

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**APLICACIÓN DEL ESCÁNER LÁSER TERRESTRE EN EL CONTROL  
DIMENSIONAL DE UNA ESTRUCTURA**

**Autora: Laura Yisel Batista Ramírez.**

**HOLGUÍN 2021.**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**APLICACIÓN DEL ESCÁNER LÁSER TERRESTRE EN EL CONTROL  
DIMENSIONAL DE UNA ESTRUCTURA**

**Autora: Laura Yisel Batista Ramírez.**

**Tutor: Dr.C. Luis Enrique Acosta González (PT).**

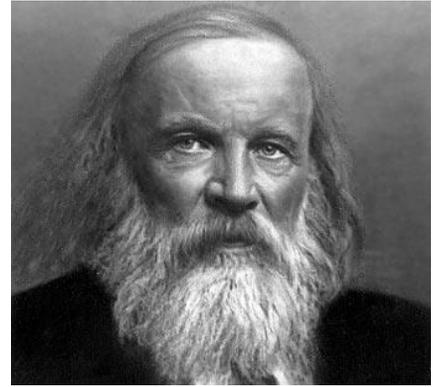
**Consultantes: Ing. Yasmany Rodríguez Pérez (PI).**

**Arq. Servio Valiente Riverón.**

**HOLGUÍN 2021**



**PENSAMIENTO**



“La ciencia comienza donde empiezan las mediciones.”

Dmitri Ivánovich Mendeláyev



## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mi madre.



## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo agradecer a mi madre por su dedicación a mí, si he llegado hasta aquí es gracias a ella.

A mi familia que siempre me brindó su ayuda cuando la necesité.

Al grupo de tecnología del Taller de Geodesia y Topografía de GEOCUBA Oriente Norte, en especial al Ing. Yasmany Rodríguez Pérez por su contribución en la elaboración de este trabajo.

A los trabajadores de Vértice, en particular a la Ing. Sucely Pérez Cruz y el Arq. Servio Valiente Riverón por su disposición y asesoría.

A mi tutor Dr.C. Luis Enrique Acosta González por su interés y consejos ofrecidos.

A Hermes y Marlene por ofrecerme su espacio de trabajo.

A todos los que colaboraron de una forma u otra en la concepción de esta investigación.



## **RESUMEN**

La recolección de información sobre la geometría de una obra en un control dimensional se puede ver afectado si el equipamiento empleado no es el óptimo. La asimilación de nuevas tecnologías capaz de maximizar la cantidad de datos que se recogen en cortos periodos de tiempo, con altos grados de precisión; permite agilizar el proceso. Este trabajo tiene como finalidad realizar el control dimensional de los elementos estructurales en el caso de estudio “Nave de la Universidad de Holguín” a partir del empleo del Escáner Láser Terrestre “ELT”. Se aplica un esquema de trabajo para utilizar el software Cyclone en el procesamiento de las nubes de puntos obtenidas del escaneado láser. El software Autodesk Revit se emplea para obtener el modelo 3D de la estructura a partir de la información adquirida y determinar sus dimensiones. Se realiza un análisis comparativo entre los resultados del ELT, los valores obtenidos por el método directo y los fijados en el proyecto de construcción. En la confección del trabajo se implementaron diferentes métodos de la investigación científica y como norma para la edición bibliográfica el sistema APA de la sexta edición del Microsoft Office.



## **ABSTRACT**

The collection of information on the geometry of a work in a dimensional control can be affected if the equipment used is not optimal. The assimilation of new technologies capable of maximizing the amount of data that is collected in short periods of time, with high degrees of precision; allows to streamline the process. The purpose of this work is to carry out the dimensional control of the structural elements in the case study "Nave de la Universidad de Holguín" from the use of the Terrestrial Laser Scanner "TLS". A working scheme is applied to use the Cyclone software in the processing of the point clouds obtained from the laser scan. Autodesk Revit software is used to obtain the 3D model of the structure from the acquired information and determine its dimensions. A comparative analysis is carried out between the results of the TLS, the values obtained by the direct method and those established in the construction project. In the preparation of the work, different methods of scientific research were implemented and as a standard for the bibliographic edition the APA system of the sixth edition of Microsoft Office.



## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 1: ESTADO ACTUAL DE LA APLICACIÓN DEL ESCANEADO LÁSER TERRESTRE EN EL CONTROL DIMENSIONAL DE UNA ESTRUCTURA.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Generalidades sobre el Escaneado Láser Terrestre. ....</b>	<b>7</b>
1.1.1 Clasificación de sistemas de escáner láser.....	7
1.1.2 Escáner Láser P40.....	9
1.1.3 Modelado 3D de edificaciones a partir de nubes de puntos generadas por Escáner Láser Terrestre.....	12
1.1.4 Ventajas y limitaciones del ELT. ....	15
<b>1.2. Aplicación del Escaneado Láser Terrestre. ....</b>	<b>15</b>
1.2.1. En la Ingeniería Civil.....	15
1.2.2. En Cuba.....	17
<b>1.3. Generalidades sobre el control dimensional.....</b>	<b>20</b>
Conclusiones del capítulo. ....	26
<b>CAPÍTULO 2: CONTROL DIMENSIONAL EN EL MODELO 3D DE UNA EDIFICACIÓN A PARTIR DE NUBES DE PUNTOS GENERADA POR ESCÁNER LÁSER TERRESTRE. CASO DE ESTUDIO NAVE UHo. ....</b>	<b>27</b>
2.1. Estado actual de la Nave UHo.....	27
2.2. Esquema de trabajo para control dimensional en el modelo 3D de la Nave UHo creado a partir de una nube de puntos generada por Escáner Láser Terrestre. ....	28
2.2.1. Obtención de la nube de puntos.....	28
2.2.2. Procesamiento de la nube de puntos.....	31
2.2.3. Indexación de la nube de puntos.....	42
2.2.4. Modelación 3D. ....	43
2.2.5. Control dimensional.....	50
2.2.6. Análisis de los resultados. ....	51
Conclusiones del capítulo. ....	54
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>55</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>57</b>



## **INTRODUCCIÓN**

Todo proyecto en la rama de la construcción debe cumplir con tres principios fundamentales: costo, plazo y calidad. Los que se ven afectados si las dimensiones estructurales no son las correctas. Por ello es necesario emplear las nuevas tecnologías que permitan perfeccionar los procesos que intervienen en el alcance de estos principios. Ejemplo de ello es el Escáner Láser Terrestre “ELT” el cual optimiza el tiempo y la digitalización, se puede obtener la visualización de un proyecto en menor periodo y realizar cálculos con la ayuda de software especializados con una mayor precisión.

La Tecnología del escáner láser 3D revela plenamente las ventajas del láser, tales como la buena directividad, una fuerte coherencia y el pequeño ángulo de divergencia. Dentro de las características más importantes de esta tecnología se encuentran una alta precisión, velocidad, sencillez en el manejo, fuerte capacidad anti-interferencia y el conveniente procesamiento de datos. (Herrera De La Rosa, 2018) La mayoría tienen un campo de visión de 360°. Permite una evaluación no destructiva que no requiere contacto directo con la zona de estudio para su inspección; haciendo posible tomar información de zonas inaccesibles, como áreas muy elevadas.

Es capaz de tomar una gran cantidad de puntos con una alta precisión en un tiempo relativamente corto, cuya densidad dependerá de la resolución requerida. Es como tomar una fotografía, formada por un conjunto de puntos, con información de profundidad. Es necesario realizar múltiples capturas desde diferentes posiciones para garantizar una cobertura completa de una estructura.

El proceso de escaneado es totalmente automático. Tras apretar el botón de control en el programa el escáner se mueve al inicio y empieza a tomar puntos que se almacenan en el ordenador portátil o en la memoria interna. (Lerma García & Biosca Tarongers, 2008). Sin embargo, antes es necesario analizar el área a levantar,



determinar el objeto a capturar, las puestas de instrumentos óptimas y la ubicación de los puntos de referencia.

El resultado de una captura de un escáner es una gran cantidad de puntos en el espacio que representan una reproducción digital de la realidad capturada, cada uno de los puntos tienen unas coordenadas (x, y, z) y, normalmente, un valor de reflectividad. Algunos proporcionan incluso información del color en forma de valores RGB (rojo, verde y azul). Dicha nube se procesa para convertirla en un resultado final, que se puede presentar como una nube de puntos limpia, planos 2D estándar o modelos 3D totalmente texturizados para animaciones y navegación.

Las ventajas que acompañan a esta tecnología ha provocado que se utilice en la mayoría de los sectores de la sociedad. En la ciencia forense un equipo puede capturar digitalmente una escena del crimen en su totalidad en minutos en lugar de horas. Los escaneos resultantes serán geoméricamente más precisos, conteniendo todos los colores, profundidades y texturas presentes en la escena, además de las relaciones espaciales exactas entre todo los elementos capturados. (Grupo Solitium, 2020)

Ha demostrado ser una herramienta muy importante en el proceso de ingeniería inversa, elimina la necesidad de diseñar un producto desde cero. Ofrece el camino más rápido y preciso para el desarrollo de productos, así como para mejorar el flujo de trabajo de producción. Garantiza que los nuevos componentes se ajusten perfectamente a las piezas y estructuras existentes, incluidas las piezas heredadas que ya no están disponibles o incluso de las que no se tienen planos ni archivos. (Grupo Solitium, 2020)

El escaneo en 3D ha jugado un papel fundamental, especialmente en la última década en la creación de los gráficos por ordenador. En lugar de dedicar incontables horas a crear nuevos gráficos por ordenador y escenarios desde cero, los artistas y diseñadores pueden utilizar un escáner para capturar digitalmente objetos, actores e incluso escenas enteras en cuestión de minutos. A partir de ahí, se trata de un



proceso corto para convertir estos archivos en modelos 3D, que luego pueden modificarse e integrarse utilizando una variedad de tecnologías cinematográficas. Los modelos digitales resultantes que finalmente se ven en la pantalla son impresionantes, a menudo indistinguibles de los actores, accesorios y lugares reales. (Grupo Solitium, 2020)

También ha encontrado su camino en el campo de los videojuegos. Las empresas dedicadas a este fin pueden digitalizar rápidamente nuevos personajes, objetos y ubicaciones en cuestión de semanas, en lugar de los meses que solía tomar el método tradicional. Esto les ha permitido lanzar nuevas versiones más rápido.

En la actualidad debido a las precisiones alcanzadas por el ELT, se emplea en la ingeniería para la modelación de estructuras con diferentes fines como la planificación urbana, evaluaciones geológicas, estudios forestales, análisis de vegetación y de erosión como levantamientos topográficos, tomando en cuenta registro de coordenadas, tipo de dianas y el efecto del ángulo y la distancia del escaneo. (Suárez Matarrita , 2019).

Esta tecnología está demostrando un avanzado ritmo de crecimiento en calidad, tanto en instrumental como en metodologías de trabajo y software de tratamiento de datos, permitiendo un gran abanico de posibilidades para la obtención de modelos tridimensionales de cualquier tipo, con gran precisión y exactitud. Permiten realizar un registro in situ y posterior documentación precisa y en detalle, para obtener resultados fiables y ajustados a la realidad. Se puede determinar la ubicación, la forma, el tamaño de todo lo escaneado; haciendo posible identificar las distintas patologías que puedan afectar a un objeto, como son los problemas estructurales, las deformaciones, entre otros. (Viera Rodríguez, 2019) La documentación geométrica obtenida es un aporte fundamental en el control dimensional que se realizan en una obra.

Hoy en día, Cuba apuesta por descubrir nuevos procesos que permitan hacer más en menos tiempo y con menor costo. Ejemplo de ello es la asimilación de nueva



tecnología como el ELT, a partir del cual se obtiene un modelo tridimensional de nube de puntos que puede ser exportado hacia otros softwares de diseño para facilitar el modelado 3D de edificaciones, posibilita realizar análisis sobre estos. Así como la generación de los planos de planta y alzados, secciones y hasta la obtención de los importantes planos “as built” (Hernández Peña, 2019). Aspecto a considerar ya que gran parte de la infraestructura civil cubana es anterior a los años 1990, lo que trae como consecuencia que no siempre exista la información sobre su geometría.

A pesar de que ha habido un aumento en el número de empresas que han adquirido ELT, no se ha podido explotar al máximo los beneficios que genera. En la rama de la construcción en particular, no se ha profundizado a cabalidad todas sus posibles utilidades. Por lo antes expuesto se formuló siguiente problema de investigación.

**Problema de la investigación:** la necesidad de comprobar la factibilidad del Escáner Láser Terrestre para realizar el control dimensional de una estructura.

**Objeto de investigación:** Escáner Láser Terrestre.

**Campo de acción:** proceso de control dimensional de una estructura a partir del Escáner Láser Terrestre.

**Objetivo general:** realizar el control dimensional de una estructura a partir del empleo de la tecnología del Escáner Láser Terrestre.

**Hipótesis de la investigación:** si se aplica el Escáner Láser Terrestre para el control dimensional de una estructura, así como un consecuente esquema de trabajo para las mediciones y procesamiento de las nubes de puntos, es posible obtener un modelo 3D con una adecuada precisión que permita la realización del control de obras.



**Objetivos específicos:**

- Analizar el estado actual y la perspectiva de la aplicación del Escáner Láser Terrestre en el control dimensional de una estructura.
- Obtener el modelo 3D georreferenciado de la estructura a partir de la nube de puntos generada del Escaneado Láser Terrestre.
- Comprobar el modelo 3D desde un análisis dimensional comparativo.

**Métodos empleados en la investigación:**

- Métodos teóricos:
  - Histórico-lógico: permite el análisis de la evolución del Escáner Láser Terrestre, su implementación en Cuba y en la ingeniería civil.
  - Hipotético-deductivo: para realizar la hipótesis de la investigación e inducir la vía para dar solución al problema de la investigación.
- Métodos empíricos:
  - Análisis de documentos: proporciona información sobre el objeto de la investigación y donde se aplica.
  - Entrevista: amplía el conocimiento sobre el campo de investigación y valida los resultados obtenidos.

**Aporte de la investigación:** nueva aplicación del Escáner Láser Terrestre en la ingeniería civil en Cuba, optimiza el proceso de control dimensional de una estructura.

**Novedad de la investigación:** empleo del modelo tridimensional adquirido por el procesamiento de datos de una nube de puntos provenientes de un Escáner Láser Terrestre, para realizar el control dimensional de una estructura de manera más eficiente respecto a las técnicas tradicionales. Es el primer reporte del tema en la Universidad de Holguín.

**Actualidad del tema de investigación:** es una extensión de una de las líneas de investigación del Departamento de Construcciones: “Innovación para el desarrollo sostenible”, concretamente al Áreas del Conocimiento: “Proceso inversionista,



planificación, organización, ejecución y control de obras de ingeniería”. El Proyecto de Investigación al que corresponde esta investigación es “Integración Geomática-BIM para el perfeccionamiento de la gestión de proyectos y el control de obras”. Está sujeta al programa Sectorial “03” del MICONST "Desarrollo de sistemas y tecnologías para la Optimización de las Inversiones” y el Proyecto Empresarial (2020-10) que se efectúa con GEOCUBA para fomentar el vínculo universidad-empresa. Responde a la nueva política de Ciencia Tecnología e Innovación (CTI) establecida en el proceso de ordenamiento del país.

### **Estructura del del Trabajo de Diploma:**

- Introducción: se resalta la importancia, antecedentes, novedad y aporte del tema de investigación. Se declara el objetivo a seguir e hipótesis a comprobar, además de los métodos que se emplearán para llevarlo a cabo.
- Capítulo I: análisis el estado actual de la aplicación del Escaneado Láser Terrestre en el control dimensional de una estructura.
- Capítulo II: se ejecuta el control dimensional en el Modelo 3D de una edificación a partir de una nube de puntos generada por Escáner Láser Terrestre. Caso de estudio “Nave UHo”.



## CAPÍTULO 1: ESTADO ACTUAL DE LA APLICACIÓN DEL ESCANEADO LÁSER TERRESTRE EN EL CONTROL DIMENSIONAL DE UNA ESTRUCTURA.

### 1.1. Generalidades sobre el Escaneado Láser Terrestre.

Surge de la necesidad de crear un instrumento, basado en los métodos fotogramétricos, que fuese capaz de obtener del entorno una nube de puntos que contuviera todos los puntos que pudieran ser medidos cubriendo un ángulo específico y aumentar la velocidad de captura hasta 1000; 10 000; 100 000 o 1000 000 puntos por segundo.

Un equipo láser escáner consta de dos componentes básicos: un dispositivo de medida de distancias y un mecanismo de barrido. Esta tecnología es capaz de medir una gran cantidad de puntos, al mismo tiempo ángulos y el valor de la reflectancia de las distintas superficies impactadas por el láser. Con los valores registrados se podrán calcular las coordenadas tridimensionales (x, y, z) de cada uno de los puntos (Rodríguez, 2019). El escaneado puede tener un tiempo de duración de cinco hasta más de 120 minutos en correspondencia con la resolución elegida y el área capturada.

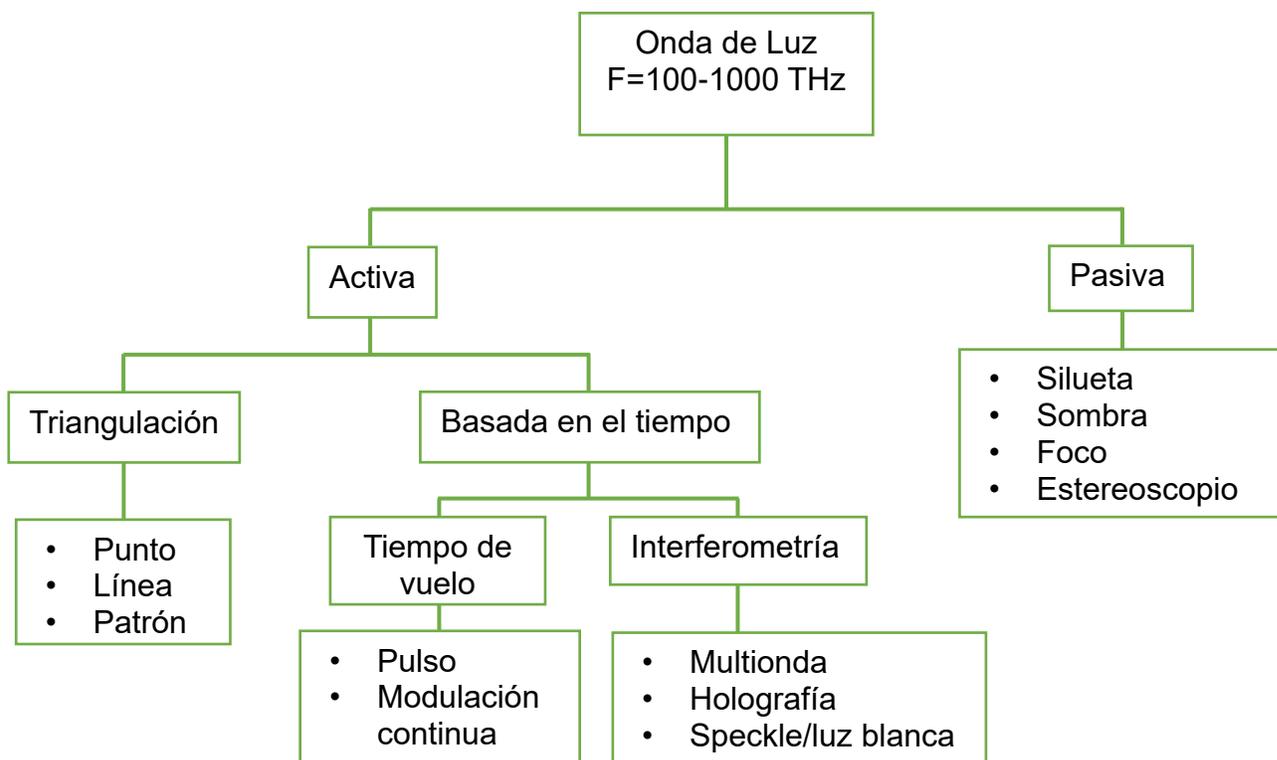
Describe un método mediante el cual una superficie se muestrea usando tecnología láser. Se analiza un entorno u objeto real para tomar datos sobre su forma y, posiblemente, su apariencia (por ejemplo, el color). Los datos capturados pueden ser utilizados más tarde para realizar reconstrucciones digitales, planos bidimensionales o modelos tridimensionales útiles en una gran variedad de aplicaciones. (Lerma García & Biosca Tarongers, 2008)

#### 1.1.1 Clasificación de sistemas de escáner láser.

Basándose en la medición usando la luz, las mismas se pueden clasificar como activas o pasivas. Las técnicas pasivas no emiten radiación alguna, pero en cambio se basan en detectar la radiación ambiental reflejada. La mayoría de escáneres de este tipo detectan la luz visible porque es una radiación ambiental fácilmente



disponible. Los métodos pasivos pueden ser muy baratos porque en la mayoría de los casos no necesitan más hardware que una cámara digital. El problema con estas técnicas es que dependen de encontrar correspondencias entre imágenes 2D, lo que no siempre tiene una única solución. Los escáneres activos emiten algún tipo de radiación controlada y detectan su reflexión con el fin de sondear un objeto o un entorno. No requieren luz ambiental, porque ellos generan su propia radiación. Respecto a los sistemas pasivos tienen ventaja pues proporcionan gran cantidad de mediciones de manera automática, se pueden utilizar en superficies sin rasgos distintivos y capturan mucha información en poco tiempo (1000-500.000 ptos/s). (Lerma García & Biosca Tarongers, 2008)



**Figura 1.1: Clasificación de equipos escáner láser según sistema de medida.** (Romeral Pérez, 2014)

Si el escáner se mantiene en una posición fija durante la toma de datos, se llama escaneado láser estático. Por el contrario, si está en una plataforma móvil se denomina dinámico. Estos requieren otros sistemas de posicionamiento adicionales



tales como INS o GPS y se pueden ubicar en aeroplanos escáneres, vehículos o plataformas aéreas no tripuladas. En este trabajo se abordará solo sobre el ELT, que opera en tierra; puede ser colocando sobre una base fija o un sistema móvil por medio de vehículo o personal.

### 1.1.2 Escáner Láser P40.

En la conformación de este trabajo el escaneado se realizó con el Escáner Láser Leica P40, el cual es propiedad de GEOCUBA Oriente Norte. El equipo fue obtenido por la empresa en septiembre del 2019. Se hizo necesario realizar un periodo de capacitación, que concluyó en enero del 2020, llevado a cabo por la empresa GEODESA. Fue suministrado por una empresa extranjera integradora de productos, soluciones y servicios de alto contenido tecnológico en los sectores de la construcción, minería, obra pública e industria conocida como DEHISPA; también brindó información necesaria sobre la tecnología a diversas empresas del país que poseen un ELT.

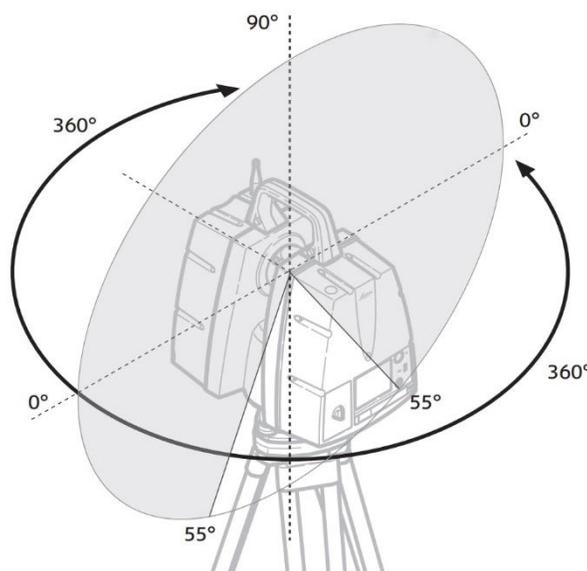


**Figura 1.2: Escáner Láser P40.** (Leica Geosystems, 2018)

Los sistemas Leica ScanStation ofrecen datos en 3D de calidad, así como imágenes de alto rango dinámico (HDR) a una velocidad de escaneo de un millón de puntos por segundo con rango de distancia de hasta 270 m. Proporciona gran alcance y precisión angular, bajo nivel de ruido y compensador de doble eje que contribuyen a conseguir nubes de puntos 3D a color con alto nivel de detalle y una claridad propia del mundo real. (Leica Geosystems, 2017)



Funcionan en condiciones medioambientales exigentes, el intervalo de temperatura de funcionamiento oscila entre  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pero no integra dispositivos de protección que garanticen un empleo seguro en entornos agresivos o con peligro de explosión. Además, se ajustan a la clasificación IP54 en cuanto a resistencia al polvo y al agua. El láser que contiene es clase 1, son seguros en condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos para visión intrahaz. El instrumento tiene una base giratoria para escaneo y un espejo de rotación que cubre un campo de visión de  $360^{\circ}$  horizontal y  $290^{\circ}$  vertical, figura 1.3.



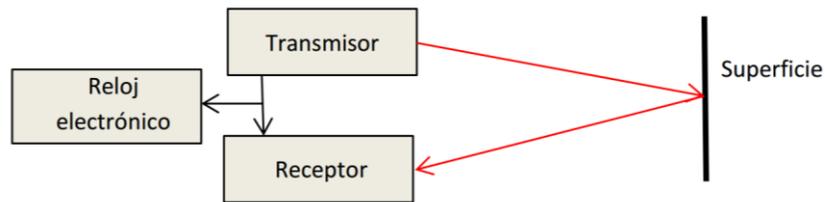
**Figura 1.3: Campo de visión Escáner Láser P40.** (Leica Geosystems, 2018)

Está diseñado para utilizarlo en medición de ángulos horizontales y verticales, distancias, escaneo de objetos, captura y registro de imágenes, registro de datos de medición, cálculo con software, control remoto del producto y comunicación de datos con equipos externos.

Su sistema de medición es basado en tiempo, son escáneres activos que miden un intervalo de tiempo entre dos sucesos. En este caso se basa específicamente en pulsos (tiempo de vuelo), figura 1.4. Aprovechan la coherencia espacial y temporal característica de los láseres para medir. Las ondas de luz viajan con una velocidad finita y constante a través de un medio lo que permite medir el tiempo que demora en

10

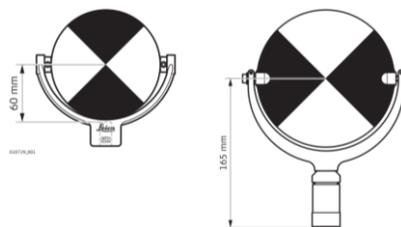
ir de la fuente al objeto y regresar. Es posible calcular la distancia entre el emisor y la superficie, será la mitad del espacio recorrido. Es necesario recordar que la propagación de la luz depende del medio en que se emite. (Lerma García & Biosca Tarongers, 2008)



**Figura 1.4: Principio de un láser escáner basado en el tiempo de vuelo.** (Cabrejas Herrero)

Para evitar que ocurran mediciones ambiguas, el tiempo medido debe ser mayor que la amplitud del pulso. La máxima frecuencia de pulso está determinada por el hecho de que el emisor no puede enviar un pulso hasta que no haya recibido el anterior. La ventaja de usar un sistema de pulsos para las mediciones láser de distancia es la alta concentración de la energía transmitida, necesaria para altas precisiones en mediciones de larga distancia. El inconveniente es el problema de detectar la llegada exacta de los retornos dispersos del pulso debido a la naturaleza cambiante de las tolerancias ópticas y la atenuación atmosférica. (Lerma García & Biosca Tarongers, 2008)

Uno de los accesorios más importantes que contiene son las dianas de puntería, perfectas para el registro de los distintos escaneos y asegurar la calidad de los mismos. Permiten la georreferenciación para conocer los puntos de control y asegura el registro de múltiples nubes de puntos.



**Figura 1.5: Señal de puntería.** (Leica Geosystems, 2018)

La georreferenciación permite alinear las nubes de puntos y referir el conjunto de datos a un sistema de coordenadas fijo. El registro se puede hacer de forma indirecta, en este caso es necesario emplear dianas para alinear las nubes de puntos. Si se requiere georreferenciar se deben medir los puntos de referencia mediante técnicas topográficas y transformarlos a un sistema de coordenadas conocido. En este tipo de registro se precisan mínimo tres dianas, aunque es mejor tener más para minimizar mediante un ajuste mínimo cuadrático. Cuando no hay dianas artificiales disponibles, se improvisan tomando objetos cuya superficie pueda ajustarse a una superficie geométrica ideal. Se pueden utilizar entidades naturales, son bastante subjetiva especialmente en escaneados muy inclinados (Lerma García & Biosca Tarongers, 2008)

El registro directo significa que la posición y orientación del escáner se calculan directamente. Se puede realizar de dos maneras, estacionarlo directamente sobre un punto conocido, utilizando una plomada láser, o determinar su emplazamiento colocando un receptor GPS sobre él. Esta técnica reduce el número de dianas a considerar. (Lerma García & Biosca Tarongers, 2008)

### **1.1.3 Modelado 3D de edificaciones a partir de nubes de puntos generadas por Escáner Láser Terrestre.**

Las nubes de puntos obtenidas de un escaneado láser suelen ser masivas, para su procesamiento existen diversos tipos de programas. Se pueden emplear softwares comerciales como Leica Cyclone, PointSense, Trimble RealWorks, entre otros. El procesamiento de la nube de puntos incluye un conjunto de pasos obligatorios, desde la importación, registro, unificación, limpieza y exportación de la misma. Existen otros procesos optativos según lo que se desee lograr como la creación de una vista real, generación de videos de recorridos virtuales, creación de planos, etc. (Hernández Peña, 2019)

En este trabajo para el procesamiento de la nube de puntos se emplea el software Cyclone, debido a que el escáner empleado es de la firma Leica y se tienen las



licencias necesarias para operar con él. Está conformado por un conjunto de módulos de softwares que aporta la mayor cantidad de opciones de procesos de trabajo para proyectos de escaneo láser 3D. Permite administrar la información de manera eficiente en las bases de datos. Los usuarios pueden trabajar al mismo tiempo, sin necesidad de copiar y/o transmitir los archivos de proyecto con grandes nubes de puntos. Los módulos que lo conforman son:

- Cyclone Scan: controla el proceso de escaneado del equipo.
- Cyclone Register: ofrece un conjunto de herramientas para registrar o georreferenciar las nubes de puntos escaneadas desde distintas posiciones de manera rápida y precisa.
- Cyclone Survey: permite extraer rápidamente las características principales y coordinar la información de las nubes de puntos.
- Cyclone Model: ofrecer todas las funciones disponibles para extraer, medir elementos y crear un modelo 3D a partir de las nubes de puntos.
- Cyclone Publisher: Permite publicar los datos de las nubes de puntos en un formato de vista panorámica que se puede publicar en Internet. El usuario es capaz de visualizar estos datos desde Internet Explorer con el plugg-in Leica TrueView permitiendo el acceso desde cualquier lugar del mundo.

La nube de puntos se puede exportar en diferentes formatos para su posterior importación en otros softwares compatibles. Que permitan obtener nuevos productos que con el Cyclone no se pueden conseguir.

Para crear los modelado 3D existen varios programas, cada uno con diferencias muy marcadas por lo que se deben elegir según las necesidades, condiciones de trabajo y resultado final al cual se aspira. Entre los más empleados se encuentran el AutoCAD, Sketchup, Blender, entre otros.

En desarrollo de este trabajo se utilizó el Revit para el modelado 3D. Permite al usuario diseñar con elementos de modelación y dibujo paramétrico. Es un programa conocido por su uso y utilidad con respecto al modelado de información de la



construcción (BIM). Se puede abordar y tratar todo lo relacionado con el proyecto de un edificio o una construcción, desde su diseño hasta su levantamiento y puesta en marcha, pues permite simular y trabajar en la construcción con exactitud. (Hernández Peña, 2019) El Revit presenta un entorno de trabajo multidisciplinario en el que puede laborar un equipo de profesionales sincronizado en tiempo real, facilita el desarrollo o análisis de un proyecto a lo largo de todo el proceso.

Sus últimas versiones no permiten realizar la importación de las nubes de puntos desde los formatos que exporta el software Cyclone, por lo que es necesario realizar la indexación de la nube de puntos en el ReCap para luego ser importada en el software Revit.

El ReCap es una aplicación inteligente para crear modelos 3D desde información, ya sea escaneada o capturada mediante fotos. No se requiere comenzar desde cero, si existe este tipo de información en nube de puntos puede aprovecharse para hacer trazos preliminares en un modelo y así comenzar a documentar el proceso de diseño. Entre las acciones que puede ejecutar está la exportación en varios formatos. Operación que se utilizará para convertir la nube de puntos del formato “pts” a “rcs” para poder importarla al Revit.

Estos programas no son desconocidos en la Sede Oscar Lucero Moya de la Universidad de Holguín, en el año 2020 se desarrollaron dos investigaciones en los que se empleaban. El realizado por (Pérez Noris, 2020) se propuso lograr el modelo 3D de la edificación Nave de la Universidad de Holguín, a partir de la aplicación de un procedimiento para la utilización del software Cyclone como parte del procesamiento de las nubes de puntos obtenidas por el Láser Escáner

La segunda fue creada (Carballo Hernández, 2020) se investigan los procesos tecnológicos para la generación y almacenamiento del modelo BIM, con la propuesta de un flujo de trabajo que permite la representación exacta de la geometría del edificio a partir de nubes de puntos donde la utilización de Autodesk Revit resulta imprescindible por las ventajas que brinda en cuanto a integración en el proceso



colaborativo entre las diferentes especialidades. El marco propuesto proporciona una guía para Cuba. Se aplica el procedimiento en la edificación Nave de la Universidad de Holguín, para ilustrar los aspectos prácticos del tema propuesto.

Ninguna abarca el trabajo que se realiza desde la captura de los datos hasta el modelado en Revit; procedimiento que sí contiene esta investigación.

#### **1.1.4 Ventajas y limitaciones del ELT.**

Entre los beneficios del ELT se resalta la capacidad de registrar un área en menor tiempo, sin necesidad de volver al campo para ampliar datos. Se reduce el ajuste en campo, aumenta la rapidez de adquisición de datos y se pueden crear diseños mejorados por la cantidad de detalles escaneados que no son detectables con otros instrumentos. Ocasiona menos trabajo de reconstrucción, permite mediciones a grandes distancias con menos exposición a peligros y se puede recoger información de lugares de difícil acceso. Es capaz de trabajar en entornos muy diversos, con condiciones atmosféricas adversas e incluso en ausencia total de luz.

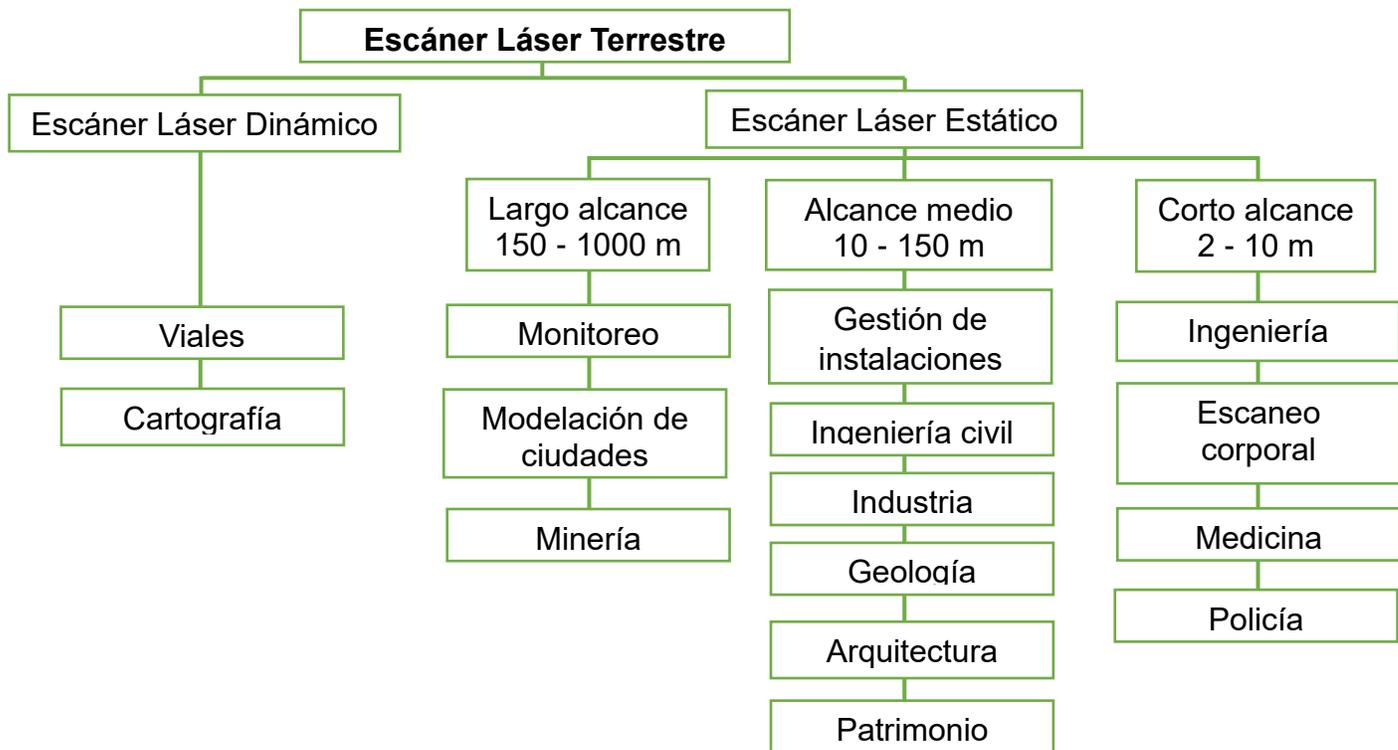
No obstante, también tiene sus limitaciones ya que existen áreas que no puede cubrir, cerca de líneas de alta tensión, nubes densas de humo o polvo, entre otros. El costo de adquisición y capacitación del personal es elevado. El trabajo de gabinete es muy laborioso y complejo. Las computadoras para procesar la nube de puntos requieren mínimo 32 GB de RAM para trabajar óptimamente.

### **1.2. Aplicación del Escaneado Láser Terrestre.**

#### **1.2.1. En la Ingeniería Civil.**

Como se aprecia en la figura 1.6 y por lo mencionado anteriormente, es más que evidente que la tecnología del escaneado láser es aplicada en casi todas las esferas que conforman la sociedad actual.





**Figura 1.6: Aplicación del ELT.** (Lerma García & Biosca Tarongers, 2008)

La ingeniería civil no está exenta del empleo de esta tecnología, por el contrario, hace gran uso del ELT. Entre sus aplicaciones se encuentran el análisis topográfico del terreno, la cartografía, cálculo de volúmenes y control de calidad. También se pueden realizar el análisis del estado estructural de un edificio y evaluar las posibles deformaciones, identificar y cuantificar los desplazamientos o desplomes que han sufrido los elementos estructurales, entre otros.

Hace posible valorar las condiciones y seguridad de viales. Permite tomar datos en áreas con gran densidad de tráfico. Se utiliza para evaluar las condiciones del pavimento y el área lateral, el estado en que se encuentran las juntas y la calidad de las marcas viales. Sirve también para crear perfil longitudinal, determinar la profundidad, área y volumen de roderas, la deflexión longitudinal local e hundimientos, el ancho del carril, entre otros datos.



Se destaca su práctica en la para recolección de información de una obra construida para la documentación as-built. Facilita el aprovechamiento y mantenimiento de las obras civiles una vez edificada, mediante una completa base de datos que se actualiza con las modificaciones que sufra a lo largo de su explotación.

El ELT también interviene en la medición de taludes para identificar de forma segura, remota y sin necesidad de acceder a ellos, las discontinuidades que los afectan y que condicionan el desarrollo de mecanismos de rotura de bloques. Se consiguen elaborar análisis cinemáticos y de estabilidad. La caracterización y monitorización de taludes se pueden ejecutar tanto en la etapa de construcción, como en la de servicio debido a que no genera interferencias con la actividad que se realizan alrededor de los mismos. Provee una elevada densidad de información, precisión y capacidad de acceso a zonas elevadas.

En la modelación de obras e infraestructuras, a partir de la nube de puntos se pueden reconstruir de manera fidedigna, rápida y precisa las instalaciones, edificios o monumentos, sin afectar a su integridad. Brinda la posibilidad de realizar recorridos virtuales.

Provee en el control de la excavación de túneles una base para el desarrollo de varias operaciones como rompimiento, cubicación y movimientos de tierra, controles de hundimientos, recorridos virtuales, entre otras.

### **1.2.2. En Cuba.**

En el país se ha empleado la tecnología del escáner láser por más de una década. Aunque el auge de su utilización solo abarca los últimos años, debido a la adquisición de varios ELT. Esto ha provocado la diversificación de aplicaciones en varios sectores. Sin embargo, no existe en el país documentación técnica aprobada que facilite realizar modelaciones 3D de edificaciones.

Hasta el 2019 cerca de nueve empresas en Cuba poseían esta tecnología, tales como:



- EMINCAR (Empresa Mixta Minera del Caribe S.A.).
- EXPLOMAT (Empresa de Servicios Minero-Geológicos).
- CUPET (Instituto de Investigaciones del Petróleo).
- ENIA (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas).
- GEOCUBA Oriente Norte.
- GEOCUBA Oriente Sur.
- Empresa Restaura.
- Empresa GEODESA.
- EMPIFAR

En consecuencia, a las diferentes empresas que poseen ELT, los usos que se le dan también son muy diversos. A continuación, se exponen algunos ejemplos de las aplicaciones que han tenido los escáneres láser en Cuba.

Se conoce que en el 2006 se realizó el levantamiento de muestras del patrimonio Colonial de la Ciudad de La Habana como el Malecón Tradicional, la Plaza y Fachada de la Catedral, Plaza Vieja, La Fachada de San Francisco de Asís y el Capitolio. El proyecto se efectuó por profesionales españoles, del Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad (LMVC) de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), con el fin de crear un registro digital de alta precisión de inmuebles con gran valor histórico. Para la toma de información se utilizó un ELT RIEGL Z420i combinado con una cámara reflex digital calibrada Nikon D100. (Marambio & Roca, 2006)

En las canteras del oeste de La Habana se determinó el volumen existente de áridos, mediante el empleo del escáner láser 3D Scan Station C-1 0. Con el fin de demostrar la factibilidad de emplear esta tecnología para ahorrar recursos y tiempo a la economía debido al empleo de menor personal. Cumpliendo el principio de estas tecnologías, obtener más con menos. (Flores Leyva, Garbey Quintana, González Abreut, & Hernández Peña, 2018)



La Empresa GEODESA efectuó el levantamiento del Parque “José de la Luz Caballero”. Este trabajo se hizo a solicitud del cliente, en el que se realizó un levantamiento en 2D a partir del que se originó un hipervínculo que le permite al usuario visualizar desde el plano en 2D la vista de la nube de puntos generada por el TruView y que a partir de este se observa una vista panorámica de la zona de trabajo permitiéndole al cliente realizar mediciones, visualizar, remarcar y otras operaciones que le proporcionan un considerable ahorro de tiempo y recursos. (Flores Leyva, Garbey Quintana, González Abreut, & Hernández Peña, 2018)

El Grupo Empresarial GEOCUBA ha desarrollado varios trabajos con esta tecnología que han permitido diversificar los productos topográficos, entre ellos se destacan: vista real de la zona de trabajo, cálculos de volúmenes, diseño de planos topográficos, creación de secciones longitudinales y transversales para el análisis de asentamientos y deformaciones de obras soterradas, elaboración de recorridos virtuales mediante la generación de videos y confección de modelos digitales del terreno. (Hernández Peña, 2019)

De los almacenes de la Unidad Básica de Aseguramiento ATM ubicados en la intercepción de la Calle 39 y Avenida Colón, Plaza de la Revolución, La Habana. Se hizo en el 2019 un levantamiento tridimensional de los exteriores empleando la tecnología ELT. Para la realización de este trabajo se utilizó el modelo P30 de Leica Geosystems, que fue colocado en un total de 45 puestas de instrumento en dos días de trabajo. (Empresa GEODESA, 2019)

En el 2020 se efectuó el levantamiento tridimensional y documentación de los paramentos pétreos de la Muralla de La Habana; específicamente la muralla Egido, entre Fundición y Desamparados. Para la investigación que forma parte del proyecto multidisciplinario denominado “Influencia del Medio Ambiente en el Deterioro de Bienes de Interés Cultural de La Habana Vieja y Áreas Priorizadas para la Conservación”. De conjunto entre el Colegio Universitario San Gerónimo de La Habana, la Empresa Restaura y el Plan Maestro para la Revitalización Integral de La Habana Vieja, que tiene como finalidad favorecer la conservación del patrimonio



cultural. El levantamiento arquitectónico se realizó mediante el Escáner Láser Terrestre Z+F Imager 5010. Los resultados obtenidos contribuyeron al conocimiento de estas estructuras pétreas de la arquitectura militar colonial, de manera detallada y precisa, los deterioros que presentan. (Mas Sarabia, Cuétara Pérez, & Arencibia Iglesias, 2020)

En la provincia de Holguín el ELT se emplea mayormente para el cálculo de volúmenes de movimientos de tierras. Ejemplo de ello son los trabajos realizados para determinar los volúmenes de movimientos de tierras ejecutados por la Empresa Constructora Militar Antilla en la construcción de la Planta Modular Pilón. El levantamiento consistió en el muestreo de forma masiva de los elementos referentes al terreno de la zona de estudio, con empleo de la estación HDS Leica P40, lo que permitió recolectar información para la confección de una nube de puntos densa, que reflejase las particularidades del área de trabajo. El proceso consistió en la superposición de dos superficies con la información del levantamiento topográfico del estado actual del área y su homóloga del estado de la misma en el mes anterior. (Grupo Empresarial GEOCUBA, 2021)

En la Universidad de Holguín se han desarrollado desde el 2020, investigaciones en el Polígono Patrón de la Sede Oscar Lucero Moya en las que se han utilizado ELT. Realizadas por (Carballo Hernández, 2020) y (Pérez Noris, 2020) como parte del programa Sectorial "03" del MICONST "Desarrollo de sistemas y tecnologías para la Optimización de las Inversiones" y el Proyecto Empresarial que se ejecuta con GEOCUBA para fomentar el vínculo universidad-empresa.

### **1.3. Generalidades sobre el control dimensional.**

En la fase de ejecución de un proyecto, la supervisión y evaluación de la calidad constituyen actividades muy necesarias para el logro de su eficacia. Para ello se lleva a cabo el control de autor, servicios técnicos que brinda el inversionista para garantizar el cumplimiento por parte del ejecutor de los requerimientos establecidos en la Ingeniería Básica y en el Proyecto Ejecutivo. (Decreto No.327, 2015). Esto



facilita llevar a cabo los trabajos necesarios para eliminar los defectos que se detecten.

Luego de concluida la ejecución de una obra civil es necesario evaluar los trabajos efectuados. Esto permite redactar el informe de cierre o de liquidación, este consiste en un documento que presenta una sinopsis cronológica de los hechos involucrados en el mismo. Junto con el informe de cierre, se debe remitir copia de todos los informes de control de calidad, fotografías que reflejen el estado general de cómo quedó el proyecto, entre otros. Consta con todos los croquis y planos de la obra realmente construida y aquellos que hayan supuesto modificaciones respecto al proyecto inicial. El proceso de recoger toda la información de la obra luego de construida es conocido como as-built, traducido al español significa “tal como está construido”.

Muchas edificaciones tienen documentación insuficiente atribuida a actualizaciones omitidas e información obsoleta o incompleta. Por lo que si es necesario rehabilitarlas es necesario recopilar datos de construcción actualizados y precisos, como la geometría de la estructura, que puedan ser interpretados por los diferentes especialistas involucrados en el proyecto.

Uno de los parámetros fundamentales que intervienen en los procesos antes mencionados es el cumplimiento de las dimensiones especificadas. Como es difícil conseguir la exactitud es necesario colocar las tolerancias en planos de ingeniería, para evitar problemas que provoquen pérdidas.

El control dimensional verifica el cumplimiento de los tamaños, geometría, planitud de los componentes y estructuras; fabricados acordes a los planos de fabricación. Incluidos y aplicados los requisitos de las tolerancias dimensionales en base a las especificaciones técnicas. Los resultados deben ser registrados y documentados. (Empresa IPROYECSA, 2014)



La interpretación de las variables de examen se llevaran a cabo con la utilización de tablas de tolerancia que existen en los distintos códigos, rigentes de la inspección y procedimientos de fabricación. (Empresa IPROYECSA, 2014)

Generalmente se aplica para verificar la superficie, forma, evidencia de alineamiento de superficies componentes, estructuras fabricadas y montadas. Adicionalmente se utiliza para determinar las condiciones de preparación de armado, soldadura y montaje. (Empresa IPROYECSA, 2014)

En la realización del control dimensional se ha de identificar apropiadamente cada uno de los componentes fabricados, realizar las mediciones con instrumentos adecuados para asegurar que el producto cumpla con las tolerancias requeridas y ejecutar las mediciones en cada una de las fases de la fabricación del producto. El encargado de inspeccionar debe estar familiarizado con los documentos aplicables, los estándares de mano de obra y especificaciones técnicas.

Una vez realizadas con éxito todas las mediciones finales, se emitirá un informe de control dimensional, en el cual se indicaran las partes o zonas inspeccionadas, ítem del elemento, resultado de la prueba, fecha de control, entre otros aspectos.

Según las investigaciones realizadas en nuestra provincia entre los equipos más empleados para hacer el control dimensional están los siguientes:

- Estación Total.
- Distanciómetro láser.
- Nivel geodésico de precisión.
- Vehículo aéreo no tripulado.
- Micrómetro, para medición de espesores en estructuras metálicas.

Lo ejecuta una comisión compuesta por:

- Jefe de la comisión: topógrafo, encargado de supervisar y dirigir el procedimiento.



- Instrumentista: es el que realiza las mediciones, si se emplea una estación total es el que la opera.
- Cadenero: operario que asiste al instrumentista, en el caso de que se utilice una estación total es encargado de colocar los prismas en posición. Su nombre se debe a que en la antigüedad se medía con cadenas.
- Chofer cadenero: si el control se hace durante la fase de ejecución, no forma parte de la comisión. Es el encargado de la transportación y asiste al instrumentista, si se emplea una estación total es encargado de colocar los prismas en posición.

En el caso del ELT es necesaria una fuerza laboral compuesta de la siguiente manera:

- Jefe Equipo
- Auxiliar
- Chofer

La construcción de una obra requiere muchos controles desde el inicio de la ejecución, por ejemplo, se ha de revisar que las excavaciones de las cimentaciones posean las dimensiones correctas, las obras de drenajes tengan los diámetros establecidos en el proyecto, en las estructuras de hormigonado in situ se debe revisar el tamaño de los cofres. En el caso de elementos prefabricados uno de los parámetros que se verifican son las longitudes de apoyo, para los muros o columnas es necesario comprobar su geometría y que se ubiquen en el lugar que corresponde. En la canalización en techo, pisos y paredes se verifica la correcta posición y dimensiones de los conductos y redes técnicas, eléctricas, hidráulicas, de vapor, aire y otras.

Un control permite detectar y aprovechar errores, desviaciones para crear soluciones de una manera expedita y económica. El control de una construcción se realiza en dos panoramas distintos, la obra y la oficina, pero que a la vez se vuelve uno mismo por el constante cambio de información e interacción. Se ha de revisar que se



cumplan las Normas, RC, requisitos del fabricante y otras estipulaciones que garanticen la calidad de los trabajos.

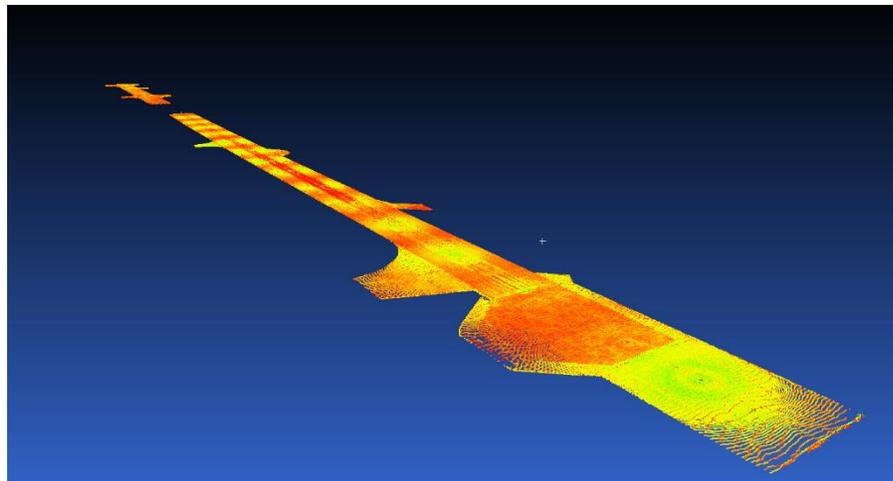
Cada vez que se ejecuta un elemento estructural se debe realizar una verificación para poder empezar con el siguiente. En caso de que no cumpla con los parámetros establecidos se comprueba si con las características que posee puede resistir. En el caso de no poder se evalúan posibles soluciones, tomándose como última opción la demolición.

Sin embargo, la investigación arrojó como resultado que en algunos casos no siempre existe la compenetración necesaria entre el proyectista y los encargados de realizar los controles. Tampoco se verifican todas las dimensiones. Solo se suelen evaluar los elementos estructurales que reciben grandes cargas y de ellos solo se revisan su verticalidad, estabilidad, nivel y ancho. Se pasa por alto otros controles como la verticalidad a nivel de piso. Las inspecciones de elementos estructurales de menor relevancia se seleccionan de manera aleatoria. Dando prioridad a la comprobación de la resistencia del hormigón, si existen oquedades o acero expuesto. Además, solo se hacen controles dimensionales adecuados cuando el proyectista o el cliente lo solicitan. Ah excepción de las obras de gran envergadura, en donde sí existe un control riguroso. Otro problema detectado es que los planos no contienen las tolerancias dimensionales.

En la provincia de Holguín se ha incursionado poco en la aplicación del ELT para el control dimensional. En el presente año la Empresa GEOCUBA Oriente Norte a petición Empresa Constructora de Obras de Ingeniería No.17 realizó un levantamiento tridimensional con ELT de la pista del aeropuerto "Frank País García". El levantamiento se efectuó con el escáner láser P40. Se tuvo como objetivo hacer un análisis comparativo, de la capa final o de rodadura de la superficie terminada con respecto a la rasante y secciones transversales mostradas en los planos de obra. Para determinar las diferencias generadas en la colocación del asfalto sobre la pista. Se obtuvieron las coordenadas específicas del eje de la pista y las elevaciones proyectadas para cada sección transversal. Se realizó un perfil longitudinal sobre el

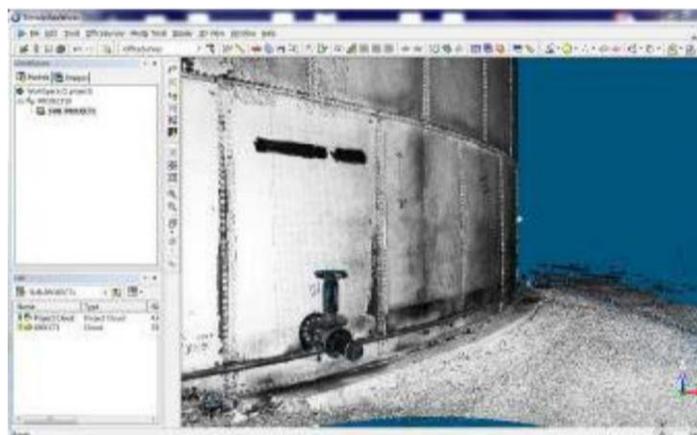


eje de la pista, donde se representan todas las ondulaciones de la misma y su diferencia con respecto a la rasante longitudinal de proyecto, figura 1.7. (Grupo Empresarial GEOCUBA, 2021)



**Figura 1.7. Nube de puntos filtrada de la pista del aeropuerto “Frank País García”** (Grupo Empresarial GEOCUBA, 2021)

Otra muestra de su uso es en la Empresa CUPET. Emplea el ELT para la inspección y calibración de tanques de combustibles, como parte de los servicios metrológicos, figura 1.8.



**Figura 1.8. Nube de puntos de un tanque de combustible.** (Franco & Pérez Bell, 2018)

### **Conclusiones del capítulo.**

- Del modelo tridimensional real obtenido a partir de la nube de puntos generada por un ELT se pueden obtener distintos productos según las necesidades: vista en elevación, en planta, secciones, orto-imágenes, análisis de deformaciones, modelos 3D, entre otros. Optimizando los proyectos de ingeniería civil.
- La aplicación del ELT no se ha desarrollado a cabalidad en Cuba, pero no se ha detenido la diversificación de su uso en las diferentes esferas. Con el fin de garantizar procesos más eficaces, lo que corrobora la factibilidad de la realización de esta investigación.
- El ELT representa una ventaja en el análisis dimensional cuando los resultados no se necesitan examinar inmediatamente. Sin embargo, no es factible en el control continuo que se realiza durante la etapa de ejecución debido a que la información que brinda no se puede analizar al instante.



## CAPÍTULO 2: CONTROL DIMENSIONAL EN EL MODELO 3D DE UNA EDIFICACIÓN A PARTIR DE NUBES DE PUNTOS GENERADA POR ESCÁNER LÁSER TERRESTRE. CASO DE ESTUDIO NAVE UHo.

### 2.1. Estado actual de la Nave UHo.

El proyecto constructivo inicial de la Sede Oscar Lucero Moya de la Universidad de Holguín contiene una Sala de Conferencias, que tendría los medios necesarios para ampliar la formación académica del alumnado y la preparación del claustro docente. El anteproyecto estipula que el sistema constructivo empleado, es un sistema de naves prefabricadas de hormigón de una sola planta, con modulación de seis metros por 18 m para una longitud total de 79,10 m. Estructuralmente está formada por pórticos compuestos por columnas y cerchas en las que se apoyan las losa cajón que conforman la cubierta, las columnas están sostenidas por vasos de hormigón armado.

Desafortunadamente su construcción no se llevó a término y en la actualidad solo existen los pórticos constituidos por columnas y cerchas en las que se apoyan parte de la cubierta, también se pueden encontrar columnas de viento, parte de las gradas, un muro de bloques y partes de vigas zapata.

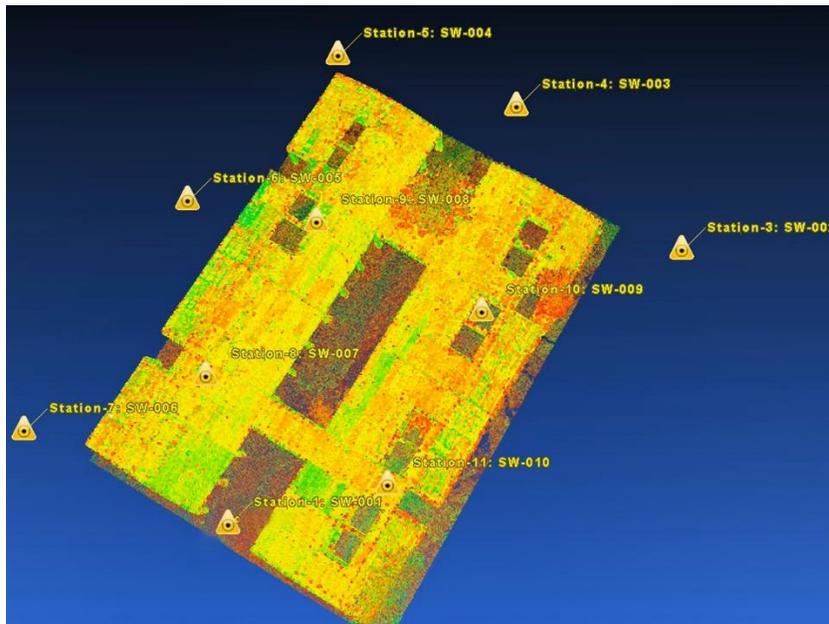
El control dimensional se realizó a una selección de las columnas que conforman la nave. Según el anteproyecto de la Sala de Conferencias las columnas son de sección rectangular de 0,40 m por 0,60 m y permiten un puntal libre de 7,20 m, ver figura 2.1 y 2.2.



Figura 2.1: Nave UHo.



Debido al tamaño de la nave se realizaron varios estacionados, ver figura 2.4. Para poder escanear el techo uno se ubicó en el cuarto nivel del edificio docente. Sus ubicaciones se escogieron de tal forma que lo escaneado en cada uno de ellos tuviera puntos coincidentes con el anterior, para el posterior solape de las nubes de puntos generadas.



**Figura 2.4: Estacionados del ELT el 13 de marzo del 2020. (Autor)**

El escaneado hecho en el 2020 que se empleó en (Carballo Hernández, 2020) y (Pérez Noris, 2020) no se georreferenció, por ello el 13 de abril del 2021 se practicó un nuevo estacionado, registrado con el nombre de “ok”, ver figuras 2.5 y 2.6. Utilizando el método topográfico inversa, en el que se captan 2 o más señales con coordenadas conocidas para calcular la posición y orientación del escáner usando las direcciones. En este caso se colocaron dos dianas blancas y negra de 4.5”, en los puntos 9B y 1B del Polígono Patrón con el que cuenta la Sede Oscar Lucero Moya de la Universidad de Holguín, tabla 2.1.

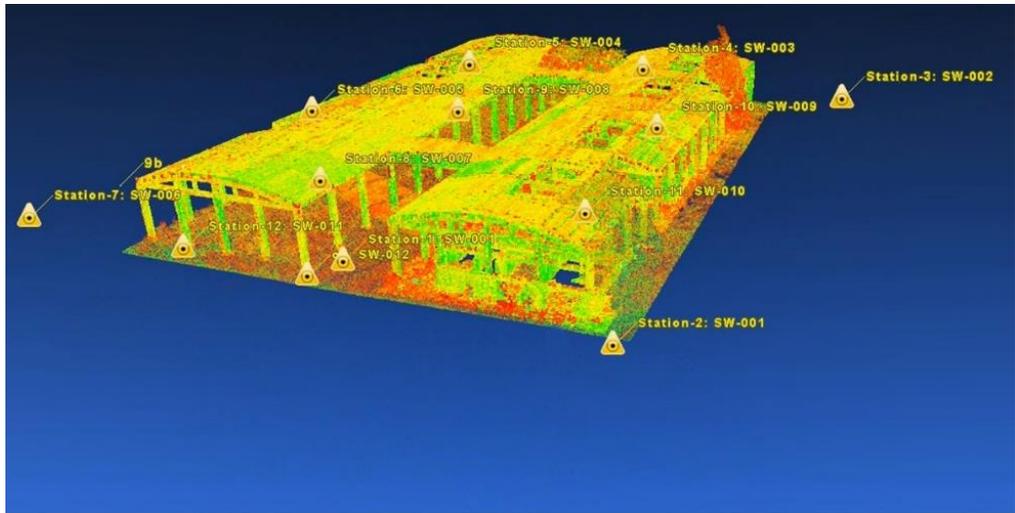


Figura 2.5: Vista 3D de los estacionados del ELT. (Autor)



Figura 2.6: ELT P40 y sus operarios. (Autor)

Tabla 2.1. Coordenadas de los puntos empleados en la georreferenciación. (Rodríguez Pérez, 2019)

ID Puntos	X (m)	Y(m)	Z(m)
<b>9B</b>	561764,127	248891,011	147,391
<b>1B</b>	561733,531	248770,192	147,126



En el 2019 se llevó a cabo el perfeccionamiento de la base de apoyo planoaltimétrica del Polígono Patrón ubicado entre las coordenadas geográficas  $20^{\circ} 53' 30''$  y  $20^{\circ} 53' 50''$  de latitud norte y entre los  $76^{\circ} 15' 50''$  y  $76^{\circ} 15' 30''$  de longitud oeste, ver figura 2.7. Se empleó los receptores GS14 de tecnología GNSS para las mediciones planimétricas y el nivel digital LS15 de la Leica Geosystems para la nivelación geométrica. Se obtuvo un cuarto orden en la coordenada altimétrica y primera categoría en las planimétricas.



Figura 2.7: Ubicación de los puntos que conforman el Polígono (<https://siggeocuba.holquin.geocuba.cu/php/inicio/inicio.php>)

### 2.2.2. Procesamiento de la nube de puntos.

- Importación de la nube de puntos.

Luego del trabajo de campo, se extrae la información en un soporte USB del ELT y se inserta en un ordenador para copiar la información obtenida a partir de los

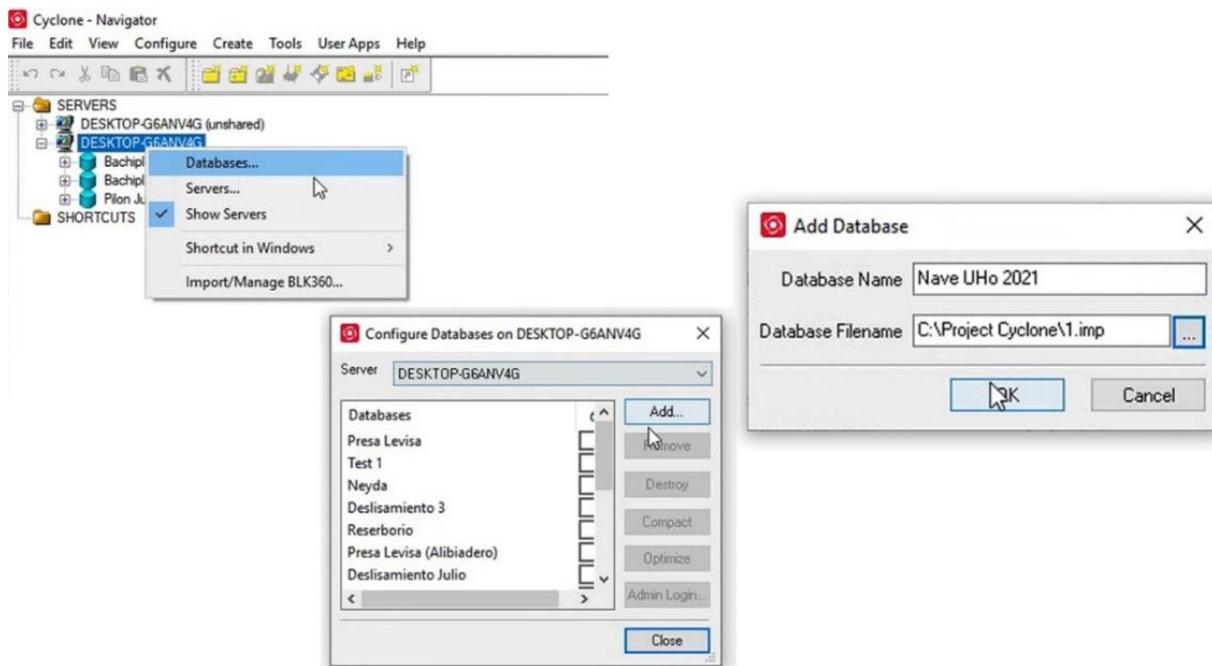


escaneos realizados con esta tecnología. Tener en cuenta que la PC debe poseer los requisitos necesarios para trabajar en el Cyclone, ver tabla 2.2.

**Tabla 2.2. Requisitos Técnicos para Cyclone.** (Empresa GEODESA, 2019)

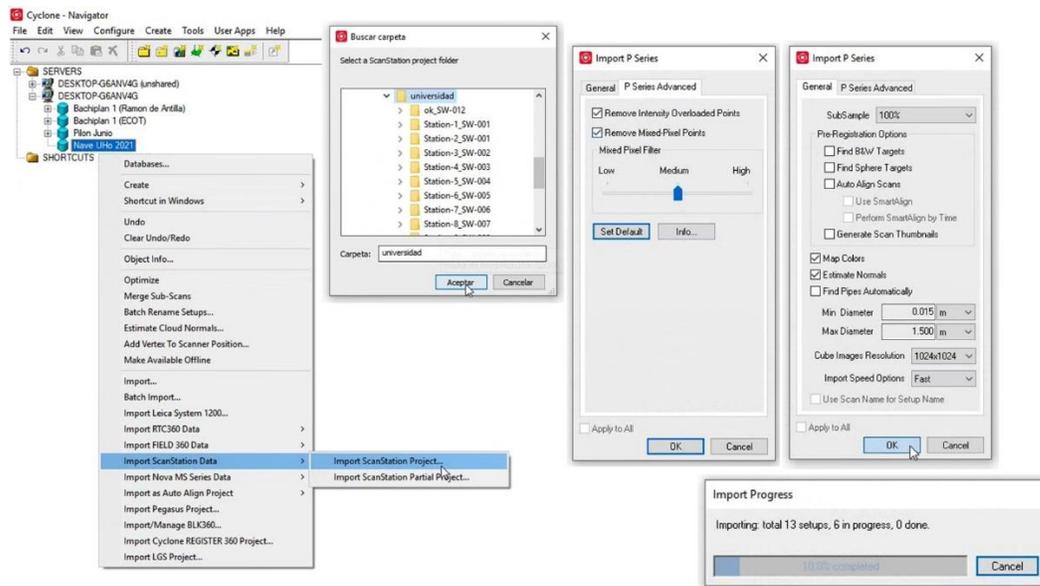
Componentes del sistema	Configuración recomendada
Procesador	Intel Core i7
RAM	32 o 64 GB para Win64
Disco duro	IDE / SATA 1 TB o superior.
Video	Basado en NVIDIA Quadro 4000 o superior
Monitor	Con capacidad para trabajar en 120Hz de frecuencia
Sistema Operativo	Microsoft Windows 10

Se abre el software Cyclone, versión 9.4, para crear una base de datos con el nombre de “Nave UHo 2021” en la que se importa los datos obtenidos durante el escaneado, figuras 2.8 y 2.9.



**Figura 2.8: Creación de base de datos. (Autor)**



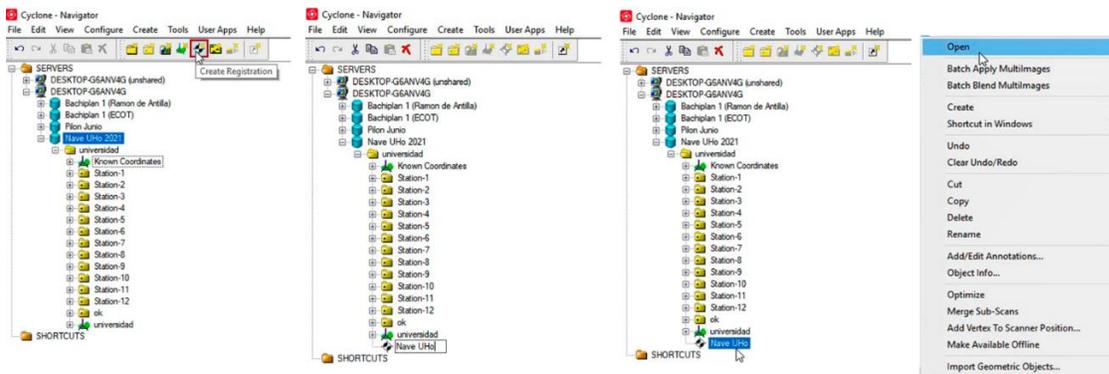


**Figura 2.9: Importación de nube de puntos. (Autor)**

- Registro y unificación de la nube de puntos.

Como se realizaron varias puestas de instrumentos, se deben registrar todas las nubes de puntos para poder trabajar sobre ellas y obtener un producto. El registro de las nubes de puntos es el proceso encargado de unir todos los estacionados hechos. Se puede hacer por el método manual o de forma automática. En este caso se hizo manualmente, se utilizaron puntos de interés de la estructura escaneada que pueden ser identificados, como bordes o muros. Se siguieron ciertos pasos, que se exponen a continuación:

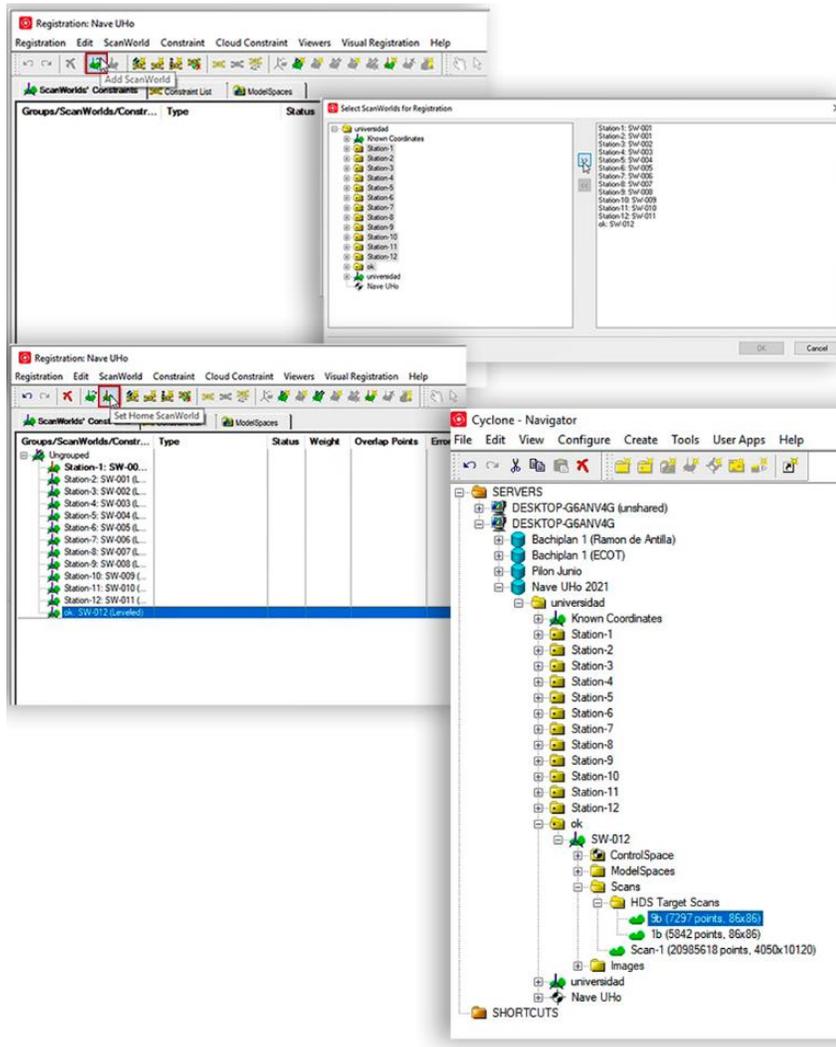
1. Se crea un registro y se accede a él, figura 2.10.



**Figura 2.10: Creación del registro de la nube de puntos. (Autor)**



- Se añaden las ScanWorld y se establece la estación “ok” como base, debido a que es la única que está georreferenciada, figura 2.11.



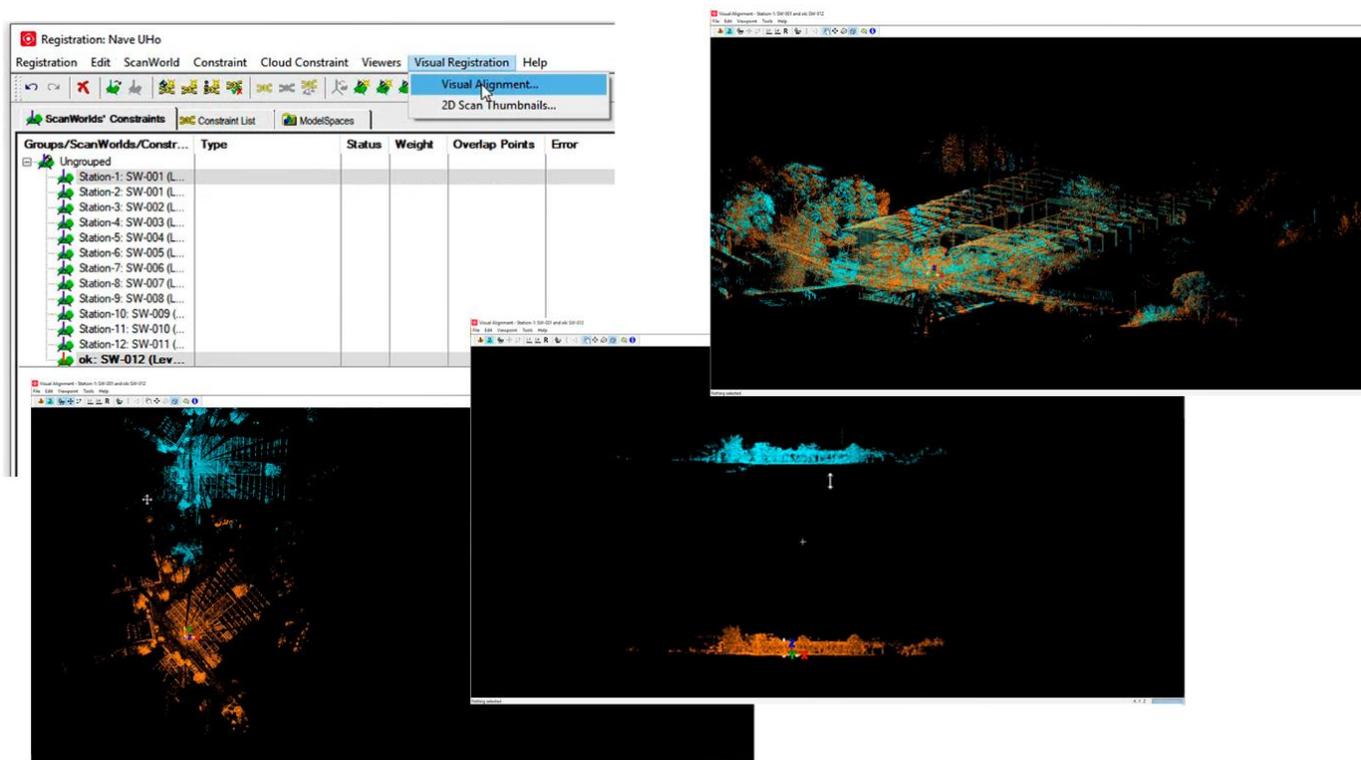
**Figura 2.11: Introducción de los ScanWorld y selección de la estación base. (Autor)**

- Se selecciona “ok” / pulsar Control / Satation 1 / Visual Registration / Visual Alignment, figura 2.12.

Esto permite solapar la segunda nube, la azul, a la primera; en este caso a la georreferenciada. Han de existir tres o más puntos que sean común en ambas imágenes, para ello se utilizaron elementos fáciles de localizar en la imagen. Para realizar la unión nube a nube es recomendable tener un 30% de solape como mínimo



para un adecuado registro. Primero se acopla en planta y luego en elevación con la ayuda de las herramientas que aparecen en la barra de la ventana Visual Alignment, ver figura 2.13. La unión se hizo con todas las nubes de puntos según el orden de los nombres de cada estación.



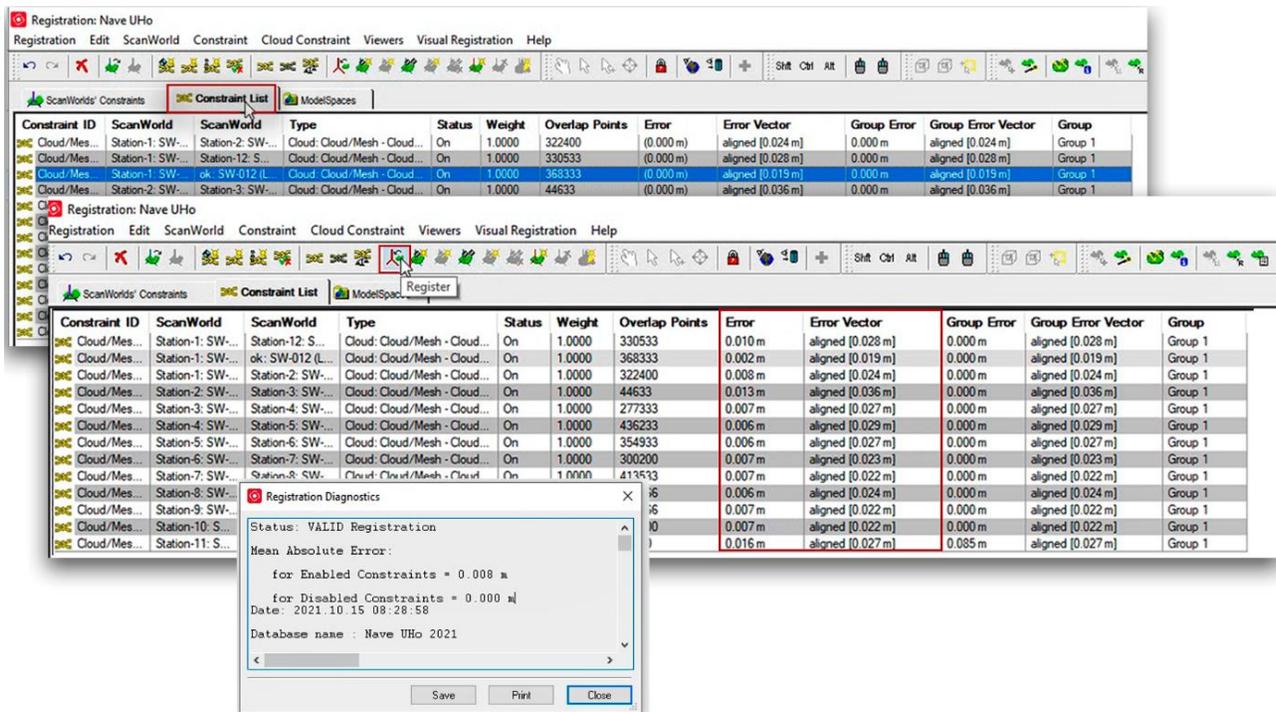
**Figura 2.12: Solape de las nubes de puntos “ok” y Station 1. (Autor)**



**Figura 2.13: Barra de la ventana Visual Alignment. (Autor)**

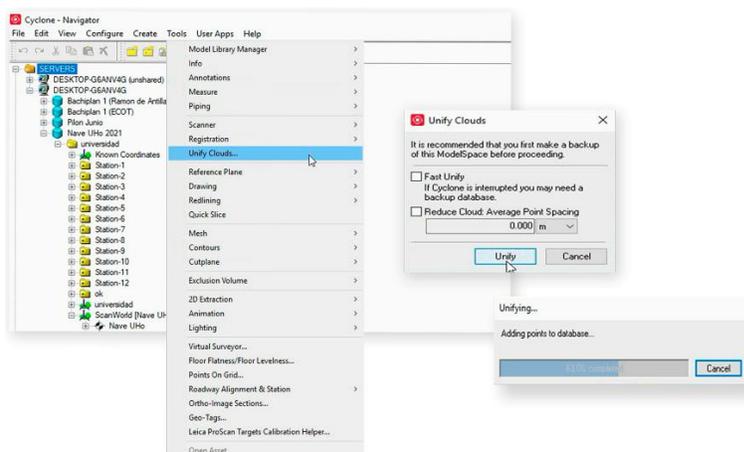
4. Luego de finalizados los registros se accede a Registration /Constraint List/ Register para verifica el error de registro. En este caso se obtuvo que el error total en el registro o unión de todas las nubes de puntos es de 8 mm, figura 2.14.





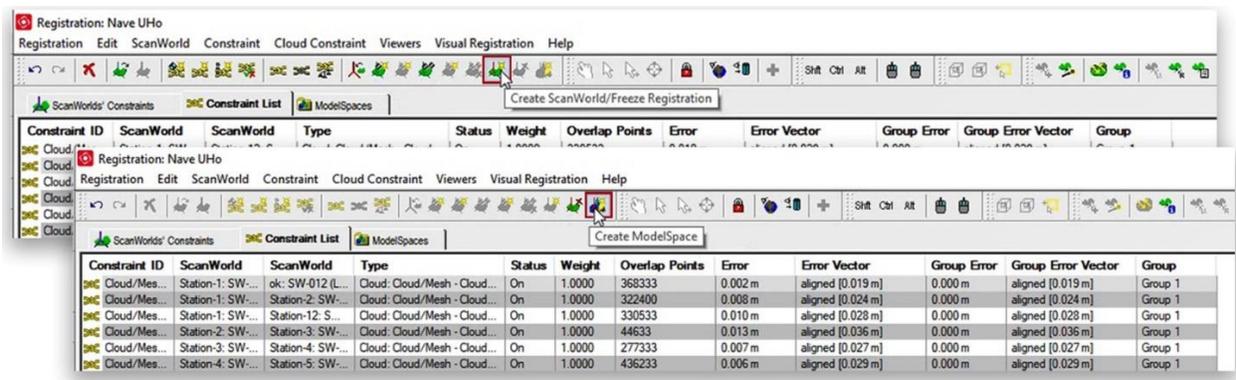
**Figura 2.14: Error de registro general. (Autor)**

- Después del registro de las estaciones se unifican las nubes de puntos, para ello se accedió a la barra de herramientas a la opción Tools/ Unify Clouds, se cerraron todos los ModelSpace menos la ventana de Registration, figura 2.15.
- Se selecciona Create Scan World / Freeze Registration
- Create ModelSpace y luego se cierran las ventanas abiertas excepto la ventana principal del Cyclone, figura 2.16.



**Figura 2.15: Unificación de las nubes de punto. (Autor)**





**Figura 2.16: Creación del ModelSpace. (Autor)**

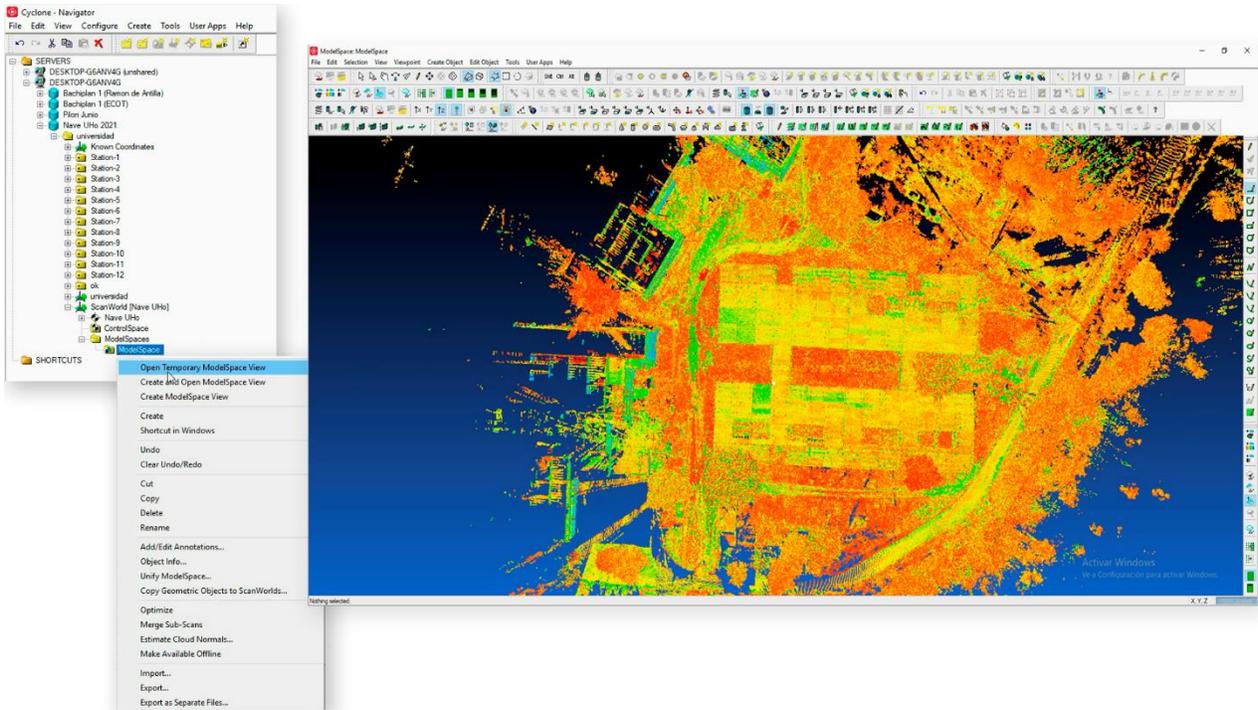
- Limpieza de la nube de puntos.

El ELT en el proceso de escaneo percibe toda la información que se encuentre en su radio de acción en la escena. Capta elementos que no son de interés como vegetación, vehículo, personas, entre otros. Son asumidos como parte del terreno, creando falsas elevaciones o irregularidades en el terreno. Al eliminar toda esta información no necesaria se tiene una mejor visualización del objeto capturado, se reduce el peso de la nube de puntos y garantiza que se ejecuten con mayor facilidad los procesos.

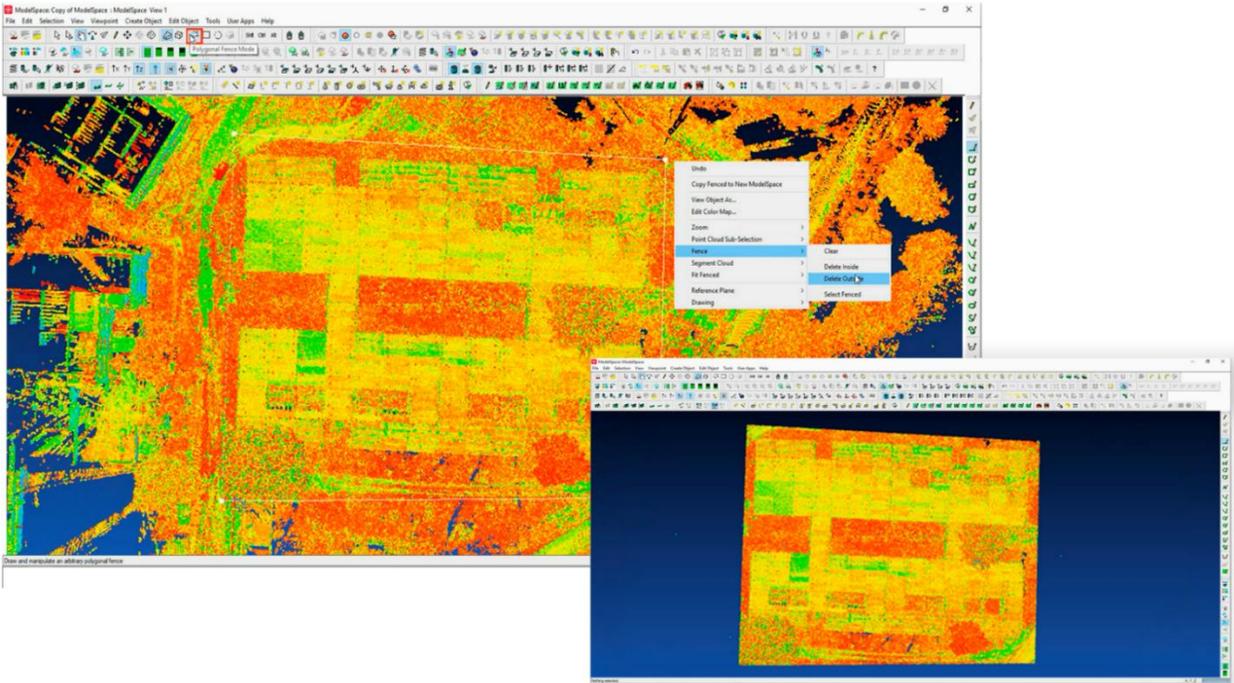
La limpieza se realizó de la siguiente manera:

1. En la ventana principal del Cyclone (Cyclone – Navigator) se abre el Modelspace, figura 2.17. Con la ayuda de la herramienta de corte Poligonal Fence se marcan un rectángulo alrededor de la nave click derecho/ Fence/ Delete Outside, figura 2.18. Esto permitió eliminar una gran cantidad de puntos que no son necesario y simplificar la posterior limpieza detallada de la estructura.





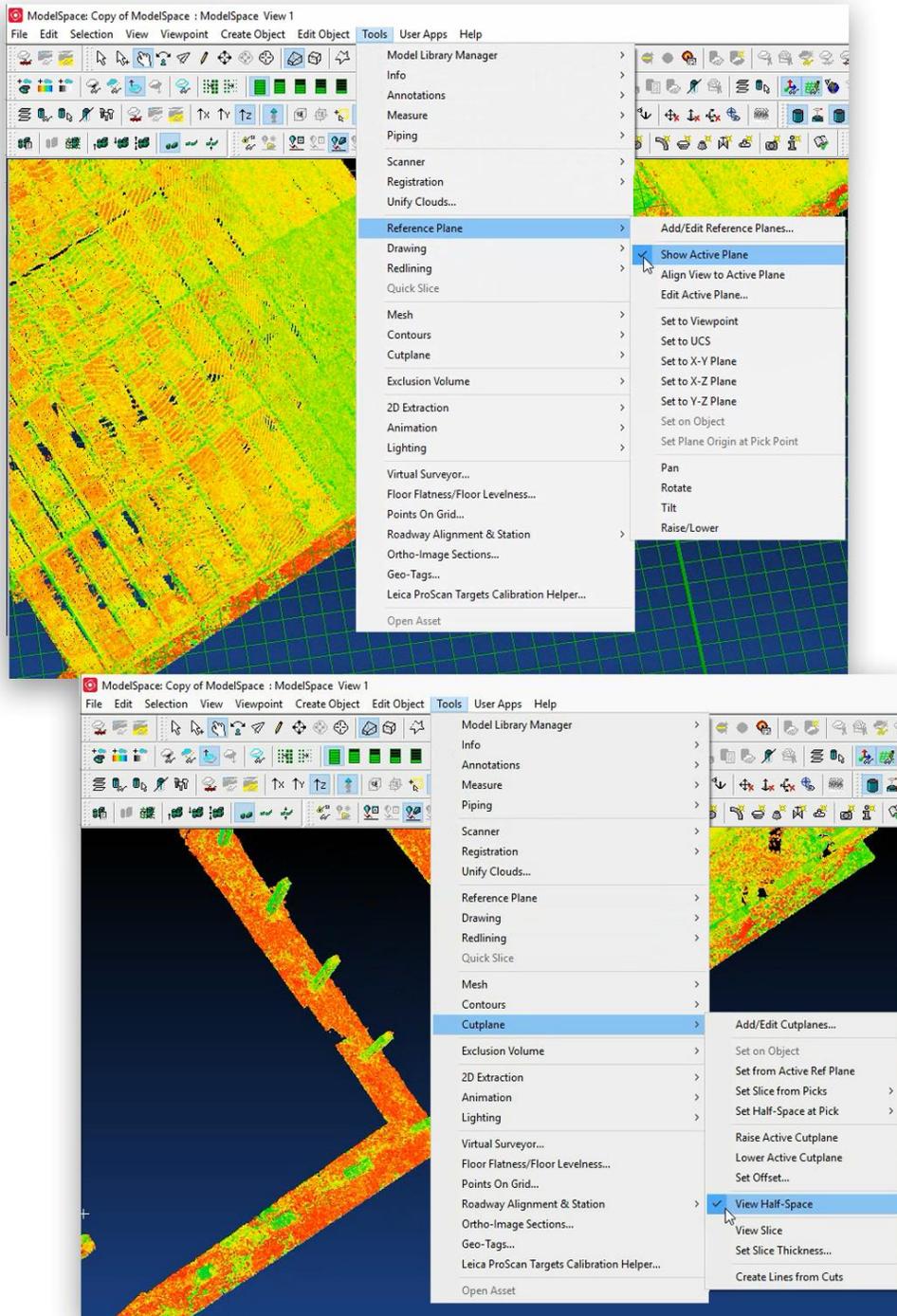
**Figura 2.17: Acceso a ModelSpace. (Autor)**



**Figura 2.18: Limpieza de los alrededores de la nave. (Autor)**

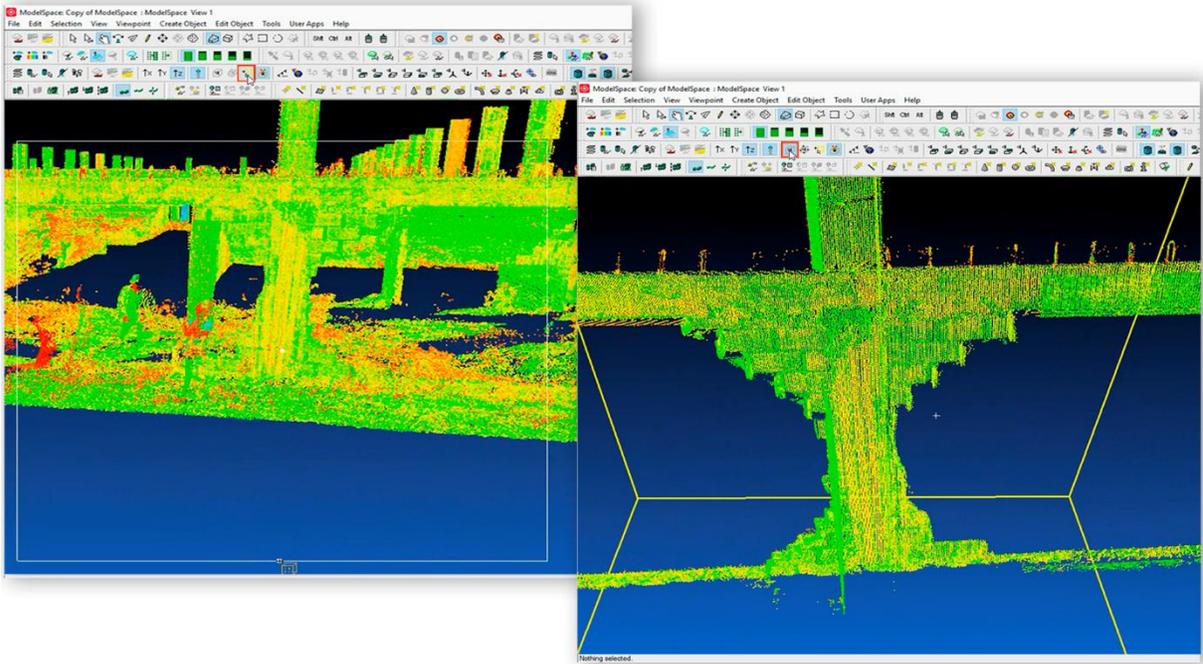


- Para una mejor visualización se crea un plano de referencia en la parte inferior de las cerchas, Tools/ Reference Plane/ Show Active Plane. Se especifica que solo se vea la mitad inferior, Tools/ Cutplane/ View Half-Space, figura 2.19.

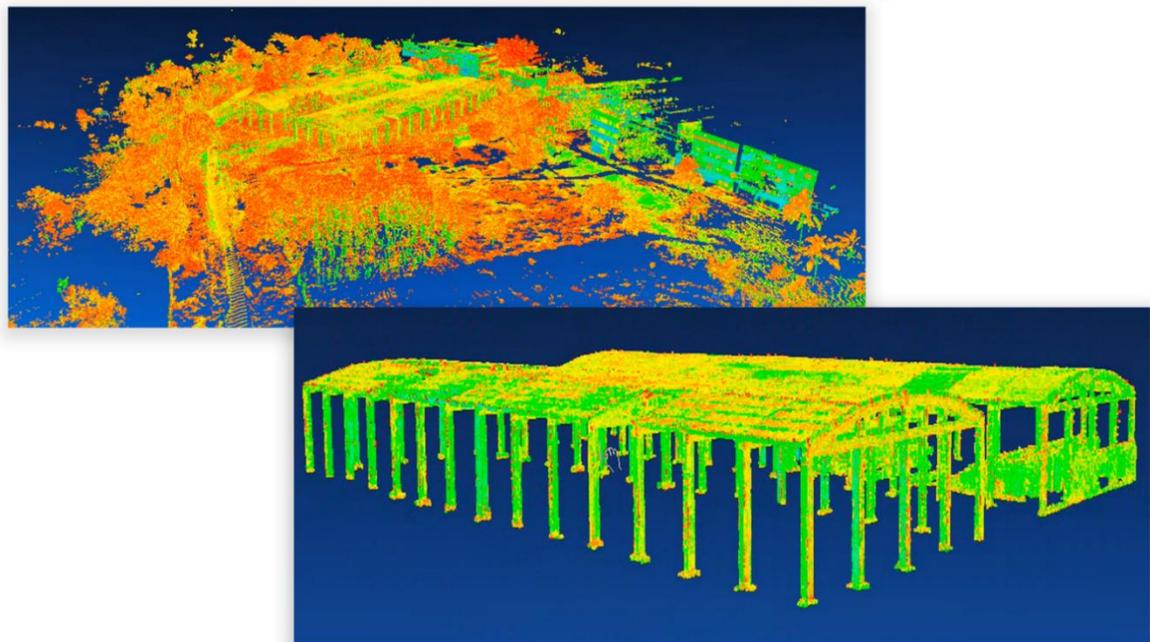


**Figura 2.19: Visualización de la parte inferior de la nave. (Autor)**

3. Con ayuda del Set Limitex Box y Poligonal Fence se hace una limpieza más precisa, figura 2.20 y 2.21.



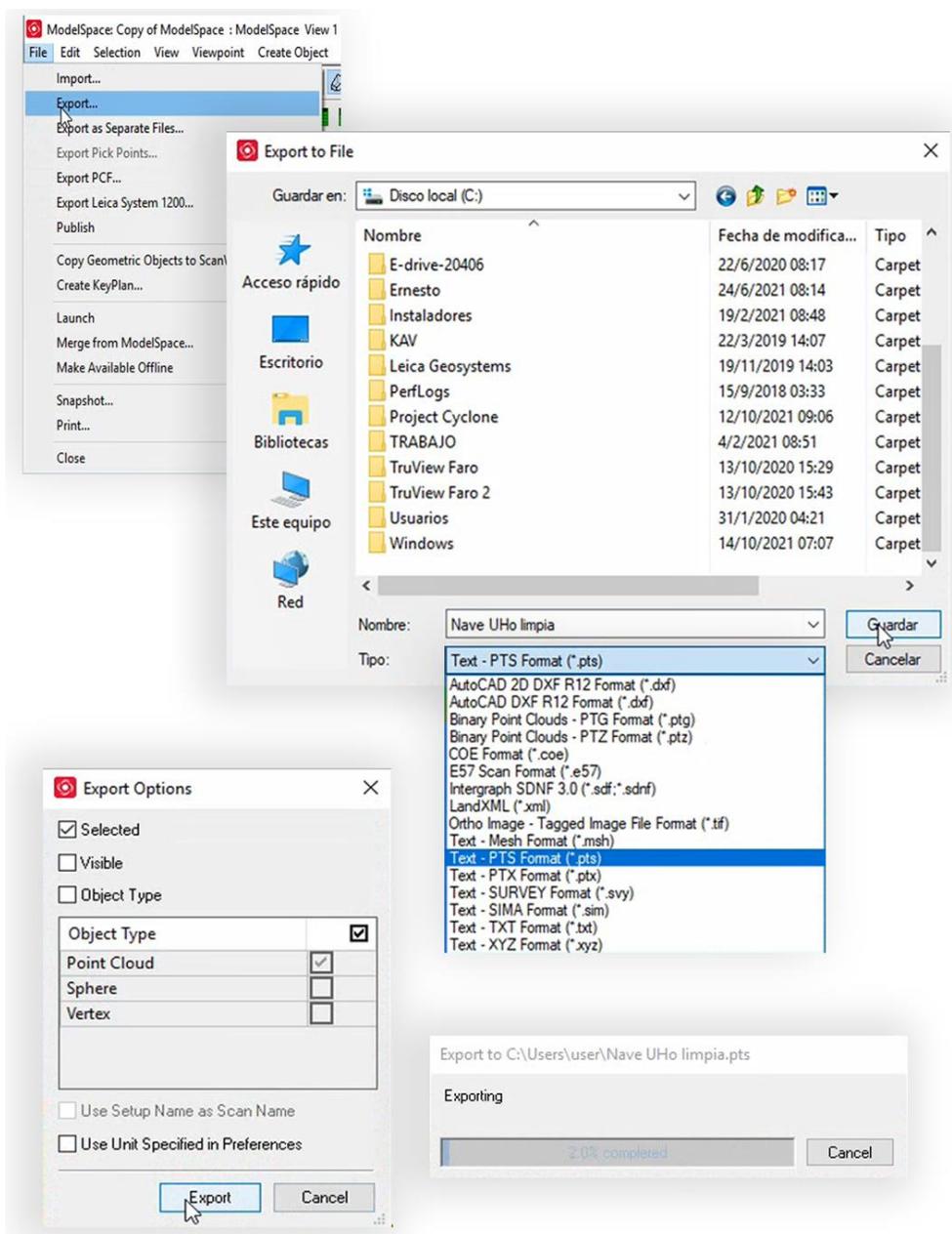
**Figura 2.20: Limpieza de una sección de la nave. (Autor)**



**Figura 2.21: Nube de punto original y luego de limpiarla. (Autor)**

- Exportación de la nube de puntos.

Se exportó de la siguiente manera. File/ Export, se selecciona donde guardar la nube de puntos y el formato; en este caso es en “pts” para su posterior importación en el programa ReCap, figura 2.22. Al importar las nubes de puntos del ELT el peso de la información era de 6.2 GB y al exportarla en “pts” es solo de 3.5 GB.



**Figura 2.22: Exportación de la nube de puntos. (Autor)**



**2.2.3. Indexación de la nube de puntos.**

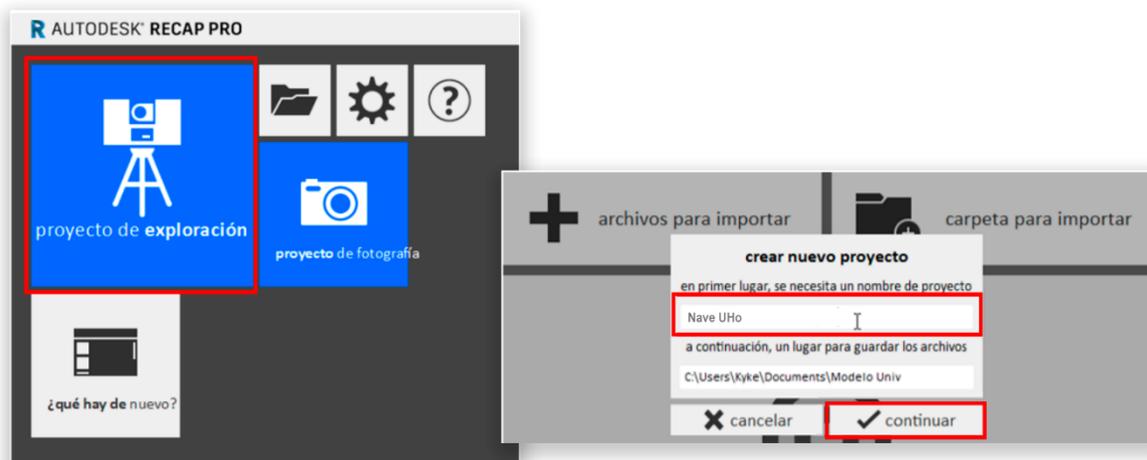
A través del ReCap se transforma el archivo de “pts” a “rcs”, uno de los formatos que asimila el Autodesk Revit.

**Tabla 2.3. Requisitos Técnicos para Autodesk ReCap.** (Autodesk Support, 2020)

Componentes del sistema	Configuración recomendada
Procesador	2.0GHz o superior 64bits
RAM	8GB o superior
Disco duro	10GB o superior
Tarjeta de Video	OpenGL 3.3 con memoria gráfica de 1 GB o más
Monitor	1600 x 1050 o superior con color verdadero
Sistema Operativo	Microsoft® Windows® 10 (64 bits)

Se procede de la siguiente manera.

1. Se abre el software ReCap, se selecciona Proyecto de Exploración y el nombre que se le desea dar al fichero, figura 2.23.



**Figura 2.23: Creación de proyecto en ReCap.** (Carballo Hernández, 2020)

2. Clic en select files to import/ selección de la nube de puntos a importar/ Abrir/ Import Files / Index Scans/ Launch Project.



3. Le procede la exportación. Clic en Inicio / Exportar/ y se selecciona la ubicación donde se deseaba exportar la nube en “rcs”.

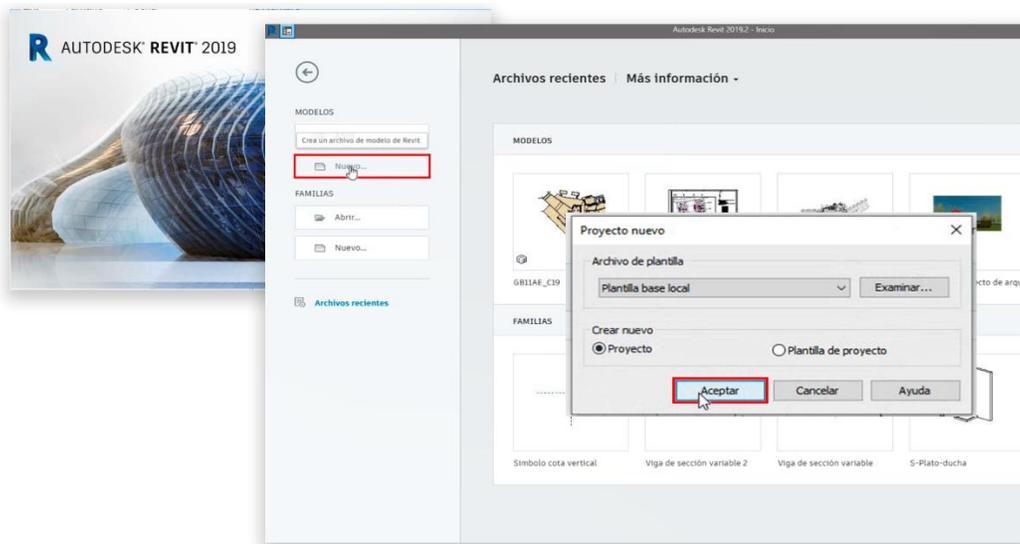
### 2.2.4. Modelación 3D.

Se utiliza el Autodesk Revit para el control dimensional por las herramientas que brinda, el trabajo se lleva a cabo en milímetros.

**Tabla 2.3. Requisitos Técnicos para Autodesk Revit.** (Autodesk Support, 2020)

Componentes del sistema	Configuración recomendada
Procesador	Procesador Intel Xeon o i-Series de varios núcleos con tecnología SSE2
RAM	16 GB de RAM
Disco duro	30 GB
Tarjeta de Video	compatible con DirectX 11 y Shader Model 5
Monitor	1680 x 1050 con color verdadero
Sistema Operativo	Microsoft® Windows® 10 de 64 bits

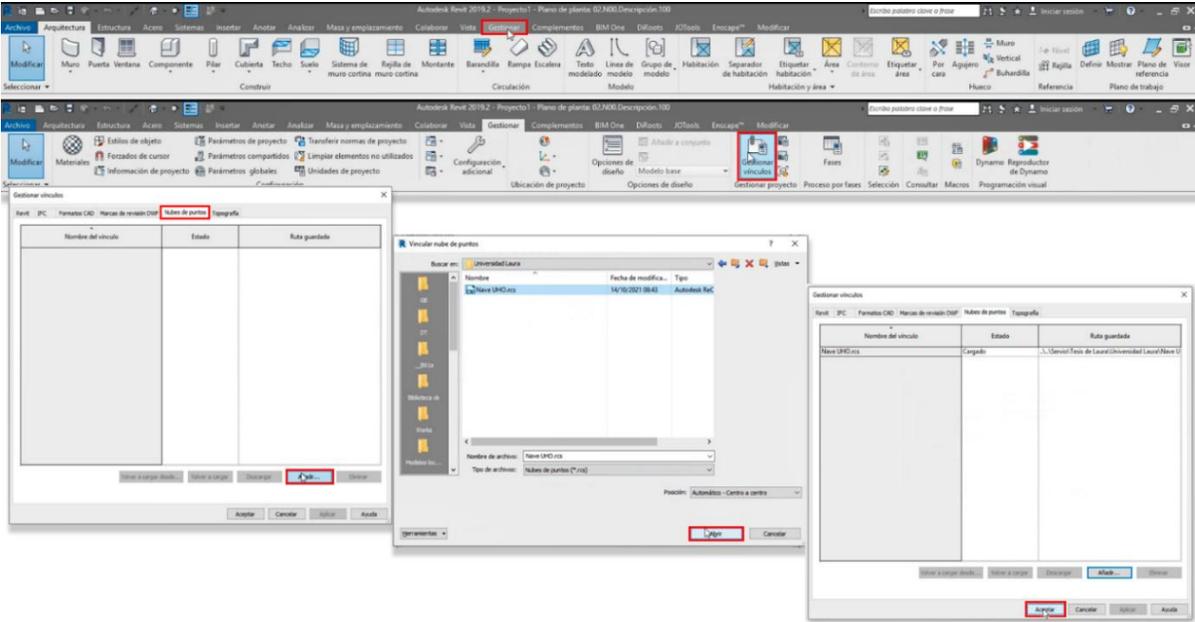
- Importación de la nube de puntos.
  1. Se ejecuta el programa Autodesk Revit 2019.2, se crea un nuevo proyecto con la plantilla base preestablecida, figura 2.24.



**Figura 2.24: Creación de proyecto en el software Revit. (Autor)**



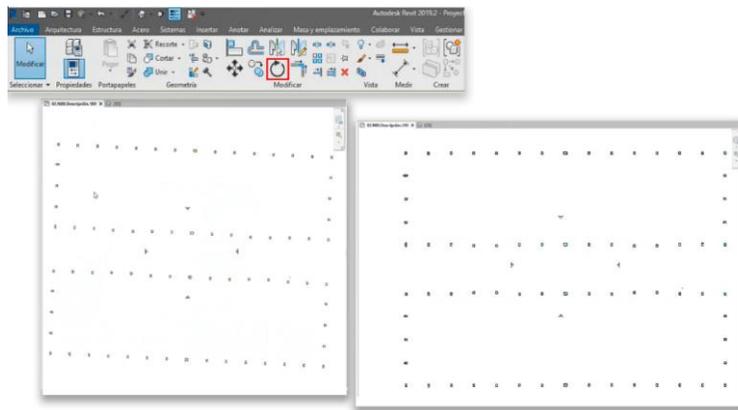
2. Para la importación de la nube de puntos se va a la pestaña Gestionar/ Gestionar vínculo/ Nube de puntos/ Añadir y se busca la ubicación del archivo a impostar, figura 2.25.



**Figura 2.25: Importación de la nube de puntos. (Autor)**

- Orientación de la nube de puntos

La orientación de la nave se hace con la ayuda de la herramienta de rotación para que la vista en planta de la nave quedara perpendicular en el monitor y se modifican las vistas tanto en planta como en elevación para que abarquen toda la estructura, figuras 2.26 y 2.27.



**Figura 2.26: Rotación. (Autor)**



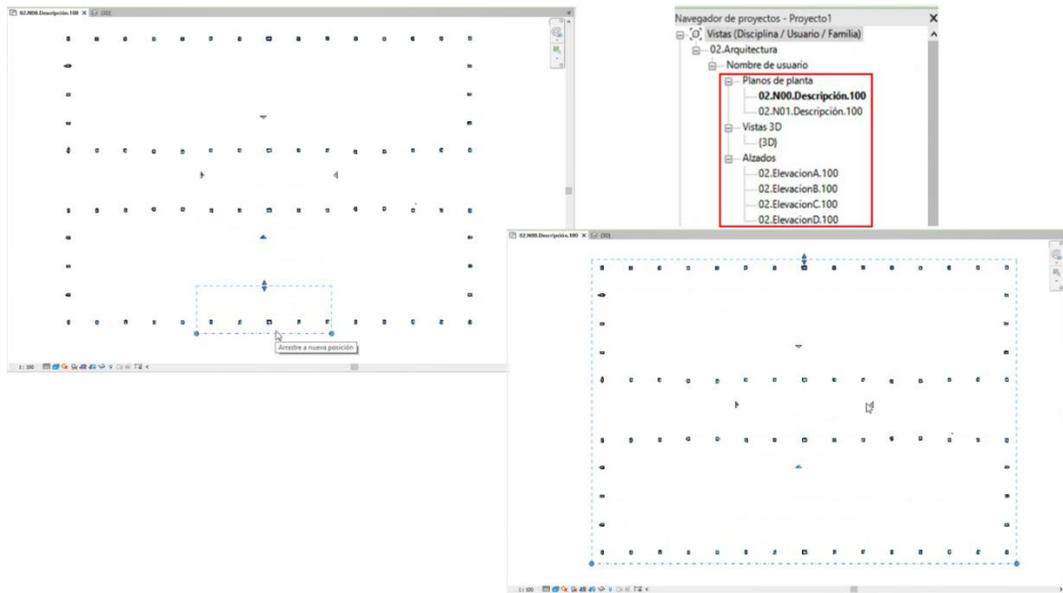


Figura 2.27: Ampliación de la vista. (Autor)

- Ajuste de niveles

Cuando se importa la nube de puntos, el programa toma automáticamente el centro de la estructura, tanto en planta como en elevación, como las coordenadas (0;0;0). Es necesario modificar los niveles preestablecidos para que el nivel cero quede donde termina la cimentación y verificar si el puntal libre es de 7,2 m como plantea el proyecto original de la Sala de conferencias, figura 2.28.

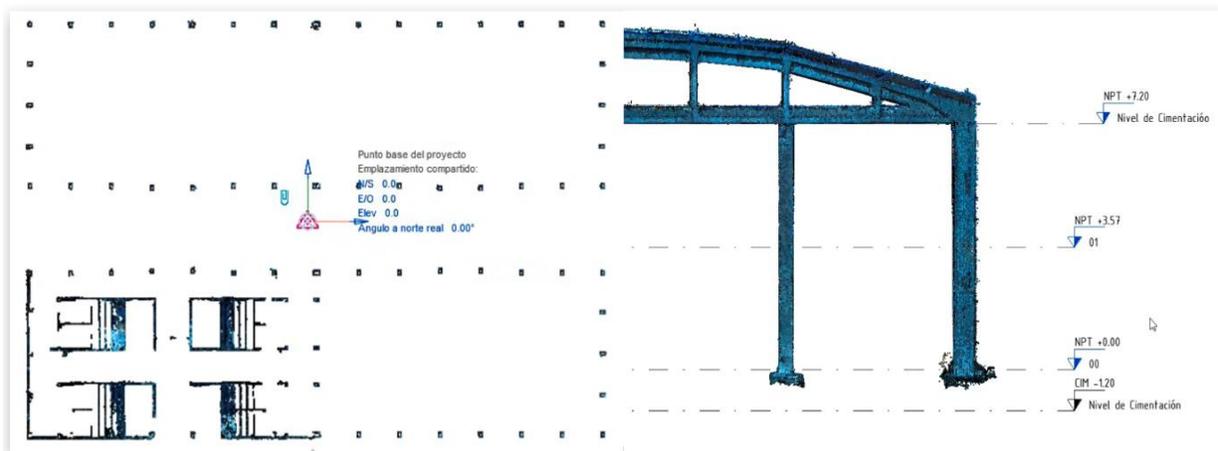
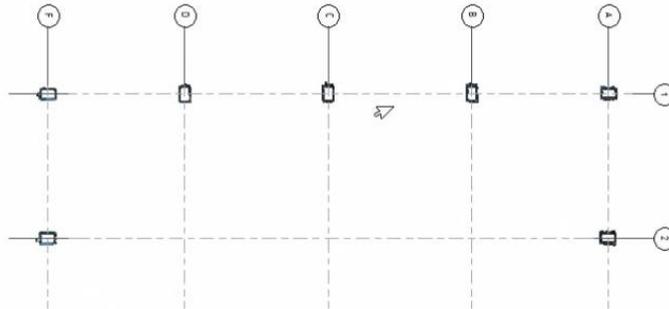


Figura 2.28: Nivel. (Autor)

- Creación de rejillas.

La creación de rejillas, que atraviesan el centro de las columnas, permiten reconocer las columnas que se comprueban. Se hace clic en el menú Arquitectura / Rejilla, figura 2.29.

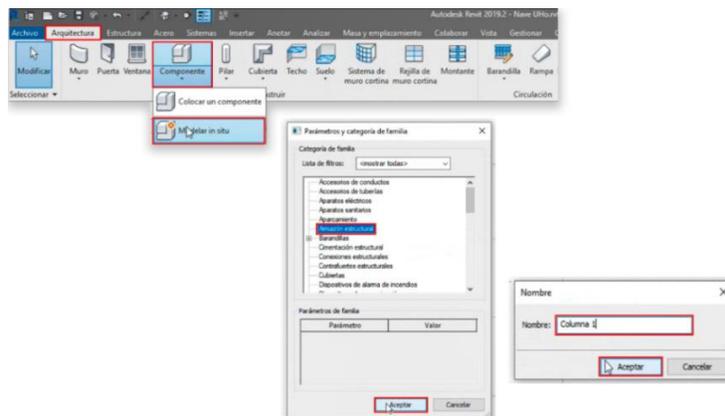


**Figura 2.29: Rejilla. (Autor)**

- Modelado de columnas de 600 mm por 400 mm.

Se modelan las columnas con las dimensiones establecidas en el proyecto, se superponen a las formadas por la nube de puntos y alinean con los ejes creados. Esto se realiza con el objetivo de tener una mejor visualización entre lo que se diseñó y lo construido. Se procede de la siguiente manera:

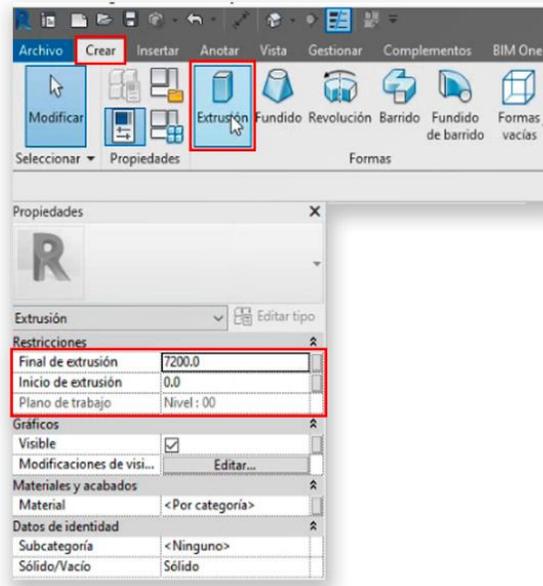
1. Pestaña Arquitectura/ Componentes/ Modelar in situ, figura 2.30.
2. Aparece el cuadro parámetro y categoría de familia se selecciona Armazón estructural/ Aceptar/ se introduce el nombre del nuevo componente/ Aceptar, figura 2.30.



**Figura 2.30: Creación de columnas. (Autor)**

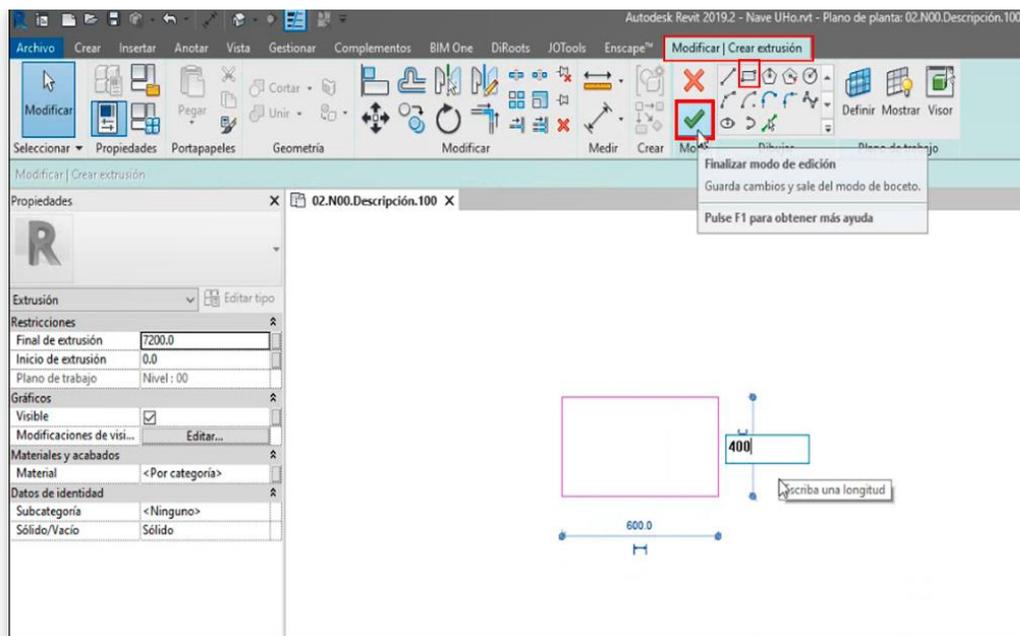


3. En la pestaña “Crear” se selecciona “Extrusión” y se establece que la altura es de 7,2 m, figura 2.31.



**Figura 2.31: Determinación de la altura. (Autor)**

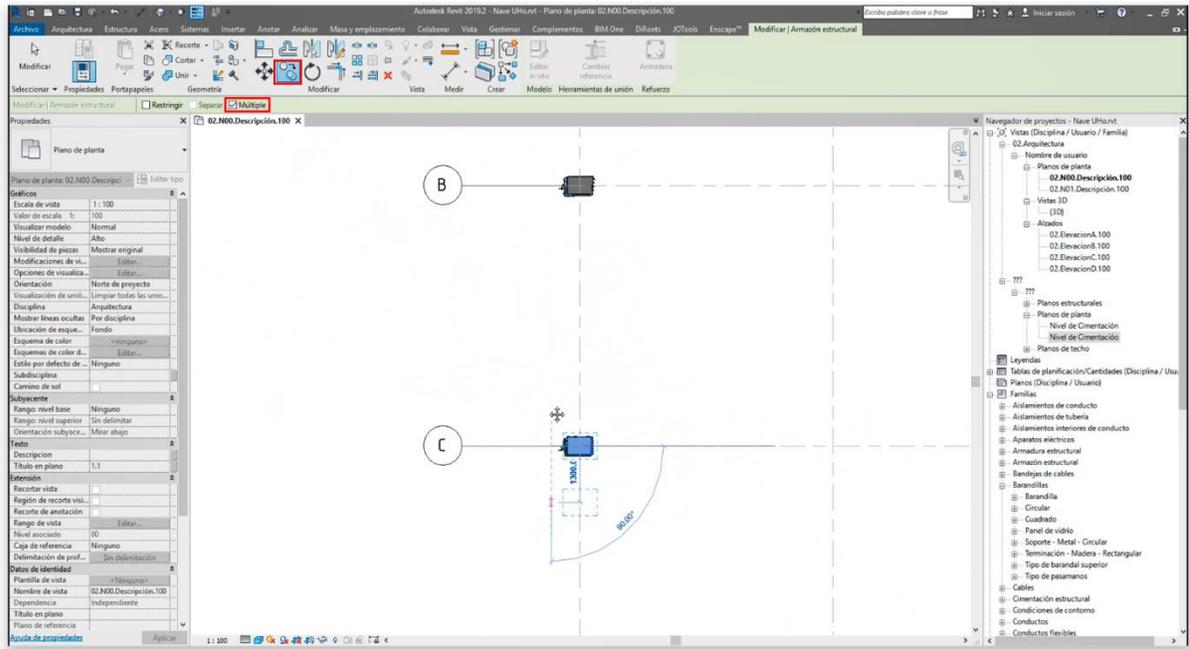
4. En “Crear Extrusión” se escoge la figura del rectángulo, se introducen las dimensiones en milímetros y se da por finalizada el modo edición, figura 2.32.



**Figura 2.32: Determinación del largo y la longitud. (Autor)**



5. prosigue la alineación de la columna creada y luego se replica, figura 2.33.



**Figura 2.33: Alineación y réplica de las columnas. (Autor)**

- Modelado de columnas a partir de la nube puntos.

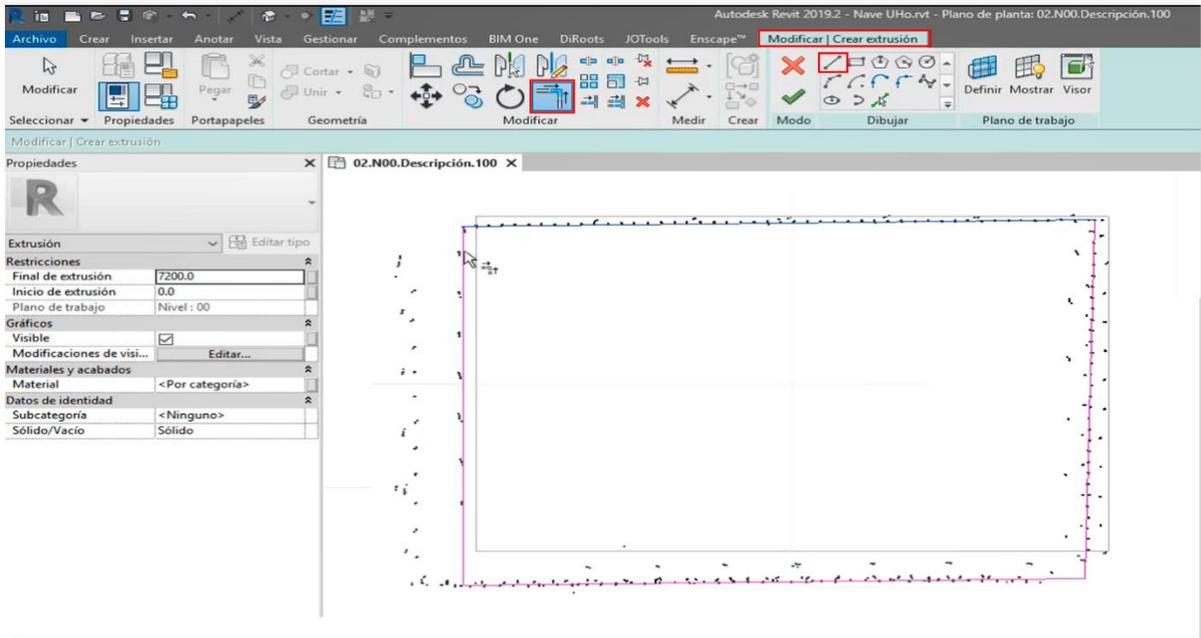
La nube de puntos no presenta una unificación precisa, por lo que las columnas se trazan donde existen mayor concentración de puntos. Se ejecuta de la siguiente manera:

Los pasos del uno al tres coinciden con los de la modelación de las columnas de 600 mm por 400 mm.

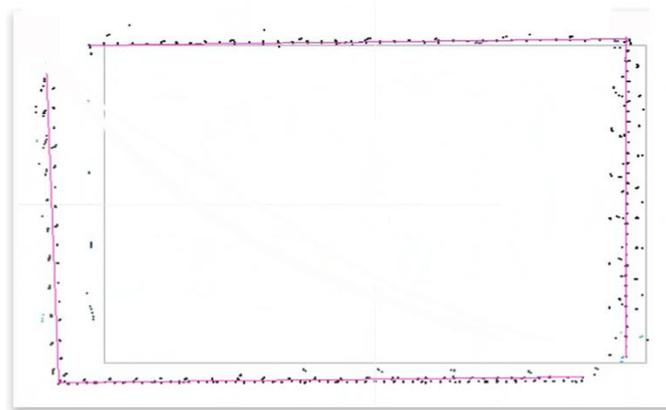
1. Pestaña Arquitectura/ Componentes/ Modelar in situ, figura 2.30.
2. Aparece el cuadro parámetro y categoría de familia, se selecciona Armazón estructural/ Aceptar/ se introduce el nombre del nuevo componente/ Aceptar, figura 2.30.
3. En la pestaña “Crear” se selecciona “Extrusión” y se establece que la altura es de 7,2 m, figura 2.31.
4. En “Crear Extrusión” se escoge la figura de línea y se crean cuatro siguiendo como guía la mayor concentración de puntos, figura 2.34. En algunos casos existe una separación entre los lados de las columnas y no forman un



perímetro cerrado, figura 2.35. Esto repercute en el modelado porque para crear las secciones rectangulares fue necesario salvar distancia que no existen en la realidad.



**Figura 2.34: Creación de las columnas a partir de la nube de puntos. (Autor)**



**Figura 2.35: Resaltado en color rosa los lados de la columna formados por la nube de puntos. (Autor)**

Estos pasos se repitieron para cada una de las columnas que se registraron de acuerdo a los ejes que la contienen. Por ejemplo, la columna que es intersectada por los ejes “A” y “1” se guardó con el nombre “Columna A1”.

### 2.2.5. Control dimensional.

Se realizaron mediciones por dos vías diferentes, en el modelo 3D obtenido con el software Revit y de forma directa con una cinta métrica. Solo se midieron cinco columnas, también se hicieron comprobaciones para los intercolumnios de la parte frontal de una de las naves.

- Control dimensional directo.

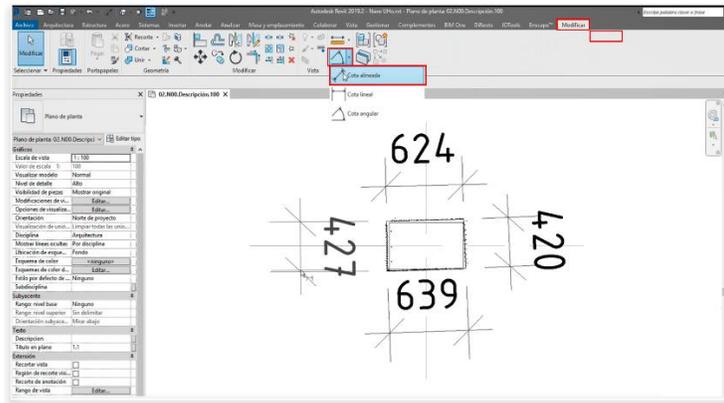
El 18 de octubre del 2021 en el horario de la mañana se midieron las dimensiones de las caras de las columnas e intercolumnios seleccionados. Se empleó como instrumento una cinta métrica, figura 2.36. Todas las mediciones se hicieron a la altura de 1,50 m de las cimentaciones.



**Figura 2.36: Control dimensional directo. (Autor)**

- Control dimensional en el modelo 3D obtenido con el software Revit.

En las columnas modeladas a partir de la nube de puntos con la herramienta Medir/Cota alineada se conocen sus dimensiones, figura 2.37.



**Figura 2.37: Control dimensional en software Revit. (Autor)**

En este proceso se puede observar que las columnas no estaban bien alineadas. Las dimensiones de la sección rectangular de las columnas difieren considerablemente de las del proyecto. Este error está provocado por la unificación manual de las nubes de puntos.

### 2.2.6. Análisis de los resultados.

A continuación, se muestran las tablas 2.4 y 2.6; recogen los resultados obtenidos de los controles dimensionales realizados. Se nombraron las columnas según los ejes que las intersectan en la rejilla creada en el software Revit y los fijados en el proyecto (ilustrados anteriormente en la figura 2.29). Es necesario aclarar que, para las columnas analizadas sus ejes de referencia numéricos producidos para este trabajo coinciden con los del proyecto, no así los ejes alfabéticos. Los lados de las columnas “a” y “c” son perpendiculares a los ejes numéricos, figura 2.38.

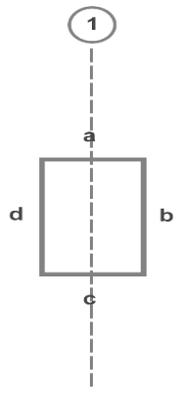


Figura 2.38: Esquema de los lados de las columnas. (Autor)

Tabla 2.4. Resultados del control dimensional. (Autor)

Columna	Nombre proyecto	J1	H1	F1	J5	J15	
	Nombre T.D	A1	C1	E1	A5	A15	
Según proyecto	Dimensiones (cm)	a	40.0	60.0	40.0	40.0	40.0
		b	60.0	40.0	60.0	60.0	60.0
		c	40.0	60.0	40.0	40.0	40.0
		d	60.0	40.0	60.0	60.0	60.0
Control directo		a	40.0	61.0	41.0	41.0	41.0
		b	60.1	41.0	61.0	61.0	61.0
		c	40.5	59.0	41.0	40.0	41.0
		d	60.0	40.0	61.0	60.0	61.0
Modelo en Revit		a	39.5	59.7	43.6	42.9	42.0
		b	62.8	42.7	62.3	60.0	62.4
		c	39.5	59.0	44.5	42.8	42.7
		d	62.0	42.3	63.1	59.1	63.9



**Tabla 2.5. Resultados del control dimensional de los intercolumnios. (Autor)**

Intercolumnios	AB	BC	CD	DE
	Longitud (m)			
<b>Según proyecto</b>	6.00	6.00	6.00	6.00
<b>Control directo</b>	5.71	5.98	6.00	5.70
<b>Modelo en Revit</b>	5.71	5.99	5.99	5.69

Al comparar los resultados obtenidos sobre las dimensiones de los lados de las columnas, se evidencian diferencias entre el control directo y los datos extraídos del modelo Revit. Esto puede ser producto a la unión manual de las nubes de puntos, donde no hay un solape adecuado y se reportó un error del modelo de  $\pm 1$  cm. En la columna E1 lado “c”, es donde existe mayor discrepancia, con un valor de 35 mm, la misma se encuentra a la mayor distancia de la base geodésica de referencia, lugar donde lógicamente el modelo tiene la mayor distorsión. Tabla 2.6.

**Tabla 2.6. Diferencia de los resultados obtenidos entre el control directo y el modelo en Revit sobre los lados de las columnas. (Autor)**

Nombre proyecto	J1	H1	F1	J5	J15
Nombre T.D	A1	C1	E1	A5	A15
Lado	Diferencia (mm)				
a	5	13	26	19	10
b	27	17	13	10	14
c	10	0	35	28	17
d	20	23	21	9	29

En las dimensiones obtenidas de los intercolumnios por los dos métodos, en tres resultados hay una diferencia de un centímetro, que se corresponde totalmente con el error del modelo. Solo existe una coincidencia en el intercolumnio “AB”, figura 2.7.

**Tabla 2.6. Diferencia de los resultados obtenidos entre el control directo y el modelo en Revit sobre los intercolumnios. (Autor)**

Intercolumnios	AB	BC	CD	DE
<b>Diferencia (mm)</b>	0	10	10	10



### Conclusiones del capítulo.

- El esquema de trabajo elaborado facilita la ejecución del control dimensional de una estructura en el modelado 3D en Autodesk Revit mediante la nube de puntos obtenida por el ELT, lo cual representa una mejora en este proceso a partir de la posibilidad de obtener un modelo con una precisión adecuada para el control de obras, además de humanizar el trabajo, reducir tiempo de ejecución y costos.
- Para efectuar un control dimensional con mayor precisión es necesario utilizar mayor número dianas o señales de puntería en el levantamiento para que el registro de la nube de puntos se haga de forma automática. En caso de que no se haga, debe ser en elementos estructurales que requieran una precisión mayor a  $\pm 2$  cm.
- Las mayores diferencias en el análisis comparativo realizado se observan en las caras de las columnas, con el mayor valor en E1 lado "c", de 35 mm, que puede ser producto del error inicial del modelo y en específico a que esta columna se encuentra a una mayor distancia de los puntos utilizados en la georreferenciación del escaneado. Para los intercolumnios estos valores son menores y no superan  $\pm 1$  cm. En todos los casos existe una diferencia constante con respecto a las dimensiones fijadas en el proyecto.



## CONCLUSIONES GENERALES

- El estudio sobre estado actual del empleo del ELT demostró su factibilidad en el control dimensional. En Cuba tiene como precedente su aplicación para realizar inspecciones que requieren resultados con una elevada precisión. Esta tecnología permite documentar geométrica y visualmente la realidad física con gran detalle, rapidez y precisión.
- A partir del empleo del esquema de trabajo propuesto fue posible obtener un modelo tridimensional georreferenciado con una adecuada precisión y en menor tiempo, generado a partir de nubes de puntos. Lo que permite ejecutar controles dimensionales a un mayor número de elementos en menor periodo, con mediciones de mayor precisión y menor cantidad de recursos.
- El análisis comparativo realizado a partir de los resultados en el caso de estudio “Nave UHo” hizo posible la comprobación del modelo obtenido. El cual se considera de precisión aceptable para el control dimensional de una estructura, teniendo en cuenta que las mayores diferencias obtenidas se deben al error inicial del modelo. Lo que demuestra la veracidad de la hipótesis planteada



## **RECOMENDACIONES**

- Realizar un nuevo escaneado al caso de estudio en el que se empleen mayor número de dianas para que el registro de la nube de puntos se haga automáticamente y con ello reducir el error inicial del modelo, así como garantizar la mayor precisión del modelo a partir de una adecuada distribución de la base geodésica utilizada para la georreferenciación.
- Proseguir con la investigación en otros casos de estudios para incrementar el conocimiento sobre las posibilidades de esta tecnología en el control dimensional, así como de las tolerancias establecidas en los diferentes proyectos, para su posterior generalización en el país. Así como su extensión en otras aplicaciones relacionadas con el control de obras y la conservación de estructuras.



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Autodesk Support. (2020). Obtenido de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/recap/learnexplore/caas/sfdcarticles/s/sfdcarticles/ESP/System-requirements-for-AutodeskReCap-Pro-2021 - ReCap-Photo-2021 -and-ReCap-Pro-app-for-iPad.html>
- Cabrejas Herrero, P. (s.f.). Control dimensional de aeronaves con sistemas láser escáner.
- Carballo Hernández, E. L. (2020). Modelado de edificaciones a partir de nubes de puntos con el uso del Autodesk Revit.
- Decreto No.327. (2015). Reglajmento del Proceso Inversionista.
- Empresa GEODESA. (2019). Levantamiento Tridimensional de exteriores: Almacenes ATM.
- Empresa GEODESA. (2019). Metodología para el procesamiento de la información obtenida con Escáner Láser en el software Cyclone.
- Empresa IPROYECSA. (2014). Procedimiento de Control Dimensional. Obtenido de <https://1library.co/document/ye3mpj0q-procedimiento-de-control-dimensional.html>
- Flores Leyva, I. S., Garbey Quintana, I. O., González Abreut, I., & Hernández Peña, I. (2018). Determinación de volúmenes de áridos a partir de la nube de puntos generada por el Escáner Láser Terrestre C-10.
- Flores Leyva, I. S., Garbey Quintana, I. O., González Abreut, I., & Hernández Peña, I. (2018). Implementación y resultados obtenidos con el Escáner Láser C10 en la Empresa Geodesa. X CONGRESO INTERNACIONAL DE GEOMÁTICA 2018.
- Franco, D., & Pérez Bell, I. (2018). Importancia de los servicios metrológicos para la Industria. III Congreso de Electrónica y Automática.Cubaindustria 2018.
- Grupo Empresarial GEOCUBA. (2021). Control de cubicaciones de movimiento de tierras ejecutados en el mes de abril para la construcción de la Planta De Modulos Habitacionales Pilón.
- Grupo Empresarial GEOCUBA. (2021). Levantamiento tridimensional con escáner láser de la pista del Aeropuerto “Frank País García”.
- Grupo Solitium. (2020). Soluciones profesionales de Escaneado 3D.
- Hernández Peña, I. (2019). Procedimiento para modelado 3D de edificaciones a partir de nubes de puntos generadas por Escáner Láser Terrestre.



- Hernández, E. L. (2019). Modelado de edificaciones a partir de nubes de puntos con el uso del Autodesk Revit.
- Herrera De La Rosa, L. L. (2018). Modelamiento Estadístico de la precisión de un escáner laser terrestre. Bogotá.
- Leica Geosystems. (2017). Leica ScanStation P30/P40.
- Leica Geosystems. (2018). Manual de uso Leica ScanStation P50/P40/P30.
- Lerma García, J. L., & Biosca Tarongers, J. M. (2008). Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre. Leonardo Da Vinci.
- Marambio , A. E., & Roca, J. (2006). Modelos digitales de nubes de puntos de La Habana Vieja, Cuba.
- Martínez Jiménez, L. (2018). Propuesta de perfeccionamiento del sistema de gestión de la calidad del proyecto de hotel Salinas I en cayo Las Brujas.
- Mas Sarabia, V., Cuétara Pérez, P., & Arencibia Iglesias, S. R. (2020). La Muralla de La Habana. Levantamiento tridimensional y documentación de sus paramentos pétreos.
- Pérez Noris, A. M. (2020). Modelado 3D de edificaciones a partir del empleo de la tecnología del Escaneado Láser Terrestre.
- Rodríguez Pérez, Y. (2019). Perfeccionamiento del Polígono Patrón de topografía de la Universidad de Holguín a partir de la aplicación de nuevas tecnologías.
- Rodríguez, M. V. (2019). Diseño de metodología de trabajo para el escaneo con tecnología láser 3D, aplicada a la Arquitectura Patrimonial.
- Romeral Pérez, F. (2014). Flujo de trabajo en proyectos de modelización 3D con equipos láser escáner.
- Suárez Matarrita , C. (2019). Auscultación de la erosión en un terraplén experimental mediante la tecnología escáner láser terrestre. 10.
- Universidad Nacional de Colombia. (2020). Curso de control dimensional, ajustes y tolerancias; herramientas para la elaboración e interpretación de planos de Ingeniería con alta calidad.
- Viera Rodríguez, M. (2019). Diseño de metodología de trabajo para el escaneo con tecnología Láser 3D, aplicada a la Arquitectura Patrimonial.

