



Junta de Andalucía

Consejería de Fomento,  
Articulación del Territorio y Vivienda

Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía

# ASISTENCIA TÉCNICA TRANSVERSAL, IMPLANTACIÓN BIM Y CAPACITACIÓN PARA GENERACIÓN DE GEMELO DIGITAL DEL METROPOLITANO DE GRANADA Y TRAMBAHÍA CONECTADO CON OTRAS PLATAFORMAS EXPLOTACIÓN

Expediente: TAA-4102/OAT0

## ANEXO 22: DIGITALIZACIÓN. ESPECIFICACIONES PARA NUBES DE PUNTOS



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

CONTROL DE DOCUMENTACIÓN				
REV	FECHA	DESCRIPCIÓN	REDACTADO	APROBADO
01	16/03/2026	Primera versión	VHC	

UTE GEMELO DIGITAL  
wise**build.** **Ingreen** **e civile**

Expediente	TAA-4102/OAT0
Actividad	Anejos al Manual BIM
Título del documento	Digitalización. Especificaciones para nubes de puntos



**ÍNDICE**

**1. INTRODUCCIÓN ..... 3**

**2. OBJETO Y ALCANCE ..... 3**

**3. TIPOS DE LEVANTAMIENTO ..... 4**

3.1. Levantamiento estático terrestre .....4

3.2. Levantamiento móvil embarcado .....5

3.3. Levantamiento móvil aéreo (drone) .....5

3.4. Criterios de selección por zona .....6

**4. PRECISIÓN Y DENSIDAD ..... 6**

4.1. Definiciones .....6

4.2. Valores por tipología de levantamiento .....7

4.3. Verificación .....8

**5. PUNTOS DE CONTROL Y GEORREFERENCIACIÓN ..... 8**

5.1. Sistema de referencia .....8

5.2. Conjuntos de puntos de control .....8

5.3. Criterios de distribución .....9

5.4. Requisitos IMU (levantamiento móvil embarcado) .....9

**6. SOLAPE, ZONAS DE SOMBRA Y CALIDAD .....10**

6.1. Solape mínimo entre escaneos .....10

6.2. Zonas de sombra .....10

6.3. Exclusión de elementos en movimiento y limpieza .....10

6.4. Calibración de equipos .....11

**7. FORMATOS Y ENTREGABLES .....11**

7.1. Formatos de nube de puntos .....11

7.2. Límite de tamaño por archivo .....12

7.3. Organización y codificación .....12

7.4. Imágenes asociadas .....12

**8. INFORME DE PROCESAMIENTO .....12**

8.1. Contenido mínimo .....12

8.2. Métricas y supervisión .....13

**9. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y SUPERVISIÓN .....13**

9.1. Comprobaciones generales .....13

9.2. Comprobaciones geométricas .....13

9.3. Comprobaciones de contenido .....14

9.4. Diferenciación por tipo de contrato .....14

Expediente	TAA-4102/OAT0	2 de 14
Actividad	Anejos al Manual BIM	
Título del documento	Digitalización. Especificaciones para nubes de puntos	



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente anejo desarrolla los requisitos técnicos detallados para la captura, procesamiento y entrega de nubes de puntos en procesos de digitalización de activos existentes de la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía (AOPJA). La Guía de Digitalización y Gemelo Digital BIM (capítulo 12 de este Manual) establece los principios generales del proceso de digitalización y remite a este anejo para las especificaciones técnicas concretas (formatos, densidades, precisiones, criterios de solape, puntos de control y contenido del informe de procesamiento) que no se prescriben en el cuerpo de la guía.

Este anejo tiene carácter prescriptivo y está concebido para su uso directo en los pliegos de licitación de contratos de digitalización, en los Planes de Digitalización de Activos y en la supervisión técnica de los entregables. Los valores y criterios que se establecen constituyen las especificaciones estándar de la Agencia y pueden ser adaptados en los documentos de contratación cuando las características de la infraestructura (tipo de activo, condiciones de captura, requisitos del Gemelo Digital BIM) así lo requieran.

## 2. OBJETO Y ALCANCE

El objetivo de este anejo es definir las especificaciones técnicas que deben cumplir las nubes de puntos generadas en el marco de contratos de digitalización de activos existentes, garantizando que los entregables sean adecuados para su integración en el inventario digital, en los modelos BIM y, en última instancia, en el Gemelo Digital BIM de la Agencia.

El alcance abarca todos los tipos de levantamiento mediante captura de realidad (escaneado láser estático, móvil embarcado o con drones) que se empleen para digitalizar infraestructuras en explotación gestionadas por la Agencia. Las especificaciones se aplican a contratos de digitalización de infraestructuras de transporte (metros, tranvías, ferrocarriles), carreteras, obras hidráulicas y, en general, a cualquier actuación en la que se requiera la captura masiva de la geometría del activo para su modelización BIM y su incorporación al Gemelo Digital.

Tipologías de infraestructura. Las especificaciones de este anejo contemplan dos tipologías principales de levantamiento, que pueden coexistir en un mismo contrato según el ámbito a digitalizar:

- Infraestructura lineal en superficie (vía, plataforma, corredor). Levantamiento mediante escaneado móvil embarcado en vehículo o en unidad de tren, con recorridos planificados en coordinación con el gestor de la infraestructura. Las condiciones de operatividad (ventanas de trabajo, restricciones de tráfico) condicionan la metodología y los requisitos de precisión.
- Instalaciones, edificaciones y zonas de acceso (estaciones, talleres, subestaciones, oficinas). Levantamiento mediante escaneado estático terrestre o móvil de mano, con mayor control sobre la geometría y la cobertura. Permite precisiones más exigentes y una densidad de puntos más homogénea.

Expediente	TAA-4102/OAT0	3 de 14
Actividad	Anejos al Manual BIM	
Título del documento	Digitalización. Especificaciones para nubes de puntos	



Cuando el ámbito del contrato incluya ambas tipologías (por ejemplo, una línea de metro o tranvía con estaciones y talleres), el Plan de Digitalización de Activos deberá definir la asignación de metodología por zona, según los criterios de la sección 18.22.2.

Aplicación en contratos. Este anejo se aplicará a todos los contratos de digitalización de activos existentes en los que la Agencia defina requisitos de nubes de puntos. La Guía de Contratación (capítulo 8) establece el marco para la incorporación de estas especificaciones en los documentos de información (OIR, PIR, EIR) y en los pliegos de licitación. El Plan de Digitalización de Activos, elaborado por la parte contratada principal y aprobado por la Agencia, desarrollará la aplicación concreta de estas especificaciones al ámbito del contrato, incluyendo la metodología por zona, el plan de puntos de control y los criterios de aceptación.

El conocimiento de la Guía de Digitalización y Gemelo Digital BIM (capítulo 12) es necesario para comprender el papel de la nube de puntos dentro del proceso de digitalización en cuatro fases y su relación con el inventario digital y los modelos BIM.

### 3. TIPOS DE LEVANTAMIENTO

El Plan debe definir la metodología de escaneo por zona o tipología de espacio, especificando qué tipo de levantamiento se empleará en cada ámbito y los criterios que justifican esa elección. Las especificaciones de este anejo contemplan tres tipos principales de levantamiento, que pueden combinarse en un mismo contrato según las características del ámbito a digitalizar.

#### 3.1. LEVANTAMIENTO ESTÁTICO TERRESTRE

El levantamiento estático terrestre utiliza escáneres láser montados sobre trípode, que capturan la geometría desde posiciones fijas. Cada posición genera un escaneo independiente que posteriormente se registra y une con los contiguos para formar la nube de puntos completa. Este método ofrece el mayor control sobre la geometría y la cobertura, permitiendo precisiones absolutas más exigentes ( $\pm 5$  cm) y una densidad de puntos homogénea en toda la superficie escaneada.

Ámbito de aplicación. Corredores interiores, estaciones, talleres, subestaciones, oficinas, zonas de acceso y, en general, cualquier espacio cerrado o semiabierto donde el operador pueda colocar el equipo en múltiples posiciones. Es el método preferente para instalaciones fuera de vía en infraestructuras de transporte (metros, tranvías, ferrocarriles) y para edificaciones asociadas a carreteras u obras hidráulicas.

Cobertura. La cobertura mínima exigible será del 98 % de los corredores y zonas de acceso definidos en el ámbito de digitalización. Las zonas no accesibles (confinadas, en servicio restringido o fuera del alcance físico del equipo) se documentarán como limitaciones en el Plan de Digitalización y en el informe de procesamiento.

Expediente	TAA-4102/OAT0	4 de 14
Actividad	Anejos al Manual BIM	
Título del documento	Digitalización. Especificaciones para nubes de puntos	



Ventanas de trabajo. En infraestructuras en explotación, el levantamiento estático requiere ventanas de trabajo acordadas con el gestor de la infraestructura, durante las cuales el espacio queda libre de tráfico o de uso operativo. La planificación de estas ventanas (habitualmente nocturnas en metros y tranvías) es un aspecto crítico del Plan de Digitalización y condiciona el calendario de captura.

### 3.2. LEVANTAMIENTO MÓVIL EMBARCADO

El levantamiento móvil embarcado utiliza sistemas de escaneo láser montados en vehículo o en unidad de tren, que capturan la geometría de forma continua durante el desplazamiento. La georreferenciación se apoya en GNSS, IMU (unidad de medición inercial) y, cuando la señal GNSS es deficiente (túneles, estaciones subterráneas), en puntos de control terrestres distribuidos a lo largo del recorrido.

Ámbito de aplicación. Infraestructura lineal en superficie: vías, plataformas, corredores de carretera, taludes y, en general, cualquier trazado accesible por vehículo o por unidad de tren. Es el método preferente para digitalizar la geometría de la vía y de los elementos asociados (señalización, catenarias, balizamiento) en grandes extensiones, donde el levantamiento estático resultaría inviable por tiempo y coste.

Recorridos. Se realizarán al menos dos recorridos en direcciones opuestas para garantizar la cobertura y reducir zonas de sombra. En vías dobles o múltiples, al menos el 90 % del recorrido debe ser común entre ambas direcciones para asegurar la homogeneidad de la nube. La velocidad de desplazamiento y la frecuencia de captura se ajustarán para cumplir la densidad mínima especificada en la sección 18.22.3.

Ventanas de trabajo. El levantamiento móvil está condicionado por la operatividad de la infraestructura. En metros y tranvías, los recorridos se planificarán en ventanas nocturnas o de mantenimiento, en coordinación con el gestor de la infraestructura. En carreteras, se aplicarán las restricciones de tráfico que correspondan según la normativa de seguridad vial.

### 3.3. LEVANTAMIENTO MÓVIL AÉREO (DRONE)

El levantamiento móvil aéreo utiliza sistemas de escaneo láser o fotogrametría embarcados en aeronaves no tripuladas (drones). Permite capturar geometría de zonas de difícil acceso terrestre (cubiertas, fachadas altas, taludes) y de ámbitos extensos con menor tiempo de campaña que el levantamiento estático.

Ámbito de aplicación. Zonas exteriores de difícil acceso, cubiertas de edificaciones, fachadas elevadas, taludes y desmontes, y como complemento al levantamiento terrestre cuando la cobertura desde el suelo sea insuficiente. No sustituye al levantamiento estático o móvil embarcado en corredores interiores ni en zonas donde la normativa de vuelo restrinja el uso de drones.

Expediente	TAA-4102/OAT0	5 de 14
Actividad	Anejos al Manual BIM	
Título del documento	Digitalización. Especificaciones para nubes de puntos	



Limitaciones. El levantamiento con drones está sujeto a la normativa de espacio aéreo y a las restricciones operativas de la infraestructura. El Plan de Digitalización debe justificar el uso de este método, documentar las autorizaciones necesarias y establecer los criterios de integración con las nubes procedentes de levantamiento terrestre cuando se combinen ambos métodos.

### 3.4. CRITERIOS DE SELECCIÓN POR ZONA

Cuando el ámbito del contrato incluya varias tipologías de espacio (por ejemplo, una línea de metro con estaciones, talleres y tramos en superficie), el Plan asignará el tipo de levantamiento a cada zona conforme a los siguientes criterios:

- Vía, plataforma y corredores lineales en superficie: Levantamiento móvil embarcado en vehículo o en unidad de tren.
- Estaciones, talleres, subestaciones y edificaciones: Levantamiento estático terrestre.
- Zonas de transición (andenes, accesos a vía): Levantamiento estático o combinación de estático y móvil, según la geometría y la accesibilidad.
- Zonas exteriores de difícil acceso: Levantamiento móvil aéreo como complemento, cuando se justifique.

El Plan incluirá una capa GIS (formato shapefile o equivalente) con la división del ámbito en áreas de escaneo, indicando en la tabla de atributos el tipo de levantamiento, las ventanas de trabajo y los parámetros clave por zona. Esta capa facilita la planificación, la supervisión y la verificación de que la cobertura entregada se ajusta al alcance previsto.

## 4. PRECISIÓN Y DENSIDAD

Las nubes de puntos deben cumplir requisitos de precisión absoluta, precisión relativa y densidad mínima para garantizar su adecuación al inventario digital, a la modelización BIM y a la integración en el Gemelo Digital. La validación se realiza mediante puntos de control con coordenadas conocidas y mediante el análisis del informe que acompaña a cada entrega.

### 4.1. DEFINICIONES

Precisión absoluta. Error máximo admisible en la posición de los puntos de la nube respecto al sistema de referencia definido (ETRS89). Se valida comparando los puntos de la nube con puntos de control terrestres de coordenadas conocidas, distribuidos en el ámbito y no utilizados en el ajuste. Una precisión absoluta insuficiente provoca desalineaciones entre la nube y otras capas geoespaciales (GIS, modelos BIM de zonas adyacentes) y dificulta la integración en el Gemelo Digital.

Precisión relativa. Error máximo admisible entre los puntos de escaneos contiguos o entre tramos de un mismo recorrido. Se valida mediante el análisis de los enlaces entre escaneos y de los residuos del registro. Una precisión relativa insuficiente provoca desfases visibles en la nube (por ejem-

Expediente	TAA-4102/OAT0	6 de 14
Actividad	Anejos al Manual BIM	
Título del documento	Digitalización. Especificaciones para nubes de puntos	



plo, señales duplicadas, paramentos desplazados, discontinuidades en geometrías continuas) que afectan a la calidad del modelo BIM derivado.

Densidad. Número de puntos por unidad de superficie (puntos/m<sup>2</sup>) expresado a una distancia de referencia del objeto escaneado. La densidad determina el nivel de detalle geométrico que puede extraerse de la nube para modelización e inventario. Una densidad insuficiente impide la identificación precisa de elementos pequeños o la definición de aristas y bordes.

#### 4.2. VALORES POR TIPOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO

Los valores estándar de la Agencia se recogen en la tabla siguiente. Pueden adaptarse en los documentos de contratación cuando las características de la infraestructura (tipo de activo, condiciones de captura, requisitos del Gemelo Digital BIM) así lo requieran.

Parámetro	Levantamiento móvil embarcado (vía terrestre)	Levantamiento estático terrestre (instalaciones)
Precisión absoluta	±10 cm (ajustada a puntos de control terrestre)	±5 cm
Precisión relativa	±2 cm	±2 cm
Densidad mínima	240 puntos/m <sup>2</sup> a 10 m	240 puntos/m <sup>2</sup> a 10 m

Levantamiento móvil embarcado. La precisión absoluta de ±10 cm refleja las limitaciones del GNSS y de la IMU en condiciones de captura dinámica. La nube debe ajustarse a puntos de control terrestres distribuidos a lo largo del recorrido para corregir la deriva de la IMU. La densidad de 240 puntos/m<sup>2</sup> a 10 m equivale, en condiciones típicas de captura a 70 km/h, a aproximadamente 300.000 puntos por segundo; la velocidad de desplazamiento y la frecuencia de captura se ajustarán para cumplir este criterio en cada contrato.

Levantamiento estático terrestre. La precisión absoluta de ±5 cm es más exigente al disponer de mayor control sobre la geometría y la georreferenciación. El equipo de escaneo debe tener una precisión intrínseca en superficie escaneada inferior a 3 mm para garantizar que la precisión relativa entre escaneos sea ≤±2 cm tras el registro. La densidad de 240 puntos/m<sup>2</sup> a 10 m se aplica de forma homogénea en toda la superficie escaneada.

Levantamiento móvil aéreo (drone). Cuando se emplee como complemento al levantamiento terrestre, el Plan definirá los requisitos de precisión y densidad en función del ámbito de aplicación y de los criterios de integración con las nubes terrestres. Como referencia, se aplicarán valores equivalentes.



tes al levantamiento estático cuando el drone se use para zonas de difícil acceso con requisitos de modelización detallada.

### 4.3. VERIFICACIÓN

La verificación se realizará según los criterios de la sección 18.22.8. El informe de procesamiento (sección 18.22.7) debe incluir las métricas que permitan comprobar el cumplimiento de estos valores.

## 5. PUNTOS DE CONTROL Y GEORREFERENCIACIÓN

Las nubes de puntos deben estar georreferenciadas en el sistema de referencia espacial definido en el Plan. La georreferenciación se apoya en puntos de control terrestres de coordenadas conocidas, distribuidos en el ámbito de captura. Cuando la infraestructura disponga ya de bases de control o de redes de apoyo, se utilizarán preferentemente; en caso contrario, la parte contratada establecerá y documentará una nueva base según los criterios de este anejo.

### 5.1. SISTEMA DE REFERENCIA

El sistema de referencia espacial será ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), en la proyección UTM correspondiente a la zona de la infraestructura. Las coordenadas de los puntos de control y de la nube de puntos deben referirse al mismo sistema para garantizar la coherencia geométrica con el inventario digital, los modelos BIM y las capas GIS del Gemelo Digital.

### 5.2. CONJUNTOS DE PUNTOS DE CONTROL

Se establecerán dos conjuntos separados de puntos de control: uno para el ajuste de la nube y otro para la verificación de la precisión absoluta. Los mismos puntos no podrán utilizarse para ambos fines; de lo contrario, la verificación carecería de independencia y no permitiría detectar errores sistemáticos en el procesamiento.

Puntos de control para ajuste. Se utilizan en el proceso de registro y georreferenciación de la nube. Deben estar distribuidos de forma que cubran el ámbito de captura y permitan corregir la deriva de la trayectoria en el caso del levantamiento móvil. Su número y distribución se definirán en el Plan según los criterios de la siguiente subsección.

Puntos de control para verificación. Se utilizan exclusivamente para validar la precisión absoluta de la nube entregada, comparando las coordenadas de puntos identificables en la nube con las coordenadas conocidas de estos puntos. No deben haber participado en el ajuste. El informe de procesamiento debe incluir los residuos obtenidos en esta verificación.

Expediente	TAA-4102/OAT0	8 de 14
Actividad	Anejos al Manual BIM	
Título del documento	Digitalización. Especificaciones para nubes de puntos	



Documentación. Cada punto de control debe documentarse con fotografías de referencia que permitan su identificación inequívoca en la nube de puntos y en campo. Las coordenadas se entregarán en el mismo sistema de referencia que la nube.

### 5.3. CRITERIOS DE DISTRIBUCIÓN

La distribución de los puntos de control depende del tipo de levantamiento y de las condiciones de señal GNSS. El Plan definirá el plan concreto de puntos para cada ámbito.

Levantamiento estático terrestre. Los puntos de control deben cubrir el ámbito de cada zona de escaneo, con al menos un punto en cada extremo de la campaña o área. En estaciones con andenes, se dispondrá al menos un punto en una esquina de andén; si la longitud del andén supera 1 km, se colocarán puntos en ambos lados.

Levantamiento móvil embarcado. Los puntos de control deben estar situados a una distancia máxima de 10 m de los tracks del recorrido del vehículo o unidad de tren, de modo que queden capturados en la nube. La separación máxima entre puntos consecutivos a lo largo del recorrido será:

Condición de GNSS	Distancia máxima entre puntos
Buena señal (superficie, cielo abierto)	≤3 km
Señal deficiente o ausente (túneles, subterráneo)	≤1 km

En tramos subterráneos o con mala cobertura GNSS, la densidad de puntos de control debe ser mayor para compensar la deriva de la IMU y garantizar la precisión absoluta exigida.

### 5.4. REQUISITOS IMU (LEVANTAMIENTO MÓVIL EMBARCADO)

En el levantamiento móvil embarcado, la unidad de medición inercial (IMU) integra la trayectoria del vehículo entre posiciones GNSS. La deriva de la IMU se acumula con la distancia y debe corregirse mediante puntos de control. Los requisitos máximos de deriva admisible son:

Condición de GNSS	Deriva máxima de la IMU
Buena señal	≤0,05 m/km
Señal deficiente o ausente	≤0,25 m/km

El informe de procesamiento debe documentar las condiciones de captura y los resultados del ajuste a puntos de control. Cuando la deriva supere estos límites en algún tramo, la nube debe ser re-procesada o complementada con puntos de control adicionales.



## 6. SOLAPE, ZONAS DE SOMBRA Y CALIDAD

La nube de puntos entregada debe ser homogénea, libre de zonas de sombra inadmisibles en elementos críticos y exenta de elementos en movimiento o de imperfecciones que afecten a la modelización o al inventario. El procesamiento incluirá la limpieza de datos y la calibración previa de los equipos según los criterios de esta sección.

### 6.1. SOLAPE MÍNIMO ENTRE ESCANEOS

En el levantamiento estático terrestre, cada escaneo debe solaparse con los contiguos en al menos un 30 % de su superficie capturada. Con un solape mínimo del 30 % se garantiza que el registro entre escaneos sea robusto y que la nube resultante sea homogénea, sin discontinuidades ni desfases visibles en las uniones. El informe de procesamiento debe incluir las métricas de solape entre escaneos (sección 18.22.7).

En el levantamiento móvil embarcado, el solape se obtiene mediante los dos recorridos en direcciones opuestas y, en vías dobles, mediante el recorrido común  $\geq 90\%$  (sección 18.22.2). La planificación de los recorridos debe asegurar que no queden zonas sin cobertura suficiente entre pasadas.

### 6.2. ZONAS DE SOMBRA

Se denomina zona de sombra al área que no ha sido capturada por ningún escaneo debido a obstáculos, geometría del espacio o limitaciones del ángulo de captura. Las zonas de sombra son inevitables en cierta medida, pero no son aceptables cuando afectan a elementos críticos para el inventario o la modelización.

**Criterio de aceptación.** No se aceptarán entregas en las que la señalización, las vías o los elementos de infraestructura esenciales para el Gemelo Digital queden en zona de sombra. Cuando existan zonas de sombra en elementos no críticos, se documentarán en el informe y en el Plan como limitaciones de alcance.

**Mitigación.** La planificación de posiciones de escaneo (estático) o de recorridos (móvil) debe minimizar las zonas de sombra en elementos críticos. Si la geometría del espacio impide la cobertura completa, se valorará la captura complementaria desde posiciones adicionales o mediante otro tipo de levantamiento (por ejemplo, móvil de mano en zonas de transición).

### 6.3. EXCLUSIÓN DE ELEMENTOS EN MOVIMIENTO Y LIMPIEZA

La nube de puntos entregada debe excluir los elementos que no forman parte del activo fijo: vehículos en circulación, unidades de tren, personas, maquinaria en movimiento y otros objetos temporales. Estos elementos generan artefactos en la nube (geometrías fantasmas, duplicaciones, puntos aislados) que afectan a la calidad del modelo BIM y del inventario.



Exclusión. Antes de la entrega, la parte contratada eliminará de la nube los puntos correspondientes a elementos en movimiento. La exclusión se realizará durante el procesamiento, sin alterar la geometría del resto de la nube.

Limpieza. La nube debe estar libre de imperfecciones y puntos aislados que no correspondan a la geometría real del activo. Se eliminarán artefactos de reflexión, ruido residual y puntos huérfanos que no aporten información útil para la modelización o el inventario. La limpieza no debe reducir la densidad ni la cobertura en zonas válidas por debajo de los requisitos mínimos establecidos en la sección 18.22.3.

#### 6.4. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

Los equipos de escaneo (escáneres estáticos, sistemas móviles embarcados) deben estar calibrados antes del inicio de la campaña y a intervalos regulares durante y después de la misma. La calibración garantiza que las precisiones declaradas por el fabricante se alcancen en condiciones de trabajo y que la deriva de la IMU (en sistemas móviles) se mantenga dentro de los límites especificados.

Frecuencia. La calibración se realizará antes del inicio del estudio y a intervalos que documente el Plan de Digitalización en función de la duración de la campaña y de las recomendaciones del fabricante. Se realizará asimismo una calibración final tras la conclusión de los trabajos de captura.

Documentación. Los informes de calibración serán revisados y aprobados por un profesional calificado antes de que se consideren válidos los datos de la campaña. Los informes se entregarán junto con el resto de la documentación del contrato y quedarán a disposición de la Agencia para la supervisión.

#### 7. FORMATOS Y ENTREGABLES

Las nubes de puntos se entregarán en formatos estándar de intercambio que garanticen la interoperabilidad y la conservación de la información a largo plazo. El Plan definirá los formatos concretos y la organización de los archivos según los criterios de esta sección.

##### 7.1. FORMATOS DE NUBE DE PUNTOS

Formato obligatorio. La nube de puntos se entregará en formato E57 (ASTM E2807). El E57 es el formato estándar de intercambio para nubes de puntos, análogo al IFC para modelos BIM, y garantiza la interoperabilidad entre herramientas de procesamiento y visualización. La nube entregada en E57 debe estar georreferenciada y coloreada cuando el equipo de captura haya registrado información de color.

Formatos complementarios. Además del E57, podrá solicitarse la entrega en uno o más de los siguientes formatos según las necesidades del contrato: LAS (LiDAR Data Exchange Format), PTS (formato de coordenadas XYZ) o LGS/LGSX (formato optimizado para visualización, cuando la parte

Expediente	TAA-4102/OAT0
Actividad	Anejos al Manual BIM
Título del documento	Digitalización. Especificaciones para nubes de puntos



contratada utilice herramientas compatibles). Los documentos de contratación especificarán los formatos requeridos; el E57 será en todo caso obligatorio.

### 7.2. LÍMITE DE TAMAÑO POR ARCHIVO

El tamaño máximo de cada archivo de nube de puntos será de 4 a 5 GB. Cuando el ámbito de una zona genere una nube que exceda este límite, la parte contratada fragmentará la nube en varios archivos o aplicará un diezmado controlado que mantenga la densidad y la calidad en las zonas críticas. El diezmado no debe reducir la densidad por debajo del mínimo establecido en la sección 18.22.3 en las zonas que requieran nivel de detalle completo para inventario o modelización.

### 7.3. ORGANIZACIÓN Y CODIFICACIÓN

Los archivos de nube de puntos se organizarán por partes de la infraestructura, de modo que cada archivo corresponda a una zona o elemento identificable (por ejemplo, una parada, un tramo de vía, un taller o una subestación) según la división definida en el Plan y en la capa GIS de áreas de escaneo. La codificación de los archivos debe permitir su identificación inequívoca y su relación con el ámbito de digitalización.

### 7.4. IMÁGENES ASOCIADAS

En el levantamiento móvil embarcado, las imágenes panorámicas o de 360° capturadas durante el recorrido forman parte del entregable y complementan la nube de puntos para la inspección visual y la identificación de elementos. Las imágenes se entregarán en formato JPG o PNG, asociadas a la nube o en estructura de carpetas que permita su vinculación. Cuando las imágenes estén embebidas en el archivo E57, se cumplirá con este requisito; en caso contrario, se entregarán por separado con la misma organización por zona que la nube de puntos.

## 8. INFORME DE PROCESAMIENTO

Cada entrega de nube de puntos irá acompañada de un informe de procesamiento que documente la metodología aplicada, las condiciones de captura y el cumplimiento de los criterios de aceptación. El informe es el documento de referencia para la supervisión técnica y debe permitir verificar que la nube cumple los requisitos de precisión, solape y calidad sin necesidad de realizar comprobaciones exhaustivas sobre el archivo completo.

### 8.1. CONTENIDO MÍNIMO

El informe de procesamiento incluirá, como mínimo, los siguientes datos:

- Número de escaneos que componen la nube y número de enlaces entre escaneos contiguos.
- Solape entre escaneos contiguos (porcentaje medio o por enlace), que debe ser  $\geq 30$  % según la sección 18.22.5.

Expediente	TAA-4102/OAT0
Actividad	Anejos al Manual BIM
Título del documento	Digitalización. Especificaciones para nubes de puntos



- Fuerza de los enlaces (índice de puntos coincidentes entre escaneos), como indicador de la calidad del registro.
- Errores de georreferenciación y residuos del ajuste a puntos de control.
- Matriz de calidad de enlaces entre los distintos escaneos, que permita identificar enlaces débiles o con errores elevados.
- Residuos de verificación en los puntos de control de verificación (no utilizados en el ajuste), que permitan comprobar el cumplimiento de la precisión absoluta exigida.

## 8.2. MÉTRICAS Y SUPERVISIÓN

Las métricas del informe deben ser coherentes con los requisitos establecidos en este anejo. La Agencia utilizará el informe como base para las comprobaciones geométricas descritas en la sección 18.22.8. Cuando la parte contratada utilice herramientas de procesamiento distintas, entregará un informe equivalente que contenga la misma información y permita las mismas comprobaciones.

## 9. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y SUPERVISIÓN

La supervisión de las nubes de puntos se realizará según plantillas por entregable que la Agencia establecerá para facilitar el control de calidad. Los criterios de aceptación se organizan en tres grupos: comprobaciones generales, comprobaciones geométricas y comprobaciones de contenido. El nivel de detalle de la supervisión dependerá del alcance del contrato (digitalización inicial o actualización en mantenimiento), según lo establecido en la sección 12.4 de la Guía de Digitalización.

### 9.1. COMPROBACIONES GENERALES

- Cumplimiento del formato E57 y de los formatos complementarios especificados en el contrato; estructura correcta del archivo (puntos, imágenes cuando corresponda).
- Tamaño de archivo dentro del límite (4 a 5 GB); organización y codificación según la capa GIS de áreas de escaneo.
- Nubes limpias, georreferenciadas y coloreadas cuando se haya capturado color.
- Entrega del informe de procesamiento, de las coordenadas de puntos de control y de las fotografías de referencia.
- En levantamiento móvil: entrega de imágenes panorámicas o 360° en bruto cuando se hayan solicitado.
- Integridad de la nube: los archivos se abren correctamente y no han sufrido pérdida de información.

### 9.2. COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS

- Enlaces entre escaneos: calidad adecuada de los enlaces; ausencia de enlaces débiles o con errores elevados (informe de procesamiento).
- Errores de georreferenciación: residuos tolerables; coherencia con la capa GIS del ámbito.
- Solape:  $\geq 30$  % entre escaneos contiguos (informe de procesamiento).
- Densidad: cumplimiento del mínimo establecido (240 puntos/m<sup>2</sup> a 10 m o valor contractual).

Expediente	TAA-4102/OAT0	13 de 14
Actividad	Anejos al Manual BIM	
Título del documento	Digitalización. Especificaciones para nubes de puntos	



- Precisión absoluta: residuos en puntos de control de verificación dentro de los límites ( $\pm 10$  cm móvil,  $\pm 5$  cm estático).
- Precisión relativa: ausencia de desfases visibles entre escaneos (señales duplicadas, paramentos desplazados).

### 9.3. COMPROBACIONES DE CONTENIDO

- Ausencia de zonas de sombra en elementos críticos (señalización, vías, elementos esenciales del Gemelo Digital).
- Correcta captura de los activos y elementos del ámbito; coherencia con el alcance definido en el Plan.

### 9.4. DIFERENCIACIÓN POR TIPO DE CONTRATO

En contratos de digitalización inicial (donde se genera por primera vez la nube de puntos para el Gemelo Digital BIM), la supervisión será exhaustiva, aplicando todas las comprobaciones descritas y verificando el cumplimiento de cada requisito de este anejo. En contratos de mantenimiento con obligación de actualización (donde el mantenedor entrega nubes de puntos de nuevos activos o de zonas modificadas), la supervisión puede simplificarse mediante comprobación visual de los cambios incorporados y verificación de la coherencia con el GMAO, sin exigir el mismo nivel de detalle que en la digitalización inicial, según lo establecido en la sección 12.4 del capítulo 12.

Expediente	TAA-4102/OAT0	14 de 14
Actividad	Anejos al Manual BIM	
Título del documento	Digitalización. Especificaciones para nubes de puntos	