

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 EN EL MARCO DEL PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) | 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 |
| 1.1.4.- Programa de Puntos de Revisión. | 10 |

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 DE LOS VUELOS LIDAR, EN EL MARCO DEL PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea)

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 decisorio 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.

1.1.4.- Programa de Puntos de Revisión.

En las tablas (tablas1, 2 y 3) que se incluye al final de este apartado, se describen los puntos a revisar en cada una de las actividades del proyecto, el alcance o porcentaje donde se aplicarán los controles, y el método de revisión. En estas tablas se incluirá un campo para el resultado del control, y otro campo para las observaciones de los controles realizados, constituyendo, en sí mismo, un modelo de informe de resultados de los controles de calidad, que es el que está previsto generar, junto con los anexos por fases resultantes de los distintos Test de Control. Los parámetros específicos de tolerancia que aplican a cada serie de Ortofotografías (PNOA10, PNOA25 y PNOA50) se establecen en un cuadro anexo (tabla 4), haciéndose referencia a ellos en la tabla general.

Los puntos o entidades de revisión son los parámetros más relevantes que puedan incidir en la precisión o en la calidad radiométrica de las Ortofotos. Dichos

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

puntos y entidades de revisión han sido extraídos de las diferentes especificaciones definidas para el PNOA:

- 070321 Especificaciones técnicas PNOA Analógico 2007 25cm.xls
- 070321 Especificaciones técnicas PNOA Analógico 2007 50cm.xls
- 070321 Especificaciones técnicas PNOA Digital 2007 25cm.xls
- 070321 Especificaciones técnicas PNOA Digital 2007 50cm.xls
- 070329 Especificaciones técnicas PNOA Digital 2007 10cm.xls

Los resultados de los controles se reflejarán sobre el mismo cuadro, para cada actividad de cada una de las fases, a medida que estas se vayan finalizando, indicando si cumple o no cumple cada entidad controlada, e indicando las correspondientes observaciones en caso de detectarse alguna incidencia, haciendo referencia a los documentos anexos con el detalle justificativo. Es responsabilidad de la Dirección Técnica del IGN concluir si una fase del proyecto es válida o no, en función del grado de cumplimiento de cada una, y de las incidencias detectadas.

| ACTIVIDAD | ENTIDAD A CONTROLAR | PARÁMETRO DE CONTROL | MÉTODO DE COMPROBACIÓN | ALCANCE | TOLERANCIA | NIVEL DE ACEPTACIÓN | DOCUMENTACIÓN NECESARIA (1) | OBSERVACIÓN APLICACIÓN |
|------------------------------|---|--|------------------------|-------------|--|---------------------|--|----------------------------|
| Vuelo fotogramétrico GPS/INS | Métodología y medios técnicos (Cámara y equipos auxiliares, software de navegación y postproceso, receptores GPS asociados a la cámara y estación de referencia,etc.) | Distancia focal, distorsiones del objetivo, poder separador del objetivo (AWAR), antigüedad del certificado de calibración. Características de los receptores GPS asociados a la cámara de vuelo y el de la estación de referencia | Análisis | 100% | Vuelo Analógico: Focal 153 mm.Antigüedad del certificado = 24 meses < 10 micras en un radio de 100 mm del Punto Prindpal AWAR = 90 lp/mm (calculado hasta el ángulo de campo de 45º) AWAR = 100 lp/mm (calculado hasta el ángulo de campo de 40º) Vuelo Digital: Matricial. Dimensiones imagen pancromática:al menos 5.000 columnas y 10.000 filas, y la imagen multispectral al menos 5 veces inferior.4 bandas (azul, verde, rojo, infrarrojo cercano. Al menos 12 bits por banda. Antigüedad del certificado = 24 meses | 100% | Documentación técnica con los medios ofertados Certificados de calibración de las cámaras Documentación de los sistemas IMU/INS Memoria de vuelo | |
| | Película empleada, informe de revelado | Poder separador | Análisis | 100% | = 55 lp/mm para TOC 1,6:1 = 100 lp/mm para TOC 1000:1 RMS de granularidad medida a una densidad visual difusa de 1.0 (apertura 48 micras) = 16 - D. mínima de 0,4 D +/- 0,1 - D. máxima de 1,5 D - densidad base: 0,2 +/- 0,1 | 100% | Negativos originales. | NO APLICA EN VUELO DIGITAL |
| | | Granularidad | | | | | | |
| | | Densidades obtenidas | | | | | | |
| | Planificación del vuelo Cobertura estereoscópica del ámbito de trabajo | Escalas/GSD, recubrimientos longitudinal y transversal | Test de Control | 100% | - Recubrimiento Longitudinal 60% +/-3% - Recubrimiento Transversal mínimo de 25% - Dirección de las Pasadas: D_{POA} - Longitud máxima de la pasada: L_{POA} Vuelo Analógico: - Escala nominal 1/ E_{VF} - Variaciones de la altura de vuelo menores de 5% por arriba y de 2% por abajo. Vuelo Digital: - Altura de vuelo de cada pasada tal que se cumpla simultáneamente: 1) El tamaño de pixel medio para toda la pasada será de GSD_{VF} +/- 10 % 2) No habrá mas de un A % de fotogramas en cada pasada con píxel medio del fotograma mayor de GSD_{VF_max} | 95% | Tabla de planificación del vuelo con identificador de foto, X, Y, Z | |
| | | Cobertura estereoscópica | Análisis | 100% | Garantice el recubrimiento estereoscópico de todo el bloque de vuelo. Se completarán hojas MTN Margen al norte y al sur de la zona de al menos un 15% del formato transversal de la imagen. Al principio y final de las pasadas deberá existir 2 fotogramas fuera del ámbito de trabajo | | | |
| | Vuelo ejecutado Derivas | Escalas/GSD, recubrimientos longitudinal y transversal | Test de Control | 100% | - Recubrimiento Longitudinal 60% +/-3% - Recubrimiento Transversal mínimo de 25% - Dirección de las Pasadas D_{POA} - Longitud máxima de la pasada: L_{POA} Vuelo Analógico: - Escala nominal 1/ E_{VF} - Variaciones de la altura de vuelo menores de 5% por arriba y de 2% por abajo. Vuelo Digital: - Altura de vuelo de cada pasada tal que se cumpla simultáneamente: 1) El tamaño de pixel medio para toda la pasada será de GSD_{VF} +/- 10 % 2) No habrá mas de un 10 % de fotogramas en cada pasada con píxel medio del fotograma mayor de GSD_{VF_max} | 95% | Memoria y base de datos del vuelo Ficheros digitales del vuelo | |
| | | Diferencias entre coordenadas de vuelo y planificadas | | < 50 metros | | | | |
| | | Inclinación Solar Fechas y horas de vuelo | Análisis | 100% | - Altura solar =40 grados sexagesimales. - Fechas de vuelo: Entre el 1 de Abril y el 15 de Octubre. - < 20% de Superficie de agua por fotograma. - No debe existir fenómenos atmosféricos que dificulten la visibilidad del terreno (nubes,humos,etc.) | | | |
| | | Incidencias en el vuelo | | | < 40 Km | | | |
| | Precisión de postproceso de los centros de proyección de cada fotograma | Distanda entre Receptores | Test de Control | 10% | RMSE = 15 cm (X,Y,Z) | 95% de la muestra | Ficheros de observaciones GPS en formato RINEX del receptor asociado a la cámara y de la estación de referencia Base de datos del vuelo con registro de eventos | |
| | | RMSE del postproceso de los centros de proyección | | | | | | |

| ACTIVIDAD | ENTIDAD A CONTROLAR | PARÁMETRO DE CONTROL | MÉTODO DE COMPROBACIÓN | ALCANCE | TOLERANCIA | NIVEL DE ACEPTACIÓN | DOCUMENTACIÓN NECESARIA (1) | OBSERVACIÓN APLICACIÓN |
|-----------------|---|---|------------------------|---------|---|---------------------|--|----------------------------|
| | Medios técnicos y metodología | Resolución geométrica | Análisis | 100% | Entre 12 y 15 micras | 100% | Vuelo analógico: Memoria del escaneado Certificado de calibración del escáner Vuelo Digital: Fotografías digitales | NO APLICA EN VUELO |
| | | Resolución Radiométrica Formato imágenes | | | 8 bits por banda/16 bits, RGBI o RGB - NIR TIFF 6 | | | |
| | | Rango de densidades registrables. Ruido radiométrico | | | Intervalo mínimo entre 0,2 D y 3,4 D para imágenes en color. Rango dinámico mínimo de 2,5 D Ruido = 0,03D | | | NO APLICA EN VUELO DIGITAL |
| | Certificado de Calibración del escáner en vigor | Precisión Geométrica del Escáner Vigencia del certificado de calibración | Análisis | 100% | RMSE = 3 micras en cada eje (x,y) Antigüedad < 1 año | 100% | Certificado de calibración del escáner | NO APLICA EN VUELO DIGITAL |
| | Radiometría de las fotografías digitales | Medias, desviación estándar, % 0, %255 | Test de Control | 100% | Valores de gris sin representación < 10% No se admitirán imágenes que tengan una saturación superior a 0,5% para cada banda en los extremos del histograma | 95% | Fotografías aéreas en formato digital | |
| | Fotografías digitales: | Rayas, suciedad (polvo, pelos) Compresión y remuestreo | Análisis | 10% | Imágenes libres de Rayas, pelos, motas de polvo... No se permiten ningún tipo de formatos comprimidos ni imágenes remuestreadas | 95% de la muestra | Fotografías aéreas en formato digital | NO APLICA EN VUELO DIGITAL |
| | | Aspecto | | | Conforme al negativo | | | NO APLICA EN VUELO DIGITAL |
| | | Orientación | | | Pasadas horizontales: ficheros orientados al Norte Pasadas oblicuas: dirección más próxima al Norte | | | |
| | Geometría Interna de las fotografías digitales | Error máximo en x e y | Test de Control | 10% | < 20 micras | 95% de la muestra | Fotografías aéreas en formato digital Certificado de calibración de la cámara Datos de orientación interna | NO APLICA EN VUELO DIGITAL |
| | | RMS | | | < 15 micras | | | |
| | Georreferenciación aproximada de imágenes de pasadas horizontales | Resolución geométrica | Test de Control | 100% | Vuelo analógico: E_{vf} x resolución de escaneo (GSD vuelo) Vuelo digital: GSD_{vf} (GSD vuelo) | 100% | Fotografías aéreas en formato digital Ficheros TFW de georreferenciación aproximada | |
| | | Coordenadas x,y del fichero tfw | | | $x = X$ del centro de proyección - Nº columnas / 2 x GSD vuelo $y = Y$ del centro de proyección + Nºfilas / 2 x GSD vuelo | | | |
| Ortofoto rápida | Medios Técnicos (software) y metodología | Software empleado | Análisis | 100% | Permitir flujo de trabajo digital | 100% | Memoria del procedimiento de generación de ortofotos rápida | NO APLICA EN PNOA10 |
| | Resolución espacial y radiométrica | GSD Profundidad de color | Análisis | 100% | GSD_{of} RGB 24 bits (8 bits por canal) | 100% | Ficheros con los mosaico comprimido en ECW por hojas MTN50 | NO APLICA EN PNOA10 |

Tabla 1. Programa de puntos de revisión. Fase de Vuelo y Ortofotografía Rápida

| ACTIVIDAD | ENTIDAD A CONTROLAR | PARÁMETRO DE CONTROL | MÉTODO DE COMPROBACIÓN | ALCANCE | TOLERANCIA | NIVEL DE ACEPTACIÓN | DOCUMENTACIÓN NECESARIA (1) | OBSERVACIÓN APLICACIÓN |
|------------------------|--|--|-----------------------------|-------------|--|---------------------|---|------------------------|
| Orientación del Sensor | Medios Técnicos (software y equipos) y metodología. | Número de satélites Precisión en posición PDOP Máscara de elevación Tiempo de observación Épocas registradas | Análisis | 100% | $\sigma = 5$ $PDOP < 6$ $> 15^\circ$ sexagesimales > 10 minutos Mínimo de 120 épocas registradas | 100% | Memoria del apoyo | |
| | | Ficha técnica de los receptores G.P.S. Datos técnicos del Sw de procesado | | | Receptores bifrecuencia El software debe permitir el procesado de la fase y el código de las observaciones GPS | | | |
| | Configuración de vértices regente y puntos de apoyo | Configuración apoyo | Análisis | 100% | Apoyo convencional: - Puntos dobles en las esquinas del bloque Vuelo analógico o digital con sensor matricial: - Un punto por cada 3 modelos en la primera y última pasada - Un punto por cada 5 modelos en el resto de las pasadas Vuelo digital con sensor lineal: - Un punto por cada kilómetro en la primera y última pasada - Un punto por cada 2 kilómetros en el resto de las pasadas | 100% | Memoria del apoyo | |
| | | | | | Apoyo de campo para aerotriangulación con datos GPS / INS de vuelo sin pasadas transversales: - Puntos dobles en las esquinas del bloque Vuelo analógico o digital con sensor matricial: - Un punto de chequeo en cada esquina de hoja MTN50 En caso de configuración lineal de vuelo, se añadirán puntos de chequeo adicionales cada 20 fotografías a lo largo de la pasada. Vuelo digital con sensor lineal: - Un punto de chequeo en el centro de cada pasada | | | |
| | | | | | < 20 km en 90% de los casos | | | |
| | Procesado de Observaciones GPS Cálculo y compensación de los puntos de apoyo Sistema geodésico de referencia | Precisión en el cálculo de las base líneas RMSE de los puntos de apoyo en ETRS89 | Test de Control | 10% | $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ parte por millón (mm/Km)}$ - Planimetría: $RMSE = RMSE_{AC,X,Y}$ - Altimetría: $RMSE = RMSE_{AC,Z}$ | 95% de la muestra | Ficheros RINEX de los puntos de apoyo y estaciones de referencia Reseñas de vértices Informes de resultados del cálculo | |
| | | | | | método digital, utilizando parámetros GPS de vuelo Ajuste por haces. | | | |
| | Medios Técnicos (software) y metodología | Procedimiento de medida, cálculo y ajuste Características del software | Análisis | 100% | Permita ajuste por haces independientes con datos GPS. de vuelo | 100% | Memoria y datos de la aerotriangulación | |
| | | | | | | | | |
| | Bloque de aerotriangulación Medición de puntos de apoyo | Patrón de puntos de enlace | Análisis | 100% | Mínimo 2 puntos de enlace en cada zona de Von Grüber Garantizando que al menos 1 punto en cada zona de Von Grüber se transfiera a pasadas colindantes cumpliendo la condición sextuple | 100% | Memoria y datos de la aerotriangulación | |
| | | Número de pasadas y de fotografías por pasada | | | PNOA25 o PNOA50: Para cada Comunidad Autónoma, el bloque de aerotriangulación contendrá completas todas las hojas MTN incluidas total o parcialmente en el territorio de esa comunidad PNOA10: Sensor lineal: $L_{pas} \times L_{pas}$ Sensor matricial: Contendrá como máximo 1000 fotografías y las pasadas no excederán de 60 fotografías. | | | |
| | Ajuste del bloque fotogramétrico | Geometría interna del bloque (Círculos) Parámetros de Orientación exterior Residuos y RMSE en X,Y y Z de los P.A. | Análisis Test de control | 100% 10% | $< 1/2 \text{ pixel}$ Vuelo analógico: Planimetría: $RMSE = (E_{vy} \times \text{resolución de escaneo}) \text{ m}$ Altimetría: $RMSE = (E_{vz} \times \text{resolución de escaneo}) \text{ m}$ Residuo máximo = $1.5 \times (E_{vy} \times \text{resolución de escaneo}) \text{ m}$ Vuelo digital: Planimetría: $RMSE = GSD_{vy}$ Altimetría: $RMSE = GSD_{vz}$ Residuo máximo = $1.5 \times GSD_{vy}$ | 95% de la muestra | Certificado de calibración de la cámara Reseñas de P.A y Vértices geodésicos. Informes de resultados del cálculo, parámetros de orientación | |
| | | | | | | | | |

Tabla 2. Programa de puntos de revisión. Fase de Orientación del Sensor

| ACTIVIDAD | ENTIDAD A CONTROLAR | PARÁMETRO DE CONTROL | MÉTODO DE COMPROBACIÓN | ALCANCE | TOLERANCIA | NIVEL DE ACEPTACIÓN | DOCUMENTACIÓN NECESARIA (1) | OBSERVACIÓN APLICACIÓN |
|----------------------------------|--|--|-----------------------------|---------|--|---------------------|--|------------------------|
| Modelo Digital de Elevaciones | Memoria del cálculo de los MDE: Medios Técnicos (software) y metodología Método de transformación a TIN Método de revisión en modo TIN | Método de generación del GRID Método de revisión | Análisis | 100% | PNOA25 o PNOA50: Correlación automática y depuración estereoscópica interactiva o LIDAR Podrán ser utilizados Modelos Digitales del Terreno procedentes de organismos cartográficos oficiales, siempre que reúnan las siguientes condiciones: - Cumplirán estrictamente las precisiones exigidas en este pliego de especificaciones técnicas. - Dichos Modelos Digitales del Terreno serán objeto de revisiones sistemáticas con observación estereoscópica para su actualización. - La actualización se realizará a la fecha del vuelo PNOA que se esté ortoproyectando. PNOA10: Se realizará el levantamiento obligatoriamente con sistema aerotransportado LIDAR | 100% | Memoria del cálculo de los MDE Ficheros de los MDT, MDS y modelo se sombreado | |
| | | Trazado de las líneas de rotura | | | Trazado manual mediante técnicas estereoscópicas | | | |
| | Paso de malla en el proceso de generación por correlación automática Corte de los ficheros de los MDE Líneas de ruptura Modelo de superficie | Paso de malla Corte del MDE | Test de Control | 100% | GSD_{EL} PNOA25 o PNOA50: Rectángulo que contiene a la Hoja MTN pertenecientes a la HMTN25 PNOA10: Se consultarán con la Dirección Técnica | 100% | Memoria del cálculo de los MDE Ficheros de los MDT, MDS y modelo se sombreado | |
| | Precisión relativa de los MDE: RMSZ y error máximo. | RMSE Z Error máximo en z | | | = RMSE_{EL,Z} = Em_{axEL,Z} en el 95% de los casos No podrá haber ningún punto con un error superior a Z_{EL,max} | | | |
| | Medios Técnicos (software) y metodología Resolución espacial y radiométrica Métodos de interpolación Geometría interna de las ortofotos Geometría relativa del mosaico de las ortofotos Radiometría interna de las ortofotos Aspecto visual Radiometría del mosaico Líneas de mosaico Corte Formato Georreferenciación (ETRS89 y ED50) Orientación. Geometría externa de las ortofotos: | Software empleado | Análisis | 100% | Permitir flujo de trabajo digital | 100% | Memoria de ortoproyección y mosaico | |
| | | GSD Profundidad de color Método de interpolación | Análisis | 100% | GSD_{OP} 24 bits (8 bits por canal) Bilineal o Bicúbica | 100% | Ficheros de las ortofotos digitales | |
| | | Deformaciones Desplazamientos | Análisis | 100% | Deformaciones no apreciables a la escala de representación Desplazamientos menores de dos píxeles | 100% | Ficheros de las ortofotos digitales | |
| | | Desplazamientos | Análisis | 100% | Desplazamientos menores de dos píxeles | 100% | Ficheros de las ortofotos digitales | |
| | | Aspecto | Análisis Test de control | 100% | Colores naturales. | 95% | Ficheros de las ortofotos digitales | |
| | | Medias, Desviación estándar, % de valores saturados | | | Valores de gris sin representación < 10% Los extremos de los histogramas no tendrán más de 0,5% de píxeles. | | | |
| | | Continuidad Radiométrica Unidad para el equilibrado | Análisis | 100% | No debe existir diferencias radiométricas en el caso de las ortofotografías ZONA DE TRABAJO | 100% | Ficheros de las ortofotos digitales | |
| | | Orientación Corte ficheros y georreferenciación (fichero Tfw) Formato de ortogramas Georreferenciación de ficheros de ortogramas | Análisis Test de control | 100% | Norte UTM Conforme a la BB.DD. de corte de ortofotografías 1/10.000 en ETRS89 y ED50. El formato del fichero Tfw según las especificaciones de ESRI. Ortoproyección de todos los ortogramas para utilizar solo la parte cenográfica | 100% | Ficheros de las ortofotos digitales | |
| | | Formato ficheros imagen | | | TIFF 6 Plano | | | |
| | | RMSE X, Y. | Test de Control | 10% | RMSE = RMSE_{OP,XY} Error máximo = Em_{axOP,XY} en el 95% de los casos No podrá haber ningún punto con un error superior a XY_{OP,max} | 100% | Ficheros de las ortofotos digitales | |
| Grabación y archivo de productos | Ficheros y documentos aportados | Existencia de todos los productos exigidos Número de copias de cada uno Medios de almacenamiento Formatos adecuados Nomenclatura y organización en directorios | Análisis | 100% | Según especificaciones del pliego de prescripciones técnicas | 100% | Medios digitales entregados | |

(1) Los formatos se acordarán con la dirección técnica del proyecto

Tabla 3. Programa de puntos de revisión. Fases de EL, OF y Documentación

| | 10 cm | | 25 cm | | 50 cm | |
|-----------------------------------|---|---------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Digital | | Analógico | Digital | Analógico | Digital |
| | sensor matricial | sensor lineal | | | | |
| D _{PDA} | La que más se adecúe a la zona de trabajo | | Este - Oeste | | | |
| L _{PDA} | 15 Km | | 3 hojas M.T.N.50 | | | |
| E _{VF} | NO APLICA | NO APLICA | 15.000 | NO APLICA | 30.000 | NO APLICA |
| GSD _{VF} | 0,09 metros | 0,09 metros | NO APLICA | 0,22 metros | NO APLICA | 0,45 metros |
| A | 20% | 10% | 10% | | | |
| GSD _{VF_max} | 0,10 metros | | NO APLICA | 0,25 m | NO APLICA | 0,50 m |
| Serie MTN | 2.000 | | 5.000 | | 10.000 | |
| RMSE _{AC_XY} | 0,05 metros | | 0,10 metros | | | |
| RMSE _{AC_Z} | 0,07 metros | | 0,15 metros | | | |
| GSD _{EL} | 1 metro | | 5 metros | | | |
| RMSE _{EL_Z} | 0,20 metros | | 1 metro | | 2 metros | |
| E _{max} _{EL_Z} | 0,40 metros | | 2 metros | | 4 metros | |
| Z _{EL_max} | 0,80 metros | | 4 metros | | 8 metros | |
| GSD _{OF} | 0,10 metros | | 0,25 metros | | 0,50 metros | |
| RMSE _{OF_XY} | 0,20 metros | | 0,50 metros | | 1 metro | |
| E _{max} _{OF_XY} | 0,40 metros | | 1 metro | | 2 metros | |
| XY _{OF_max} | 0,80 metros | | 2 metros | | 4 metros | |

Tabla 4. Parámetros específicos para cada serie