



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

LEVANTAMIENTO 3D PARA LA AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DEL EDIFICIO A2 DEL CAMPUS “LAS LAGUNILLAS”

Alumno: Álvaro Palao Martínez

Tutor: Prof. D. Emilio Mata de Castro

**Dpto: Ingeniería Cartográfica, Geodésica y
Fotogrametría**



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática

Don Emilio Mata de Castro , tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: Levantamiento 3D para la ampliación del sistema de climatización del edificio A2 del Campus “Las Lagunillas”, que presenta Álvaro Palao Martínez, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, 22 Junio de 2020

El alumno:

Álvaro Palao Martínez

Los tutores:

Emilio Mata de Castro

Contenido:

Resumen	1
Abstract.....	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. BIM.....	4
1.1.1. Ventajas del BIM	5
1.1.2 Inconvenientes del BIM	6
1.1.3 Dimensiones del BIM.....	7
1.1.4 LOD. Niveles de desarrollo de un proyecto.....	8
1.1.5 Principales plataformas BIM	9
1.2 Escáner láser terrestre	10
1.2.1 Funcionamiento del TLS.....	10
1.2.2 Aplicaciones	13
2. OBJETIVO	14
3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA AZOTEA.....	14
4. FASES DEL PROYECTO.....	16
4.1 Fase 1. Planificación de la toma de datos.....	17
4.1.1 Instrumentación	17
4.1.2 Ubicación y número de escaneos	18
4.2 Fase 2. Toma de datos en campo	18
4.3 Fase 3. Desarrollo de trabajo en gabinete	23
4.3.1 Programas utilizados	23
4.3.2 Proceso de registro.....	25
4.3.3 Filtrado de datos.....	28
4.3.4 Modelado en Revit.....	31
5. AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN	40
6. CONCLUSIONES.....	41
7. PRESUPUESTO.....	42
7.1 Trabajos de campo.....	42
7.1.1 Cálculo de jornadas	42
7.1.2 Cuadro de precios simples	42
7.1.3 Cuadro de precios descompuestos.....	42
7.1.4 Presupuesto ejecución material	43
7.2 Trabajos de gabinete	43
7.2.1 Cálculo de jornadas	43

7.2.2	Cuadro de precios simples	44
7.2.3	Cuadro de precios descompuestos.....	44
7.2.4	Presupuesto ejecución material	45
7.3	Presupuesto ejecución material final	45
7.4	Presupuesto total.....	46
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	47

Tabla de figuras

<i>Figura 1. Relación entre BIM y algunos agentes del Proyecto (Fuente: Anne Kathrine Nielsen, Søren Madsen, 2010)</i>	5
<i>Figura 2. Niveles de desarrollo BIM enfocado a MEP (Fuente: Trimble MEP Service Group)</i>	8
<i>Figura 3. Principio del láser escáner basado en triangulación.</i>	11
<i>Figura 4. Principio del láser escáner basado en diferencia de fase.</i>	12
<i>Figura 5. Principio del láser escáner basado en tiempo de vuelo.</i>	12
<i>Figura 6. Localización de la provincia de Jaén (Fuente: Google Maps)</i>	14
<i>Figura 7. Localización del edificio A2 (Fuente: GoogleMaps)</i>	15
<i>Figura 8. Fotografía de la azotea (Fuente: Elaboración propia)</i>	16
<i>Figura 9. Pantalla de selección de valores de resolución y calidad del escaneo</i>	19
<i>Figura 10. Pantalla de configuración del rango del escaneo (Fuente: Elaboración propia)</i>	19
<i>Figura 11. Proceso de escaneado (Fuente: Elaboración propia)</i>	20
<i>Figura 12. Proceso de escaneado (Fuente: Elaboración propia)</i>	20
<i>Figura 13. Ubicación de dianas esféricas</i>	21
<i>Figura 14. a) Medida del diámetro de una tubería, b) Medida del lado de un pilar</i>	21
<i>Figura 15. Procesos varios de escaneados</i>	22
<i>Figura 16. Ejemplo de clasificación de un conducto de climatización</i>	24
<i>Figura 17. Flujo de programas en gabinete (Fuente: Elaboración propia)</i>	25
<i>Figura 18. Configuración inicial del volcado de datos.</i>	25
<i>Figura 19. Ejemplo de registro en ReCap®</i>	26
<i>Figura 20. Nube de puntos obtenida tras el registro final de los escaneos</i>	26
<i>Figura 21. Zonas capturadas innecesarias.</i>	29
<i>Figura 22. Caja de sección.</i>	29
<i>Figura 23. Persona escaneada.</i>	30
<i>Figura 24. Nube de puntos filtrada.</i>	30
<i>Figura 25. Rotación nube de puntos en Revit®</i>	31
<i>Figura 26. Niveles generados</i>	32
<i>Figura 27. Modelado de un pilar</i>	33
<i>Figura 28. Modelado de elementos arquitectónicos</i>	33
<i>Figura 29. Aislado de tuberías</i>	34
<i>Figura 30. Sección transversal y longitudinal de una tubería</i>	34
<i>Figura 31. Sistema de extracción de aire</i>	35
<i>Figura 32. Bomba aspirante editada</i>	35
<i>Figura 33. Vista del módulo vaso de expansión</i>	36
<i>Figura 34. Vista del módulo caldera - placa solar</i>	37
<i>Figura 35. Vista del módulo sistema extracción aire</i>	37
<i>Figura 36. Vista en planta del sistema de tuberías</i>	38
<i>Figura 37. Vista 3D renderizada del modelo final</i>	38
<i>Figura 38. Caso práctico de asignación de textura “grava”</i>	39
<i>Figura 39. Cumplimiento criterio de mínima distancia</i>	40
<i>Figura 40. Trayectoria final del trazado de la nueva línea (color rojo)</i>	40

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo dar a conocer el potencial de las técnicas de escaneado laser 3D como vía de integración en el entorno BIM (Building Information Modelling). En este caso concreto se pretende dar un enfoque sobre aplicaciones industriales, estudiando el sistema de climatización situado en la azotea del edificio A2 del Campus de las Lagunillas (Jaén).

Por tanto, el trabajo consta de dos partes principales. Por una parte, la fase de escaneado, que se centra en la planificación y toma de los diferentes escaneos para la obtención de una nube de puntos adecuada a las necesidades del proyecto. Y, por otra parte, partiendo de la información obtenida en esta primera fase y de la documentación referente a este tipo de instalaciones, se crea un modelo que represente el estado actual de la instalación.

Para ello se emplean programas de tratamiento de nubes de puntos como de modelización 3D que serán mencionados y descritos con posterioridad.

Información obtenida:

- Modelo BIM del área de estudio.
- Vistas modulares la instalación.

Proceso:

- Planificación de la toma de datos.
- Escaneado en campo del area de estudio.
- Tratamiento de las nubes de puntos.
- Modelado 3D de la instalación.
- Ampliacion del sistema.

Abstract

The objective of this project is to present the potential of laser scanning 3D techniques as a way of integration in the BIM (Building Information Modeling) environment. In this specific case, the aim is to focus on industrial applications, studying the air conditioning system located on the roof of the A2 building of the Campus Las Lagunillas (Jaén).

Therefore, the constant work of two main parts. On the one hand, the scanning phase, which focuses on planning and taking the different scans to obtain a point cloud suitable for the project's needs. And, on the other hand, based on the information obtained in this first phase and the documentation regarding this type of installation, a model is created that represents the current state of the installation.

To do this, point cloud treatment programs such as 3D modeling are used, which will be mentioned and described later.

Information obtained:

- BIM model of the study area.
- Modular views of the installation.

Process:

- Planning of data collection.
- Field scan of the study area.
- Point cloud treatment.
- 3D modeling of the installation.
- System expansion

1. INTRODUCCIÓN

El auge de la tecnología en las últimas décadas ha llevado consigo un cambio de perspectiva en la metodología de trabajo que se venía utilizando en los proyectos de construcción, pasando de utilizar herramientas como el CAD (Computer Aided Design) basadas en la representación gráfica en dos dimensiones hasta la llegada en los años 60 del diseño en tres dimensiones o CAD 3D, utilizado en sus inicios para el desarrollo de plantas y construcciones industriales [6].

Con el transcurso del tiempo las mejoras en el ámbito informático eran una realidad y los programas de modelado 3D tenían más potencial. Este hecho hizo que surgieran soluciones a necesidades que no estaban cubiertas. En el caso de la construcción, la escasez de organización entre los equipos que están involucrados en las diferentes fases de un proyecto (arquitectos, ingenieros, albañiles, etc) trajo lo que hoy se denomina Building Information Modelling (BIM).

El termino BIM es comúnmente asociado a proyectos de edificación y en ciertos casos a infraestructuras, pero lo cierto es que va más allá [2]. En el caso de este proyecto se ha querido salir de la tendencia y llevar esta filosofía al sector de la industria con el objetivo de mostrar su enorme potencial en este campo. No obstante, se destaca la inevitable fusión entre elementos arquitectónicos para modelar el perímetro de la azotea (muros, puertas, ventanas, barandillas, etc.) y elementos de carácter industrial (tuberías, válvulas, equipos mecánicos, etc.).

En los siguientes apartados se realiza una explicación más densa del concepto BIM, mostrando las ventajas e inconvenientes, características, la jerarquía de organización seguida, dimensiones y los principales programas utilizados en proyectos BIM.

También se profundiza en describir los escáneres láser terrestres en cuanto a tipos, forma de adquisición de datos, así como detallar su funcionamiento y sus distintas aplicaciones.

Tras desarrollar los conceptos anteriores, se pasa a describir la parte práctica del proyecto, en la que se detalla el proceso metodológico seguido. Se parte de la planificación previa en gabinete, comenzando por la ubicación de los distintos escaneos. Posteriormente se muestra el software y el método de registro utilizado para el tratamiento de la nube de puntos obtenida. Y, para finalizar, se ejecuta el modelado partiendo de dicha nube, utilizando el software BIM escogido.

Una vez finalizado el modelo, se estudia un posible caso de ampliación en un sector de la instalación, consistiendo en la futura implantación de una nueva tubería de transporte. Para ello, se realiza previamente un análisis de trazabilidad atendiendo a los criterios impuestos por la normativa que regula el elemento implantado [12].

1.1. BIM

El acrónimo BIM (Building Information Modelling) o modelado de información para la edificación hace referencia a una nueva filosofía de trabajo que ofrece la posibilidad de gestionar e intercambiar ideas entre los distintos sectores que están implicados en el proceso constructivo (ingenieros, arquitectos y constructores) mejorando directamente la comunicación entre estos. Por tanto, el objetivo que persigue esta metodología es centralizar toda la información de un proyecto en un modelo de información digital que esté contenido en una base de datos en la cual consten las relaciones de los distintos elementos que están involucrados, pudiendo hacer una modificación de estos en cualquier etapa de vida del proyecto.

Con el uso de los escáneres láser 3D se abre un abanico de posibilidades dentro del entorno BIM por la facilidad que brindan los escáneres en la captura de información precisa acerca de la variación temporal de un objeto o fenómeno. De este modo pueden intervenir directamente en el proceso de gestión y mantenimiento de una construcción a la cual se le esté realizando un seguimiento. De aquí nace el concepto de filosofía “BIM – As Built” aplicada al presente proyecto.

1.1.1. Ventajas del BIM

Entre las numerosas ventajas que posee la filosofía BIM se destacan las que resultan más relevantes [3]:

- Metodología de trabajo colaborativo. El constante flujo de intercambio de información entre los diferentes agentes que participan en un proyecto de construcción representa una de las ventajas más destacables. En la siguiente figura se muestran algunos de los agentes que intervienen en el proceso constructivo:

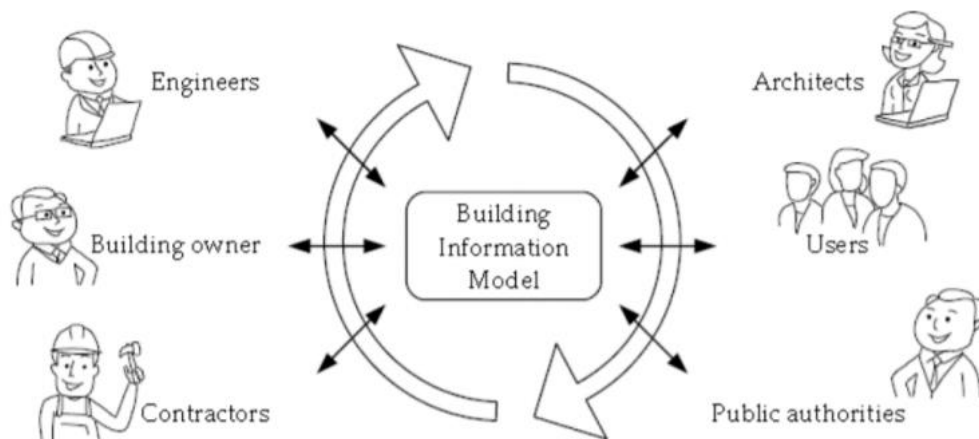


Figura 1. Relación entre BIM y algunos agentes del Proyecto (Fuente: Anne Kathrine Nielsen, Søren Madsen, 2010)

- Modelo común. Uno de los objetivos que persigue el BIM es minimizar la entrada de información al proyecto y la eliminación de ambigüedades, reduciendo así posibles fallos en el diseño y construcción que pudieran derivarse de una mala coordinación.

- Reducción de costes. El hecho de poder estimar un presupuesto a nivel global o en cada etapa antes de que el proyecto se lleve a cabo hace que se disponga de más tiempo para hallar posibles errores en la estimación de los costos. También cabe destacar el ahorro en salarios, ya que al tener centralizados todos los procedimientos se podrá prescindir de cierto personal de trabajo.

- Reducción de tiempos. La posibilidad de modelar una construcción de forma digital y en tiempo real implica que se tenga mayor agilidad o rapidez a la hora de tomar decisiones entre los distintos equipos de trabajo. Este hecho repercute

directamente en el ahorro de tiempos que se dedicarían si no fuera de este modo a la coordinación y verificación de información. De este modo, el tiempo ahorrado se podría invertir en mejoras para el proyecto.

- Integración de una base de datos (BD). Gracias a la BD que interviene en el sistema BIM se puede almacenar toda la información de la edificación que se pretende diseñar, construir o usar, permitiendo el mantenimiento y la actualización automática de la misma en tiempo real. Un factor clave es la posibilidad acceso a esta desde el exterior, es decir, acceder sin necesidad de utilizar el programa BIM vinculado.

Estas ventajas anteriores y muchas otras, hacen del BIM un sistema muy organizado con el que se reducen errores y se logra que los documentos finales obtenidos sean claros y precisos. En resumen, a mayor planificación, menor coste de diseño y mejor calidad, consiguiendo así mayor eficacia del proyecto final.

1.1.2 Inconvenientes del BIM

Como toda metodología o forma de trabajo, presenta sus ventajas, pero también sus inconvenientes, así mismo ocurre con esta filosofía de trabajo. A continuación, se destacarán algunos de las desventajas más destacadas:

El cambio de filosofía de pasar del 2D al 3D puede que sea uno de los inconvenientes más importantes a destacar, ya que el operador necesitará un periodo de adaptación en el cual el proceso productivo se verá afectado.

Otra de las desventajas viene a la hora de crear un modelo BIM con un determinado programa y abrirlo con un programa distinto. En este caso surge la duda acerca de quién sería el responsable de comprobar que todos los datos que contiene son correctos.

Los errores de inconsistencia en un modelo BIM afectan en cadena a prácticamente la totalidad del departamento que trabaja sobre él, reflejándose en una suma importante de horas no productivas

La alta inversión para la adquirir los programas BIM es otro aspecto importante.

1.1.3 Dimensiones del BIM

Durante el proceso que atraviesa un proyecto (ciclo de vida) desde su idea conceptual hasta su entrega final, mantenimiento y derribo, existen una serie de etapas o fases que han pasado a denominarse dimensiones BIM y están reunidas en siete [7]. Estas son las siguientes:

1D. La idea: Se parte de una idea y se definen una serie de condiciones iniciales como la localización del proyecto, un presupuesto inicial aproximado y se establece un plan de ejecución, etc.

2D. El boceto: En esta etapa se prepara el software para la modelación y se comienzan a proyectar las primeras líneas.

3D. Modelado de la información: A partir de la información recopilada anteriormente se genera el modelo 3D que servirá de base para el resto del ciclo de vida del proyecto. El modelo creado pasa de ser algo visual a incorporar toda la información necesaria para las siguientes dimensiones.

4D. Tiempo: Este factor es fundamental a la hora de definir las fases del proyecto, pudiendo establecer una planificación temporal de diferentes parámetros; ciclo vida, sol, energía, etc.

5D. Coste: Hace referencia al control de costes y estimación de gastos que lleva el proyecto. El objetivo principal es la mejora de la rentabilidad del proyecto.

6D. Sostenibilidad: Se basa en la simulación del comportamiento de los sistemas de ahorro energético y la gestión de recursos. Gracias a ello se puede hacer una clasificación y selección de las mejores técnicas y tecnologías aplicadas en cada proyecto, pudiendo optimizar el consumo de energía.

7D. Ciclo de vida: Podría decirse que se trata de un manual a seguir en el transcurso de vida del proyecto una vez construido, para el uso y mantenimiento del mismo; reparaciones, mantenimientos, inspecciones, etc.

1.1.4 LOD. Niveles de desarrollo de un proyecto

LOD (“Level of Development”) hace referencia al nivel de desarrollo que presenta un modelo BIM. Este punto es importante a la hora de implementar un modelo, pues se debe saber lo que el cliente exige.

Existen los siguientes niveles LOD basados en el sistema americano [11]:

- LOD 100. Es el nivel más básico en el que se enumeran los elementos conceptuales de un proyecto. En este no hay datos de geometría ni dimensiones. Se suele utilizar en el anteproyecto para estimar las cantidades y así poder hacer una aproximación de los costos.
- LOD 200. En este nivel se define gráficamente el elemento, especificando de forma aproximada cantidades, tamaño y ubicación en el proyecto.
- LOD 300. En este nivel se define gráficamente el elemento, especificando de forma precisa cantidades, tamaño y ubicación en el proyecto.
- LOD 400. Una vez el modelo está definido geométricamente en detalle está listo para su fabricación e instalar el elemento en su totalidad.
- LOD 500. Este nivel de desarrollo se identifica con el nivel de proceso constructivo finalizado “As Built”. Recopila la información de todos los anteriores.

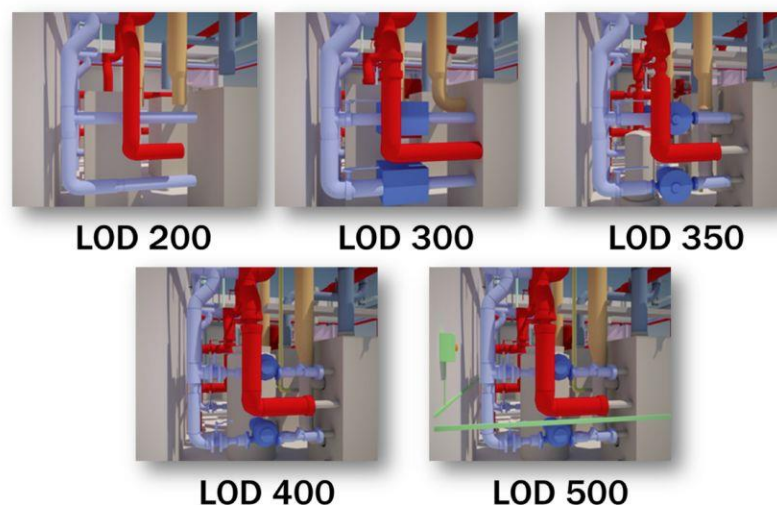


Figura 2. Niveles de desarrollo BIM enfocado a MEP (Fuente: Trimble MEP Service Group)

1.1.5 Principales plataformas BIM

Son muchas las plataformas que trabajan con esta filosofía. A continuación, se citan las consideradas más potentes en este sector [13]:

- Autodesk Revit Architecture®. Según las encuestas realizadas por la comisión es.BIM [9] Revit© sería el software BIM más utilizado por los profesionales que trabajan con esta metodología. Dispone de un servicio de soporte muy potente, lo que da seguridad y fiabilidad a los usuarios que usan este software. Otra de sus ventajas es su gran compatibilidad con otros programas del mismo ámbito.

- Graphisoft ArchiCAD©. Es la segunda opción más utilizada y a pesar de ser el más antiguo del mercado está en constante innovación. Posee una interfaz intuitiva y, al igual que Revit©, organiza toda la información en un único archivo. Una ventaja que posee respecto a Revit© es la adaptación del software en la plataforma Mac, por lo que hay un soporte nativo y no es necesario instalar Windows en caso de ser usuario de Mac.

- Nemetschek Allplan©. Su uso no es tan amplio como las dos soluciones anteriormente descritas. Fue desarrollado por una empresa alemana y se utiliza principalmente en Alemania, aunque se ha extendido a otros países europeos. Este programa se describe a sí mismo como un “sistema CAD orientado a BIM”. Esto repercute en los usuarios que den el paso de 2D a 3D, puesto que les resultará más fácil de adaptarse. La principal diferencia con las anteriores reside en el sistema de gestión de archivos que dispone, ya que, en vez de usar un solo archivo para un proyecto, divide en carpetas la información y a cada una le corresponde una vista, un objeto, etc.

En el caso del proyecto se ha optado por utilizar Revit© debido a su pertenencia con la familia de Autodesk, ya que, durante el trayecto del Grado en Ingeniería Geomática y Topográfica, el uso de programas de esta familia ha resultado común. Otro motivo ha sido la posibilidad de obtener la licencia estudiante a través de la Universidad.

1.2 Escáner láser terrestre

La tecnología láser escáner desde sus comienzos ha revolucionado el mundo topográfico en gran medida, cambiando por completo la visión tradicional que se tenía acerca de la captura de la información. No solo ha tenido repercusión en este sector, sino que ha calado en numerosos campos como una alternativa irremplazable, gracias a la posibilidad de realizar una captura masiva de datos acerca de un objeto con una precisión que llega a ser milimétrica.

Un TLS (Terrestrial Laser Scanner) o escáner láser terrestre, está basado en un sistema mediante el cual se puede escanear una superficie usando la tecnología láser, obteniendo una nube de puntos en coordenadas X, Y, Z, bien locales o en un sistema de referencia específico, con la información de cada punto registrado. Los datos capturados pueden ser; la posición, la intensidad de la señal captada, textura, y, mediante el uso de cámaras digitales integradas, el color. Toda esta información se puede trasladar a aplicaciones complementarias para tratarla y obtener productos secundarios como modelos 3D, cálculos geométricos, secciones, análisis multitemporales, etc.

1.2.1 Funcionamiento del TLS

En función a la tecnología de medición que emplean pueden clasificarse inicialmente en dos clases. Por un lado, los instrumentos de medición por triangulación, y por otro, los instrumentos de medición directa [14].

Ambos instrumentos están compuestos por un sistema que contiene dos elementos principales, un emisor del haz láser y un receptor que recibe la señal.

La metodología de medición que utilizan los instrumentos de triangulación está basada en el conocimiento de la posición relativa de un elemento con respecto del otro. De este modo se consigue resolver el triángulo mostrado en la siguiente figura:

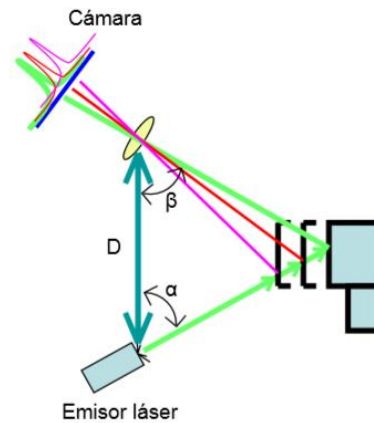


Figura 3. Principio del láser escáner basado en triangulación. (Fuente: “Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre”. Traductores: José Luis Lerma García & Josep Miquel Biosca Tarongers. Septiembre 2008 (página 21))

El inconveniente que presentan estos tipos de instrumentos es la limitación a distancias que no sobrepasen 20 veces la longitud de la base, por lo que son únicamente utilizados en distancias cortas.

Por otro lado, los segundos, denominados instrumentos de medición directa se pueden dividir en dos categorías diferentes; los de medida de fase y los de tiempo de vuelo.

Los instrumentos de medida de fase basan su medición como su propio nombre indica en la diferencia de fase de la señal emitida y recibida.

El encargado de medir esta diferencia es un circuito que captura la reflexión dispersa que sale del objeto para el cálculo del desfase de la onda.

En estos escáneres el alcance está limitado a un retardo de fase de un ciclo de la onda senoidal.

Conociendo la longitud de la onda emitida (λ) se puede medir la distancia aplicando la siguiente expresión:

$$D = \lambda * \frac{\Delta\phi}{2\pi}$$

Donde “ λ ” es la longitud de la onda y “ $\Delta\phi$ ” es el incremento de fase.

Para entender mejor el sistema de medida se adjunta la siguiente figura:

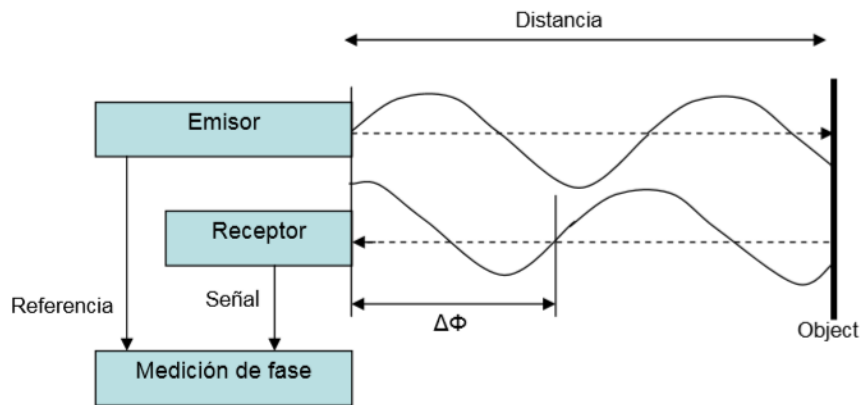


Figura 4. Principio del láser escáner basado en diferencia de fase. (Fuente: “Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre”. Traductores: José Luis Lerma García & Josep Miquel Biosca Tarongers. Septiembre 2008 (página 27))

Los instrumentos de tiempo de vuelo (“time of flight”), por el contrario, se basan en la medición directa del tiempo que tarda el haz de luz en llegar al objeto y regresar a la fuente emisora. Este principio se puede aplicar gracias a que la velocidad con la que viajan las ondas de la luz en ese medio es conocida. Por tanto, el cálculo de la distancia a la superficie observada se puede hallar mediante la siguiente fórmula:

$$D = \lambda * \frac{(c \cdot t)}{2}$$

Donde “c” es la velocidad de luz y “t” el tiempo de ida y vuelta de la señal.

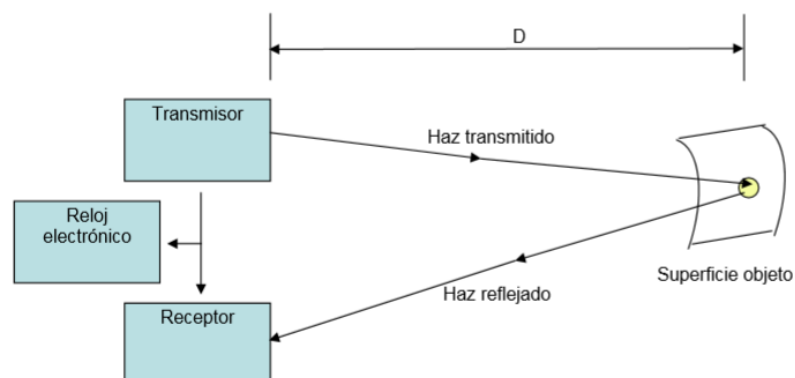


Figura 5. Principio del láser escáner basado en tiempo de vuelo. (Fuente: “Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre”. Traductores: José Luis Lerma García & Josep Miquel Biosca Tarongers. Septiembre 2008 (página 24))

Como se explica posteriormente, para realizar la toma de los datos en campo se ha utilizado un escáner láser 360º, cuyo funcionamiento está basado en el envío de un haz infrarrojo al centro de un espejo que gira en sentido vertical a la vez que en horizontal gracias a plataforma automática que posee. La fusión de estos dos giros permite captar en 360 grados el entorno que lo rodea.

1.2.2 Aplicaciones

Existe un abanico grande de aplicaciones, algunas son conocidas por su uso extendido en ese campo de aplicación, pero existen otras que no están tan extendidas o reconocidas.

A continuación, se detalla un listado de algunos campos de aplicación en los que se puede emplear la tecnología de escáner láser, haciendo una clasificación en función del tipo de escaneado (estático o dinámico) y su rango de distancia:

- Aplicaciones de escaneado dinámico:

- Mobile Mapping
- Carreteras

- Aplicaciones de escaneado estático:

- Largo alcance (150-1500m)

- Minería
- Modelado de edificios
- Accidentes naturales

- Medio alcance (10-150m)

- Industria
- Arqueología
- Ingeniería Civil
- Geología
- Arquitectura
- Patrimonio cultural

➤ Corto alcance (2-10m)

- Ingeniería inversa
- Siniestralidad en accidentes aéreos y terrestres
- Estudios forenses

2. OBJETIVO

El proyecto se ha llevado a cabo con la intención de mostrar el potencial que poseen los escáneres láser en ciertas aplicaciones de carácter industrial. En este caso concreto se ha optado por generar un modelado 3D en Revit© con la finalidad de representar al detalle cada elemento de la instalación estudiada.

Cabe destacar el esfuerzo añadido durante la realización del proyecto, por el uso de programas que no han sido manejados durante el Grado en Ingeniería Geomática y Topográfica, pero que, sin duda, abren muchas puertas a una futura inserción laboral.

3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA AZOTEA

La localización de la instalación motivo del trabajo se encuentra en España, en la comunidad autónoma de Andalucía, concretamente en la provincia de Jaén.



Figura 6. Localización de la provincia de Jaén (Fuente: Google Maps)

En cuanto a la instalación estudiada se encuentra en la azotea del edificio “A2”, del Campus Universitario de la Universidad de Jaén delimitado al sur por la calle de “Ben Saprut “, al sureste por el edificio “A3” de Ciencia y Tecnología, al noreste con el edificio “B2” de Ciencias Experimentales y de la Salud y, al noroeste con el edificio “A1” o Centro de Producción y Experimentación Animal.

En las siguientes figuras se muestra la localización del edificio a diferentes escalas, ordenadas de menor a mayor:

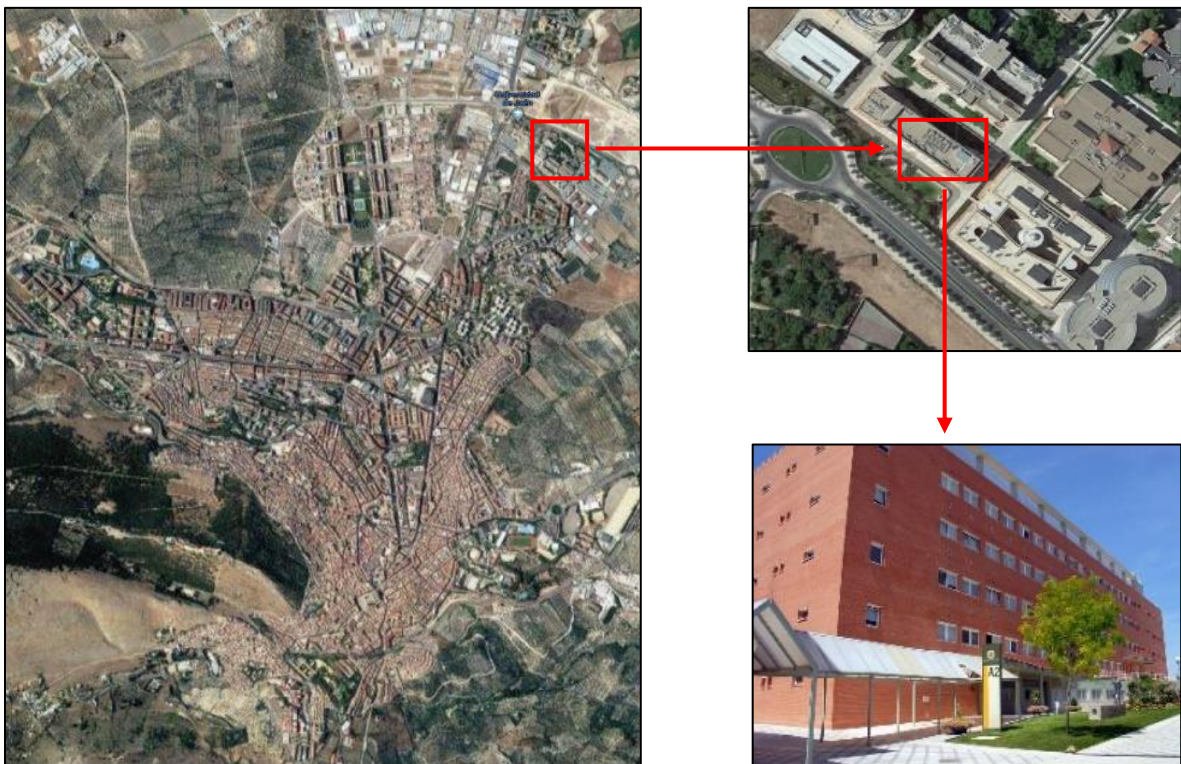


Figura 7. Localización del edificio A2 (Fuente: GoogleMaps)

Dicha azotea está conformada en su perímetro por elementos arquitectónicos como son muros, pilares, ventanas, barandillas de seguridad y dos puertas de acceso situadas una en cada extremo. Respecto a la superficie que ocupa la cubierta del edificio, está compuesta en su totalidad por una capa de tamaño medio de grava.

En cuanto al sistema de climatización, está formado por una gran variedad de piezas de diferente categoría, pudiendo ser tanto mecánicas como de fontanería o electricidad. Estas serán descritas con posterioridad en el apartado correspondiente.

A continuación, se muestra una fotografía realizada desde la parte superior de la azotea en la que se puede apreciar todo el sistema modelado:



Figura 8. Fotografía de la azotea (Fuente: Elaboración propia)

Coordenadas geográficas y UTM (HUSO 30 N) aproximadas de la azotea:

- Latitud: 37, 7879° N X: 431550 m
- Longitud: -3, 7784° O Y: 418279 m
- Altitud ortométrica: 433,690 m

4. FASES DEL PROYECTO

En este apartado se pretende mostrar las diferentes fases por las que ha pasado el proyecto para su elaboración final. Este consta de tres fases principales; en la primera fase se describe el proceso de planificación de la información, en la segunda se detalla la toma de datos en campo y en la tercera y última fase se desarrolla el trabajo realizado en gabinete hasta la ejecución del modelado final y la incorporación de elementos nuevos al sistema de climatización.

4.1 Fase 1. Planificación de la toma de datos

En cualquier proyecto de este ámbito, antes de comenzar con la ejecución de los trabajos es muy importante hacer una recopilación de toda la información de partida para poder planificar la toma de datos en campo.

4.1.1 Instrumentación

Para llevar a cabo el levantamiento de datos se ha utilizado un escáner laser terrestre de la marca FARO, en concreto el modelo Focus X 130 HDR cuyas características principales se detallan a continuación [1] .

FOCUS 3D X 130		
	Método de medición	Diferencia de fase
	Rango de distancia	0,6 - 130 m
	Error de Rango	± 2 mm
	Multisensor	GPS
		Brújula
		Altímetro
		Compensador de eje dual
	Cámara HDR	Sí
	Velocidad medición	976.000 puntos/segundo
	Longitud de onda	1550 nm
	Campo vision (vertical/horizontal)	300° / 360°
Peso		5,2 kg
Tamaño		240 x 200 x 100 mm

Los accesorios empleados son los siguientes:

- Trípode

- Dianas esféricas
- Cinta métrica

El motivo por el que se optó utilizar este modelo de escáner estuvo condicionado por su disponibilidad en las fechas que se realizaron los distintos escaneos.

4.1.2 Ubicación y número de escaneos

En cuanto a las decisiones tomadas para la planificación de los escaneos se tuvo en cuenta la disposición y la morfología de los elementos que forman la instalación, siendo en su mayoría tuberías situadas a doble altura.

Finalmente, tras este estudio previo se determinaron los estacionamientos que serían necesarios para asegurar una correcta toma de datos, contando con un total de veintidós para garantizar una cantidad de información optima y así evitar posibles oclusiones que pudieran aparecer.

4.2 Fase 2. Toma de datos en campo

Una vez se ha realizado la planificación se pasa a la fase del levantamiento 3D atendiendo a la disposición de los escaneos planeados en la Fase 1.

Respecto a la configuración de los parámetros principales del escáner láser, se destaca el ajuste de la resolución, es decir, la densidad de la nube o distancia entre puntos, y, la calidad, refiriéndose al número de veces que la estación mide un punto y lo promedia, aumentando así de la exactitud de cada punto medido conforme este valor sea más alto. En los distintos escaneos se escoge un valor promedio de 3x, por tanto, cada punto observado se promediará un número de tres veces.

A estos parámetros mencionados anteriormente se le suma la configuración del rango angular que describe el láser escáner, pudiendo abarcar un área horizontal de 360 grados y en la vertical entre los -60.0 y 90.0 grados (no llegan a completarse los 180 grados por la parte oculta del trípode).

En la toma de datos en campo se han seleccionados diferentes valores para estos parámetros en cada escaneo realizado atendiendo a las necesidades que

algunas zonas requerían, como incrementar la densidad de puntos debido a la morfología de la pieza observada o bien reducir el tamaño del barrido por encontrarse en un espacio reducido. Todo este ajuste contribuye en buena medida a la disminución de la redundancia obtenida en la nube de puntos final, siendo un aspecto muy importante para su posterior tratamiento.

También se ha hecho uso de los sensores que dispone este modelo de escáner (GPS, brújula, altímetro y compensador de eje dual), por tratarse de una zona exterior como es el caso de la azotea del edificio A2, con lo cual los escaneos quedan posicionados aproximadamente para facilitar su posterior registro.

A continuación, se muestran las pantallas para cambiar los parámetros mencionados anteriormente.



Figura 9. Pantalla de selección de valores de resolución y calidad (Fuente: Elaboración propia)

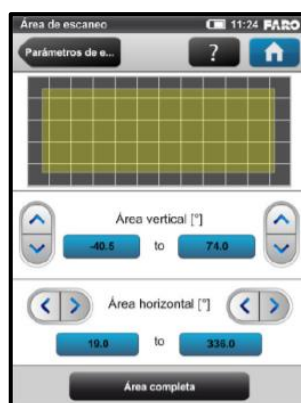


Figura 10. Pantalla de configuración del rango del escaneo (Fuente: Elaboración propia)

Seguidamente, se exponen a modo de ejemplo dos posiciones de escaneos en campo en condiciones diferentes:

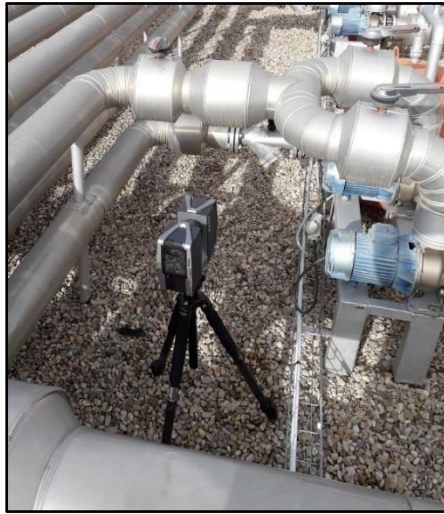


Figura 11. Proceso de escaneado (Fuente: Elaboración propia)

En el caso del escaneo mostrado en la *Figura 11* no tiene sentido utilizar una resolución alta por su proximidad respecto al objeto para poder representar la sección de la tubería. Sin embargo, el barrido angular en la componente horizontal ha sido de 360 grados para posibilitar la captura de todos los objetos circundantes.

Por el contrario, la siguiente imagen muestra un escaneo que ha requerido mayor resolución por la distancia que existe al objeto, pero menor ángulo de barrido, ya que tan solo se pretende observar una esquina de la azotea.



Figura 12. Proceso de escaneado (Fuente: Elaboración propia)

En vista del resultado satisfactorio obtenido tras procesar los datos de la primera salida a campo sin hacer uso de las esferas colocadas con el software de registro automático/semiautomático, se toma la decisión de prescindir de estas en los siguientes escaneos.



Figura 13. Ubicación de dianas esféricas

Otro de los trabajos que se realiza en campo es la medición con la cinta métrica de ciertas piezas del sistema para hacer una comparación de la veracidad de los datos representados por la nube de puntos con la realidad y así facilitar su modelado.

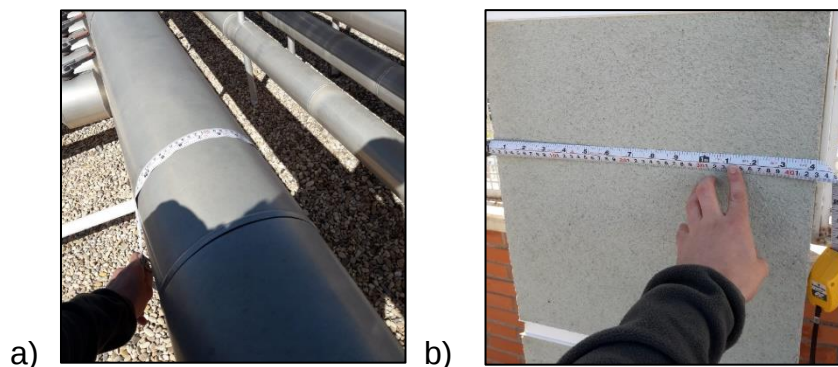


Figura 14. a) Medida del diámetro de una tubería, b) Medida del lado de un pilar



Figura 15. Procesos varios de escaneados

4.3 Fase 3. Desarrollo de trabajo en gabinete

Una vez se han recopilado todos los datos de campo y obtenidas las nubes de puntos, se está en condiciones de pasar a la siguiente fase. En esta se detallan todos los pasos seguidos desde el volcado de datos hasta la obtención del producto final buscado. Así mismo, se muestran los programas que han sido necesarios para llevar a cabo el trabajo en gabinete.

4.3.1 Programas utilizados

Los programas utilizados en gabinete han sido los siguientes: comenzando por “Autodesk ReCap©” para el registro de la nube de puntos y su depurado, seguido de “Autodesk Revit Architecture©”, para obtener el modelado de la instalación.

A continuación, se hace una breve introducción acerca de los programas descritos anteriormente:

- Autodesk ReCap© [4]: Este software está dedicado a la creación de modelos 3D, ya sea desde información escaneada o capturada desde fotos. Permite la opción de importar escaneados en diferentes formatos (.fls, .e57, .las, etc.). En cuanto al modo de registro, da las siguientes opciones; manual, semiautomático o totalmente automático.

También permite hacer filtrados de ruido, limpiar, modificar y seleccionar, mediante herramientas como caja de visualización, planos, etc. Gracias a las extensiones de exportación que utiliza (rcp/rcs, e57, pts, pcg), es muy cómodo el intercambio de archivos entre este software y otros de la familia Autodesk, como pueden ser Revit© o Civil 3D©.

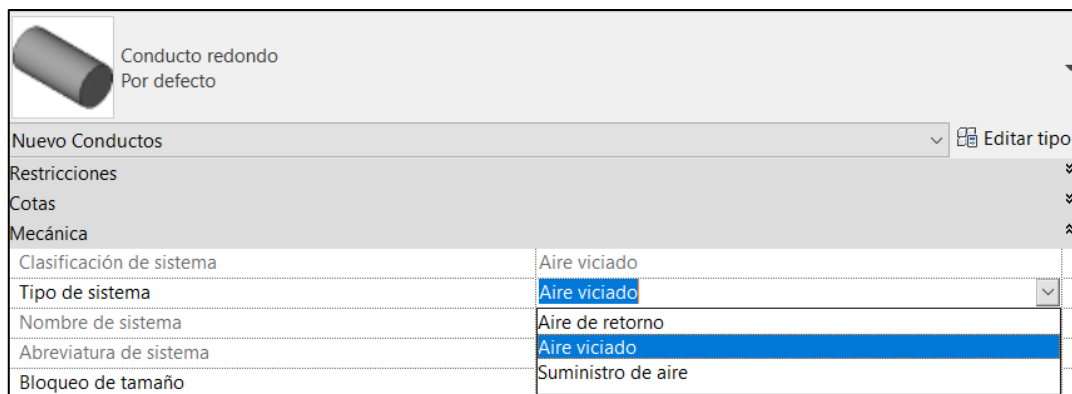
- Autodesk Revit© [5]: El siguiente apartado ha sido desarrollado para dar una explicación acerca del módulo MEP que contiene Revit©, jugando un papel fundamental en el transcurso del proyecto al tratarse del modelado de un sistema de climatización en el que intervienen tanto elementos de plomería como eléctricos y mecánicos.

Gracias a Revit© MEP es posible el diseño de instalaciones en formato tridimensional, evitando una metodología de diseño en 2D. De este modo se tiene un mayor control sobre la coordinación de todos los elementos del modelo.

Una de sus funciones más potentes que ofrece el software está basada en la clasificación de los elementos según el sistema al que pertenecen, entendiéndose por sistema al conjunto de elementos MEP conectados y clasificados de tal manera que definan la función por la cual han sido diseñados.

Un ejemplo que puede ayudar a entender este concepto sería: el caso de una red de conductos de aire, los sistemas podrían clasificarse por suministro de aire de impulsión, aire viciado o aire retorno entre otros, mientras que una red de distribución de tuberías podría clasificarse como agua caliente sanitaria, saneamiento y protección contra incendios.

Una vez el proyecto queda finalizado el software ofrece la posibilidad de obtener planos 2D con la opción de exportarlos a CAD.



Conducto redondo Por defecto	
Nuevo Conductos	▼ Editar tipo
Restricciones	
Cotas	
Mecánica	
Clasificación de sistema	Aire viciado
Tipo de sistema	Aire viciado ▼
Nombre de sistema	Aire de retorno
Abreviatura de sistema	Aire viciado
Bloqueo de tamaño	Suministro de aire

Figura 16. Ejemplo de clasificación de un conducto de climatización (Fuente: Elaboración propia)

La siguiente figura muestra el flujo de programas utilizados con sus correspondientes formatos de intercambio:

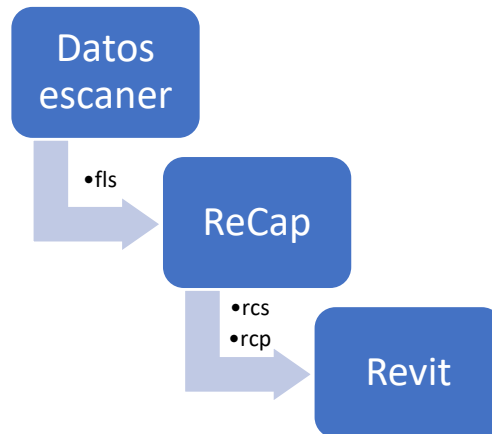


Figura 17. Flujo de programas en gabinete (Fuente: Elaboración propia)

4.3.2 Proceso de registro

Con los datos de datos de campo importados desde la estación de trabajo, se está en disposición de comenzar el registro de todas las nubes de puntos con el objetivo de introducirlas en un mismo sistema de coordenadas, en este caso local, pues no se consideró oportuna la georreferenciación del proyecto.



Figura 18. Configuración inicial del volcado de datos.

Antes del visualizado de la nube de puntos, ReCap© permite realizar una serie de configuraciones a los archivos “fls” importados, lo cual se puede apreciar en la figura 18.

Estas herramientas mostradas permiten realizar el filtrado de puntos por rango de distancia, intensidad y aplicar un filtro de distancia entre puntos con el valor que se desee. También permite hacer un cambio en el sistema de coordenadas y definir el eje principal de trabajo.

Una vez se han cargado todos los archivos se pasa al registro de las diferentes nubes de puntos:

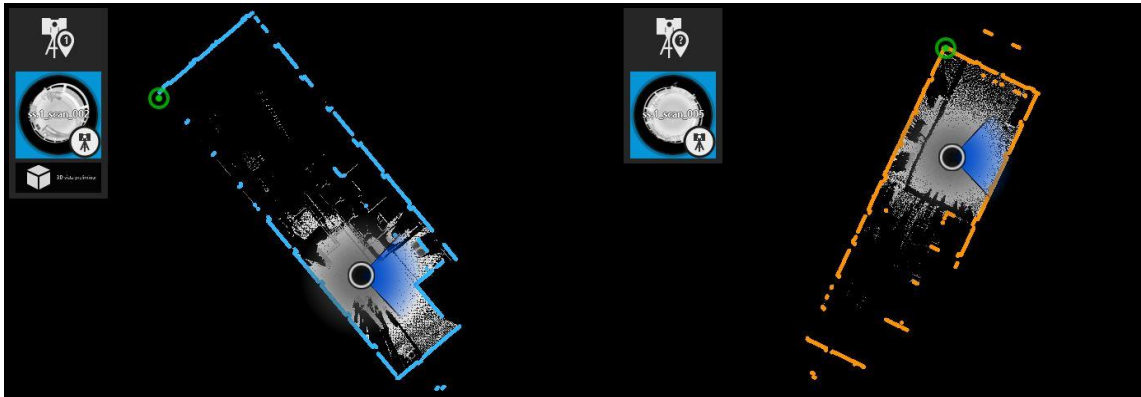


Figura 19. Ejemplo de registro en ReCap©

En la imagen anterior se muestra un ejemplo de registro entre dos escaneos, donde se puede apreciar la metodología que utiliza el programa para la fusión de las nubes. Esta metodología está basada en un proceso de relación de entidades o también llamado matching a nivel de elementos, donde la agrupación de ciertos puntos describe una morfología característica que puede ser relacionada con la de otra nube.

En el caso de que el software no encuentre las suficientes relaciones para poder hacer el registro, se ayudará en la identificación de zonas comunes, como ocurre en la *figura 19* con los puntos destacados en verde, pasando de esta forma al registro semiautomático.

El resultado final de la nube tras realizar todos los registros el siguiente:

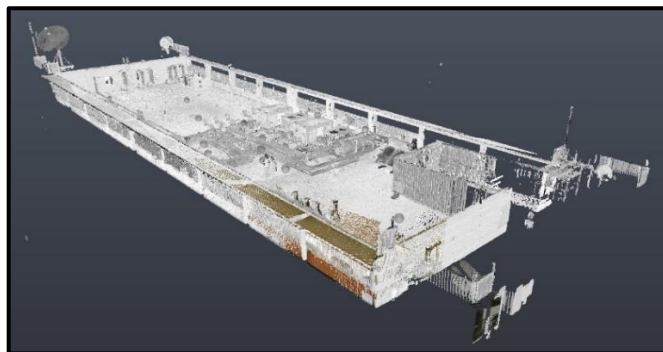


Figura 20. Nube de puntos obtenida tras el registro final de los escaneos.

Las esferas representadas en el modelo muestran la ubicación de los distintos estacionamientos de campo. Sobre estas se puede clicar con el cursor y visualizar la imagen esférica que ha capturado el escáner, dando una idea acerca del rango angular capturado.

En las siguientes tablas se muestran diferentes datos acerca de los escaneos. En la primera el número de puntos que componen cada escaneo y la suma total, y, en la segunda, el informe generado por Recap© tras realizar el registro.

Nº Est.	Nombre estación	Nº Ptos/Est.
1	scan002	962111
2	scan005	1118212
3	scan008	365117
4	scan009	391141
5	scan010	118209
6	scan013	205601
7	scan015	286856
8	scan016	149724
9	scan017	554370
10	scan018	533772
11	3_escaneo	318626
12	4_bajo	357021
13	5_bajo	308327
14	6_bajo	294645
15	7_bajo	271680
16	8_alto	282565
17	tub_a2_n003	468198
18	tub_a2_n004	537694
19	tub_a2_n005	485105
20	tub_a2_n006	766036
21	tub_a2_n007	538114
22	tub_a2_n009	538131
TOTAL		9313124

Tabla 1. Número de puntos por escaneo y totales.

Tras haber acabado el registro, el programa emite un informe con la información referente a cada escaneo: solape, equilibrio y puntos < 6 mm.

A continuación, se detallan con más claridad estos términos:

- Solape: se refiere al porcentaje de superposición entre la nube de puntos de un escaneo y con la del resto.

- Equilibrio: muestra el porcentaje de éxito en el ajuste de la superposición entre las distintas nubes de puntos, es decir, sirve como indicador del error obtenido al realizar el solape entre los distintos escaneos Según Autodesk ReCap© [4] un valor superior al 20% indica que el registro se ha sido realizado con éxito.

- Puntos < 6mm: muestra el porcentaje de puntos superpuestos dentro de un rango de 6mm cuyo valor en el escaneo depende de los parámetros iniciales definidos. Este valor debe de ser superior al 90%.

Nº Est.	Nombre estación	Solape (%)	Equilibrio (%)	Puntos <6 mm (%)
1	scan002	57,7	60,7	96,9
2	scan005	40,5	70,7	98,1
3	scan008	24,9	59,7	90,6
4	scan009	34,7	67,9	99,6
5	scan010	20,2	42,9	75,5
6	scan013	70,8	69,0	93,1
7	scan015	25,3	58,2	99,3
8	scan016	66,7	61,9	99,0
9	scan017	25,1	65,8	99,5
10	scan018	25,2	72,1	98,7
11	3_escaneo	68,2	54,3	97,8
12	4_bajo	35,7	65,4	98,7
13	5_bajo	22,7	48,5	98,5
14	6_bajo	31,1	51,6	99,7
15	7_bajo	21,8	29,6	99,5
16	8_alto	51,0	55,1	99,6
17	tub_a2_n003	41,2	53,9	98,0
18	tub_a2_n004	31,1	76,0	99,0
19	tub_a2_n005	41,0	63,2	98,5
20	tub_a2_n006	50,2	75,1	98,9
21	tub_a2_n007	50,8	53,0	97,0
22	tub_a2_n009	49,8	58,8	97,1

Tabla 2. Informe generado tras el registro

4.3.3 Filtrado de datos

Una vez se tiene la nube de puntos completa, el siguiente paso es el filtrado de los datos. En este se lleva a cabo distintas operaciones como: eliminar puntos flotantes, zonas escaneadas no necesarias y disminuir la redundancia de puntos aplicando rejillas de filtrado (remuestreo).

Todos estos procesos son necesarios para reducir el volumen de la nube de puntos y así evitar la ralentización en los trabajos posteriores.



Figura 21. Zonas capturadas innecesarias.

Para solventar este problema se opta por la utilizar una caja de sección 3D con la que se define el contorno de la azotea con el objetivo de aislarla del resto de puntos exteriores capturados.

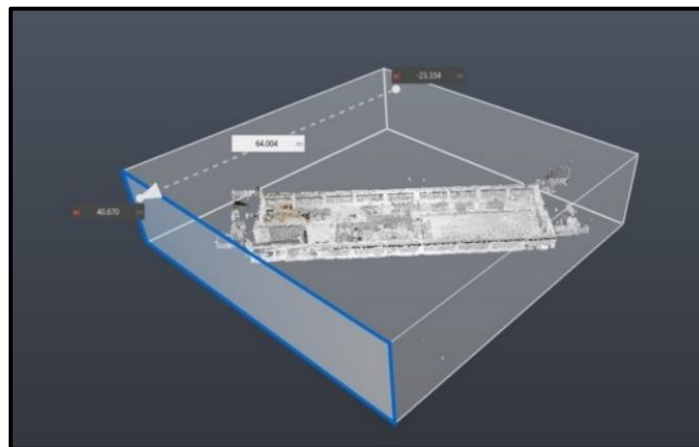


Figura 22. Caja de sección.

Con la nube de puntos aislada, queda realizar un filtrado de su interior para suprimir posibles interferencias que puedan aparecer.

En el siguiente caso se muestra la silueta de una persona escaneada durante la toma de datos en campo cuya eliminación se ha realizado en la fase de gabinete (Figura 22):

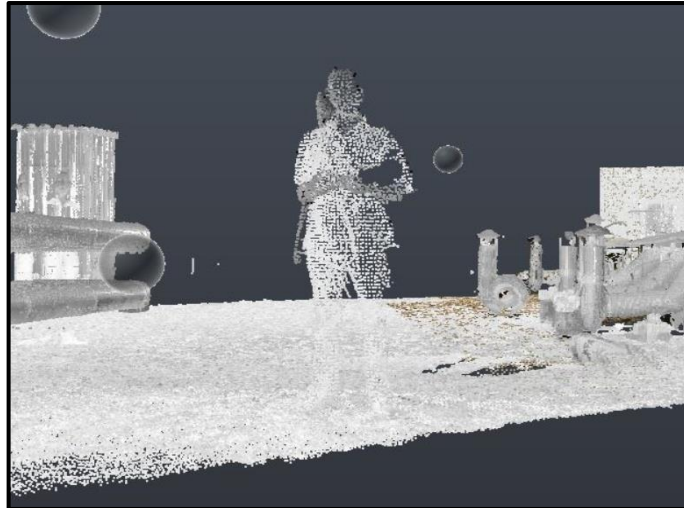


Figura 23. Persona escaneada.

Tras realizar varios filtrados se obtiene la nube de puntos filtrada:

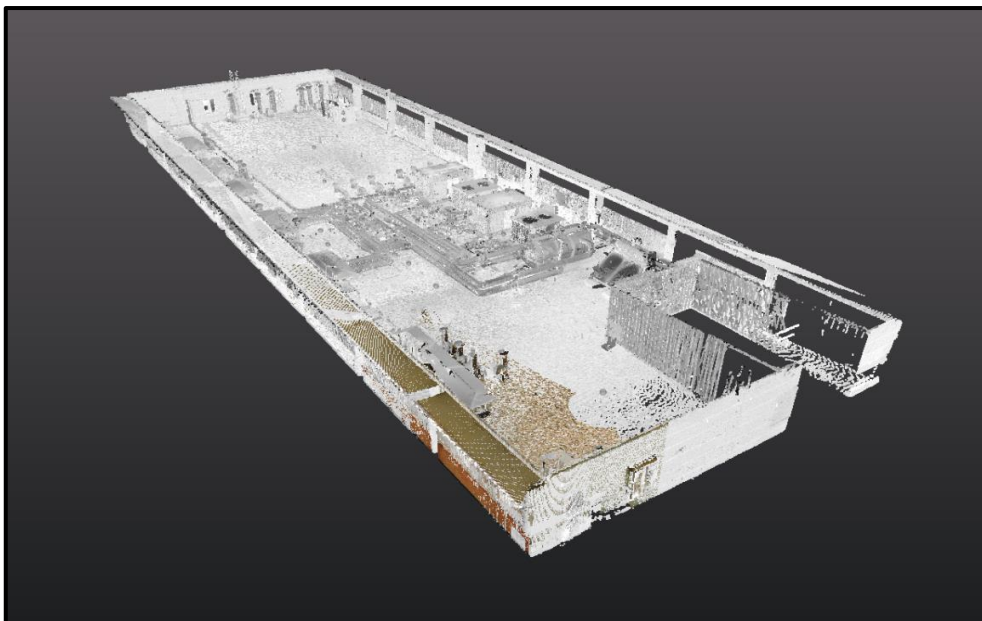


Figura 24. Nube de puntos filtrada.

Por último, se realiza un remuestro para disminuir la densidad de puntos. En este caso se ha aplicado un filtro por distancia con valor igual a 20 mm, por lo que cualquier punto cuya distancia con su vecino sea menor a ese valor será eliminado.

Finalmente, se realiza la exportación de la nube de puntos en formato “rcs” para su posterior volcado en Revit©.

4.3.4 Modelado en Revit

Una vez concluidos todos los pasos anteriores, se llega a una de las partes con más peso del proyecto, el modelado de la azotea. A continuación, se detallan los pasos necesarios para la obtención del producto final.

- Importación de la nube de puntos

Este apartado es importante destacarlo ya que Revit© tan solo lee archivos de nube de puntos con extensión “rcp” o “rcs”. La diferencia entre estas dos extensiones es que un archivo de formato “rcp” es un archivo de proyecto que agrupa a su vez varios archivos “rcs”

En el caso de la importación en el proyecto se hace mediante un único archivo “rcs” que contiene la nube de puntos final.

- Rotar la nube de puntos

Este punto es fundamental una vez se carga la nube de puntos en Revit©, puesto que la orientación que presenta su norte no coincide con el norte del proyecto. Por tanto, es primordial rotarla en la dirección correcta para la utilización adecuada de las diferentes perspectivas a la hora de modelar.



Figura 25. Rotación nube de puntos en Revit©

La siguiente figura muestra la orientación de la nube de puntos original y esta tras su rotación

- Inserción de niveles

En los programas que trabajan con la filosofía BIM el uso de los niveles es fundamental a la hora de comenzar a modelar puesto que actúan de base de referencia de todos los elementos que se modelizan. Para poder crearlos es necesario tener como mínimo abiertas una vista de alzado frontal y lateral. Otro método es realizar un corte en la nube de puntos y a partir de este definir los niveles y su altura. En la siguiente figura se pueden apreciar los dos niveles generados con la distancia que existe entre ellos:

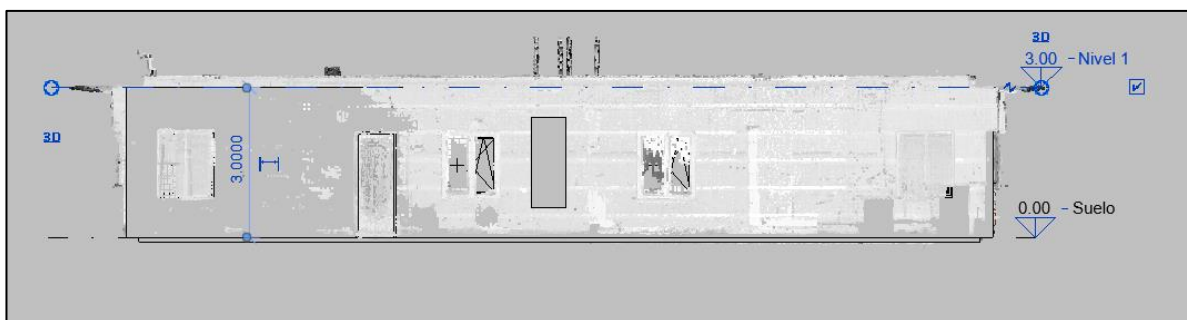


Figura 26. Niveles generados

En el caso de este proyecto se han empleado dos niveles por tratarse del levantamiento de una sola planta.

Una vez generados los niveles, ya se está en condiciones de comenzar con el modelado

- Levantamiento del modelo

La construcción del modelo BIM comenzará por los elementos arquitectónicos (pilares, muros, suelo, ventanas, puertas y barandillas) terminando con los componentes MEP del sistema de climatización (tuberías, piezas ventilación, etc.).

Las siguientes figuras muestran un ejemplo del modelado de un pilar arquitectónico tomando como referencia la nube de puntos:

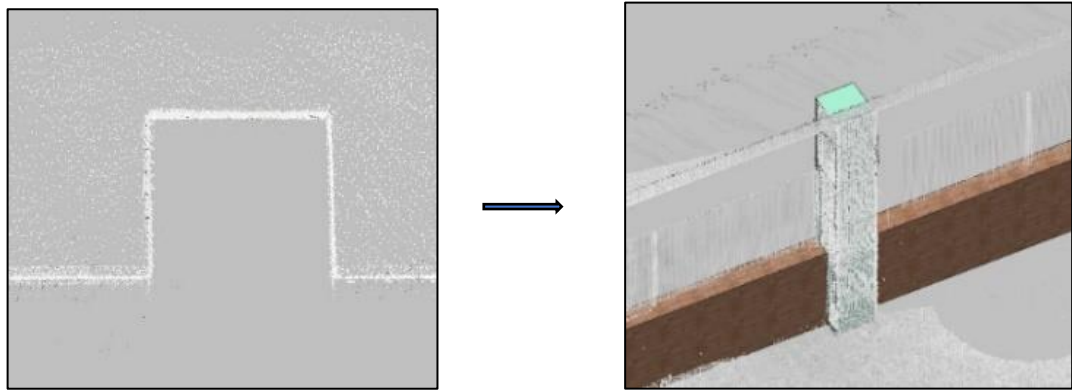


Figura 27. Modelado de un pilar

Una vez se han modelado todos los elementos arquitectónicos el resultado final es el siguiente:

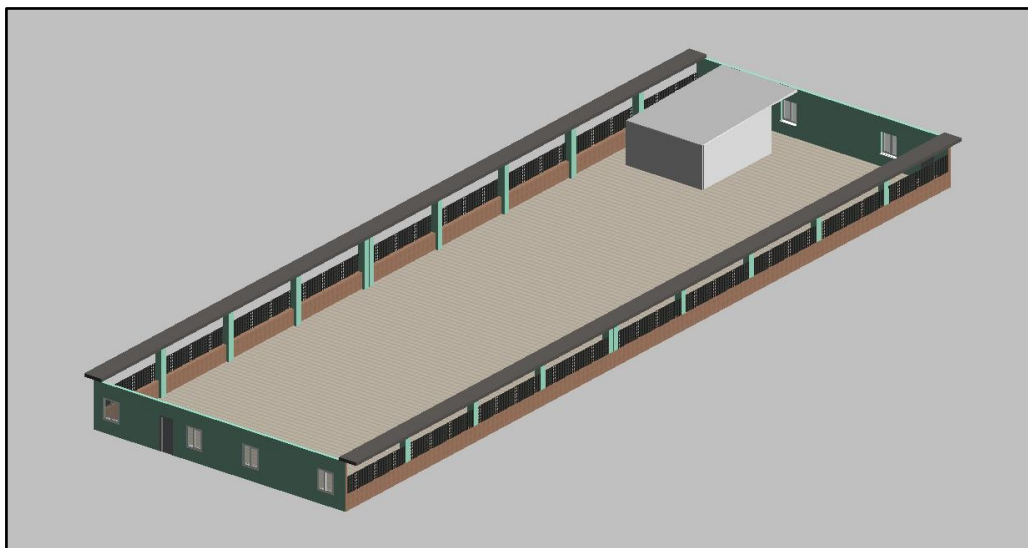


Figura 28. Modelado de elementos arquitectónicos

Todas las familias de los elementos mostrados en la *figura 28* han sido editadas de dimensiones y materiales con el fin de asemejarse todo lo posible a la realidad.

En cuanto a los elementos que forman el sistema de climatización, se modelan según la categoría a la que pertenezcan.

Se comienza por el modelado del sistema de tuberías. Para ello, es imprescindible trabajar con ciertas herramientas que faciliten la colocación de estas sobre las trayectorias definidas por la nube de puntos. Estas herramientas son: secciones (transversales y longitudinales) y cajas de sección que permiten aislar un elemento determinado como se muestra en la siguiente figura:

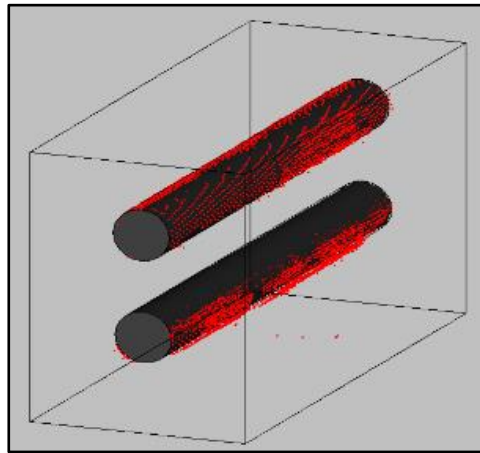


Figura 29. Aislado de tuberías

Las figuras que vienen a continuación representan una sección transversal y longitudinal de un mismo tramo de tuberías:

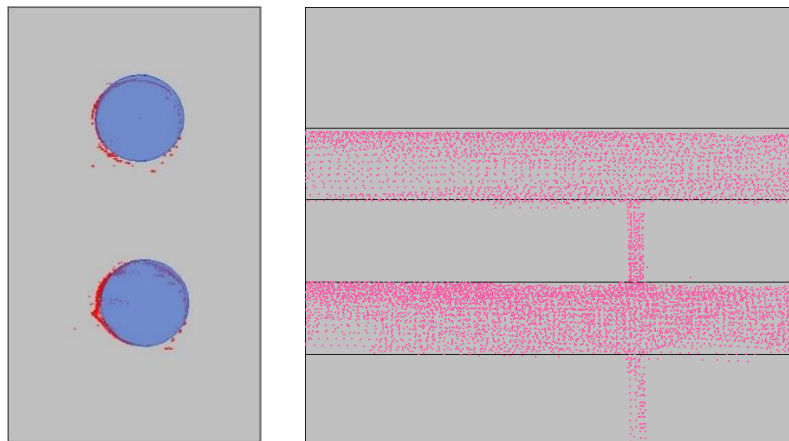


Figura 30. Sección transversal y longitudinal de una tubería

En vista de las figuras anteriores, se puede apreciar el arduo trabajo que supone el modelado de todas las tuberías del sistema de climatización, ya que está formado por una amplia red y su colocado se realiza de forma totalmente manual.

A continuación, se muestran algunos de los elementos o sistemas restantes que forman la instalación:

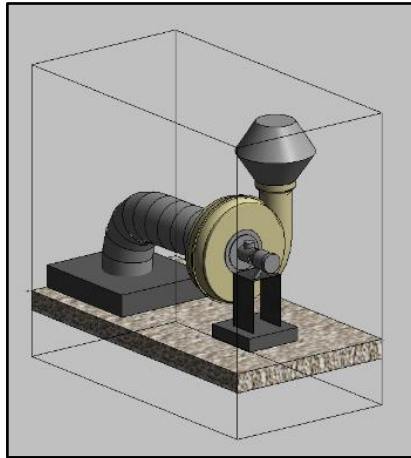


Figura 31. Sistema de extracción de aire

En la figura anterior se puede apreciar un conjunto de elementos que, en su mayoría, han sido modelados y colocados con el fin de generar un subsistema de extracción de aire del sistema general climatización.

En el caso de la pieza que representa la chimenea de salida se ha generado una familia específica para poder representarla, ya que la librería de Revit no contenía ningún objeto semejante.

En el caso de la figura siguiente, se trata de un elemento electromecánico cuya función es la absorción del aire que circula por los conductos de ventilación del edificio, cuyos parámetros han sido modificados para la correcta superposición con la nube de puntos.

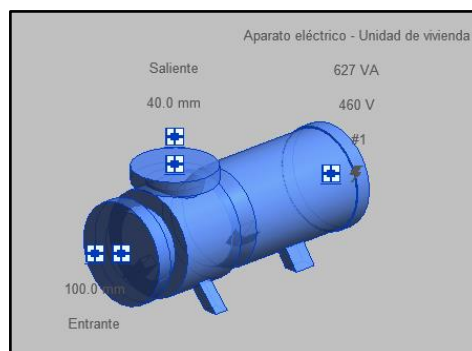


Figura 32. Bomba aspirante editada

Son muchos los componentes utilizados para lograr el objetivo final del proyecto, estos se muestran con más detalle en vistas particulares de ciertas regiones del modelo.

En la siguiente figura se muestra un módulo de la instalación donde se pueden apreciar diferentes piezas, entre otras la bomba aspirante anteriormente mostrada en la *figura 32*:

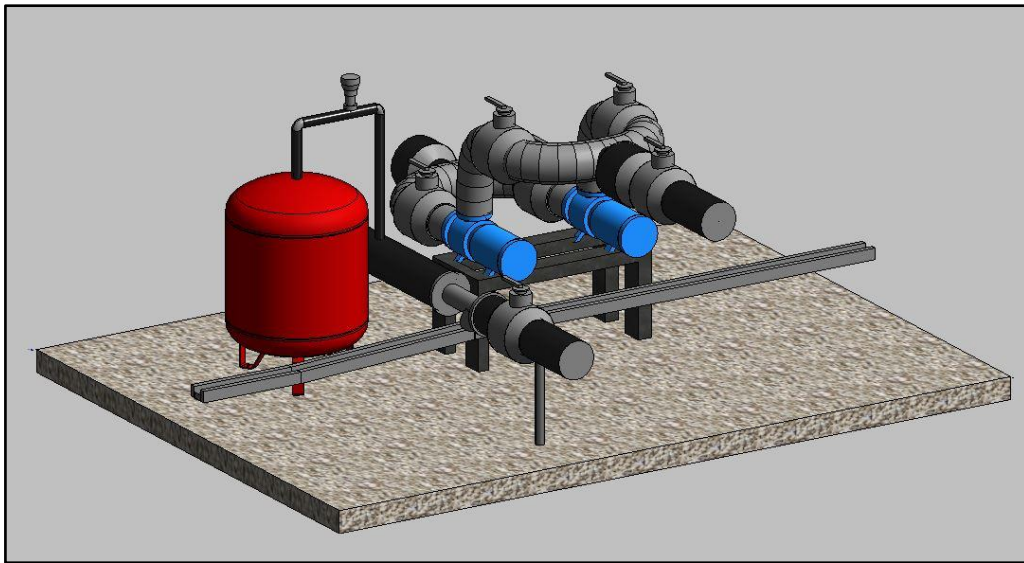


Figura 33. Vista del módulo vaso de expansión

Como se puede observar son muchas las piezas que forman al módulo el sistema de la figura anterior, algunas de ellas se han obtenido de la librería que contiene Revit®, modificando sus parámetros para el ajuste a la realidad (codos, válvulas, bandeja de cables, purgadores, etc.), otras se han modelado in situ como es el caso del soporte donde apoyan las bombas aspirantes, y otras como es el caso del vaso de expansión, se han obtenido de ciertas páginas web de objetos para Revit®, como ejemplo bim.objet [15].

A continuación, se muestra una figura que representa otro modulo cuya presencia es significativa en el sistema de climatización. Se trata de la zona de la azotea en la que se encuentra la caldera que suministra a todo el edificio junto a un módulo de placas solares. Los dos elementos se disponen sobre una base de hormigón cuyo modelado se ha ejecutado a medida para su ajuste con la realidad:

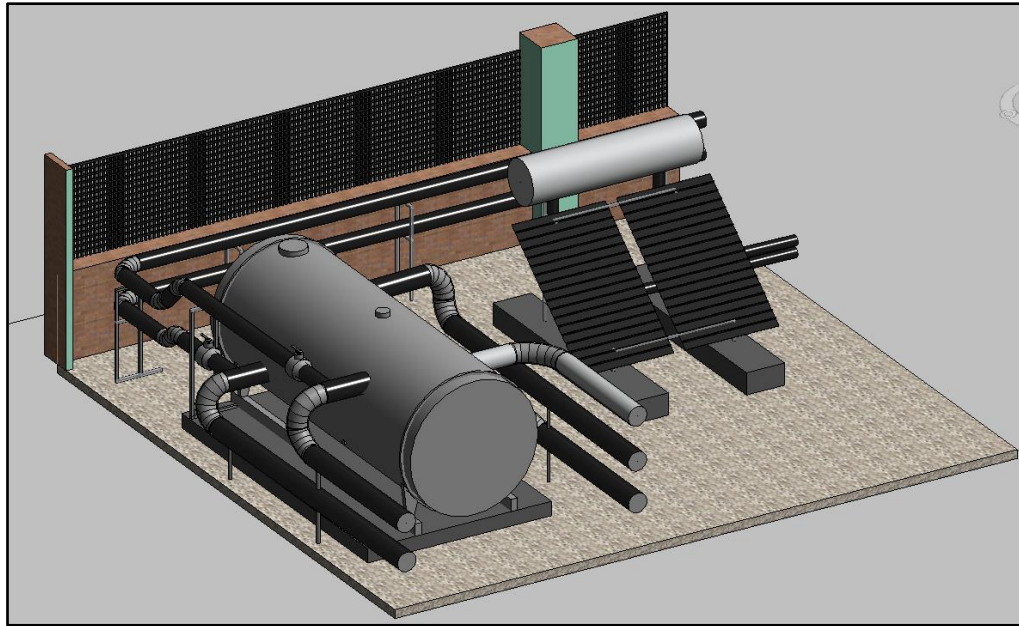


Figura 34. Vista del módulo caldera - placa solar

Para finalizar las vistas modulares del sistema se adjunta la siguiente figura en la que queda representado uno de los diferentes módulos de extracción de aire que contiene el sistema de climatización de la azotea:

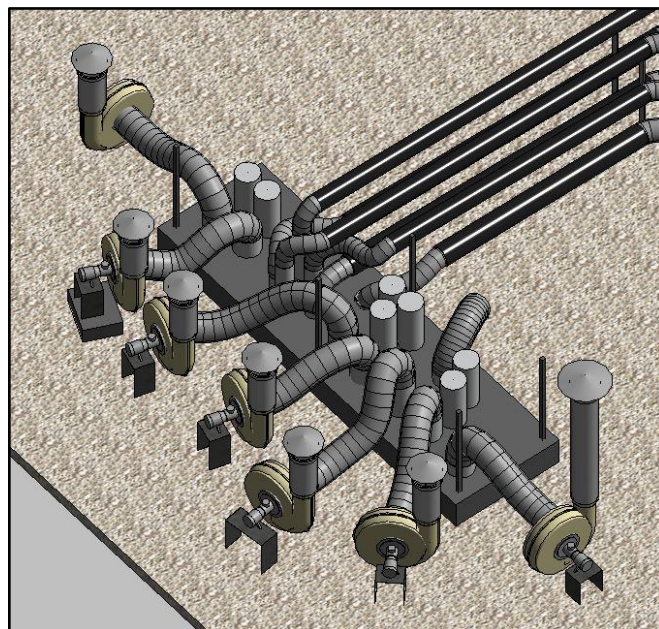


Figura 35. Vista del módulo sistema extracción aire

Para una correcta visualización de la figura anterior se ha ocultado la cubierta ubicada sobre los diferentes elementos que forman el sistema mostrado.

Se adjunta la siguiente figura con la intención de mostrar con una vista en planta la disposición de las diferentes tuberías que integran el sistema:

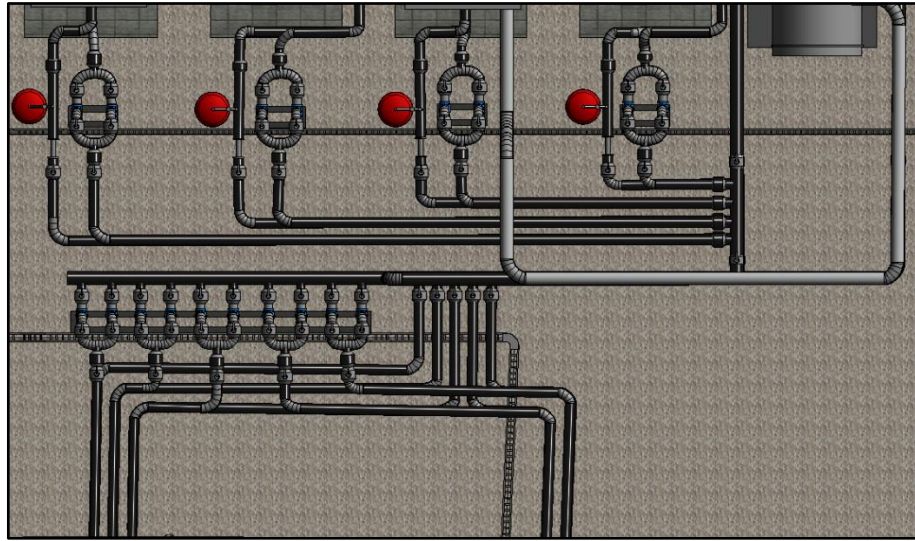


Figura 36. Vista en planta del sistema de tuberías

Para acabar con el modelado se capta una figura con una perspectiva 3D adecuada para representar todo el conjunto elementos que forman la azotea:

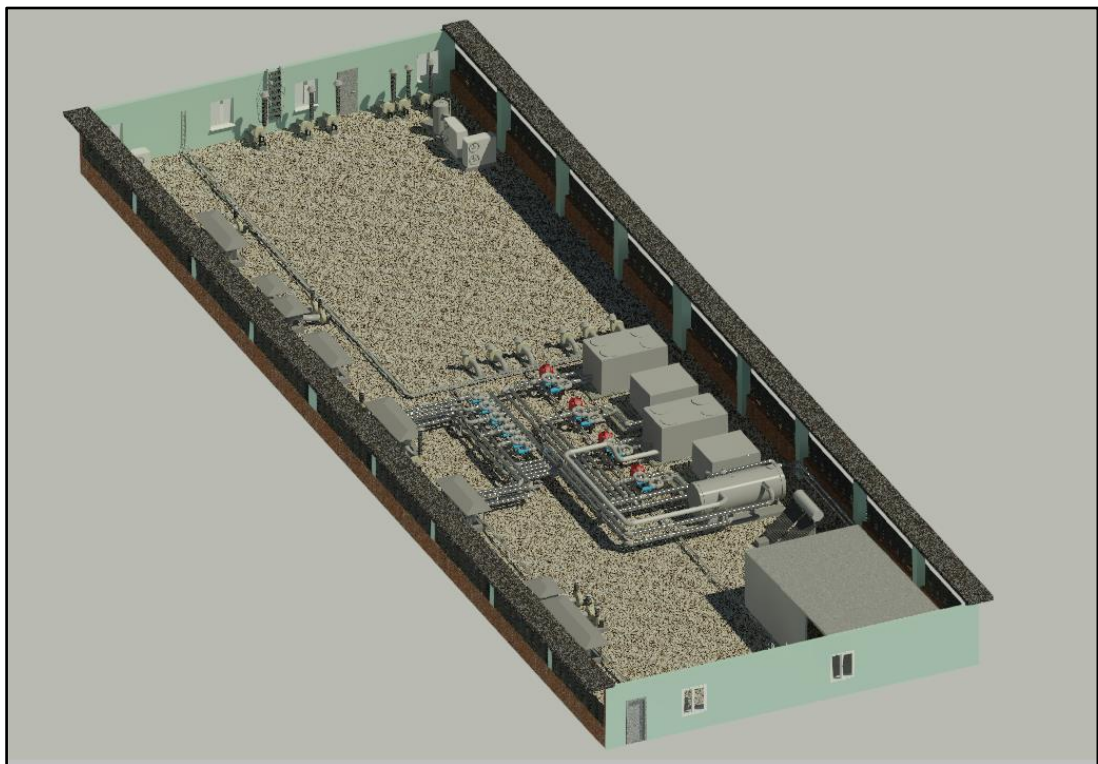


Figura 37. Vista 3D renderizada del modelo final

- Materiales y pinturas

Para finalizar se hace mención a los diferentes materiales y pinturas que se han generado gracias al apoyo de las fotografías tomadas en campo, consiguiendo de esta manera mejores resultados en el texturizado del modelo final.

A continuación, se muestra un ejemplo utilizado en el proyecto en el que se genera un material nuevo asignándole la textura de grava más parecida a la realidad.

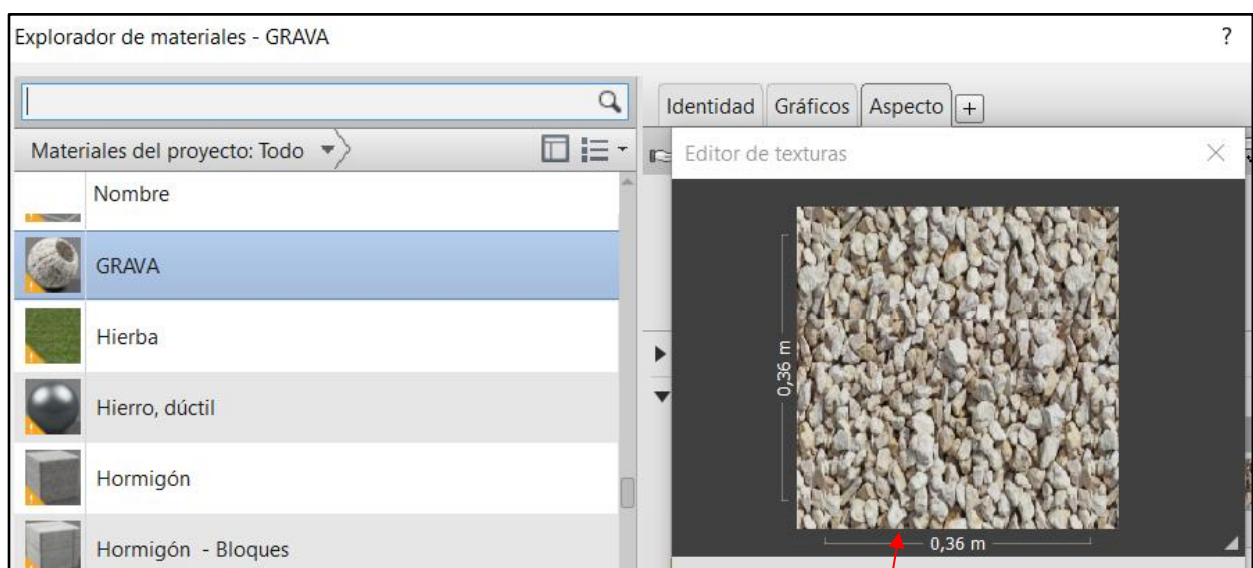


Figura 38. Caso práctico de asignación de textura “grava”

5. AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

En este apartado se realiza un estudio de trazabilidad para la implantación de una nueva línea de tubería de ventilación en el sistema de climatización, para ello se siguen los criterios estipulados en la norma:

UNE-EN 1506:2007. “Ventilación de edificios. Conductos de aire de chapa metálica y accesorios de sección circular. Dimensiones” [12].

Los criterios que se ven afectados con el modelado son:

- Mínima distancia entre tuberías con curso paralelo: 3 cm
- Diámetro nominal normalizado: Atendiendo a tabla de valores de la norma.

A modo de comprobación de los criterios anteriormente descritos se adjunta la siguiente figura de una sección en la que se mide la distancia que dista la nueva tubería implantada con sus vecinas:

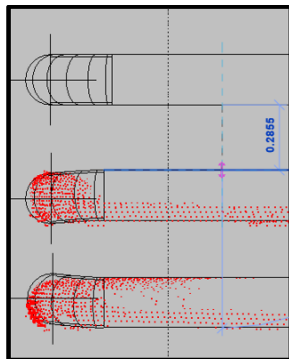


Figura 39. Cumplimiento criterio de mínima distancia

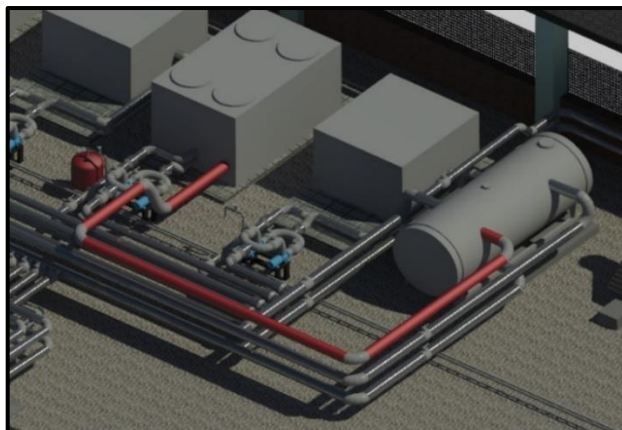


Figura 40. Trayectoria final del trazado de la nueva línea (color rojo)

6. CONCLUSIONES

En vista de los resultados obtenidos y analizando ventajas e inconvenientes, así como metodologías y procesos empleados, se concluye con una serie de pros y contras hallados durante la realización del proyecto.

La gran cantidad de datos capturados por los escáneres láser en una fracción de tiempo tan reducido ofrece la posibilidad de realizar una continua actualización de modelos BIM, lo cual hace que esta tecnología sea mucho más atractiva para el sector industrial que se encuentra en constante cambio y progreso.

Respecto al programa utilizado en la etapa de registro y tratamiento de las nubes de puntos (ReCap), destacar la escasez de posibilidades que ofrece este en la consulta de cierta información acerca de los datos obtenidos en los distintos escaneos, tratándose de un programa muy automatizado en el que la intervención del operario es muy reducida.

En el caso del modelado en Revit del sistema de tuberías ha resultado ser un trabajo muy laborioso por carecer de una herramienta que posibilite el reconocimiento automático de secciones cilíndricas a partir de nube de puntos. A consecuencia, se ha desarrollado una gran habilidad en el posicionamiento 3D de ciertos elementos sobre la nube de puntos para lograr el objetivo deseado. No obstante, en otros aspectos más técnicos como generar familias complejas partiendo de distintos modelos plantillas, controlar los parámetros internos de los elementos, etc., no se ha llegado a profundizar con claridad, lo que muestra el gran potencial que posee este programa en la ampliación de conocimiento acerca del mismo.

Durante el transcurso del proyecto se ha logrado alcanzar un notable conocimiento hasta ahora desconocido, de la relación existente entre sector industrial y la filosofía BIM, utilizando como vía de integración la técnica del escaneado laser.

En general se ha obtenido un resultado satisfactorio cumpliendo con las expectativas iniciales de representar un modelo “As Built” de la zona de proyecto y la posterior implantación de una nueva línea de tubería.

7. PRESUPUESTO

En el siguiente apartado se calcula el presupuesto total que ha conllevado la ejecución del proyecto. Para ello, se hace una división en dos partes, por un lado, se calcula el presupuesto de la fase de desarrollo de trabajos en campo, y, por otro, de la fase de procesado en gabinete.

7.1 Trabajos de campo

En cuanto a los trabajos de campo presupuestados son los siguientes:

- Estudio previo de la zona
- Realización de los escaneos

7.1.1 Cálculo de jornadas

N.O	Concepto	Jornadas
1	Estudio previo de la zona	0,5
2	Realización de los escaneos	4

7.1.2 Cuadro de precios simples

N.O	Concepto	Precio (€)/Unidad
1	Jornada Técnico	160,00
2	Alquiler escáner Faro	200,00
3	Cinta métrica	2,00

7.1.3 Cuadro de precios descompuestos

N.O	Unidades/Jornadas	Concepto	Precio (€)/Unidad	Importe (€)
1	Estudio previo de la zona			
	0,5	Técnico	160,00	80,00
	TOTAL			80,00

2	Realización de los escaneos			
	4	Alquiler Faro	200,00	800,00
	4	Técnico	160,00	640,00
	1	Cinta métrica	2,00	2,00
	TOTAL			1442,00

7.1.4 Presupuesto ejecución material

N.O	Concepto	Importe (€)
1	Estudio previo de la zona	80,00
2	Realización de los escaneos	1442,00
TOTAL		1522,00

El Presupuesto de Ejecución Material del trabajo de campo asciende a la mencionada cantidad de **MIL QUINIENTOS VEINTIDÓS EUROS**.

7.2 Trabajos de gabinete

Los trabajos presupuestados llevados a cabo en gabinete son:

- Volcado de datos
- Registro y tratamiento de datos en ReCap
- Modelado en Revit Architecture
- Redacción del documento

7.2.1 Cálculo de jornadas

N.O	Concepto	Jornadas
1	Volcado de datos	0,5
2	Registro y tratamiento de datos en ReCap	2
3	Modelado en Revit	14
4	Redacción del documento	5

7.2.2 Cuadro de precios simples

N.O	Concepto	Precio (€)/Unidad
1	Técnico	160,00
2	Ordenador	1,18
3	ReCap Pro	55 mensual
4	Revit Architecture	400 mensual
5	Microsoft Office	0,40

7.2.3 Cuadro de precios descompuestos

N.O	Unidades/Jornadas	Concepto	Precio (€)/Unidad	Importe (€)
1	Volcado de datos			
	0,5	Técnico	160,00	80,00
	0,5	Ordenador	1,18	0,59
	0,5	ReCap Pro	1,83	0,92
	TOTAL			81,51
2	Registro y tratamiento de datos en ReCap			
	2	Técnico	160,00	320,00
	2	Ordenador	1,18	2,36
	2	ReCap Pro	1,83	3,67
	TOTAL			326,03
3	Modelado en Revit			
	14	Técnico	160,00	2240,00
	14	Ordenador	1,18	16,52
	14	Revit Architecture	13,33	186,67
	TOTAL			2443,19

4	Redacción del documento			
	5	Técnico	160,00	800,00
	5	Ordenador	1,18	5,90
	5	Microsoft Office	0,40	2,00
	TOTAL			807,90

7.2.4 Presupuesto ejecución material

N.O	Concepto	Importe (€)
1	Volcado de datos	81,51
2	Registro y tratamiento de datos en ReCap	326,03
3	Modelado en Revit	2443,19
4	Redacción del documento	807,90
TOTAL		3658,62

El Presupuesto de Ejecución Material del trabajo de gabinete asciende a la mencionada cantidad de **TRES MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y OCHO EUROS** con **SETENTA Y DOS céntimos**.

7.3 Presupuesto ejecución material final

El presupuesto de ejecución material final se calcula como la suma de los importes totales obtenidos en los trabajos de campo y gabinete, ascendiendo a la mencionada cantidad de **CINCO MIL CIENTO OCHENTA EUROS** con **SETENTA Y DOS céntimos**.

7.4 Presupuesto total

El presupuesto total se obtiene como resultado de aplicar al presupuesto de ejecución material unos incrementos porcentuales por dos aspectos importantes a considerar. Estos son:

- Gastos generales en un 13% mediante la ORDEN FOM/1824/2013 del 30 de septiembre por la que se fija el porcentaje a que se refiere el artículo 131 del Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas aprobado por el Real Decreto 1098/2001 de 12 de octubre.

- Beneficio industrial (BI) fijado en un 6%, refiriéndose al importe que se supone que gana el adjudicatario.

Incremento	Resumen	Subtotal (€)	Importe (€)
	Presupuesto de ejecución material		5180,62
13%	Gastos generales	673,48	
6%	Beneficio Industrial	310,84	
		TOTAL	6164,94

Asciende el precio del presupuesto total a la mencionada cantidad de **SEIS MIL CIENTO SESENTA Y CUATROS EUROS** con **NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS**.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aplicaciones Laser escáner y características escáner FARO.
http://www.faroandina.com/pdfs/FARO_Focus_General.pdf
- [2] Araújo-Rey, C., & Sebastián, M. A. (2019). Análisis de las principales aportaciones y tendencias en la aplicación de las tecnologías BIM a proyectos industriales.
- [3] Autodesk. Building Information Modeling (2002).
http://www.laiserin.com/features/bim/autodesk_bim.pdf
- [4] Autodesk ReCap Pro©. (Último acceso - 17/05/2020)
<https://www.autodesk.com/products/recap/overview>
- [5] Autodesk Revit © (Último acceso -11/06/2020)
<https://www.autodesk.es/products/revit/overview>
- [6] Del CAD al BIM (2019).
<https://www.carloscamara.es/blog/2009/01/08/del-cad-al-bim/>
- [7] Dimensiones del BIM (2016)
<https://www.espaciobim.com/dimensiones-bim>
- [8] Google Maps (Último acceso -19/05/2020)
<https://www.google.es/maps>
- [9] Grupo es.BIM (Último acceso -08/04/2020)
<https://www.esbim.es/es-bim/>

- [10] Microsoft Office. (Último acceso -21/04/2020)
<https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/microsoft-office>
- [11] Niveles de desarrollo LOD (2017).
<https://mundobim.com/2017/03/level-of-development-lod-bim/ñ>
- [12] Norma “UNE-EN 1506:2007”
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0039891>
- [13] Principales plataformas BIM (2018).
<https://www.e-zigurat.com/blog/es/que-software-bim-debo-utilizar/>
- [14] “Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre” (2008)
http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_SPANISH.pdf
- [15] Web de descarga de objetos BIM (Último acceso -18/05/2020)
<https://www.bimobject.com/es/product>