

ANEXO B: CONTROL DE CALIDAD

Índice

1.- SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL VUELO LIDAR EN EL MARCO DEL PNOA (PLAN NACIONAL DE ORTOFOTOGRAFÍA AÉREA)	3
1.1.- CONTROL DE CALIDAD DEL VUELO LIDAR	3
1.1.1.- Métodos de Revisión.	3
1.1.2.- Análisis y Test de control sobre la documentación.	5
a.- Análisis y Test de control sobre el vuelo LIDAR	6
1.1.3.- Test de Control de Calidad Geométrico.	9

1.- SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL VUELO LIDAR EN EL MARCO DEL PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea)

1.1.- CONTROL DE CALIDAD DEL VUELO LIDAR

Los vuelos LIDAR se plantean como una alternativa eficaz para la generación de los Modelos Digitales de Elevación a partir de 2009, frente a los ya tradicionales métodos de correlación de imágenes, cuya calidad estaba muy condicionada por la calidad de las imágenes del vuelo y las horas dedicadas a la edición estereoscópica de los modelos obtenidos.

Esta tecnología representa un método directo para la determinación de los modelos digitales de elevación, que se sale de la clásica línea fotogramétrica de obtención de información a partir de las fotografías aéreas. Aunque evidentemente debe existir homogeneidad entre los vuelos fotogramétricos y LIDAR, al emplearse técnicas análogas de orientación de sensores, y establecerse un marco geodésico de referencia común para todos los vuelos, y esto nos permita definir procedimientos de control al disponer de datos derivados comparables de ambas tecnologías, es indudable que las mejoras en precisión altimétrica que presenta la tecnología LIDAR frente a la fotogrametría convencional hacen inviable un control objetivo decisivo comparando ambas fuentes de información, imágenes orientadas y modelos de elevación, sin considerar adicionalmente un control externo de mayor precisión. Por este motivo, se plantea en esta asistencia el empleo de la tecnología GPS para controlar de manera directa la calidad de los datos LIDAR, como complemento al control de gabinete, que evidentemente servirá para detectar errores groseros y de integridad de datos.

En este documento se establecen los controles de calidad que se realizarán sobre los modelos digitales del terreno de alta precisión, obtenidos mediante tecnología LIDAR.

Estos requisitos harán referencia, por una parte, a la calidad geométrica, ya que deben servir de referencia cartográfica del Sistema Gráfico y, por otra, a un análisis de densidades y cobertura de las zonas voladas.

1.1.1.- Métodos de Revisión.

Los trabajos de control de calidad del vuelo LIDAR, incluirán por una parte, el análisis de la documentación generada en las distintas actividades del proyecto: vuelo orientación del sensor, cálculo de trayectorias, área cubierta, densidad media, y recubrimientos transversales, clasificación automática, depuración y generación de la malla del MDE (Modelos Digitales del Terreno, Líneas de Ruptura y Modelos de

Superficie), revisando la metodología, medios técnicos empleados y parámetros de precisión obtenidos en cada una de las actividades, y por otro lado, la realización de una serie de test de control, con la ayuda de una serie de herramientas que permitan valorar de manera objetiva las precisiones reales conseguidas en distintas actividades del proyecto que se consideran determinantes para garantizar la calidad del producto final.

Para verificar la calidad geométrica y concluir si los productos cumplen con las precisiones exigidas, se realizarán análisis estadísticos entre las coordenadas de puntos medidos sobre el terreno y sus correspondientes coordenadas obtenidas de los modelos digitales. Se realizarán observaciones GPS en campos de control para el ajuste de las pasadas longitudinales con las pasadas transversales, así como de una serie de puntos a lo largo de carreteras y caminos, que servirán para la comprobación con los datos LIDAR observados.

En el actual proyecto PNOA, se hace una primera clasificación de productos finales, con distintos objetivos y tolerancias, y por tanto, con un planteamiento particular adaptado a cada uno de ellos en control de calidad.

Por otro lado, se distingue entre distintas resoluciones para la obtención de los Modelos Digitales de Terreno obtenidos por tecnología LIDAR, que para los obtenidos mediante fotogrametría, con correlación.

Los controles de calidad se llevarán a cabo en tiempo de ejecución del proyecto, por fases de realización. Por motivos de disponibilidad de producto, puede verse alterado el orden de los controles, a criterio de la Dirección Técnica del proyecto, debiéndose controlar finalmente en cualquier caso cada una de las fases y productos generados en el proyecto.

En cualquier caso, los controles de calidad previstos se harán con arreglo a un plazo estimado de respuesta por bloque y fase de producción, teniendo en cuenta una única entrega de la documentación de cada fase y un único control, que incluirá el análisis de la resolución de incidencias. No están contemplados en esta asistencia, ni valorados en el presupuesto, segundos controles de la documentación del proyecto motivados por la alteración del orden de las entregas.

En la producción de Modelos Digitales del Terreno, se contempla analizar los datos técnicos del vuelo LIDAR, así como la clasificación automática, depuración de esta, y la generación de la malla del MDE.

Los criterios de aceptación de un bloque de aerotriangulación serán, en general para todas las fases, de un 100% de cumplimiento tanto en criterios técnicos de planificación (medios técnicos a emplear, certificaciones, configuración de bloques, etc.), parametrización (resolución del MDE, etc) y metodología de producción (MDE, técnicas de mosaicado, etc), como en criterios técnicos adoptados para los datos y los metadatos (formatos de MDE, de imagen, nomenclatura, estructura de información, informes de proyecto, etc), y de un 95% de cumplimiento para los productos y parámetros resultantes siguientes:

1ª Fase: Para el vuelo el criterio de aceptación será cuando haya menos de un 5% de datos que incumplan alguna de las especificaciones del proyecto: Variaciones en altura de vuelo planificada, recubrimientos longitudinal y transversal, desviaciones respecto de las posiciones planificadas de las fotografías, precisiones resultantes del apoyo GPS/IMU, y zonas no justificadas sin cobertura.

2ª Fase: Menos de un 5% de puntos controlados, que incumplan alguna de las especificaciones del proyecto: Precisión en el cálculo de las líneas base, RMSE planimétricos y altimétricos; precisión en la comparación de los puntos obtenidos con los campos de control.

En el siguiente cuadro se resumen las tolerancias específicas de cada una de las series PNOA:

	MDE
LIDAR	RMSE $z \leq 0,20$ m RMax $z \leq 0,40$ m

1.1.2.- Análisis y Test de control sobre la documentación.

Para la realización de los controles de calidad de gabinete de los Modelos Digitales de Elevaciones producidos en el PNOA hay que distinguir dos métodos de revisión:

- Análisis. Este método consiste en el estudio y evaluación de la documentación generada en las distintas actividades del proyecto, habitualmente memorias, datos derivados y reportes de cálculo, comprobando el cumplimiento de los requisitos exigidos en el pliego de prescripciones del PNOA.

- Test de Control. Este método de comprobación se basa en el estudio y evaluación de los resultados derivados de los programas de control aplicados a la documentación requerida. Los programas y/o procedimientos empleados para los distintos tests de control son:

1. Módulo Flight del programa CVuelosDTM, desarrollado por Tragsatec, para analizar los recubrimientos de la planificación y/o del vuelo ejecutado.
2. Ashtech Office Suite v1.6 y Leica GeoOffice para el procesado GPS del vuelo.
3. Módulo MDT del programa CVuelosDTM, desarrollado por Tragsatec, para determinar el paso de malla, el corte, los histogramas de frecuencia de cota y las imágenes TIFF de altura de cada MDE.
4. Módulo MDT Compare de CVuelosDTM, desarrollado por Tragsatec, para obtener las imágenes TIFF de diferencias entre el MDT y el MDS.
5. Módulo ITE de Socet SET para exploración estereoscópica de los MDE's. Medición de la malla de control (posado manual estereoscópico).

Para la realización del control de calidad de cada fase del proyecto, se deberá suministrar, por parte del IGN, la documentación necesaria descrita en las tablas incluidas en el apartado "2.1.4. Programa de puntos de Revisión" de este documento.

El formato de la documentación deberá ser el establecido en las normas PNOA.

a.- Análisis y Test de control sobre los productos del PNOA del vuelo LIDAR

Para la realización de los diferentes análisis y test de control de calidad de los productos del PNOA del vuelo LIDAR, se necesita disponer, al menos de la siguiente información. Dicha información se ha agrupado en función de la fase y la actividad a controlar:

1ª Fase (Vuelo digital):

- Vuelo: tabla con la planificación del vuelo, memoria descriptiva del vuelo ejecutado, certificado de calibración del sensor empleado, documentación de los sistemas IMU/INS, base de datos del vuelo ejecutado, ficheros en formato LAS, ficheros RINEX del receptor asociado a la cámara y de la estación de referencia.

2ª Fase (MDE):

- Modelos Digitales del Terreno y de Superficie: ficheros de los MDE's y modelo de sombreado.
- Si se ha realizado vuelo LIDAR para la obtención del MDE, en esta fase se deberá contar con las especificaciones y el certificado de calibración del Sensor. Se deberá disponer de los ficheros con los datos brutos en formato LAS, así como de los ficheros RINEX de la estación de Referencia y de los ficheros del receptor GPS y de la IMU conectados al LIDAR.

Además, se adjuntará una memoria con los datos generales del proyecto y los resultados de los procesos, cálculos y controles internos realizados por actividad, de acuerdo al siguiente formato definido en el PNOA:

- 071002 PNOA Informe descriptivo de produccion-DIGITAL.xls

Las comprobaciones se realizarán de acuerdo a las tolerancias fijadas para cada actividad en el pliego de prescripciones del PNOA, para la obtención de Modelos Digitales de Elevaciones con tecnología LiDAR

Los **tests de control** previstos para cada fase tienen por objeto analizar los parámetros que más pueden incidir en la calidad geométrica del producto:

1ª Fase (Vuelo digital):

- Test de zona a cubrir, densidad de puntos LIDAR, siendo analizado según queda reflejado en las especificaciones técnicas (100%).
- Test de recubrimiento entre pasadas (100%): se realizará de forma numérica o gráfica, de forma que se pueda comprobar que el recubrimiento transversal tiene una media de un 15%.
- Test de zonas sin cobertura (100%): a partir de los ficheros LAS se obtienen los polígonos que delimitan las áreas sin información. Se calcula la superficie de estos polígonos, y se comprueba que no existen zonas $>12 \text{ m}^2$ sin ningún retorno, sin causa justificada.

- Test de diferencias entre coordenadas del vuelo planificado y el vuelo ejecutado (100%): se realizará de forma numérica o gráfica, de forma que se pueda comprobar que no existen diferencias que superen la tolerancia establecida en el proyecto entre el vuelo planificado y el vuelo ejecutado. Este control se realizará siempre que se haya controlado la planificación antes del vuelo y cumpla con las especificaciones.
- Test de procesado GPS del vuelo: (10%) realizado para estimar la precisión relativa en la determinación de las trayectorias GPS, a partir de los ficheros Rinex del GPS asociado al sensor, con su registro de eventos, y los ficheros Rinex de la estación GPS de referencia.
- Test distancia entre receptores (100%): se comprobará que durante el proceso de captura, no exista una diferencia mayor de 40 km entre la estación de referencia, y el receptor del avión.

2ª Fase (Orientación del sensor):

- Test de RMSE de los ángulos de actitud (100%): La precisión global en la determinación de la actitud para vuelos con GPS/IMU, no debe conducir a errores angulares superiores a $0,005^\circ$ (balanceo y cabeceo, roll y pitch) y $0,008^\circ$ (guiñada y yaw).
- Test de precisión global vertical nadiral después del procesado (10%): la precisión global nadiral después del procesado será inferior a 20 cm RMSEz (1 sigma).
- Test de precisión del MDT LiDAR: la precisión global horizontal fuera y dentro del nadir después del procesado será de $\text{RMSEz} \leq 0,40 \text{ m}$

3ª Fase (MDE):

- Test de paso de malla del MDE (100%): se procederá a la lectura de cada uno de los ficheros ASCII aportados en formato GRID (MDT y MDS) para determinar el paso de malla de cada uno de ellos.
- Test de corte del MDE (100%): de la misma forma que en el test anterior, se procederá a la lectura de cada uno de los ficheros ASCII aportados en formato GRID (MDT y MDS) extrayendo las coordenadas (X,Y) máximas y mínimas que serán comparadas con las coordenadas establecidas en el proyecto. De esta forma se podrá comprobar si el corte de los ficheros está de acuerdo al corte establecido en el proyecto o si por el contrario, el corte aportado difiere por exceso o por defecto con el corte especificado en el proyecto.
- Test de generación de histogramas e imágenes TIFF de diferencias entre el MDT y el MDS (10%): diseñado para detectar, por un lado puntos de cota fugada y por otro lado, poner de manifiesto las posibles diferencias altimétricas entre el MDT y el MDS que no se correspondan con líneas de ruptura artificiales.
- Test de procesado GPS del vuelo LIDAR: (10%) realizado para estimar la precisión en la determinación de la trayectoria GPS, a partir de los ficheros del GPS y de la IMU asociado al LIDAR, y los ficheros Rinex de la estación GPS de referencia.

- Test de integridad de ficheros LAS del vuelo LIDAR (100%): para contrastar la integridad de los datos LIDAR, existencia de múltiples retornos, valores de intensidad, ausencia de datos, espaciado y densidad de puntos, etc.
- Test de geometría externa del MDE obtenido por métodos LIDAR (10%): para contrastar la calidad altimétrica del MDE obtenido por tecnología LIDAR, se levantarán en campo una serie de puntos y trayectorias mediante técnicas GPS que posteriormente, en gabinete, se compararán con el valor de cota interpolado en el MDE. Con esta comparación altimétrica se determinarán los parámetros estadísticos (media, Stdv, RMSZ) de las diferencias de coordenadas altimétricas entre el "campo" y el MDE. La descripción de este test con las tolerancias fijadas según las especificaciones se detallan en el apartado 2.1.3.- Test de control de calidad geométrico

Adicionalmente a estos test de calidad, se realizarán los siguientes controles en base al **análisis de la documentación aportada**.

1ª Fase (Vuelo digital):

- Análisis documentación de vuelo (100%): Se revisará la documentación aportada en la oferta y la memoria de vuelo para comprobar que los medios técnicos empleados en la ejecución del vuelo coinciden con los ofertados y cumplen con los requisitos del pliego de prescripciones técnicas. Se revisarán los certificados de calibración del sensor LIDAR, y del sistema IMU/GNSS. Se analizarán los informes meteorológicos entregados para detectar posibles incidencias de humos, nubes y sombras que puedan estar presentes en el vuelo. Se comprobarán que las fechas y horas de vuelo cumplan con la tolerancia establecida en el pliego.
- Análisis visual en 3D de los ficheros LAS: se realizará una inspección visual tridimensional para evaluar la calidad de los ficheros LAS. Se contemplarán aspectos como la detección de puntos fugados o puntos de baja intensidad.

2ª Fase (Orientación del sensor):

- Análisis de la base de datos del vuelo y cálculo de trayectorias.

3ª Fase (MDE):

- Análisis de la documentación de generación del MDE (100%): Se revisarán aspectos como: metodología y medios técnicos empleados, Se analizará la clasificación de las líneas de ruptura. Se comprobará el formato de las líneas de rotura empleadas.
- Análisis de los datos del vuelo LIDAR (100%): se analizará el certificado de calibración y las especificaciones del sensor. Se visualizarán las imágenes de intensidad para comprobar la cobertura del vuelo LIDAR, confirmando si recubre todo el ámbito de trabajo.

1.1.3.- Test de Control de Calidad Geométrico.

El test de control de calidad geométrico se aplica a los modelos digitales de elevación obtenidos mediante tecnología LIDAR. Su objetivo es conocer mediante un procedimiento externo las precisiones alcanzadas por estos productos tanto nivel planimétrico como altimétrico, respectivamente, para verificar si cumple con las especificaciones marcadas. La forma más simple y fiable de realizar este proceso, es contrastar las medidas proporcionadas por el modelo digital de elevaciones de una serie de puntos bien definidos con los correspondientes valores obtenidos por observación directa en el terreno. El modelo cumple con los requisitos geométricos cuando los valores de los parámetros de precisión calculados a partir de estas discrepancias no sobrepasen las tolerancias fijadas.

Para el caso de los modelos digitales de elevación, el parámetro de precisión es el RMSE en altimetría.

El proceso de validación de la geometría de los modelos digitales está basado en la medición de una muestra de puntos de control (de archivo, de calidad contrastada y de nueva observación) en un 10% de los bloques.

Para el control de los modelos digitales LIDAR, al requerir una muestra mayor de puntos para que sea estadísticamente representativa, está previsto el levantamiento adicional de trayectorias de puntos mediante métodos cinemáticos GPS.

Para los modelos digitales, los puntos de control se contrastarán contra los puntos del modelo digital de elevaciones, obteniendo la cota para la posición planimétrica del punto, por interpolación bilineal a partir de los puntos de la malla, y obteniendo la discrepancia altimétrica para cada punto. A partir de estas discrepancias se obtendrá, asimismo, el RMSE del conjunto, para la componente Z, así como los valores de la media y de la desviación típica.

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CONTROL GEOMETRICO DE CAMPO

BLOQUE/ HOJAS	Fecha	Nº Puntos de Control Geométrico	μ_x	μ_y	μ_z	σ_x	σ_y	σ_z	RMSE X	RMSE Y	RMSE Z

Un punto que exceda la máxima discrepancia tolerable¹ puede considerarse un error grosero si en otra inspección del punto revelase que la decisión está justificada (tipo de punto, inseguridad de su posición, etc.). No se elimina de la serie de datos de la muestra ningún punto que esté dentro de la tolerancia máxima.

Se “Rechaza” un bloque cuando se cumpla alguno de los siguientes casos:

- Si el RMSE calculado es mayor que el RMSE tolerable especificado en las recomendaciones técnicas.
- Si existe algún punto de comprobación claramente identificable sobre el terreno que sin justificación exceda de la máxima discrepancia tolerable.
- Si existe más de un 5% de puntos de comprobación que exceda de la máxima discrepancia tolerable.

No serán de aplicación estos criterios si el número de puntos de control bien definidos es insuficiente ($n < 20$). En este caso, si cuando el bloque no cumpla alguno de los requisitos expuestos, se notificará al IGN para que este haga un estudio detallado.

¹ (La definición del concepto de *máxima discrepancia tolerable* es tres veces el RMSE **calculado**)