



## El uso de targets en la captura de campo con TLS y sus implicaciones en el registro

Using targets in fieldwork with TLS and its implications on the coarse registration

Luis Carlos, Cruz-Ramírez<sup>1</sup>

Jorge Fernando, Zárate-Martínez<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Laboratorio de Posgrado, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura,  
Unidad Tecamachalco, Instituto Politécnico Nacional.

<sup>1</sup>[lcruzr@ipn.mx](mailto:lcruzr@ipn.mx) | <https://orcid.org/0000-0002-3651-4471>

<sup>2</sup>[abcenteringles@gmail.com](mailto:abcenteringles@gmail.com) | <https://orcid.org/0009-0001-3979-2477>

Recibido: 10/10/2025 Aceptado: 12/12/2025

**RESUMEN** | En el procesamiento de nubes de puntos, se le conoce por registro a la actividad de unir un par de estos modelos complementarios. Este proceso es realizado por medio de la identificación de al menos tres puntos en común en un par de nubes de puntos. Al respecto, existen algunas controversias asociadas con el uso de los targets, que son instrumentos que han sido diseñados para facilitar el proceso de unión de nubes de puntos en gabinete. En esta investigación se buscó conocer cuál es la diferencia en el registro de nubes de puntos a partir de contrastar el *método basado en puntos de targets* (utilizando targets) y el *método basado en puntos del ambiente natural* (sin el uso de targets). Para este estudio se contó con cinco participantes, quienes procesaron cuatro bases de datos: dos con el uso de targets y dos sin el uso de targets. Se analizó la variación en el tiempo de registro, el error de registro y la percepción de dificultad por parte de los participantes. Los resultados indican que, contrario a lo que inicialmente se asumía, el uso de targets no reduce el tiempo de registro y tampoco tiene implicaciones en una mayor dificultad al momento de procesarse, cuando los técnicos en el registro tienen la experiencia suficiente y las capturas de campo han sido realizadas considerando reducir occlusiones. Por otro lado, tal como se esperaba, si se reduce el error de registro de manera significativa de un valor medio de 0.0116 metros a 0.0089 metros. Estos resultados son de utilidad para quienes realizan capturas de campo con nubes de puntos con escáneres láser terrestre y desean mejorar la precisión de campo a cambio de considerar el tiempo adicional requerido para la manipulación de targets en campo.

**PALABRAS CLAVES** | Escáner-láser, nubes-de-punto, patrimonio, registro, targets.

**ABSTRACT** | In point-cloud processing, registration is the activity of joining a pair of these complementary models. This process is carried out by identifying at least three common points in a pair of point-clouds. In this regard, there are some controversies associated with the use of targets, which are instruments designed to facilitate the point-cloud alignment process during post-processing. This research aimed to determine the difference in point-cloud registration by contrasting the target-based point method (using targets) and the natural environment point-based method (without the use of targets). Five participants took part in the study, each of whom processed four datasets: two using targets and two without targets. The variation in registration time, registration error, and the participants perception of difficulty was analyzed. The findings reveal that, contrary to what might be initially assumed, the use of targets does not reduce the registration time, nor does it increase processing difficulty, provided that the technicians

have sufficient experience, and the field captures were performed considering the reduction of occlusions. On the other hand, as expected, the registration error is significantly reduced from an average value of 0.0116 m to 0.0089 m. These results are useful for those who perform field captures with point-clouds using terrestrial laser scanners and who want to improve field accuracy in exchange for considering the additional time required for targets manipulation in the field.

**KEYWORDS** | Heritage, laser-Scanner, point-cloud, register, targets.

## Introducción

El objetivo de este estudio fue conocer cuál es la diferencia en el registro de nubes de puntos a partir de contrastar el *método basado en puntos de targets* (utilizando targets) y el *método basado en puntos del ambiente natural* (sin el uso de targets). Las nubes de puntos son modelos matemáticos almacenados en arreglos de datos, compuestos por al menos tres variables asociadas con coordenadas XYZ de puntos en el espacio (Barber, 2006, p. 36). Estas sirven para representar la superficie de los objetos existentes en el entorno. Un modelo de nubes de puntos de un edificio completo es comúnmente el resultado de la integración de varias nubes de puntos, cada una de estas contiene una escena, que a su vez es un segmento complementario de un edificio.

Cada una de estas nubes de puntos se obtienen de manera aisladas. Son almacenadas en archivos individuales y cada una tiene su propio sistema de coordenadas. Es por esta razón que una vez que se tienen las nubes de puntos de los espacios de interés, el siguiente paso en el procesamiento de datos, consiste en unir todas las partes complementarias obtenidas en un proceso conocido como *registro*.

El registro se lleva a cabo en dos etapas secuenciales: el registro tosco –*coarse register*– y el registro fino –*fine register*– (Aryan et al., 2021; Gu et al., 2020; Dong et al., 2020). El primero es el registro *tosco* que se realiza para unir un par de nubes de puntos –o dos arreglos de datos–. El registro fino es el proceso final que se realiza para optimizar los modelos una vez que están unidos los pares de nubes de puntos, con el fin de reducir el error. De estas dos etapas de registro, es de interés en este estudio profundizar en el registro tosco, del cual depende la eficiencia del registro fino. Además, permite desarrollar la línea argumentativa de esta investigación.

El registro tosco, a su vez, puede ser (a) manual –si se seleccionan al menos tres pares de puntos en dos modelos de nubes de puntos–, (b) semiautomático –si se realiza una superposición manual de un par de nubes de puntos y luego un algoritmo los ajusta– o (c) automático –si es realizado por completo por un algoritmo computacional–. Aunque se desearía que este proceso fuese completamente automático, existen muchos inconvenientes que no lo permiten. La unión de las partes no puede realizarse con todas los segmentos de una sola vez, sino que debe hacerse primero por pares. También se requiere que existan una cantidad representativa –al menos el 40%– de superficies en común en cada par de nubes de puntos –superficies con redundancias de captura–, lo que tiene implicaciones en los tiempos de registro y no siempre es reconocida por los softwares que lo procesan. Para capturas mixtas, o en aquellas donde se utilizan TLS (Terrestrial Laser Scanner) manufacturados hace más de una década, el procedimiento más eficiente sigue siendo optar por el registro tosco manual, porque los algoritmos de registro automático no proporcionan un resultado coherente. Y en cuanto al registro semiautomático, estos al menos deben de coincidir en un par de planos XZ y YZ, para solo alinear el plano XY, de lo contrario el resultado tampoco es coherente. Por esta razón el registro tosco manual es de relevancia.

En cuanto al registro tosco manual, este puede ser realizado de dos maneras, con el *método basado en puntos del ambiente natural* –*point-based registration*– y con el *método basado en puntos de targets* –*targets-based registration*– (Bosché, 2012). La diferencia radica en que el *método basado en puntos del*

*ambiente natural* (sin el uso de targets) consiste en realizar el registro tosco con base en puntos cualesquiera en un par de nubes de puntos y el registro con el *método basado en puntos de targets* (con el uso de targets), es aquel que se realiza con ayuda del instrumento conocido como targets, comúnmente utilizado en capturas con TLS, que sirve para tener puntos de referencias fijados por el usuario.

Entonces, si es posible unir dos nubes de puntos con cualquier par de puntos comunes en el espacio utilizando el *método basado en puntos del ambiente natural*, las preguntas que surgen al respecto son: ¿cuál es la diferencia entre utilizar o no targets al realizar el registro tosco de nubes de puntos? O bien, ¿cómo incide el uso de targets en el resultado del registro tosco de nubes de puntos?

La hipótesis que existe es que los targets contribuyen de manera significativa en el proceso de registro de nubes de puntos, mejorando los tiempos de registros, la precisión de los modelos por medio de la reducción del error y mejorando la experiencia de trabajo debido a que se percibe más sencillo el proceso. Los targets al ser instrumentos diseñados con superficies reflejantes, con la versatilidad de poderse colocar en el espacio de captura –ya sea en el suelo, sobre un trípode o adherido a una superficie– de manera perpendicular al haz de luz del sensor láser, permite tener una superficie de captura con una densidad uniforme, con mejor resolución que las paredes o pisos en relación con la oclusión, lo que facilita el proceso de registro.

Para comprobar esta hipótesis, cinco participantes procesaron cuatro bases de datos, dos con el uso de targets y dos sin el uso de targets. Se analizó la variación en el tiempo de registro, el error de registro y la percepción de dificultad por parte de los participantes con el uso de herramientas probabilísticas en dos poblaciones de registro correspondientes a  $n_1 = 286$  para el caso sin targets y  $n_2 = 276$  para los casos de registro donde se utilizó targets. Conocer estos resultados son de interés por las siguientes razones: el registro tosco es el primer registro que se realiza y de este depende el registro fino; el registro tosco manual es un proceso recurrente, en especial cuando falla el registro automático y el semiautomático; este tipo de registro tiene aplicaciones para las nubes de puntos, independientemente del instrumento de captura utilizado; tiene implicaciones en la mejora de los tiempos de trabajo y en la reducción del error.

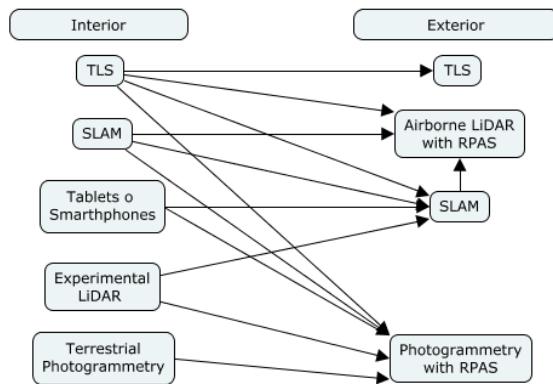
### El Mecanismo de Captura y Registro de Nubes de Puntos

En esta sección se explicará cómo es que se realiza la captura de campo de nubes de puntos y como es el proceso de registro y sus implicaciones al utilizar targets. Primero, las nubes de puntos se pueden obtener por medio de instrumentos que tienen sensores LiDAR –tales como los Escáneres Láseres Terrestres (Terrestrial Laser Scanner: TLS), instrumentos de Mapeo y Localización Simultánea (Simultaneous Localization and Mapping: SLAM), algunas tablets o smartphones y LiDAR experimentales– o como resultado del procesamiento de fotografías en modelos de fotogrametría digital.

Resulta que es muy común utilizar técnicas de capturas mixtas en un levantamiento de un edificio donde se hace el uso de diferentes instrumentos en un proyecto (Mill *et al*, 2013; Remondino, 2011, p. 1116; Keitaanniemi *et al*, 2021). Por ejemplo, pueden estar compuestas por: (a) un conjunto de nubes de TLS en interiores más un modelo fotogramétrico o LiDAR aerotransportado del exterior capturado con RPAS, (b) la captura interior de un conjunto nubes de estaciones de TLS más fotogrametría interiores, (c) una captura continua con un SLAM de mano en espacios reducidos y espacios exteriores, más varias estaciones de TLS y fotogrametrías o LiDAR con RPAS y (d) capturas de LiDAR de tablets o con sensores LiDAR experimentales (Figura 1).

**Figura 1**

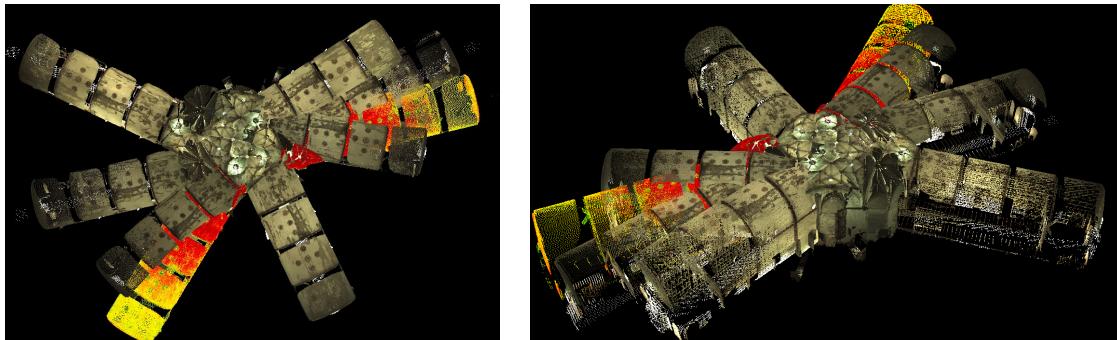
Algunas alternativas de captura mixta utilizando diferentes instrumentos para la elaboración de modelos de nubes de puntos en interiores y exteriores.



Cada una de estas nubes de puntos representa una escena. Estas se obtienen de manera aisladas. Son almacenadas en archivos individuales y cada una tiene su propio sistema de coordenadas. Esto quiere decir que, si las abrimos en un software especializado de visualización y procesamiento –tal como CloudCompare [Électricité de France (EDF), 2024]–, todas quedan sobreuestas –esto ocurre con excepción de los modelos capturados LiDAR que tienen un sistema de localización como son las nubes capturadas con un RPAS– generando una escena con ruido y sin algún sentido aparente (Figura 2).

**Figura 2**

Visualización de nueve nubes de puntos en Cloud Compare. Nubes capturadas con TLS.



Nota: Las nubes quedan sobreuestas debido a que en su proceso de captura no se utilizó ningún sistema geolocalización. A la izquierda, la vista en planta. A la derecha, vista en isométrico.

En el caso de los instrumentos como el TLS cada nube de puntos independiente se asocia con una estación. Se le llama *estación* a cada lugar en el espacio donde se deja de manera estática el TLS para realizar la captura de las superficies espaciales, la escena, en forma de nubes de puntos. Los SLAM y los LiDAR aerotransportados generan nubes de puntos continuas, que son interrumpidas por el usuario según el plan de captura, ya que son LiDAR móviles. Las tables y smartphones generan modelos de nubes de puntos según capturas definidas por el usuario. Finalmente, los modelos fotogramétricos generan escenas de nubes de puntos por secciones, que pueden ser por espacios interiores, muebles, objetos o exteriores en función de la secuencia de captura. Este estudio se enfoca en el registro con TLS.

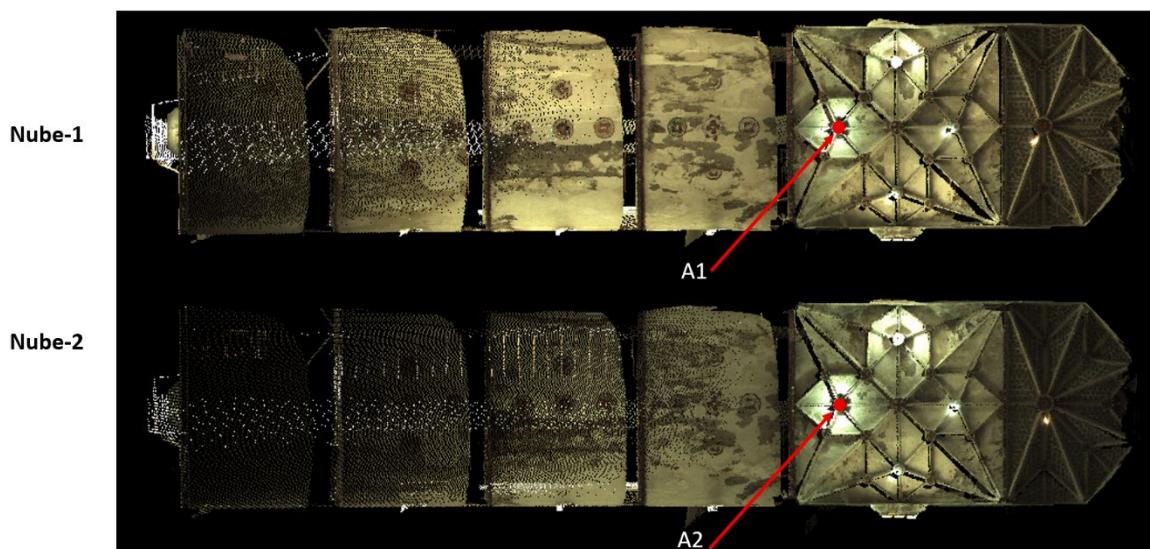
Como se ha mencionado en párrafos anteriores, un problema recurrente es tener un conjunto de nubes de puntos parciales para un levantamiento de un edificio. Por cada dos espacios sin traslape, se requiere una nube de puntos que conecte los dos espacios no-traslapados. Por ejemplo, dos habitaciones separadas por una puerta de acceso.

Para unir estas nubes de puntos, entonces se procede a realizar el registro que se puede clasificar en dos partes. El primero es el registro tosco –*coarse register*–. Este consiste en identificar al menos tres pares de puntos en común –se indica que al menos tres pares, porque en ocasiones se requieren más pares de puntos–, en cada par de nubes de puntos complementarias, para que se puedan alinear, rotar y mover los dos modelos seleccionados. El registro tosco, se hace de manera constante con pares de nubes de puntos complementarias en el conjunto de nubes de puntos que componen un levantamiento –que puede estar compuesta por decenas o hasta centenares de estaciones–.

Cada par de puntos, corresponden respectivamente a pares de escenas de nubes de puntos complementaria, las cuales debe estar asociadas a un mismo punto en el espacio. Es decir que, para el par de puntos compuestos por A1 y A2, identificados en el par de modelos de nubes de puntos complementarias conformadas por la Nube-1 y la Nube-2, el punto A1, que es el punto A de la nube-1, corresponde al mismo punto en el espacio que A2, que es el punto A, en la nube-2 (Figura 3).

**Figura 3**

*El punto A en el espacio en dos modelos de nubes complementarias, representadas por el punto A1 y A2*



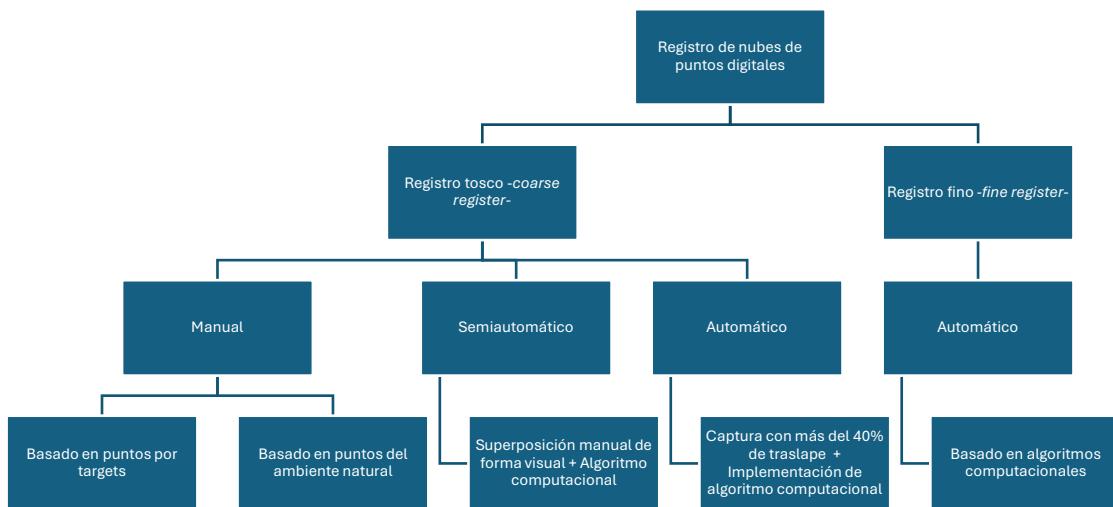
Cada par de nubes registradas presenta errores de precisión que son variables. Para homogeneizar estos errores, existe un segundo proceso de registro conocido como el *registro fino*. Este es un proceso de optimización del modelo, por medio del cual un algoritmo calibra la posición de todas las nubes para reducir el error de todo el modelo.

En cuanto al registro tosco, este puede realizarse de varias formas: (a) manual seleccionando los puntos en común; (b) semiautomática, superponiendo dos modelos de nubes de puntos de manera visual (Xu et al., 2021, p. 2864); o (c) automática –*features-based method, overlapping point cloud registration*–, que se logra con la ayuda de un algoritmo computacional que reconoce patrones 3D en común, entre las dos nubes de puntos, a partir de una alta proporción de superficies en común alcanzada con el traslape de superficies capturadas (Liu, 2006).

Por un lado, estudios como el de Akca y Gruen (2007) indican que, en la captura con TLS, el uso de targets representa deficiencias en relación con el tiempo de trabajo de campo, el personal, los costos de equipos –targets– y precisión –la cual se ve reducida en contraste con el método automático–. Por otro lado, el registro automático representa un sobre muestreo de las superficies por traslapos –se requiere el 40% de superficie de traslape en cada par de nubes de puntos– que también tiene implicaciones en el tiempo de captura de campo. Pruebas realizadas de registro semi-automático con software libre, tal como CloudCompare (EDF, 2024), proporcionan resultados que no siempre son precisos.

En cuanto al registro tosco manual, este puede ser realizado de dos maneras, siguiendo *el método basado en puntos del ambiente natural* y *el método basado en puntos de targets* (Cheng et al., 2018, p. 6; Bosché, 2012). El método basado en puntos del ambiente natural se realiza seleccionando cualquier par de puntos, que pueda encontrarse en cualquier superficie de la escena capturada –en pavimentos, rocas, muros, marcos, instalaciones, cielos, techos o muebles–. El registro *basado en puntos de targets –targets points–*, es cuando se utilizan los puntos de la superficie reflejados en la superficie de targets en la escena de captura (Figura 4).

**Figura 4**  
*Clasificación del proceso de registro de nubes de puntos*



Un target –también conocido en la literatura en español como dianas– es un instrumento, colocado por el usuario en el espacio de captura 3D, que, al dejarlos estáticos y en lugares estratégicos, sirven como puntos de conexión entre dos nubes de puntos. Están diseñadas para que sobre su superficie se puedan generar puntos de referencia con alta precisión y luego poderlos identificar fácilmente en el modelo digital (Urbančić et al., 2019; Keitaanniemi et al., 2021). Pueden ser de tipo plano o volumétrico–como es el caso de las esferas–. Poseen un patrón formal –por medio de círculos concéntricos, cuadrados o esferas– y una superficie reflejante, que permite ser reconocida con mayor facilidad por los softwares de cada fabricante. En cuanto a los targets planos, estos se ajustan para que su superficie esté perpendicular a la dirección del sensor de captura. Esto con el fin poder tener mayor definición de puntos, ya que en una superficie oblicua a la dirección de la captura se reduce la definición.

El registro por el *método basado en puntos del ambiente natural* resulta ser de utilidad siempre que fallen los otros métodos –automático y semiautomático– y depende de que existan puntos en común entre dos nubes de puntos. Esto puede ser obstaculizado por occlusiones en la nube de puntos, por reducción en la

densidad o por precisión de equidistancia entre los barridos de nubes de puntos. Ahora, aún en un registro realizado con el *método basado en puntos de targets*, los puntos en común entre dos nubes de puntos difícilmente serán los mismos en el espacio, pero se busca que estén lo más próximo posible y el instrumento tiende a facilitarlo. El hecho de seleccionar los mismos puntos para el registro tiene implicaciones en la reducción del error de registro. Un estudio conducido por Cox (2015), indica que el registro de nubes de puntos sin targets tiene limitaciones de precisión especialmente en desplazamiento vertical. Ahora, cuando se trata del registro del patrimonio construido, y este tiene superficies irregulares, fábricas expuestas de mampostería que tampoco son regulares, al utilizar el *método basado en puntos del ambiente natural* difícilmente se logra seleccionar el mismo punto y como consecuencia aumenta el error de registro.

Con base en estos hechos mencionados, encontrados en la literatura, se espera encontrar una la diferencia entre el uso del *método basado en puntos del ambiente natural* y el *método basado en puntos en targets*. Esto debido a que el uso de targets reduce los tiempos de registro de nubes de puntos y mejora la precisión al reducirse el error de registro.

### Método

Para conocer cómo incide el uso de targets en el registro tosco de nubes de puntos, se consideró necesario evaluar tres variables: el tiempo de registro, la precisión y la percepción de dificultad. El tiempo de registro se espera que se reduzca al comparar nubes de puntos unidas con targets (*método basado en puntos en targets*), en contraste con nubes de puntos unidas sin targets (*método basado en puntos del ambiente natural*). Para conocer como varía la precisión, fue necesario evaluar el error de registro. Se espera que este error de registro aumente cuando el registro se realice sin el uso de targets. Y se espera que los técnicos perciban mayor dificultad al unir nubes de puntos sin el uso de targets. El tiempo será medido en segundos, el error de registro en metros y la percepción de dificultad en una escala del 1-5, como se explicará más adelante en esta sección.

### Instrumentos utilizados

Para la recolección de datos, las nubes de puntos fueron capturadas con un Escáner Láser Terrestre (TLS) modelo Leica ScanStation C10. Se utilizaron targets circulares de 6”, modelo HDS 6” (Figura 5). Las nubes de puntos de las estaciones fueron exportadas del formato nativo BIN de Leica a formato E57, con el software Cyclone 9.0 (Leica Geosystem, 2014). Se realizaron carpetas para cada uno de los conjuntos de datos a trabajar con un nombre código representativo. Luego, cada archivo de cada estación se renombró según el número de la estación de captura. Se eliminaron aquellas estaciones que por defecto de captura de campo significaron un error. Para el registro de nubes de puntos se utilizó el software CloudCompare versión 2.13 (EDF, 2024). Los registros fueron realizados en equipos de cómputos con las mismas características, controlando cualquier sesgo que pudiese existir en cuanto al procesamiento de los conjuntos de datos por hardware.

**Figura 5**

Instrumentos utilizados en la captura de las nubes de puntos.



Targets HDS 6”



Leica ScanStation C10

Nota: A la izquierda se muestra el modelo de targets HDS 6” y a la derecha se muestra el modelo de TLS Leica ScanStation C10 utilizado durante las capturas de campo. Fuente: Leica Geosystems (2025).

### Objetos de estudios

Para la elaboración de este estudio se seleccionaron ocho *conjuntos de datos de nubes de puntos – point cloud dataset*– capturadas con TLS. Cada base de datos contiene un conjunto de nubes de puntos, pertenecientes a una sección de un edificio en particular, y están compuestos por múltiples archivos de nubes de puntos –entre 27-30 archivos–, ya que cada archivo de nube de puntos corresponde a una estación de captura en la campaña de trabajo de campo.

Para cada conjunto de datos se utilizó un nombre codificado con el fin de no sesgar a los participantes indicándoles el nombre de los edificios con los cuales pudieran buscar información de este y sesgar los tiempos de registros. Enseguida se presenta la Tabla 1, donde se presenta el resumen de la información descrita en relación con los conjuntos de datos utilizados.

**Tabla 1**

Resumen las propiedades de los conjuntos de datos utilizados.

Código de los conjuntos de datos	Con targets	Sin targets	Con grafo	Sin grafo	Número de estaciones en los conjuntos de datos
C3	x			x	31
C1	x		x		27
BD7		x	x		29
T1	x			x	30

### Participantes

Para esta observación, se pudo contar con la participación de cinco participantes voluntarios. El perfil que debían cumplir los participantes se basó en dos criterios: ser estudiantes de arquitectura y poseer conocimientos en manipulación de modelos 3D en un software CAD. Los participantes seleccionados fueron estudiantes entre el último semestre y recién egresados –en no más de un semestre– de la carrera de ingeniería-arquitectura. Todos tenían dominio en el uso de AutoCAD y habían manipulado previamente modelos 3D en diferentes softwares.

A los estudiantes se les realizó un breve curso de inducción-entrenamiento para el manejo y registro de nubes de puntos en CloudCompare (Électricité de France [EDF, 2024]). Previo a los datos capturados para los análisis de este estudio, todos los participantes pasaron por un proceso de aprendizaje con el cual lograron normalizar sus tiempos de registro con el fin de superar la curva de aprendizaje que podría producir sesgos en los datos capturados. El tiempo medio estimado por registro de par de nubes de puntos es de 180

segundos. Registraron tres modelos de nubes de puntos de prueba: un modelo de tres estaciones, un modelo de nueve estaciones y un modelo de once estaciones. El entrenamiento tomó en promedio de 20 horas.

Dentro de las instrucciones indicadas se les mencionó que algunos conjuntos de datos podrían tener ausencia de una estación. Ejemplo en el modelo C3, hace falta la estación 05. Se les aclaró que esto era a causa de algunos errores de captura de campo, y que dicho archivo de estación experimentó algún error, por lo que fue extraído de los conjuntos de datos para evitar confusiones.

### Calidad y duración del estudio

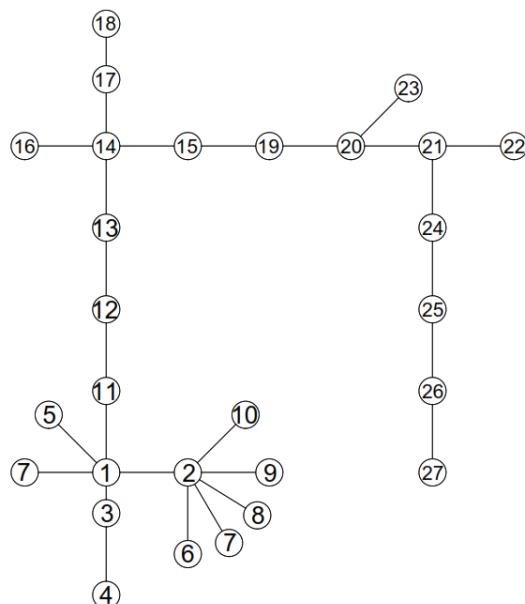
Otro elemento considerado, fue que los participantes no podían compartir opiniones entre ellos sobre la percepción de complejidad para no sesgar los resultados individuales. El experimento requería mantener confidencialidad para evitar ruido en la percepción de los participantes. Como limitante, para evitar cansancio o desconexión con la actividad, a los participantes, se les solicitó realizar únicamente el registro de un conjunto de datos correspondiente a un modelo completo en un día. Se les indicó que no era válido realizar la repetición de la unión de algún conjunto de datos con el fin de mejorar el tiempo, ya que esto sesgaría los resultados.

### Diseño de experimento

A cada participante se le proporcionó un formulario –instrumento de observación– y una hoja guía de la actividad. Se les explicó que el experimento consistía en unir las nubes de puntos de cuatro bases de datos, con nubes de puntos variables (entre 27-31 nubes de puntos). Se les proporcionó la *Tabla 1*, en algunos casos con grafos (ver ejemplo en la Figura 6) y otro sin grafos para auxiliarlos en la selección de pares de nubes y se les explicó el método de registro a seguir: *método basado en puntos en targets* (con targets) y el *método basado en puntos del ambiente natural* (sin targets).

**Figura 6**

*Grafo elaborado durante la captura del conjunto de datos C1*



Se les indicó que tenían que llenar un formulario al realizar las actividades de registro para cada conjunto de datos de la *Tabla 1*. El formulario tiene un encabezado donde se indica el código de la base de datos de nubes de puntos y el nombre del participante. Seguido está una tabla hasta con 40 filas, con ocho columnas con los siguientes encabezados: la “Nube A”, “Nube B”, “Tiempo preliminar”, “Tiempo de registro”, “Percepción de dificultad (1-5)”, “Error”, “Número de puntos necesarios” y “Nota adicional” (Ver Apéndice 1). Cómo se mencionó en párrafos anteriores, para hacer un registro se requiere de dos nubes de puntos, para esto se dejaron las columnas “Nube A” y “Nube B”, para indicar el nombre de cada una de estas. Seguido se añadieron dos columnas con el tiempo que fue medido en minutos y segundos con la aplicación de Cronómetro integrada en la App Reloj de Android. El tiempo se separó en dos indicadores, con el fin de evitar sesgos en la observación de tiempos: (a) Tiempo preliminar, que corresponde al tiempo que el técnico de registro tarda en buscar, seleccionar y abrir las dos nubes de puntos –esto se reduce con el grafo–; (b) el Tiempo de registro, que es el tiempo que se cuenta a partir de que se tiene el par de nubes de puntos ya cargadas en CloudCompare (EDF, 2024) y se inicia la actividad de buscar y seleccionar los tres pares de puntos –este es el tiempo de interés para conocer la influencia de los targets–. Se les pidió que indicaran en una columna la percepción de dificultad al unir cada par de nubes de puntos, con un valor ordinal del uno al cinco, donde (1) Muy fácil, (2) Fácil, (3) Complejidad moderada, (4) Complejo y (5) Muy complejo. También se agregó una columna de error, donde se escribe el valor del error obtenido en cada registro de par de nubes de puntos en metros. Se incluyó una columna para indicar el número de nubes de puntos requeridas para realizar el registro: tres o más. Finalmente, la columna de nota adicional para incluir la opinión del técnico de registro de nubes de puntos (ver Tabla 2).

**Tabla 2**

*Descripción de variables, tipos de variable y valores en cada una de las columnas del formulario.*

Variables	Nube A	Nube B	Tiempo preliminar	Tiempo de registro	Percepción de dificultad (1-5)	Error	Número de punto necesarios	Nota adicional
Tipo	Categórico	Categórico	Escalar	Escalar	Ordinal	Escalar	Escalar	Nominal
Valor	Nombre de la nube A	Nombre de la nube B	Segundos	Segundos	1) Muy fácil, (2) Fácil, (3) Complejidad moderada, (4) Complejo y (5) Muy complejo	metros	Número de pares de puntos seleccionados.	Dato de opinión
							Al menos 3.	

## Procedimientos de análisis

Para saber cómo incide el uso de targets en el registro tosco de nubes de puntos, se recurrió a las bases de datos indicadas en la *Tabla 1* –“Con targets-sin grafo”, “Con targets-con grafo”, “Sin targets-sin grafo” y “Sin targets-con grafo”–. Se buscó conocer la diferencia de tiempo, el error y la percepción de dificultad. Las bases de datos se agruparon para realizar los siguientes análisis. Se analizó la diferencia de tiempo y error de registro, entre usar el *método basado en puntos con targets* (C1 y C3) y el *método basado en puntos del ambiente natural* (BD7 y T1). Se indagó sobre la percepción de dificultad al registrar nubes de puntos con targets y sin targets. Para conocer si existe alguna diferencia significativa entre usar targets o no usarlos como herramienta de registro, se analizaron tres pruebas estadísticas: análisis de las varianzas de los tiempos de registro, análisis de las varianzas de los errores de registro y se analizó la percepción de dificultad. Para el análisis de las varianzas, debido a que son dos muestras que provienen de dos poblaciones se utilizó la distribución *F*.

## Pruebas de hipótesis planteadas

Lo primero que se buscó fue conocer si existe alguna variación entre el tiempo de registro al utilizar el *método basado en puntos en el ambiente natural* en contraste con el *método basado en puntos con targets*. La prueba estadística que se utilizó fue la distribución F. Se esperaba encontrar que usar targets reduce los tiempos de registro porque se sabe qué puntos buscar y donde buscar. En cambio, el método basado en puntos del ambiente natural queda al azar y tiende a generar errores de selección al identificar pares de puntos iguales en el par de nubes de puntos. La hipótesis nula ( $H_0$ ) para una prueba de distribución F establece que la varianza de las dos poblaciones es o tienden a ser iguales. Es decir, que no existe diferencia significativa entre las variaciones de las dos muestras. Esto significaría que da igual utilizar targets que no usarlos. La hipótesis alternativa ( $H_1$ ) es que si existe diferencia entre las dos muestras y que algunos de los dos métodos tienen mejor rendimiento en tiempos de ejecución. La prueba es de dos colas y el nivel de significancia seleccionado para esta prueba es de 0.10, por ser de dos colas  $\alpha/2 = 0.05$ . La población  $n_1 = 276$  corresponde a las observaciones de tiempos de registro utilizando targets. La población  $n_2 = 286$  que representa la población de observaciones de tiempo de registro sin el uso de targets (con la selección de puntos del ambiente natural). Los grados de libertad son  $df_1 = 275$  y  $df_2 = 285$ . El valor crítico de  $F$  para rechazo de hipótesis nula es de  $F = 1.2179$ . La regla de decisión es, se rechaza la hipótesis nula si el valor de  $F$  es mayor que 1.2179.

Luego se buscó conocer si existe una variación del error de registro entre hacer el registro al utilizando el *método basado en puntos en el ambiente natural* en contraste con el *método basado en puntos con targets*. La prueba estadística utilizada también fue la distribución F. Se esperaba encontrar que, si existe diferencia en el error de registro, y que se reduciría dicho error al usar targets. La hipótesis nula ( $H_0$ ) era que no existía diferencia significativa en el error de registro al hacerlo con cualquiera de los dos métodos antes indicado. La hipótesis alternativa ( $H_1$ ) es que sí existe una diferencia significativa. La prueba también es de dos colas y el nivel de significancia seleccionado para esta prueba fue de 0.10 de  $\alpha = 0.10$ , por ser de dos colas  $\alpha/2 = 0.05$ . La población acá se invirtió debido a que el proceso de cálculo utilizado consistió en dejar la varianza mayor en el numerador para utilizar el mismo valor  $F$  de criterio de rechazo. La población  $n_1 = 286$  corresponde a las observaciones del error de registro sin el uso de targets (con la selección de puntos del ambiente natural) y  $n_2 = 276$  representa la población de observaciones del error utilizando targets. Los grados de libertad son  $df_1 = 285$  y  $df_2 = 275$ . El valor crítico de  $F$  para rechazo de hipótesis nula también es de  $F = 1.2179$ . La regla de decisión también es que se rechaza la hipótesis nula si el valor de  $F$  es mayor que 1.2179.

Para conocer la percepción de dificultad, al tratarse de datos ordinales que varían según el participante, para su análisis se utilizó el método no paramétrico para datos no-apareados de *Kruskall Wallis* ( $H$ ). La hipótesis nula ( $H_0$ ) era que no existía diferencia significativa entre las percepciones de dificultad al momento de usar targets y no usar targets. La hipótesis alternativa ( $H_1$ ) fue que las observaciones de las poblaciones no son iguales. La prueba es de cola derecha ya que se basa en una distribución similar a la de Ji-Cuadrados. El nivel de significancia elegido para esta prueba fue  $\alpha = 0.05$ . En número de observaciones son  $n_1 = 286$  para el caso sin targets y  $n_2 = 276$  para el caso con targets. Los grados de libertad  $df = k - 1 = 1$ . El valor crítico de  $H = 3.84$ , por tanto, se rechaza la  $H_0$ , si el valor del estadístico  $H$ , es mayor que 3.84. Para finalizar se indica que todos los análisis fueron realizados en RStudio.

## Resultados

La sección de resultados se presenta en tres secciones basado en el análisis probabilístico descrito en la sección de método. Primero se presenta el análisis de Distribución F para conocer si existe una variación en el tiempo de registro de nubes de puntos con el uso y sin el uso de targets. Luego se presenta el análisis de Distribución F para conocer si existe una variación en el error de registro de nubes de puntos con el uso y sin el uso de targets. Y finalmente si existe una diferencia en la percepción de complejidad al realizar el registro de nubes de puntos con el uso y sin el uso de targets.

### Tiempo de registro de nubes de puntos con el uso y sin el uso de targets

Se aplicó la prueba probabilística de distribución *F*, para identificar si existe diferencias probabilísticas entre las variables de las dos muestras de tiempos observados. El número de observaciones consideradas fueron: sin targets fue  $n_1 = 276$  y con targets  $n_2 = 286$ . La media de la muestra de tiempo de registro sin targets es de  $\bar{X}_1 = 158.80\text{ s}$  y la media de la muestra de registro con targets es de  $\bar{X}_2 = 172.49\text{ s}$ . Las varianzas encontradas fueron  $S^2_1 = 12,974.72$  y  $S^2_2 = 10,766.35$ . El valor encontrado de *F* (1.2051), para un valor crítico de *F* (1.2179), con  $df_1 = 275$  y  $df_2 = 285$ . Se obtuvo un *p-value* = 0.059. Se acepta la hipótesis nula, en la cual no existe diferencia significativa entre los dos grupos de población. Se demuestra, con base en estas observaciones, que el tiempo de registro no varía considerablemente al usar o no targets.

### Error de registro de nubes de puntos con el uso y sin el uso de targets

Se aplicó la prueba probabilística de distribución *F*, para identificar si existe diferencias probabilísticas entre las variables de las dos muestras de tiempos observados. El número de observaciones consideradas fueron: sin targets fue  $n_1 = 286$  y con targets  $n_2 = 276$ . La media de la muestra de tiempo de registro sin targets es de  $\bar{X}_1 = 0.0116\text{ m}$  y la media de la muestra de registro con targets es de  $\bar{X}_2 = 0.0089\text{ m}$ . Las varianzas encontradas fueron  $S^2_1 = 6.94 \times 10^{-5}$  y  $S^2_2 = 3.37 \times 10^{-5}$ . El valor encontrado de *F* (2.0618), para un valor crítico de *F* (1.2179), con  $df_1 = 285$  y  $df_2 = 275$ . Se obtuvo un *p-value* =  $2.366 \times 10^{-9}$ . El valor encontrado es mayor al valor crítico, por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la  $H_1$ , de que existe una diferencia significativa en el error de registro observado. Se demuestra, con base en estas observaciones, que el error de registro suele ser menor cuando se utiliza el *método basado en puntos con targets*.

### Percepción del registro de nubes de puntos con el uso y sin el uso de targets

Se aplicó el análisis de *Kruskall Wallis* para conocer si existe alguna diferencia en la percepción de complejidad de registros de nubes de puntos, cuando se utilizan puntos de targets o puntos del ambiente natural. Para una prueba un grado de libertad ( $df = 1$ ), el valor encontrado ( $H=0.54856$ ), con un *p-value* = 0.4589. Las medias encontradas fueron para la dificultad con targets  $\bar{X}_1 = 1.9492$  y  $\bar{X}_2 = 1.9020$  para las observaciones sin el uso de targets. Ambas próximas a 2, que significa que la percepción del registro fue “fácil”. El valor encontrado es menor al valor crítico, por lo que no se rechaza la hipótesis nula. Se puede afirmar que no existe una diferencia probabilística en la percepción de dificultad al utilizar el *método basado en punto con targets* o el *método basado en puntos del ambiente natural*.

## Conclusiones

En este estudio se logró conocer que el uso de targets únicamente tiene implicaciones en la reducción del error de registro. El tiempo de registro y la percepción de dificultad tienden a no presentar variaciones significativas en términos probabilísticos.

Los levantamientos se realizaron con un total de 6 targets. Pero se buscó al menos tener tres targets en común por cada par de nubes. Aunque en ocasiones había más targets en común, no fueron necesarios utilizarlos, porque casi la totalidad de los registros se realizó con tres pares de puntos. De un total de 562 observaciones solamente 2 se realizaron con 4 puntos.

En la primera prueba se logró conocer que no existe una diferencia significativa entre los dos modelos. Esto indica que el uso de targets no influye en reducir el tiempo. Esto se puede explicar con dos hechos. El primero es que si la captura de campo fue planeada de tal manera que no existe occlusiones representativas y la densidad de nubes suele ser regular, tanto el uso de puntos del ambiente natural como el uso de targets son fácilmente reconocibles. El segundo factor es que los técnicos que han pasado expuestos muchas horas de prácticas y han superado la curva de aprendizaje, se adaptan fácilmente a seleccionar puntos del ambiente natural. Por el contrario, estar buscando los targets les resulta ligeramente una inversión de tiempo en algunos casos, los cuales compensan el tiempo que pueden estar ganando en algunos pares de nubes. Esto se refleja en los tiempos medios identificados, los cuales indican que se suele tardar más tiempo cuando se utilizan targets.

En cuanto al error de registro, se encontró lo que se había supuesto como hipótesis. Esto es claro debido a que los puntos seleccionados desde los targets suelen ser más regulares en las nubes de puntos. También es interesante conocer que el error se pudo disminuir de 1cm a 0.8 cm. Por otro lado, se puede decir que los errores están dentro de los márgenes aceptables ya que no superan los 2.5 cm que se manejan en Cyclone 9.0 (Leica Geosystem, 2014) de Leica.

Lo que se puede decir de la percepción de complejidad es que, aunque los técnicos de registros afirmaron individualmente y previo a este estudio, que es más fácil unir las nubes cuando existen targets, los datos de las observaciones indican que, considerando las varianzas, la percepción no difiere significativamente. Y que el resultado, en términos generales es que, resultó ser fácil de lo que pensaban realizar la tarea del registro.

Para finalizar se puede indicar que se recomienda el uso de targets en las siguientes condiciones: (a) para edificios con geometría complejas, donde se requiera tener un alto nivel de precisión y reducir el error; (b) en los casos donde no signifique un costo representativo tener un técnico más en el proceso de levantamiento para que manipule los targets en campo.

### Contribución de autoría CRediT

**Conceptualización:** Luis Carlos Cruz-Ramírez

**Metodología:** Luis Carlos Cruz-Ramírez y Jorge Fernando Zárate-Martínez.

**Análisis formal:** Luis Carlos Cruz-Ramírez.

**Investigación:** Luis Carlos Cruz-Ramírez y Jorge Fernando Zárate-Martínez.

**Redacción – Borrador Original:** Luis Carlos Cruz-Ramírez.

**Redacción-Revisión y Edición:** Jorge Fernando Zárate-Martínez.

**Supervisión:** Luis Carlos Cruz-Ramírez.

**Administración del proyecto y Adquisición de fondos:** Luis Carlos Cruz-Ramírez.

### Declaración de intereses contrapuestos

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés, financiero o no financiero que pudieran haber influido en los resultados, la interpretación de los datos o la elaboración del presente artículo. La fuente de financiamiento para la elaboración de este artículo proviene del proyecto de investigación IPN SAPPI 2025-2026 con registro SIP 20251349.

### Agradecimientos

Este artículo fue realizado gracias al apoyo del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Fue elaborado en el marco del proyecto de investigación IPN SAPPI 2025-2026 con registro SIP 20251349. Se les agradece a por haber participado gentilmente en la elaboración de este estudio a: Ángel Martínez-Martínez, Anie Karyme Rosas-Salgado, Valeria Meneses-Rosales, Gerardo Tomihuatzí Rivas-González, Alexis Medellín Gómez, Eli Alvaro Eliuh Camargo-Suárez y Fernando Malpica-Ortega.

### Referencias

- EDF. (2024). Cloud Compare (2.13.2 Kharkiv) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.cloudcompare.org>
- Akca, D., & Gruen, A. (2007). Generalized least squares multiple 3D surface matching. *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007*. Espoo, Finland: IAPRS. Retrieved from [https://foto.aalto.fi/ls2007/presentations/Akca\\_ls2007\\_presentation.pdf](https://foto.aalto.fi/ls2007/presentations/Akca_ls2007_presentation.pdf)
- Aryan, A., Bosché, F., & Tang, P. (2021). Planning for terrestrial laser scanning in construction: A review. *Automation in Construction*(125). doi:10.1016/j.autcon.2021.103551
- Barber, D. M., Dallas, R. W., & J Mills, o. P. (2006). Laser Scanning for Architectural Conservation. *Journal of Architectural Conservation*, 12(1), 35-52. doi:10.1080/13556207.2006.10784959
- Bosché, F. (2012). Plane-based registration of construction laser scans with 3D/4D building models. *Advanced Engineering Informatics*, 26, 90-102. doi:10.1016/j.aei.2011.08.009
- Cheng, L., Chen, S., Liu, X., Xu, H., Wu, Y., Li, M., & Chen, Y. (2018). Registration of Laser Scanning Point Clouds: A Review. *Sensors*, 18(1641), 1-25. doi:10.3390/s18051641

Cox, R. A. (2015). Real-world comparisons between target-based and targetless point-cloud registration in FARO Scene, Trimble RealWorks and Autodesk Recap [Bachelor Dissertation]. University of Southern Queensland. Retrieved from [https://sear.unisq.edu.au/29195/1/Cox\\_R\\_Zhang.pdf](https://sear.unisq.edu.au/29195/1/Cox_R_Zhang.pdf)

Dong, Z., Liang, F., Yang, B., Xu, Y., Zang, Y., Li, J., . . . Stilla, U. (2020). Registration of large-scale terrestrial laser scanner point clouds: A review and benchmark. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 163, 327-342. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.03.013>

Gu, X., Wang, X., & Guo, Y. (2020). A Review of Research on Point Cloud Registration Methods. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 782. doi:10.1088/1757-899X/782/2/022070

Keitaanniemi, A., Virtanen, J.-P., Rönnholm, P., Kukko, A., Rantanen, T., & Vaaja, M. (2021). The Combined Use of SLAM Laser Scanning and TLS for the 3D Indoor Mapping. *Building*, 11(386), 1-18. doi:10.3390/buildings11090386

Leica Geosystems. (2014). Cyclone V9.0 [Computer Software]. Retrieved from <https://leica-geosystems.com/de-at/blog-content/2014/leica-cyclone-9>

Leica Geosystems. (2025, 10). *Leica ScanStation C10*. Retrieved from Leica Scanstation C10: <https://cpec.leica-geosystems.com/es/producto/leica-scanstation-c10/>

Liu, Y. (2006). Automatic Registration of overlapping 3D point clouds using closest points. *Imagen and Vision Computing*(24), 762-781. doi:10.1016/j.imavis.2006.01.009

Mill, T., Alt, A., & Liias, R. (2013). Combining 3D Building Surveying Techniques - Terrestrial Laser Scanning (TLS) And Total Station Surveying for BIM Data Management Purposes. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19, 23-32. doi:10.3846/13923730.2013.795187

Remondino, F. (2011). Heritage Recording and 3D modeling with photogrammetry and 3d scanning. *Reometric Sensing*(3), 1104-1138. doi:10.3390/rs3061104

Urbančič, T., Roškar, Ž., Kosmatin Fras, M., & Grigillo, D. (2019). New Target for Accurate Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle Point Cloud Registration. *Sensors*, 19(14). doi:<https://doi.org/10.3390/s19143179>

## Apéndices

### Apéndice 1. Formulario de captura de datos

Nombre de la nube de puntos: \_\_\_\_\_

Autor del registro: \_\_\_\_\_

Nube A	Nube B	Tiempo preliminar	Tiempo de registro	Percepción de dificultad (1-5)*	Error	Número de punto necesarios	Nota adicional

\*(1) Muy fácil, (2) Fácil, (3) Complejidad moderada, (4) Complejo y (5) Muy complejo.

Dirección de envío de correo.