

GUÍA TÉCNICA DE REFERENCIA

Fotogrametría con Drones

Flujos de trabajo profesionales para ingeniería civil, catastro y agricultura de precisión. Del vuelo al entregable métrico.

4

MÓDULOS TÉCNICOS

28

PUNTOS DE CONTROL

±2cm

PRECISIÓN OBJETIVO

100%

APLICABLE EN CAMPO

MÓDULO 01

Planificación de la Misión

El éxito de un levantamiento se define antes de encender los motores. Los errores de planificación son irreversibles en campo y costosos en tiempo de reprocesamiento. Esta sección cubre los parámetros críticos que todo profesional debe dominar.

● 1.1 GSD — Ground Sample Distance

El GSD es la resolución espacial fundamental de tu proyecto. Define cuántos centímetros del terreno real representa cada píxel en tus imágenes. Un GSD de 2 cm significa que cada píxel equivale a un cuadrado de 2x2 cm en el suelo. Esta cifra determina directamente la precisión máxima que podrás lograr en el ortomosaico y el DEM.

FÓRMULA FUNDAMENTAL DEL GSD

$$\text{Altura de vuelo (m)} = [\text{GSD (cm)} \times \text{Distancia Focal (mm)}] / [\text{Tamaño Sensor (mm)} / \text{Ancho imagen (px)} \times 100]$$

Ejemplo práctico: Con un sensor Sony 1" (13.2mm de ancho), focal de 24mm, resolución de 5472px de ancho y GSD objetivo de 2.5 cm → Altura ≈ 105 metros AGL.

2–3 cm

GSD TOPOGRAFÍA

5–8 cmGSD CATASTRO
RURAL**1–2 cm**

GSD INSPECCIÓN

10+ cmGSD MAPEO
AGRÍCOLA

● 1.2 Traslapes — Overlap

El traslape es el porcentaje de área compartida entre imágenes consecutivas. Sin suficiente traslape, el software de fotogrametría no puede encontrar puntos de paso (Tie Points) comunes para construir el modelo 3D. Un traslape insuficiente causa "agujeros" en la nube de puntos y distorsiones en zonas de baja textura.

TRASLAPE FRONTAL (LONGITUDINAL)

Mínimo: 80% — Recomendado: 85%

Entre imágenes consecutivas en la dirección de vuelo. Aumentar al 90% en zonas con vegetación densa o edificaciones altas.

TRASLAPE LATERAL

Mínimo: 70% — Recomendado: 75%

Entre pasadas paralelas. Reducir a 65% solo en terrenos completamente planos y con abundante textura natural.

ATENCIÓN — CASOS ESPECIALES

En zonas con reflejo de agua, nieve, asfalto oscuro o techos metálicos, aumentar ambos traslapes al 90/80%. Estas superficies generan muy pocos Tie Points y el modelo puede colapsar localmente si el traslape es insuficiente.

● 1.3 Patrón de Vuelo

- **Grilla simple (Grid):** Para terrenos planos con pendiente menor al 15%. El patrón más eficiente en tiempo.
- **Doble grilla (Cross-hatch):** Imprescindible en zonas urbanas con edificaciones o en terrenos accidentados. Mejora drásticamente la geometría del modelo.
- **Órbita perimetral:** Añadir al final del vuelo grid para capturar fachadas de edificios o taludes verticales.
- **Vuelo oblicuo a 45°:** Para modelos 3D fotorrealistas de estructuras. No sustituye al vuelo nadir para productos topográficos.

MÓDULO 02

Equipamiento y Sensores

Tener el dron más caro no garantiza la mejor precisión. La selección y configuración correcta del sistema —cámara, GPS y plataforma— es lo que determina la calidad métrica del producto final.

● 2.1 Comparativa de Sistemas

Componente	Requisito Profesional	Impacto si se ignora
Sensor de Cámara Tamaño mínimo recomendado	1 pulgada, 20 MP mínimo	Ruido visual en sombras, texturas falsas en la nube de puntos
Tipo de Obturador Mecanismo de captura	Global Shutter preferido	El Rolling Shutter genera distorsión "jello" en estructuras verticales
Sistema de Posicionamiento GPS del dron	RTK o PPK integrado	Sin RTK/PPK, el error posicional puede ser 2-5 metros. Más GCPs requeridos.
Distancia focal Óptica de la cámara	24-35mm equivalente	Focales muy cortas aumentan la distorsión de barril, difícil de corregir en post
Velocidad de obturación Para movimiento en vuelo	1/800s mínimo a 8 m/s	Motion blur que destruye los Tie Points y arruina la alineación
Formato de imagen Para post-procesamiento	RAW + JPEG simultáneo	JPEG tiene pérdida de datos irreversible, afecta la corrección radiométrica
Estabilización Gimbal de la cámara	3 ejes mecánicos	Sin gimbal mecánico, las imágenes llegan inclinadas y el modelo se distorsiona

● 2.2 RTK vs PPK — ¿Cuándo usar cada uno?

RTK (Real-Time Kinematic)

Corrección diferencial en tiempo real via radio o internet (NTRIP). El dron recibe la corrección mientras vuela y la aplica inmediatamente. Requiere cobertura de red o estación base en campo.

- **Ventaja:** Ves la precisión en tiempo real durante el vuelo
- **Ventaja:** No requiere post-procesamiento de coordenadas
- **Limitación:** Si se pierde la señal, la precisión cae
- **Usa cuando:** Tienes acceso a NTRIP o llevas base RTK propia

PPK (Post-Processed Kinematic)

El dron graba datos crudos de GNSS. Luego, en oficina, se combinan con observaciones de una estación base para calcular las coordenadas precisas. No depende de conexión en tiempo real.

- **Ventaja:** Más robusto, no depende de señal durante el vuelo
- **Ventaja:** Se puede reprocesar si hay errores
- **Limitación:** Requiere paso adicional de procesamiento en oficina
- **Usa cuando:** Vuelas en zonas remotas sin cobertura NTRIP

REGLA DE ORO — RTK/PPK NO ELIMINA LOS GCPS

Los sistemas RTK y PPK reducen significativamente la cantidad de GCPs necesarios (de 8-12 a 3-4 puntos de verificación), pero no los eliminan. Siempre debes medir puntos de control independientes para validar la exactitud del modelo. Un proyecto sin puntos de verificación medidos en campo no tiene exactitud comprobable.

● 2.3 Configuración de Cámara en Campo

- **Modo de exposición: Manual.** El modo automático ajusta la exposición entre fotos, creando variaciones de brillo que arruinan el ortomosaico.
- **ISO: El más bajo posible** (100-200). ISO alto genera ruido que el software interpreta como textura falsa.
- **Apertura: f/5.6 a f/8.** Evita f/11 o superior porque la difracción reduce la nitidez. Evita aperturas muy abiertas porque reducen la profundidad de campo.
- **Velocidad de obturación: Regla de los 500.** Velocidad mínima = 500 / altura (metros). A 100m de altura: mínimo 1/500s.
- **Balance de blancos: Manual o fijado antes del vuelo.** Nunca automático — cambia de foto en foto y arruina la textura del mosaico.

MÓDULO 03

Ejecución en Campo y GCPs

Sin Puntos de Control Terrestre medidos con GPS Diferencial, el modelo fotogramétrico tiene precisión relativa pero no exactitud absoluta. Los errores de posición pueden superar los 2 metros si solo confías en el GPS interno del dron.

● 3.1 ¿Qué es un GCP y por qué es crítico?

Un GCP (Ground Control Point) es un punto físico en el terreno cuyas coordenadas X, Y, Z han sido medidas con alta precisión usando un receptor GNSS diferencial. Se marca visualmente en el suelo (con cruces de plástico, spray fluorescente o targets impresos) para que sea claramente visible en las fotos aéreas. El software de fotogrametría usa estas coordenadas reales para "anclar" el modelo 3D al sistema de coordenadas geodésico correcto.

FÓRMULA DE CANTIDAD MÍNIMA DE GCPS

$$N_GCPS = 4 \text{ (perimetales)} + 1 \text{ por cada } 50\text{-}100 \text{ ha de área levantada}$$

Ejemplo: Para un área de 200 ha → mínimo 6 GCPS. Para precisión de catastro oficial → 10-12 GCPS con distribución uniforme, incluyendo puntos en altura variable si el terreno es accidentado.

● 3.2 Distribución Estratégica de GCPs

- **GCPs perimetrales primero:** Coloca 4 puntos en las esquinas del área. Estos controlan la deformación general del modelo (efecto "banana").
- **GCPs centrales para control Z:** Un punto en el centro y en zonas con cambios abruptos de elevación mejora dramáticamente la precisión vertical.
- **Nunca todos en línea recta:** Una distribución lineal de GCPs no puede controlar la deformación del modelo en la dirección perpendicular.
- **Evitar zonas de sombra permanente:** El GCP debe ser visible con claridad en al menos 5-8 imágenes diferentes desde distintos ángulos.
- **Puntos de verificación independientes:** Reserva 2-3 puntos medidos solo para verificar la exactitud, sin usarlos para optimizar el modelo.

● 3.3 Checklist Completo de Pre-vuelo

Verificaciones Técnicas

- Índice KP menor a 4** — Verificar en spaceweather.com. KP alto interfiere con brújula y GNSS.
- Formatear SD en la aeronave** — Nunca en PC. Previene corrupción de archivos durante el vuelo.
- Calibrar brújula e IMU** — Mínimo 30m de estructuras metálicas. Repetir si el dron se transportó en vehículo.
- Señal GNSS: 8+ satélites, PDOP < 2.5** — Esperar hasta obtener convergencia RTK si aplica.
- Exposición manual configurada** — ISO 100-200, velocidad según condición de luz del día.
- Batería principal: 100%** — No volar con menos del 95% en misiones largas.

Verificaciones de Campo

- GCPs colocados y medidos** — Coordenadas registradas en libreta y software antes de volar.
- GCPs visibles sin obstáculos** — Verificar que no haya sombra de árboles sobre los targets.
- Espacio aéreo verificado** — NOTAMs y zonas restringidas. Autorización vigente.
- Viento menor a 10 m/s** — A mayor viento, mayor riesgo de motion blur y pérdida de traslape.
- Plan de vuelo cargado y revisado** — Verificar área, altura, traslapes y velocidad en la app.
- Punto de retorno de emergencia definido** — RTH configurado a 30m por encima del obstáculo más alto.

ERROR MÁS COMÚN EN CAMPO

Medir los GCPs con el receptor GNSS en modo "Autónomo" (sin corrección diferencial) y asumir que la precisión es suficiente. El GPS autónomo tiene errores de 1-3 metros. Para catastro y topografía, debes usar siempre corrección diferencial en tiempo real (RTK-NTRIP) o post-procesada (PPK), logrando errores menores a 2-3 cm en X,Y y 4-5 cm en Z.

MÓDULO 04

Post-procesamiento y Entregables

Las imágenes capturadas son la materia prima. El valor profesional está en convertirlas en productos métricos verificables que el cliente pueda usar directamente en sus flujos de trabajo de ingeniería y GIS.

● 4.1 Flujo Estándar de Post-procesamiento

1 Alineación de Imágenes (SfM)

El software detecta puntos clave (features) en cada imagen mediante algoritmos SIFT/ORB y los empareja entre fotos solapadas. Se genera la nube dispersa de Tie Points y se estima la posición y orientación de cada cámara (Bundle Adjustment). Indicador de calidad: más de 500 Tie Points por imagen. Si es menor, revisar traslapes o calidad de imágenes.

2 Optimización con GCPs

Se introducen las coordenadas reales de los GCPs marcando su posición en las imágenes. El software re-optimiza el modelo geométrico para que el error residual de cada GCP (diferencia entre posición calculada y medida en campo) sea menor a 1.5 veces el GSD del proyecto. Los puntos de verificación no deben superar 2x el GSD en RMSE.

3 Nube de Puntos Densa (MVS)

Usando Multiple View Stereo, el software calcula profundidad para cada píxel de cada imagen y genera millones de puntos X,Y,Z con color. La densidad de la nube depende de la configuración: "Alta" genera ~4 puntos/cm² a GSD de 2cm. Esta nube puede exportarse a LAS/LAZ para uso en software LIDAR o clasificarse para separar terreno, vegetación y edificaciones.

4 DEM y DTM

El Modelo Digital de Elevación (DEM) incluye todo — edificios, vegetación y terreno. El Modelo Digital del Terreno (DTM) solo incluye el suelo desnudo, requiriendo clasificación de la nube para eliminar vegetación y estructuras. El DTM es el producto requerido para curvas de nivel y cálculos de volumen de movimiento de tierras.

5 Ortomosaico

Imagen aérea en la que cada píxel tiene escala real y está georreferenciada en el sistema de coordenadas del proyecto. A diferencia de una foto aérea convencional, el ortomosaico corrige las distorsiones por relieve y perspectiva. La resolución del píxel es igual al GSD del proyecto. Exportar en GeoTIFF con el archivo de proyección .prj correspondiente.

● 4.2 Parámetros de Calidad — Valores de Referencia

Indicador	Mínimo aceptable	Estándar profesional	Uso recomendado
RMSE XY en GCPs	$\leq 3 \times \text{GSD}$	$\leq 1.5 \times \text{GSD}$	Topografía, catastro
RMSE Z en GCPs	$\leq 5 \times \text{GSD}$	$\leq 2.5 \times \text{GSD}$	Curvas de nivel, volúmenes
Tie Points por imagen	300 mínimo	1000+	Terreno con buena textura
Imágenes calibradas	95% del total	99%+	Todos los proyectos
Resolución del ortomosaico	= GSD configurado	$\text{GSD} \times 0.8$ (super-resolución)	Catastro urbano

● 4.3 Entregables Finales por Tipo de Proyecto

Ingeniería Civil y Topografía

- **Ortomosaico GeoTIFF** — Sistema de coordenadas del proyecto, resolución al GSD
- **DTM en formato LAS/LAZ y GeoTIFF** — Terreno clasificado sin vegetación
- **Curvas de nivel en DWG/DXF** — Equidistancia según especificación
- **Cálculo de volúmenes** — Informe con cortes y rellenos por zona
- **Informe de calidad del procesamiento** — Captura del reporte del software con RMSE

Catastro y Gestión Territorial

- **Ortomosaico de alta resolución** — GSD menor a 5cm para identificación parcelaria
- **Shapefile de polígonos catastrales** — Con atributos de área y perímetro
- **Reporte de exactitud posicional** — Según estándar ASPRS o normativa nacional
- **Metadatos completos** — Fecha, sistema de referencia, precisión declarada
- **Mapa de índice de vuelo** — Con posición y cobertura de cada imagen

SIGUIENTE NIVEL

¿Listo para trabajar con precisión centimétrica?

Esta guía es el mapa. El programa máster es el camino completo: flujos avanzados, automatización de entregables, corrección de errores de procesamiento y cómo presentar propuestas técnicas que ganen proyectos de alto valor.

EL PROGRAMA INTENSIVO INCLUYE

- ✓ Flujos de trabajo avanzados en Pix4D, Agisoft Metashape y DJI Terra
- ✓ Corrección de errores críticos de procesamiento y diagnóstico de modelos fallidos
- ✓ Automatización de entregables para clientes de ingeniería civil y catastro
- ✓ Cálculo profesional de volúmenes, curvas de nivel y análisis de pendientes
- ✓ Plantillas de propuesta técnica y presupuesto para proyectos de alto valor
- ✓ Acceso a comunidad de profesionales, actualizaciones y soporte técnico continuo

[Ver Metodología Completa](#)

[Acceso Directo a Fotogrametría Master](#)

Para ingenieros, técnicos topógrafos y especialistas en gestión territorial.
Fotogrametría Profesional · catastro.6te.net