

La alternativa C se corresponde con el ajuste combinado AT-GPS, siendo ésta la alternativa más extendida en fotogrametría. En este sentido, las posiciones relativas de la antena GPS se determinan con la fase L1 y las observaciones de código C/A, si bien la captura de datos con receptores bifrecuencia (L1, L2) facilita la detección y corrección de errores. Un receptor se sitúa en el aeropuerto o próximo a la zona de proyecto, y el otro en el avión. La resolución inicial de las ambigüedades es innecesaria, puesto que éstas se derivan de forma aproximada a partir del posicionamiento por pseudodistancias (código C/A) del sensor al comienzo de cada pasada. Lógicamente, este método requiere la corrección de los errores sistemáticos ocasionados por el efecto de deriva en las pasadas (apartado 7.2.2.), así como puntos de apoyo topográfico, cadenas altimétricas transversales al bloque o pasadas transversales adicionales (apartado 7.2.3.).

Las ventajas de la alternativa C son varias frente a las precedentes, sobre todo si integramos las alternativas B y C. El avión puede alejarse de la estación de referencia GPS grandes distancias (p. ej. hasta 500 km) y no son necesarias estaciones locales de referencia. La flexibilidad del piloto es mayor en los cambios de rumbo entre pasadas, igual que sucede con la alternativa B. Los requerimientos de hardware y software GPS pueden ser menos exigentes que en la alternativa anterior: el software fotogramétrico con parámetros de deriva suple los posibles problemas derivados de pérdida de señal en las pasadas. Las precisiones finales que se alcanzan son mayores, en tanto en cuanto dispongamos de escenarios que permitan la inclusión de parámetros adicionales en la resolución del sistema. Esta última afirmación implica el dotar de puntos de apoyo al trabajo, lo cual supone una desventaja frente a la alternativa B.

Por último, la alternativa D, la más novedosa y prometedora, recupera las pérdidas de ciclo gracias a la integración de los datos GPS e INS (véase el apartado 7.3.).

7.2.1.4. Problema del datum

La tecnología GPS supone una ventaja incuestionable en fotogrametría. Sin embargo, la integración de datos GPS, fotogramétricos y cartográficos conlleva problemas de resolución geodésica derivados del uso de diferentes sistemas de coordenadas y datums. Los datos GPS están referidos al sistema de referencia geodésico WGS 84 (*'World Geodetic System' 1984*) y el sistema de coordenadas empleado en el cálculo de los vectores es el sistema de coordenadas cartesianas geocéntricas. Definido un elipsoide de referencia, estas coordenadas pueden separarse en planimetría (latitud y longitud) y altitud elipsoidal.

Los resultados fotogramétricos se plasman en mapas que utilizan sistemas de proyección cartográficos (p. ej. Mercator, UTM, Lambert, etc.). Los sistemas cartográficos representan (con sus deformaciones propias) la planimetría, mientras que la altimetría toma como superficie de referencia el geoide en lugar del elipsoide, i. e. las altitudes son ortométricas (H) y no elipsoidales (h). Asimismo, tal y como apuntamos en el apartado 2.1, los modelos matemáticos en fotogrametría se

adecuan a sistemas de coordenadas cartesianos (tridimensionales generalmente), preferiblemente tangenciales y centrados en la zona de actuación, esto es, sistemas locales.

Las metodologías usuales utilizan las coordenadas conocidas de algunos puntos de apoyo para pasar localmente de unos sistemas de referencia geodésicos a otros. Otra forma de abordar la cuestión es utilizar parámetros de transformación globales, prescindiendo de puntos de apoyo. En cualquiera de las alternativas posibles, la ondulación del geoide (N) debe ser un parámetro conocido (Fig. 7-6):

$$h = N + H \quad (7-3)$$

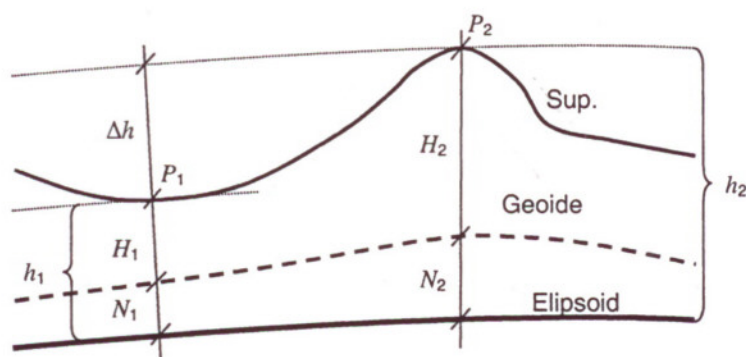


Fig. 7-6. Relación entre la altitud elipsoidal (h), la ondulación del geoide (N) y la altitud ortométrica (H).

La precisión absoluta del geoide, σ_N , oscila entre 0.5-3 m (en geoides globales), e incluso más en zonas con poca cobertura gravimétrica. Por el contrario, esta precisión aumenta con geoides localmente adaptados (de alta precisión), pudiendo llegar a garantizar precisiones del orden de 10-15 cm.

Afortunadamente, la mayor parte de las veces se emplea la ondulación del geoide relativa; la precisión relativa ronda 1-15 ppm. En estas situaciones, la Ec. 7-3 resulta:

$$\Delta h = \Delta N + \Delta H \quad (7-4)$$

siendo Δh , ΔN y ΔH las diferencias de las altitudes elipsoidales, de ondulación del geoide y ortométricas, respectivamente (Fig. 7-6). El resultado práctico es que $\sigma_{\Delta N} \ll \sigma_N$, y los resultados cartográficos ya no son tan dependientes de los problemas derivados de la interpolación de la ondulación del geoide, sino que dependen más bien de los propios trabajos fotogramétricos (apoyados convenientemente en la geodesia, la topografía y la cartografía).

En el caso de no disponer de coordenadas de puntos de apoyo terreno, la aerotriangulación puede resolverse directamente en el sistema WGS 84. Una vez compensada, los datos pueden transformarse al sistema cartográfico (p. ej. el UTM) mediante una transformación absoluta directa, y después la altimetría al geoide (Fig. 7-7). No obstante, esta transformación directa es problemática debido a la baja precisión geométrica del GPS (1-10 m en modo absoluto). Los inconvenientes de este método directo son:

- Los resultados finales no pueden contrastarse por falta de datos.
- La compensación del bloque no admite la inclusión de muchos parámetros adicionales de autocalibración.

Por estas razones, entre otras, lo usual es recurrir al uso de puntos de apoyo terrestres.

Puntos de apoyo aéreos



Fig. 7-7. Transformación directa WGS 84 a UTM y altitudes ortométricas

Cuando se conocen las coordenadas de los puntos de apoyo en los sistemas implicados, los caminos a seguir (transformaciones de coordenadas) varían en función del tratamiento que apliquemos. Las transformaciones de coordenadas en estos procesos pueden implicar distintos tipos de coordenadas (geodésicas,

cartográficas y locales) y diversos datums (elipsoide o elipsoides y geoide), Figs. 7-8 y 7-9. Asimismo, el tratamiento fotogramétrico puede diferenciarse según los puntos intervengan en el proceso de ajuste o sólo en la transferencia del datum.

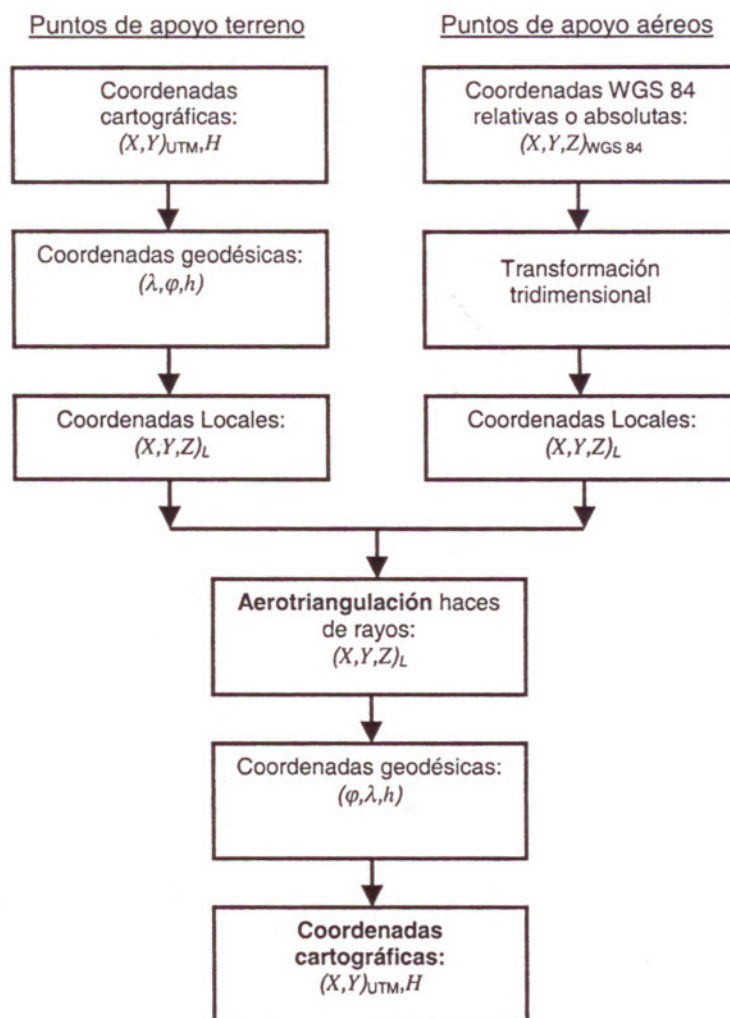


Fig. 7-8. Secuencia completa de transformaciones de coordenadas previo y postproceso de aerotriangulación. Modo usual

La serie de transformaciones que aparecen en la Fig. 7-8 son los pasos seguidos usualmente a la hora de preparar los datos para la aerotriangulación correspondiente (p. ej. por el método de los haces de rayos o de los modelos independientes), así como para referir los resultados obtenidos al sistema

cartesiano tridimensional local y al sistema cartográfico oficial (p. ej. el UTM). La Fig. 7-9 resulta de efectuar una simplificación en los pasos anteriores, omitiendo la transformación al sistema de coordenadas local (cartesiano tridimensional).

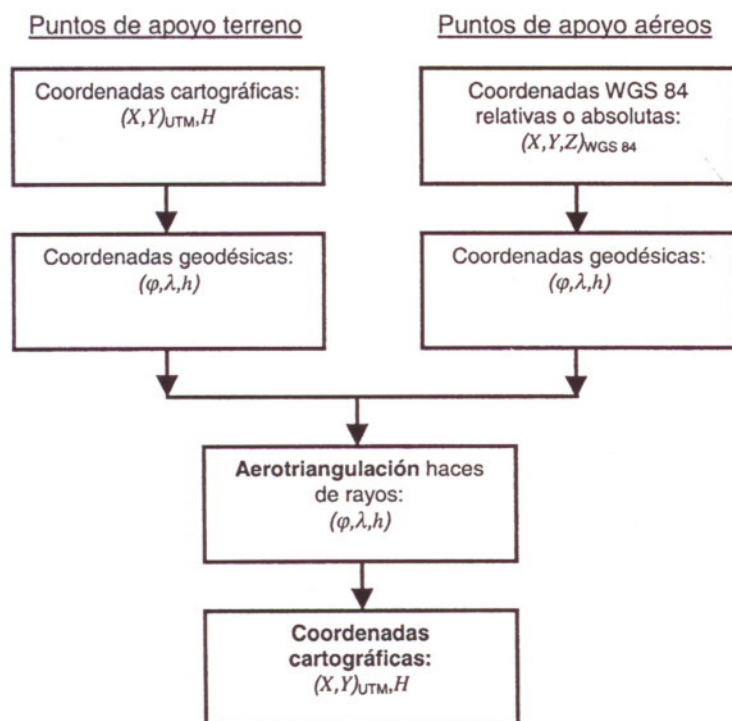


Fig. 7-9. Secuencia de transformaciones de coordenadas previo y postproceso de aerotriangulación sin pasar por el sistema cartesiano local

Las ventajas del uso de coordenadas terreno conocidas son dos: el problema de la transferencia del datum se resuelve con mayor fiabilidad y precisión, y los errores sistemáticos de orientación interna pueden determinarse durante el proceso de ajuste. No obstante, el número de puntos, la disposición de los mismos y sus calidades marcan finalmente las diferencias en cuanto a la precisión.

7.2.2. MODELO MATEMÁTICO DE AJUSTE COMBINADO AT-GPS

7.2.2.1. Con parámetros de deriva

La AT-GPS utiliza el modelo matemático de triangulación por el método de los haces de rayos definido en el capítulo 6. Concretamente, la generación del sistema de ecuaciones permanece invariante en cuanto al tratamiento de las ecuaciones