente: Elaboración propia.

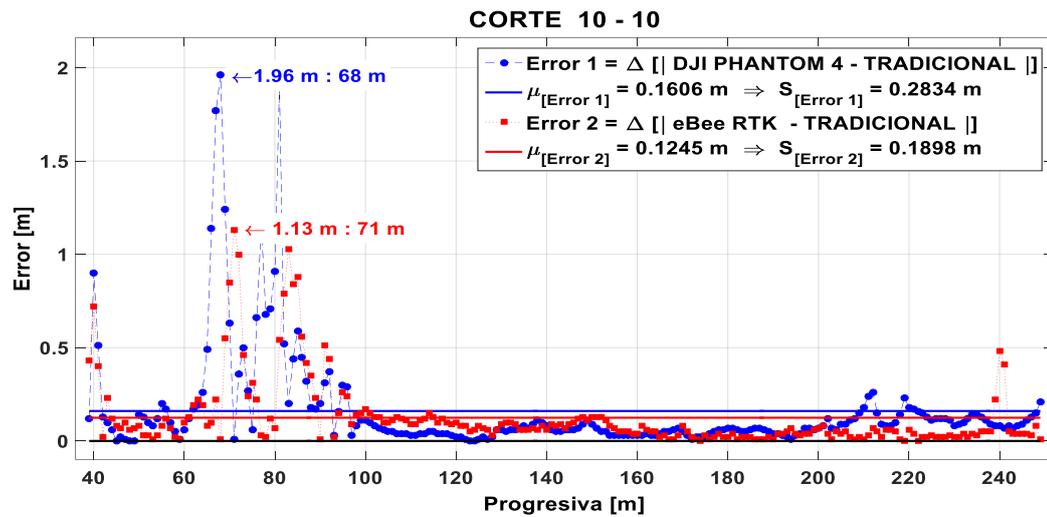


Figura N° 57: Error del perfil longitudinal / corte 10 – 10

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en los resultados del corte 10 -10 la media del error obtenido con el eBee RTK tiene un valor de 0.1245 m y la desviación estándar es de 0.1898, en cambio el error del DJI PHANTOM 4 es de 0.1606 m, con una desviación estándar de 0.2834 m. Esta última tiene menor precisión debido a que el valor de la media es mucho mayor, además el resultado de la desviación estándar es mayor debido a que contiene puntos más dispersos.

Se puede afirmar que el error máximo con el uso del eBee RTK es de 1.13 m y se da en la progresiva 0+068 m; en cambio, en el DJI PHANTOM 4 tiene un valor máximo de 1.96 m y se da en la progresiva 0+071 m.

- Corte 46 – 46

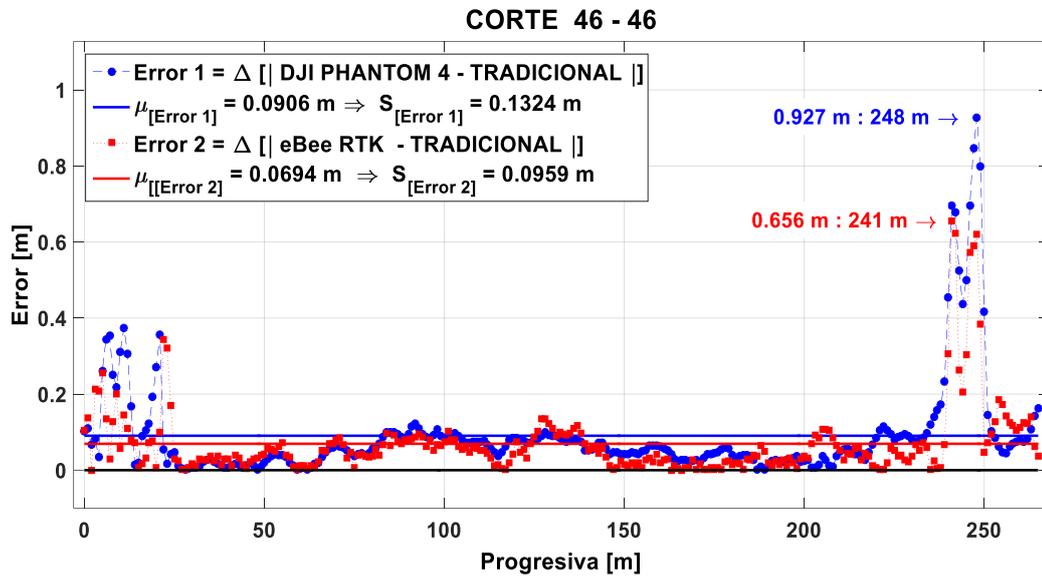


Figura N° 58: Error del perfil longitudinal / corte 46 - 46

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en los resultados del corte 46 - 46 la media del error obtenido con el eBee RTK tiene un valor de 0.0694 m y la desviación estándar es de 0.0959, en cambio el error del DJI PHANTOM 4 es de 0.0906 m y con una desviación estándar de 0.1324 m. Esta última resulta tener menor precisión debido a que el valor de la media es mayor, y el valor de la desviación estándar también es mayor ya que contiene puntos más dispersos; sin embargo, a diferencia del caso anterior en esta los valores de los errores son menores en su mayoría. Entonces, se deduce que los resultados obtenidos en este caso, se deben a que los puntos levantados están ubicados en un lugar donde no existe pendientes muy pronunciadas (Ver figura 59), porque prácticamente el valor de la media y desviación estándar son aproximados, a excepción de la progresiva del 0+00m al 0+35m y la progresiva del 0+235m al 0+255m. (Ver figura 58).



Figura N° 59: Terreno levantado – pendientes no muy pronunciadas

Fuente: Elaboración propia

Por lo mencionado anteriormente, sabemos que el error máximo que se obtuvo con el uso del eBee RTK fue de 0.0656 m y se da en la progresiva 0+241 m; en cambio, en el DJI PHATOM 4 tiene un valor máximo de 0.0927 m y se da en la progresiva 0+248 m.

Hasta el momento se ha observado cortes donde los resultados salieron a favor del eBee RTK; sin embargo, al hacer este análisis en otros cortes se obtuvo resultados diferentes que a continuación se detallan en el corte 7 – 7.

- Corte 7 – 7

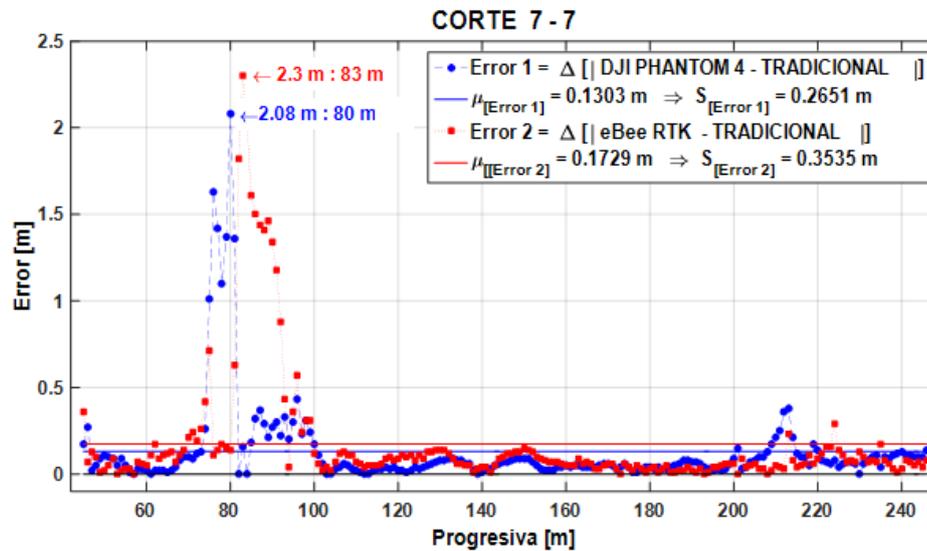


Figura N° 6061: Error del perfil longitudinal / corte 7 – 7

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los resultados del corte 7 – 7, a diferencia de los casos anteriores, la media del error obtenido con el eBee RTK tiene un valor de 0.1729 m y la desviación estándar es de 0.3535 m. En cambio, el error del DJI PHANTOM 4 es de 0.1303 m y con una desviación estándar de 0.2651 m. Por ende, esta última resulta tener mayor precisión debido a que el valor de la media es menor y el resultado de la desviación estándar también es menor. Estos valores de error se dan justamente en progresivas muy próximas en pendientes muy pronunciadas (Ver figura 61).



Figura N° 6162: Terreno levantado – pendientes muy pronunciadas

Fuente: Elaboración propia

Se ha de mencionar también que lo mismo pasa en los cortes 1-1, 4-4, 5-5, 6-6, 118-118, 119-119, 120-120, 186-186 y 187-187. Estos datos se dan justamente en los exteriores del proyecto, donde se da la existencia de viviendas, carreteras, vegetación, pendientes muy pronunciadas de terreno, campamentos que pertenecen al proyecto, entre otros; sin embargo, en los demás cortes (que son la mayoría) son como el primer y segundo caso donde se obtiene mejores resultados con el eBee RTK. A continuación, se detalla algunos cortes adicionales donde se demuestra lo indicado.

- Cortes 17 - 17, 18 - 18, 19 - 19, 20 - 20, 21 - 21, 22 - 22, 23 - 23, 24 - 24, 73 - 73, 74 - 74, 75 - 75, 76 - 76, 77 - 77, 78 - 78, 79 - 79 y 80 - 80.

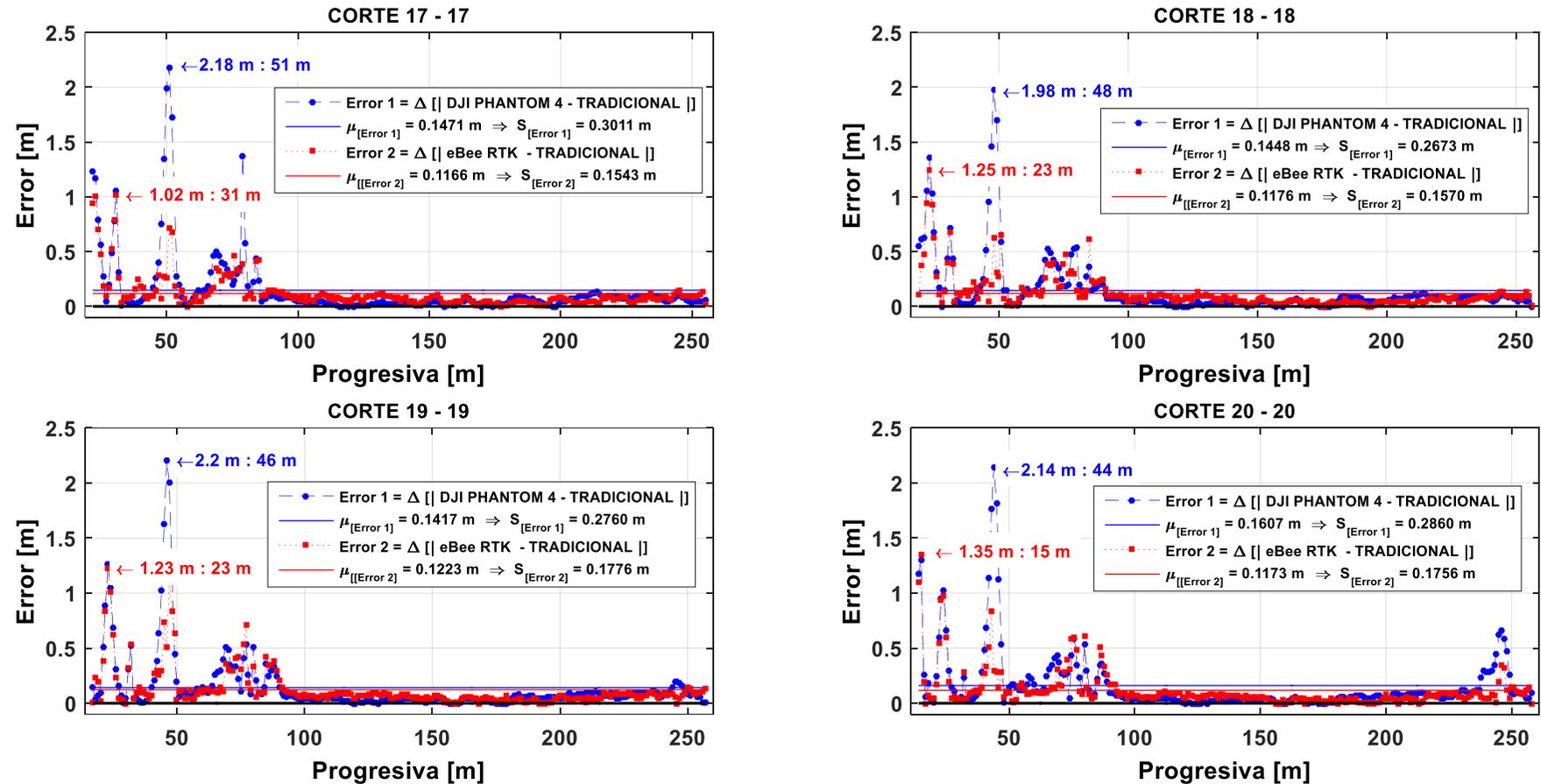


Figura N° 62: Error del perfil longitudinal / cortes 17 – 17, 18 – 18, 19 – 19 y 20 – 20

Fuente: Elaboración propia

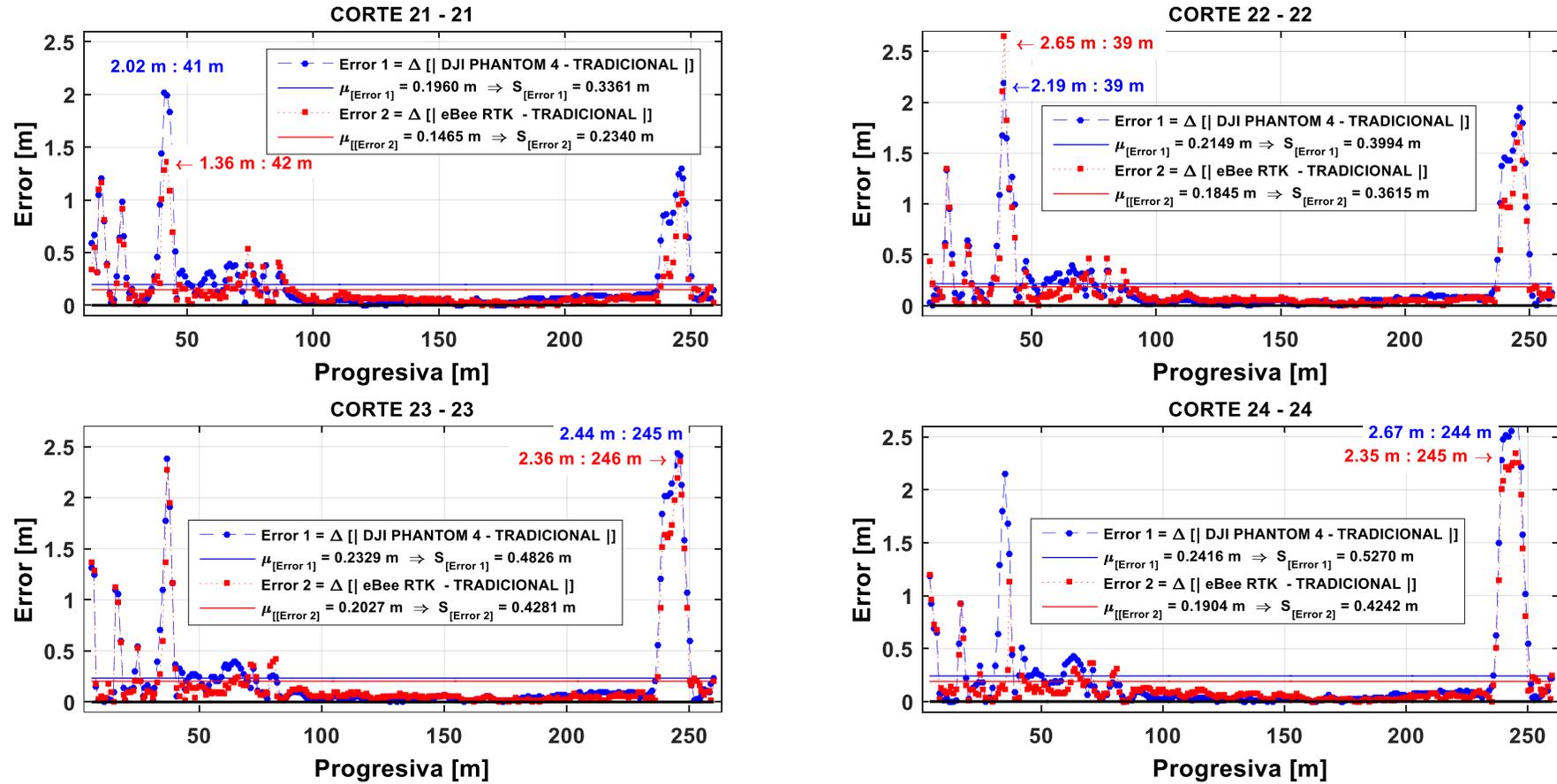


Figura N° 63: Error del perfil longitudinal / cortes 21 – 21, 22 – 22, 23 – 23 y 24 – 24

Fuente: Elaboración propia

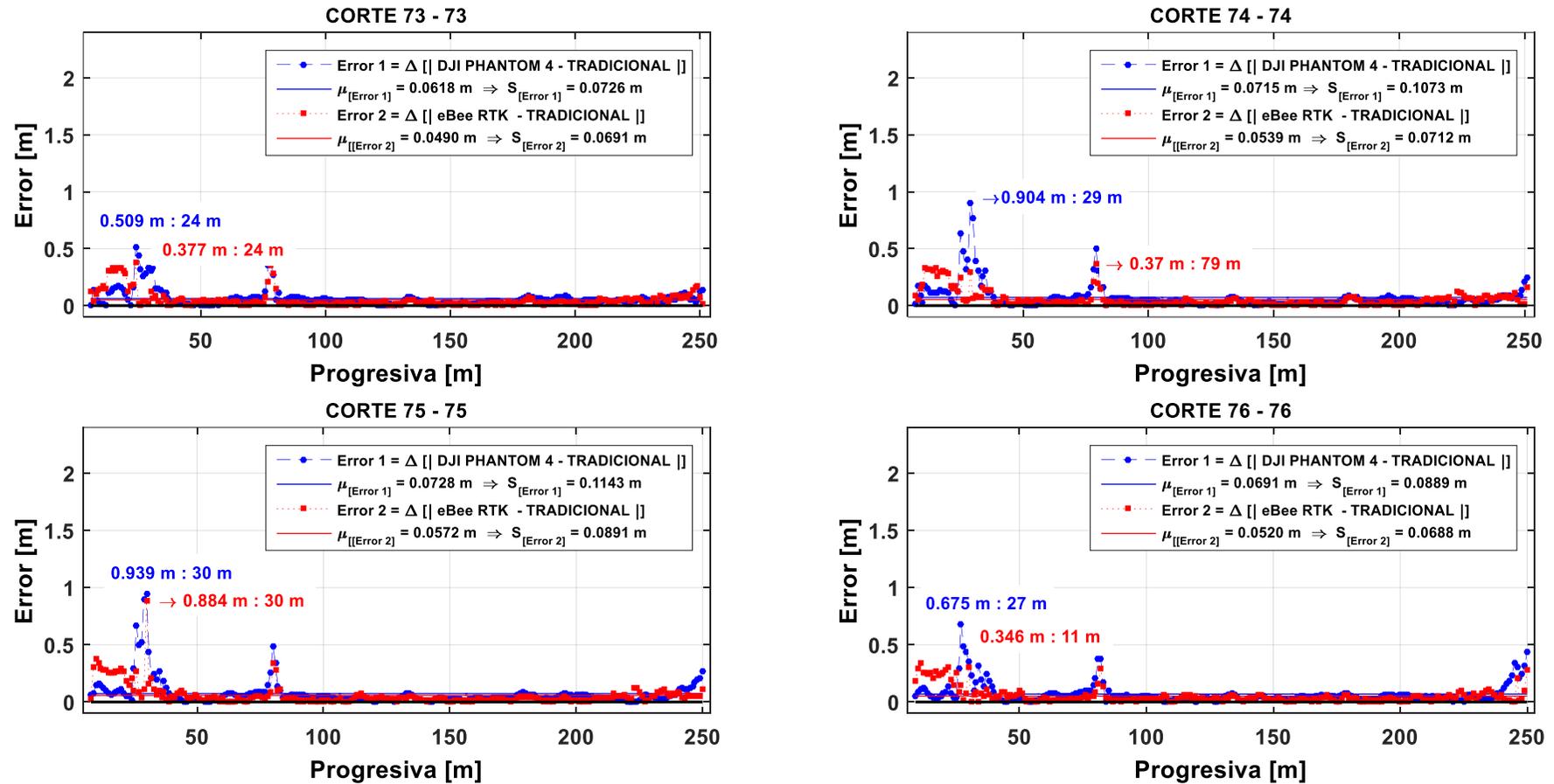


Figura N° 64: Error del perfil longitudinal / cortes 73 – 73, 74 – 74, 75 – 75 y 76 – 76

Fuente: Elaboración propia

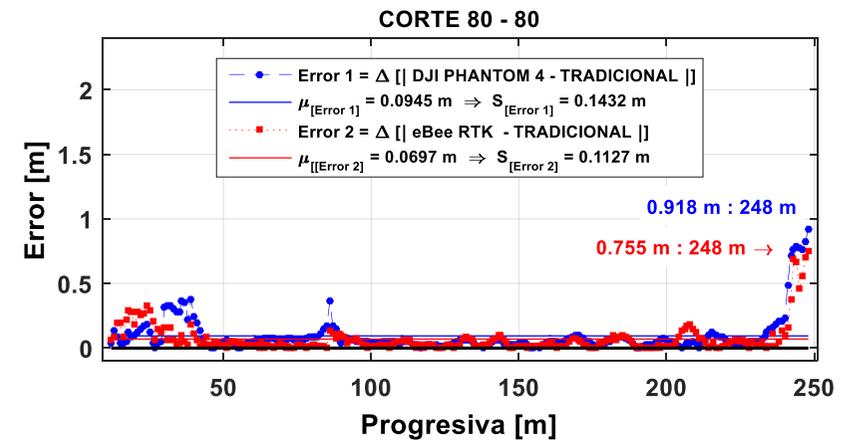
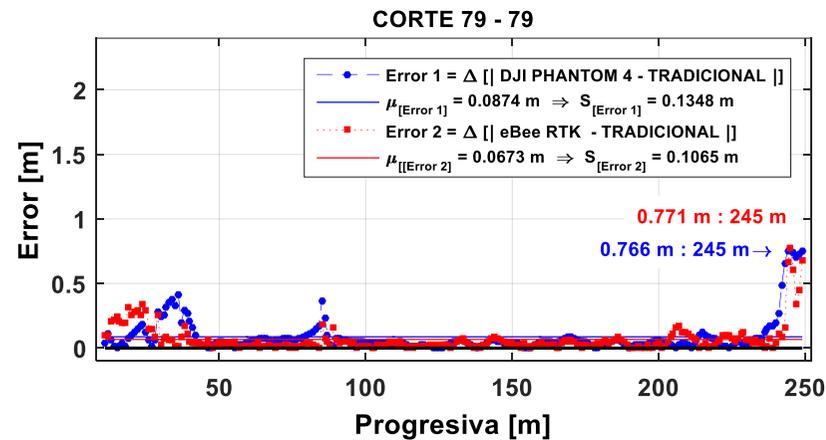
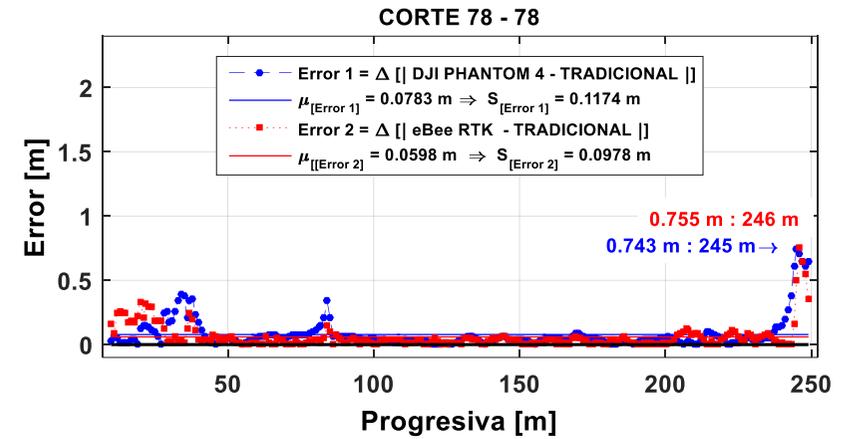
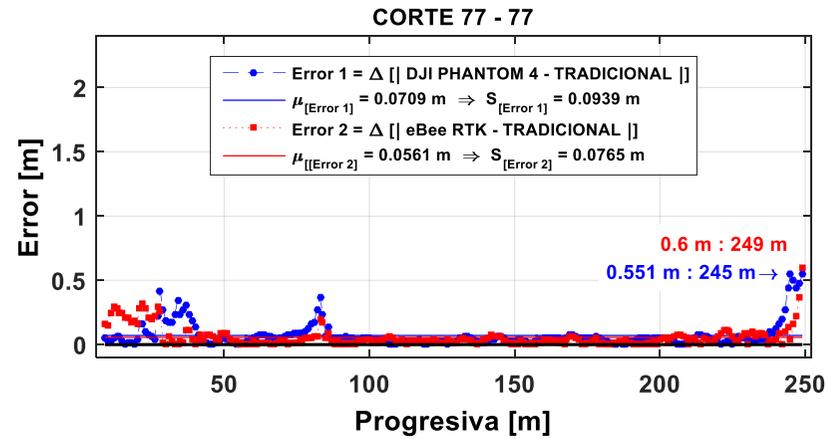


Figura N° 65: Error del perfil longitudinal / cortes 77 – 77, 78– 78, 79 – 79 y 80 – 80

Fuente: Elaboración propia

De las figuras mostradas se puede deducir que en la mayoría de los cortes se obtienen mejores resultados con el eBee RTK, pero en lugares donde existe, por ejemplo, pendientes muy pronunciadas, viviendas, arbustos, etcétera, los resultados al ser comprado con el método TRADICIONAL difieren bastante, es más, en estas zonas se puede tener errores hasta de 2 o 3 metros aproximadamente, cosa que es muy impreciso. Para poder disminuir esa imprecisión quizás se debe mejorar el sensor del Drone o tener equipos más sofisticados.

En general como se indicó anteriormente se realizó 187 cortes longitudinales secundarios cuyas progresivas van desde 0 + 00 m hasta 0 + 260 m, donde se destacan los resultados del Drone eBee RTK sobre el Drone DJI PHANTOM 4.

A continuación, se observa la figura N° 66 que representa a todos los puntos analizados (aproximadamente de 37541 puntos) versus el error calculado para cada una de ellas, tomando como referencia el levantamiento TRADICIONAL. En esta figura se podrán observar la media, la desviación estándar y el máximo valor del error obtenido en cada Drone al ser comparados con el método TRADICIONAL.

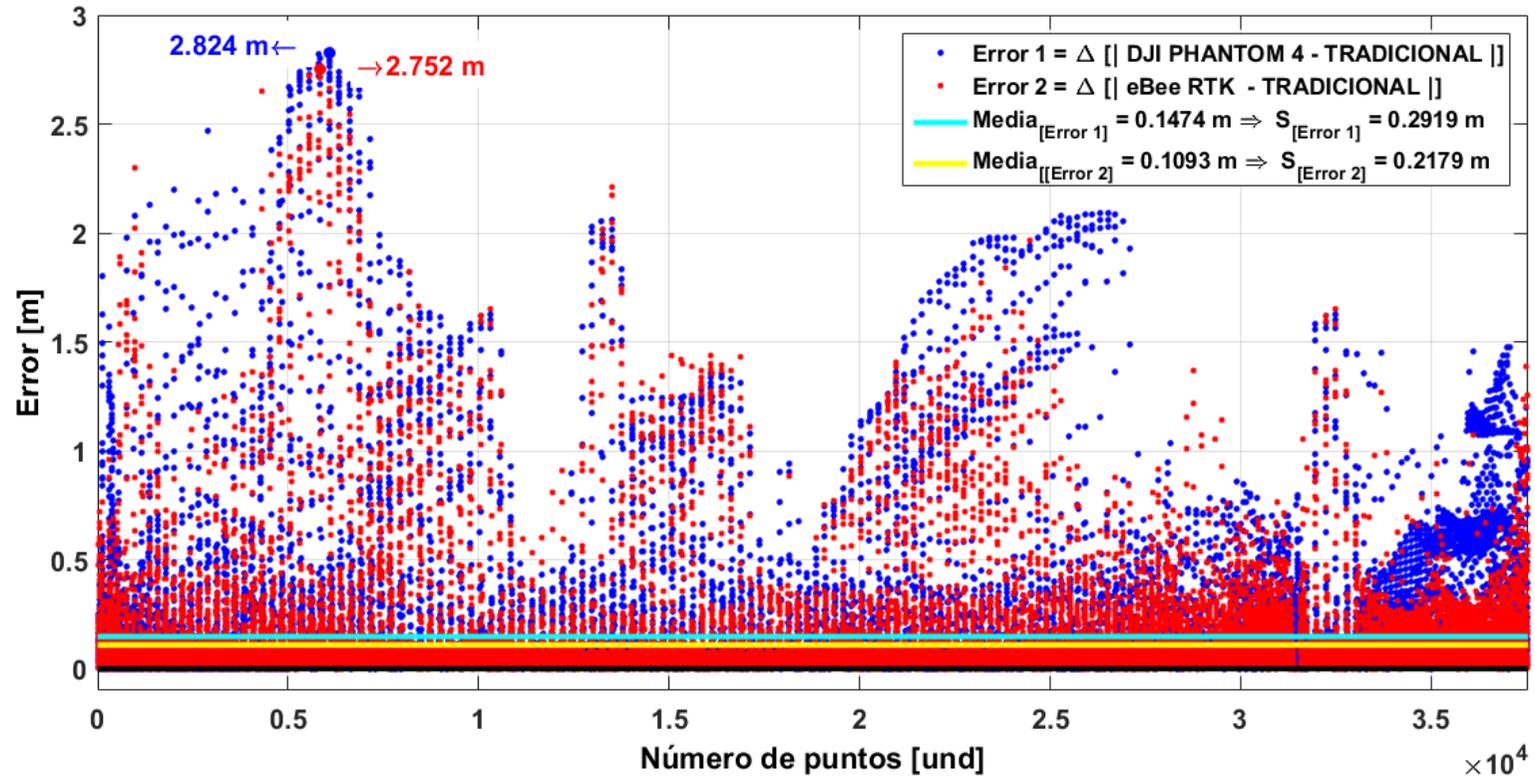


Figura Nº 66: Gráfico de dispersión

Nota: En el gráfico se observa que el que tiene mayor precisión es el Drone eBee RTK con un valor de 0.1093 m (10.93 cm) en promedio, una desviación estándar de 0.2179 m (21.79 cm) y con un valor de error máximo de 2.752 m, a diferencia del DJI PHANTOM 4 donde el valor de la precisión es de 0.1474 m (14.74 cm), desviación estándar de 0.2919 (29.19 cm) y un valor de error máximo de 2.824 m. Entonces, se obtiene mejores resultados con el eBee RTK.

Fuente: Elaboración propia.

4.5 COMPARATIVO DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS CAMARAS ENTRE EL DRONE DJI PHANTOM 4 Y EL DRONE eBee RTK

A continuación, se observa un cuadro comparativo de las características más resaltantes de cada cámara usadas en este informe, como también la precisión obtenida en cada una de ellas. (Ver tabla 24).

Tabla N° 24: Comparativo de las características de las cámaras usadas y la precisión obtenida en cada una de ellas.

	DJI PHANTOM 4	eBee RTK
Cámara		WX RGB
Tamaño del sensor	1/2.3" (6.31748 x 4.73811 mm)	6.16x4.63mm
Resolución total	12 MP	18.2 MP
Tamaño del pixel	-----	1.26 µm
Máximo tamaño de la imagen	4000x3000 (4:3)	4896x3672 (4:3)
Distancia focal	3.61 mm	4.25 a 11 mm
Formato de imagen	JPEG, DNG (RAW)	JPEG
Puntos de Control	Si	No
Resolución en terreno (GSD)	-----	2.75 cm pixel a 100 m
Resolución en terreno (GSD/ Según términos de referencia)	2.5 cm / pixel	3 cm / pixel
Altura	60 m	120 m
Resolución en terreno (GSD iterando)	2.63 cm / pixel	3.55 cm / pixel

Precisión Altimétrica con respecto al Lev. Tradicional	14.74 cm	10.93 cm
Cobertura	4.94 ha	4.94 ha

Fuente: Elaboración propia

Como se sabe, en los últimos años la tecnología va creciendo y con ella los Drones, por ese motivo en las siguientes tablas se muestra los Drones más recientes puestos en el mercado cuyo valor de precisión son mucho más cercanos a la realidad. (Ver tabla 25).

Tabla N° 25: Comparativo de los Drones más recientes cuyas cámaras son más precisas

	DJI PHANTOM 4 PRO V2.0	DJI PHANTOM 4 RTK	eBee RTK	eBee Plus / eBee X	eBee X	
Cámara		-----	G9X	senseFly S.O.D.A.	senseFly S.O.D.A. 3D	senseFly Aeria X
Tamaño del sensor	1" CMOS	1" CMOS	13.2x8.88 mm	1" (16 mm)	1" (16 mm)	APS -C
Res. total	20MP	20MP	20MP	20 MP	20 MP	24 MP
Tamaño del pixel	-----	-----	1.41 µm	2.33 µm	-----	-----
Máx. tamaño de la imagen	4864x3648 (4:3); 5472x3648 (3:2); 5472x3078 (16:9)	4864x3648 (4:3); 5472x3648 (3:2)	5164x3873 (4:3)	5164x3873 (4:3)	5472x3648 (3:2)	6000x4000 (3:2)
Formato de imagen	JPEG, DNG, JPEG+DNG	JPEG	JPEG y/o RAW	JPEG ,JPEG + DNG	JPEG ,JPEG + DNG	JPEG ,JPEG + DNG
Puntos de Control	Si	No	No	No	No	No
Resolución en terreno (GSD)	-----	5 cm / pixel a 182m	2.4 cm / pixel a 100m	2.9 cm / pixel a 120 m	-----	2.5 cm / pixel a 120 m

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se observó el comparativo de las cámaras de los Drones más recientes como son las marcas “**DJI THE FUTURE OF POSSIBLE**” y “**senseFly Parrot Group**”. Pero, en este informe se usó las marcas DJI PHANTOM 4 y eBee RTK, siendo estos no tan sofisticadas como las primeras debido a que en ese tiempo no se contaba aún con esa tecnología o que sus precios eran más elevados de lo esperado. No obstante, así como estas marcas están evolucionando existen también otras como lo es “**wintra**” que busca mejoras en su tecnología.

A continuación, se muestran las características más recientes de las cámaras del Drone WintraOne, que son más precisas que las presentadas anteriormente. (Ver tabla 26)

Tabla N° 26: Comparativo de las características de las cámaras del Drone WintraOne

	WintraOne	
Cámara	Sony RX1R II	Sony QX1
Tamaño del sensor	Full - Frame	APS-C
Resolución total	42 MP	20MP
Tamaño del pixel	-----	-----
Máximo tamaño de la imagen	8000x5320 (3:2)	5456x3632 (3:2)
Formato de imagen	JPEG	JPEG
Puntos de Control	No	No
Resolución en terreno (GSD)	1.5 cm / pixel a 120 m	2.6 cm / pixel a 120 m

Debido a las exigencias del mercado en el ámbito topográfico, la empresa “wintra” se vio en la necesidad de realizar comparaciones en cuanto a precisión con los Drones más recientes de las marcas antes mencionadas, sobresaliendo entre estas el Drone WintraOne con la cámara Sony RX1R II. Esta información fue extraída de la empresa Wintra (Fuente: <https://wingtra.com/drone-mapping-applications/surveying-gis/>). (Ver las tablas N° 27, 28, 29 y 30).

Tabla N° 27: Comparativo para obtener la mejor resolución en terreno real a 65 m de altitud

	WintraOne Drone		DJI PHANTOM 4 RTK	eBee X	
Cámara	Sony RX1R II	Sony QX1	-----	SenseFly S.O.D.A.	SenseFly Aeria X
Resolución en terreno (GSD)	0.8 cm (0.3 in) / pixel	1.4 cm (0.6 in) / pixel	1.8 cm (0.7 in) / pixel	1.5 cm (0.6 in) / pixel	1.5 cm (0.6 in) / pixel
Altura	65 m (213 ft)	66 m (217 ft)	65 m (213 ft)	65 m (213 ft)	65 m (213 ft)
Resolución en terreno real	0.9 cm (0.4 in) / pixel	1.74 cm (0.7 in) / pixel	2.4 cm (0.9 in) / pixel	1.8 cm (0.7 in) / pixel	1.7 cm (0.7 in) / pixel
Cobertura	110 ha	150 ha	35 ha	-----	-----

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 28: Comparativo al realizar un vuelo a una misma altitud de 110 m

	WintraOne Drone		DJI PHANTOM 4 RTK	eBee X	
Cámara	Sony RX1R II	-----	-----	SenseFly S.O.D.A.	SenseFly Aeria X
Resolución en terreno (GSD)	1.5 cm (0.6 in) / pixel	-----	3 cm (1.2 in) / pixel	2.6 cm (1 in) / pixel	2.3 cm (0.9 in) / pixel
Altura	110 m (361 ft)	-----	110 m (361 ft)	110 m (361 ft)	110 m (361 ft)
Resolución en terreno real	1.5 cm (0.6 in) / pixel	-----	3.4 cm (1.3 in) / pixel	2.8 cm (1.1 in) / pixel	2.7 cm (1 in) / pixel
Cobertura	190 ha	-----	60 ha	200 ha	220 ha

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 29: Comparativo con una misma resolución en terreno de 1.8 cm / pixel

	WintraOne Drone	DJI PHANTOM 4 RTK
Cámara	Sony RX1R II	-----
Resolución en terreno (GSD)	1.8 cm (0.7 in) / pixel	1.8 cm (0.7 in) / pixel
Altura	133 m (436 ft)	65 m (213 ft)
Resolución en terreno real	2 cm (0.8 in) / pixel	2.4 cm (0.8 in) / pixel
Cobertura	230 ha	35 ha

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 30: Comparativo con una misma resolución en terreno de 1.5 cm / pixel

	WintraOne Drone	eBee X	
Cámara	Sony RX1R II	SenseFly S.O.D.A.	SenseFly Aeria X
Resolución en terreno (GSD)	1.5 cm (0.6 in) / pixel	1.5 cm (0.6 in) / pixel	1.5 cm (0.6 in) / pixel
Altura	110 m (361 ft)	65 m (213 ft)	65 m (213 ft)
Resolución en terreno real	1.5 cm (0.6 in) / pixel	1.8 cm (0.7 in) / pixel	1.7 cm (0.7 in) / pixel
Cobertura	190 ha	115 ha	135 ha

Fuente: Elaboración propia

4.6 COMPARATIVO DE LA RENTABILIDAD GENERAL DE LA PARTIDA

Como es de esperarse, finalmente se tuvo que analizar económicamente la partida de Movimiento de Tierra, para eso, se muestra un cuadro comparativo acerca del costo directo (donde involucra el precio de la partida con los metrados que obtuvimos con las tres metodologías) y los gastos generales (donde involucramos al personal y a los recursos usados / esta ya contempla el tiempo del trabajo de inicio a fin). (Ver tabla N° 31).

Tabla N° 31: Comparativo de la rentabilidad de la partida

Descripción del trabajo a realizar: MOVIMIENTO DE TIERRA											
Partida control	Partida Presupuestal	Und	TRADICIONAL			DJI PHANTOM 4			eBee RTK		
			Metrado	P. U.	Total	Metrado	P. U.	Total	Metrado	P. U.	Total
01	COSTO DIRECTO										
01.01	MOVIMIENTO DE TIERRA										
01.01.01	EXCAVACIÓN MASIVA , NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE TERRENO (NIVEL -0.50)	m3	24,733.18	32.98	S/. 815,700.28	27,880.68	32.98	S/. 919,504.83	26,213.19	32.98	S/. 864,511.01
01.01.02	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	24,733.18	21.02	S/. 519,891.44	27,880.68	21.02	S/. 586,051.89	26,213.19	21.02	S/. 551,001.25
01.01.03	RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL DE PRÉSTAMO (HASTA NIVEL -0.25)	m3	3,509.41	69.29	S/. 243,167.02	3,201.02	69.29	S/. 221,798.68	3,445.84	69.29	S/. 238,762.25
					S/. 1,578,758.74				S/. 1,727,355.40		
02	GASTOS GENERALES										
02.01	PERSONAL										
02.01.01	TECNICO	hh				1.00	28.75	S/. 28.75	1.00	28.75	S/. 28.75
02.01.02	JEFE DE GRUPO	hh	1.00	19.18	S/. 19.18						
02.01.03	TOPOGRAFO	hh	2.00	17.78	S/. 35.56	2.00	17.78	S/. 35.56	2.00	17.78	S/. 35.56
02.01.04	CADISTA	hh	1.00	16.25	S/. 16.25	1.00	16.25	S/. 16.25	1.00	16.25	S/. 16.25
02.01.05	PEON	hh	3.00	13.62	S/. 40.86	2.00	13.62	S/. 27.24	1.00	13.62	S/. 13.62
					S/. 111.85			S/. 107.80			S/. 94.18
02.01.05	TIEMPO	horas			128.00			28.00			20.00
	TOTAL				S/. 14,316.80			S/. 3,018.40			S/. 1,883.60

2.02	RECURSOS										
02.02.01	ALQUILER DE EQUIPO (LEV. TRADICIONAL)	glb	1.00	900.00	S/. 900.00						
02.02.02	DRONE DJI PHANTOM 4	glb									
02.02.03	DRONE eBee RTK	glb						1.00	900.00	S/. 900.00	
02.02.04	GPS DIFERENCIAL	glb	2.00	300.00	S/. 600.00	2.00	300.000	S/. 600.00	2.00	300.000	S/. 600.00
	TOTAL				S/. 1,500.00			S/. 600.00			S/. 1,500.00
					S/. 15,816.80				S/. 3,618.40	S/. 3,383.60	
					S/. 1,594,575.54				S/. 1,730,973.80	S/. 1,657,658.11	
PARCIAL SIN I.G.V					S/. 1,594,575.54				S/. 1,730,973.80	S/. 1,657,658.11	
IGV (18%)					287,023.60				311,575.28	298,378.46	
TOTAL					S/. 1,881,599.14				S/. 2,042,549.08	S/. 1,956,036.57	
PREPARADO POR					RD						
REVISADO POR					RD						
APROBADO POR					RD						

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior notamos que si se hubiese desarrollado el trabajo de manera TRADICIONAL se hubiera gastado S/. 1, 578,758.74 como costo directo y S/. 15,816.80 en gastos generales de la partida, haciendo un total de S/. 1, 881,599.14 incluido el IGV; en cambio, si se hubiese hecho con los resultados del DJI PHANTOM 4 se tendría S/. 1, 727,355.40 en costos directo y S/. 3,618.40 como gasto general de la partida, lo cual hace un costo total de S/. 2, 042,549.08 incluido el IGV; sin embargo, el costo usado en este proyecto fue de acuerdo a los resultados del eBee RTK, cuyo costo directo y gastos generales de la partida ascienden a S/. 1, 654,274.51, y S/. 3,383.60 respectivamente, lo cual hace un costo total de S/. 1, 956,036.57, incluido el IGV.

Si se hiciera un comparativo de los costos de levantamiento entre el eBee RTK y el levantamiento TRADICIONAL, esta última sería más económica a simple vista ya que se hubiera ahorrado un monto de S/. 63,082.57; sin embargo, es importante mencionar que los resultados del eBee RTK se obtuvo en 2.5 días y los resultados de la forma TRADICIONAL se obtuvieron en 16 días. Existe una diferencia notable de días entre ambos levantamientos, lo que permitió que se invirtiera el tiempo ahorrado en adelantar otras partidas y de esa forma poder recuperar el monto invertido en el proyecto. En cambio, no podemos decir lo mismo del costo del DJI PHANTOM 4 ya que es muy desfavorables tanto en precisión (14.74 cm de imprecisión) como en costos totales (hace un gasto adicional con respecto al método TRADICIONAL de S/. 136,398.26 y con respecto al Drone eBee RTK de S/. 73,315.69).

En el anexo 6, se presentan los análisis de precios unitarios correspondientes al movimiento de tierra, este será el sustento de los precios que se estableció con el contratista para ejecutar esta partida.

CAPITULO V: IMPACTO DEL USO DE LA TECNOLOGÍA DE LOS DRONES EN EL PROYECTO EN GENERAL

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo nos enfocaremos en el impacto del uso de esta nueva tecnología en la obra en general. Asimismo, el proyecto tuvo como partidas de ejecución el Templo, el Albergue y las Obras Exteriores. Se analizó las fechas de inicio y fin de cada una de estas (de cómo estaba la partida de Movimiento de Tierra usando la metodología TRADICIONAL, y como mejoró este cronograma cuando se decidió usar la tecnología de los Drones); además se menciona como incidió esta decisión en el costo general del proyecto, en base al costo de la partida que vimos en el capítulo anterior.

5.2 IMPACTO EN TIEMPO

Es evidente que el uso de esta tecnología favoreció en tiempo al proyecto, gracias a ello se pudo empezar con las partidas que venían posteriormente y así poder adelantar el cronograma contractual.

Como se indicó, la problemática de este proyecto fue el inicio tardío de la partida de movimientos de tierra, que se originó por distintos motivos: entrega tardía del terreno, el clima, traslado de personal, entre otros. A continuación, se muestra el Diagrama Gantt de los tres escenarios donde se observó muchas incidencias con respecto a la problemática y cómo ayudo la decisión del uso de los Drones en la planificación. Este análisis, se enfoca más en la partida de movimiento de tierras, las edificaciones (Templo y Albergue) y en las obras exteriores.

- Primer escenario

En este escenario se muestra el cronograma cero, que iniciaba, en el mes de abril de 2017, con la partida de movimiento de tierra antes de que ocurriera la problemática. Cabe mencionar que en esta planificación el levantamiento de terreno estaba considerado para que se ejecute de manera TRADICIONAL

- Segundo escenario

En este escenario se muestra el Cronograma Rev. 1, que toma como inicio de las actividades el mes de mayo de 2017, esto debido a la problemática del cronograma cero.

- Tercer escenario

En esta parte mostraremos el Cronograma interno Rev. 0, este cronograma se realizó una vez que se tomó la decisión de usar esta nueva tecnología (Drones), ya que con ella se podía empezar por lo menos dos semanas antes, tomando como fecha de inicio 17 de abril del 2017.

A continuación, se muestran los tres diagramas Gantt (figura 67, 68 y 69) correspondientes a los tres escenarios.

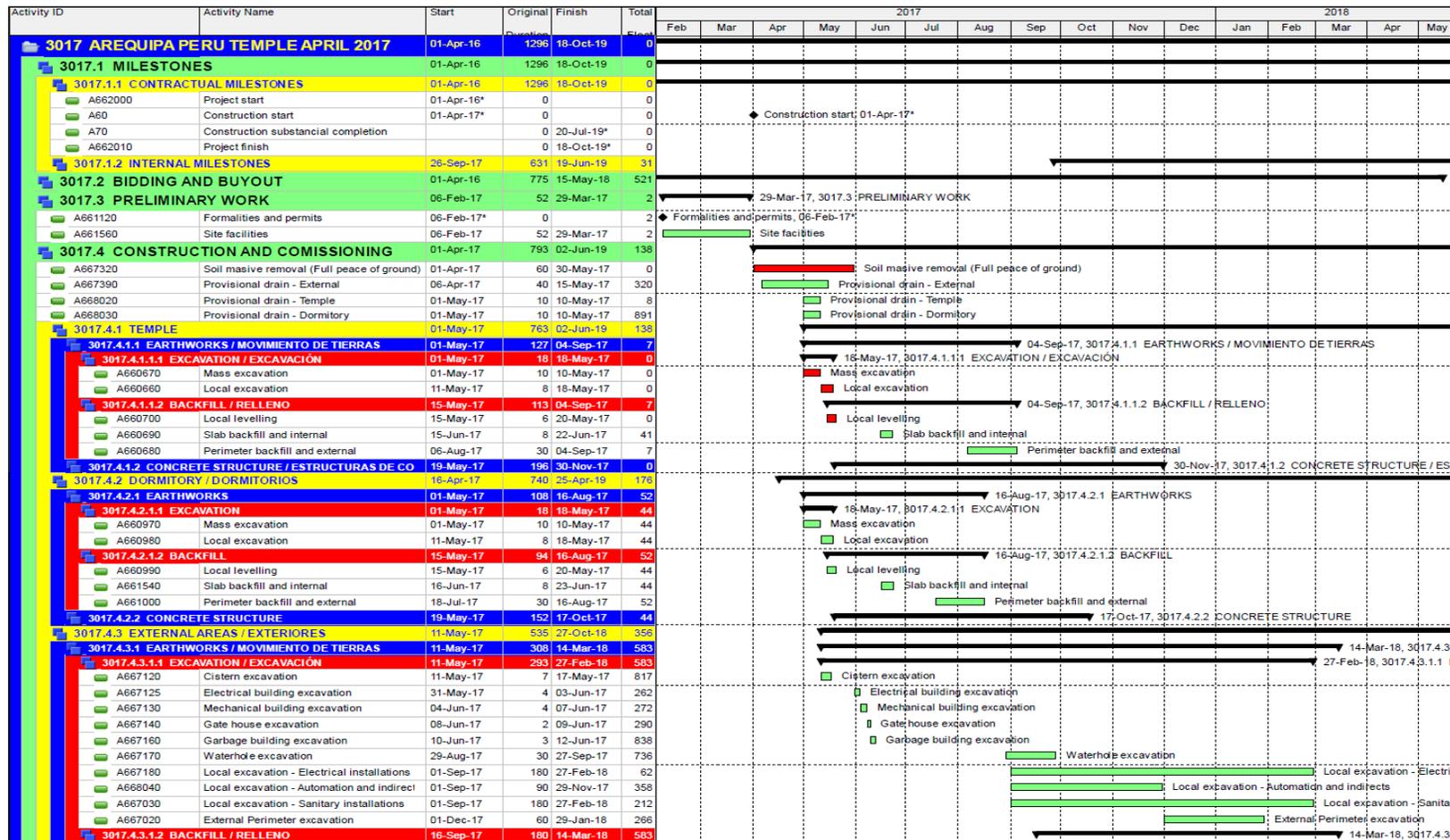


Figura Nº 68: Segundo escenario / Diagrama Gantt - Cronograma Rev. 1

Fuente: Cronograma del proyecto.

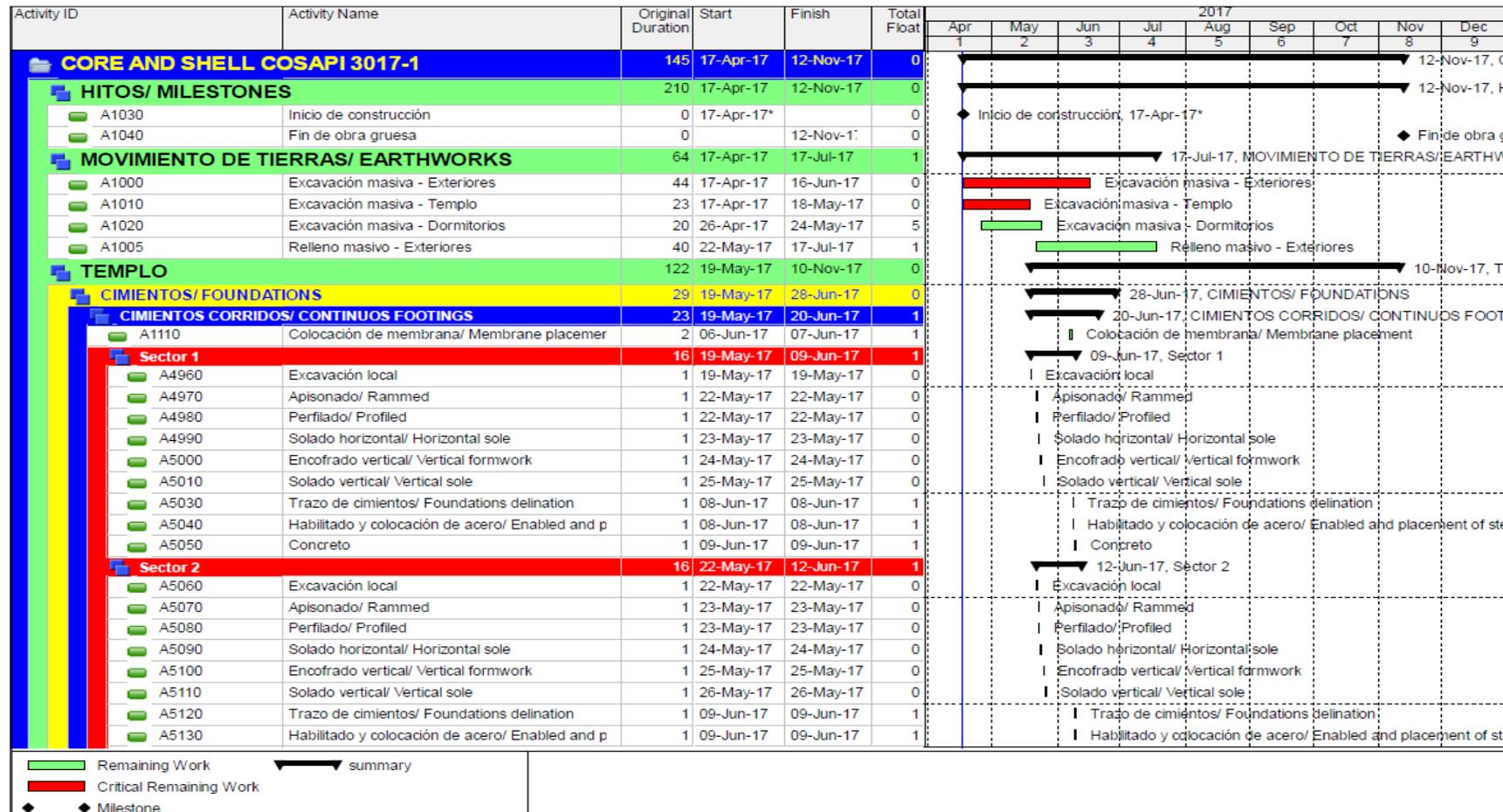


Figura N° 69: Tercer escenario / Diagrama Gantt - Cronograma interno Rev. 0

Fuente: Cronograma del proyecto.

Tenemos que el inicio de las actividades de Movimiento de Tierra en el primer escenario estaba para el 05 de Abril del 2017, pero debido a los problemas que tuvimos en obra, esta se tuvo que reprogramar originándose así el segundo escenario donde el inicio de estas actividades se programó para el 01 de Mayo del 2017. Obviamente, el retrasar un mes el proyecto en general trae consigo un costo muy alto, pero lamentablemente no se podía hacer mucho por la limitada tecnología que teníamos; sin embargo, desde el momento en que se propuso usar la tecnología de los Drones originamos un tercer escenario que trae consigo un Cronograma Interno Rev. 0, en esta se colocó el inicio real de la partida pudiendo así adelantar unas semanas tomando como fecha de inicio el 17 abril de 2017. Evidentemente, existen 12 días que se pierde a causa de la problemática, sin embargo, se ganó 14 días por el uso de los Drones.

5.3 IMPACTO EN COSTO

El impacto en costo se dio por gastos generales, como se vio en el punto anterior el solo hecho de pasar del escenario uno al dos dio como resultado una diferencia de un mes donde se tuvo que pagar por gastos generales; por ello, se genera un tercer escenario donde se tiende a disminuir los costos, siendo este más favorable para la obra en general.

A continuación, se muestra una tabla indicando el costo total por gastos generales de la obra. (Ver tabla 32)

Tabla N° 32: Gastos generales por retraso de obra

GASTOS GENERALES / COSTOS POR RETRASO DE OBRA.						
ITEM	DESCRIPCION	Und.	CANT.	MES	PRECIO UNIT. (S/.)	SUBTOTAL (S/.)
01	GASTOS VARIABLES CON EL PLAZO					
01.01	Supervisión y Administración					
01.01.01	Residente	und	1	1	23,208.50	23,208.50
01.01.02	Ingeniero de Producción	und	1	1	18,723.50	18,723.50
01.01.03	Supervisor de estructuras	und	1	1	18,723.50	18,723.50
01.01.04	Ingeniero de Oficina Técnica	und	1	1	19,586.00	19,586.00
01.01.05	Document Control	und	1	1	4,650.00	4,650.00
01.01.06	Jefe de Topografía	und	1	1	13,548.50	13,548.50
01.01.07	Ingeniero Planeamiento	und	1	1	18,723.50	18,723.50
01.01.08	Ingeniero Calidad	und	1	1	12,083.00	12,083.00
01.01.09	Supervisor SSOMA	und	1	1	15,101.00	15,101.00
01.01.10	Administrador de Obra	und	1	1	16,998.50	16,998.50
01.01.11	Planillero	und	1	1	8,028.50	8,028.50
01.01.12	Almacenero	und	1	1	8,891.00	8,891.00
01.01.13	Papelería, útiles, copias, impresiones	mes	1	1	6,337.93	6,337.93
01.01.14	Equipos; Comunicaciones, PC, radios	mes	1	1	16,282.53	16,282.53
01.01.15	Vehiculos: Camionetas, Buses	mes	1	1	1,687.00	1,687.00
	SUBTOTAL 01					202,572.96

ITEM	Item of Work	Und.	CANT.	MES	SUBTOTAL (S/.)
02	OBRAS PROVISIONALES				
02.01	CONTENEDOR DE OFICINA	mes	1.00	5,852.43	5,852.43
02.02	ALMACEN PROVISIONAL	mes	1.00	1,541.80	1,541.80
02.03	SERVICIOS HIGIENICOS(BAÑO PORTATIL QUIMICO)	mes	1.00	2,560.00	2,560.00
02.04	TOPOGRAFÍA	mes	1.00	24,432.89	24,432.89
02.05	LIMPIEZA MANUAL PERMANENTE	mes	1.00	5,943.64	5,943.64
02.06	EXCAVACIÓN POR TERCEROS	días	30.00	937.50	28,125.00
	SUBTOTAL 02				68,455.76
				SUBTOTAL MES	S/. 271,028.72
				FEE (4%)	S/. 10,841.15
				TOTAL MES	S/. 281,869.87
				DIAS POR MES	30
				TOTAL DIARIO	S/. 9,395.66

Fuente: Costos del proyecto

Este es el adicional por el concepto de gastos generales que se presentó al cliente, que hace un costo total de S/. 9,395.66 por día; sin embargo, existen algunos ítems que por decisiones de gerencia no se colocaron, como son los gastos de: comedor de obra, vestuario, servicio de guardianía, etcétera. Si se hubieran considerado estos gastos el costo general por mes sería un número mayor. Cabe recalcar que los 26 día de retraso se originaron por el cambio de escenario del uno al dos, por lo cual el monto final del adicional sería S/. 244,287.16, este adicional lo tendría que asumir el cliente siempre y cuando no hubiera tomado la decisión de usar la tecnología de los Drones, pero debido a su rápido accionar y su confianza en las nuevas tecnologías este costo se redujo a S/. 112,747.92 correspondientes a los 12 días, conllevando a una reducción de más del 50% del gasto adicional.

Finalmente podemos decir que el uso de la tecnología de los Drones en el proyecto fue beneficioso, ya que el cliente reconoció el adicional por precisión del uso del Drone eBee RTK que asciende a S/. 63,082.57 más el monto por gastos generales de S/. 112,747.92 que hacen un total de S/. 175,830.49, ya que si no hubiera tomado esa decisión hubiese pagado un monto de S/. 244,287.16.

CONCLUSIONES

Al realizar este tipo de análisis se ha demostrado que los datos obtenidos del levantamiento topográfico con los Drones (DJI PHANTOM y eBee RTK) no necesariamente compiten con los resultados del levantamiento topográfico realizado de forma TRADICIONAL; sin embargo, esto va a depender del lugar que vamos a levantar, ya que quedó demostrado que si el terreno en estudio no tiene mucha pendiente, tiene poco o nada de vegetación, o no haya presencia de algún cerco, entre otros, los resultados a nivel de precisión son muy favorables al compararse con el método TRADICIONAL.

Es notable que los resultados con el Drone eBee RTK son más precisos que los de Drone DJI PHANTOM 4 al ser comparados con el método TRADICIONAL, porque el DJI PHANTOM 4 necesitó colocar 24 puntos de control adicionales a los ya monumentados para las correcciones necesarias. Cabe recalcar que el Drone eBee RTK también necesitó colocar 8 puntos de control adicionales, los cuales en un principio solo se puso para su verificación, sin embargo también nos sirvió para ajustar los puntos, aunque este ajuste no era muy significativo ya que este Drone es más moderno y contempla la tecnología del RTK en su sistema. Debido a esto la imprecisión fue mayor en el DJI PHANTOM 4 que en el eBee RTK, generando que los resultados sean mayores en este último.

Uno de los beneficios que tuvo el levantamiento con Drones a nivel técnico fue en la cantidad de puntos adquiridos en comparación con el método TRADICIONAL. En el Drone se adquiere millones de puntos a una determinada densidad de puntos por metro cúbico, por ende, no requiere de una gran cantidad de interpolación para construir el modelo del terreno.

La decisión de usar la tecnología de Drones, fue la más óptima para el proyecto, puesto que al pasar por los escenarios uno, dos y tres, se pudo adelantar los trabajos en 14 días, logrando así ejecutar las actividades de movimiento de tierra de manera real el 17 de abril de 2017. Respecto a los costos al no tomar esta decisión el cliente hubiese pagado como adicional S/. 244,287.16 por gastos generales; sin embargo, solo le costó S/. 175,830.49 (gastos generales por 12

días y el adicional por la precisión de datos) pudiéndose así ahorrar un monto de S/. 68,456.67; cabe recalcar, que este monto pudo haber sido mayor si se le hubiese cobrado el monto sincerado en gastos generales, pero debido a que recién se empezaba con la ejecución del proyecto, la empresa desistió de cobrarle algunos ítems por el bien de las buenas relaciones laborales.

El usar la tecnología de los Drones es muy beneficiosa, siempre y cuando se conozca la precisión que esta te pueda dar para los distintos tipos de terreno que requieran levantamiento; por ejemplo, terrenos con vegetación, terrenos con pendientes muy pronunciadas, terrenos donde haya la existencia de viviendas, entre otros. Esta investigación se tiene que apoyar en el uso de estos equipos para poder obtener resultados de mayor calidad, por ello este trabajo quedará como precedente y modelo para futuras investigaciones que se deseen hacer dentro del ámbito de la topografía.

RECOMENDACIONES

Sabemos muy bien que la calidad de los resultados de un Drone dependerá mucho de la selección del sensor, por ende, es recomendable primero saber qué tipo de geografía tenemos que levantar, la precisión en que se desea llegar, el tiempo que se dispone, etcétera, ya que de ellos dependerá el tipo de sensor que debemos utilizar.

Se sabe que la tecnología avanza muy rápido, ya que van saliendo equipos modernos con mucha frecuencia, haciendo que los equipos antiguos o pasados de año poco a poco vayan perdiendo valor y por ende rentabilidad con el pasar del tiempo, debido a eso, es recomendable que para este tipo proyectos en alquilar los Drones más no comprarlos, ya que es muy difícil de recuperar su inversión, caso contrario lo que sucedió con el Drone DJI PHANTOM 4, ya que el cliente lo adquirió, pero con la condición de que su uso no solo sería para realizar el levantamiento topográfico, sino también con el objetivo de tomar fotos aéreas e ir monitoreando el avance de la obra.

Se sugiere la creación de iniciativas de normas técnicas para el uso de los Drones, que apoyarán a generar datos más veraces, más precisos y de alta calidad, con la finalidad de no tener limitaciones técnicas o legales al momento que se decida usar esta tecnología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aira, Victor Gerardo y Ferreira, Marisa Rosana. “Aplicaciones topográficas de los Drones”, Paper: Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas, Facultad de Ingeniería. Argentina, 2010.

Comunidad de Madrid. “Los Drones y su aplicación en la Ingeniería Civil”, Consejería de Economía y Hacienda. España, 2015.

Kerr, Brian y Francois Dionne, Jean. “Levantamiento topográfico aéreo hecho por un UAV”. Paper: Aplicaciones de tecnología aérea en topografía y cartografía. E.E.U.U. 2015.

López De La Sierra, Alberto. “Planificación de vuelos fotogramétricos para U.A.V. sobre cliente QGIS”, Master en teledetección y sistemas de información geográfica- Escuela Politécnica de Mieres. España, 2014.

Molero Fernandez, Rudolph Himmbler. “Diseño de un simulador de vuelo y control de posición para un mini vehículo aéreo”, Tesis para optar el Título Profesional, FIM– UNI. Lima, 2010.

Pachas, Raquel. “Uso del GPS y Estación Total”, Paper. Laboratorio de Topografía. Departamento de Ingeniería - Universidad de Los Andes. Trujillo – Venezuela, 2009.

Rabanal Carretero, Danna Zuleyka. “Integración de un sistema UAV con control autónomo en un equipo aéreo para agricultura de precisión”, Tesis para optar el Título Profesional, Facultad de Ciencias e Ingeniería- PUCP. Lima, 2011.

Vázquez Paulino, Juan Carlos. “Procesamiento geo-informático de datos generados mediante Drones para la gestión de infraestructura del transporte”, Publicación técnica No. 490, Sanfandila, Qro, 2017.

Wolf Paul R., Brinker Russell. “Topografía 9ª edición”, México (1997).

ANEXOS

1. Plano : TRADICIONAL – Planta

2. Plano: PHANTOM 4 – Planta

3. Plano: eBee RTK – Planta

4. Plano: COMPARATIVO FINAL

5. Plano: COMPARATIVO DE PERFIL LONGITUDINAL

6. Análisis de precios unitarios

Tabla N° 33: Análisis de precios unitarios – Excavación masiva

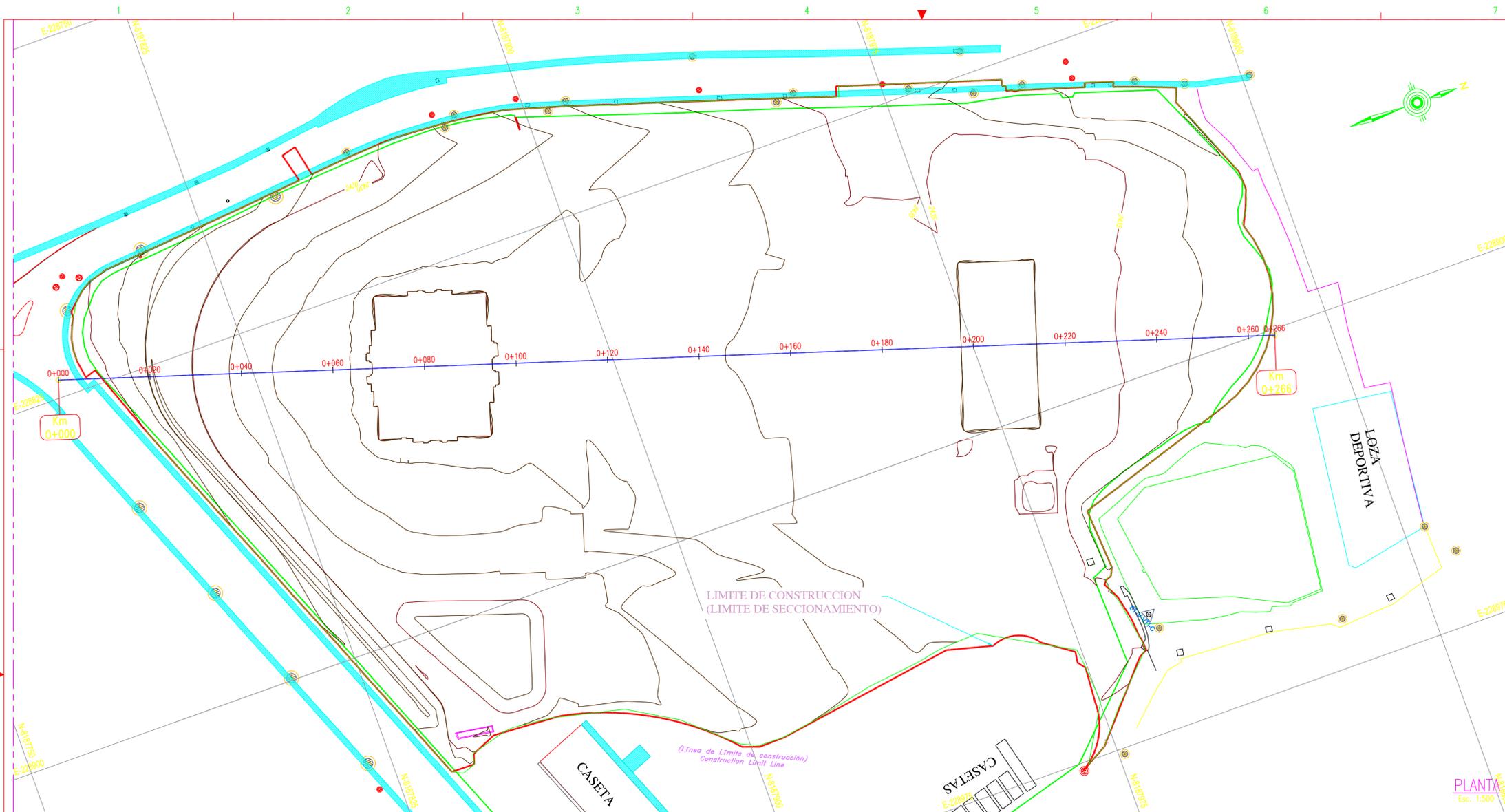
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Partida	01.02.01.01	EXCAVACIÓN MASIVA , NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE TERRENO (NIVEL -0.50)				
Rendimiento	m3/DIA	150.0000	EQ. 150.0000	Costo unitario directo por : m3		32.98
Mano de Obra						
	JEFE DE GRUPO	hh	0.1000	0.0053	19.18	0.10
	PEON	hh	2.0000	0.1067	13.62	1.45
	OPERADOR DE LA EXCAVADORA	hh	2.0000	0.1067	22.47	2.40
	OPERADOR DE RODILLO LISO	hh	1.0000	0.0533	22.47	1.20
						5.15
Materiales						
	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.1800	5.00	0.90
						0.90
Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	5.15	0.15
	EXCAVADORA	hm	2.0000	0.1067	170.00	18.13
	CAMION CISTERNA (INCLUYE OPERADOR)	hm	0.1500	0.0080	80.00	0.64
	RODILLO LISO VIBRATORIO	hm	1.0000	0.0533	150.00	8.00
						26.93

Tabla N° 34: Análisis de precios unitarios – Eliminación de material

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Partida 01.02.01.01 ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE						
Rendimiento	m3/DIA					
			260.0000	EQ. 260.0000	Costo unitario directo por : m3	21.02
Mano de Obra						
	JEFE DE GRUPO	hh	0.1000	0.0031	19.18	0.06
	PEON	hh	2.0000	0.0615	13.62	0.84
	OPERADOR DE LA RETRO - EXCAVADORA	hh	1.0000	0.0308	22.47	0.69
						1.59
Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	1.59	0.05
	RETRO - EXCAVADORA	hm	4.0000	0.1231	130.00	16.00
	CAMION VOLQUETE DE 15 m3 (INCLUYE OPERADOR)	hm	1.0000	0.0308	110.00	3.38
						19.43

Tabla N° 35: Análisis de precios unitarios – Relleno y compactación de material de préstamo

Partida	RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL DE PRÉSTAMO (HASTA NIVEL -0.25)						
Rendimiento	m3/DIA	70.0000	EQ.	70.0000	Costo unitario directo por : m3	69.29	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
	JEFE DE GRUPO	hh	0.3000	0.0160	19.18	0.31	
	PEON	hh	3.0000	0.3429	13.62	4.67	
	OPERADOR DE LA MOTO - NIVELADORA	hh	1.0000	0.1143	22.47	2.57	
	OPERADOR DE RODILLO LISO	hh	1.0000	0.1143	22.47	2.57	
						10.11	
	Materiales						
	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0580	5.00	0.29	
	MATERAIL DE PRESTAMO	m3		0.3250	60.00	19.50	
						19.79	
	Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	10.11	0.30	
	MOTO - NIVELADORA	hm	1.0000	0.1143	180.00	20.57	
	CAMION CISTERNA (INCLUYE OPERADOR)	hm	0.1500	0.0171	80.00	1.37	
	RODILLO LISO VIBRATORIO	hm	1.0000	0.1143	150.00	17.14	
						39.39	



LEYENDA

	Curva Mayor C/5.00m
	Curva Menor C/1.00m
	Punto De Control
	Punto De BMs
	Poste
	Buzon De Desague
	Detalles
	Canal
	Acceso
	Eje Proyectado

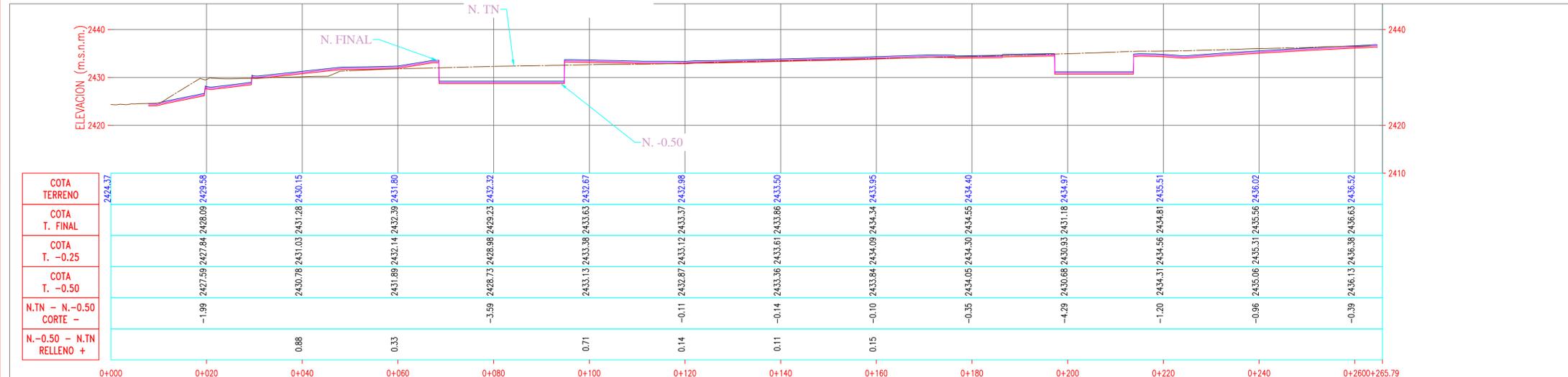
- NOTAS:**
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
 - 2.- ELECCIONES EN MM.
 - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 1 m.



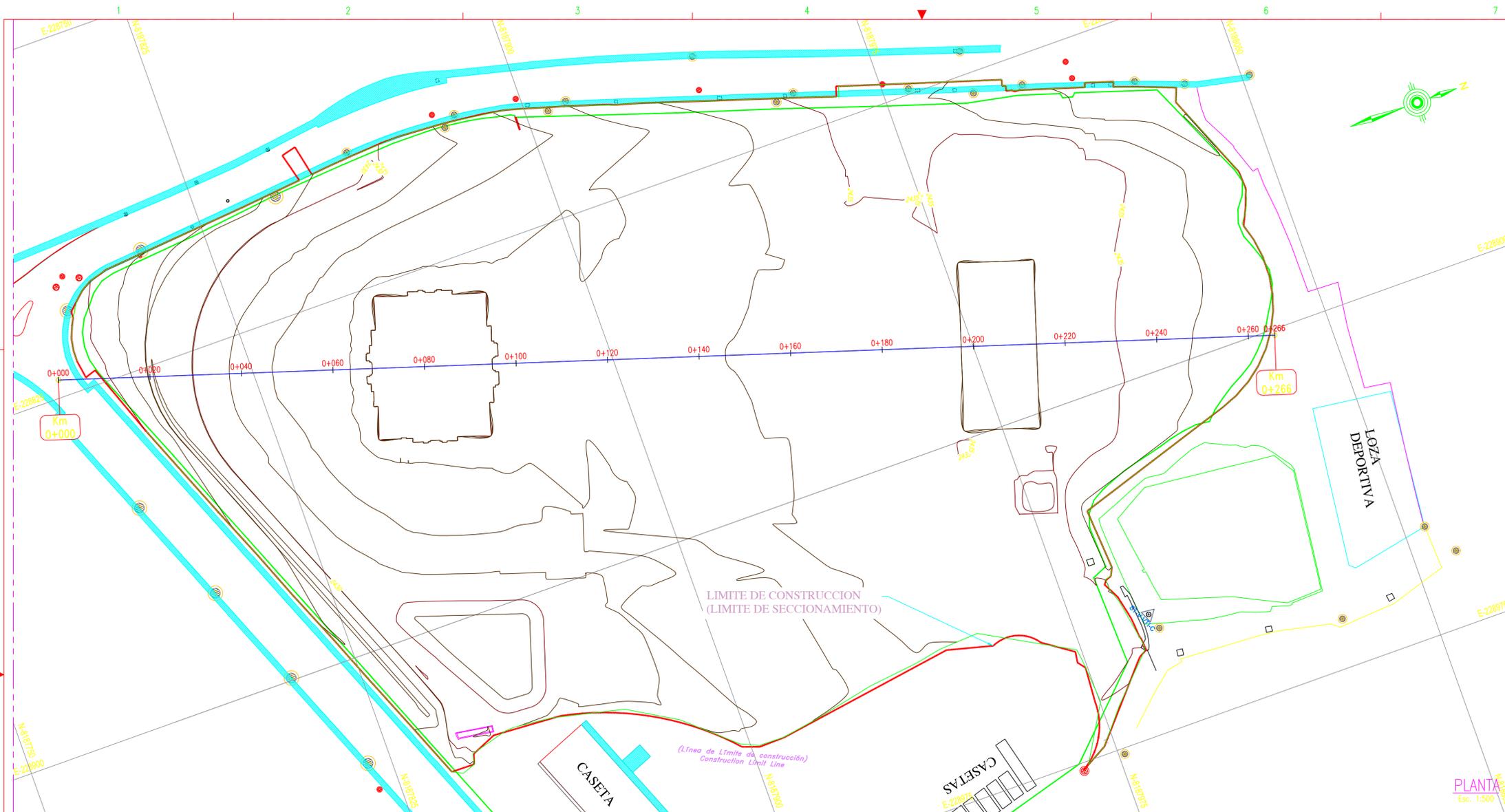
VOLUMEN DE CORTE Y RELLENO

VOLUMEN N.TN - N.-0.50		
DESCRIPCION	AREA m2	VOLUMEN m3
CORTE	4947.59	24733.18

VOLUMEN N.-0.25 - N.TN		
DESCRIPCION	AREA m2	VOLUMEN m3
RELLENO	701.88	3509.41



REVISIONES	FECHA	DESCRIPCION	DIB.	DS.	LD	JP	CLT	PLANO NO.	REFERENCIA	EMISIONES	CONFIDENCIAL ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDAD DE R. DEUDOR C. Y SU USO ESTRICTAMENTE ACADEMICO	RECORD DE INGENIERIA			PROYECTO	PLANO	ESCALA INDICADA	NUMERO PLANO	REV.	COD PROYECTO
												DIBUJADO POR	FECHA APROB.	FIRMA						
												R. DEUDOR C.	04-2017							
												R. DEUDOR C.	04-2017							
												R. DEUDOR C.	04-2017							
												R. DEUDOR C.	04-2017							
												R. DEUDOR C.	04-2017							



LEYENDA

	Curva Mayor C/5.00m
	Curva Menor C/1.00m
	Punto De Control
	Punto De B.Ms
	Poste
	Buzon De Desague
	Detalles
	Canal
	Acceso
	Eje Proyectado

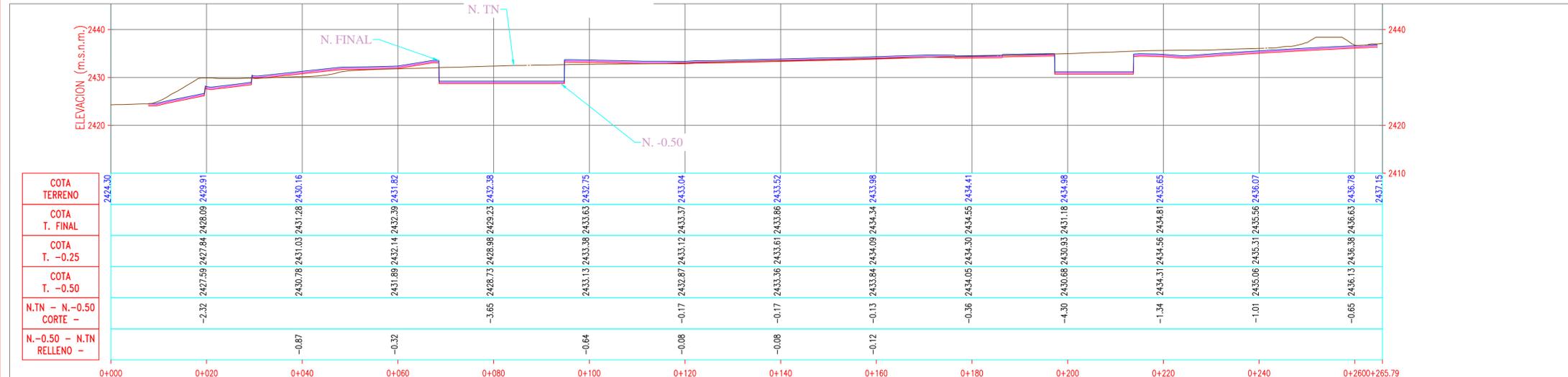
- NOTAS:**
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
 - 2.- ELECCIONES EN MM.
 - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 1 m.



VOLUMEN POR SECCIONES

VOLUMEN N.TN - N.-0.50		
DESCRIPCION	AREA m2	VOLUMEN m3
CORTE	5579.07	27880.68

VOLUMEN N.-0.25 - N.TN		
DESCRIPCION	AREA m2	VOLUMEN m3
RELLENO	640.22	3201.02



FECHA	DESCRIPCION	DIB.	DS.	JD.	JP.	CLT.

PLANO NO.	REFERENCIA

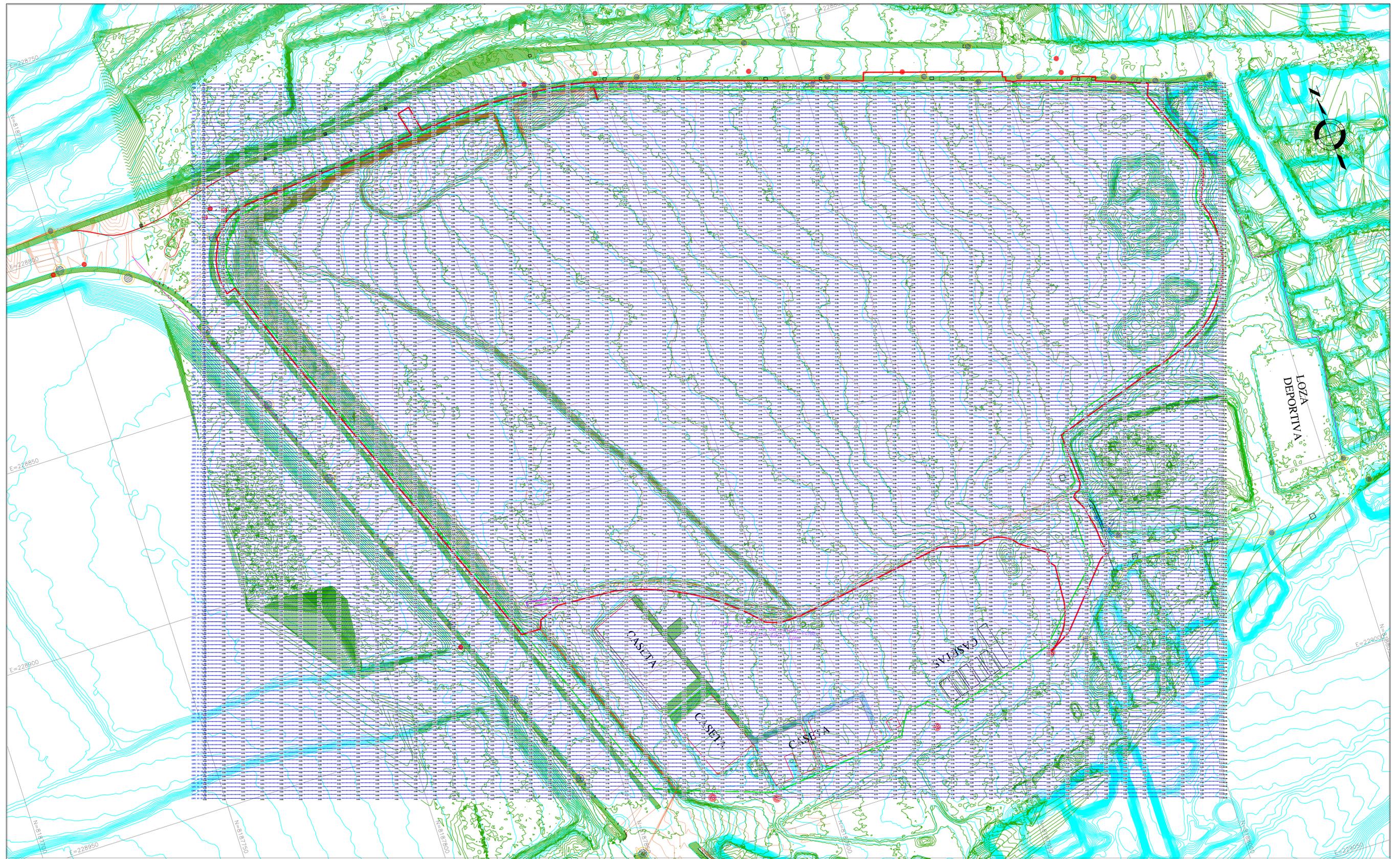
REV. No.	No.	FECHA	CLTE.	OBRA	NOTAS

CONDICIONAL

ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDAD DE R. DEUDOR C. Y SU ES USO ESTRICTAMENTE ACADEMICO

RECORD DE INGENIERIA		
DIBUJADO POR	FECHA APROB.	FIRMA
R. DEUDOR C.	04-2017	
DISENADO POR	FECHA APROB.	FIRMA
R. DEUDOR C.	04-2017	
REVISADO POR	FECHA APROB.	FIRMA
R. DEUDOR C.	04-2017	
APROBADO POR	FECHA APROB.	FIRMA
R. DEUDOR C.	04-2017	
USUARIO	FECHA APROB.	FIRMA
R. DEUDOR C.	04-2017	

PROYECTO		PROYECTO	
PLANO		PLANTA	
		DJI PHANTOM 4	
ESCALA INDICADA	NUMERO PLANO	REV.	COD PROYECTO
	P2-001	A	XX-XX-XXX



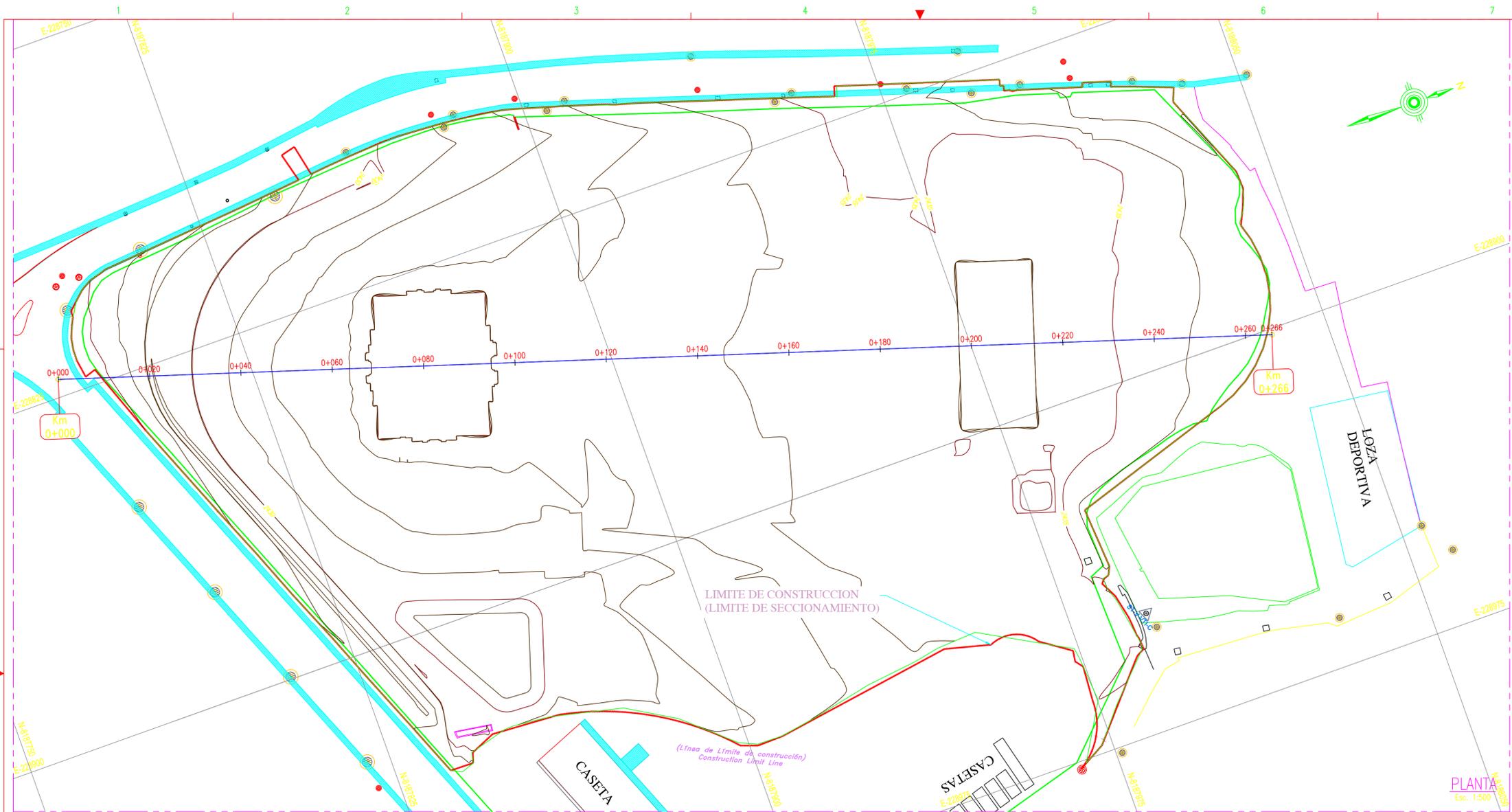
REVISIONES		
No	DESCRIPCION	FECHA

NOTAS	
<p>LEYENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> Punto De Control Punto De BMs Poste Buzon De Desague Detalles Canal 	<p>LEYENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> Acceso Eje Proyectado Curvas de Estacion Curvas de Drone PHANTOM 4 Curvas Drone eBee

DATOS ADICIONALES:	FECHA
DIBUJADO: R.DEUDOR.C	04-17
DISEÑADO: R.DEUDOR.C	04-17
REVISADO: R.DEUDOR.C	04-17
APROBADO: R.DEUDOR.C	04-17

PROPIETARIO:			
PROYECTO: PROYECTO			
TITULO:		PLANO No:	
PLANO - PLANTA DE CORTES LONGITUDINALES SECUNDARIOS		P4-001	
ESCALA: INDICADA	REF No:	HOJA: 1	REV: 0

CONTRATISTA:



LEYENDA

	Curva Mayor C/5.00m
	Curva Menor C/1.00m
	Punto De Control
	Punto De BMs
	Poste
	Buzon De Desague
	Detalles
	Canal
	Acceso
	Eje Proyectado

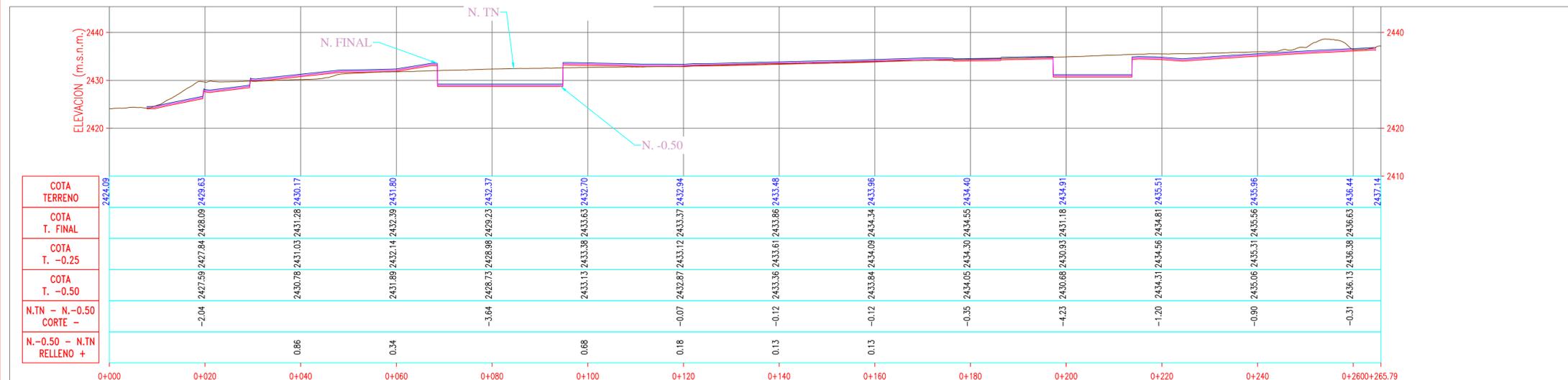
- NOTAS:**
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
 - 2.- ELEVACIONES EN MSNM.
 - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 1 m.



VOLUMEN DE CORTE Y RELLENO

VOLUMEN N.TN - N.-0.50		
DESCRIPCION	AREA m2	VOLUMEN m3
CORTE	5244.48	26213.19

VOLUMEN N.-0.25 - N.TN		
DESCRIPCION	AREA m2	VOLUMEN m3
RELLENO	689.17	3445.84



FECHA	DESCRIPCION	DIB.	DS.	LD.	JP.	CLT.
-	-	-	-	-	-	-

PLANO NO.	REFERENCIA
-	-

REV. No.	No.	FECHA	CLTE.	OBRA	NOTAS
-	-	-	-	-	-

CONFIDENCIAL

ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDAD DE R. DEUDOR C. Y SU USO ESTRICTAMENTE ACADÉMICO

RECORD DE INGENIERIA		
DISEÑADO POR	FECHA APROB.	FIRMA
R. DEUDOR C.	04-2017	FIRMA
DISEÑADO POR	FECHA APROB.	FIRMA
R. DEUDOR C.	04-2017	FIRMA
REVISADO POR	FECHA APROB.	FIRMA
R. DEUDOR C.	04-2017	FIRMA
APROBADO POR	FECHA APROB.	FIRMA
R. DEUDOR C.	04-2017	FIRMA
USUARIO	FECHA APROB.	FIRMA
R. DEUDOR C.	04-2017	FIRMA

PROYECTO		PROYECTO	
PLANO		PLANTA eBee RTK	
ESCALA INDICADA	NUMERO PLANO	REV.	COD PROYECTO
	P3-001	A	XX-XX-XXX