

**Levantamiento catastral topofotogramétrico integrado (LTI) en un área urbana.  
cadastral lifting topofotogramétrico integrated (LTI) in an urban area.**

Dr. C Jorge Ernesto Molero Tapia.

1. Sociedad Mercantil Cubana SERMAR S.A. molerotapia@gmail.com

**RESUMEN:** Este enfoque combina lo mejor de la fotogrametría moderna, la topografía clásica y la tecnología GNSS (*Global Navigation Satellite System*), sistema global de navegación por satélite, ofreciendo un levantamiento preciso, eficiente y versátil, ideal para proyectos que requieren alta exactitud y detalle.

**Palabras Claves:** alturas elipsoidales; estación total; GNSS; levantamiento catastral, ortofoto; ortomosaico; poligonal

**ABSTRACT:** This focuses merges it better of the modern photogrammetry, the classic map and the GNSS technology, by offering a precise, efficient and versatile, ideal lifting for projects that requires high accuracy and details

**Keywords:** ellipsoidal heights; total station; GNSS; cadastral rising; orthophoto; orthomosaic; polygonal.

Recibido: 24 /3/25

Aprobado: 03/06/25

## 1. INTRODUCCIÓN.

El levantamiento catastral es una herramienta fundamental para la gestión y planificación del territorio, permitiendo la identificación y delimitación precisa de propiedades y elementos geográficos. En este trabajo, se presenta un levantamiento combinado realizado en un área urbana, utilizando técnicas de fotogrametría, mediciones con estación total y posicionamiento GNSS-RTK (*REAL TIME KINEMATIC*) o cinemático en tiempo real. La integración de estas metodologías permite obtener una representación precisa y detallada del terreno, optimizando los procesos catastrales y garantizando la exactitud de los datos.

Novedad científica. El levantamiento combinado que aquí se describe tiene varios aspectos novedosos y técnicamente avanzados, que lo diferencian de métodos tradicionales. Aquí se detallan los elementos más destacados:

- a) Precisión y detalle: Las imágenes aéreas capturadas por drones permiten obtener una gran cantidad de datos actualizada y con alta resolución espacial. Al procesarlas en Agisoft (un software

de fotogrametría), se genera un ortomosaico georreferenciado que proporciona una representación precisa y detallada del terreno. Eficiencia: Este método es más rápido y económico en comparación con levantamientos tradicionales, especialmente en áreas extensas o de difícil acceso.

b) Precisión mejorada: Los puntos de PCF puntos de control foto fueron obtenidos a partir de una poligonal de rodeo calculada y ajustada en *AutoCAD Civil 3D*, estos aseguran que el ortomosaico esté correctamente georreferenciado mejorando, reduciendo errores y mejorando la precisión del levantamiento. El uso de *AutoCAD Civil 3D* para ajustar la poligonal, permite una integración fluida con otros proyectos de ingeniería o topografía, facilitando la manipulación y análisis de los datos.

c) Determinación de alturas con receptores GS14 y desniveles elipsoidales. Los receptores GS14 (GNSS de alta precisión) permiten medir desniveles elipsoidales con gran exactitud. Al combinar estas mediciones con alturas ortométricas (referidas al geoide), se obtiene una representación altimétrica muy precisa. Este enfoque combina sistemas de referencia elipsoidales y ortométricos, lo que es especialmente útil en proyectos que requieren alta precisión en la representación del terreno.

Aporte de esta metodología: El flujo de trabajo optimizado, el uso de *softwares* especializados y equipos de medición avanzados, permitió automatizar gran parte del proceso, reduciendo el tiempo y los costos del levantamiento.

## 2. METODOLOGÍA.

El levantamiento se realizó en tres etapas principales:

- Fotogrametría con Agisoft.
- Medición con Estación Total TS10.
- Posicionamiento GNSS-RTK con receptores GS14.1.

### 2.1. Fotogrametría con Agisoft:

Se captura una ortofoto del área de estudio utilizando imágenes aéreas procesadas en el *software Agisoft Metashape*. Este proceso permite generar un modelo digital de superficie (MDS) y una ortoimagen georreferenciada de alta resolución.

#### 2.1.1. Crear un nuevo proyecto.

- Asigna un nombre al proyecto y selecciona la ubicación donde se desea guardarlo.

#### 2.1.2. Importar imágenes.

- Selecciona las imágenes que deseas importar. Asegurarse de que tengan buena calidad y superposición.

#### 2.1.3. Convertir coordenadas.

Asociar sistema de coordenadas Cuba Norte a las coordenadas de los centros de fotos importadas junto con las imágenes.

#### 2.1.4. Alinear fotos.

Este proceso consiste en identificar puntos comunes entre las fotografías, se calcula la posición y orientación de cada cámara en el espacio 3D. *Agisoft* utiliza algoritmos de visión por computadora para:

- Detectar puntos clave en las imágenes (características distintivas).
- Emparejar estos puntos entre las fotos superpuestas.
- Calcular la posición y orientación de cada cámara (orientación relativa).

El resultado es una nube de puntos dispersa que representa la geometría aproximada de la escena.

**Orientación Interior.** La orientación interior se refiere a la calibración de la cámara utilizada para capturar las fotos. Esto implica determinar los parámetros internos de la cámara, como la distancia focal, el punto principal y la distorsión de la lente durante la etapa de Alineación de Imágenes, Se estima automáticamente los parámetros de la cámara, proporcionando un archivo de calibración previo.

- Proceso: Se analizan las fotos para identificar puntos clave y patrones de distorsión. Se utiliza estos datos para calcular los parámetros intrínsecos de la cámara. Resultado: Una calibración precisa de la cámara que permite corregir distorsiones y mejorar la precisión del modelo 3D.

Orientar fotos.

Este paso refina la alineación inicial de las fotos. Aquí, se ajustan los parámetros de la cámara (posición, rotación y distorsión), se optimiza la geometría de la escena para minimizar errores.

- Ajusta la configuración si es necesario. Esto iniciará el proceso de nube de puntos dispersos. Se pueden desactivar las cámaras.

#### 2.1.5. Construir la nube de puntos.

Construir nube de puntos. A partir de la nube de puntos dispersa generada en la alineación, se calcula una nube de puntos densa mediante técnicas de correlación de imágenes, se reconstruye la geometría detallada de la escena, incluyendo superficies y texturas.

- Una vez que las fotos estén alineadas, se crea la nube de puntos densa.
- Elegir las configuraciones adecuadas para el proyecto (alta, media, baja resolución).

#### 2.1.6. Ajustar coordenadas de los puntos de enlaces a partir de las coordenadas de los PCF (GCPs) puntos de control fotos.

Si se han introducido Puntos de Control de Campo (GCPs) con coordenadas conocidas, se ajusta la nube de puntos y la orientación de las fotos para que coincidan con las coordenadas reales, esto mejora la precisión geográfica del modelo.

**Orientación Exterior.** La orientación exterior se refiere a la determinación de la posición (coordenadas X, Y, Z) y la orientación (ángulos de rotación: omega, phi, kappa) de cada foto en el espacio 3D. Se utilizan algoritmos de estructura desde movimiento (*Structure from Motion, SfM*) para calcular la posición y orientación de cada foto en relación con las demás. Al introducir Puntos de Control de Campo (PCF), Se ajusta la orientación exterior para que coincida con las coordenadas conocidas. Esto ofrece como resultado: Un modelo de cámara con las posiciones y orientaciones de cada foto en el espacio 3D, lo que permite la reconstrucción precisa del modelo.

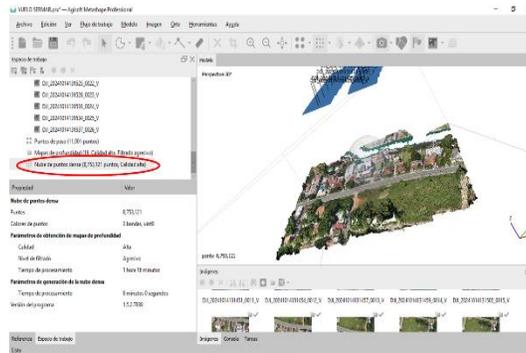


Figura 1. Nubes de puntos densa creada.

Aquí se ajustan las coordenadas de los puntos de enlaces a partir de puntos de control fotos, por eso se les quitan las marcas de las tomas fotográficas. Al ajustar las coordenadas de los puntos de enlaces, el programa elimina la nube de puntos densas. Se vuelve a crear la nube de puntos densa.

#### 2.1.7. Crear el modelo 3D.

Se configuran los parámetros para la construcción del MDT, MDS, MDE:

- MDT (Modelo Digital del Terreno): Representa la superficie del terreno sin incluir edificios, vegetación u otros objetos. Se configura para eliminar elementos no deseados.
- MDS (Modelo Digital de Superficie): Incluye todos los elementos sobre el terreno (edificios, árboles, etc.).
- MDE (Modelo Digital de Elevaciones): Similar al MDT, pero puede incluir variaciones en la superficie.

Se configuran parámetros como la resolución, el filtrado de ruido y la interpolación para generar estos modelos.

- Configura los parámetros según las necesidades.

#### 2.1.8. Texturizar el modelo (*Build Texture*).

Este proceso añade color y textura a la malla 3D. Se proyectan las fotografías sobre la malla, y se combinan las imágenes para crear una textura uniforme y realista.

- Seleccionar la proyección de la textura.

#### 2.1.9. Creación del MDT (*Build DEM*)

Se genera un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la nube de puntos o la malla. Aquí se filtran objetos no deseados (edificios, vegetación).

#### 2.1.10. Crear y exportar el modelo.

Se genera un ortomosaico combinando las fotografías en una imagen 2D georreferenciada. Se corrigen distorsiones perspectivas y geométricas. Este paso es útil para realizar análisis cartográficos y mediciones precisas.

- Una vez que se esté satisfecho con el modelo, se elige el formato que desees (OBJ, PLY, etc.) y se exporta.

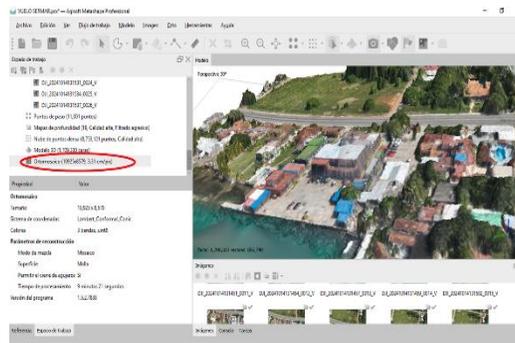


Figura 2. Ortomosaico formado.

## 2.2. Medición con Estación Total TS10:

Se realizó una poligonal de rodeo utilizando una estación total Leica TS10. Los puntos de control fotogramétrico (PCF) fueron medidos y posteriormente ajustados en AutoCAD Civil 3D para garantizar la precisión de las coordenadas. Al dibujar los lados y distancias medidos, se puede observar que se está generando un error de cierre, para esto se debe ajustar y compensar los lados de la poligonal medida, siempre y cuando el error de cierre este dentro de la tolerancia. Recordar los permisibles para poligonales de IV orden 1ra y 2da categorías.

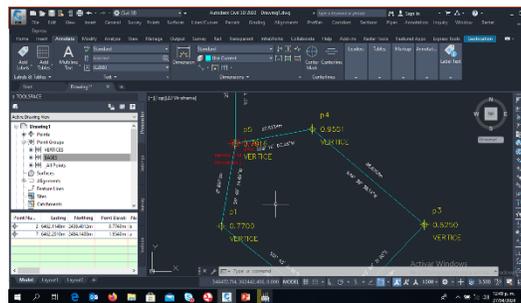


Figura 3. Lados y ángulos medidos con estación total y dibujados en *AutoCAD Civil 3D*.

Compensación y ajuste de la poligonal. *Survey Topografía /Mapcheck* comprobacion de mapas.

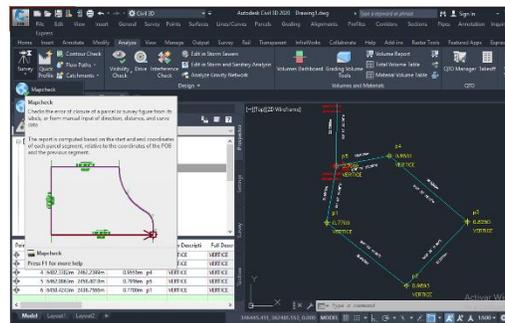


Figura 4. *Survey Topografía /Mapcheck* comprobación de mapas.

Generar una nueva comprobación de mapas.

Se selecciona Point of Beginning el punto inicial de la poligonal.

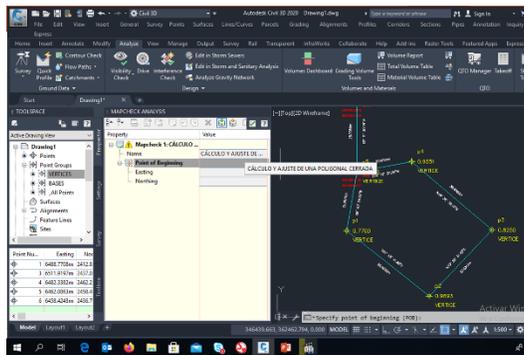


Figura 5. Seleccionar el punto inicial de la poligonal Point of Beginning.

Seleccionar una etiqueta para introducir los ángulos y las distancias que participarán en el ajuste y compensación.

Ajustar comprobación de la poligonal, Adjust Mapcheck.

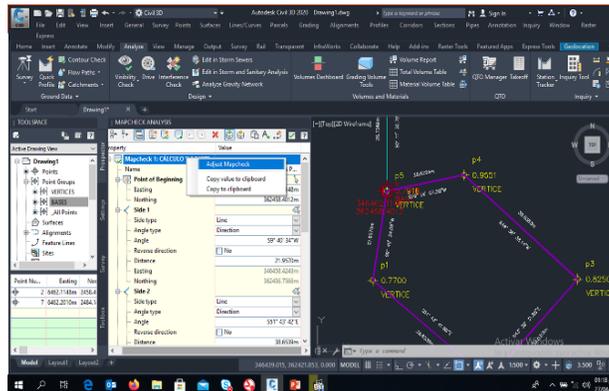


Figura 6. Ajustar comprobación de la poligonal o Adjust Mapcheck.

Ajustar los parámetros de ajuste y compensación de la poligonal MapCheck Analysis por el método de los mínimos cuadrados. En el caso en cuestión satisface la 2da categoría.

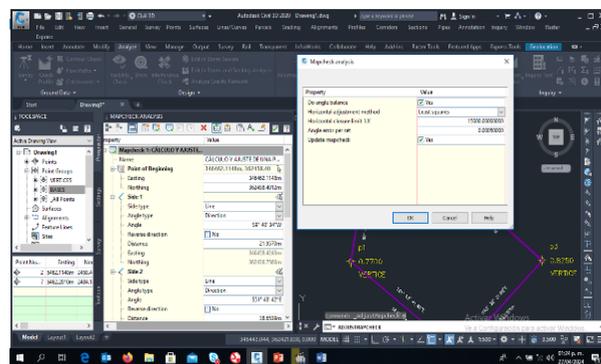


Figura 7. Ajuste y compensación de la poligonal MapCheck Analysis.

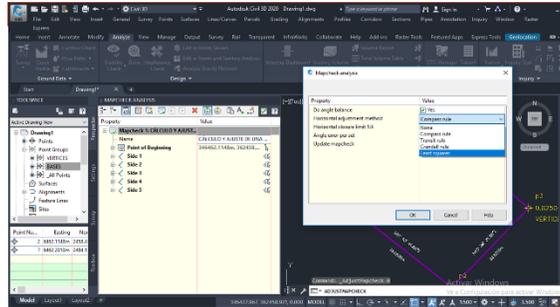


Figura 8. Método de compensación horizontal por mínimos cuadrados.

Comprobación del ajuste o comprobación de mapa.

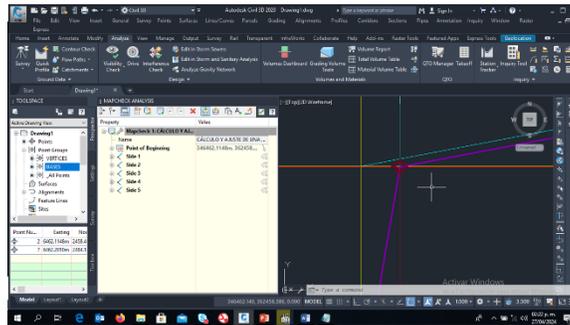


Figura 9. La polilínea morada es la línea ajustada del polígono. comprobación de mapa.

### 2.3. Posicionamiento GNSS-RTK con receptores GS14:

Para calcular los desniveles ortométricos a partir de los desniveles elipsoidales medidos en un circuito cerrado que comienza y termina en el punto A, se deben seguir estos pasos:

Datos conocidos:

- Altura ortométrica del punto A ( $H_a$ ) y altura elipsoidal del punto A ( $h_a$ ):

Relación entre alturas:

La altura ortométrica ( $H$ ) y la altura elipsoidal ( $h$ ) están relacionadas por la ondulación del geode ( $N$ ), según la fórmula:

$$H = h - N. \text{ (Acosta (2001).)}$$

Sin embargo, no se dispone de un modelo de geode local, por lo que no se conoce la ondulación del geode ( $N$ ) en los puntos del circuito.

Caso particular: Circuito cerrado en el punto A.

En un circuito cerrado que comienza y termina en el mismo punto A), la suma de los desniveles ortométricos ( $\Delta H$ ) debe ser cero, ya que el punto inicial y final son el mismo.

$$\sum \Delta H = 0.$$

De manera similar, la suma de los desniveles elipsoidales ( $\Delta h$ ) también debe ser cero, porque el elipsoide es una superficie matemática continua:

$$\sum \Delta h = 0.$$

Entonces: Si los desniveles elipsoidales se midieron correctamente en un circuito cerrado, su suma ya es cero, y no es necesario aplicar ninguna corrección por geoide porque no hay un modelo local. Los desniveles ortométricos ( $\Delta H$ ) serán iguales a los desniveles elipsoidales ( $\Delta h$ ) medidos, ya que la componente del geoide se cancela al cerrar el circuito en el mismo punto.

Delta H = Delta h

Estos datos se integraron con los obtenidos mediante fotogrametría y estación total para corregir y ajustar las alturas de los PCF del terreno.

#### 4. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos incluyen:

- Un modelo digital de superficie (MDS) detallado del área de estudio. Resolución: 19,1 cm/pix. Densidad de puntos: 27,5 puntos/m<sup>2</sup>.

- Un ortomosaico georreferenciada con precisión centimétrica.

Tamaño: 8,067 x 7,467. Sistema de coordenadas: Lambert Conformal Conic. Colores 3 bandas, uint8. Modo de mezcla: Mosaico. Superficie: Modelo digital de elevaciones. Permitir el cierre de agujeros.

- Informe con los resultados del ajuste de la poligonal por métodos de los mínimos cuadrados. Coordenadas ajustadas de los puntos de control fotogramétrico (PCF).

#### CÁLCULO DE MÍNIMOS CUADRADOS

Número total de puntos desconocidos: 4

Número total de puntos: 5

Número total de observaciones: 10

Grados de libertad: 2

Nivel de confianza: 95 %

Número de iteraciones: 1

Valor de chi cuadrado: 0,32286

Prueba de bondad de ajuste: Aprobado al 5 %

Desviación estándar del peso unitario: 0,40179

\*\*\*\*\*

#### OBSERVACIONES

\*\*\*\*\*

Tipo	Pnt1	Pnt2	Pnt3	Medido	StdDev	Ajustado	Resid
DIST	5	1		20.5840	0.005	20.5825	-0.0015
AZ	5	1		259-25-01.8000	10.000	259-25-02.1153	0.32
DIST	2	3		38.6466	0.005	38.6470	0.0004
AZ	2	3		128-18-07.9000	10.000	128-18-06.6448	-1.26
DIST	4	5		38.8712	0.005	38.8708	-0.0004

AZ	4	5	310-26-44.5000	10.000	310-26-45.7733	1.27
DIST	3	4	33.5050	0.005	33.5067	0.0017
AZ	3	4	43-48-57.6000	10.000	43-48-57.7627	0.16
DIST	1	2	21.9776	0.005	21.9763	-0.0013
AZ	1	2	189-43-37.3000	10.000	189-43-36.8039	-0.50

---

**COORDENADAS AJUSTADAS**

Las desviaciones estándar tienen un nivel de confianza del 95 %

Point	Northing	Easting	StdDevNth	StdDevEst
2	362436.7626	346458.3853	0.0095610061	0.0030575493
3	362412.8090	346488.7137	0.0097644318	0.0090000444
4	362436.9863	346511.9120	0.0081000400	0.0103130646
5	362462.2031	346482.3306	0.0030205629	0.0098137471

\*\*\*\*\*

**ANÁLISIS DE ERRORES DE MÍNIMOS CUADRADOS 2D**

\*\*\*\*\*

Los semiejes tienen un nivel de confianza del 95 %

Punto	Semieje Mayor	Semieje Menor	Eje NE Acimut
2	0.0096904588	0.0026198760	9-43-15
3	0.0099740219	0.0087657967	154-30-35
4	0.0104178597	0.0079644229	102-46-19
5	0.0099740219	0.0024534368	79-28-42

\*\*\*\*\*

**Detección/análisis de errores**

\*\*\*\*\*

**Pruebas de confiabilidad**

Tipo	Pnt1	Pnt2	Pnt3	Resid.	Ajustado	Redun	Estimación	Marg	Ext
DIST	5	1		20.582	-0.002	0.351	0.004	P	P
AZ	5	1	259-25-02.1153		0.315	0.015	-20.733	P	P
DIST	2	3		38.647	0.000	0.354	-0.001	P	P
AZ	2	3	128-18-06.6448		-1.255	0.053	23.563	P	P
DIST	4	5		38.871	-0.000	0.355	0.001	P	P
AZ	4	5	310-26-45.7733		1.273	0.054	-23.709	P	P
DIST	3	4		33.507	0.002	0.376	-0.005	P	P
AZ	3	4	43-48-57.7627		0.163	0.038	-4.313	P	P

DIST	1	2	21.976	-0.001	0.388	0.003	P	P
AZ	1	2	189-43-36.8039	-0.496	0.016	31.635	P	P

La redundancia es la contribución de la observación al grado de libertad. (De 0 a 1, siendo 1 el mejor valor). La estimación se utiliza para estimar el error que podría causar residuos grandes. Marg es una prueba de fiabilidad para un único error (error de tipo II). Ext es una prueba de fiabilidad externa para una observación.

P = APROBADO REPROBADO = REPROBADO

Error angular = 0-00-00

Error angular/conjunto = 0-00-00 Inferior

Error Norte: 0,0027

Error Este: 0,0039

Error absoluto: 0,0047

Dirección del error: N 55-30-33 E

Perímetro: 153,5844

Precisión: 1 en 32794,5002

Número de lados: 5

Superficie: 1534,7 metros cuadrados, 0,1535 hectáreas

Cierre en otros puntos de la travesía. Se debe prestar atención a las separaciones máximas-mínimas. Distancia de separación entre puntos.

1..... 0,0047

2 .....0,0047

3..... 0,0047

4 .....0,0047

5 .....0,0047

1 .....0,0047

Error angular (si lo hay) más probable en el punto 3.

Cálculo de Cotas Ortométricas y Desniveles. Datos proporcionados:

- Punto inicial P11:

- Altura ortométrica ( $H_{11} = 2.721$  m)

- Altura elipsoidal ( $h_{11} = -19.3170$  m)

- Alturas elipsoidales medidas sobre los puntos:

- P1:  $h_1 = -19.3430$  m)

- P2:  $h_2 = -19.1132$  m)

- P3:  $h_3 = -19.2628$  m)

- P4:  $h_4 = -19.1235$  m)

- P11 final: ( $h_{11final} = -19.3245$  m)

Paso 1: Cálculo de la ondulación del geoide (N).

Dado que no se dispone de un modelo de geoide local, se asume que (N) es constante en toda la poligonal. Calculando(N) en P11 inicial:

$$N = h_{11} - H_{11} = -19.3170 - 2.721 = -22.0380 \text{ m}$$

Paso 2: Cálculo de cotas ortométricas (H).

Aplicar la fórmula ( $H_i = h_i - N$ ) para cada punto:

1. P1:  $H_1 = -19.3430 - (-22.0380) = 2.6950 \text{ m}$ .
2. P2:  $H_2 = -19.1132 - (-22.0380) = 2.9248 \text{ m}$ .
3. P3:  $H_3 = -19.2628 - (-22.0380) = 2.7752 \text{ m}$ .
4. P4:  $H_4 = -19.1235 - (-22.0380) = 2.9145 \text{ m}$ .
5. P11 final:  $H_{11\text{final}} = -19.3245 - (-22.0380) = 2.7135 \text{ m}$ .

Paso 3: Verificación de cierre.

La poligonal es cerrada, por lo que teóricamente la cota final de P11 debería coincidir con la inicial (2.721 m). La discrepancia es:

$$\Delta H = H_{11\text{final}} - H_{11} = 2.7135 - 2.721 = -0.0075 \text{ m (7.5 mm)}$$

Este pequeño error podría deberse a:

- Precisión en las mediciones elipsoidales.
- Variaciones mínimas en (N) (aunque se asumió constante).

Resultados finales:

Punto	Altura Elipsoidal h [m]	Altura Ortométrica H [m]
P11 (inicial)	19.3170	2.721
P1	-19.3430	2.6950
P2	-19.1132	2.9248
P3	-19.2628	2.7752
P4	-19.1235	2.9145
P11 final	-19.3245	2.7135

Cálculo de desniveles ortométricos Delta H.

Como (N) es constante, los desniveles ortométricos coinciden con los elipsoidales ( $\Delta H = \Delta h$ ):

1. P11 → P1: [ $\Delta H = H_1 - H_{11} = 2.6950 - 2.721 = -0.0260 \text{ m}$ ]
2. P1 → P2: [ $\Delta H = 2.9248 - 2.6950 = 0.2298 \text{ m}$ ]
3. P2 → P3: [ $\Delta H = 2.7752 - 2.9248 = -0.1496 \text{ m}$ ]
4. P3 → P4: [ $\Delta H = 2.9145 - 2.7752 = 0.1393 \text{ m}$ ]
5. P4 → P11 final: [ $\Delta H = 2.7135 - 2.9145 = -0.2010 \text{ m}$ ].

## **5. DISCUSIÓN.**

La combinación de técnicas fotogramétricas, topográficas y de posicionamiento GNSS-RTK demostró ser eficiente para obtener datos precisos y confiables. La integración de los PCF medidos con estación total y ajustados en AutoCAD Civil 3D garantizó la exactitud de las coordenadas, mientras que los desniveles elipsoidales obtenidos con RTK permitieron corregir las alturas del modelo digital. Sin embargo, se identificaron desafíos relacionados con la cobertura vegetal y la accesibilidad del terreno, que pueden afectar la calidad de los datos fotogramétricos y topográficos.

## **6. CONCLUSIONES.**

1. El levantamiento combinado realizado en el área urbana, demostró ser una metodología robusta y precisa para fines catastrales.
2. La integración de fotogrametría, estación total y GNSS-RTK permitió obtener productos de alta calidad, útiles para la gestión del territorio.
3. Las cotas ortométricas se calcularon correctamente bajo la suposición de (N) constante.
4. El cierre de la poligonal es excelente (error de solo 7.5 mm), lo que valida la calidad de los datos.
5. Los desniveles ortométricos son idénticos a los elipsoidales  $\Delta H = \Delta h$ , como era de esperar.

## **7. REFERENCIAS.**

1. Copyright © 2024 Agisoft LLC. Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 2.2. Publication date 2024.
2. Nodal Jorge, Ramón L, 2015. Política para el desarrollo del Catastro en Cuba, pp 1- 4.
3. Samuel, F. Salas, F (2009), “El Mapa Base de Datos catastrales como parte del sistema de información geoespacial del Catastro Nacional”, Memorias de la XIII Convención Informática 2009, V Congreso de Geomática, Feb. 2009, Cuba. En CD-ROM ISBN: 978-959-286-010-0 La Habana, Cuba.
4. Reyes, I.; Kelly, F.; Liranza, D.; y otros. (2015). “INTRODUCCIÓN DE NOVEDOSAS TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA CATASTRAL URBANA EN CUBA”. VII CONGRESO DE AGRIMENSURA. II CONGRESO DE INTERNACIONAL DE AVALÚOS Y CATASTRO GEOCUBA I.C., La Habana, Cuba. 3.