



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias situado en la Escuela Naval Militar

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Rafael Hermida Mayán

DIRECTORES: Xavier Núñez Nieto

Iván Puente Luna

CURSO ACADÉMICO: 2016-2017

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias situado en la Escuela Naval Militar

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

En este Trabajo de Fin de Grado se aborda la realización de un modelo constructivo inteligente, para el cual se toma como objeto de estudio el edificio “Príncipe de Asturias”, situado en la Escuela Naval Militar. El proyecto consta de distintas fases, siendo la primera de ellas la toma de datos mediante técnicas de ingeniería inversa no invasiva a partir de tecnología LiDAR. La toma de datos en campo será completada con el posterior procesamiento de la información y la generación de las consiguientes nubes de puntos. La medición realizada sobre la nube de puntos del modelo tridimensional, en combinación con un posprocesado de alto nivel, servirá como base para la elaboración de un modelo volumétrico “as-built” del edificio objeto de estudio. En base a la aplicación de la metodología BIM se ha propuesto un sistema de trabajo que supone un ahorro cuantitativo en cuanto a tiempo de ejecución y recursos invertidos, planteando un modelo de gestión integral a través de software específico. Por último, se ha llevado a cabo una simulación animada en 3D del proceso de edificación correspondiente a la estructura construida. La metodología BIM se muestra, así pues, como una herramienta idónea para el modelado y la gestión inteligente de maquetas virtuales, que a la postre puedan servir de apoyo a la edificación real del modelo a construir.

PALABRAS CLAVE

LiDAR, Ingeniería Inversa, As-built, BIM, Smart Building, Animación 3D

AGRADECIMIENTOS

Sean mis primeras palabras de agradecimiento a mis tutores, Xavier Núñez Nieto e Iván Puente Luna, por su dedicación y preocupación, además de ejercer un empuje inmensurable de cara a la consecución de los objetivos de este Trabajo Fin de Grado.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a mis padres y a mi hermano la fe que siempre han tenido en mí, su ánimo y buena disposición para ayudar en todo proyecto en el que me he embarcado.

Quiero agradecer también la labor del Alférez de Navío Alejandro Museros Alegre, por su consejo e introducción a un campo de la ingeniería hasta ahora desconocido para mí.

Merecen especial mención asimismo los integrantes de la T-4, Jorge Medio y Ernesto Golmayo, por haber creado un ambiente idóneo para el desarrollo del trabajo, además de haber vivido los peores momentos a lo largo del mismo.

Pero sin duda, me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a mi novia, Aurora, por su férrea convicción y su apoyo incondicional, por las noches de desvelo acompañándome e incluso la cesión de sus equipos para el desarrollo del mismo; parte de este trabajo es suyo.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	8
1 Introducción.....	9
1.1 Antecedentes	9
1.1.1 Motivación	10
1.2 Objetivos	11
1.3 Localización	11
1.4 Estructura del trabajo	12
2 Estado del arte	15
2.1 Descripción	15
2.1.1 LiDAR	15
2.1.2 Nube de puntos	19
2.2 Diseño asistido por ordenador (CAD)	19
2.2.1 Evolución histórica	19
2.2.2 Descripción	22
2.2.3 Herramientas.....	23
2.3 BIM	24
2.3.1 Descripción	24
2.3.2 Nivel de Desarrollo (LOD).....	26
2.3.3 “As-built”	27
2.3.4 Smart Building.....	28
2.4 Equipos y software.....	29
2.4.1 Equipos	29
2.4.2 Software	30
2.5 Marco legal	33
2.5.1 Código Técnico de la Edificación.....	33
2.5.2 Directiva 2014/24/UE	34
2.5.3 Normas ISO y AENOR	35
3 Desarrollo del TFG.....	37
3.1 Descripción	37
3.2 Plano de situación general.....	37
3.3 Trabajo de campo.....	39

3.3.1 Introducción	39
3.3.2 Zona de trabajo	39
3.3.3 Procedimiento	40
3.3.4 Configuración del escáner	40
3.3.5 Escaneo	41
3.3.6 Importación de datos.....	41
3.3.7 Exportación de datos a formato ASCII (.xyz)	42
3.4 Registro	43
3.4.1 Introducción	43
3.4.2 Importación de datos.....	43
3.5 Mediciones	50
3.5.1 Introducción	50
3.5.2 Procedimiento	50
3.6 Dibujar sobre el modelo	52
3.6.1 Introducción	52
3.6.2 Procedimiento	52
3.7 Modelado	58
3.7.1 Introducción	58
3.7.2 Pasos previos	58
3.7.3 Elementos estructurales	63
3.7.4 Cerramientos, tabiquería y particiones interiores	67
3.7.5 Puertas.....	72
3.7.6 Ventanas	73
3.7.7 Escaleras	77
3.7.8 Rampas	81
3.7.9 Barandillas	82
3.7.10 Cubiertas	87
3.8 Asignación de materiales	90
3.9 Asignación de texturas y acabados	93
3.10 Renderización.....	93
3.11 Simulación del proceso constructivo	95
4 Resultados	99
4.1 Descripción	99
4.2 LiDAR.....	99
4.2.1 Registro parcial.....	99
4.2.2 Mediciones.....	102

4.3 ReCap.....	103
4.4 Modelado	105
4.4.1 LOD alcanzado	110
4.4.2 Caracterización geométrica	112
4.4.3 Selección de materiales.....	131
4.4.4 Selección de texturas	134
4.4.5 Modelo BIM 3D	135
4.4.6 Renderizados.....	136
4.5 Simulación del proceso constructivo	139
5 Conclusiones y líneas futuras	141
5.1 Descripción	141
5.2 Conclusiones	141
5.2.1 Trabajo de campo	141
5.2.2 Tratamiento y procesamiento de datos	142
5.2.3 Postprocesado	142
5.2.4 Modelado BIM.....	142
5.2.5 Simulación	143
5.3 Líneas futuras	143
6 Bibliografía.....	145
Anexo I: Manual del escáner láser FARO® FOCUS ^{3D} X 330.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Vista aérea de la Escuela Naval Militar, 1956 [1].....	9
Figura 1-2 Edificio “Príncipe de Asturias”	10
Figura 1-3 Ampliación progresiva de la localización de la Escuela Naval Militar.....	12
Figura 2-1 Método de funcionamiento Time of Flight (TOF) [5].....	17
Figura 2-2 Método de cálculo por Diferencia de Fase [5].....	18
Figura 2-3 Ejemplo de nube de puntos.....	19
Figura 2-4 Primeros ordenadores para CAD [6]	20
Figura 2-5 Ejemplos de ordenadores de diseño gráfico en los años 60 [6].....	21
Figura 2-6 Logotipo de Dassault Systèmes [7] y Bentley MicroStation [8]	21
Figura 2-7 Modelo 3D realizado con CATIA [9].....	24
Figura 2-8 Fases BIM [11]	25
Figura 2-9 Diagrama de flujo para modelización “as-built”	28
Figura 2-10 Funcionamiento de un Smart Building [11]	29
Figura 2-11 Escáner láser FARO® FOCUS ^{3D} X 330 [15].....	30
Figura 2-12 Logotipos de SCENE [15], RIEGL RiSCAN Pro [16] y Autodesk ReCap 360 [17]...32	
Figura 2-13 Logotipos de Autocad, Revit y 3DStudio Max 2017 [17].....	33
Figura 3-1 Importación de ortofoto en AutoCAD	37
Figura 3-2 Trazado de líneas sobre ortofoto	38
Figura 3-3 Disposición de la Escuela Naval Militar	38
Figura 3-4 Distribución de posiciones de escaneo en la Planta Baja	39
Figura 3-5 Distribución de posiciones de escaneo en el resto de plantas.....	39
Figura 3-6 Configuración de parámetros del escáner láser FARO® FOCUS ^{3D} X 330	40
Figura 3-7 Creación de un nuevo proyecto en SCENE.....	42
Figura 3-8 Configuración del procesado de escaneos	42
Figura 3-9 Exportación de datos en formato ASCII.....	43
Figura 3-10 Pantalla principal RIEGL RiSCAN Pro	44
Figura 3-11 Creación de un nuevo proyecto en RiSCAN Pro	45
Figura 3-12 Importación de datos ASCII en RiSCAN Pro	45
Figura 3-13 Asignación de columnas de datos.....	46
Figura 3-14 Configuración de opciones de visualización en RiSCAN Pro.....	46
Figura 3-15 Pantalla dividida en RiSCAN Pro	48
Figura 3-16 Ventana de registro de nubes de puntos en RiSCAN Pro.....	48
Figura 3-17 Ejemplo de registro de datos de exteriores.....	49
Figura 3-18 Ejemplo de registro de datos de interiores.....	50

Figura 3-19 Medición en registro de nubes de exteriores	51
Figura 3-20 Medición en registro de nubes de interiores	51
Figura 3-21 Pantalla de presentación de Autodesk ReCap 360 Pro	53
Figura 3-22 Importación de datos.....	53
Figura 3-23 Creación de grupos de registro y registro automático	54
Figura 3-24 Proceso de registro manual.....	54
Figura 3-25 Resultado de registro manual	55
Figura 3-26 Proceso de indexado de datos	56
Figura 3-27 Visualización de nube de puntos post-registro	56
Figura 3-28 Exportación de archivo .rcp	57
Figura 3-29 Nube de puntos con filtros (a) Posición de escaneo (b) Intensidad (c) Altura	57
Figura 3-30 Ventana de presentación de Autodesk Revit	58
Figura 3-31 Plantilla de construcción.....	59
Figura 3-32 Selección de ubicación	59
Figura 3-33 Carga de datos meteorológicos.....	60
Figura 3-34 Presentación de niveles establecidos	60
Figura 3-35 Menú de importación de nubes de puntos	61
Figura 3-36 Selección de nubes de puntos	61
Figura 3-37 Submenú de modelado de emplazamiento	62
Figura 3-38 Establecimiento de la superficie topográfica.....	62
Figura 3-39 Creación de la plataforma de construcción para el proyecto.....	63
Figura 3-40 Determinación de grosores a partir de nube de puntos.....	63
Figura 3-41 Definición de las zonas de trabajo	64
Figura 3-42 Ejemplo de modelización de pilares (a) circulares (b) rectangulares	65
Figura 3-43 Ejemplo de viga modelada	65
Figura 3-44 Tipos de forjados (a) lineales (b) reticulares [18].....	67
Figura 3-45 Ejemplo de muro de cerramiento modelado.....	68
Figura 3-46 Configuración de los parámetros de inserción de muros.....	68
Figura 3-47 Dibujo de un muro	69
Figura 3-48 Tipos de ladrillos [12].....	70
Figura 3-49 Tabique con capa de material de agarre	71
Figura 3-50 Herramienta de creación de puertas.....	72
Figura 3-51 Ventana entrada principal	74
Figura 3-52 Ventanal fachada principal	75
Figura 3-53 Ventanas fachada principal.....	76

Figura 3-54 Ventanas Naves	76
Figura 3-55 Puertas de acceso a naves	77
Figura 3-56 Herramienta de creación de escaleras.....	78
Figura 3-57 Boceto de creación de escalera	79
Figura 3-58 Escalera vestíbulo principal modelada	79
Figura 3-59 Escalera vestíbulo principal con barandilla	80
Figura 3-60 Boceto de escalera de pañol de almacenamiento de embarcaciones de vela ligera.....	80
Figura 3-61 Escalera de pañol de almacenamiento de embarcaciones de vela ligera modelada	81
Figura 3-62 Modelado de rampa	82
Figura 3-63 Menú de edición de colocación de balaustres.....	83
Figura 3-64 Ejemplo de pilastra	84
Figura 3-65 Menú de edición de colocación de barandales	85
Figura 3-66 Edición de barandal	85
Figura 3-67 Enlace de barandilla a escalera	86
Figura 3-68 Barandilla de balcones del edificio “Príncipe de Asturias” en nube de puntos.....	86
Figura 3-69 Barandilla de los balcones del edificio “Príncipe de Asturias” modelada	87
Figura 3-70 Selección del tipo de creación de cubiertas	87
Figura 3-71 Cubierta de la zona de trabajo número 2	89
Figura 3-72 Submenú de adición de líneas divisorias	89
Figura 3-73 Detalle de alineación entre viga y cubierta.....	90
Figura 3-74 Biblioteca de materiales [25]	91
Figura 3-75 Carga de parámetros de renderización y renderizado de ejemplo	94
Figura 3-76 Creación de recorrido virtual	95
Figura 3-77 Fotogramas del recorrido virtual creado.....	95
Figura 3-78 Pantalla de inicio de Autodesk 3ds Max	96
Figura 3-79 Configuración de opciones de importación	97
Figura 3-80 Visualización de camino implementado (en azul).....	97
Figura 3-81 Modificación de la posición del plano Slice.....	98
Figura 3-82 Proceso de renderización	98
Figura 4-1 Nube de puntos obtenida en ReCap.....	104
Figura 4-2 Superposición de la nube de puntos generada en ReCap con el modelo BIM	104
Figura 4-3 Ejemplo de distribución Planta Baja.....	106
Figura 4-4 Ejemplo de distribución Planta Primera	108
Figura 4-5 Superposición de nube de puntos y modelo en Sala de Juntas	109
Figura 4-6 Superposición de nube de puntos y modelo en corte B-B’	110
Figura 4-7 Nivel de Detalle vs. Nivel de Desarrollo	111

Figura 4-8 Ejemplo de software de planificación [28].....	111
Figura 4-9 Ejemplo de ficha de la familia Muro	131
Figura 4-10 Ejemplo de ficha de la familia Puerta.....	132
Figura 4-11 Ejemplo de ficha de la familia Ventana.....	133
Figura 4-12 Textura (a) Suelo zonas comunes (b) Fachada principal (c) Perfil grecado.....	134
Figura 4-13 Presentación de paneles con textura aplicada.....	135
Figura 4-14 Vista 3D Modelo BIM	135
Figura 4-15 Utilización de la caja de sección.....	136
Figura 4-16 Renderizado fachada principal	136
Figura 4-17 Renderizado fachada principal II.....	137
Figura 4-18 Renderizado fachada posterior	137
Figura 4-19 Renderizado vestíbulo principal	138
Figura 4-20 Renderizado Torre 2	138
Figura 4-21 Captura de dos fotogramas de la animación generada.....	139
Figura 4-22 Captura de fotogramas de la animación generada	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Atributos LiDAR	16
Tabla 2-2 Características de los sistemas de diseño asistido por ordenador actuales	23
Tabla 2-3 Definición de los niveles de desarrollo	27
Tabla 2-4 Definición de los modelos de detalle	27
Tabla 2-5 Ficha técnica escáner láser FARO® FOCUS ^{3D} X 330	30
Tabla 3-1 Propiedades de familia Ventana.....	74
Tabla 3-2 Propiedades de familia Escalera	78
Tabla 3-3 Propiedades de familia Rampa.....	81
Tabla 3-4 Propiedades de familia Barandilla	83
Tabla 3-5 Propiedades de familia balaustre.....	84
Tabla 3-6 Propiedades de familia Cubierta	88
Tabla 3-7 Explicación de regiones de Biblioteca de materiales	92
Tabla 4-1 Resultado de desviación estándar de registro de nubes de puntos (Parte I de III)	100
Tabla 4-2 Resultado de desviación estándar de registro de nubes de puntos (Parte II de III).....	101
Tabla 4-3 Resultado de desviación estándar de registro de nubes de puntos (Parte III de III)	102
Tabla 4-4 Propiedades analíticas de familia Muro	132
Tabla 4-5 Propiedades analíticas de familia Puerta.....	133

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el año 1717, durante el reinado de Felipe V, el ministro Patiño funda la Real Compañía de Guardias Marinas para la formación de los futuros Oficiales de la Armada dada la necesidad de asegurar el tráfico marítimo en las posesiones de ultramar; inicialmente es ubicada en Cádiz. El plan de estudios de entonces comprendía una fase de teoría y otra práctica, la cual se realizaba a bordo de los buques de la época.

Dado el éxito obtenido en Cádiz, se abren nuevas academias en el año 1776 en las ciudades de Ferrol y Cartagena, estas mismas serían suprimidas en 1824 debido a su elevado coste. La formación de los futuros Oficiales pasa a ser únicamente impartida en Cádiz. Dicha Academia posteriormente se convertiría en Colegio Naval, siendo clausurado en el año 1868 a causa del elevado número de Guardias Marinas y por las dificultades de la Hacienda Pública. Un año después, España decide trasladar su centro de formación a la Fragata Asturias, pasando a denominarse Escuela Naval Flotante. Es la Ley de Escuadra del año 1908 la que traslada la Escuela Naval de nuevo a la bahía de Cádiz, emplazándose en el antiguo edificio del Colegio Naval, siendo reinaugurada en el año 1913.



Figura 1-1 Vista aérea de la Escuela Naval Militar, 1956 [1]

A propuesta del Jefe del Estado, y dadas las buenas condiciones de la zona para las prácticas marineras recogidas en el plan de estudios de los Guardias Marinas, se proyecta en 1938 el traslado de la Escuela Naval a la villa de Marín, para ser emplazada en el antiguo polígono de tiro naval Jaime Janer. Dicho traslado se hace efectivo siete años después siendo ministro de Marina el Almirante Moreno Fernández.

La llegada de nuevos planes de estudios y mayor número de alumnos, hace que la Escuela Naval de Marín comience un plan de renovación de sus instalaciones en la década de los 80 y 90. Cabe destacar la construcción del edificio “Príncipe de Asturias”, que tiene lugar entre los años 1989 y 1990, mejorando así las instalaciones destinadas a la práctica de actividades náuticas y creando un espacio de trabajo para los oficiales destinados en el Departamento de Instrucción y Adiestramiento. Dicho edificio se encuentra al norte de la pista de atletismo, en el mismo lugar donde antiguamente la Escuadrilla de Helicópteros tenía su taller.



Figura 1-2 Edificio “Príncipe de Asturias”

1.1.1 Motivación

Actualmente, toda empresa o profesional que opte a participar en proyectos de construcción, reforma, instalación o explotación en países como Reino Unido, China, Australia o zonas como el norte de Europa, han de implantar el modelo BIM y sus herramientas correspondientes de manera obligatoria para acceder a licitaciones, contratos y colaboraciones. No en vano, dados los beneficios que reporta el BIM en el sector privado como en el sector público, ha comenzado una cuenta atrás también para los mercados nacionales, de manera especial en aquellos proyectos complejos y de alto valor añadido.

El nivel de implantación del modelo inteligente en España se sitúa a la cola del resto de países, generando grandes carencias. Desde el punto de vista de la Administración Pública, existe un calendario de actuaciones al respecto, que está sujeto a modificaciones por parte del Ministerio de Fomento y el Ministerio de Hacienda principalmente. En él, se establece el periodo 2015-2016 como periodo de creación de un consejo BIM, que se situaría en la comunidad autónoma de Cataluña. Para el presente año, los principales objetivos que se plantean se orientan hacia la adopción de estándares IFC, guías, clasificaciones y procesos de entrega del modelo digital haciendo especial hincapié en cada fase del proyecto constructivo, del mantenimiento posterior y de su integración dentro del entorno. Se busca también definir una serie de protocolos comunes para la creación y definición de la información compartida entre los operadores de cara a la plena interconexión entre las partes.

El objetivo fijado para el año 2018 define la motivación principal del presente trabajo ya que, en el año mencionado, todos aquellos equipamientos e infraestructuras de presupuesto superior a 2 millones de euros (2 M€) deberán producirse de manera virtual, en sus fases de diseño y construcción. Dado el corto plazo estipulado para el cumplimiento de la nueva normativa, se ha prorrogado dos años más, en el año 2020, la inclusión en los modelos BIM de la fase de mantenimiento. En el año 2020 deberán circunscribir este objetivo todos aquellos proyectos de nueva obra y rehabilitación.

Al tratarse de un trabajo de carácter evaluable, representando el desempeño del alumno a lo largo de su formación universitaria, se utilizan para la realización del presente Trabajo de Fin de Grado

numerosas técnicas para la consecución del objetivo final, la creación del modelo constructivo inteligente del edificio “Príncipe de Asturias” para el cumplimiento de la nueva normativa descrita anteriormente.

1.2 Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es la elaboración del modelo virtual del edificio “Príncipe de Asturias” de manera fidedigna mediante la combinación de diferentes metodologías con el uso de software diverso, en cumplimiento de la Directiva 2014/24/UE sobre contratación pública, que establece la necesidad de emplear sistemas electrónicos en procesos de contratación de obras, servicios y suministros a partir de septiembre del año 2018 [2].

La consecución del objetivo principal se puede alcanzar a través de una gran cantidad de caminos, marcando el escogido como un objetivo secundario. Actualmente, la Escuela Naval Militar no cuenta con ningún tipo de modelo informático del edificio “Príncipe de Asturias” más allá que los planos de planta recogidos en la documentación que se encuentra en el Archivo de la Jefatura de Mantenimiento. Una vez se estudian las distintas opciones para la realización del modelo constructivo inteligente, se opta por comenzar el proyecto de cero, sin atender a los planos existentes, dado que muchos de ellos ofrecían representaciones obsoletas. Por ello, las dos metodologías escogidas son la Ingeniería Inversa, para la generación de datos, registro y posterior integración en los softwares de diseño, mediante la toma de datos LiDAR y el BIM, con el objeto de gestionar los datos obtenidos y generar el modelo virtual del edificio, así como su construcción “as built”, no únicamente en forma sino recogiendo de igual manera las cantidades, distribución y propiedades de sus componentes.

Uno de los objetivos complementarios se basa en complementar la formación universitaria del alumno. Para ello se escogen, por disciplina, los mejores softwares para cada una de las fases del proyecto. La utilización de las técnicas anteriormente mencionadas y la creación de un entorno de trabajo lo convierte, además de un documento evaluable, en un modelo virtual de carácter profesional, que generará un ahorro en costes y tiempo a la hora de realizar estudios de viabilidad de futuros proyectos sobre el mismo, así como asesorar a la Escuela Naval Militar en sus labores de mantenimiento. Además, se busca perfeccionar los conocimientos de diseño del alumno mediante el dominio de programas de diseño gráfico en su apartado de simulaciones y tratamiento de imágenes, dando a conocer el potencial del modelo virtual elaborado en calidad de “Smart Building”, mediante software de renderizado de imágenes y comportamiento de los materiales frente a la luz.

La interoperabilidad con otras plataformas de simulación marca otro de los objetivos secundarios del presente trabajo, ya que la elaboración del modelo virtual debe garantizar la compatibilidad para la vinculación de programas de planificación y gestión, que ofrecerán una visión realista de la situación del edificio sin necesidad de gestionarlo “in situ”.

1.3 Localización

El edificio “Príncipe de Asturias” pertenece a la Escuela Naval Militar, situada en la localidad de Marín, provincia de Pontevedra, comunidad autónoma de Galicia, España. Se encuentra emplazado en el interior de la Escuela Naval Militar, al Norte de la pista de atletismo en la que los alumnos realizan actividades deportivas en coordenadas 42° 23’40” N 008° 42’11” W.

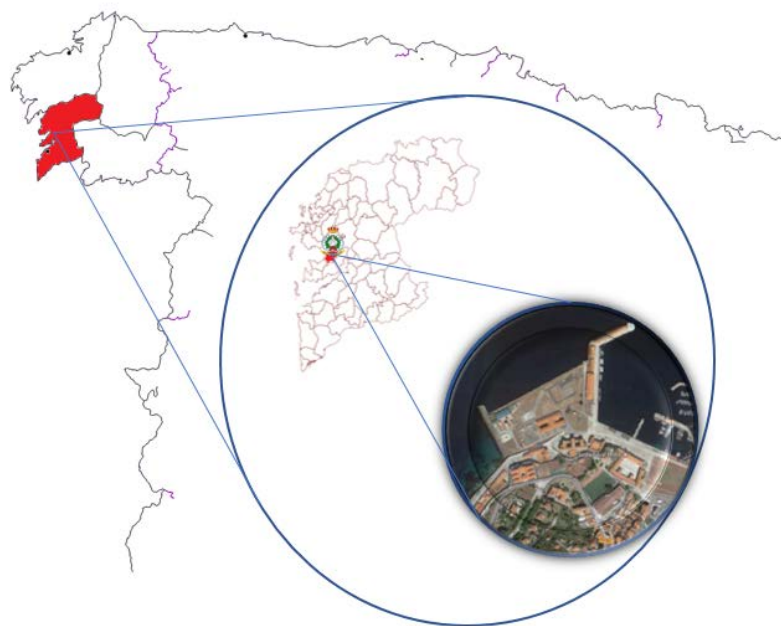


Figura 1-3 Ampliación progresiva de la localización de la Escuela Naval Militar

El edificio cuenta con numerosas compartimentaciones con dos usos diferenciados. Por un lado, la función administrativa, alberga los despachos y oficinas de los Oficiales y personal destinado en el Departamento de Instrucción y Adiestramiento, a su mando se encuentra el Capitán de Fragata Jefe de Instrucción designado. Su segunda función es relativa a las actividades náuticas, ya que alberga pañoles, talleres y oficinas de la Comisión Naval de Regatas de la Armada en Marín; a su mando se encuentra el Capitán de Fragata Subdirector-Jefe de Estudios de la Escuela Naval Militar.

El edificio “Príncipe de Asturias” es característico por sus formas y perfiles, que se pueden asemejar a los de una torre de control dentro de un aeropuerto. Rompe con la estética general de los edificios clásicos que definen a la Escuela Naval Militar, pero aporta un toque de arquitectura contemporánea que hace que destaque desde la misma puerta de Carlos I, que da acceso al recinto militar. Tiene dos zonas claramente diferenciadas. La primera de ellas consta de dos plantas y dos torres, generando la fachada principal del edificio. La segunda zona se encuentra a la derecha de la fachada principal, pudiéndose caracterizar por los paneles de color verde que porta a modo de cubierta. Esta segunda zona es de carácter náutico, siendo sus formas y dimensiones las de una nave industrial, en la que se llevan a cabo operaciones de reparación de los barcos de vela ligera y los elementos que los componen (velas, motores), que se encuadran en la Comisión Naval de Regatas de Marín.

1.4 Estructura del trabajo

El presente trabajo se estructura en diferentes capítulos, a lo largo de los cuales se dará una visión general de las metodologías de trabajo implementadas y su contribución para el desarrollo del trabajo, así como una exposición detallada de los pasos que se han seguido para la consecución de los objetivos y el resultado del mismo, añadiendo por último una serie de conclusiones. A continuación, se lista la división por capítulos que se ha realizado, en función del tipo de información que proporcionan:

- Estado del Arte: Descripción de todas y cada una de las metodologías empleadas en el trabajo.
- Desarrollo del TFG: Explicación de manera detallada de la toma de datos realizada, el post-procesamiento de dicha información y el volcado de la misma en los softwares necesarios para la reproducción del edificio.

- Resultados: Discusión y comentario de los efectos generados a raíz del desarrollo del proyecto.
- Conclusiones: Impresiones obtenidas y conocimientos adquiridos debido a la elaboración del presente trabajo.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Descripción

Durante el siguiente capítulo, se dará una visión actual y más detallada de la variedad de metodologías que han servido como medio para la consecución de los objetivos planteados para el presente trabajo. En primer lugar, encuadrado dentro de la Ingeniería Inversa, se describirá el término LiDAR, su principio de funcionamiento y propiedades, además de explicar de manera detallada el principal producto del uso de esta metodología, la nube de puntos. En segundo lugar, se detalla el concepto de CAD (Diseño asistido por ordenador), su evolución a lo largo de la historia y su relación con el tercero de los puntos, la metodología BIM, en la que se hará un repaso a lo largo de la historia acerca de su evolución, además de establecer las distintas variantes del modelo BIM y su diversa funcionalidad, introduciendo conceptos de actualidad como el modelo “as-built” o los “Smart Buildings” [3].

2.1.1 LiDAR

El término LiDAR proviene de los acrónimos ingleses (Light Detection And Ranging) y es una técnica de teledetección óptica cuya fuente es la luz de un láser que obtiene mediciones exactas en las coordenadas de los planos “x”, “y” y “z”.

Los pulsos láser se transmiten de manera ininterrumpida y sus rebotes son captados, se les puede denominar también “ecos” o “retorno”. En función del tiempo de retorno, el equipo LiDAR obtendrá las diferentes distancias y las presentará en una nube de puntos, con información adicional en cada uno de ellos, ya sea relativa a intensidad, número de devolución, cantidad de devoluciones, valores de clasificación del punto, valores RGB, tiempo del GPS, y ángulo y dirección de escaneo [4, 5].

La principal ventaja que proporcionan los escáneres láser reside en la oportunidad de crear imágenes del mundo real. Existe un alto porcentaje de proyectos en los cuales lo finalmente construido dista en gran medida con el diseño inicial, con lo cual la documentación puede no corresponder con la realidad. A pesar de que desde un punto de vista práctico este hecho podría ser considerado como un problema menor, resulta bastante relevante para muchas aplicaciones. Sean dichos errores posibles deformaciones en elementos estructurales o inclinaciones en muros portantes, su variación con respecto al diseño no puede estar pasada por alto, ya que podría acarrear riesgos en cuanto a seguridad cuya evaluación es imperativa [4].

Atributo	Definición
Intensidad	Es la fortaleza de la señal recibida en comparación con la del punto LiDAR generado.
Número de retorno	Dependiendo de las superficies en que refleje, un pulso láser puede verse reflejado un determinado número de veces. Existen equipos LiDAR preparados para gestionar esta información, de tal forma que etiquetan los rebotes según el número.
Cantidad de devoluciones	Número total de devoluciones para un pulso dado.
Valores de clasificación del punto	Información relativa a la superficie en que el pulso ha sido reflejado.
Valores RGB	Datos que atribuyen a cada punto con bandas RGB, capturados mediante imágenes que se recopilan al mismo tiempo que los puntos LiDAR.
Tiempo del GPS	Dependiendo del equipo LiDAR, se puede almacenar la fecha de registro del GPS en la que se realizó la emisión de puntos.
Ángulo y dirección de escaneo	Datos relativos a ángulos del azimuth y elevación del espejo de escaneo en el instante de la emisión de un determinado punto.

Tabla 2-1 Atributos LiDAR

En las últimas décadas el avance de esta técnica ha sido considerable. Entre los factores que han contribuido a tal avance, cabe destacar el desarrollo de tecnologías de medición remota, con la finalidad de adquirir información de diseño y de comportamiento de infraestructuras ya construidas, que comúnmente se conoce como Ingeniería Inversa. La ingeniería inversa tiene gran importancia a la hora de crear estrategias de desarrollo sostenible, que, en el caso de la Ingeniería Civil, permite conocer el estado de las infraestructuras y, por lo tanto, propone medidas a tomar de cara a mejorar el ciclo de vida de las infraestructuras existentes. Los inventarios periódicos, las inspecciones rutinarias o el monitoreo de las deformaciones son esenciales a la hora de evaluar el comportamiento de las infraestructuras a lo largo de su ciclo de vida.

Existen cuatro variantes de cálculo a considerar a la hora de determinar el tipo de información que proporciona la técnica LiDAR mediante los escaneos. La primera variable a considerar se denomina Datos de Geometría. Los escáneres láser han sido históricamente clasificados dependiendo del método empleado a la hora de medir distancias. El método más extendido en Ingeniería Civil se basa en medir distancias a través de una estimación de tiempo de tránsito de los haces de luz. Este método se conoce como TOF (Time of Flight). Este principio crea la posibilidad de procesar distancias de manera remota mediante la medición del tiempo de retraso entre la emisión y la recepción del haz de luz que viaja desde el equipo (escáner láser) hasta el objeto a medir. La distancia puede ser obtenida de manera directa, utilizando pulsos cortos y repetitivos, o de manera indirecta, modulando la potencia de una determinada longitud de onda del haz láser, o usando diferencias de fase [7, 8].

Una propiedad fundamental a considerar dentro de una onda de luz es su velocidad de propagación. En un entorno determinado, las ondas de luz viajan a una velocidad constante y finita (C). La medición de los retardos de tiempo (también conocidos como tiempo de vuelo) que se generan

desde el momento de emisión del haz láser a través de un medio conocido hasta el objeto que provoca la reflexión del haz, proporciona un método muy acertado para la medición de distancias.

A pesar de ello, los equipos basados en este método de obtención de medidas necesitan de pulsos de alta potencia para llegar a sus objetivos, dado que se encuadran dentro de los láseres de distancias lejanas.

La Figura 2-1 presenta el método de funcionamiento descrito anteriormente. Este modo de funcionamiento se considera menos preciso si se compara con otros, como puede ser el cambio de fase o la triangulación. Actualmente, el error nominal que puede generar este tipo de equipos varía entre los 3-4 milímetros. La principal ventaja de este modo de funcionamiento es el amplio radio de operación que generan, que en muchos de los equipos llega a un par de kilómetros. Este modo de funcionamiento está especialmente recomendado para analizar grandes objetos y construcciones como puentes o edificios exteriores.

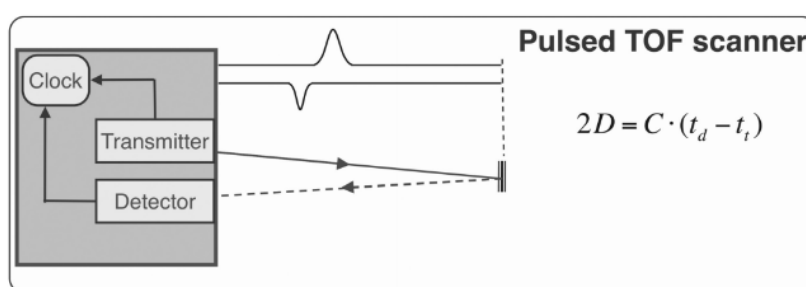


Figura 2-1 Método de funcionamiento Time of Flight (TOF) [5]

La segunda variable que entra en juego es la medición de la fase que, mediante el uso de pulsos cortos y repetitivos, basa su medición de tiempo de vuelo en una modulación en amplitud, mediante diferencia de fases. La modulación en onda continua evita la medida de pulsos cortos gracias a la modulación que realiza en la potencia de la longitud de onda del haz de luz. Para este tipo de modulación, la intensidad del haz láser se corresponde con la amplitud modulada. La modulación es bastante fiable, ya que a pesar de que la radiación de alta frecuencia transmite de manera más eficiente a través del medio y los instrumentos pueden ser más pequeños y manejables, es más complicado determinar y obtener mediciones desde esta frecuencia. La modulación realizada para obtener menores señales de frecuencia hace que las mediciones resulten más precisas.

En este tipo de instrumentos, la distancia se procesa comparando el haz láser proyectado con el recogido. La diferencia de fase proporciona el retardo en tiempo y gracias a ello se determina la distancia. A día de hoy, la diferencia de fase se procesa de manera digital; definiendo a los escáneres láser basados en mediciones por diferencia de fase como escáneres de media distancia, que no pueden alcanzar distancias tan lejanas como los basados en el tiempo de vuelo. Los primeros modelos de escáner que utilizaban este método tenían restricciones en cuanto a distancia, pero los últimos modelos, como el escáner láser utilizado para el desarrollo del presente trabajo, cuentan con distancias operacionales en condiciones óptimas de hasta 330 metros. A modo de comparativa con respecto a los anteriores escáneres láser, este modo de funcionamiento garantiza un error nominal menor, de alrededor de 2-3 milímetros. Se recomiendan especialmente para mediciones de interiores, ya que se ven más afectados por otros agentes como la luz solar.

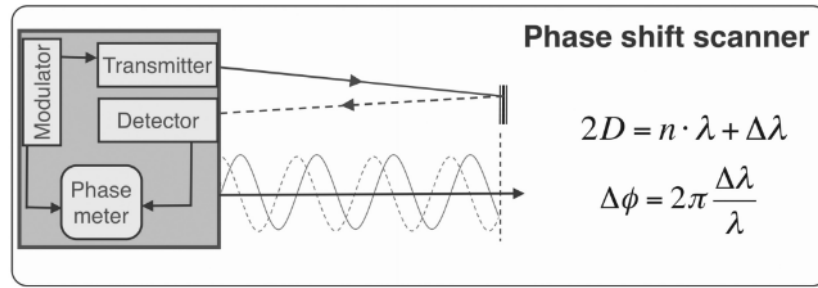


Figura 2-2 Método de cálculo por Diferencia de Fase [5]

Como tercera variable a considerar se presenta la triangulación, cuyo método está especialmente indicado para mediciones a corta distancia (5-10 metros). Los escáneres láser basados en este método proporcionan unos resultados bastante precisos. En el método de triangulación, una fuente de haces láser proyecta un haz láser sobre una determinada superficie. La luz reflejada de dicho objeto se recoge en un punto distinto al punto de proyección del haz láser. Esta luz está enfocada en un detector de posición que, junto a la información obtenida acerca de la proyección y su posición relativa a una línea de base, determina las dimensiones de un triángulo y por tanto las coordenadas cartesianas de un punto en la superficie. La aplicación de este método en la ingeniería civil no está muy extendida, ya que presenta unos límites de distancia bastante pequeños. Su principal aplicación aparece a la hora de medir pequeños objetos con gran precisión, en aquel tipo de mediciones que así lo requieran, ya que cuentan con una precisión submilimétrica.

Por último, existe una última variable que basa su funcionamiento en la medición de ángulos, en la que el haz transmitido y un receptor alineado (IFOV, Instantaneous Field of View) deben ser reflectados alrededor de todo el campo de visión del escáner (FOV, Field of View). Dentro de sus aplicaciones comerciales, los escáneres optomecánicos se implementan para la utilización de dicho método. El objetivo principal de este método es la obtención de escaneos de una manera suficientemente rápida, tratando de compensar la rápida rotación que ella supone sin que ello conlleve una pérdida de información, de tal forma que se obtenga la densidad de puntos escaneados deseada. Los escáneres láser basados en medición de ángulos mediante el uso de espejos pueden operar en modo oscilante, o rotar de manera continua en una misma dirección. Cuando el escáner láser debe obtener un campo de visión más grande, el espejo normalmente rota en una misma dirección.

Un escáner láser no proporciona únicamente información acerca de la posición geométrica de superficies de objetos, sino que también ofrece información acerca del nivel de energía reflejado desde el objeto en superficie. La cantidad de energía recuperada en un sistema LiDAR se rige por la ecuación radar.

$$P_R = \frac{P_t D_r^2}{4\pi R^4 \beta_t^2} \sigma \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

P_t es la potencia de la señal transmitida;

D_r es el diámetro del receptor óptico;

R es la distancia del escáner láser al objetivo;

β_t es el ancho de haz láser.

La sección equivalente radar efectiva puede ser expresada en función del ángulo de reflexión del objetivo, mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{4\pi P_r}{\Omega_s P_i} A_{lf} \quad (\text{Ec. 2})$$

Siendo:

Ω_s el ángulo de reflexión del objetivo;

P_r la potencia recibida;

P_i el flujo de radiación incidente, equiparable la potencia de transmisión del haz;

A_{lf} la huella láser en el objetivo.

Por último, ha de tenerse en cuenta que la cantidad de energía de retorno no sólo depende de los parámetros mencionados, sino que por medio entran en juego pérdidas de potencia debido al sensor (y debido a la atmósfera).

2.1.2 Nube de puntos

Nube de puntos es el término que da nombre a una toma de puntos definidos por su posición geométrica, que constituyen la más básica expresión de un modelo 3D en una toma de datos a partir de un escáner láser. Ofrece multitud de posibilidades dentro de la visualización, ya que se puede tomar como perspectiva una vista ortogonal, en un único color o presentados con su color real, con información recogida en coordenadas RGB.

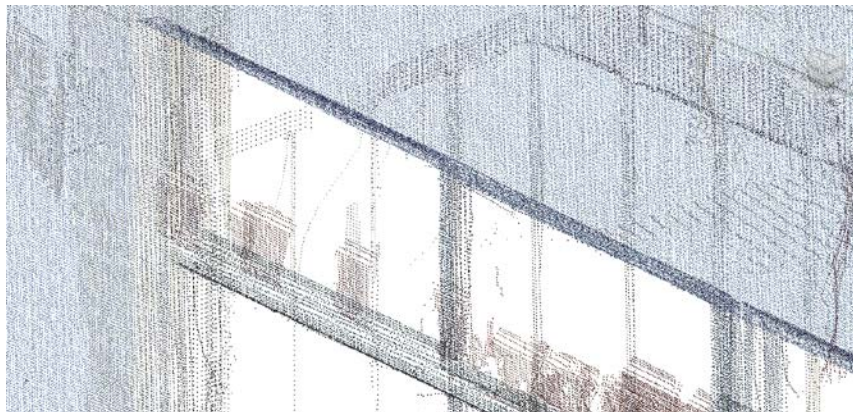


Figura 2-3 Ejemplo de nube de puntos

A día de hoy, la mayoría de programas de tratamiento de datos LiDAR genera automáticamente una nube de puntos 3D, a través de la cual el operador puede moverse con total libertad. En caso de que los datos recogidos no pertenezcan a una misma estación, se deberán obtener una serie de matrices de transformación para unir y presentar la nube de puntos 3D resultante.

2.2 Diseño asistido por ordenador (CAD)

2.2.1 Evolución histórica

Las primeras herramientas de expresión gráfica en el ámbito de la construcción partieron de las maquetas y el dibujo a mano en soportes más primitivos que el papel, como el papiro, los soportes pétreos naturales o artificiales, y más tarde en el propio papel. Este comienzo se remonta a los tiempos de las más antiguas civilizaciones. Se podría inferir que los primeros ingenieros modernos aparecen en el estallido de la revolución industrial (1789), aunque cabe mencionar que en ese momento no existen grandes cambios en los aspectos relacionados con la expresión gráfica, ya que por entonces, los técnicos y su personal de apoyo utilizaban el tablero para completar obras de dibujo hechas a mano, a pesar de que coexistían con la representación mediante maqueta. El empleo de estas técnicas se mantiene hasta

mucho la década de los 50 y 60 del siglo XX, aunque cabe mencionar que hasta entonces la tendencia se establece cada vez de manera más general en el empleo de maquetas detalladas a escala a modo de complemento del dibujo a mano en aquellos proyectos que contaban con una de gran complejidad, como podían ser aquellas representaciones de grandes plantas industriales.

La maqueta, que en un comienzo estaba pensada como una herramienta de comunicación entre el diseñador y el cliente, resultaba ser también necesaria para la definición de proyectos de alta complejidad, entre los que se encuadran los proyectos de construcción de industrias de proceso químicas y petroquímicas y de las centrales de producción de energía. El riesgo para la seguridad era tal que no existía manera alguna de analizar a priori las posibles interferencias indeseadas entre los sistemas constructivos más que el uso de una maqueta. Ello buscaba, a modo de ejemplo, evitar que tuberías o conductos pasasen por lugares coincidentes con elementos estructurales como vigas, pilares u otras tuberías o conductos

El término CAD fue definido en el año 1959 por Douglas Ross y Dwight Baumann, apareciendo por primera vez en el anteproyecto “Computer-Aided Design Project” un año después.

Los principales usuarios de los sistemas informáticos de la época pertenecían a la industria naval, aeronáutica y a la industria del automóvil. El principal problema entonces radicaba en el diseño de superficies, que se resolvía mediante la instancia de curvas y superficies conocidas y de fácil representación, como podían ser los círculos o los conos. En aquellas partes en que no fuese posible aplicar esta simplificación, el proceso era más sofisticado.



Figura 2-4 Primeros ordenadores para CAD [6]

En el año 1964, J. Fergusson publica el primer trabajo en relación a la utilización de superficies paramétricas para curvas y superficies, exponiendo la utilización de curvas cúbicas y trozos bicúbicos, que por aquel entonces era el método empleado por Boeing para el diseño de alas y fuselajes.

No es hasta el año 1974 cuando se da a conocer el desarrollo de Paul de Castelju, elaborado en torno al año 1958, en el que plantea un método recursivo para el diseño de curvas y superficies basándose en los polinomios de Bernstein. Paralelamente, es Pierre Bézier trabajando de forma independiente, el que presenta su desarrollo de la forma explícita de este mismo método de diseño, bautizado como el método de Bézier. Uno de los hitos más importantes dentro de la evolución del CAD fueron los trabajos de Ivan Sutherland, quien realizó su tesis doctoral sobre desarrollo un sistema de diseño en el MIT, que permitía la definición y edición interactiva de elementos geométricos, que podían ser almacenados de forma concisa y Steve Coons que, por la misma fecha, comenzó a desarrollar técnicas de diseño de superficies basadas en la descomposición en trozos, que fueron aplicados posteriormente al diseño de cascos de buques en 1964. Sin embargo, el desarrollo del modelado de sólidos tiene comienzo más tardío. Se pueden considerar como primeros antecedentes los trabajos desarrollados por Coons (no debe ser Sutherland) en el MIT entre 1960 y 1965, que se centraron en la aplicación de métodos numéricos a sólidos creados por barrido.

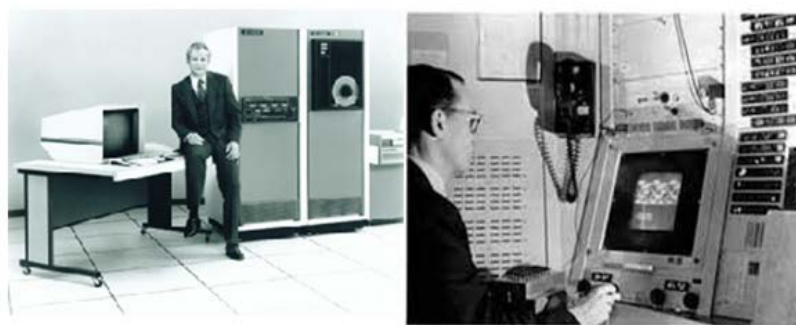


Figura 2-5 Ejemplos de ordenadores de diseño gráfico en los años 60 [6]

A finales de la década de los sesenta se presentan los primeros trabajos relacionados con el modelo de fronteras en la Universidad de Cambridge. Aun así, el desarrollo del modelado de sólidos como disciplina, se debe en gran parte a los trabajos de Aristides Requicha y Herbert Voelcker en la Universidad de Rochester durante la década siguiente. En 1974, Baumgart propuso la representación mediante aristas aladas (windged-edges) para B-rep, proponiendo además la utilización de operadores de Euler para editar la representación.

En los últimos años de la década de los sesenta y principios de los setenta, se comenzaron a desarrollar modeladores de sólidos. Entre ellos cabe destacar EUCLID, desarrollado por J.M. Brun en Francia, PADL-1 de la Universidad de Rochester, Shapes del MIT, TIPS-1 desarrollado por Okino. A finales de la década de los 70 un sistema típico de CAD implicaba el uso de un mini-ordenador de 16 bits con un máximo de 512 Kb de memoria, con una capacidad de almacenamiento en disco de 20 a 300 Mb, cuyo precio rondaba los 125.000 dólares norteamericanos. El dibujo asistido por ordenador surge como solución para reducir los tiempos de producción de planos de proyecto, aumentando así la productividad dentro del mismo.

En 1981 nace la empresa Dassault Systèmes encuadrada dentro del grupo empresarial Avions Marcel Dassault. La década de los 80 trae nuevos avances importantes relacionados con el hardware y la programación y, de manera particular, en modelado sólido. Estos avances son los que permiten en el año 1981 la creación de paquetes de modelado sólido como Catia, del grupo francés Dassault. Autodesk, por su parte, se funda en 1982, lanzando al mercado una versión 2D del actual software de diseño asistido por ordenador AutoCAD, que permitía la realización de dicha labor a empresas con un presupuesto modesto. En el año 1985 Keith Bentley funda Bentley Systems, que trae al mercado un software denominado MicroStation. Atendiendo a cuestiones de potencia computacional, la década de los 80 está caracterizada por la presencia de software con menores exigencias de soporte físico que en momentos anteriores ya que, por ejemplo, en el año 1987 la versión 9 de AutoCAD corría sobre procesadores Intel 8086 con co-procesador matemático 8087.



Figura 2-6 Logotipo de Dassault Systèmes [7] y Bentley MicroStation [8]

A pesar de ello, la mayoría de aplicaciones informáticas de más potencia seguía requiriendo mini-ordenadores de mucha mayor potencia y coste. Otras aplicaciones como SolidWorks (de Dassault) aparece en 1995, y SolidEdge (de UGS) en 1996. En 1997 aparece Revit, de Revit Technology

Corporation, que constituye el primer sistema de modelización paramétrica para el sector de la construcción, sirviendo de base para la incipiente llegada de la metodología BIM. Finalmente, a finales de los 90 y principios del nuevo milenio las grandes empresas buscan traer las versiones de sus softwares al ámbito de las plataformas de tipo ordenador personal (PC).

2.2.2 Descripción

El Diseño asistido por ordenador (CAD), es la aplicación de un sistema informático relacionada con el proceso de diseño. Permite recrear la mayor parte de tareas dentro del proceso de diseño, siendo el dibujo su uso más popular.

La principal ventaja de estos sistemas parte de la reducción en el tiempo que se invierte en los diferentes ciclos dentro del proceso de diseño ya que, gracias al empleo de interfaces gráficas interactivas y la posibilidad de realizar modificaciones, posibilita la visualización instantánea de todo cambio realizado en el modelo.

Los avances conseguidos a lo largo de la historia descritos con anterioridad han ido, poco a poco, dejando paso al concepto de dibujo y diseño asistido por ordenador. El concepto de dibujo y diseño asistido por ordenador (CAD) es una evolución del dibujo con la finalidad de asesorar al arquitecto o ingeniero en tareas de diseño, que pueden tener que ver o no con el mero hecho de generar un dibujo, de manera que hoy en día estos sistemas, entre otras cosas, además de ayudar al dibujo de los planos de proyecto, tienen otras características, que suponen grandes ventajas. A modo de ejemplo, el hecho de incorporar bases de datos de elementos de la distribución en planta (layout) de determinados habitáculos, aumenta la productividad a la hora realizar labores de distribución. Hoy en día no se generan líneas rectas o arcos para formar objetos, sino que éstos se generan de manera automática a partir de una sola orden.

Características de los sistemas de diseño asistido por ordenador actuales

Generación de modelos virtuales (3D reales), para la posterior realización de simulaciones.

Ayuda desde la concepción inicial hasta el final, incluyendo la generación de toda la documentación relativa al proyecto.

Búsqueda y creación de alternativas de distribución en planta y en el espacio (layout). Análisis de su eficiencia y optimización.

Análisis de la interacción del movimiento de personas o vehículos y su optimización, con el fin de evitar colisiones.

Análisis de intersecciones / interferencias indeseadas entre sistemas constructivos (entre instalaciones y elementos estructurales).

Cálculo de ratios geométricos de la edificación (alturas, volumen construido, superficie construida, superficie útil) y estimación de costes de construcción y de operación.

Visualización 3D y 4D de imágenes externas e internas a las construcciones proyectadas.

Análisis del impacto visual de la nueva instalación.

Incorporación de bases de datos de elementos individuales del layout para la generación automática de objetos.

Incorporación de soluciones completas de layout en función de los lugares o actividades que se

realicen.

Incorporación de bases de datos de elementos o sistemas constructivos para generarlos por medio de una sola orden, a través de modelos precargados.

Sistemas paramétricos.

Incorporación de sistemas de captación, almacenamiento y gestión del prestigio de la empresa para su uso en proyectos posteriores (por ejemplo, de criterios de diseño o diseños tipo).

Incorporación de sub-sistemas que mejoran la participación simultánea en el diseño de diferentes usuarios, aunque no pertenezcan a un mismo grupo de trabajo.

Tabla 2-2 Características de los sistemas de diseño asistido por ordenador actuales

Por otro lado, el hecho de que muchas aplicaciones de dibujo asistido por ordenador sean paramétricas permite controlar las dimensiones de un modelo y sus formas geométricas por medio de distintas variables que suponen restricciones geométricas, además de acotaciones que permiten realizar cambios en los modelos de forma rápida e interactiva. El diseño paramétrico ha generado una serie de beneficios. El primero de ellos es la posibilidad de comenzar el proceso de diseño partiendo de bocetos con poco detalle, comúnmente conocidos como bocetos a “mano alzada”. La inclusión de restricciones y dimensiones paramétricas permite definir completamente el modelo y, definirlo de nuevo posteriormente variando únicamente las restricciones y acotaciones anteriormente referidas. La interrelación de las dimensiones mediante el empleo de ecuaciones supone otra gran ventaja, dado que su uso permite un control preciso de la geometría del modelo, a la vez que permite la creación de elementos o componentes estándar con formas que dependen directamente de valores numéricos. A través de este esquema de funcionamiento, los programas de generación de modelos 3D dan acceso a simulaciones con resultados coherentes y realistas, prestando ayuda al operador desde la concepción inicial hasta el final e incluyendo, además, la generación del resto de documentos del proyecto.

2.2.3 Herramientas

El empleo de software de diseño asistido por ordenador y software de diseño 3D ha experimentado un gran crecimiento en los últimos años. En la actualidad, los softwares dedicados a tal efecto cuentan cada vez con mayor potencia y facilidad de uso, a pesar de que aquellos softwares más potentes requieran de cierta formación a la hora de ser utilizados para la creación de geometrías complejas. Las empresas que operan dichos softwares optan cada vez más por avanzar por una senda que les ofrezca mayor capacidad y facilidad de uso del software. De este modo, se puede observar como ciertos programas como Pro/Engineer (PTC) o Catia (Dassault) permiten crear elementos y conjuntos de gran complejidad (Figura 2-7) en tres dimensiones, pudiendo prescindir en ocasiones de los planos necesarios para su fabricación.

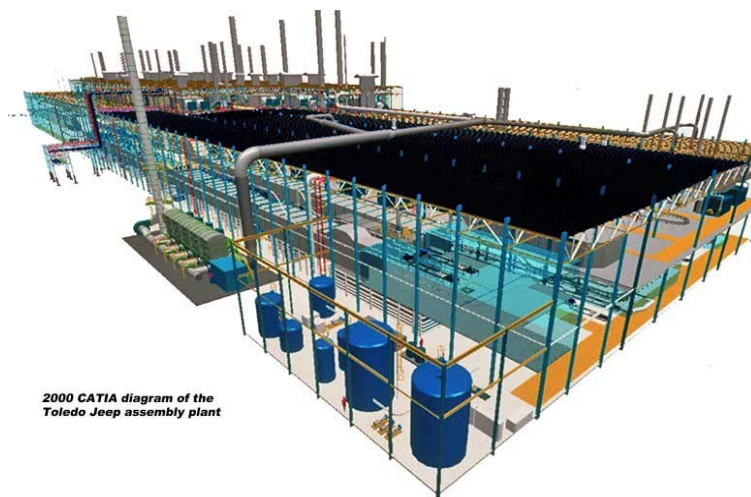


Figura 2-7 Modelo 3D realizado con CATIA [9]

Si se diese el caso en que la necesidad de dichos planos fuese de vital importancia, los programas permiten una generación semi-automática de los mismos. Además, dada su componente paramétrica, una vez se realiza un plano, cualquier modificación que se le practique a cualquiera de los elementos hará que el resto del plano se actualice de manera automática. Esto no ocurre en programas comerciales estándar como AutoCAD o MicroStation y es por esta razón que este tipo de empresas han lanzado ya aplicaciones basadas en una concepción paramétrica y módulos para convertir en paramétricas sus aplicaciones no paramétricas, como es el caso de Revit, encuadrado dentro de la suite Autodesk.

2.3 BIM

2.3.1 Descripción

La premisa principal de un sistema CAD era la automatización del dibujo. Es por ello que el principal enfoque de las aplicaciones CAD se basaba en la representación geométrica 2D por medio de elementos gráficos, como líneas, arcos o símbolos. En ese contexto, las paredes, a modo de ejemplo, son representadas únicamente por dos líneas paralelas. De cara a introducir dentro de estos elementos algo de significado, se crea el concepto de etiquetado para aquellos grupos de elementos relacionados, de tal forma que esas líneas paralelas que delimitan una pared se encuadren dentro de la etiqueta de líneas de pared.

Recientemente, y con la incipiente llegada del dibujo asistido en 3 dimensiones, los sistemas CAD orientados a objetos (OOCAD) han reemplazado los símbolos 2D por elementos constructivos, capaces de representar el comportamiento de elementos comunes en el ámbito de la construcción. Dichos elementos pueden ser presentados en numerosas vistas, a la vez que disponen de atributos no gráficos asignados. La inclusión de geometría 3D paramétrica con dimensiones variables y normas asignadas añade detalle e inteligencia a estos objetos, permitiendo la representación de geometría compleja y relaciones funcionales entre elementos constructivos. Dentro de este paradigma, por ejemplo, las paredes son ahora elementos que pueden ser unidos, separados, dotados de una determinada altura o con una sección específica, además de presentar información de propiedades no gráficas como su resistencia al fuego o su coeficiente de transmitancia de luz. De manera similar, las puertas y ventanas se representan como objetos, capaces de mostrar su relación con el resto de paredes colindantes y mostrando un comportamiento en consecuencia. Además, los objetos abstractos, como pueden ser el espacio, pueden ser definidos a partir de la relación entre elementos constructivos físicos, identificados (nombre y número de habitación), descritos (área, volumen, ...) y referenciados (listados en una planificación, tomando parte en un cálculo de área. Estas son relaciones que no tenían cabida en el paradigma CAD original [10].

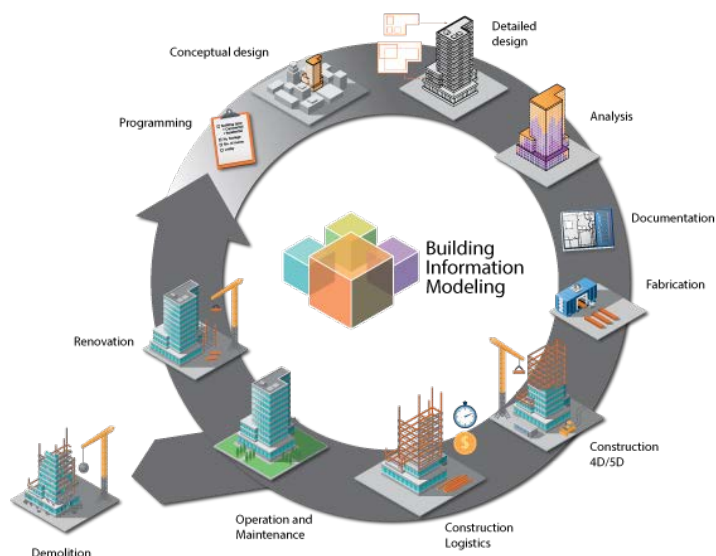


Figura 2-8 Fases BIM [11]

El término BIM (Building Information Modeling) o Modelado de información de construcción es el nombre que recibe el proceso de generar y gestionar datos dentro de un proyecto durante su ciclo de vida, mediante el empleo de un software de modelado en tres dimensiones y en tiempo real, logrando de esta forma disminuir tiempo y recursos a la hora de diseñar y construir. Representa la generación más reciente de sistemas CAD orientados a objetos (OOCAD), en los cuales todos los elementos constructivos inteligentes se combinan para generar un diseño constructivo que pueda coexistir en una base de datos o un modelo virtual que recoja toda la información existente acerca del edificio. En teoría, un modelo constructivo inteligente proporciona una fuente única, lógica y consistente para mostrar toda la información asociada a un determinado edificio.

El BIM abarca tanto geometría como relaciones espaciales, información geográfica y cantidades y propiedades de los componentes, dentro de un mismo modelo, presentando representaciones de las partes y componentes a utilizar dentro de un proceso constructivo. Puede emplear una o más bases de datos compatibles que incluyan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar. Esta información puede ser de tipo formal, pero también puede referirse a aspectos como los materiales empleados y sus propiedades, las distintas funciones de cada compartimento, la eficiencia energética de los cerramientos, etc.

El principal objetivo es conseguir que la información esté coordinada, lo cual resulta esencial para que el desarrollo del proyecto pueda llevarse a buen puerto por medio del manejo de distintos operadores, aunque la disciplina que ocupan dentro del mismo sea diferente. De esta manera, dos operadores, ya sean arquitectos o ingenieros, en sus funciones dentro de un determinado proyecto, podrán trabajar con la seguridad de que la información que se genere estará disponible automáticamente para el segundo operador. Hoy en día, esta disciplina de trabajo es bastante fácil de conseguir con las aplicaciones de diseño asistido por ordenador convencionales, siempre y cuando se empleen los procedimientos adecuados y no exista un gran número de operadores para el mismo proyecto. Sin embargo, la gestión de grandes proyectos está generando complicación, dado el gran número de modelos y operarios que necesitan para quedar bien definidos. La gran cantidad de documentos al respecto complica su administración en caso de no disponer de la ayuda de un software específico como asistencia para el desarrollo del proyecto [12].

Quizá el mayor problema aparece a la hora de coordinar la labor de arquitectos e ingenieros. Cada uno de ellos desempeña sus funciones a partir de archivos e información diferentes, debiendo ser actualizados de manera manual y por parte de un operador de cada una de las partes, lo cual da pie a

errores y pérdidas de tiempo considerables. Para paliar tal efecto, los sistemas basados en modelos BIM establecen procedimientos que permiten el desarrollo de manera automática de las operaciones mencionadas con anterioridad.

Pero, a pesar de las múltiples ventajas que ofrece, se debe invertir una ingente cantidad de tiempo en asegurar que los modelos generados con los que se trabaja sean coherentes entre sí, ya que todos ellos deberán interactuar correctamente, sin perder información alguna que permita definir con exactitud todo elemento presente en el objeto del proyecto. El BIM no busca únicamente que los muros de cerramiento trabajen en consonancia con las distribuciones, sino que las instalaciones presentes en el edificio tengan sus caminos definidos y tengan relaciones claras con el resto de sistemas que lo componen. Atendiendo a este criterio, cabe mencionar que las aplicaciones habituales todavía continúan desarrollando las relaciones entre modelos, puesto que sólo permiten trabajar con modelos que no se relacionan entre ellos ni tienen la opción de detectar interferencias entre diferentes sistemas. Este problema se puede paliar a corto plazo y de manera parcial con el uso de modelos tridimensionales, teniendo en cuenta que sólo cubren de manera muy somera el problema, ya que no resultan muy adecuados para el estudio de determinados sistemas, además de que resultan bastante complejos dado que su realización no está automatizada.

Gracias a la metodología de trabajo BIM, se obtienen objetos que distan de ser meras representaciones, sino entidades definidas según sus características que, una vez generadas, se muestran a través de todo tipo de vistas especializadas (como plantas, secciones o axonometrías). Sin embargo, la metodología BIM busca un tratamiento de los datos de la manera más rápida y controlable posible, y es por ello que se parametrizan los objetos presentes en el modelo, esto es, se preestablecen las características y comportamientos de los mismos. Mediante el empleo de esta disciplina de trabajo, el operador designado para la fase de diseño ya no dedica su tiempo a la representación de elementos arquitectónicos, sino que genera dichos materiales en función de sus especificaciones, empleando como directriz un patrón con cierta flexibilidad, dependiente de las prestaciones del software que utiliza y de sus propias habilidades. Otro hecho a tener en cuenta para el empleo de esta tecnología es la capacidad de cuantificar eficazmente los parámetros que no definen las formas de un edificio. Se encuadran dentro de este ámbito algunas cualidades computables como son, a modo de ejemplo, el cálculo de volúmenes de aire, líneas de evacuación, eficiencia y consumo energético, etc. Toda esta información representa diversos componentes presentes en modelos específicos que es posible unificar en mayor o menor medida con la finalidad de conseguir las prestaciones de coordinación y coherencia que se comentaban con anterioridad. El concepto esencial de la metodología BIM es comprender que el diseño no atiende únicamente a criterios de forma, sino también a otras variables que no pueden ser tratadas con las herramientas tradicionales de representación.

2.3.2 Nivel de Desarrollo (LOD)

El Nivel de Desarrollo sirve como una referencia que permite especificar y clasificar de una forma clara el contenido y la fiabilidad de los elementos presentes en los modelos BIM, en sus distintas etapas de diseño y construcción. Esta clasificación proporciona una visión de las características de los elementos que componen un modelo ayudando a estandarizar el nivel de detalle a alcanzar [13].

LOD	Definición
100	Diseño conceptual. Visión general, volumen, orientación y área.
200	Visión general con tamaños, formas y localizaciones aproximadas, incrementando la capacidad de análisis.

300	Información y geometría precisa, con algún detalle constructivo, y un nivel de detalle externo importante pero no completo.
350	Equivale al nivel LOD 300, pero además incluye interferencias entre los distintos elementos presentes en el modelo.
400	Nivel de mediciones exacto. Contiene la información necesaria para la fabricación o construcción.
500	Establece las condiciones para el mantenimiento y el funcionamiento de la instalación.
600	Incluye parámetros de reciclado para cada uno de los elementos del modelo, incluyendo aquellos que se determinan en el LOD 400 y los previos.
700	El elemento está definido geométricamente por completo, añadiendo nuevos conceptos como la distancia desde la cual es visible. Su textura derivará de las características de sus materiales superficiales, existiendo la posibilidad de añadir información no gráfica adicional vinculada al elemento.

Tabla 2-3 Definición de los niveles de desarrollo

2.3.2.1 Nivel de detalle

El concepto de LOD (Level of Development) suele llevar a equívoco a la hora de compararlo con el LOD (Level of Detail). El LOD como Nivel de Detalle se refiere a la riqueza de la información incluida en la presentación del proceso constructivo en sí, incluyendo mejoras añadidas al modelo de proyecto. Atendiendo a este aspecto, se establece:

Nivel de detalle	Significado
3D	Modelo BIM
4D	3D + Planificación temporal para la realización del proyecto
5D	4D + Costes asociados a la edificación
6D	Optimización de medios sostenibles
7D	Gestión de activos

Tabla 2-4 Definición de los modelos de detalle

2.3.3 “As-built”

Variante del modelado BIM, que se basa en obtener la representación mediante planos de una construcción ya existente. El modelo final ofrecerá grandes ventajas, ya que permitirá una gestión de la

propiedad de una forma rápida y sin costes, que puede abarcar desde labores de optimización de las instalaciones hasta el mantenimiento de las mismas [14].

La publicación de estándares de implementación de los modelos BIM a nivel internacional demuestra que su creación indubitadamente produce un ahorro considerable en la ejecución en las fases de gestión posteriores a la ejecución del proyecto, contribuyendo al desarrollo de las infraestructuras. Para poder generar un modelo enfocado a la sostenibilidad de un edificio, es necesario seguir un flujo de trabajo dividido en las siguientes fases:

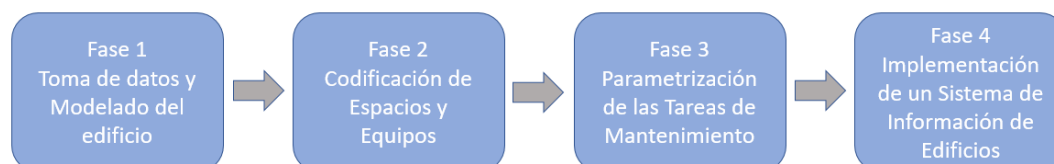


Figura 2-9 Diagrama de flujo para modelización “as-built”

2.3.4 Smart Building

Los avances de la tecnología han dado pie a la llegada de Smart Buildings o Edificios Inteligentes, que se gestionan de manera centralizada y automatizada en todo lo referente a instalaciones y sistemas (de climatización, electricidad, seguridad, control de acceso, ...), con el fin de aumentar la eficiencia energética, así como la seguridad, la usabilidad y la accesibilidad.

Las herramientas BIM pueden ser de gran ayuda a la hora de diseñar y unir los componentes de un Smart Building. El BIM puede consolidar los datos almacenados para la construcción de un edificio inteligente, para luego convertirlo en un modelo digital coherente y apto para la habitabilidad, que puede ser utilizado para la construcción y gestión del edificio. La metodología BIM es un medio que permite obtener una lectura comprensiva e interactiva del comportamiento en conjunto de los componentes que conforman un edificio, para crear, por ejemplo, un modelo energético acorde. El avance del BIM con el paso de los años lo postula como una técnica cada vez más cercana a las técnicas reales de construcción.

Esta metodología no considera únicamente la opción de diseñar y visualizar un edificio en tres dimensiones, sino que permite añadir tiempo y experiencia al modelo del edificio, lo cual puede ser de gran beneficio a la hora de diseñar un edificio inteligente, ya que existirá la posibilidad de situar en el modelo aquellos sensores y dispositivos que gestionan los diferentes sistemas.

La eficiencia energética es otro punto a tener en cuenta a la hora de diseñar un Smart Building, debido a la importancia de la monitorización de la energía consumida por un edificio, que es un valor que la metodología BIM puede gestionar hoy día. El BIM avanza tecnológicamente día a día, y en el futuro será esencial, ante la incipiente necesidad de gestionar los edificios de manera completamente digital, lo que permitirá obtener una visión clara del edificio desde incluso antes de su construcción.

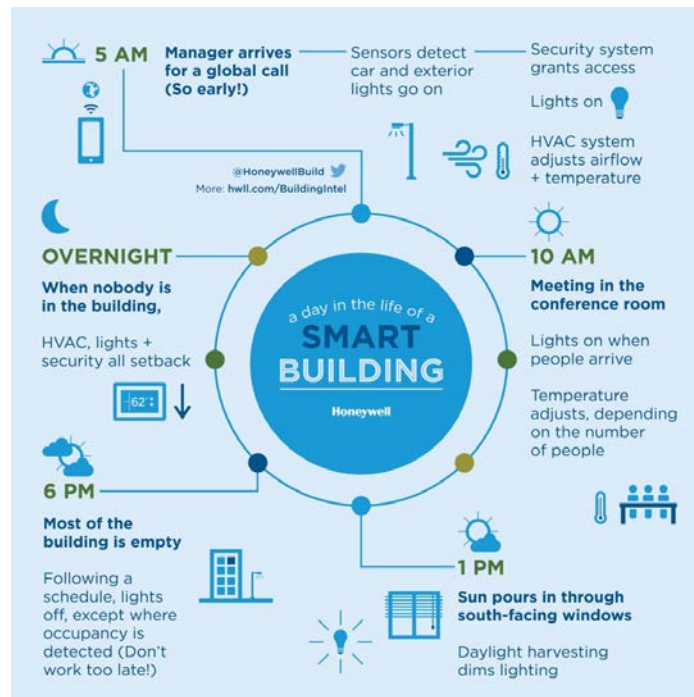


Figura 2-10 Funcionamiento de un Smart Building [11]

2.4 Equipos y software

2.4.1 Equipos

La herramienta utilizada durante la primera fase del presente proyecto, de cara a la obtención de datos LiDAR y generación de nubes de puntos es el escáner láser FARO® FOCUS^{3D} X 330, cuyas características se presentan en la Tabla 2-5. Destaca por su forma rectangular y su lente, que nada tiene que ver con la concepción tradicional de los escáneres láser.

De manera particular, estos escáneres tienen una serie de espejos que son capaces de dirigir el haz láser en el plano vertical, con la finalidad de obtener ángulos de elevación. El movimiento de rotación del escáner láser sobre un plano vertical puede hacerse a partir de otro espejo o un mecanismo de computación de ángulos Azimut, que es el método de funcionamiento del equipo empleado. Estos espejos pueden rotar a muy alta velocidad, cubriendo los 360°. Como resultado, se obtiene una gran nube de puntos en un sistema de coordenadas esféricas. Existen numerosos tipos de escáner láser que convierten de manera automática las coordenadas esféricas en coordenadas cartesianas (X, Y, Z) para todos y cada uno de los puntos, y algunos de sus atributos como la amplitud del haz láser o datos de color en coordenadas RGB.

ESCÁNER LÁSER FARO® FOCUS^{3D} X 330

Alcance	0.6-330 m
Velocidad de medición	Hasta 976000 puntos/segundo
Error de rango	±2 mm
Cámara a color integrada	Hasta 70 megapíxeles
Clase Láser	Clase I
Peso	5,2 kg

Multi-Sensor	GPS, Brújula, Altímetro, Compensador de eje dual
Medidas	240 x 200 x 100 mm
Control	Via touchscreen y WLAN

Tabla 2-5 Ficha técnica escáner láser FARO® FOCUS^{3D} X 330

Un escáner láser es un instrumento de medida que permite la toma de coordenadas de puntos en 3 dimensiones, combinando distancia y ángulo para obtener el resultado. Los escáneres láser comenzaron siendo instrumentos que permitían únicamente obtener distancias. Con el avance de la tecnología, fueron incorporando sistemas, tales como espejos y elementos optomecánicos, cuya función es reflejar los haces láser para conseguir nubes de puntos en 2 o 3 dimensiones. Gracias a esta función, los escáneres láser comenzaron a ser útiles en ambientes terrestres.



Figura 2-11 Escáner láser FARO® FOCUS^{3D} X 330 [15]

2.4.2 Software

A continuación, se dará una visión general sobre los programas que se han utilizado para el desarrollo del presente trabajo, comenzando por aquellos relacionados con la Ingeniería Inversa, el procesamiento y gestión de los datos LiDAR y su posterior tratamiento, para luego describir el concepto general de los softwares utilizados para el modelado, basados en la metodología BIM. Cabe destacar que muchas de las funciones a desarrollar dentro del trabajo bien pueden agruparse en una única aplicación. Sin embargo, la política de trabajo adoptada se basa en maximizar los puntos fuertes de cada uno de los softwares, escogiendo la mejor opción para cada una de las fases del proyecto.

2.4.2.1 SCENE

Scene es el software propio del láser escáner FARO® FOCUS^{3D} X330. Su función es la de procesar y administrar los datos de escaneo de forma eficiente y sencilla, proporcionando imágenes en color. Ofrece también la posibilidad de exportar los datos obtenidos en diferentes formatos para su

interacción con otros programas, función que será capital para la realización de este trabajo. El uso de SCENE está especialmente indicado para todos los escáneres láser de la familia FARO® Focus^S, Focus^{3D} y equipos de terceros. El programa genera procesados y administra los datos de escaneo a través de una interfaz sencilla y eficiente, empleando el reconocimiento automático de objetos, de cara a facilitar las labores de registro de escaneos y posicionamiento, contando además con herramientas para el posicionamiento automático de escaneos con o sin objetivo.

Dentro del apartado visualizaciones, SCENE muestra la representación de nubes de puntos en 3D mediante la interpretación de los datos procedentes del escáner, que pueden incluir una escala de colores reales que se incorporará a la visualización. Permite asimismo exportaciones en diversos formatos de nube de puntos y CAD. La verificación de la labor de registro paso a paso permite a los operadores corroborar si los resultados son contextualmente correctos, añadiendo una elevada confianza a la calidad de sus datos. La última versión de SCENE, la versión 6.2, supone un gran avance, ya que permite el modelado de manera automática para cualquier tipo de superficie. Las mallas para el modelo pueden ser calculadas, vistas y exportadas en diferentes formatos. Además, una vez se completa todo el proceso, los datos de escaneo y del proyecto pueden publicarse en Internet, a través de WebShare Cloud, que permite la visualización de los datos desde un navegador estándar.

2.4.2.2 RIEGL RISCAN PRO

RIEGL RISCAN Pro es un software diseñado para optimizar la adquisición de datos durante la fase de trabajo de campo. Entre estos datos se incluyen escaneos, imágenes digitales, datos GPS, coordenadas de puntos de control y puntos de unión, además de matrices de transformación para transformar múltiples escaneos en un sistema de coordenadas bien definido. Es este último punto el que se explotará dentro del presente trabajo.

RiSCAN Pro es el software específico para los escáneres láser de los sistemas RIEGL Terrestrial 3D. El programa está orientado a la realización de proyectos desde el primer instante, comenzando por la adquisición de los datos, que posteriormente se organizarán en la estructura de proyectos de RiSCAN Pro. Estos datos incluyen escaneos, imágenes digitales, datos de geo posicionamiento, coordenadas de puntos de control y puntos de unión, así como las matrices de transformación necesarias para transformar los datos de múltiples escaneos en un único sistema de coordenadas bien definido.

El programa está diseñado de cara a optimizar el flujo de trabajo durante la fase de toma de datos y proporciona las herramientas para la inspección visual de la totalidad de los datos recogidos en vista 3D una vez terminada la adquisición. Dispone además de numerosas herramientas para el posterior procesamiento de datos. La estructura del programa permite la exportación de datos en diversos formatos compatibles con productos de terceros.

2.4.2.3 Autodesk ReCap

Autodesk ReCap representa el nexo común de las dos fases principales del proyecto. Es una aplicación destinada a la creación de modelos 3D (BIM, AEC, MCAD) mediante información capturada o escaneada. Permite limpiar y organizar los datos obtenidos, pero en este caso su función será la de poder integrar la nube de puntos procedente del software RISCAN Pro en los programas de la suite Autodesk.

La versión utilizada para la realización del presente trabajo es Autodesk ReCap Pro, que permite importar modelos de nubes de puntos y prepararlas para su visualización. Dispone de herramientas básicas de medición, limpieza de las nubes de puntos, etiquetado y marcado y búsqueda dentro de las mismas. Permite además geo localizar los distintos datos a partir de un dispositivo GPS, obtener texturizados de alta calidad, puntos de referencia, imágenes 2D ortográficas y generación de modelos 3D. Del mismo modo que SCENE, ReCap dispone de una plataforma de gestión de proyectos en la red, denominada A360.



Figura 2-12 Logotipos de SCENE [15], RIEGL RiSCAN Pro [16] y Autodesk ReCap 360 [17]

2.4.2.4 Autodesk AutoCAD

Autodesk AutoCAD es un software de diseño asistido por ordenador, que permite a sus usuarios disponer de una herramienta de dibujo 2D e incluso modelado en 3D. Al igual que otros programas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD), AutoCAD gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que es posible realizar operaciones a través de una ventana de presentación, el llamado editor de dibujo. El operador navega a través de la aplicación mediante comandos, que pueden ser de edición o dibujo desde la línea de órdenes.

AutoCAD permite el procesamiento de imágenes de tipo vectorial, donde se dibujan figuras básicas o primitivas, que comprenden desde líneas y arcos hasta formatos de texto, además de la creación de formas más complejas mediante el empleo de herramientas de edición. Una gran ventaja del programa es su organización, pues divide los objetos presentes en el modelo en distintas capas, ordenando el dibujo en distintos colores y tipos de línea.

Una parte de AutoCAD se orienta a la producción de planos, pudiendo asemejarse a la obtención tradicional de los mismos, mediante variaciones de color, grosor de líneas o texturas. Recientemente, AutoCAD ha incorporado mejoras a la hora de pre visualizar los resultados de la fase de dibujo. Para ello, ha creado dos conceptos. El primero de ellos es el concepto de espacio modelo, en las que se desarrollan labores de diseño y dibujo en dos y tres dimensiones, y el concepto de espacio papel, para mostrar simultáneamente los planos que se generan a partir del trabajo desempeñado en la fase de dibujo y diseño.

En el año 2011, Autodesk decide incluir en su buque insignia el modelado sólido, que utiliza operaciones booleanas de unión, intersección y sustracción, aunque es una disciplina que tiene más explotada en otros programas de la suite como Autodesk Revit. Las aplicaciones del programa son muy variadas, incluyendo desde proyectos y presentaciones de ingeniería, hasta diseño de planos o maquetas de arquitectura [18].

2.4.2.5 Autodesk Revit

Autodesk Revit supone un cambio en el uso de herramientas de diseño asistido por ordenador. Es un software de modelado de información de construcción (BIM), que posibilita un diseño basado en objetos inteligentes y en tercera dimensión. Su interacción completa con el software AutoCAD permite una comunicación bi-direccional que facilita el trabajo colaborativo.

El programa cuenta con herramientas para diseñar cualquier edificio desde su conceptualización hasta obtener la planimetría de la construcción. Se incluyen en este ámbito detalles en muros, pisos, cielos y cubiertas, incluyendo los muros cortina. Permite además realizar un estudio volumétrico mediante masas, calcular áreas por niveles y trabajar con texturas, materiales y colores, entre sus múltiples aplicaciones. Revit trabaja con sombras vectoriales, lo que significa que, ante cualquier cambio en la estructura, orientación y otros detalles que modifiquen la disposición de elementos frente a la luz, las sombras reflejadas se modificarán en consonancia, visualizando el efecto de los cambios en la iluminación de los objetos. Permite analizar los 360° del edificio desde distintas perspectivas y en distintas secciones, incluyendo ocultaciones, sombras y siluetas. Produce referencias automáticas de dibujo, y es capaz de hacer una estimación de costes, de cara a optimizar el tiempo y obtener un mayor rendimiento y una mejor calidad de entrega.

Ofrece la posibilidad de realizar el diseño del edificio teniendo en cuenta todos los factores externos que puedan afectar al proceso de construcción y mantenimiento del mismo. Revit crea un ambiente de trabajo multidisciplinar, en el que varios equipos pueden trabajar de forma simultánea en un mismo proyecto, siendo el programa el indicado para coordinar los cambios implementados.

Por último, de cara a presentar el trabajo finalizado, Revit dispone de una interfaz de renderización integrada que permite, mediante cálculos, simular las condiciones de luz solar y la presencia de otros factores que constituyan un estudio de las distintas cualidades que caracterizan al edificio, ya sean estudios de luz, estudios acústicos o térmicos.

2.4.2.6 Autodesk 3ds Max

Autodesk 3D Studio Max es un software de creación de gráficos y animaciones 3D, permitiendo el postprocesado de imágenes y datos procedentes de otros programas de la suite Autodesk o de terceros. Tiene especial utilidad en el presente trabajo para la creación de paseos virtuales y renderizado del resultado de la reconstrucción del edificio “Príncipe de Asturias”.

La función principal de Autodesk 3D Studio Max es la creación de gráficos y animación 3D. En la actualidad, 3ds Max es uno de los programas de animación más conocidos mundialmente. Permite al usuario editar y crear a partir de una gran variedad de opciones, plugins y plataformas. 3ds Max es un programa muy utilizado en la industria de los videojuegos, aunque también se utiliza en el desarrollo de animación cortometrajes o anuncios de televisión, efectos especiales y arquitectura.



Figura 2-13 Logotipos de Autocad, Revit y 3DStudio Max 2017 [17]

2.5 Marco legal

De cara a la realización del presente trabajo, se debe tener en cuenta la legislación vigente en España en todo lo referente a los requisitos necesarios para la edificación y, posteriormente, su correcta representación. Seguidamente, se recogen las normativas consultadas a lo largo del desarrollo del proyecto.

2.5.1 Código Técnico de la Edificación

En primer lugar, el Código Técnico de la Edificación da cumplimiento a los requisitos básicos de la edificación, que se establecen en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, con la finalidad de asegurar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad, la sostenibilidad de la edificación y la conservación del medio ambiente.

Por un lado, la aprobación del Código Técnico de la Edificación supone la renovación del vigente marco normativo de la edificación en España, que se regulaba por Real Decreto 1650/1977, de 10 de junio, sobre normativa de la edificación, que establecía las Normas Básicas de la Edificación, como disposiciones de obligado cumplimiento en el proyecto y la correcta ejecución de los edificios. Dentro de este marco jurídico, se han aprobado a lo largo de los años diversas Normas Básicas desde el año 1979, que conforman un conjunto abierto de disposiciones, que han servido como soluciones individuales en función de las distintas demandas de la sociedad, pero que nunca han llegado a

constituir per se un conjunto coordinado, en consonancia con los Códigos Técnicos de la Edificación vigentes en otros países más avanzados en ese ámbito.

Además, el Código Técnico de la Edificación define un marco normativo homologable al que actualmente existe en otros países, armonizando la normativa de edificación nacional con las disposiciones en esta materia aprobadas por la Unión.

El Código Técnico de la Edificación se divide en dos partes, ambas de carácter reglamentario. En su primera parte, el CTE contiene las disposiciones generales (ámbito de aplicación, estructura, clasificación de usos, etc....) y aquellas exigencias que deben cumplir los edificios para cumplir los requisitos de seguridad y habitabilidad de la edificación.

Su segundo conjunto de disposiciones está constituido por los Documentos Básicos cuyo apropiado manejo certifica el desempeño de los requerimientos básicos. En ellos se incluyen procedimientos, reglas técnicas y ejemplos de soluciones que permiten decretar si el edificio cumple con los cánones establecidos. Dichos Documentos no tienen carácter excluyente. Como anejo para la aplicación del Código se generan los Documentos Reconocidos como aquellos documentos técnicos externos e independientes del Código cuyo uso garantiza el cumplimiento de determinadas exigencias y contribuyen al fomento de la calidad de la construcción.

A continuación, se enumeran los Documentos Básicos de aplicación para el cumplimiento de los requerimientos esenciales que debe cumplimentar una edificación en función de la naturaleza de los mismos.:

- DB SI Seguridad en caso de Incendio
- DB SU Seguridad de Utilización
- DB HE Ahorro de energía
- DB SE Seguridad Estructural
- DB SE-AE Acciones en la Edificación
- DB SE-C Cimientos aplicado conjuntamente con los DB SE Seguridad Estructural y DB SE-AE Acciones en la Edificación
- DB SE-A Acero aplicado conjuntamente con los DB SE Seguridad Estructural y DB SE-AE Acciones en la Edificación
- DB SE-F Fábrica aplicado conjuntamente con los DB SE Seguridad Estructural y DB SE-AE Acciones en la Edificación
- DB SE-M Madera aplicado conjuntamente con los DB SE Seguridad Estructural y DB SE-AE Acciones en la Edificación
- DB HS Salubridad

2.5.2 Directiva 2014/24/UE

En segundo lugar, se atiende a los requerimientos dispuestos en la directiva Directiva 2014/24/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre contratación pública y por la que se deroga la Directiva 2004/18/CE, se establece la necesidad de emplear sistemas electrónicos en procesos de contratación de obras, servicios y suministros a partir de septiembre del año 2018, en aquellos proyectos de solicitud pública que superen la cantidad de 2 millones de euros. En su punto número 52 dispone que los medios de información y comunicación electrónicos pueden simplificar

considerablemente la publicación de los acuerdos y aumentar la eficacia y la transparencia en los procedimientos de contratación.

Además, señala que estos procedimientos deben convertirse en el método estándar de comunicación e intercambio de información en los procedimientos de contratación, porque garantizan el aumento de las posibilidades de los distintos postores de participar en procedimiento de contratación a nivel nacional. Para ello, se debe hacer obligatoria la transmisión de anuncios en formato electrónico, la puesta a disposición del público por medios electrónicos de los pliegos de la contratación y, tras un periodo transitorio de 30 días, utilizar una comunicación totalmente electrónica, lo que significa que la comunicación por medios electrónicos se lleva a cabo a lo largo de todas las fases del procedimiento, incluyéndose la transmisión de solicitudes de participación y la presentación en formato electrónico de las ofertas, guardándose los Estados miembros y los poderes adjudicatarios la potestad de ir más lejos si así lo consideran. Sin embargo, la entrada en vigor de esta Directiva no obliga específicamente a los poderes adjudicadores a emplear medios electrónicos para el tratamiento de las ofertas recibidas, así como tampoco exige la evaluación electrónica o el tratamiento automatizado. Asimismo, con arreglo a la presente Directiva, ningún elemento del procedimiento de contratación pública tras la adjudicación del contrato debe estar sujeto al deber de utilizar medios electrónicos de comunicación, como tampoco deberá estar sujeto a la comunicación interna en el marco del poder adjudicador [2, 19].

2.5.3 Normas ISO y AENOR

Por último, se incluyen los protocolos utilizados para la correcta representación y caracterización geométrica de los distintos espacios a definir. La normativa ISO hace referencia a la normativa generada por la Organización Internacional para la Estandarización (International Standardization Organization), que es la entidad internacional encargada de establecer las normas de fabricación, comercio y comunicación en todo el mundo. Constituye una federación de organismos nacionales entre los que cabe mencionar AENOR en España, el organismo DIN en Alemania, o AFNOR en Francia. Entre las normas establecidas por la ISO destacan las referentes a las medidas del papel y al dibujo técnico, de uso en las representaciones y caracterizaciones geométricas al igual que en la vida cotidiana. Esta normativa se denomina ISO:216 y contempla los tamaños definidos en la normativa alemana DIN (A0, A2, A4, ...).

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Descripción

A lo largo de este capítulo se explicará de manera detallada la metodología de trabajo empleada para la consecución de los objetivos. En primer lugar, se procederá a la descripción del trabajo desempeñado durante la primera fase del proyecto, la toma de datos, así como su relación con la metodología de Ingeniería Inversa. A continuación, se detallará paso por paso el procedimiento y técnicas utilizados para la elaboración del modelado constructivo del edificio “Príncipe de Asturias” mediante el empleo de software de trabajo de la metodología BIM (Building Information Modeling). Por último, se empleará uno de los más potentes softwares de animación para la generación de una simulación del proceso constructivo realista.

3.2 Plano de situación general

Para la realización del plano de situación general del edificio “Príncipe de Asturias”, es necesaria la búsqueda de información geográfica que delimite la zona a representar. Para ello, es preciso consultar los sitios dedicados a tales estudios. La información obtenida para la realización del plano proviene de una de las dependencias autonómicas de Galicia, que recibe el nombre de “Información Xeográfica de Galicia”.

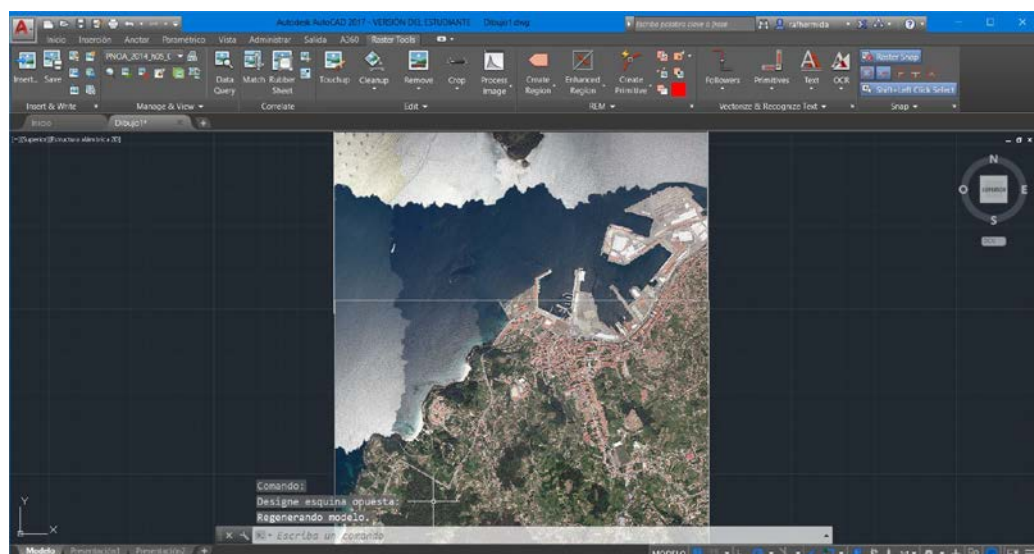


Figura 3-1 Importación de ortofoto en AutoCAD

El tipo de archivos con los que trabaja esta web son las ortofotos (.ecw), de aplicación directa a la hora de realizar un dibujo asistido por ordenador. Para la realización del plano de situación general, se ha empleado el software CAD Autodesk AutoCAD 2017. La importación de las ortoimágenes se lleva a cabo de la herramienta “Insertar”. Una vez presentada en pantalla, se debe determinar la escala a la que vienen dadas las medias presentes en la imagen y que, en este caso, es 1:1, por lo que no será necesario realizar conversiones a la hora de dibujar.

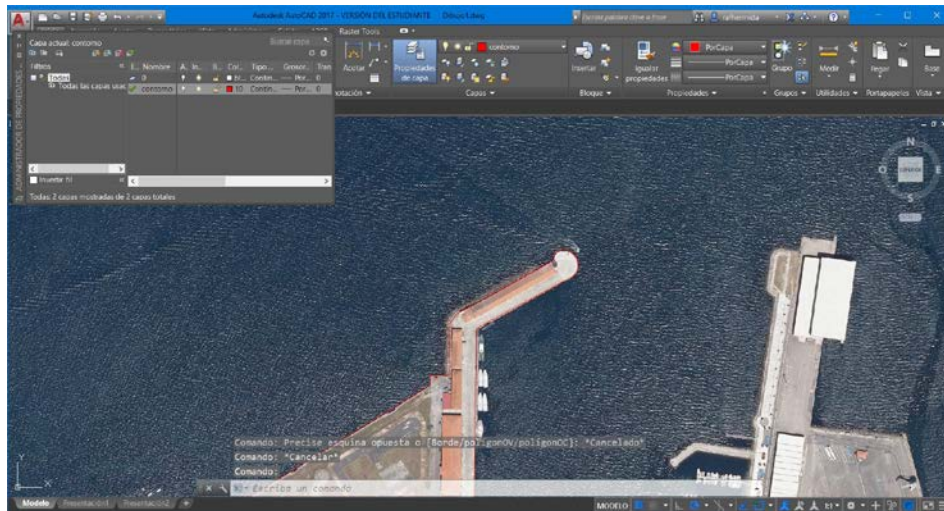


Figura 3-2 Trazado de líneas sobre ortofoto

Para el dibujo del plano, se utiliza la herramienta polilínea y demás herramientas de trazado que, una vez repasadas a lo largo de contornos de los límites de la Escuela Naval y sus edificios, generan el plano que se presenta a continuación, con el edificio “Príncipe de Asturias” resaltado en azul.

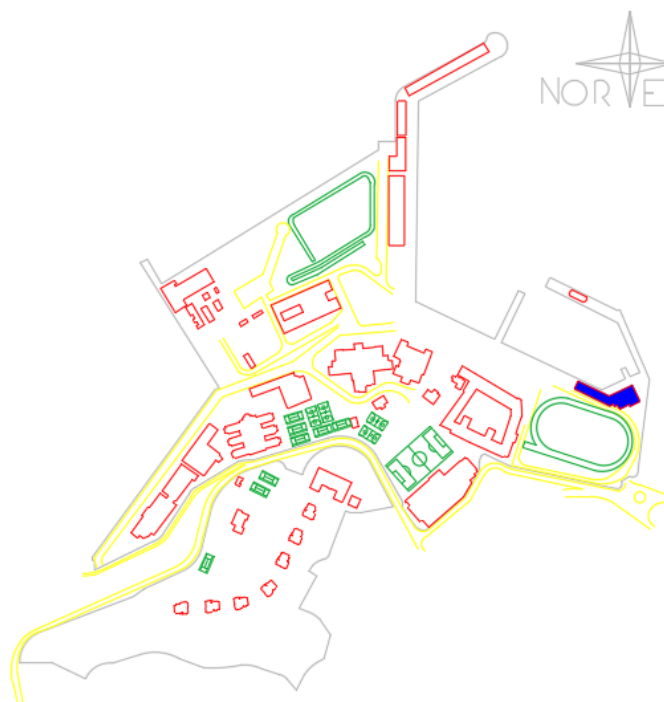


Figura 3-3 Disposición de la Escuela Naval Militar

3.3 Trabajo de campo

3.3.1 Introducción

Uno de los objetivos del trabajo es obtener una reproducción fidedigna del edificio objeto, sin más ayuda que la de los datos que se obtengan en esta fase. Es por ello que tiene especial importancia el uso de un buen procedimiento, que se detallará a continuación.

3.3.2 Zona de trabajo

En primer lugar, se realiza un primer reconocimiento del edificio, decidiendo las diferentes posiciones de escaneo en función de la forma de cada una de las compartimentaciones del edificio y evitando la presencia de puntos ciegos. La optimización de la cantidad de escaneos es clave, ya que una mala planificación implicará retrasos en la finalización de esta fase. Se elabora un croquis (Figura 3-4) con las posiciones elegidas.

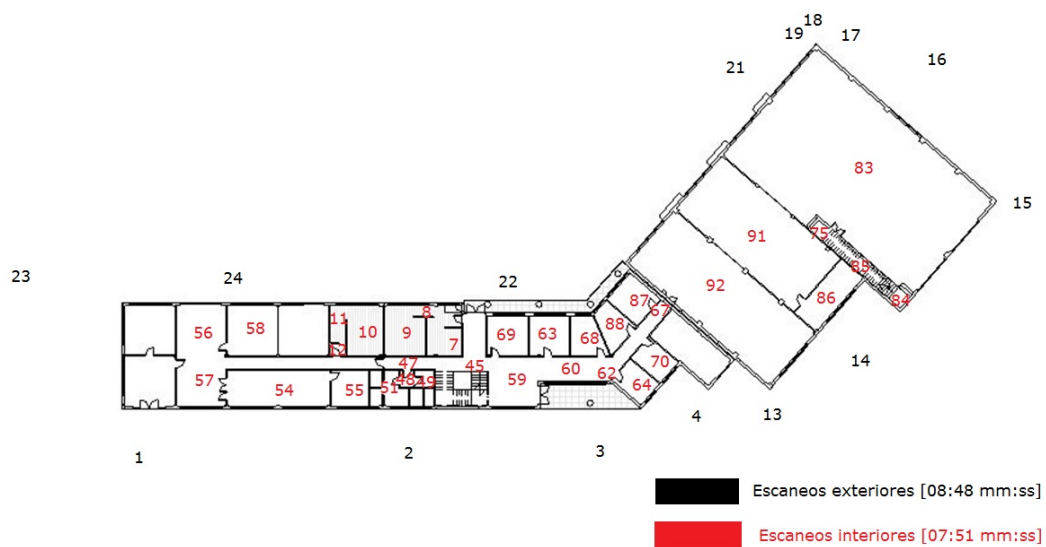


Figura 3-4 Distribución de posiciones de escaneo en la Planta Baja

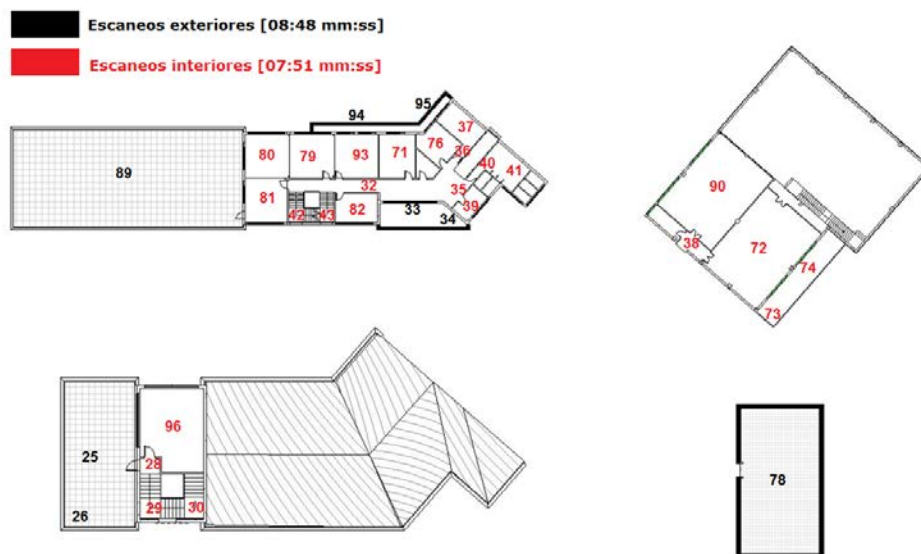


Figura 3-5 Distribución de posiciones de escaneo en el resto de plantas

3.3.3 Procedimiento

Uno de los pasos más importantes a la hora de realizar un escaneo, es la correcta calibración de los aparatos de medida. Para la toma de datos, se dispone del escáner láser FARO® FOCUS^{3D} X 330, basado en un trípode que deberá estar correctamente alineado de manera perpendicular al suelo. Para ello se dispone de un nivel de burbuja en el propio trípode y de un clinómetro a modo de herramienta del escáner láser FARO® FOCUS^{3D} X 330.

3.3.4 Configuración del escáner

El hecho de no disponer de documentación alguna para la realización del modelo constructivo, hace que los escaneos deban ser completos, buscando un gran nivel de detalle, colores y texturas.

Para comenzar a trabajar con el escáner láser FARO® FOCUS^{3D} X 330, el primer paso es contar con carga en su batería y una tarjeta de memoria. En este caso se ha utilizado una tarjeta de 32GB para almacenar los datos obtenidos.



Figura 3-6 Configuración de parámetros del escáner láser FARO® FOCUS^{3D} X 330

Una vez encendido el escáner láser, y al finalizar las comprobaciones, se podrá visualizar el menú principal, con el que interactuaremos directamente gracias a la interfaz táctil del escáner láser.

3.3.4.1 Nuevo proyecto de escaneo

Desde el menú principal, se deberá seleccionar la opción “Manage”, para acceder a las distintas opciones de administración. Seleccionaremos Proyectos, abriendo una vista de todos los proyectos guardados en la tarjeta de memoria.

Para añadir un proyecto, deberemos hacer clic en el botón añadir (+) y editar el nombre del proyecto que se desea realizar; en este caso, PDA.

3.3.4.2 Configuración del escáner

El escáner láser FARO® FOCUS^{3D} X 330 presenta diferentes opciones de resolución y nivel de detalle a la hora de realizar un escaneo. Haciendo clic desde el menú principal en la opción Parámetros, se podrá configurar:

- Perfil seleccionado: Permite escoger el tipo de escaneo en función de la naturaleza del espacio a escanear. (Interiores desde/hasta 10 metros, Exteriores desde/hasta 10 metros).
- Escaneo con color: A modo de botón ON/OFF, se podrá seleccionar la captura de color dentro de cada uno de los escaneos, aumentando el tiempo de escaneo de manera considerable.
- Resolución y calidad:
 - Resolución: La resolución resultante. Se puede elegir entre 1/1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20 y 1/32.

- o Calidad: Afecta a la calidad de escaneo. A más calidad, mayor tiempo de escaneo para una misma resolución.

La combinación de los dos parámetros anteriores resulta en un tiempo determinado de duración para cada escaneo, su tamaño en puntos verticales y horizontales, el tamaño en megapuntos y la separación, en milímetros, de dos puntos en una distancia de escaneo de 10 metros [20].

Atendiendo a la tabla de tiempos que nos proporciona el fabricante (Anexo con las tablas), y dado el número de escaneos a realizar, se opta por:

- Perfil seleccionado: Exterior desde 10 metros para exteriores e interior hasta 10 metros para las distintas compartimentaciones del edificio.
- Escaneo con color: Activado.
- Resolución y calidad:
 - o Resolución: 1/5
 - o Calidad: 3x

Esta configuración resultará en una duración de escaneo de 08:48 [mm:ss] o 07:51 [mm:ss] en función del perfil seleccionado (exterior o interior, respectivamente), con 28,4 MPuntos y una separación de 6.136 milímetros entre dos puntos a 10 metros de distancia de escaneo.

3.3.5 Escaneo

Una vez configurado el escáner láser FARO® FOCUS^{3D} X 330, se deberá comprobar que se dispone de las condiciones adecuadas de luz para maximizar la captura de color en los escaneos, además de procurar la mínima interacción con el escáner láser durante la toma de datos, ya que cualquier movimiento (paso de una persona/movimiento accidental del escáner láser), generará distorsiones que deberán ser tratadas en el postprocesado [21].

Además, a la hora de tomar datos en interiores, se procurará mantener un nexo común con la unión del compartimento a escanear y la posición de escaneo previo, para la obtención de puntos homólogos de cara a su registro. Para ello, a la hora de escanear una habitación, por ejemplo, se deberá mantener una puerta abierta, que permita obtener puntos de un escaneo anterior. Realizadas las comprobaciones, se procederá a colocar el escáner láser en cada una de las posiciones de escaneo escogidas y hacer clic en “Start Scan”.

3.3.6 Importación de datos

Cuando se realiza un escaneo, se guarda un archivo con extensión .fls dentro de la tarjeta de memoria. Finalizado un periodo de escaneo, la tarjeta de memoria se conecta a un ordenador, donde se volcarán tantos archivos con extensión .fls como escaneos se hayan hecho.

Este tipo de extensión es exclusiva del fabricante FARO®, con lo cual se deberá trabajar con el software propio del escáner láser FARO® FOCUS^{3D} X 330, que es el SCENE®.

3.3.6.1 Nuevo proyecto en SCENE®

La pantalla principal de SCENE® se divide en cuatro pestañas, coincidentes con las distintas fases del procesado de una nube de puntos, la importación, el procesado, la exploración y, por último, la exportación de los datos hacia software de terceros.

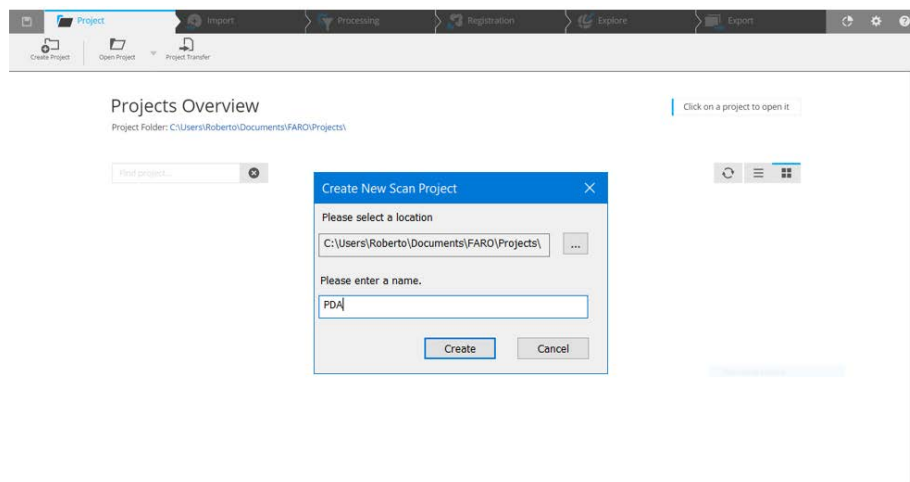


Figura 3-7 Creación de un nuevo proyecto en SCENE

En primer lugar, en la pestaña Proyecto, se deberá seleccionar la opción Crear proyecto, asignándole una localización y un nombre. Se guardará en formato .lsproj

3.3.6.2 Visualización de la nube de puntos

La pestaña Importar ofrece la posibilidad de seleccionar todos los escaneos en formato .fls y soltarlos dentro del software. Esta acción precargará los escaneos seleccionados dentro de SCENE®

Para poder trabajar dentro de cada una de las nubes de puntos, dentro de la pestaña Importar, se deberá hacer clic derecho sobre Escaneos, seleccionar Nube de puntos y hacer clic en Crear nube de puntos. Se abrirá un cuadro con opciones para la creación de dicha nube de puntos, en la que se deberá seleccionar la opción de “colorear escaneo”.

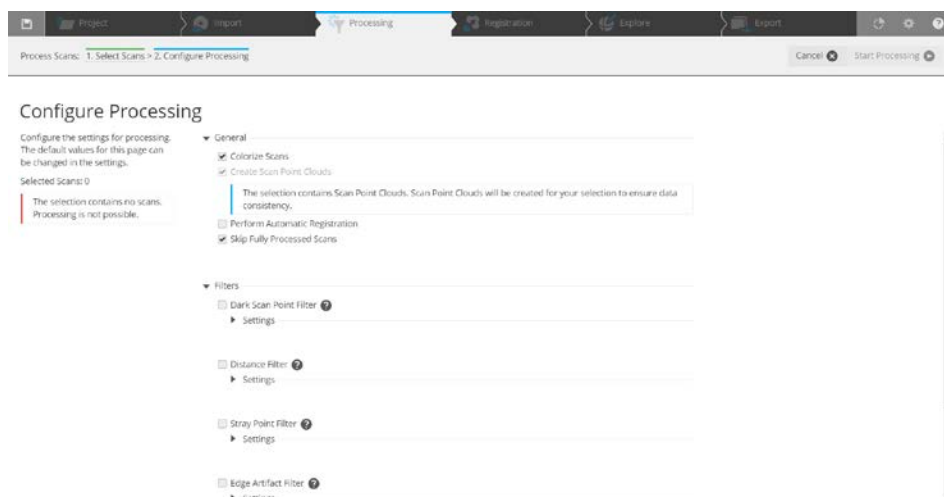


Figura 3-8 Configuración del procesamiento de escaneos

Este proceso recopilará todos los datos presentes en cada archivo .fls (datos de color, clinómetro, compensación angular, ...). Al finalizar, se podrá visualizar cada una de las nubes de puntos haciendo clic en Vista 3D dentro de la pestaña Explorar. También se podrá acceder a las diferentes fotografías que el escáner láser toma a lo largo de cada escaneo.

3.3.7 Exportación de datos a formato ASCII (.xyz)

La cuarta y última pestaña dentro de SCENE® permite guardar los datos procesados en otros formatos compatibles con los distintos programas destinados a la adquisición y procesamiento de datos LiDAR.

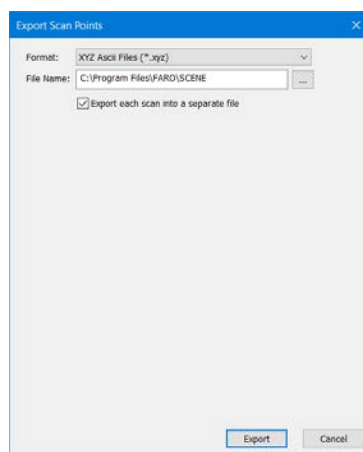


Figura 3-9 Exportación de datos en formato ASCII

Para comprender los pasos realizados a continuación, es necesario hacer un inciso.

La siguiente fase dentro del presente trabajo comprende el registro de las nubes de puntos y la utilización de las mismas para la obtención de las medidas necesarias para comenzar la reproducción del edificio objeto. Para ello, el software a utilizar es RIEGL RiSCAN Pro. Por compatibilidad, se deben exportar las nubes de puntos a formato ASCII. Por tanto, dentro de la pestaña Exportar en SCENE®, se hará clic derecho en Escaneos, seleccionando Exportar, Escaneos y Nube de puntos – Desordenada.

Se abrirá un menú con dos desplegables. En el primero de ellos, Formato, se seleccionará XYZ ASCII Files (.xyz). El segundo servirá para definir la ubicación de los archivos. El programa también ofrece la posibilidad de separar cada uno de los escaneos en un archivo .xyz, lo cual será útil para el trabajo en RiSCAN Pro.

3.4 Registro

3.4.1 Introducción

El registro de nubes de puntos consiste en el cálculo de puntos comunes entre nubes [22], con el fin de evitar huecos en el modelo, conseguir una densidad de puntos mayor y obtener mejores resultados. Durante este apartado se explicará de manera detallada el procedimiento que se ha seguido para el registro parcial de los datos con el uso del software RIEGL RiSCAN Pro.

3.4.2 Importación de datos

3.4.2.1 RiSCAN Pro

RiSCAN Pro es un programa diseñado para captura de datos y tratamiento de los mismos, es decir, el propio programa permite realizar el trabajo de campo y el trabajo posterior.

El programa tiene en su parte izquierda una estructura de árbol, donde se almacenan los datos de campo importados, las imágenes complementarias, las dianas de puntería registradas, que en este caso no se han utilizado, puntos de referencia y puntos GPS.

Además, en su apartado de tratamiento de datos, RiSCAN Pro tiene entre sus funciones la visualización 2D y 3D de las nubes de puntos, eliminación de ruido, fusión entre nubes (registro), filtros para suavizar las nubes, georeferenciación, secciones, texturización.

En la pantalla principal se encontrarán las siguientes ventanas:

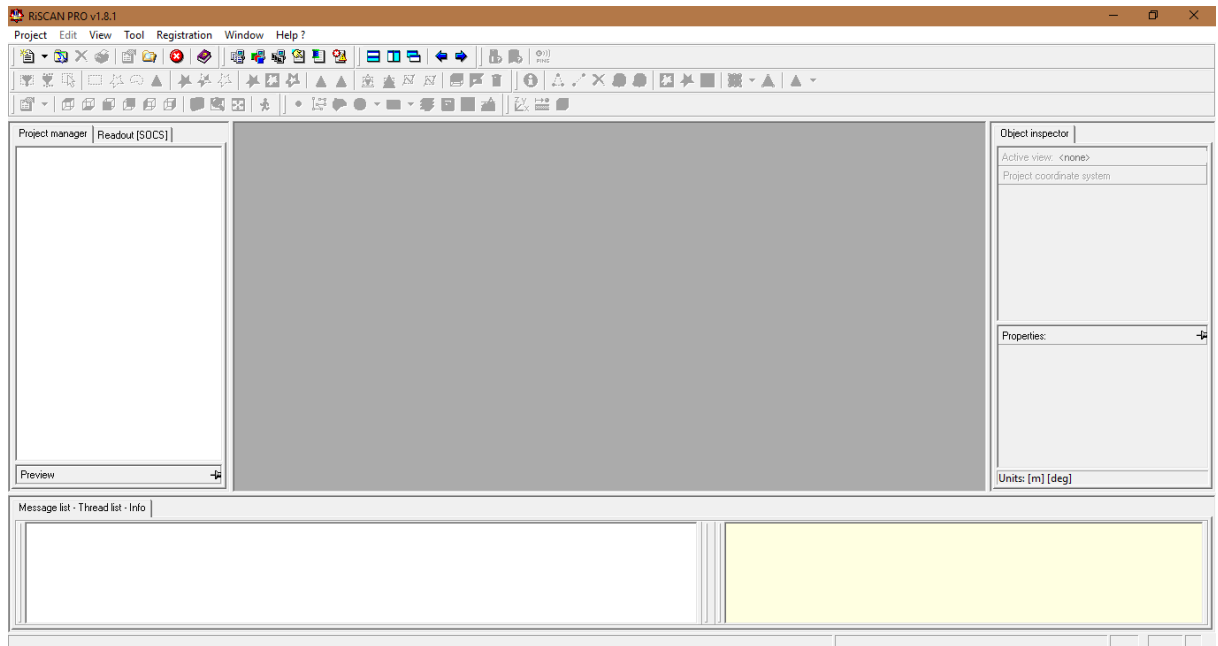


Figura 3-10 Pantalla principal RIEGL RiSCAN Pro

- Menú principal: Menú con estructura de barra de herramientas, donde se encuentran comandos de gestión de proyectos y tratamiento de datos, selección y eliminación de daños, creación de objetos, etc...
- Project manager: Menú con estructura de árbol, donde se guarda la información relativa al proyecto activo (datos de escaneo, matrices de unión, datos de filtrado, ...)
- Message list window: Registro de mensajes creados por cada una de las funciones de RiSCAN Pro.
- Threat control window: Muestra una crónica de los procesos en curso y finalizados.
- Mean working area: Área de trabajo, para visualizar y manipular los datos.

3.4.2.2 Nuevo proyecto en RiSCAN Pro

Antes de comenzar a tratar los datos, se debe realizar una copia de los mismos, para evitar tener que repetir la toma de datos en caso de que existiese algún problema.

Desde el menú principal, se debe seleccionar la opción Create New Project, donde se escogerá la localización y nombre del proyecto en formato .rsp. En la ventana Project Manager aparecerá el proyecto recién creado, desglosado en varias carpetas en función del tipo de información.

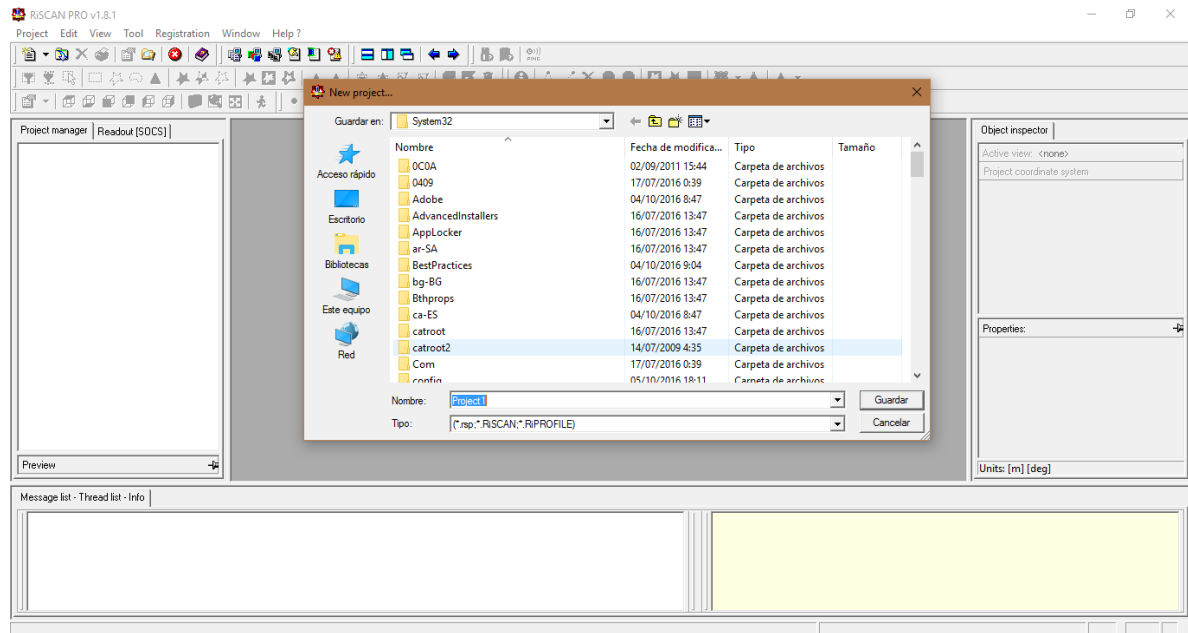


Figura 3-11 Creación de un nuevo proyecto en RiSCAN Pro

Para poder importar los archivos que han sido previamente exportados a formato ASCII (.xyz), se deberá hacer clic derecho en Scans, donde se deberán crear tantas posiciones de escaneo como archivos ASCII se tengan. Dentro de cada posición de escaneo, se dispondrá de un menú con los distintos datos asociados a cada una de las posiciones de escaneo. Dado que los datos a importar no son propios de la interfaz de adquisición de RIEGL RiSCAN Pro, se deberán cargar en la sección “POLYDATA”.

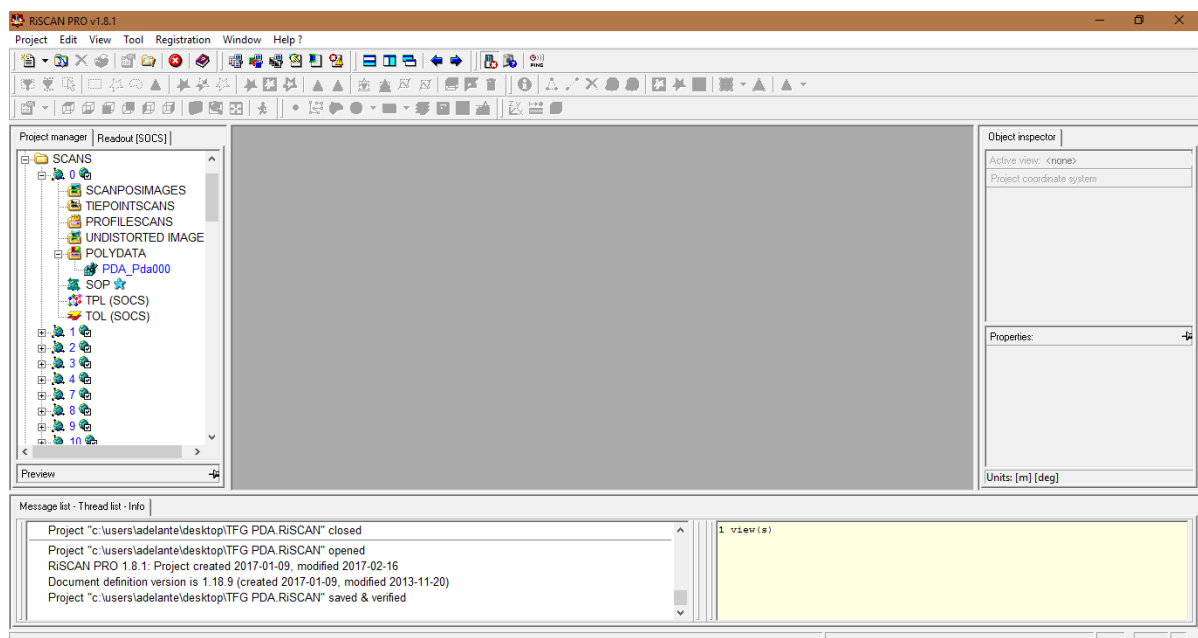


Figura 3-12 Importación de datos ASCII en RiSCAN Pro

A continuación, se podrán visualizar los datos recogidos por el láser escáner, recogidos en una tabla con valores numéricos. El siguiente paso es asignar cada una de las columnas de la tabla a una de las coordenadas. Puesto que se han realizado escaneos con color, la tabla presentada contará con siete columnas, que corresponden, en este orden, a las coordenadas X, Y, Z, colores ROJO, VERDE, AZUL y valores de Intensidad, atributos descritos en el apartado 2.1.1.

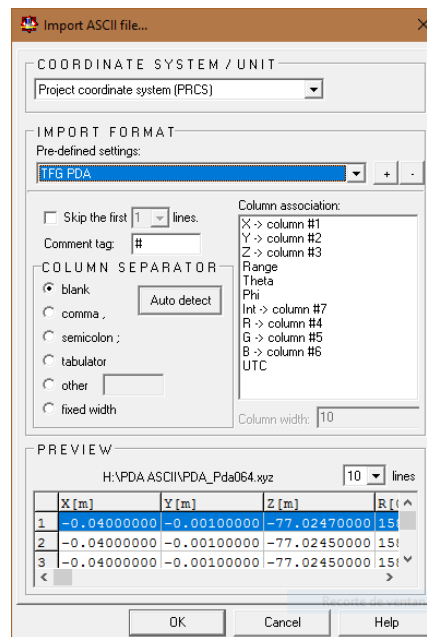


Figura 3-13 Asignación de columnas de datos

Una vez asignadas las columnas, RiSCAN ofrecerá la posibilidad de visualizar cada uno de los datos importados en forma de nube de puntos. Para ello, ofrece las siguientes posibilidades:

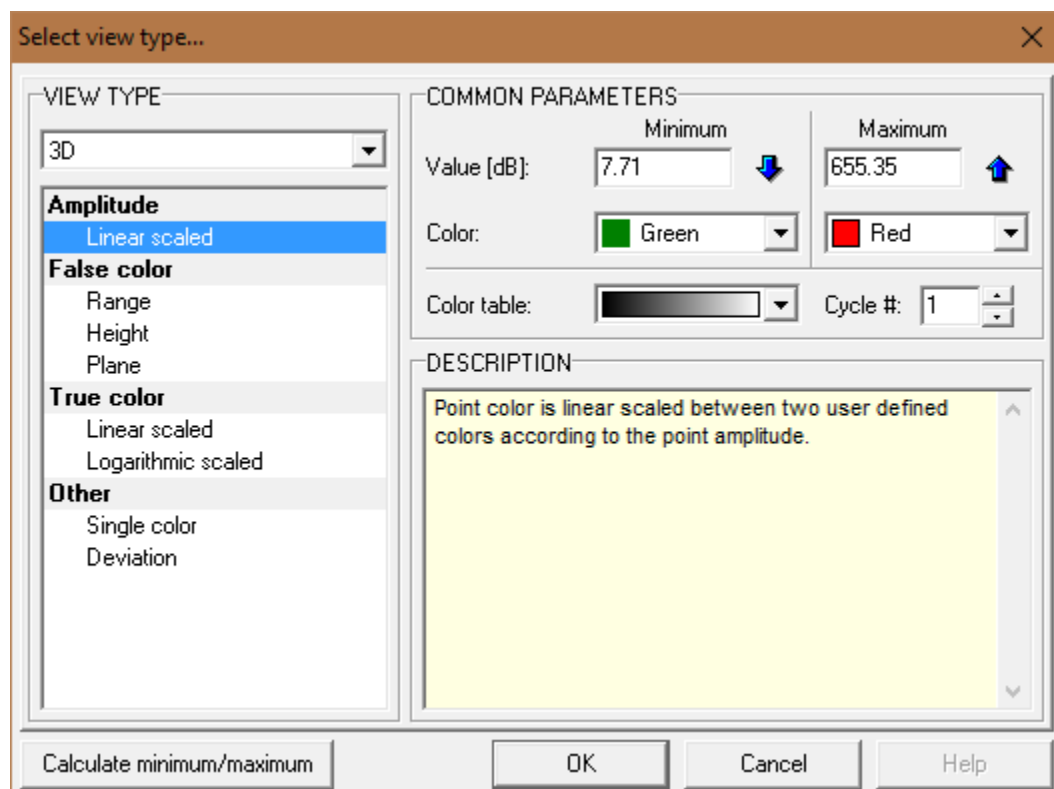


Figura 3-14 Configuración de opciones de visualización en RiSCAN Pro

- Amplitud: El color de cada uno de los puntos se escala entre dos colores definidos por el usuario, de acuerdo con la amplitud de los puntos.
- Falso color:
 - Distancia: El color de cada punto viene determinado por distancia entre cada uno de los puntos y el origen de coordenadas.

- o Altura: El color de cada punto se determina con la altura del punto con respecto al plano X-Y del sistema de coordenadas seleccionado.
 - o Plano: El color de cada punto se basa en la distancia entre la proyección normal del punto con el plano definido.
- Color verdadero:
 - o Escalado lineal: El color de cada punto se coge de los datos de color verdadero de los archivos importados.
 - o Escalado logarítmico: El color de cada punto se coge de los datos de color verdadero de los archivos importados. (Aplicando una escala de colores logarítmica)
- Otros:
 - o Único color: Todos los puntos tienen el mismo color.
 - o Desviación: El color de cada uno de los puntos se escala entre dos colores definidos por el usuario, de acuerdo con la desviación entre los mismos.

De cara al registro de los datos obtenidos, las dos opciones que se han escogido para trabajar son Amplitud y Color verdadero escalado lineal, que nos permite trabajar con todas las variables presentes en los datos obtenidos (Coordenadas, intensidad y color).

3.4.2.3 Registro de nubes de puntos

Finalizada la importación de cada uno de los archivos de manera individual, se procede a unir las nubes de puntos que representan, con la finalidad de reducir los huecos y sectores ciegos dentro de cada escaneo, obteniendo una mayor densidad de puntos y, en consecuencia, unos mejores resultados. Esta operación se denomina registro. La operación de registro llevada a cabo en RiSCAN es parcial, esto es, se ha realizado el registro de pares de nubes, ya que su función será la obtención de medidas para comenzar el modelado del edificio “Príncipe de Asturias” de manera indirecta.

El primer paso para comenzar el registro es fijar una de las posiciones de escaneo, que en este caso es 0. Para ello se hará clic derecho sobre 0, seleccionando la opción Registered y Activated, que se confirmará mediante un check azul. Para poder trasladar y rotar otras nubes de puntos sobre esta primera, se deberá fijar la matriz de rotación y posición (SOP), haciendo clic derecho sobre “SOP” para seleccionar la opción Freeze, que se confirmará con una estrella azul.

Desde el menú principal, se seleccionará la herramienta Coarse Registration, que generará una ventana con dos apartados diferenciados: VISTAS Y PARES DE PUNTOS. En el primer apartado, VISTAS, existen dos recuadros, Vista A y Vista B. Estas dos vistas corresponden a las dos nubes de puntos que se desean unir. Evidentemente, la primera de las vistas será aquella que hemos fijado, ya que no se moverá ni rotará, se dejará como referencia.

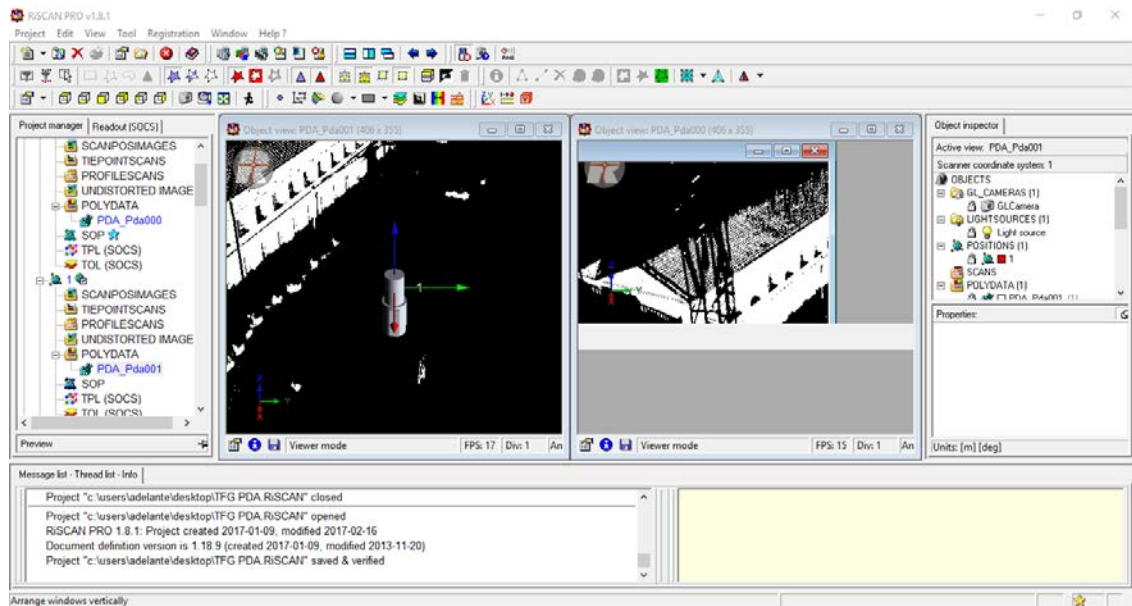


Figura 3-15 Pantalla dividida en RiSCAN Pro

Cuando se seleccionan las dos nubes de puntos a unir, se activa de manera automática el segundo apartado, PARES DE PUNTOS. En este apartado existen dos modos de selección de puntos homólogos, Punto más cercano y Punto en superficie. La opción punto más cercano seleccionará el punto dentro de la nube que se encuentre más cerca de la posición señalada por el ratón, mientras que la opción Punto en superficie seleccionará el punto más cercano a la posición señalada por el ratón dentro de la superficie presentada, lo cual presenta una ventaja, pues se reducirá la probabilidad de seleccionar un punto que se encuentre por detrás de la superficie deseada.

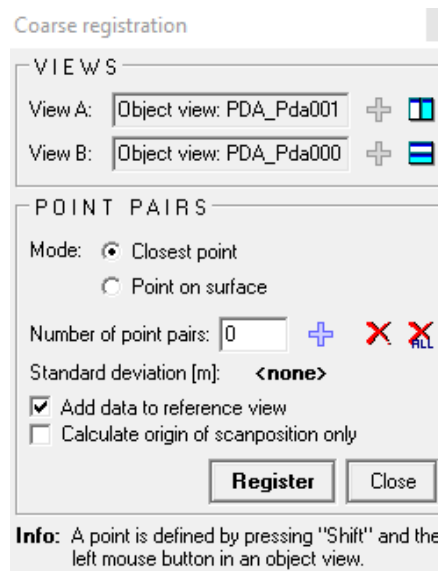


Figura 3-16 Ventana de registro de nubes de puntos en RiSCAN Pro

Para la obtención de puntos homólogos, se buscan elementos característicos dentro de cada nube, como esquinas, bordes o ventanas, definiendo puntos homólogos en diferentes alturas y marcaciones, lo cual resulta en una tarea costosa si no se cuenta con elementos de precisión como las dianas de puntería.

Una vez se señalan dos puntos homólogos, deberán añadirse al apartado PARES DE PUNTOS, haciendo clic en la cruz azul que aparece al lado de Número de Pares de Puntos. Cada registro deberá incluir, como mínimo, cuatro puntos homólogos.

Después de cada registro, se obtendrá la desviación estándar del mismo. La desviación estándar es un indicador de dispersión, que limita el alejamiento entre los puntos y el valor promedio.

$$\sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

X_i = Dato que está entre 0 y n.

X_{prom} = Promedio de los datos.

n= Número de datos.

Dado que el objetivo de este registro es la obtención de medidas exactas para el comienzo del modelado, se busca la máxima precisión, limitando la desviación estándar a 2 centímetros como máximo. Las nubes registradas se mostrarán como Registered Scans, que podrán ser guardadas en el apartado Views/Registered Scans dentro del menú Project Manager. Este procedimiento se repite para cada uno de los 85 escaneos realizados, formando un total de 55 pares de nubes de puntos.

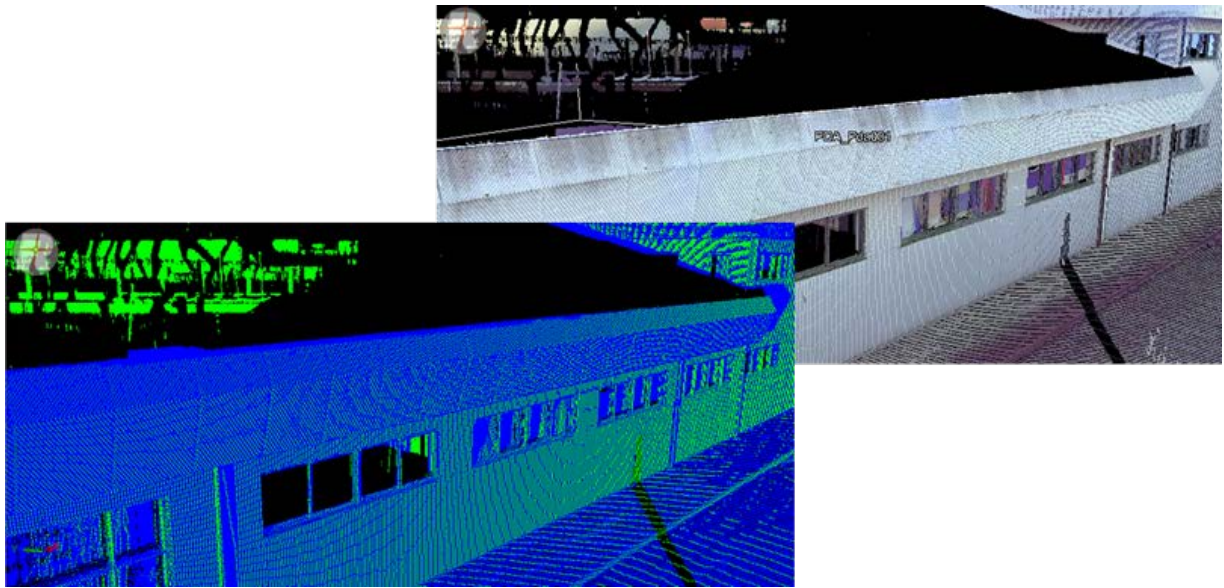


Figura 3-17 Ejemplo de registro de datos de exteriores

La visualización de las nubes de puntos ofrece una visión clara de los datos que se aportan desde cada posición de escaneo, existiendo solapamiento entre las nubes tras el registro. La presentación de las nubes de puntos procedentes de posiciones de escaneo situadas en los exteriores del edificio, contribuyen a la generación de las distintas fachadas del edificio “Príncipe de Asturias”. Sin embargo, la caracterización del edificio en el interior, a través del tratado de tomas de datos procedentes de las distintas compartimentaciones, proporciona una visión poco común que garantiza la fiel reconstrucción del modelo, con su posterior empleo en simulaciones y cálculos. Esto tiene especial importancia a la hora de realizar cálculos de interiores, de naturaleza acústica, lumínica, térmica o incluso estructural, porque pueden existir materiales en el interior del edificio que contribuyen al sustento del edificio.

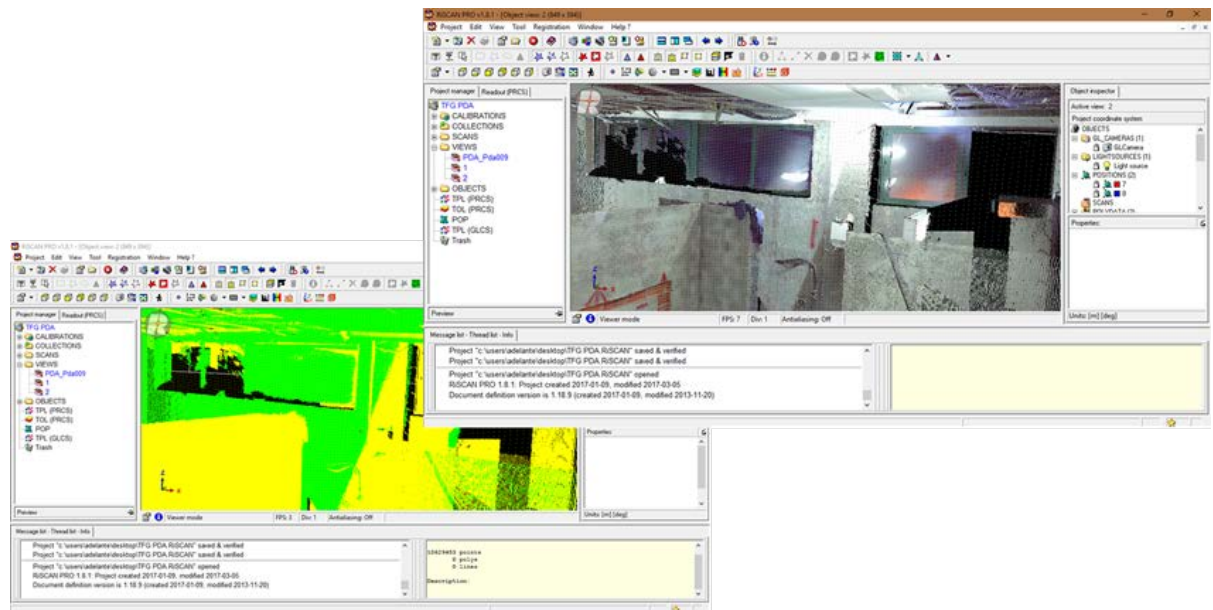


Figura 3-18 Ejemplo de registro de datos de interiores

3.5 Mediciones

3.5.1 Introducción

El primer método empleado para comenzar el modelado del edificio “Príncipe de Asturias” consiste en la obtención de las medidas necesarias para crear las distintas formas de sus compartimentaciones, con el uso de las herramientas que proporciona el software RiSCAN Pro. De esta manera, se ha podido trabajar de manera simultánea en toma de datos, registro y comienzo del modelado.

La intención de este apartado es describir el procedimiento que se ha realizado para la toma inicial de medidas, que servirá como base para modelar, hasta completar todos los escaneos necesarios y poder modelar directamente sobre la nube de puntos.

3.5.2 Procedimiento

Una vez se ha procedido a registrar dos nubes de puntos de manera satisfactoria, se podrá proceder a tomar medidas dentro de la nueva nube generada. Para ello, en la barra de herramientas de RiSCAN Pro existe una función denominada Measure distance between two points.

La ventana emergente presenta dos maneras de realizar las mediciones, Punto-Punto y Punto-Plano. En la primera opción se deberá seleccionar un punto de inicio y un punto final, mientras que en la opción Punto-Plano se deberá seleccionar un punto dentro de la nube y un plano, que deberá ser definido previamente por 3 puntos. Ambas opciones presentan, al igual que en el proceso de registro, la opción de seleccionar el punto más cercano al marcado por el cursor, o elegir el punto más cercano dentro de la superficie seleccionada por el cursor. Mediante el comando Create distance se obtendrá la distancia entre los puntos elegidos y su vector normal.

3.5.2.1 Uso de las diferentes vistas

Existe una problemática a la hora de determinar con exactitud los puntos a seleccionar dentro de la nube de puntos, pues la presencia de ángulos y bordes irregulares hace que esta tarea no resulte tan simple.

A modo de ayuda, se ha utilizado otra de las herramientas presentes en el programa, que permite obtener con facilidad las diferentes vistas dentro de una visualización.

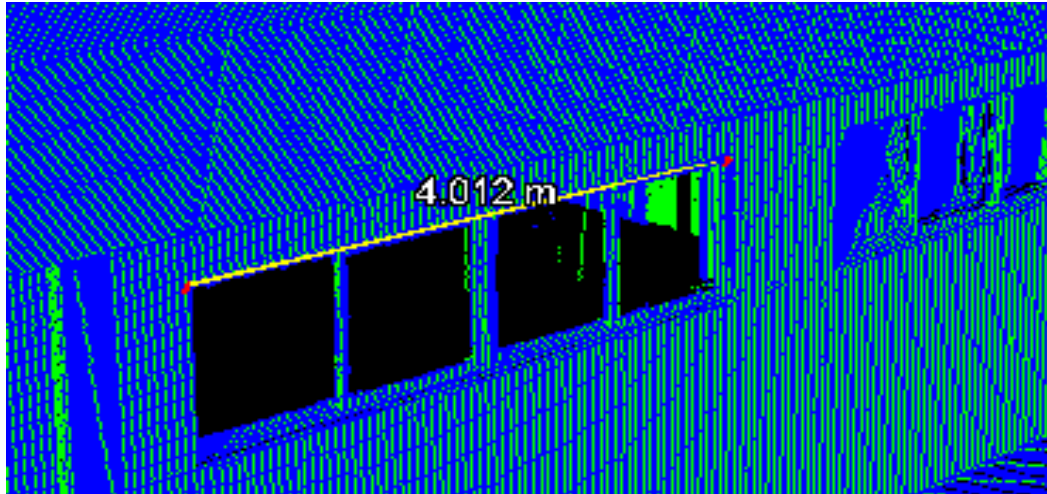


Figura 3-19 Medición en registro de nubes de exteriores

La naturaleza de las nubes de puntos generadas al aire libre, hace que estas sean mucho más nítidas dada la dispersión de los haces láser, lo que facilita la labor de medición en el interior de una nube de puntos. Sin embargo, una toma de datos realizada en el interior de un compartimento, se verá afectada por el continuo rebote de los haces láser, lo que generará distorsiones en la nube de puntos resultante, que vendrá presentada de una manera densa y que propiciará a errores de medición durante dicha fase.

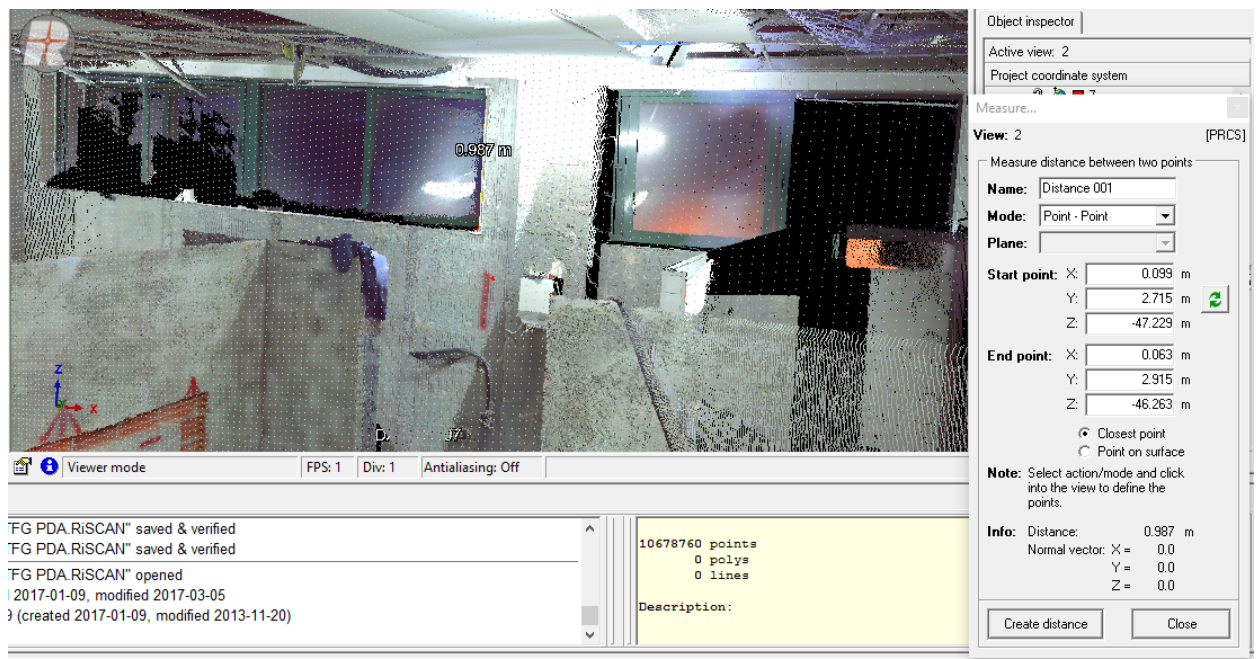


Figura 3-20 Medición en registro de nubes de interiores

Los sistemas de representación están basados en la proyección cilíndrica ortogonal, que es aquella en la que los haces de líneas proyectantes son perpendiculares al plano. Desde los diferentes puntos de visualización, se podrá determinar de manera objetiva su estructura, definiendo la forma del objeto mediante la mejor observación individual de cada una de sus partes [23].

3.5.2.2 Corte de planos

Para determinar de manera precisa la equivalencia de cada uno de los puntos dentro de la nube con respecto a la realidad, se opta por comprobar cada uno de los pares de puntos seleccionados para realizar las mediciones, mediante la intersección de dos planos separados 90°.

Dos planos P y Q generarán en su intersección una recta I. Para obtener dicha recta, se calcularán las rectas de intersección R, S, T y F de los dos planos con dos planos auxiliares W y X. Para obtener la recta, bastará con unir los puntos de intersección de las rectas de intersección de un plano auxiliar.

3.6 Dibujar sobre el modelo

3.6.1 Introducción

Una vez se toman todos los datos procedentes de las posiciones de escaneo designadas, se procede al registro total de los datos, para el cual se empleará, por cuestiones de compatibilidad y capacidad computacional, Autodesk ReCap 360.

Autodesk ReCap 360 presenta una interfaz sencilla, que guía al operador a lo largo de todo el proceso de tratamiento de datos, registro y exportación. Este último aspecto es el más interesante de cara al desarrollo del trabajo pues, siendo una herramienta de la misma suite que Revit, no presenta problema alguno a la hora de trabajar entre los dos programas [24].

Como se ha explicado en el apartado correspondiente, los datos obtenidos requieren cierto procesamiento antes de consolidarse como una única representación 3D. Con el proceso de registro se busca alinear cada uno de los escaneos, obteniendo así un sistema común de coordenadas. ReCap organiza sus escaneos en grupos de registro conforme se van realizando uniones de nubes de puntos. De esta manera, el primer paso consistirá en agrupar todas las nubes de puntos dentro de un único grupo de registro.

En la última entrega del programa, se incorporan numerosas novedades, que facilitan en gran medida la labor del usuario. Una de las actualizaciones más importantes tiene que ver con el registro de los datos obtenidos, y es la Sugerencia Automática. Si dos escaneos tienen un área de puntos homólogos claramente definida, el programa buscará y detectará la orientación estimada para registrar las dos nubes de puntos.

Para comprobar cada sugerencia, se debe colocar el ratón encima del cuadro de sugerencias. Se obtendrá una vista en color naranja sobre el grupo de registro de la izquierda (fijo). El usuario podrá aceptar o descartar dicha sugerencia.

3.6.2 Procedimiento

3.6.2.1 Nuevo proyecto en ReCap

Desde la pantalla de presentación de ReCap, se podrá escoger entre una gran variedad de opciones, siendo los comandos principales aquellos que inician o cargan un nuevo proyecto. Dentro de estos, se distingue entre los proyectos de escaneo y los proyectos de fotografía. Debido a la naturaleza de los datos obtenidos para la realización del presente trabajo, se deberá seleccionar un nuevo proyecto de escaneo. En la ventana emergente se indicará el nombre y localización del proyecto.

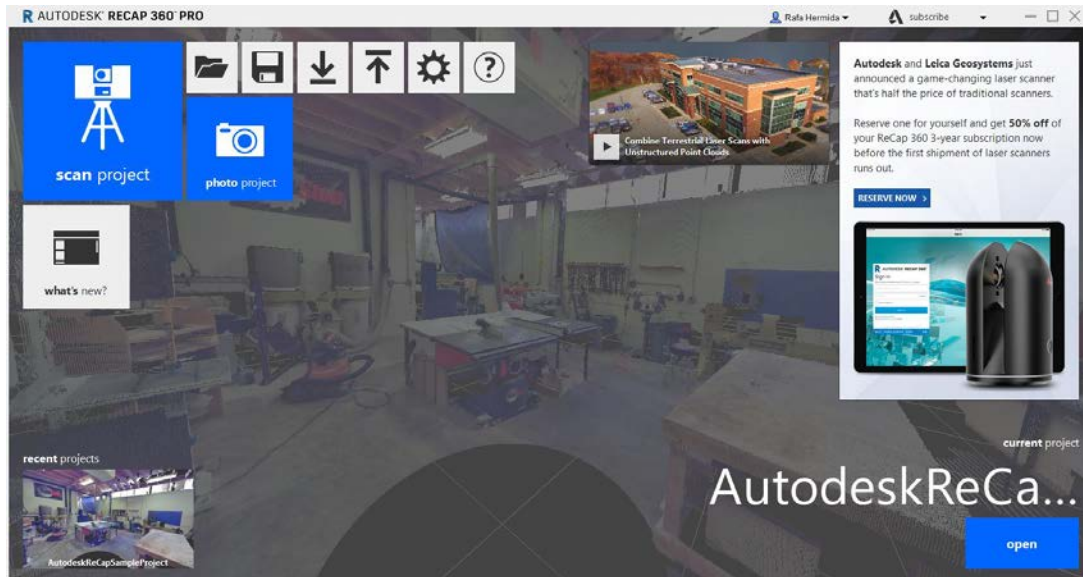


Figura 3-21 Pantalla de presentación de Autodesk ReCap 360 Pro

En la siguiente pestaña, el programa pedirá, de forma análoga a SCENE, que se seleccionen los archivos a importar. Existe la posibilidad de importar directamente los archivos con su extensión inicial.flr, para lo cual, durante el proceso de instalación del software se debe marcar la casilla que instala el plugin compatible con dicho formato (FARO ls). Una vez se seleccionan los datos a importar, se sueltan en la casilla habilitada para tal efecto, comenzando el proceso de importación.

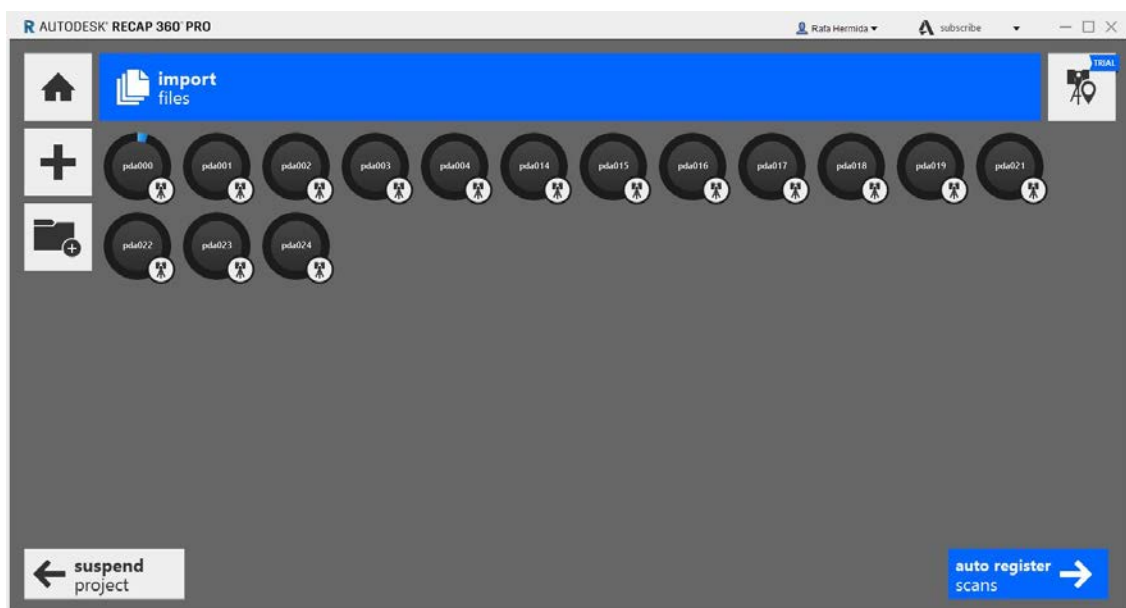


Figura 3-22 Importación de datos

Para la realización del presente trabajo, se ha dividido este proceso en dos partes. La primera de ellas corresponderá al proceso de importación, registro y exportación de aquellas nubes de puntos que representan los exteriores del edificio objeto. La segunda corresponderá al registro de aquellas nubes de puntos que representen las zonas interiores.

3.6.2.2 Registro

Finalizada la importación, el programa solicita permiso al operador para comenzar el registro de nubes de puntos. En este punto, se podrá escoger que el registro se realice de manera automática o

manual. Haciendo clic en registro automático, el programa comienza a buscar puntos análogos entre las nubes de puntos. Cuando se encuentran dichas similitudes, ReCap, de manera automática, clasifica dichas nubes de puntos dentro de un mismo grupo de registro. Aquellas nubes de puntos en que el programa no haya encontrado puntos análogos, se guardarán dentro de un grupo de registro denominado “Sin registrar”. A modo de ejemplo, en el caso de los escaneos exteriores, que consta de 15 escaneos, se obtienen un total de 3 grupos de registro y 3 nubes de puntos sin registrar.



Figura 3-23 Creación de grupos de registro y registro automático

Después del registro automático, se debe proceder a completar el registro de forma manual. Para ello, se dispondrá de una ventana dividida, en la que se presentarán las dos nubes de puntos a unir. Para el registro de las mismas, se deberán seleccionar 3 puntos análogos entre las dos nubes de puntos. Una vez se seleccionan, el programa emite la solución al registro obtenida, que puede ser verde, si la coincidencia es precisa, amarilla, si existe una coincidencia, pero con cierta desviación, roja, si existe una coincidencia con una desviación tal que podría no corresponder a la realidad o negro si no existe coincidencia alguna entre las nubes de puntos.

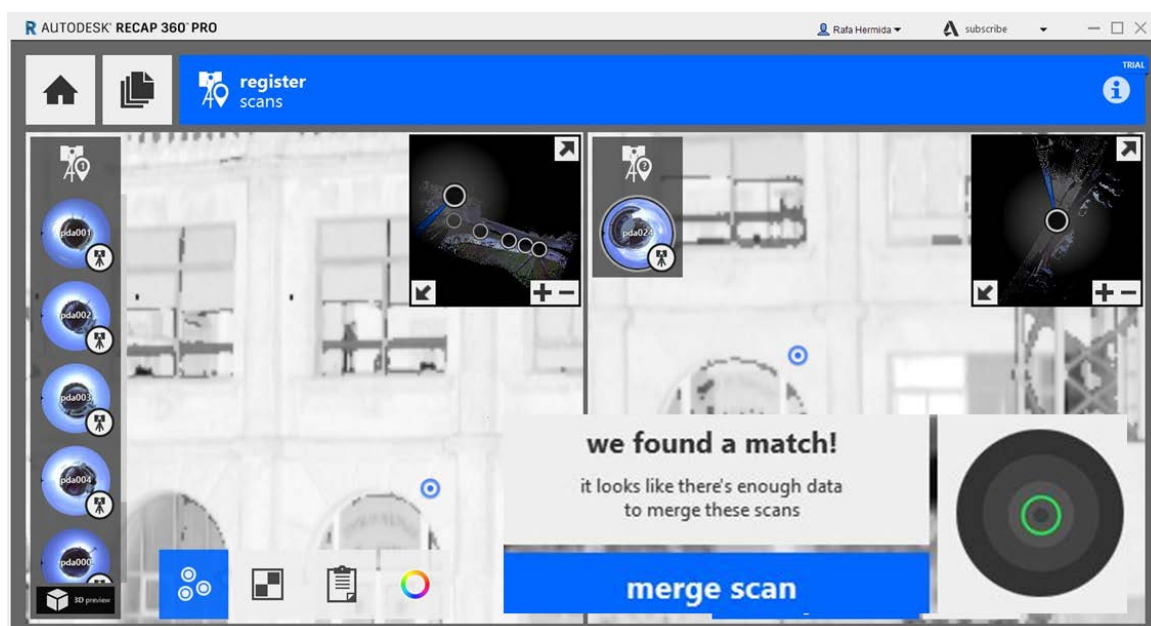


Figura 3-24 Proceso de registro manual

El método de evaluación del registro que tiene el programa tiene en cuenta tres variables. La primera de ellas, solapamiento, mide, en porcentaje, la cantidad de puntos comunes entre las dos nubes de puntos. El segundo, balance, mide el nivel de equilibrio de los niveles de los colores básicos rojo, verde y azul dentro de los puntos análogos encontrados para el registro de los escaneos. Por último, también se evalúa en forma de porcentaje el nivel de puntos cuya desviación dentro del registro es menor a 6 milímetros, representado por Puntos <6mm.



Figura 3-25 Resultado de registro manual

Para la realización del presente trabajo, se establecen como límites un 25% en solapamiento, 60% en balance y 15% en puntos <6mm.

En el momento en que las nubes de puntos importadas pertenecen al mismo grupo de registro, ReCap comienza el proceso de indexado de los mismos, que consiste en recabar toda la información procedente del registro para obtener una única representación con las nubes de puntos debidamente trasladadas.

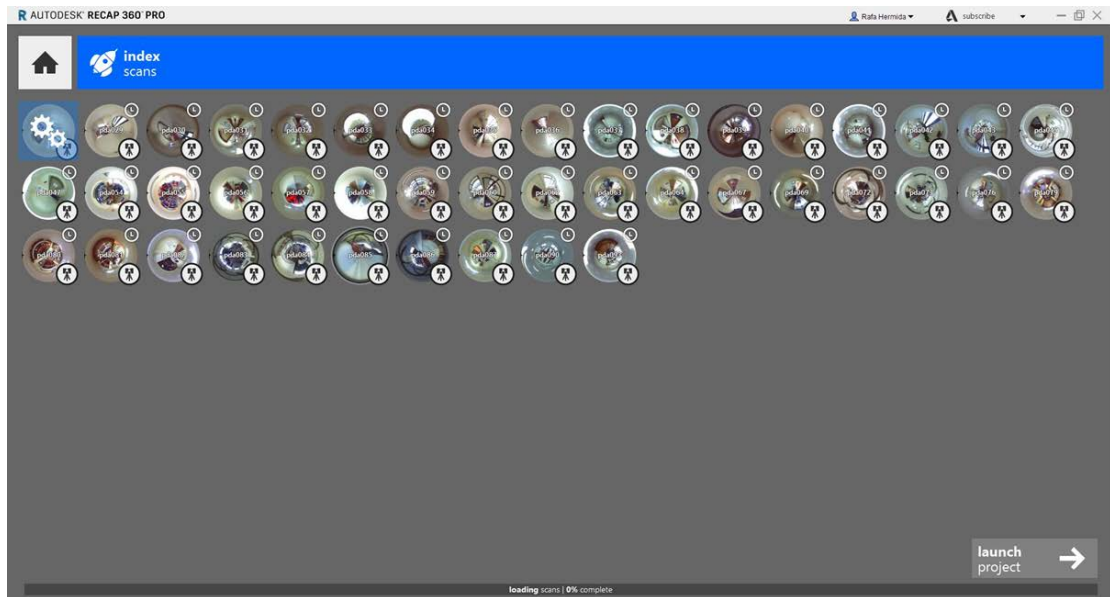


Figura 3-26 Proceso de indexado de datos

El indexado de los datos traslada al usuario a la parte final del proyecto, donde se podrá obtener una visión clara de los resultados generados por el operador en fases anteriores del proyecto de ReCap, donde, además, destaca la gran cantidad de opciones a implementar para la mejora y generación de proyectos encuadrados dentro de otro ámbito (BIM)

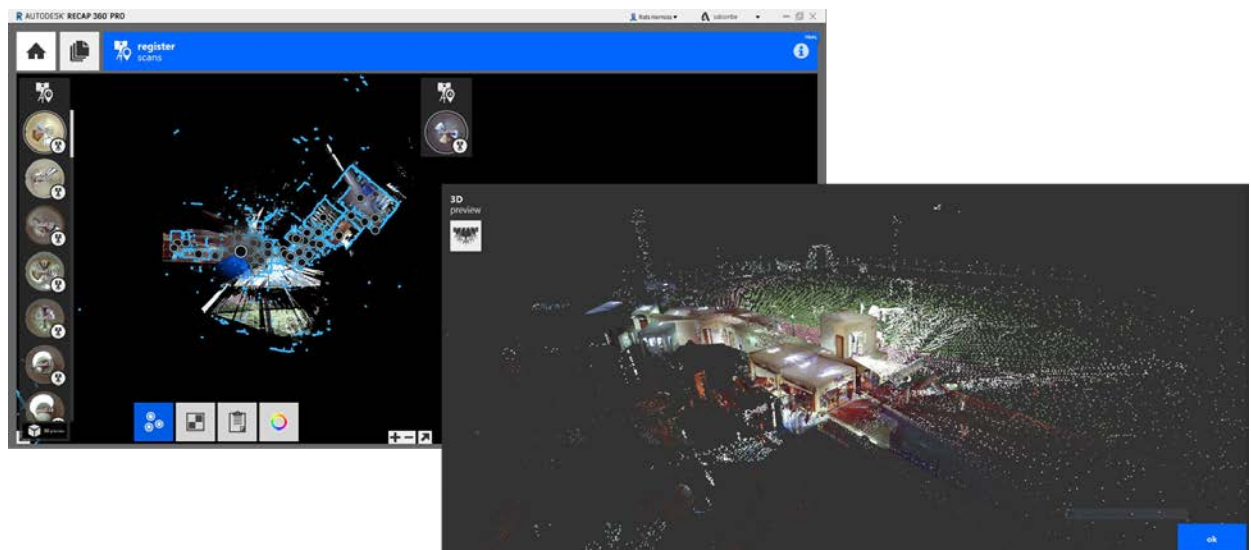


Figura 3-27 Visualización de nube de puntos post-registro

3.6.2.3 Exportación

En la última pestaña del programa, se podrá escoger entre numerosos tipos de representación, e incluso realizar mediciones sobre la nube de puntos final. Dado que las mediciones ya se habían realizado previamente en RiSCAN Pro, en este último apartado lo único que resta es realizar la exportación, para lo cual, desde el menú principal, se deberá hacer clic sobre exportación y seleccionar la exportación en una única nube de puntos.

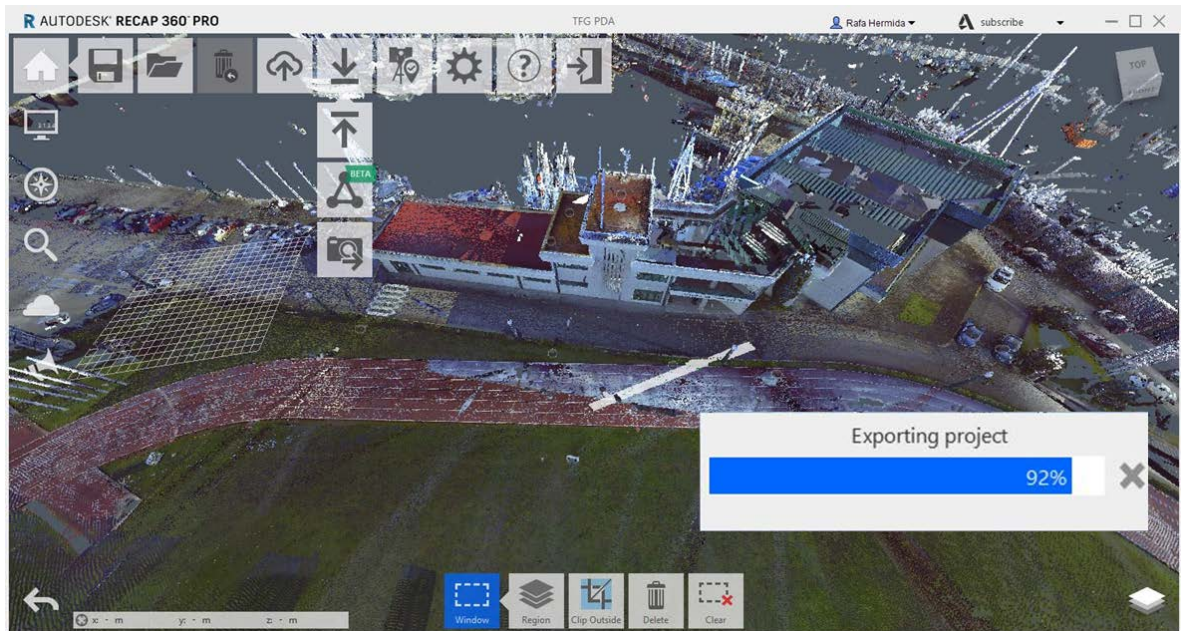


Figura 3-28 Exportación de archivo .rcp

Existe también la posibilidad de exportar los datos en nubes de puntos separadas, pero no es objeto del presente trabajo. Se generará un archivo con extensión. rcp que podrá ser importado dentro de Revit, software a utilizar para la realización del modelado constructivo inteligente.

Otra de las opciones dentro de esta pestaña es la visualización de resultados y sus múltiples opciones de filtrado. A continuación, se presentan figuras extraídas de ReCap en las que, para una misma imagen, se aplican diferentes filtros.

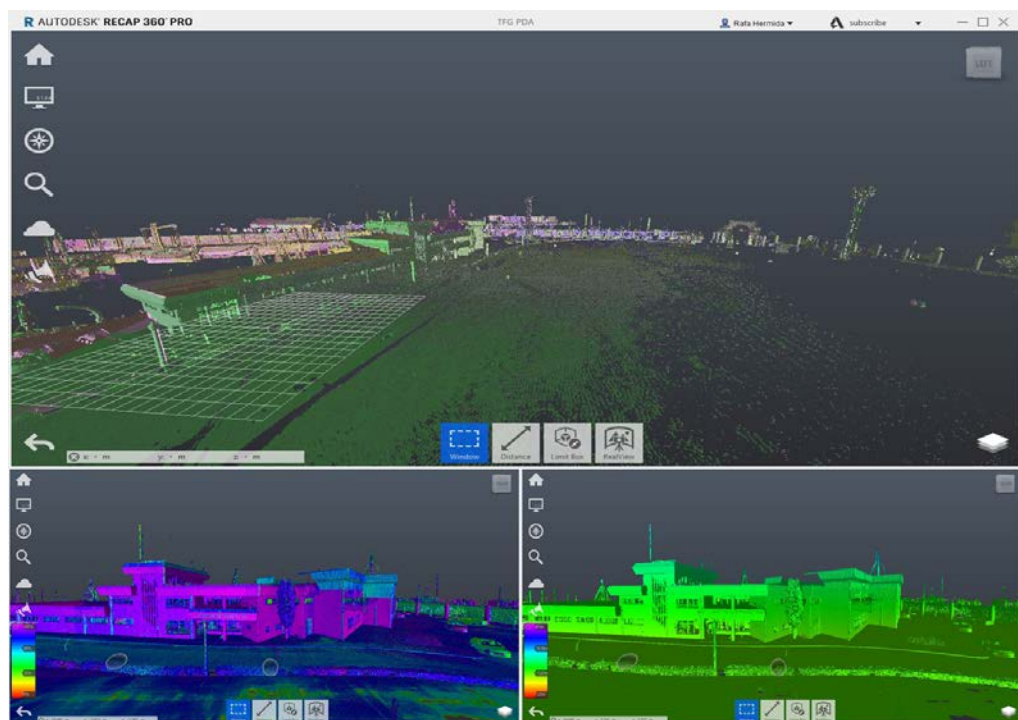


Figura 3-29 Nube de puntos con filtros (a) Posición de escaneo (b) Intensidad (c) Altura

3.7 Modelado

3.7.1 Introducción

El proceso descrito hasta el momento es el que ha servido de base para el cumplimiento del objetivo principal del presente trabajo. Gracias a la toma de datos a partir del escáner láser, su procesamiento mediante el uso de software específico, siendo éste propio del equipo como SCENE, o complementario para realizar el registro de los datos ya sea parcial, con RiSCAN Pro, o totalmente, con ReCap, se han recogido todos los datos necesarios para la realización del modelado del edificio “Príncipe de Asturias”.

A lo largo del siguiente apartado se describirán, de manera detallada, los pasos que se han realizado de cara a la reconstrucción del edificio objeto del presente trabajo.

En primera instancia, se desarrollará el proceso de colocación de los elementos estructurales del edificio, considerando como tales los pilares, vigas y forjados pertenecientes al edificio. En segundo lugar, se describirá el proceso de colocación de cerramientos, particiones interiores y tabiquería.

3.7.2 Pasos previos

La herramienta que se ha utilizado en esta fase proviene de la suite Autodesk. Dentro de sus múltiples softwares, Autodesk se dedica, en Revit, de manera íntegra a la metodología BIM, como ya se ha visto en el apartado 2.3. De cara a la realización de un proyecto, se deberá realizar un trabajo previo, que consiste en determinar los planos, vistas y niveles necesarios para el comienzo del modelado.

Desde la pantalla principal de Revit se realiza la creación y la gestión de los proyectos guardados. Existen, de serie, varios ejemplos en función del tipo de proyecto a realizar. Entre ellos, Revit destaca cuatro: proyectos arquitectónicos, estructurales, mecánicos y de instalaciones. Para comenzar un nuevo proyecto, Revit proporciona plantillas en las que, de manera predeterminada, carga datos previos de vistas y planos en función de la naturaleza del mismo. Así, a partir de una plantilla arquitectónica, se crea el proyecto TFG PDA.rvt.

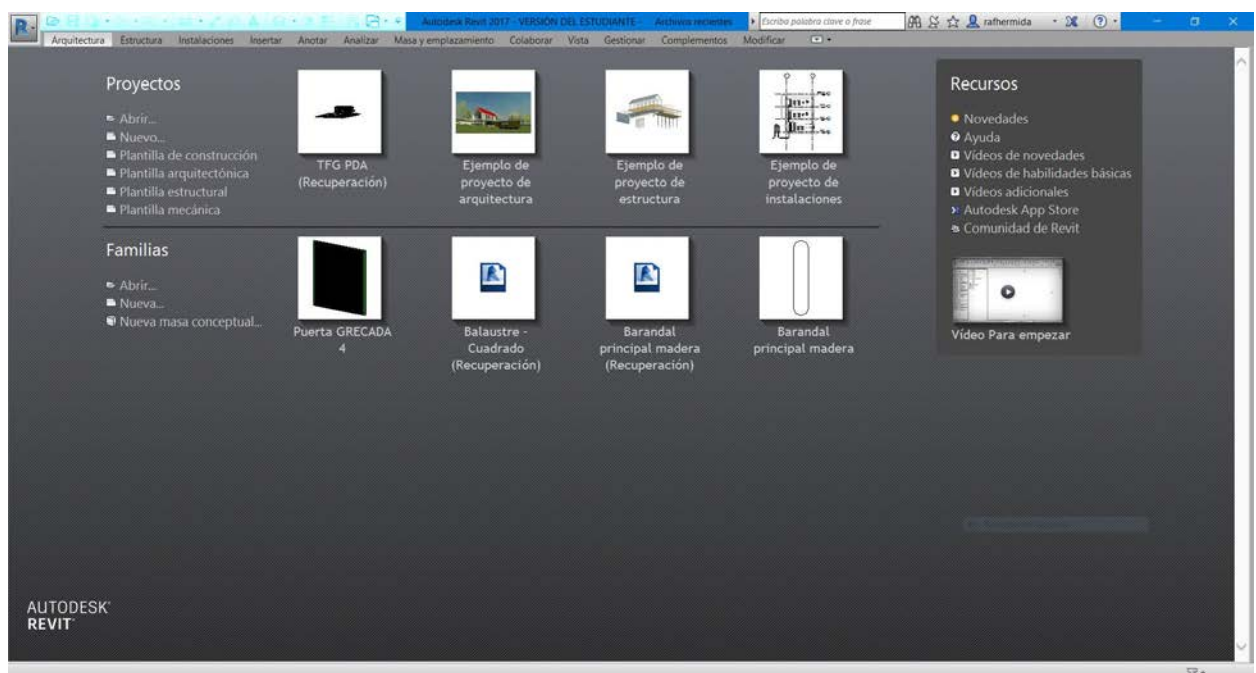


Figura 3-30 Ventana de presentación de Autodesk Revit

En la Figura 3-30, se pueden distinguir los distintos planos y vistas que la plantilla lleva consigo por defecto, pero que será necesario adecuar en función de las necesidades del trabajo. Guarda gran

similitud con el resto de plantillas, pues la diferencia entre ellas parte de las distintas necesidades, en cuanto a planos dentro de la naturaleza de cada proyecto. Así, en la plantilla a utilizar, se determina como planos y vistas necesarias aquellas relativas a niveles, esto es, las diferentes alturas de los distintos pisos o materiales estructurales que componen el edificio [25].

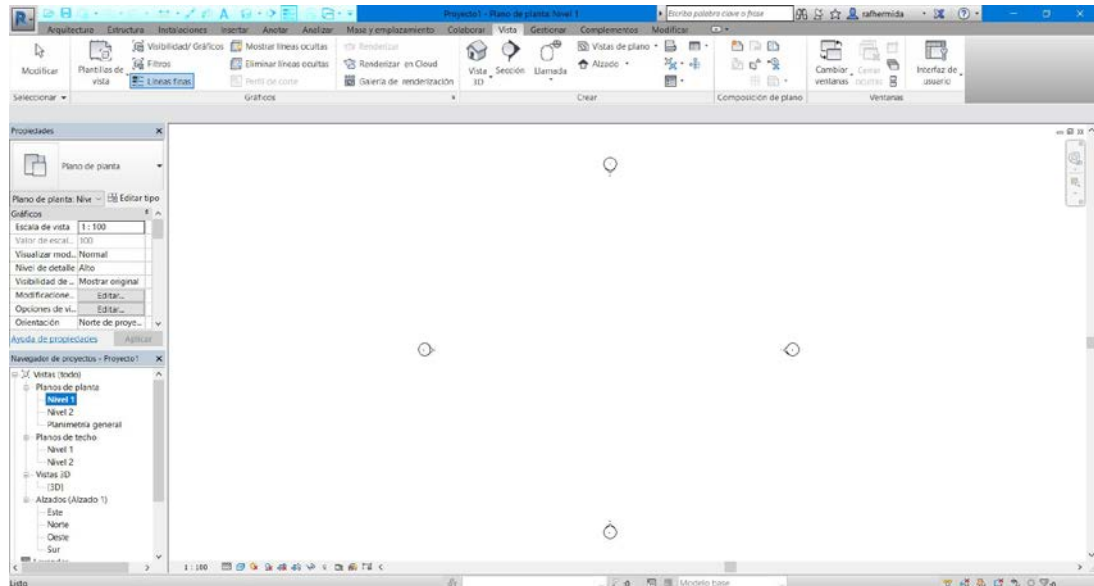


Figura 3-31 Plantilla de construcción

3.7.2.1 Georreferenciación

El objetivo principal del presente trabajo busca la representación fidedigna del edificio “Príncipe de Asturias”. El grado de detalle a alcanzar no busca únicamente una representación en forma, sino un modelo inteligente, esto es, que se puedan llevar a cabo estudios de todo tipo, para lo cual se deberán introducir todas las variables que toman parte dentro de los materiales y entorno que rodea al edificio.

La georreferenciación en Revit permite posicionar espacialmente el edificio, en su localización geográfica real. Este parámetro afectará a todo el proyecto y será útil de cara a la generación de sombras específicas de la ubicación, así como parámetros a considerar para futuros estudios solares y la posterior obtención de imágenes renderizadas. Asimismo, proporciona una base de información meteorológica, que podrá ser utilizada durante el análisis energético [25].

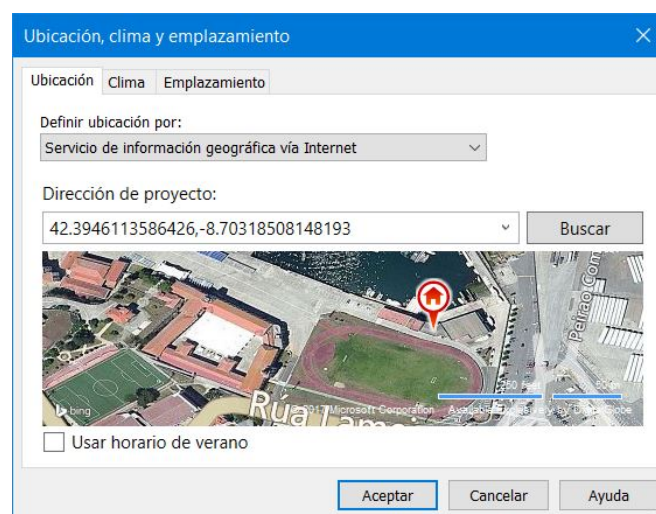


Figura 3-32 Selección de ubicación

Para georeferenciar el proyecto, dentro del submenú Gestionar se utilizará la opción Ubicación, clima y emplazamiento. La pestaña Ubicación permite arrastrar el cursor hacia la ubicación de manera manual. Una vez situado en su correcta ubicación, Revit presenta las coordenadas GPS del punto seleccionado.

En una segunda pestaña, Clima, Revit presenta las temperaturas indicadas para el diseño de refrigeración. Existe la posibilidad de extraer la información desde la estación meteorológica más cercana que, en este caso, se encuentra en la localidad de Vigo (Pontevedra).

	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago
Temperatura s	15 °C	18 °C	23 °C	24 °C	27 °C	30 °C	32 °C	32 °C
Temperatura h	13 °C	14 °C	15 °C	16 °C	19 °C	21 °C	23 °C	22 °C
Oscilación me	7 °C	7 °C	9 °C	8 °C	8 °C	9 °C	10 °C	10 °C

Figura 3-33 Carga de datos meteorológicos

3.7.2.2 Niveles

En primer lugar, se determina el número de niveles necesarios para la realización del modelo. Atendiendo a la colocación de los materiales estructurales, su grosor y su altura con respecto a la línea de tierra, se establece lo siguiente:

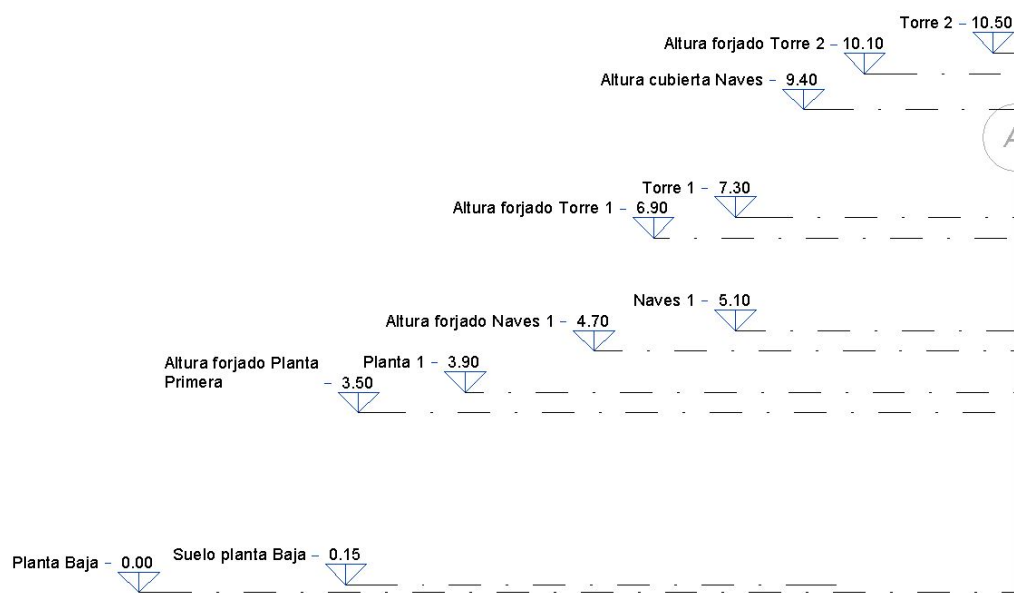


Figura 3-34 Presentación de niveles establecidos

Para la inserción de cada uno de los niveles, se debe seleccionar uno de los alzados del proyecto, y desde el submenú Estructura, “Crear nuevo nivel”.

La elección de los distintos niveles se basa, además, en establecer los límites, tanto superiores como inferiores de los cerramientos y particiones que componen el edificio. Es por ello que entre los niveles implementados se puede encontrar alguna denominación como “Altura forjado Planta Primera”. Gracias a este nivel, podremos restringir en altura los cerramientos de la planta baja estableciendo su límite inferior en “Suelo Planta Baja” y su límite superior en “Altura forjado Planta Primera” ya que, en caso de alguna modificación en la altura de alguno de esos niveles, hará todos los cerramientos o particiones sometidos a dicha restricción se modifiquen de forma automática adaptándose a los nuevos valores implementados.

3.7.2.3 Importación de nube de puntos

El trabajo realizado en ReCap posibilita en gran medida el modelado del edificio. Para poder trabajar con ella dentro de ReCap se debe importar y situar encima de la superficie topográfica generada. El procedimiento de Importación parte en el submenú Insertar.



Figura 3-35 Menú de importación de nubes de puntos

A través de la opción Nube de puntos se seleccionará el archivo.rcp procedente de ReCap, a la que se asignará un determinado punto de inserción, que por defecto situará de manera automática el centro de la nube de puntos en el centro de la plantilla generada en Revit, se será necesario rotar y mover para su correcta disposición en un plano perpendicular al de base.

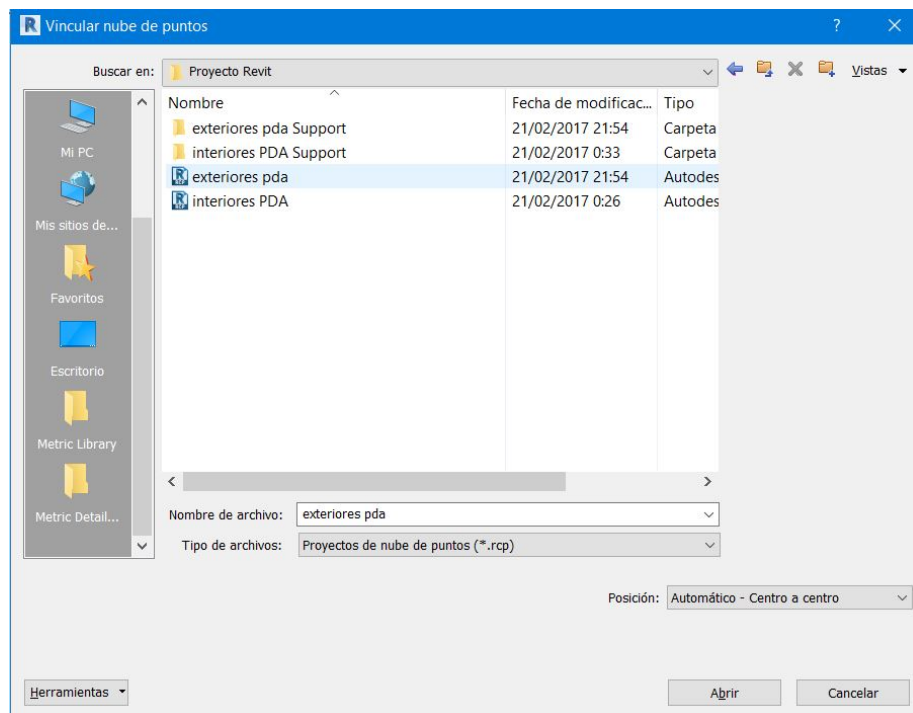


Figura 3-36 Selección de nubes de puntos

3.7.2.4 Superficie topográfica

La superficie topográfica es una representación de la superficie terrestre, si se atiende a propiedades convencionales de cartografía. Para comenzar a modelar en Revit, es necesario definir la superficie topográfica. Para ello, en el submenú Masa y emplazamiento, se selecciona la opción Superficie topográfica que, mediante su definición a partir de varios puntos, generará dicha superficie, sobre la que será posible construir.

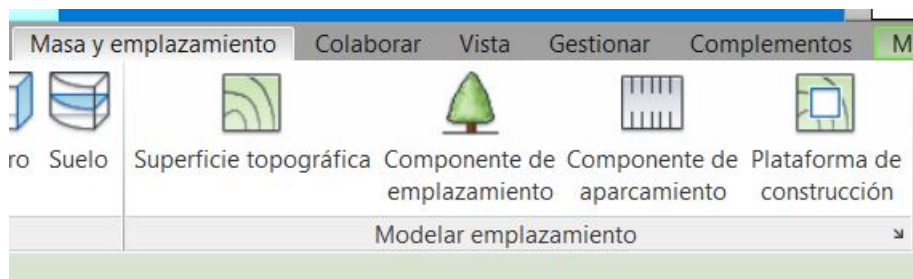


Figura 3-37 Submenú de modelado de emplazamiento

Se escogerán aquellos puntos que cubran en su totalidad la superficie del edificio “Príncipe de Asturias”. Para ello, se emplea a modo de ayuda la nube de puntos previamente importada, que se establecerá como referencia. De este modo, seleccionando la superficie topográfica y con el uso de la herramienta Mover, se desplazará la superficie hasta enrasarla con la correspondiente en la nube de puntos, de tal manera que se pueda construir sobre la nube y con las mediciones de apoyo que se realizaron en una de las fases anteriores.

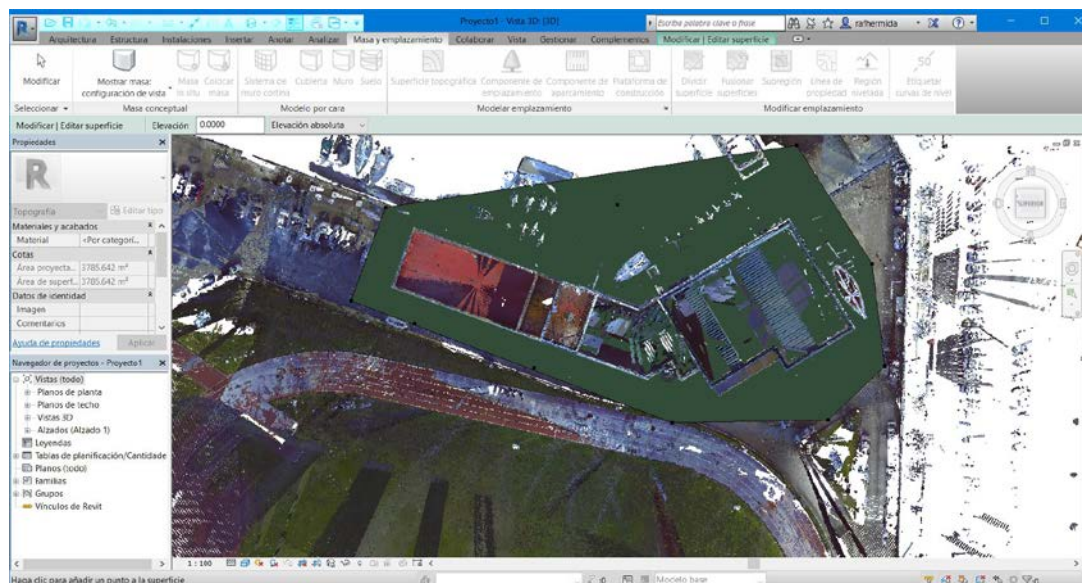


Figura 3-38 Establecimiento de la superficie topográfica

3.7.2.5 Plataforma de construcción

Una vez se define la superficie topográfica del proyecto, se debe implementar una plataforma de construcción sobre ella. La plataforma de construcción permite la inserción de aquellos elementos estructurales presentes en el proyecto, para lo cual será necesario seleccionar el submenú “Masa y emplazamiento” y “Plataforma de construcción”, que permitirá, de manera análoga al caso de la superficie topográfica, definir mediante puntos una superficie que, en este caso, deberá estar contenida en la superficie topográfica [26].

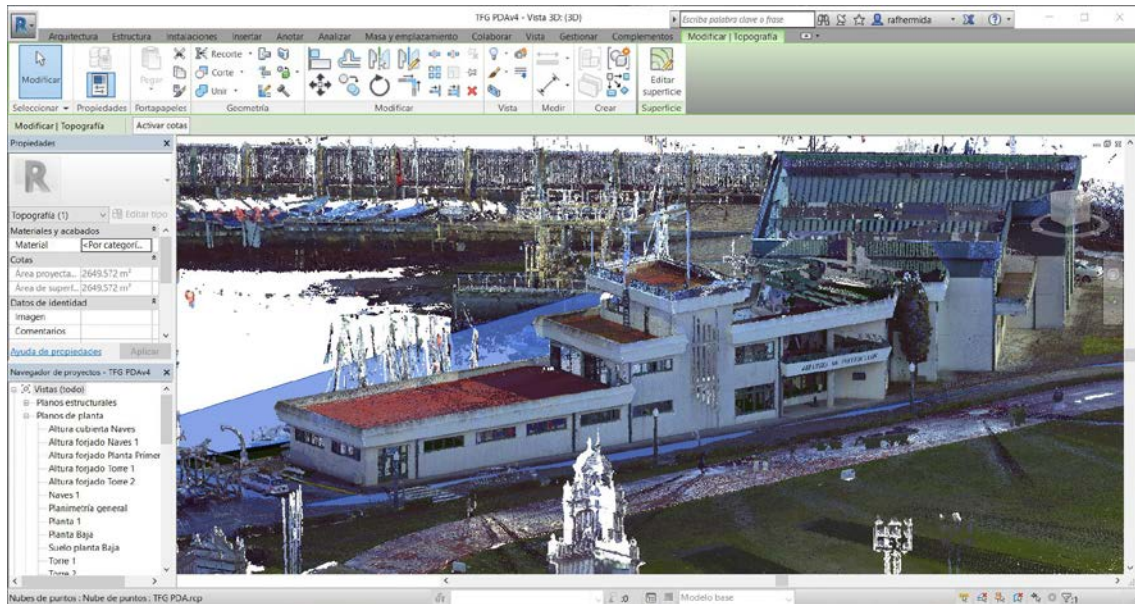


Figura 3-39 Creación de la plataforma de construcción para el proyecto

3.7.3 Elementos estructurales

3.7.3.1 Determinación de grosores

Uno de los valores que no es posible medir en el registro parcial de los datos se relaciona con el grosor de los elementos estructurales en disposición vertical (pilares, cerramientos, tabiques y particiones). El registro total realizado en ReCap sí permite obtener dichas medidas. Para ello, una vez importada la nube de puntos, se selecciona la visualización de nivel suelo Planta Baja.

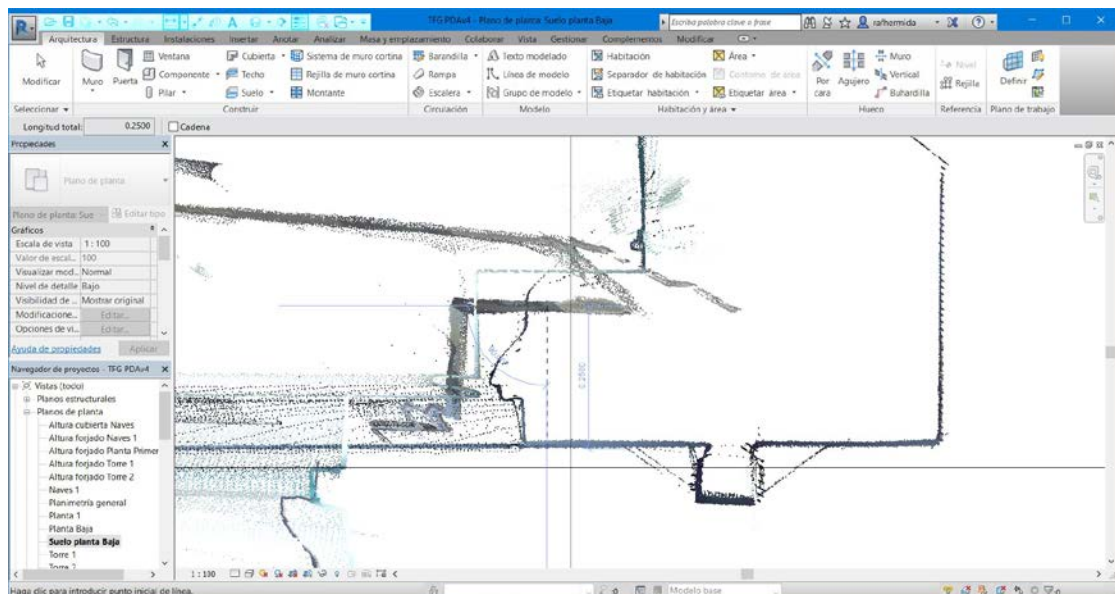


Figura 3-40 Determinación de grosores a partir de nube de puntos

En la Figura 3-40, se observa un desfase entre el interior y el exterior del edificio. Este hueco en blanco representa el grosor de los cerramientos y resto de materiales estructurales. Obteniendo esta última medida, se tienen las dimensiones necesarias para la inserción de cada uno de los elementos que componen el edificio.

3.7.3.2 Pilares

Los primeros elementos estructurales que se introducen en el modelo son los pilares. Estos elementos están destinados a recibir cargas (normalmente a compresión), para trasladar las mismas hacia la cimentación. Se determina, mediante el procedimiento descrito en el apartado anterior, que las dimensiones de los pilares que componen el edificio son 30x30 centímetros y 45 x60 centímetros, con alturas que varían según la zona del edificio.

3.7.3.2.1 Rejillas

Revit incorpora un elemento de anotación que ayuda a organizar el diseño. Este elemento se denomina rejilla, que delimita un plano finito cuyas intersecciones se utilizan para la inserción de elementos estructurales. El proceso para su creación comienza en el submenú Estructura, donde se deberá seleccionar Rejilla. Ya que las dimensiones de los pilares son de 30 centímetros, se colocará cada línea de rejilla separada 15 centímetros de la cara exterior de cada uno de los pilares. Las líneas de rejilla generadas en orientación Este-Oeste se determinan mediante números. Para aportar claridad al modelo, las líneas de rejilla en disposición Norte-Sur se nombran mediante letras.

Cabe destacar que el edificio no es rectangular, sino que llegado un punto se curva 49 grados. Esto hace que se creen líneas de rejilla específicas para esta segunda zona de trabajo, para lo cual se han denominado con doble letra o doble número en función de su orientación. Así, en una primera zona de trabajo las rejillas comprenden de 1 a 3 y A a L, mientras que en la segunda zona de trabajo parten de AA a HH y 11 a 19.

Esta división es coincidente con la variedad de elementos estructurales que porta el edificio, ya que, en una primera zona de trabajo, se tendrá un grupo de elementos con unas dimensiones concretas y que se repiten dentro del mismo, mientras que en la segunda zona de trabajo el grupo de elementos no guarda relación en cuanto a dimensiones con el primero de ellos. A modo de ejemplo, en la primera zona de trabajo, resaltada en verde, los pilares tienen una sección de 30x30 centímetros mientras que, en la segunda, resaltada en rojo, denominada “Naves”, los pilares tienen 45x60 centímetros de sección.

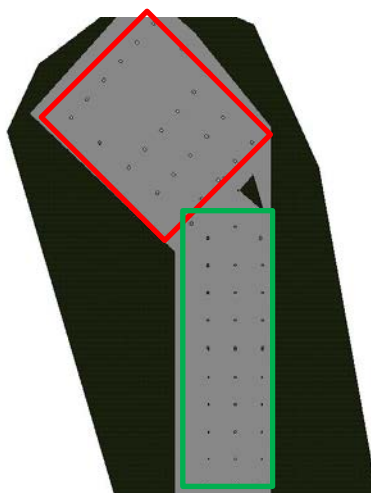


Figura 3-41 Definición de las zonas de trabajo

3.7.3.2.2 Inserción

Para su inserción, es necesario generar un duplicado a partir de uno de los pilares existentes de serie en Revit. En el submenú Estructura, al seleccionar Pilares, se abren las distintas familias de pilares presentes en el programa. Se escoge el “Pilar estructural Hormigón 30x30cm” y se realiza un duplicado, adoptando éste el nombre de “Pilar estructural PDA”.

El siguiente paso es la asignación del material. Por defecto, este tipo de pilar tiene asignado un material “Por categoría”, que no es apto para futuros cálculos estructurales. Por ello, desde la ventana

de propiedades del material, se abrirá el Explorador de materiales, donde se asignará el material Hormigón. De cara introducir los parámetros de material recogidos en la documentación, será necesario duplicar el material original de Revit.

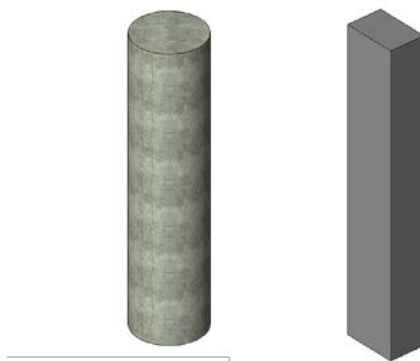


Figura 3-42 Ejemplo de modelización de pilares (a) circulares (b) rectangulares

A modo de cómputo global, el edificio “Príncipe de Asturias” cuenta con 54 pilares rectangulares, con secciones entre 30x30 centímetros y 45x60 centímetros dependiendo de la zona de trabajo dentro del edificio, y con alturas que varían desde 3,50 hasta 10,10 metros, coincidentes con las alturas de forjado de la primera planta y la segunda torre, respectivamente.

Además, existen en el edificio un total de 5 pilares de sección circular que sustentan los balcones presentes en el edificio. Los 4 primeros se encuentran en la parte posterior del edificio, distribuidos a lo largo de un balcón que comprende las dos zonas de trabajo previamente señaladas. El quinto pilar se encuentra en la fachada principal del edificio, y sustenta tanto al balcón principal como al forjado de la primera torre. Dichos pilares tienen un radio de 30 cm y son también de hormigón. Su inserción se ha llevado a cabo de forma análoga, mediante la utilización de rejillas.

3.7.3.3 Vigas

Las vigas son elementos estructurales, en disposición horizontal, que se proyectan para recibir y transmitir aquellas cargas transversales a que están sometidas. Revit asigna la propiedad de uso estructural a las vigas de manera automática, relacionándolas con los elementos estructurales que la sostienen. Sin embargo, esta condición es modificable desde el menú de propiedades, en caso de que la viga no contribuyese al análisis estructural del edificio.



Figura 3-43 Ejemplo de viga modelada

Las vigas creadas en Revit pueden enlazarse a cualquier otro elemento que forme parte de la estructura del edificio, incluyéndose en esta categoría a los muros estructurales, que no podrán ofrecer sustento si han sido tipificados como muros no portantes. Este uso estructural puede ser clasificado de cara a la planificación de armazones, facilitando el cálculo de la cantidad de jácenas, tornapuntas horizontales, viguetas o correas.

Para su inserción, deberá seleccionarse una de las vistas de plano, donde se recomienda establecer una delimitación inferior que se encuentre por debajo del nivel activo, para poder presentar la viga

dentro de la vista. Revit recomienda también la utilización de rejillas al igual que en el caso de los pilares, ya que puede simplificar sobremanera el trabajo necesario para la colocación de las mismas. La inserción de las vigas se puede llevar a cabo a partir de cuatro métodos, de los cuales se han utilizado dos para la realización del presente proyecto: la selección de líneas de rejilla que se encuentren entre muros estructurales y la creación de un sistema de vigas.

Para poder colocar de forma automática las vigas entre los elementos estructurales del modelo como son pilares definidos en el apartado correspondiente, será necesario acceder desde la pestaña “Estructura”, encuadrada en el grupo “Estructura”, a la herramienta “Viga”. Para su colocación encima de una rejilla, es necesario seleccionar la opción “Colocar viga en rejillas”. Una vez se selecciona una de las líneas de rejilla presentes en el modelo, se presionará la opción “Finalizar” para su colocación. Cabe mencionar que se podrán introducir tantas vigas simultáneamente como líneas de rejilla se hayan seleccionado. El funcionamiento de Revit procede a su colocación teniendo en cuenta los soportes que podrían intersecar con la línea de rejilla, para su correcta delimitación. En caso de que exista un muro sobre la línea, Revit no colocará la viga, aunque podrá utilizar el borde de los muros a modo de soporte. Las vigas introducidas se considerarán soporte de otras en caso de que corten una línea de rejilla, pero, en caso de que no se produzca el cruce, Revit las considerará como carga para otras vigas presentes en las líneas de rejilla.

A lo largo de la realización del presente trabajo, se han colocado las vigas utilizando este método a lo largo de las dos zonas de trabajo y en distintos niveles. Algunas de estas vigas dan sustento directo a las losas que componen los suelos de las plantas inferiores, pero, sin embargo, en la primera zona de trabajo se ha detectado otro sistema de colocación de vigas, el sistema de viguetas y bovedillas.

Para su correcto modelado en Revit, se utiliza la herramienta de sistemas de vigas. Los sistemas de vigas son un método interesante para la creación de armazones estructurales dentro de un área que requiere de un soporte complementario. Su inserción se llevará a cabo desde la pestaña “Estructura” y, dentro de esta, el grupo “Estructura”, donde se hará clic en la opción “Sistema de vigas”. En el menú de propiedades del sistema se podrá definir el tipo de viga a utilizar, el espaciado entre las vigas y la inclinación que estas tengan en caso de no estar en el mismo plano que el nivel.

3.7.3.4 *Forjados estructurales*

Se definen los forjados como estructuras de corte plano y horizontal, que garantizan la función estructural, esto es, deben resistir su propio peso y las sobrecargas que se le generen con el correspondiente coeficiente de seguridad, atendiendo a las solicitaciones a flexión y esfuerzos cortantes, función de habitabilidad, dado su uso como apoyo para los suelos de las plantas superiores y la condición de monolitismo, que buscan la rigidez en el forjado, que permita contrarrestar las solicitaciones a las que pueda estar sometido.

Se pueden dividir los forjados en dos tipos: forjados lineales y forjados reticulares. Los primeros, también conocidos como forjados unidireccionales, trasladan las solicitaciones de componentes vertical que se originan por el peso colocado en ellos, así como su peso propio en fuerzas transmitidas a los apoyos (pilares o muros de carga) en una única dirección del espacio. Los forjados reticulares o bidireccionales, por el contrario, consiguen reducir el factor de carga de la parte inferior de los forjados, ya que son capaces de transmitir dichas cargas en dos direcciones del espacio, pudiendo reducir así el grosor necesario en los forjados.

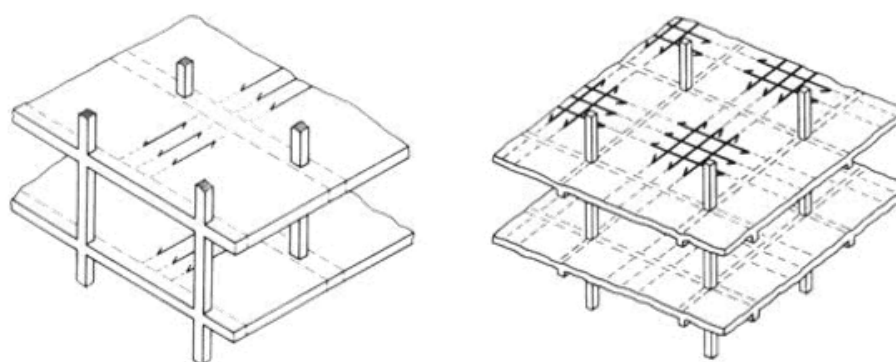


Figura 3-44 Tipos de forjados (a) lineales (b) reticulares [18]

En el caso del edificio “Príncipe de Asturias”, son las vigas las que desempeñan la función de transferencia de las cargas a los pilares. La disposición de las viguetas en el sistema de viguetas y bovedillas se ha realizado de manera perpendicular, garantizando el correcto reparto de cargas en los puntos de unión de los dos sistemas.

La inserción de los forjados o suelos en el modelo se lleva a cabo mediante la opción “Suelo estructural”, que se sitúa en el grupo “Estructura”, en la pestaña del mismo nombre. La selección de esta opción permitirá delimitar el contorno del forjado o suelo a crear, que deberá realizarse desde una de las vistas de plano del dibujo. Una vez se delimita el contorno deseado, se podrán añadir huecos interiores, por ejemplo, para la delimitación de una zona de escaleras. El forjado o suelo se creará una vez se haga clic en finalizar. Dependiendo del nivel de referencia en que se haya realizado la creación del suelo o forjado, Revit sugerirá la modificación de las restricciones superiores de los muros, alineándose de forma automática a la parte inferior de los forjados. Para paliar este efecto, se han creado niveles en la parte inferior y superior de los forjados, para poder restringir la altura superior e inferior de los muros, respectivamente.

3.7.4 Cerramientos, tabiquería y particiones interiores

3.7.4.1 Cerramientos

Se definen como muros de cerramiento aquellos que delimitan físicamente el interior y exterior de un edificio. Los muros de cerramiento buscan garantizar puntos tan importantes como la estanqueidad, el aislamiento acústico o el aislamiento térmico. Para ello, cuentan con distintas capas. Las capas principales con que cuenta un cerramiento son los revestimientos interiores y exteriores y la estructura, que es, en base, el núcleo del muro.

El método para determinar los grosores recogido en el apartado 3.7.3.1, indica que el grosor de los muros de cerramiento en el edificio “Príncipe de Asturias” es de 25 centímetros, lo que, contrastado con más información, pone de manifiesto la estructura compuesta de dicho muro, elemento de estudio de cara a la consecución de los objetivos del presente trabajo en su apartado correspondiente de asignación de materiales.

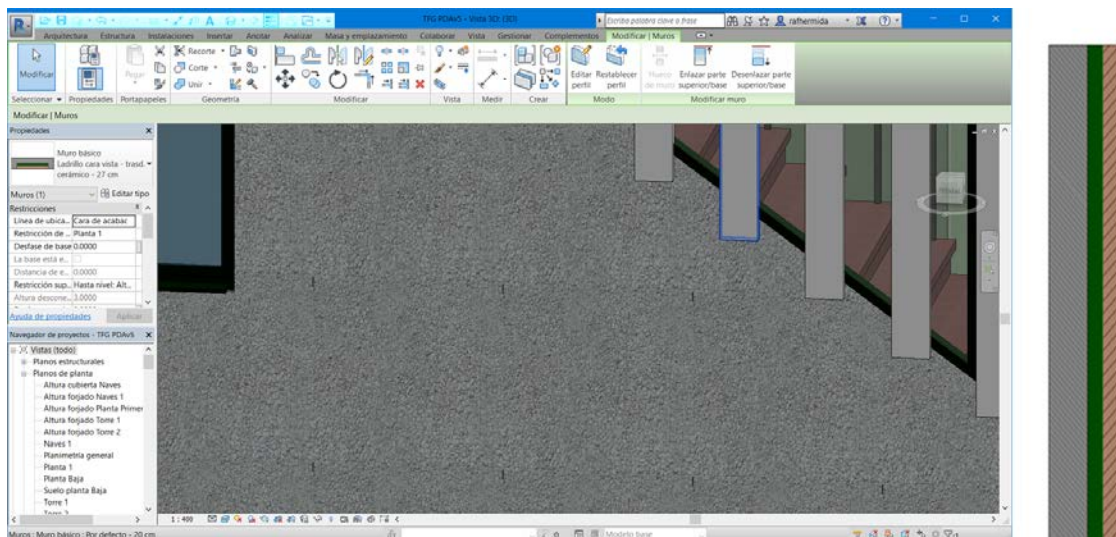


Figura 3-45 Ejemplo de muro de cerramiento modelado

La inserción de los muros de cerramiento en el proyecto se realiza a través del submenú “Muro”. Dado que la estructura y asignación de materiales será un proceso que se llevará a cabo en una de las fases futuras del presente proyecto, solamente será necesario, por el momento, seleccionar un muro, duplicarlo y adaptarlo al grosor total del mismo. Así, partiendo de un muro recogido en Revit denominado “Muro básico: Ladrillo cara vista”, se modifica su grosor hasta los 25 centímetros medidos en la nube de puntos.

De cara a la colocación de los muros de cerramiento, se han de tener en cuenta las siguientes propiedades, recogidas en la ventana “Propiedades” situada, normalmente, en la parte superior izquierda de la vista activa.

La primera propiedad a tener en cuenta es la línea de ubicación, que marca la referencia sobre la cual se creará cada uno de los muros de cerramiento. Entre las opciones, se podrá seleccionar como referencia el eje del muro, el eje del núcleo del muro, la cara de acabado exterior, la cara de acabado interior, la cara de núcleo interior o la cara de núcleo exterior, siendo la cara de acabado exterior la que se ha utilizado a la hora de proceder a insertar los muros de cerramiento. La justificación para tal acción reside en la facilidad que ofrece esta opción respecto a otras, ya que como primer punto para trazar un muro de cerramiento se podrá seleccionar una de las esquinas exteriores de los pilares insertados previamente durante la creación de los elementos estructurales.



Figura 3-46 Configuración de los parámetros de inserción de muros

La segunda propiedad es la restricción en la base y el desfase de base. La restricción en la base tiene su utilidad a la hora de determinar la altura de referencia inicial de cada uno de los muros de cerramiento. Entre las opciones, se podrá escoger entre los distintos niveles que se crearon durante la fase de pasos previos. Como ejemplo, se toma uno de los muros de cerramiento de la planta baja del

edificio. Su restricción en la base se encontrará en el nivel “Suelo Planta Baja”. El desfase de base sirve de modificación a la propiedad anteriormente descrita, ya que permite desfase el punto de referencia inicial de un muro tantos metros como se estime con respecto a la referencia indicada en la restricción en la base. Por defecto, el desfase es de 0 metros.

Para la realización del modelado, se ha trabajado sin desfases, no restringiendo en ningún momento la creación de tantos niveles como fuese necesario, con el motivo de tener todos los materiales referenciados a los distintos niveles en función de la altura.

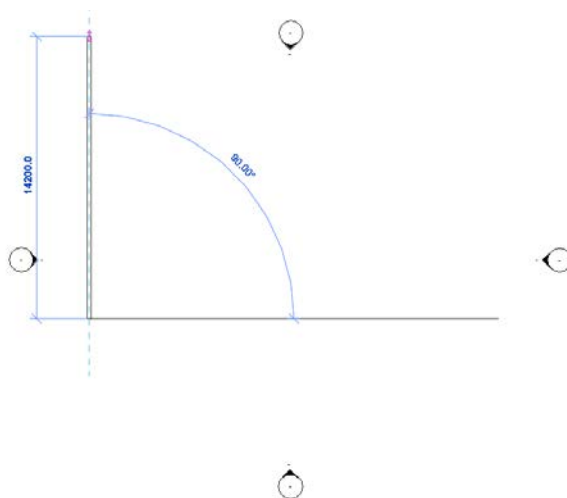


Figura 3-47 Dibujo de un muro

La tercera y última propiedad a considerar a la hora de insertar un muro de cerramiento en Revit es la restricción superior, desfase superior y altura desconectada. La restricción superior marca la altura final del muro de cerramiento. En este apartado, se podrá restringir la altura del muro de cerramiento a un nivel determinado. A modo de explicación, tomando uno de los muros de cerramiento de la planta baja del edificio, se establece su restricción superior en el nivel inmediatamente superior, esto, es el nivel “Altura forjados Planta Primera”. De esta manera, en caso de variar la altura del nivel “Altura forjados Planta Baja”, todos los muros restringidos a la altura de dicho nivel modificarán, de manera automática, su altura. El desfase superior se asignará en caso de necesitar ampliar la altura del muro por encima de la restricción superior una altura determinada. Por último, la altura desconectada es aquella que se le asignará al muro de cerramiento en caso de no estar restringido por alguno de los niveles creados. Esta altura se toma desde la base del muro.

Dentro de la misma ventana de apartados, una vez se asignan las restricciones pertinentes, existe un apartado dedicado a estructura. En este apartado se asignan las funciones estructurales que pueda desempeñar o no dicho muro, que se tendrá en cuenta para el resultado del modelo analítico y futuros cálculos estructurales, es decir, si los muros de cerramiento son muros portantes. En el caso del edificio “Príncipe de Asturias”, todas las cargas se transmiten a través de las distintos pilares y vigas descritos en el apartado de Elementos estructurales, con lo cual esta opción no se deberá seleccionar.

La colocación de los muros de cerramiento se lleva a cabo a partir de las mediciones realizadas en el registro parcial de los datos y su comparativa sobre la nube de puntos superpuesta en el software de modelo.

3.7.4.2 Tabiques

Se considera tabique a una pared delgada que no soporta cargas y cuya utilidad reside en la división interior de los espacios de un edificio o vivienda. Existen varios tipos de tabique en función de la disposición y naturaleza de los materiales que lo componen. Atendiendo al número de filas de huecos presentes en el ladrillo que compone el tabique, se pueden clasificar en:

- Ladrillos de hueco sencillo (LHS): Son aquellos bloques de ladrillo con una única fila de huecos en su lateral (testa).
- Ladrillo hueco doble (LHD): Tienen dos filas de huecos y, por norma general, son los que se utilizan para la separación de baños.
- Ladrillo hueco triple (LHT): Cuentan con tres filas de huecos y son, por tanto, los de mayor grosor.



Figura 3-48 Tipos de ladrillos [12]

El Código Técnico de la Edificación (CTE), establece que los ladrillos empleados en la construcción de tabiques deberán cumplir una relación de volumen tal que los huecos no superen el 70% del volumen total del ladrillo, y no sean inferiores al 60% del mismo. En caso de que el volumen de los huecos ocupe entre el 45% y el 60% del volumen total, la consideración del mismo ya no será la de ladrillo hueco, sino ladrillo aligerado.

Dentro de los distintos tipos de tabique, se pueden distinguir los siguientes:

- Tabique simple: Tabique construido con ladrillo hueco, dispuesto de canto o testa, cuyo espesor incluyendo los guarnecidos no debe superar los 10 centímetros. Este tipo de tabique es el que se puede encontrar en el edificio “Príncipe de Asturias”.
- Tabique doble: Tabique que consta de dos tabiques de ladrillo separado por cámara de aire.
- Tabicón: Tabique de ladrillo hueco, dispuesto de canto o testa, y cuyo espesor está comprendido entre los 10 y los 16 centímetros.

Para su construcción, se deben situar las hiladas de ladrillo en la disposición especificada, e ir añadiendo hiladas que se fijarán con juntas de mortero. Una vez finalizada la última hilada, se extenderá una capa de material de agarre sobre la superficie del muro formado por la unión de las hiladas de ladrillo.



Figura 3-49 Tabique con capa de material de agarre

La inserción de los tabiques dentro del proyecto en Revit se lleva a cabo a partir de la herramienta muro, de forma análoga a como se realizaba para los muros de cerramiento. Sin embargo, en este caso el material a utilizar viene de serie. Se trata de “Tabique – 10 cm” que, luego de compararlo con la documentación pertinente, se define como material a utilizar como tabique.

El procedimiento para situar cada uno de los tabiques es idéntico al de los muros de cerramiento, asignando las restricciones superiores e inferiores pertinentes y creando así las distintas compartimentaciones con que cuenta el edificio. En el apartado (Resultados) se adjunta el plano de distribución de los distintos compartimentos dentro del edificio “Príncipe de Asturias”.

3.7.4.3 Particiones interiores

En este apartado se busca definir aquellas particiones que, por su naturaleza, no se pueden considerar como tabiques. Se incluyen dentro de este apartado las puertas de vidrio y separadores que contribuyen a la compartimentación del edificio “Príncipe de Asturias”.

3.7.4.3.1 Puertas de vidrio

En la planta baja del edificio, se encuentra un elemento separador cuya función es actuar como entrada a la zona de despachos donde los Tenientes de Navío Comandantes de Brigada desempeñan sus funciones administrativas.

Para la reproducción de la puerta de vidrio en Revit, se hace uso de la herramienta muro cortina. Un muro cortina se constituye por una combinación de elementos resistentes metálicos y una amplia variedad de elementos transparentes.

Para su inserción en el modelo, se selecciona, dentro de la opción “Muro”, el tipo “Muro cortina simple”, que Revit trae por defecto, sin montantes ni rejillas. Para su inclusión en el modelo, se realizará el procedimiento análogo a la hora de situar los muros de cerramiento y los tabiques. De esta manera, se le añaden las restricciones y desfases pertinentes que, en este caso, serán “Suelo Planta Baja” y “Altura forjados Planta Primera”, con desfase cero.

Para crear los montantes que definen la posición de la puerta y paneles acristalados presentes en el sistema, se deberá dotar al muro cortina de un sistema de rejillas que define, de la misma manera que en el caso de los pilares, la posición de los montantes. Una vez se definen las rejillas, se podrán implementar los montantes, que en este caso son rectangulares. Para dotar al sistema de muro cortina

de los diferentes paneles acristalados, dentro del menú de propiedades, se seleccionará el tipo de panel a utilizar de manera individual, asignando una puerta acristalada en la posición correspondiente y definiendo como paneles acristalados el resto de huecos entre montantes.

3.7.4.3.2 Separadores

Los separadores o divisores se emplean como elementos de compartimentación en función de la situación que se requiera. Así, en el edificio “Príncipe de Asturias” se encuentran tres ejemplares de separador de tipo acordeón. El primero de ellos divide el despacho del Capitán de Fragata Jefe de Instrucción en despacho y Sala de Juntas. El segundo separador permite dividir en dos mitades la Sala de Juntas. Dado que la mesa presente en la sala cruza dicho separador por sus dimensiones, permanece normalmente abierto. El último de los separadores aísla el despacho del Teniente de Navío Práctico de la Escuela Naval Militar y la Sala de Juntas anteriormente mencionada.

Revit, de serie, no dispone de ningún elemento separador de estas características. La solución elegida consiste en obtener dicho elemento de un repositorio online de familias de elementos. Dicho separador es modificado posteriormente y adecuado a sus medidas y características reales.

Para ello, una vez insertado el separador, se deberá hacer doble clic sobre el mismo, accediendo al menú de edición del elemento, en el que se ajustan las dimensiones necesarias para la reproducción del separador.

3.7.5 Puertas

Las puertas son elementos que pueden estar incluidos dentro de la carpintería interior o exterior del de un edificio. Por norma general, son vanos de forma rectangular cuya función es permitir el acceso a un compartimento. Se debe hacer una distinción entre las puertas que dan acceso al exterior y aquellas situadas en el interior de un edificio.

La principal diferencia entre los dos tipos reside en el diseño de las mismas ya que, las puertas que dan acceso al exterior deben acreditar ciertas condiciones de resistencia a agentes externos, como puede ser el viento o la lluvia.

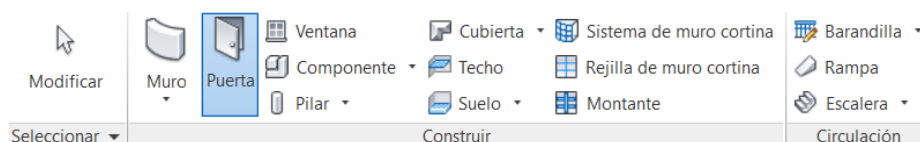


Figura 3-50 Herramienta de creación de puertas

Revit presenta numerosas opciones a la hora de incluir un nuevo elemento de carpintería. Para insertar una puerta, será necesario seleccionar el submenú “Arquitectura”, y posteriormente “Puerta”. La ventana de propiedades emergente dispondrá de un menú desplegable a partir del cual el operador seleccionará la puerta que desee. Dado que las puertas incluidas de serie no coinciden con las puertas reales, cuyas dimensiones se han obtenido a partir del método explicado en el apartado 3.4, se procede a duplicar y editar aquel modelo que más se asemeje a la realidad. Para poder modificar dicho elemento se deberá hacer doble clic sobre el mismo, accediendo una nueva ventana de proyecto con las dimensiones precargadas, que podrán ser modificadas a criterio del operador. A continuación, se describen los distintos tipos de puerta que han sido creados para la realización del presente proyecto.

- Puerta principal

La puerta principal del edificio “Príncipe de Asturias” es una puerta doble abatible con cristal. Cuenta además con tiradores de tipo asa de doble tracción.

- Puertas interiores

Las puertas del interior del edificio se encuadran en el grupo de las puertas abatibles ciegas. Cuentan con una única hoja y, a modo de embellecedor portan dos extrusiones a modo de panel. Para su apertura incorpora un tirador de uso residencial con cerradura.

- Puerta despacho Jefe de Instrucción

La puerta que da entrada al despacho del Capitán de Fragata Jefe de Instrucción pertenece a la familia de las puertas abatibles con cristal. Consta de una única hoja e incorpora una extrusión en su parte inferior a modo de panel. En su parte superior, porta un cristal biselado. El tirador es de uso residencial con cerradura.

- Puerta Aula de Maniobra y Velería

Estas puertas se encuadran dentro de las puertas dobles ciegas. De la misma manera que las puertas interiores, cuentan con dos extrusiones a modo de panel. A la hora de permanecer cerrada, esta puerta emplea una de sus hojas a modo de fijo y la restante como cierre, ya que porta un tirador de uso residencial con cerradura.

- Puerta lateral Velería

La puerta que da acceso al Taller de Velas a través de la nave de veleros de vela ligera es una puerta metálica de doble hoja, que cuenta con cerradura y una manilla plástica para su apertura.

- Puerta pañol de chalecos, Pañol de regatas y Sala de calderas

Puertas de hoja simple con cerradura y manilla plástica para su apertura.

- Puerta de acceso a terraza

Esta puerta da entrada a la terraza situada en la primera torre, justo a la izquierda de la Oficina de Meteorología. Es una puerta de una hoja, acristalada y con marco de aluminio. Cuenta con sistema de cerradura y una manilla de aluminio para su apertura.

- Puertas grecadas

Este tipo de puertas se pueden encontrar en diversos tamaños a lo largo de todo el edificio “Príncipe de Asturias”. En su mayoría, este tipo de puertas se encuentra en la zona de trabajo número 2, donde desempeñan labores de mantenimiento de motores y embarcaciones. La elaboración de estas puertas parte de cero, a partir de una extrusión rectangular a la que se practica una modificación posterior en su perfil, adoptando la forma característica que proporciona el grecado de una pieza.

3.7.6 Ventanas

Las ventanas son elementos esenciales en el diseño arquitectónico de un edificio ya que generan una abertura que permite el paso de luz y ventilación a través de un muro o pared.

En Revit, al tratarse de elementos hospedados, las ventanas se pueden añadir a cualquier construcción de tipo muro (o incluso añadir a una cubierta en caso de que funcione como claraboya). Revit permite la inserción de ventanas por medio de la creación de un hueco automático en la localización especificada.

Para su inserción, se debe abrir cualquiera de las vistas de plano, alzado, sección o vista en tres dimensiones. Dentro de la pestaña Arquitectura, encuadrada en el grupo Construir, se debe seleccionar mediante clic la opción Ventana. La ventana de propiedades carga un menú desplegable con múltiples opciones de ventanas que Revit trae por defecto. Una vez se escoge el diseño deseado, Revit muestra una vista previa si se sitúa el cursor sobre uno de los muros del proyecto. Una vez se determina la ubicación deseada de la ventana, se inserta mediante un clic izquierdo.

En la ventana de propiedades, se pueden realizar modificaciones sobre la ventana colocada. Entre las opciones que presenta, se destacan las siguientes.

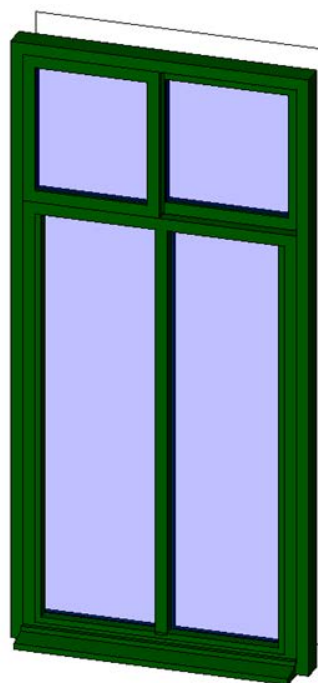
Propiedad	Descripción
Nivel	Indica el nivel de referencia sobre el que se coloca la ventana.
Altura de antepecho	Establece la altura del antepecho de la ventana (parte inferior) con respecto al nivel en el que está colocada la ventana.
Altura	Especifica la altura del hueco de la ventana.
Anchura	Especifica la anchura del hueco de la ventana.
Incrustación de ventana	Establece la profundidad de incrustación dentro del hueco generado por la ventana.

Tabla 3-1 Propiedades de familia Ventana

De manera análoga al procedimiento realizado con las puertas existentes en el edificio “Príncipe de Asturias”, se puede proceder a la edición de un elemento precargado para generar nuevos tipos de ventana que recojan las dimensiones y formas de las ventanas situadas en el edificio. Se distinguen varios modelos de ventana, que en muchas ocasiones presentan formas que se incluyen en distintos tipos de ventana. A lo largo del proyecto se generan los siguientes tipos de ventana:

- Ventana entrada principal

Este modelo de ventana es de los más repetidos a lo largo del edificio. Consta de dos partes, estando la parte inferior compuesta por dos paneles acristalados fijos, y su parte superior definida por una ventana corredera de dos hojas, cuya finalidad es la ventilación del compartimento en el que se encuentran instaladas.


Figura 3-51 Ventana entrada principal

- Ventanal fachada principal

Es una de las referencias descriptivas más notables del edificio “Príncipe de Asturias”. Se basa en la colocación de pequeños paneles acristalados a lo largo de los niveles que componen la fachada principal. Son ventanas de tipo fijo con montantes de PVC.



Figura 3-52 Ventanal fachada principal

- Ventanas fachada principal

Este modelo de ventana contribuye a la caracterización del edificio “Príncipe de Asturias”. Se compone de dos ventanas correderas de doble hoja, lo que genera un total de cuatro paneles acristalados de forma cuadrada.

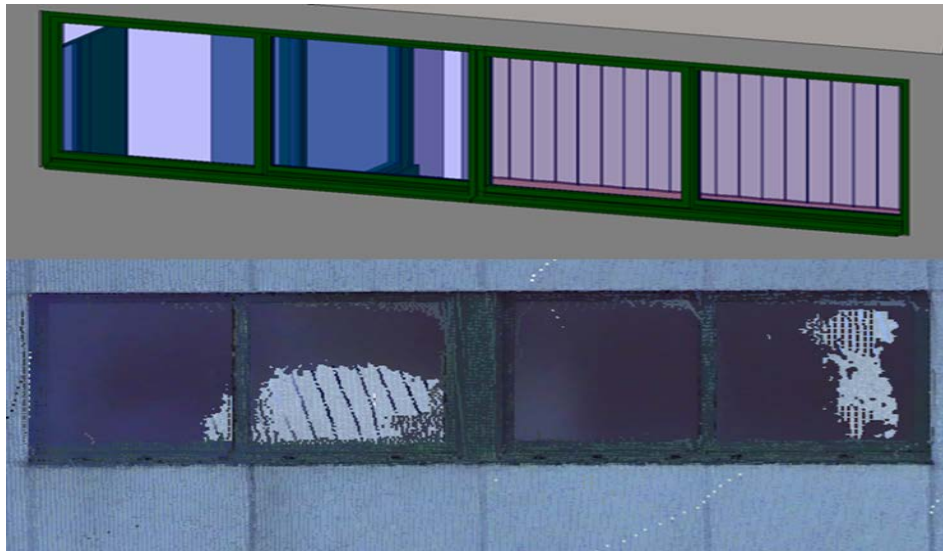


Figura 3-53 Ventanas fachada principal

- Ventana de acceso a terrazas y balcones

Las ventanas que dan acceso a las terrazas y balcones del edificio son correderas de doble hoja, con unas dimensiones que garantizan el paso de personal a través de ellas. Debido su gran tamaño, constituyen uno de los elementos que más iluminación natural deja pasar al interior del edificio.

- Ventanas nave de almacenamiento de embarcaciones de vela ligera

Estas ventanas se sitúan a una altura considerable, permitiendo la iluminación natural de la nave de almacenamiento de embarcaciones de vela ligera. Son ventanas correderas de dos hojas, dispuestas a lo largo del contorno de esta zona.

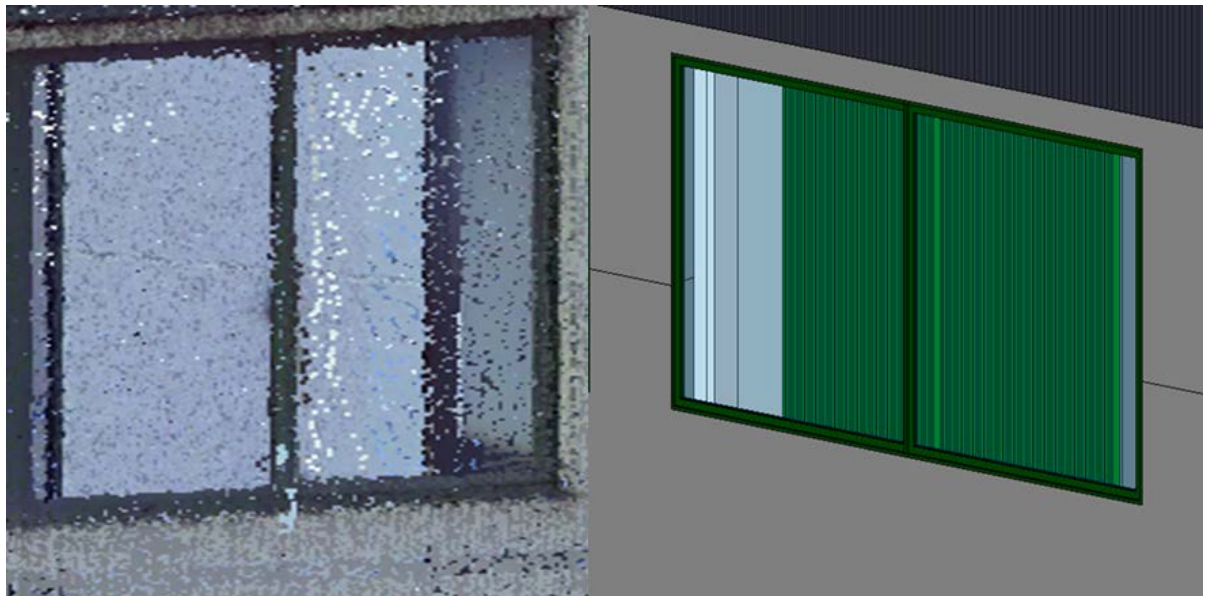


Figura 3-54 Ventanas Naves

- Ventanas Aula de Meteorología

Las ventanas situadas en el Aula de Meteorología de la segunda torre se asemejan en forma al último modelo de ventanas descrito, al tratarse de ventanas correderas de doble hoja. Sin embargo, sus dimensiones y acabados hacen necesaria la creación de un modelo de ventana a parte de las ventanas de la nave de almacenamiento de embarcaciones de vela ligera.

- Ventanas puertas de acceso a la zona de trabajo número 2

Las puertas de perfil grecado situadas en los accesos a las distintas compartimentaciones de la zona de trabajo número 2 cuentan con una serie de ventanas estrechas en su parte superior, que aportan luminosidad desde un ángulo que el resto de modelos de ventanas no contemplan.



Figura 3-55 Puertas de acceso a naves

- Ventana aseo alumnos

En uno de los aseos de la primera planta de la zona de trabajo número 1, se sitúa una ventana batiente como alternativa al límite de espacio en el que se encuentra situada.

3.7.7 Escaleras

Las escaleras se encuadran dentro de los elementos de circulación dentro de un edificio. Dichos elementos se podrían dividir en dos partes. En primer lugar, las huellas son partes de la escalera dispuestas en la horizontal, cuya finalidad es el apoyo de los pies. Por otro lado, la parte que genera las pequeñas variaciones de altura entre huellas se denomina contrahuella.

La concepción clásica de la relación óptima entre huellas y contrahuellas para salvar una determinada diferencia de nivel la generó François Blondel en el año 1675.

$$2 \cdot a + b = [61 - 65] \text{ cm} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

a: Medida de la contrahuella

b: Medida de la huella

Revit presenta dos posibilidades a la hora de incluir en el modelo este tipo de elemento. En primer lugar, la opción de incluir una escalera por boceto permite definir tramos rectos, tramos en L, escaleras en U y escaleras en espiral. Una vez generada, es posible modificar el contorno exterior de las escaleras, mediante la edición del boceto. Cualquier modificación aplicada al boceto genera actualizaciones automáticas de la cantidad y dimensiones de las contrahuellas. Este método también contempla la generación automática de barandillas en función del contorno de la escalera. Existe la posibilidad de generar un conjunto de escaleras que comprendan más de un nivel, de tal forma que es posible extender los conjuntos hasta el nivel más alto.

Internamente, Revit calcula el número de huellas de un tramo de escaleras basado en la distancia entre niveles y la dimensión de contrahuella definida en las propiedades de escalera. A continuación, se presentan una serie de parámetros modificables que es necesario definir a la hora de incluir una escalera en un modelo.

Propiedad	Descripción
Nivel base	Establece la base de las escaleras.
Nivel superior	Determina la restricción superior de las escaleras.
Nivel superior de edificio multiplanta	Establece la restricción superior de una escalera generada en un edificio de varias plantas.
Número de contrahuellas deseado	Número de contrahuellas que el usuario estima para salvar la diferencia de nivel.
Número real de contrahuellas	Resultado del cálculo de contrahuellas necesarias emitido por el programa, basándose en la altura de contrahuella máximo.
Profundidad de contrahuella	Determina el desfase del plano perpendicular a cada una de las huellas y el plano generado por las contrahuellas.

Tabla 3-2 Propiedades de familia Escalera

La segunda opción que Revit presenta para la generación de una escalera es Escalera por componente. Las escaleras basadas en componentes se generan a partir de la creación individual de cuatro tipos de componentes. En primer lugar, se pueden definir los distintos tramos que caracterizarán la escalera. Estos pueden ser, al igual que en el caso de las escaleras por boceto, rectos, espirales, en U, en L o de tramo personalizado. Un espacio entre los distintos tramos generará de manera automática un descansillo. Además, deberán crearse manualmente los distintos soportes de los cuales disponga la escalera, cuyos tramos se podrán obtener de manera automática o mediante la selección de un borde de tramo o descansillo. Por último, cabe mencionar la inclusión de barandillas, que puede ocurrir de manera automática durante la fase de creación de la escalera o se pueden erigir a posteriori.

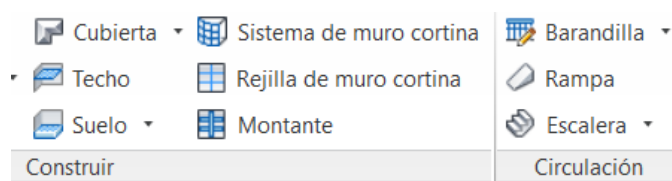


Figura 3-56 Herramienta de creación de escaleras

En el edificio “Príncipe de Asturias” existen tres escaleras principales. La primera de ellas, situada en la zona de trabajo número 1, conecta la planta baja del edificio con la primera planta, describiendo una forma en U. Para su creación, se accede al menú Arquitectura. Encuadrada en el grupo de circulación, se hace clic sobre la opción “Escalera”. El método de diseño escogido para esta escalera es “Escalera por boceto”. Se modifican los parámetros de profundidad y anchura de huella además de altura máxima de contrahuella, mediante las mediciones obtenidas de la nube de puntos generada.

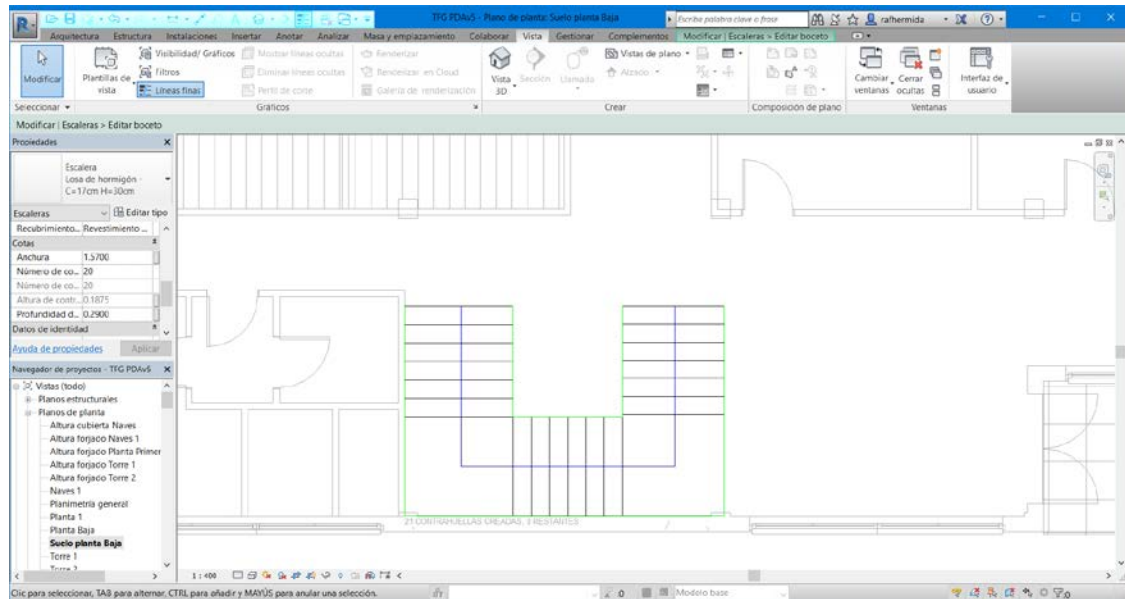


Figura 3-57 Boceto de creación de escalera

El cálculo de Revit concluye que para salvar la diferencia entre niveles se necesita un total de 20 contrahuellas. En la visualización previa se comprueba la correcta colocación de la escalera que podrá ser modificada con posterioridad mediante el uso de la herramienta “Editar boceto”. La escalera creada ha sido provista de un sistema de barandilla que recorre el contorno del tramo de la escalera, lo cual dista del sistema presente en la escalera real. Para obtener el sistema de barandilla instalado en la realidad, se ha ejecutado el procedimiento descrito en el apartado 3.7.9.

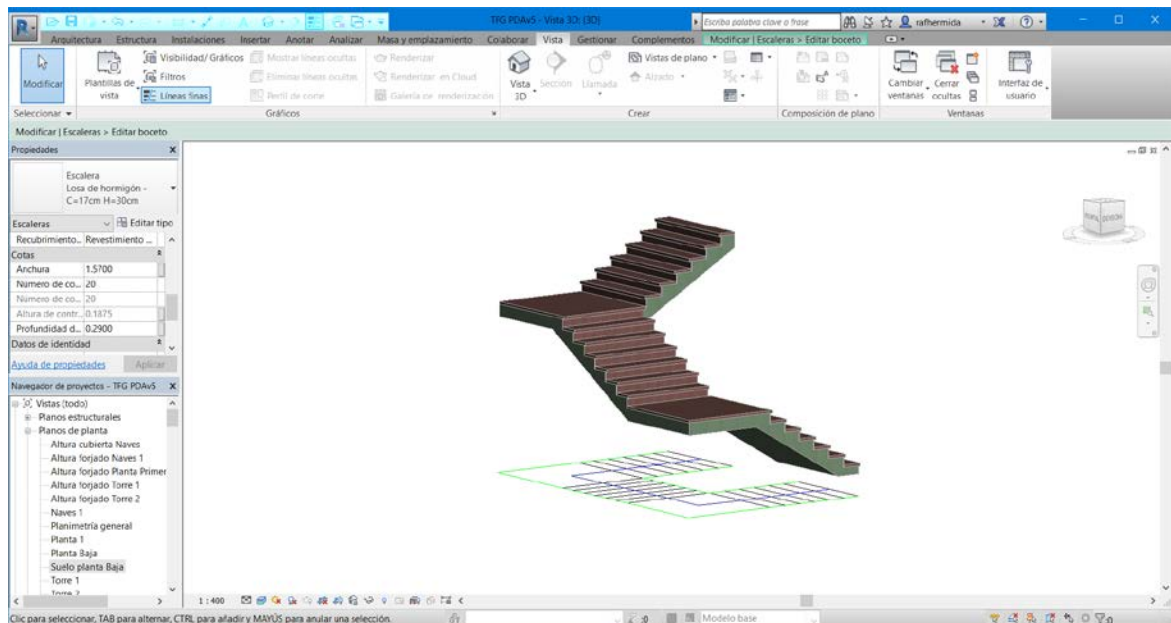


Figura 3-58 Escalera vestíbulo principal modelada

La segunda escalera generada es coincidente en forma con la primera, adoptado un perfil en forma de U que conecta, dentro de la zona número 1 del edificio, la primera planta con la primera de las torres. Su creación se ha llevado a cabo de manera análoga, asignando las restricciones necesarias para su correcta colocación que es, en ambos casos, por arrimo a un muro plano. La creación de la escalera también podría haberse llevado a cabo mediante la adición de un límite superior por múltiples plantas. La razón por la cual se deciden realizar dos construcciones idénticas es la no coexistencia de un

descansillo de escalera en la misma posición de una losa, intersección que se daría entre el descansillo generado en la primera planta y la losa de la misma, que en esa posición marca el comienzo del pasillo común de la primera planta.



Figura 3-59 Escalera vestíbulo principal con barandilla

Por último, se procede a la creación de una escalera presente en la nave de almacenamiento de embarcaciones de vela ligera, situada en la zona de trabajo número 2. En este caso, la diferencia entre los niveles es mayor que en los dos primeros casos descritos. Para su creación, se ha seleccionado el método de creación de escalera por boceto, del mismo modo que se ha realizado en los dos casos anteriores.

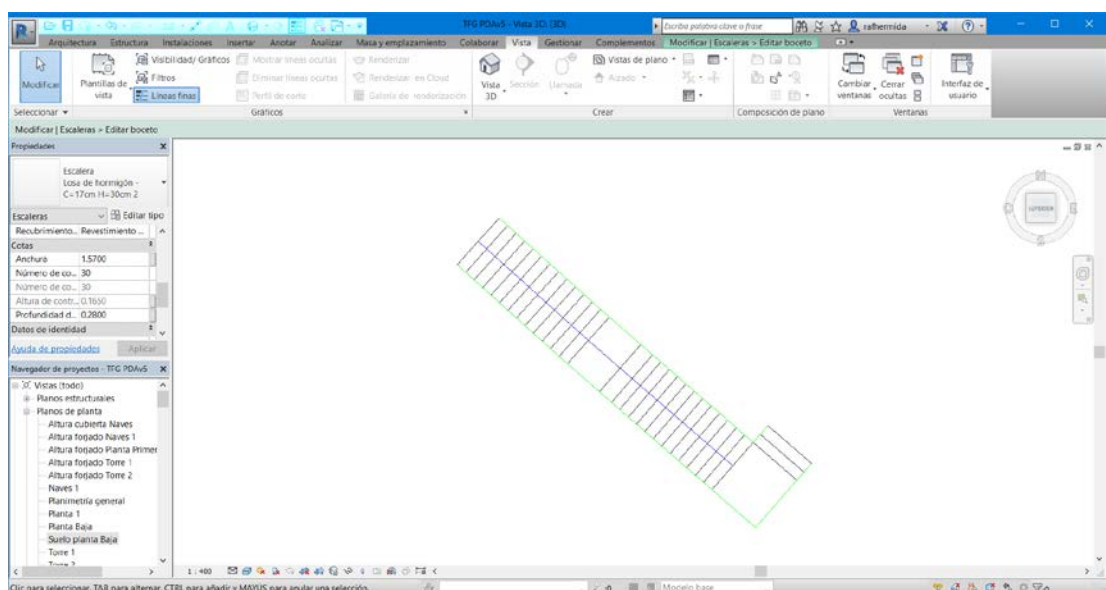


Figura 3-60 Boceto de escalera de pañol de almacenamiento de embarcaciones de vela ligera

Después de introducir datos relativos a la anchura de las huellas y la altura máxima de contrahuellas, Revit devuelve el resultado del cálculo de contrahuellas que, en este caso, dada la mayor diferencia de niveles, se establece en 30 contrahuellas. Esto genera una escalera con forma de L, con dos descansillos. En este caso, la herramienta de creación automática de barandillas ha generado un camino bastante acorde con la realidad. De todas formas, se ha preferido suprimirlo y crearlo de cero, en un procedimiento que se describe en el apartado 3.7.9.



Figura 3-61 Escalera de pañol de almacenamiento de embarcaciones de vela ligera modelada

3.7.8 Rampas

Las rampas son elementos arquitectónicos diseñados para salvar una determinada diferencia entre dos niveles. Vienen definidas por una longitud y una altura que, por norma general, determinan un perfil con la forma de un triángulo rectángulo. Las rampas son elementos de especial mención en aquellos edificios adaptados para personas con movilidad reducida, ya que ofrecen una alternativa más sencilla que las escaleras.

En Revit, las herramientas y los procedimientos utilizados para realizar bocetos de rampas son los mismos que se utilizan para realizar bocetos de escaleras. De manera análoga, es posible generar contornos rectos, tramos en L, rampas en U y rampas helicoidales. Este contorno también es modificable a posteriori. Los parámetros a modificar para la creación de una rampa se presentan a continuación.

Propiedad	Descripción
Nivel base	Establece la base de la rampa
Nivel superior	Determina la restricción superior de la rampa
Nivel superior de edificio multiplanta	Establece la restricción superior de una rampa generada en un edificio de varias plantas

Tabla 3-3 Propiedades de familia Rampa

En el edificio “Príncipe de Asturias”, se ha encontrado un ejemplo de rampa que sirve de conexión entre las dos zonas de trabajo. De esta manera, una vez se determina mediante la medición en la nube

de puntos el punto de inicio de la misma, se procede a su modelado. Se establece como restricción inferior el nivel “Planta 1” y como restricción superior el nivel “Naves”.

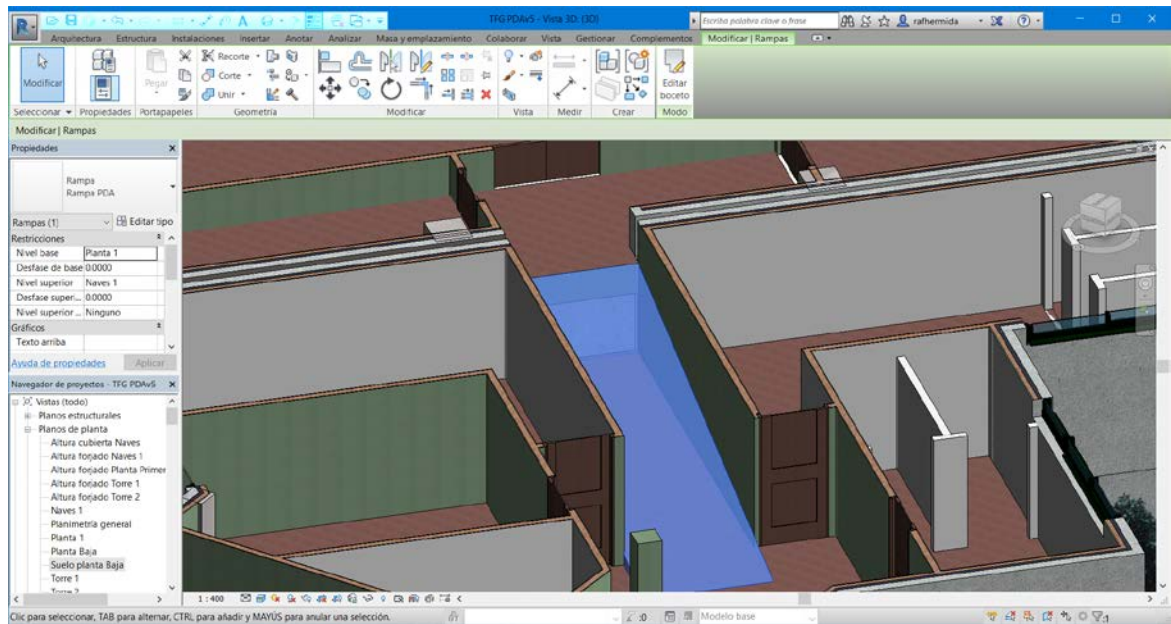


Figura 3-62 Modelado de rampa

3.7.9 Barandillas

La definición del término barandilla ha de hacerse mediante la enumeración de las partes que la componen. Así, se define barandilla como un elemento arquitectónico situado a media altura y compuesto por barras verticales, que se denominan balaustres, que se unen mediante dos largueros, cuya denominación es la de barandal y cuya finalidad es la de ofrecer un apoyo a lo largo de todo el borde de una escalera.

En Revit, es posible añadir barandillas independientes o barandillas enlazadas a escaleras, rampas, suelos y otros anfitriones. Dentro de sus múltiples herramientas, Revit permite añadir barandillas a los distintos niveles como elementos independientes, siendo posible la asociación de las mismas a anfitriones como escaleras o rampas. En el presente trabajo se establece una división entre los dos tipos de barandilla utilizados. Las primeras barandillas a describir están enlazadas con las escaleras presentadas en el apartado anterior. Para su creación, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros.

Propiedad	Descripción
Altura de la barandilla	Establece la altura del barandal más alto del sistema de barandillas.
Ajuste de altura de descansillo	Modifica la altura de las barandillas en los descansillos que pueden conservar la altura de los tramos de escalera o modificarse una determinada altura manualmente.
Uniones en ángulo	Si dos segmentos de la barandilla son colineales se pueden añadir segmentos para formar una unión, dejar un espacio entre los segmentos o crear una unión por extensión de barandales.

Conexiones del barandal

En caso de que Revit no pueda generar uniones entre los segmentos de barandilla, estos se pueden recortar con un plano vertical o soldar de la forma más parecida a un bisel, opción especialmente indicada en barandales circulares.

Tabla 3-4 Propiedades de familia Barandilla

Además, existen dos menús dentro de la barra de propiedades para el ajuste de balaustres y barandales. El primero de ellos permite ajustar la colocación de los distintos balaustres que dan soporte a los barandales y largueros que forman parte de la barandilla. Para acceder a este menú, habrá que seleccionar la opción “Barandilla”, encuadrada en la pestaña Arquitectura, dentro del grupo “Circulación”.

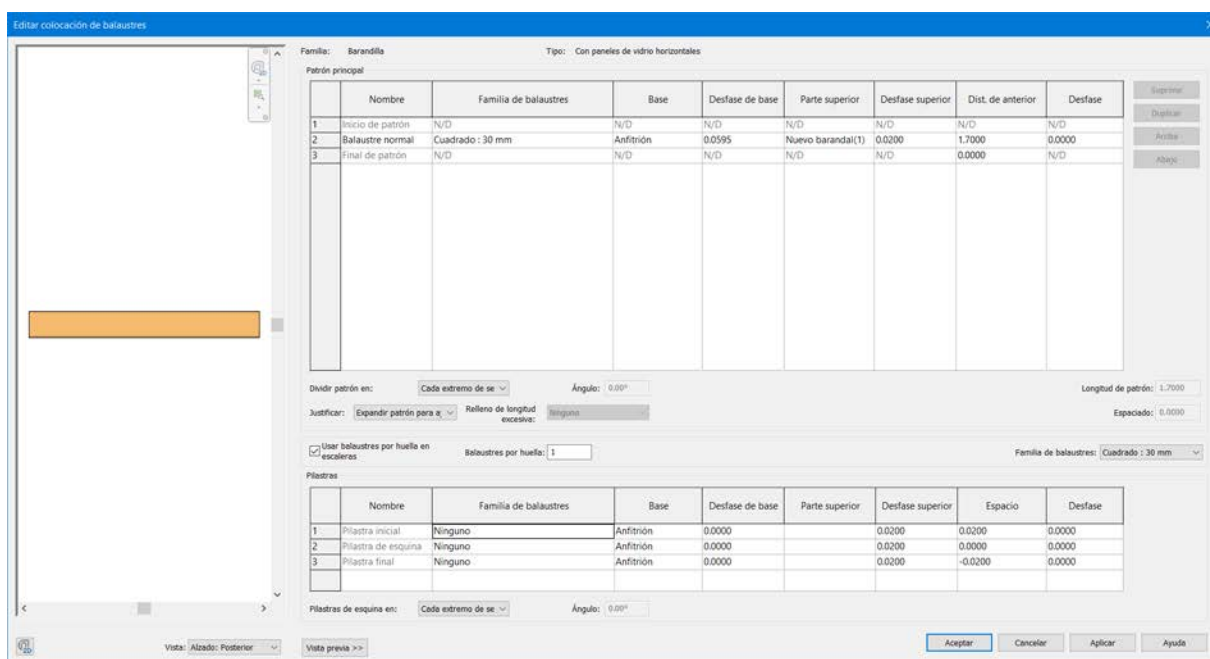


Figura 3-63 Menú de edición de colocación de balaustres

Desde la ventana “Editar tipo”, se selecciona la opción de Editar colocación de los balaustres, que presenta numerosas opciones a la hora de incluir y modificar este tipo de elementos. A continuación, se presentan las variables más importantes a la hora de utilizar este comando.

Propiedad	Descripción
Familia de balaustre	Determina el estilo de balaustre que se utilizará en el sistema de barandilla.
Base	Establece la colocación del plano inferior del balaustre.
Arriba	Especifica la colocación de la parte superior de los balaustres, que normalmente irán enlazados al barandal superior.
Distancia de anterior	Determina la distancia entre balaustres dentro del sistema.

Dividir patrón en	Permite utilizar distintas familias de balaustre en un mismo sistema de barandilla.
Relleno de longitud excesiva	Se emplea en caso de que exista un espacio extra a lo largo del segmento especificado de la barandilla. Se pueden determinar distintas soluciones para el relleno de dicho espacio, mediante la colocación de más balaustres o el truncamiento del patrón utilizado en el segmento para paliar este efecto.
Espaciado	Distancia entre balaustres destinados al relleno de longitud excesiva.

Tabla 3-5 Propiedades de familia balaustre

Para el sistema de barandillas de las escaleras del edificio “Príncipe de Asturias”, se han utilizado balaustres cuadrados de 30x30 milímetros de sección, que Revit ya trae por defecto. Dentro del mismo menú de colocación de balaustres, existe un apartado dedicado a la colocación de pilastras, que son soportes arquitectónicos que se pueden situar al inicio, final o a lo largo de un determinado sistema de barandillas. Cuentan con una sección mayor que aporta resistencia al sistema. En este caso, no es necesaria la inclusión de pilastras, al detectarse la homogeneidad en los balaustres que componen el sistema de barandilla.



Figura 3-64 Ejemplo de pilastra

Por otro lado, existe dentro de las modificaciones posibles de un sistema de barandilla, la edición de la estructura de los barandales. Este submenú se encuentra justo encima del submenú de edición del sistema de balaustres y pilastras. A través de esta opción se podrá seleccionar el tipo de barandal a utilizar, su altura con respecto a la línea de base, su desfase de ruta con respecto al plano paralelo del núcleo del balaustre y su material. Además, se podrán insertar tantos barandales como se estime necesario, que se distribuirán a lo largo de los balaustres que los sustentan.

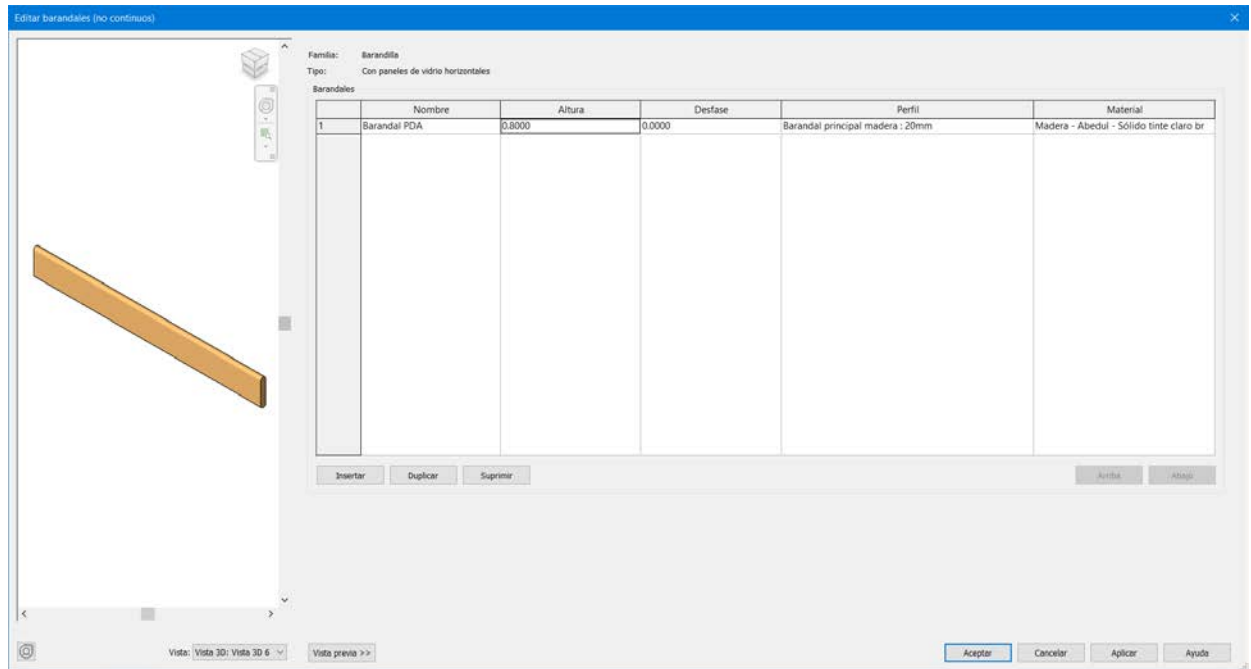


Figura 3-65 Menú de edición de colocación de barandales

En caso de que los barandales incluidos de serie en el programa no correspondan con los reales, se puede acceder al menú de edición del barandal seleccionado mediante doble clic. La ventana emergente llevará a un editor de perfil del barandal seleccionado.

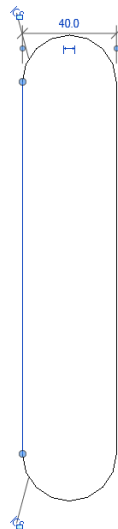


Figura 3-66 Edición de barandal

Una vez se define el patrón a utilizar por el sistema de barandillas, se podrá proceder a su inserción en el dibujo a partir de dos métodos. El primero de ellos es el dibujo manual de las formas del sistema de barandilla deseado sobre el dibujo. Pero el segundo de los métodos permite asignar un anfitrión que se cubrirá con el patrón del sistema de barandilla definido anteriormente. Para su colocación, dentro del grupo “Circulación” del submenú “Arquitectura” se seleccionará la opción “Colocar en anfitrión”. A modo de ejemplo, para el sistema de barandillas empleado en la escalera del vestíbulo principal del edificio se ha seleccionado como anfitrión a la escalera, creando el sistema de barandillas compuesto por el patrón seleccionado a lo largo del contorno de la escalera.

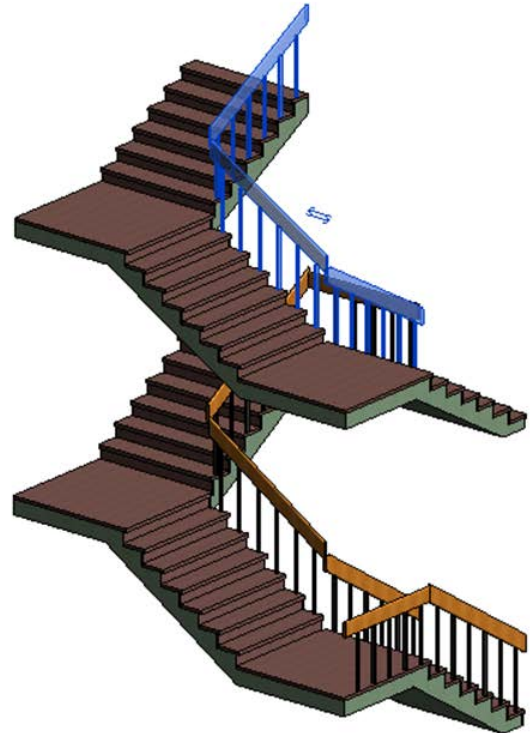


Figura 3-67 Enlace de barandilla a escalera

Se ha detectado en el edificio “Príncipe de Asturias” un segundo sistema de barandilla, que se utiliza a modo de borde de los distintos balcones. El diseño del sistema de barandilla se realizará de manera análoga, sin embargo, sus formas son completamente distintas.



Figura 3-68 Barandilla de balcones del edificio “Príncipe de Asturias” en nube de puntos

En el apartado de edición del sistema, se deberá realizar en primer lugar la acción común a la hora de crear un material, su duplicado. Se procede a la edición de la copia del material duplicado a través de la ventana de propiedades, en la opción “Editar tipo”. El primer elemento característico de este

sistema son los balaustres, de sección rectangular al igual que los presentes en el primer sistema de barandillas. Sin embargo, existe un desfase entre la sección inferior y superior del balaustre, que se debe crear en Revit. Existe también una diferencia en el número y disposición de los barandales en el sistema, que se han introducido desde el menú de edición de barandales. Para la correcta colocación de los barandales a lo largo del balaustre inclinado, se puede emplear la herramienta alinear, en la que se seleccionarán los planos comunes a ambos elementos. La inserción del sistema dentro del modelo se realiza nuevamente enlazándolo con un anfitrión, que en este caso es el borde de losa que crea el borde inferior de los balcones de los edificios.



Figura 3-69 Barandilla de los balcones del edificio “Príncipe de Asturias” modelada

3.7.10 Cubiertas

Las cubiertas son elementos constructivos cuya función se basa en la protección de una edificación por su parte superior, que llevará consigo una estructura sustentante. Revit ofrece varios métodos para la creación de cubiertas. El programa carga por defecto una serie de cubiertas, que podrán ser editadas a los efectos de su recreación en un determinado modelo.



Figura 3-70 Selección del tipo de creación de cubiertas

El primer método existente para la creación de cubiertas es la cubierta por perímetro. Para ello, se traza un boceto de bucle cerrado en dos dimensiones, con la forma del perímetro que se desea cubrir. La cubierta seleccionada se creará al seleccionar muros o líneas en la vista en planta, en el nivel en que se realiza el boceto. La altura de la cubierta generada podrá modificarse con las distintas propiedades asociadas a la herramienta de creación de cubiertas, que se presentarán posteriormente. Se permite además la creación de huecos dentro de la cubierta, que se podrán generar a partir del trazado de bocetos de bucle cerrado adicionales en el interior del boceto primitivo. Por último, en este método

se podrán generar pendientes al aplicar dicho parámetro en las líneas que definen el contorno y subdivisiones de la cubierta.

En segundo lugar, Revit ofrece la posibilidad de crear una cubierta mediante extrusiones, que se deberán crear mediante el trazado de un boceto de bucle cerrado del perfil de la cubierta. Este método resulta interesante para la creación mediante líneas y arcos de cubiertas desde una vista de alzado. La altura de dicha cubierta podrá ser regulada mediante la modificación de la ubicación del boceto dentro de la vista de alzado mencionada. Por último, Revit calculará de manera automática la profundidad de la cubierta basándose en el tamaño del boceto, que podrán ser modificados mediante la especificación de los puntos inicial y final de la cubierta. Existe también una variante a este método que consiste en la creación de cubiertas por extrusión mediante la selección de una de las caras del elemento sobre el que se desea colocar una cubierta, conocido como cubierta a partir de un ejemplar de masa.

Por último, existe la posibilidad de generar una cristallera inclinada a modo de cubierta. Para ello, se deberá seleccionar uno de los métodos descritos con anterioridad, por perímetro o por extrusión. Las cristalleras inclinadas disponen de una o más líneas de definición de pendiente, que se pueden unir a muros cortina y tipos de muros básicos.

Se adjuntan seguidamente las distintas propiedades modificables y a tener en cuenta a la hora de crear una nueva cubierta:

Propiedad	Descripción
Estructura	Se define la composición de una cubierta compuesta.
Grosor determinado	Dato de lectura. Presenta el grosor de la cubierta en función de la suma de grosores de los elementos que la componen.
Plano de trabajo	Plano de trabajo al que se asocia una cubierta.
Profundidad de imposta	Longitud de las líneas que definen la imposta (si la hubiera).
Corte de alero	Establece el corte de alero de una cornisa dentro de una cubierta.
Altura de cumbrera máxima	Define la altura máxima de la parte superior de la cubierta desde su nivel base. Es una propiedad de uso en aquellas cubiertas generadas por perímetro.

Tabla 3-6 Propiedades de familia Cubierta

En el mes de diciembre de 2016, coincidente con la toma de datos para la realización del presente trabajo, se llevan a cabo unas obras de mejora de las cubiertas del edificio. La zona del edificio en la que se pueden encontrar dichas cubiertas se sitúa en la primera planta y la parte superior de la zona de trabajo número dos, siendo esta última la más determinante a la hora de considerar la importancia de las cubiertas, ya que en la primera zona se asegura la protección superior del edificio por partida doble. En primer lugar, la losa de la primera torre aporta una primera cobertura a la planta primera, que se refuerza mediante la instalación de una cubierta de chapa cuyas formas se adaptan a la geometría del edificio.

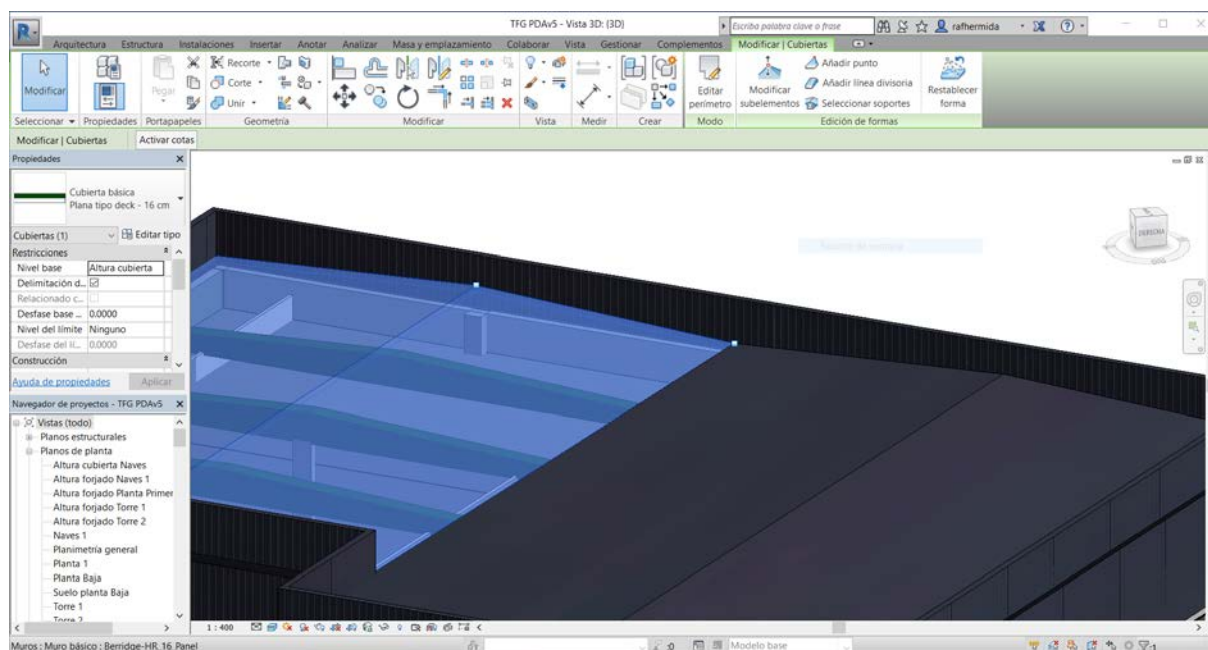


Figura 3-71 Cubierta de la zona de trabajo número 2

Para su definición, se dispone del pliego de condiciones de la obra de remodelación de las cubiertas que, complementándose con la obtención de datos en la primera fase del trabajo, permite la correcta caracterización de las nuevas cubiertas. En primer lugar, se deben definir los diferentes perímetros de las cubiertas que componen el sistema dispuesto en el edificio. Una vez generadas, es posible realizar subdivisiones dentro de las cubiertas que permitirán el establecimiento de pendientes dentro de una misma cubierta.

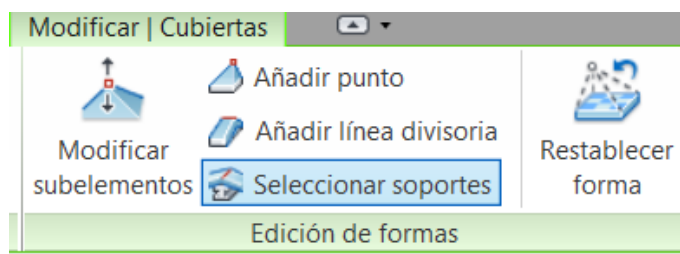


Figura 3-72 Submenú de adición de líneas divisorias

Para ello, dentro del grupo de edición de formas, se seleccionará la opción “Añadir línea divisoria” que, una vez definida, generará varios puntos en los que será posible asignar una altura con respecto a la línea de base, que corresponden a la pendiente de la cubierta, que en el caso del edificio “Príncipe de Asturias”, es un sistema compuesto por cubiertas a dos aguas. En la zona de trabajo número 2, donde se sitúan los distintos compartimentos dedicados a reparaciones y almacenaje de embarcaciones, las cubiertas se sitúan sobre vigas. Por ello, su colocación se lleva a cabo a partir de restricciones de alineación, estableciendo los planos que definen la parte superior de la viga como referencia para la pendiente de las cubiertas.

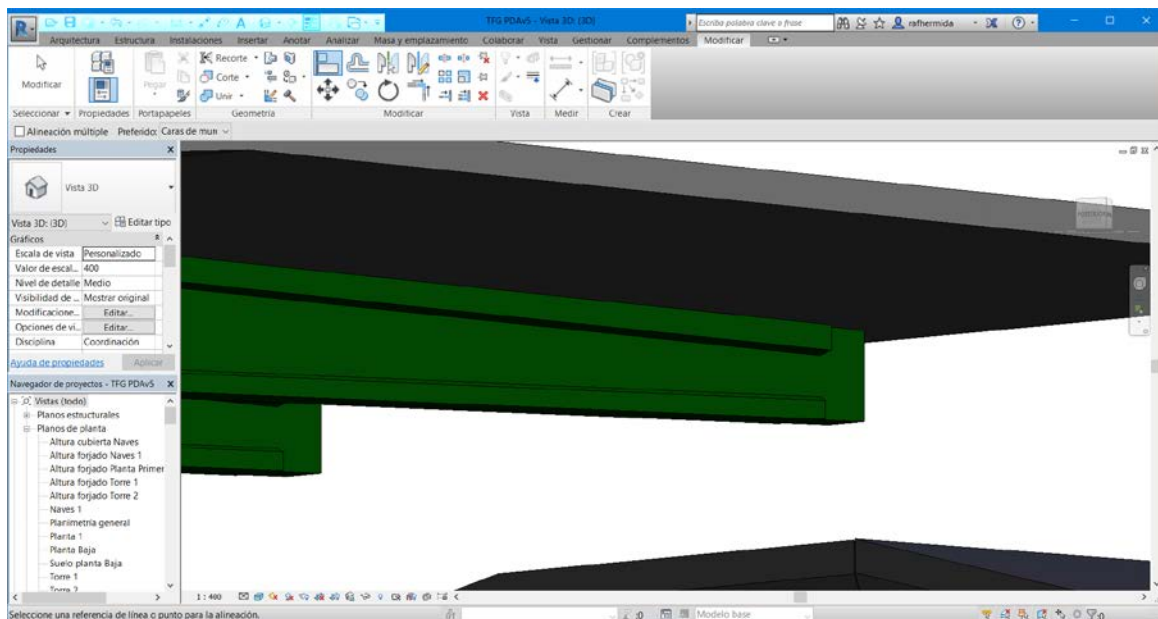


Figura 3-73 Detalle de alineación entre viga y cubierta

3.8 Asignación de materiales

En Revit, los materiales que definen el aspecto que tendrán los elementos a la hora de renderizar vistas e imágenes. Para poder trabajar con los distintos tipos de materiales en Revit, se deberá seleccionar la pestaña “Gestionar”, para luego seleccionar la opción “Materiales”, encuadrada en el submenú configuración. La información a especificar se clasifica en cuatro grandes grupos:

- Información gráfica
- Información de aspecto
- Información térmica
- Información física

En el primer tipo, la información gráfica, se podrán definir las características gráficas que controlan el material, sin haber realizado renderizado alguno, entre las que se pueden distinguir el color que se muestra en una vista del proyecto sombreada, el color y el patrón que se muestran en la superficie de un determinado elemento o el color y el patrón de relleno mostrados al realizar un corte en el elemento.

Por otro lado, es posible asignar información concerniente a la identificación del material, como la descripción, el fabricante, el coste del material o notas clave. Las propiedades físicas, ayudarán al cálculo y análisis estructural del modelo mientras que las térmicas recogerán información relevante para los cálculos energéticos.

Estos cuatro tipos de información constituyen objetos, que garantizan la correcta caracterización del material. De esta manera, un material puede tener hasta cuatro objetos, pero no es posible que tenga más de un objeto del mismo tipo; esto es, un material puede estar definido por un objeto gráfico, otro de aspecto, otro objeto físico y uno térmico, pero no podrá estar definido por dos objetos físicos distintos.

La selección de materiales en Revit se realiza desde dos paneles. El primero de ellos es la biblioteca de materiales, que es una colección de materiales y objetos relacionados. Por defecto, Autodesk proporciona una de las bibliotecas mientras que los usuarios pueden completarla mediante la creación de más materiales. Sin embargo, la biblioteca que Autodesk proporciona a Revit por defecto está bloqueada, lo que implica que los materiales de dicha biblioteca no se pueden sobrescribir o eliminar. Aun así, se pueden generar nuevos materiales a partir de materiales existentes mediante el duplicado y edición de los mismos. Las bibliotecas se subdividen en categorías. La biblioteca por

defecto de Autodesk viene también categorizada, con divisiones tales como Hormigón, Metal y Vidrio. Aquellas bibliotecas que cree el usuario se pueden también introducir en la categoría que así se estime.

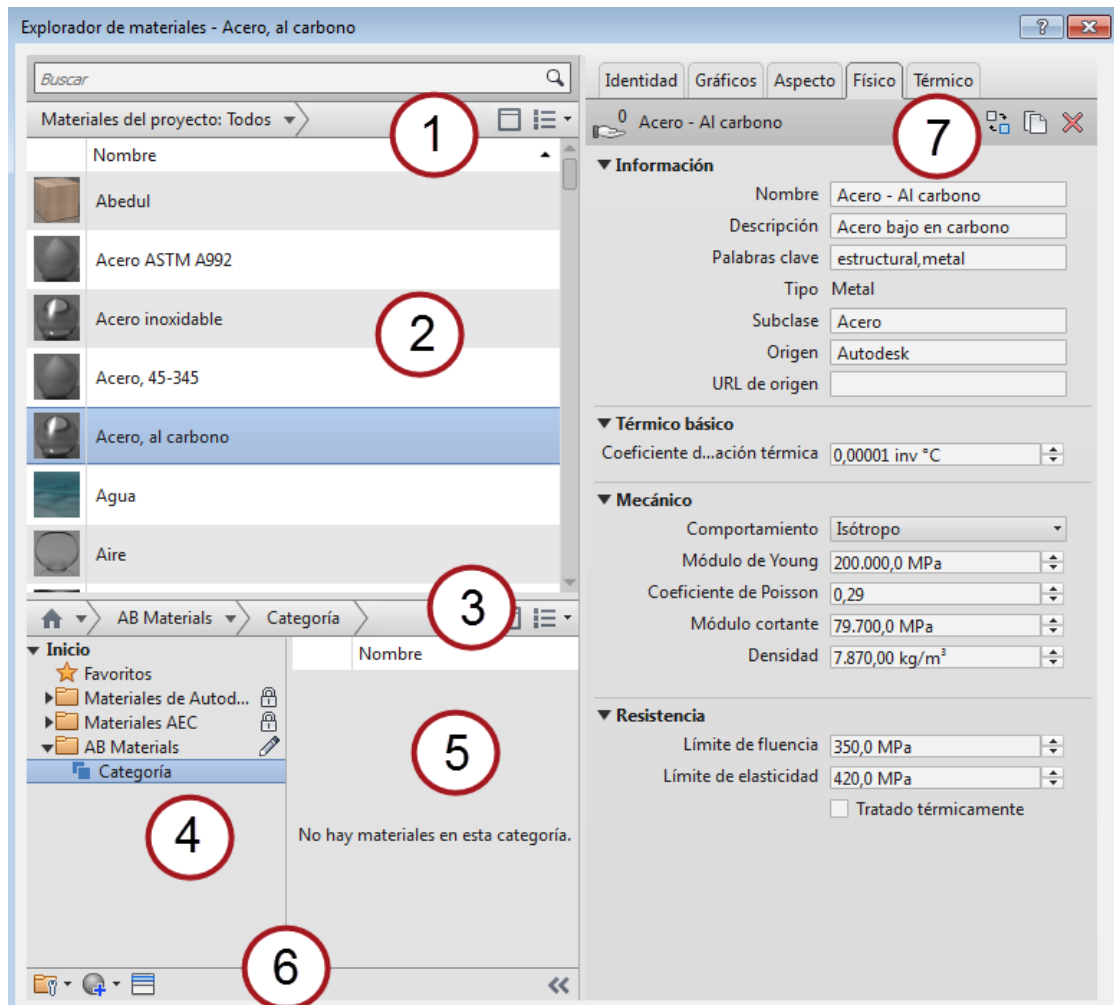


Figura 3-74 Biblioteca de materiales [25]

Dentro de la biblioteca de materiales, se podrán encontrar siete regiones diferenciadas:

Región	Función
1	En esta región se pueden encontrar dos botones. El de más a la izquierda tiene como función principal ocultar el panel de la biblioteca, además de un botón para la correcta configuración de los materiales del proyecto, que ejerce como filtro para la visualización de la lista de materiales.
2	Lista los materiales del proyecto activo, con independencia de si están presentes en el proyecto o no. Se podrá acceder al nombre, duplicado y adición a la biblioteca, tareas comunes a la hora de editar un elemento.
3	Región que permite la muestra u ocultación del panel de biblioteca, que regulan el tipo de

	presentación de las bibliotecas y materiales dentro del panel de exploración de materiales.
4	Muestra las bibliotecas abiertas, además de sus categorías.
5	Listado de los materiales presentes en la biblioteca, que se organizan según las categorías definidas dentro de la biblioteca.
6	Barra de herramientas del explorador de materiales, que proporciona herramientas para la gestión de las bibliotecas, la creación de nuevos materiales o el duplicado de materiales existentes.
7	Una vez se selecciona un material dentro de una biblioteca, se presentará en el panel derecho una lista de los distintos objetos (propiedades) que tiene el material. En este modo, los valores de los objetos no son modificables.

Tabla 3-7 Explicación de regiones de Biblioteca de materiales

En segundo lugar, una vez se selecciona el material a editar, se accede al segundo panel de configuración, el editor de materiales. Su principal uso es la edición de objetos y/o propiedades de un determinado material. Los materiales editables en Revit serán aquellos que se encuentren en el proyecto vigente. Al igual que en el panel de bibliotecas de materiales, las propiedades dentro del editor de materiales son de solo lectura. Desde este menú, se pueden añadir fichas de objeto, de tal forma que se puedan gestionar y consultar información y propiedades necesarios para la correcta caracterización del material.

El conjunto de objetos y propiedades que se asignan a un material generan un resultado presentado a modo de previsualización en una miniatura, que es modificable, a partir de la cual se podrán estudiar las diferentes opciones hasta escoger aquella que garantice la correcta calidad de la renderización del material.

Para la asignación de los materiales presentes en este proyecto, se ha procedido a la selección individual de cada uno de los elementos que componen el modelo. A modo de ejemplo, se describe el procedimiento de asignación de materiales en uno de los muros de cerramiento del edificio “Príncipe de Asturias”. Una vez se selecciona el elemento a modificar, se procede a su edición a través de la ventana de propiedades, en su opción de “Editar tipo”.

El primero de los apartados en caso de los elementos de la familia “Muro” es la definición de la estructura del muro, a la que se accederá mediante el comando “Editar”. La ventana emergente clasifica las distintas capas que componen al material de exterior a interior, incluyendo su función, grosor, material, y si contribuyen o no al análisis estructural del modelo. El material de la capa interior del muro viene por defecto definido como un material “Por categoría”, que lo hace no apto para simulaciones. Al ser una capa cuya función es el enlucido del muro y atendiendo a la documentación relativa al edificio, se debe proceder a la modificación de este material “Por categoría”, seleccionando el botón que da acceso a la biblioteca de materiales, justo a la derecha del material vigente. Una vez se accede a dicha biblioteca, se selecciona el material más parecido al real, que deberá ser duplicado para poder editarlo. En este caso, al tratarse de pintura al temple, se selecciona el material cargado por defecto “pintura”, ya que el material real viene tipificado como un ejemplo de pintura al temple o gotelé, que se cargará en el proyecto seleccionando “Aceptar”. Dado que no se trata del material real,

se le deberán asignar en las diferentes pestañas las propiedades reales, excepto la propiedad de aspecto, que será desarrollada a lo largo del apartado de asignación de texturas y acabados.

3.9 Asignación de texturas y acabados

Revit presenta una gran cantidad de opciones a la hora de personalizar el aspecto de un material, dada la extensa base de datos de texturas y acabados que tiene por defecto. Sin embargo, existe también la posibilidad de generar texturas a partir de imágenes o patrones de referencia. Para especificar un archivo de imagen de cara a la aplicación de colores, diseños, texturas o mapas de relieve se debe importar un archivo, aplicándole unas propiedades de visualización que, en base, se refieren a la componente de rotación y tamaño de las muestras generadas, dentro de la ficha Aspecto, incluida en el panel editor de materiales.

Para su importación, se deben tener en cuenta diversas consideraciones. En primer lugar, se debe seleccionar la imagen a usar como textura, que debe tener un formato compatible. (JPG, BMP, JPEG o PNG). Una vez importada, se debe especificar el tamaño de la muestra adjunta; esto es, si la imagen representa una medida de 200 milímetros, se deberá especificar 200. En el apartado de posición, se permite la rotación de la muestra, que se indicará en grados de rotación en el sentido de las agujas del reloj. En caso que la imagen importada tenga como función principal la aportación de color, se podrá ajustar el brillo, teniendo en cuenta que un brillo de 1,0 presentará la textura como la misma imagen y un brillo de 0,25 representará la imagen de referencia con la cuarta parte de su brillo original. La imagen importada también se podrá invertir, lo que quiere decir que en caso que se quieran cambiar los roles entre colores claros y oscuros, esta herramienta lo permitirá. Las texturas de relieve utilizan esta herramienta para invertir los puntos altos y bajos del patrón de texturas.

Existen asimismo texturas que se utilizan a modo de relieves de acabado y patrones de relieve, para los cuales se especificará un valor de cantidad. La representación de este valor se fundamenta en la amplitud dentro de las irregularidades de la superficie. Introduciendo 0 se generará un patrón sin relieve, plano. El aumento progresivo de este valor supondrá un aumento de la profundidad de las irregularidades de la superficie.

Para cambiar las propiedades de aspecto dentro de los elementos presentes en el edificio “Príncipe de Asturias”, se ha procedido a través de la pestaña “Gestionar”, que en el submenú “Configuración” incorpora la herramienta “Materiales”. Una vez dentro del explorador de materiales, se debe seleccionar el material que se desea modificar dentro de la lista. El procedimiento normal es el duplicado de uno de los materiales, para realizar la edición sobre el material duplicado y conservar las propiedades del material original. Muchas de las texturas utilizadas para su asignación a algunos de los materiales que componen el edificio se han conseguido a partir de las fotografías recogidas por el escáner láser durante la primera fase del presente proyecto. Sin embargo, otras texturas no recogían todos los detalles establecidos para considerarlas válidas a partir de imágenes obtenidas por escáner. Por ello, el procedimiento empleado ha sido la toma de fotografías específica de aquellas texturas necesarias para la correcta representación del edificio “Príncipe de Asturias”. La aplicación de texturas y acabados sobre los distintos elementos del modelo se puede realizar de una manera rápida con la herramienta “Pintura”, que consiste en la selección de un determinado material que funcionará a modo de pintura, pero que no reunirá algunas de las propiedades del material ya que, en realidad, solamente le asigna el aspecto exterior que posee dicho material en el enlucido del material.

3.10 Renderización

La renderización es la utilización de algoritmos complejos que permitan la generación de una imagen fotorrealista a través de una vista 3D de un determinado modelo de construcción. La generación de dicha imagen depende de una gran cantidad de factores, que afectarán al tiempo de

cálculo, como pueden ser la cantidad de elementos presentes en el modelo y la presencia o no de luces, al igual que el nivel de detalle buscado.

Para renderizar una vista, se deberá crear una imagen 3D dentro del modelo. En la misma pestaña de “Vista”, se seleccionará la opción “Renderización”, que abrirá una ventana para la selección del motor de renderización a utilizar. Se podrá elegir entre NVIDIA mental ray y Autodesk Raytracer. La principal diferencia entre los dos motores radica en la utilización o no de datos en tiempo real. En el siguiente cuadro de texto se deberá elegir la calidad de la renderización, teniendo presente que una mayor calidad conlleva un mayor tiempo de cálculo. Posteriormente, se podrá escoger la salida de la imagen renderizada, que podrá ser presentada en pantalla o imprimida, para lo cual se deberá configurar el número de puntos por pulgada (DPI, Dots Per Inch) en la impresión. Una de los parámetros de mayor importancia a la hora de renderizar es la iluminación, que podrá ser natural o artificial, incluso una combinación de ambas. Por último, Revit permite la personalización en el fondo a utilizar.



Figura 3-75 Carga de parámetros de renderización y renderizado de ejemplo

Revit permite, asimismo, la generación de un recorrido virtual alrededor del modelo. Para su definición, se deberá hacer clic en la pestaña “Vista”. En su apartado de recorrido, se precisarán los puntos por los que pasará el recorrido (Figura 3-76) a partir de uno de los planos que define el proyecto. Una vez se definen los puntos, es posible visualizar la animación mediante clic en “Editar boceto”. Existe también la posibilidad de creación de un “slice” que permita la visualización de una animación que corte los elementos de un edificio para facilitar la visualización de la compartimentación interior.

Se incluyen entre las pestañas aquellas destinadas a la gestión de archivos o a la configuración de renderizados.

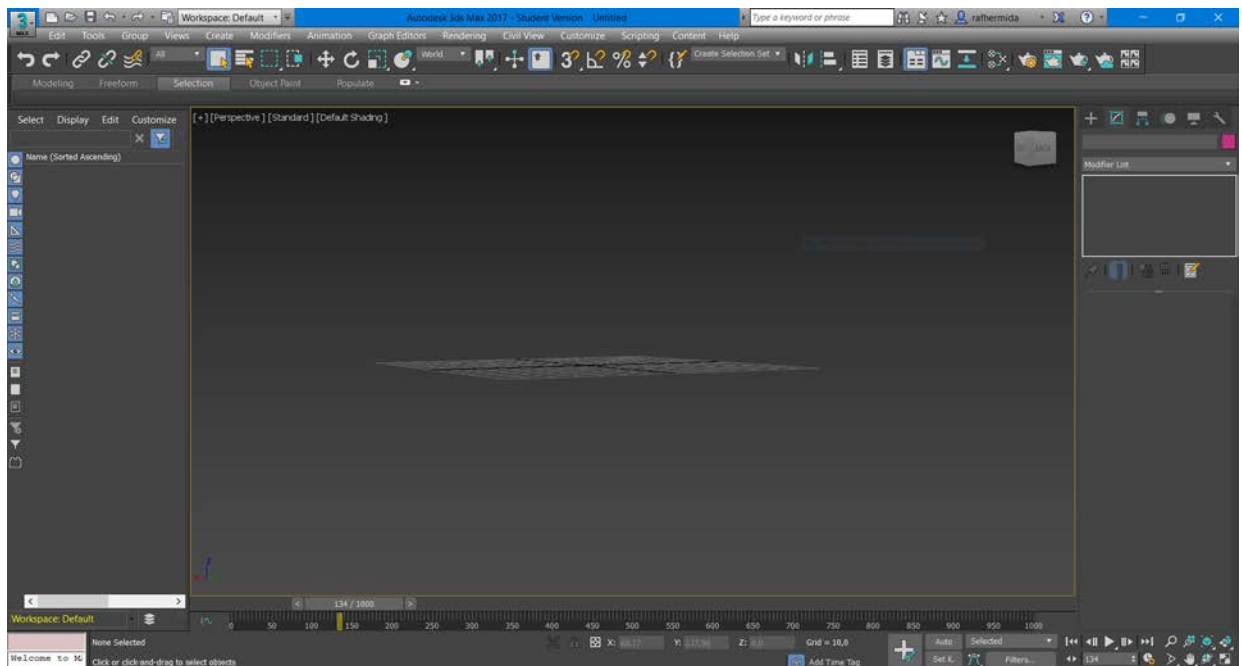


Figura 3-78 Pantalla de inicio de Autodesk 3ds Max

El menú de la derecha actúa como navegador de proyectos; en él es posible visualizar los elementos del proyecto activo, tanto importados como creados dentro del proyecto. Su estructura de árbol facilita la gestión de los archivos presentes en el proyecto, ya que conserva incluso el orden establecido en proyectos que provienen de otros programas como, en el caso del presente trabajo, Autodesk Revit [27].

La parte central y zona más extensa es la zona de trabajo, donde se visualizará el proyecto activo y se realizarán todas las operaciones relativas a él. Por último, el margen derecho es el lugar que ocupa un submenú dedicado a la edición de los elementos activos en un determinado momento, el trazado y dibujo de líneas y formas que delimiten el camino a seguir por las cámaras o los parámetros modificables de los elementos de animación y visualización.

De cara a la realización de la simulación para el presente proyecto, el primer paso es importar el proyecto proveniente de Revit. Para ello, desde el menú de inicio, se deberá seleccionar la opción “Importar archivo”. La ventana emergente a modo de panel de búsqueda solicitará al usuario la selección de un archivo compatible, en este caso, el proyecto de Revit (.rvt). Antes de comenzar a trabajar sobre el proyecto en 3ds Max, es necesario seleccionar la vista de trabajo que se desea importar, siendo lo más común la elección de una vista en 3 dimensiones. Una vez se acepta la importación, será posible visualizar el proyecto en la ventana de trabajo. En este caso, se ha escogido una vista cortada por caja de sección, para facilitar la visualización del software de simulación.

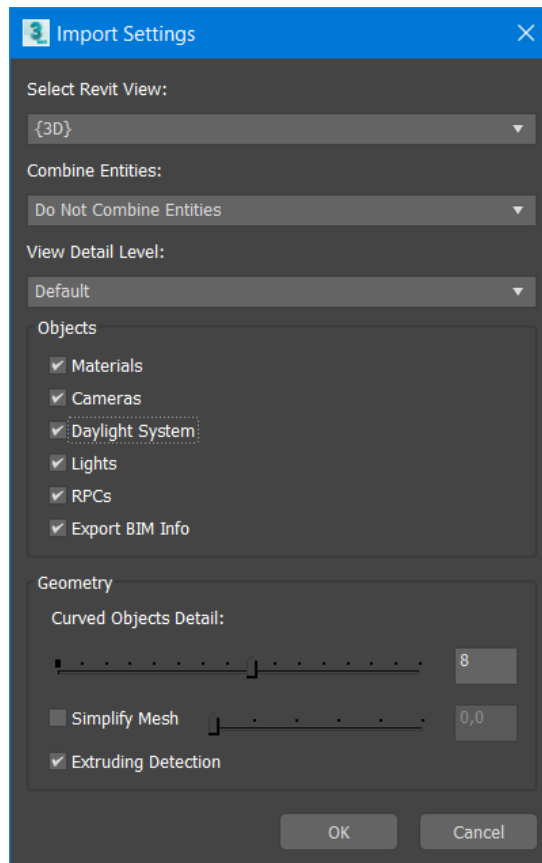


Figura 3-79 Configuración de opciones de importación

La simulación comienza con el trazado del primer camino a seguir por las cámaras. Para su delimitación, en el panel de la derecha se deberá seleccionar la opción “Línea”, mediante la cual se trazará el camino que deberán seguir las cámaras. La no presencia de la herramienta arco genera caminos de vértices rectos, lo que provoca una sensación incómoda a la hora de visualizar la animación. Para paliarlo, 3ds Max incorpora el comando “Fillet”, que se utilizará una vez se seleccionen los vértices para dotarlos de cierta curvatura.

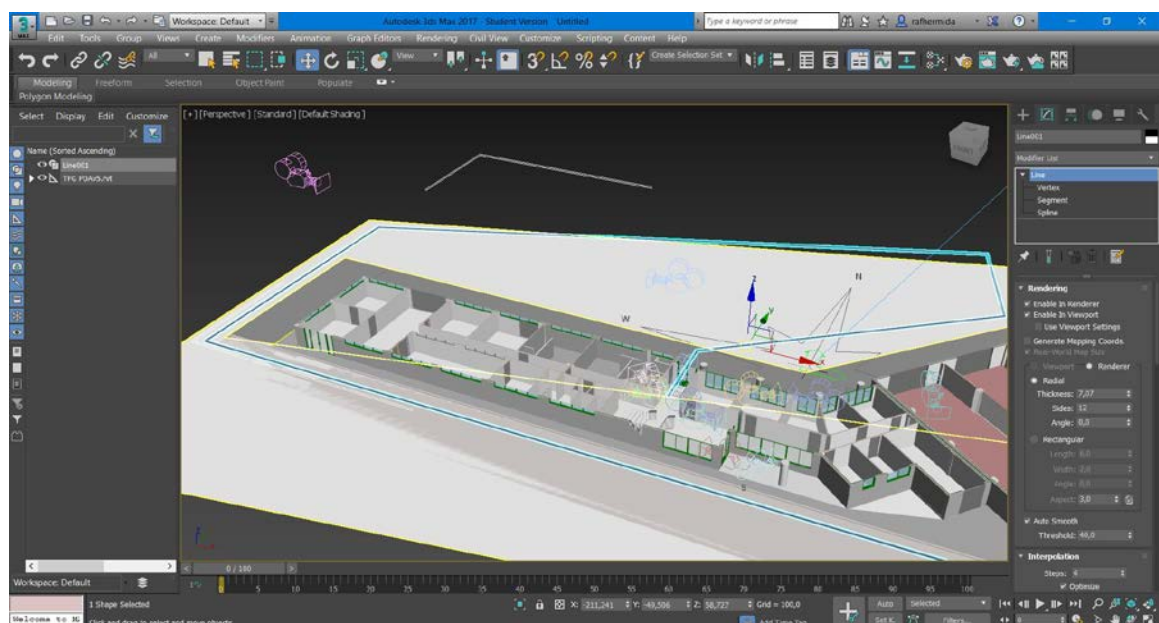


Figura 3-80 Visualización de camino implementado (en azul)

El siguiente paso es la creación de una cámara, que podrá ser libre o de objetivo. Siendo el objeto de esta simulación la visualización de un edificio, se genera una cámara de objetivo, que enfoca siempre al edificio, guiada a lo largo del camino previamente delimitado mediante la aplicación de la propiedad de enlace “Path constraint”. Para fijar dicha posición, se deberá seleccionar la cámara y, desde el panel de elementos, seleccionar la opción “Set key”, que fijará la posición a la que apunta la cámara a lo largo de la simulación.

Pero sin duda una de las herramientas de visualización más importantes es “Slice”. Este comando genera un plano de corte que permite una visión dinámica del proceso constructivo. Para su utilización, es necesario organizar en grupos las familias de materiales a introducir en la animación. Una vez se decide el orden, se distribuyen de manera individual a lo largo de planos de corte separados en tiempo, para generar una animación fidedigna del proceso constructivo de un edificio.

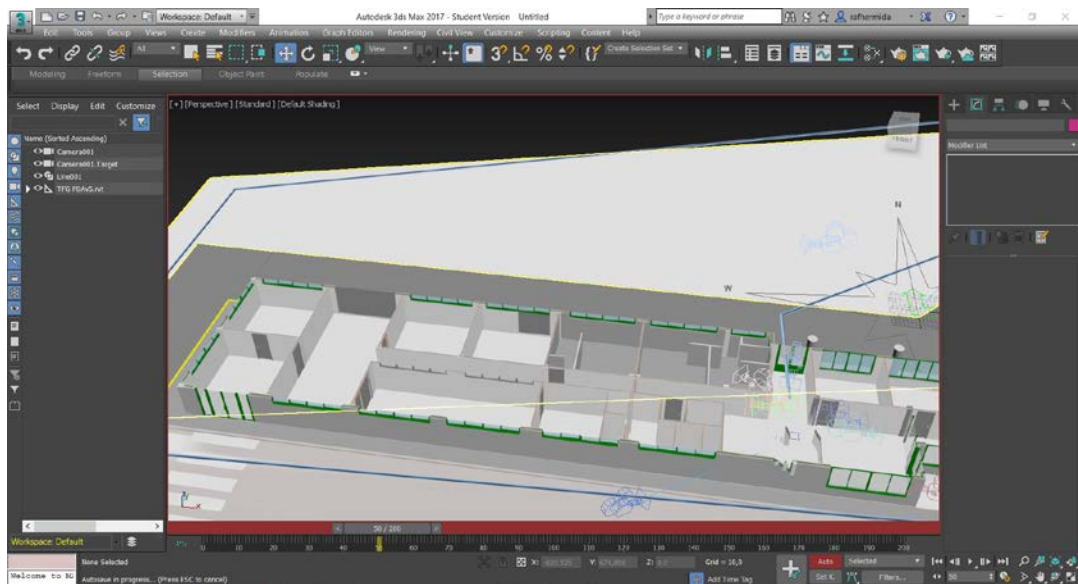


Figura 3-81 Modificación de la posición del plano Slice

Por último, una vez se genera la animación, esta podrá exportarse. Para ello, en la pestaña Rendering se seleccionará la opción “Render Setup”, en la que se configurarán los parámetros de detalle y tiempo de la animación que, previamente a ser exportada en un formato de vídeo compatible, debe ser correctamente renderizada.

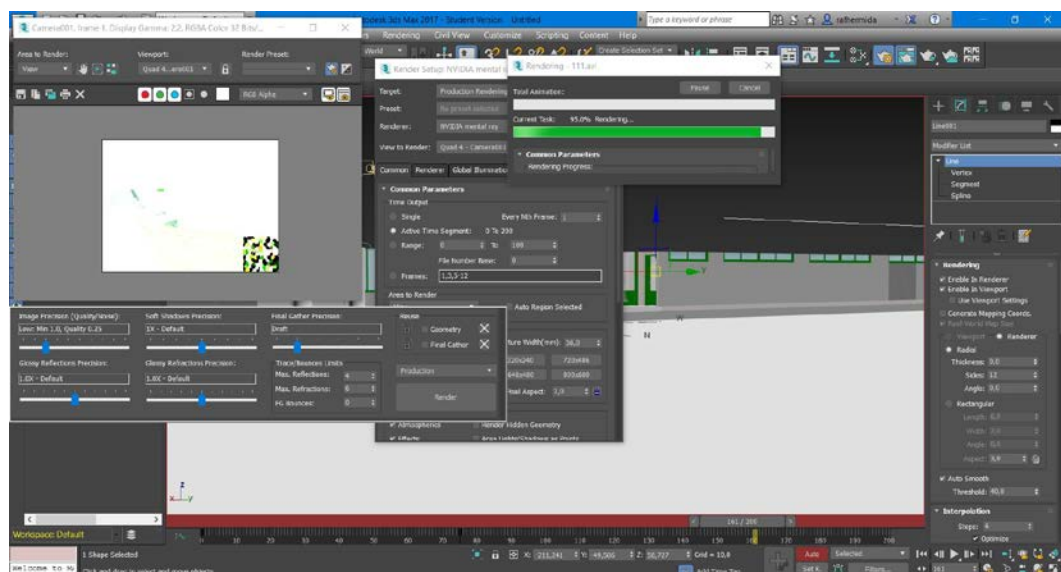


Figura 3-82 Proceso de renderización

4 RESULTADOS

4.1 Descripción

Las distintas acciones tomadas a lo largo del desarrollo del presente trabajo fin de grado han generado una serie de resultados en cada una de sus fases. El comentario y la discusión de los mismos es el objetivo de este capítulo, en el que se recopilará toda la información obtenida comenzando, en primer lugar, por el producto final del registro parcial de los datos, que ha servido como medio para la obtención de aquellas medidas de interés para la realización del modelado. Posteriormente, se discutirá el resultado obtenido del software ReCap, que para la realización de este trabajo ha desempeñado la función de nexo entre las dos metodologías que fundamentan el devenir de los acontecimientos, la Ingeniería Inversa y el BIM. Como tercer punto a discutir se presenta el modelado mediante el uso de técnicas BIM, pilar maestro de este trabajo, por su importancia para la consecución del objetivo final. Por último, se comentará el producto de la simulación del proceso constructivo originada en Autodesk 3D Studio Max, la obtención de renderizados y el tratamiento de los datos procedentes del software de modelado, Autodesk Revit

4.2 LiDAR

4.2.1 Registro parcial

Esta fase del trabajo se ha llevado a cabo al inicio del mismo, coexistiendo con la toma de datos. La importación de los escaneos obtenidos a través del escáner láser han generado un proyecto en el software de procesado RiSCAN Pro de un total de 85 escaneos, que se han agrupado en pequeños grupos para garantizar su función, que consistía en ofrecer una fuente fidedigna de mediciones para la definición del modelo constructivo.

El registro de las nubes de puntos ha supuesto un total de 55 operaciones de unión, mediante las cuales se ha obtenido una vista conjunta de pares de escaneos, garantizando así una mayor exactitud en las medidas. Para ello, se ha establecido como límite máximo de desviación la medida de 2 centímetros, en los que se pone a prueba la pericia del alumno. El resultado de las uniones de nubes de puntos se adjunta a continuación, con una medida de la desviación estándar obtenida en metros.

Vista A	Vista B	Nº de pares de puntos	Desviación estándar
0	1	11	0,0121
2	3	9	0,00295
4	13	12	0,01728
7	8	12	0,01176
9	10	7	0,01983
11	12	9	0,00904
14	15	9	0,00219
16	17	7	0,01873
18	19	7	0,00259
21	22	9	0,00558
21	89	12	0,00521
21	89	10	0,01426
22	86	9	0,01711
23	24	11	0,00714
25	26	11	0,00247
25	78	12	0,01976
28	29	11	0,00604
28	96	7	0,0079
30	31	10	0,00178
32	35	11	0,01702
32	71	8	0,0076

Tabla 4-1 Resultado de desviación estándar de registro de nubes de puntos (Parte I de III)

La segunda parte del registro abarca los escaneos recogidos mayoritariamente en la primera planta del edificio, donde se sitúan distintas oficinas de gestión de documentación relativa a las actividades náuticas y oficinas de administración del Departamento de Instrucción y Adiestramiento.

Al haberse realizado la mayor parte de la toma de datos en una misma tarde, las diferencias de color entre las nubes propiciadas por distinta luminosidad son menores.

Vista A	Vista B	Nº de pares de puntos	Desviación estándar
32	82	7	0,01973
33	34	7	0,01674
35	38	12	0,01459
35	39	7	0,00929
35	76	11	0,01365
36	37	9	0,01406
38	72	9	0,01232
38	94	8	0,01223
40	41	11	0,01145
42	43	10	0,01844
45	47	11	0,01229
48	49	8	0,00292
48	51	7	0,01217
54	55	12	0,00918
56	57	7	0,00615
56	58	10	0,00253
59	60	12	0,01971
59	69	8	0,01325
60	62	10	0,01672
60	63	9	0,00864

Tabla 4-2 Resultado de desviación estándar de registro de nubes de puntos (Parte II de III)

Alrededor del escaneo número 60 se trasladan las posiciones de escaneo a la zona de trabajo número 2, en la que se realizan labores de limpieza, gestión, reparación y preparación de los barcos que son competencia de la la Comisión Naval de Regatas de la Armada en Marín (Pontevedra).

Estos escaneos se llevan a cabo en zonas mucho más amplias que la zona de trabajo número 1, por lo que, a priori, el resultado de la generación de nubes de puntos se prevé sustancialmente mejor que en la primera zona de estudio, dado el reducido espacio de las compartimentaciones.

Vista A	Vista B	Nº de pares de puntos	Desviación estándar
62	64	12	0,018
62	67	10	0,01716
62	68	7	0,01544
67	70	12	0,00213
67	87	7	0,01954
70	88	11	0,01504
72	75	8	0,00814
73	74	8	0,00459
75	85	12	0,00552
79	80	12	0,00965
80	81	12	0,00326
81	90	10	0,00309
82	91	9	0,00647
83	84	12	0,00666
92	93	7	0,01654

Tabla 4-3 Resultado de desviación estándar de registro de nubes de puntos (Parte III de III)

Los resultados obtenidos cumplen el límite superior impuesto en cuanto a las desviaciones estándar proyectadas para el proceso. La importancia de una buena elección de puntos análogos es vital, ya que en muchos de los registros la primera operación de búsqueda de puntos análogos no ha sido satisfactoria. Es por ello que la selección de puntos comunes ha de basarse en la búsqueda de aquellas superficies que están bien definidas, tales como marcos de puertas acristaladas, formas características dentro de las fachadas y objetos a distintas alturas, para no concentrar el registro en una única zona de las nubes de puntos. Además, la concepción inicial de seleccionar pocos pares de puntos se muestra completamente errónea, puesto que un registro llevado a cabo por escasos pares de puntos no garantiza un buen resultado de unión. Es por ello que se ha establecido como número óptimo de pares de puntos a seleccionar la cifra de nueve, que resulta de obtener la media de todos los pares de puntos seleccionados para el registro parcial de los datos realizado durante la fase de desarrollo del presente proyecto. Esta cifra ha oscilado entre los 7 y los 11 pares de puntos, siendo muy complicado a veces el registro de los datos obtenidos en aquellos escaneos cuyo solapamiento era escaso. El buen desempeño a lo largo de la fase de toma de datos y elección de los puntos de escaneo ha sido crucial para evitar retrasos en las fases siguientes ya que, si se diese el caso de que dos escaneos no pudiesen ser registrados por ausencia de solapamiento, debería repetirse la toma de datos, lo que supone dedicar tiempo a una fase anterior en detrimento del óptimo flujo de trabajo para el desarrollo de las actividades encaminadas a la consecución de los objetivos.

4.2.2 Mediciones

Una vez se realizaron los registros parciales de las nubes de puntos, se ha procedido a la medición de las distintas dimensiones necesarias para el levantamiento del modelo constructivo. Esta fase ha ido

a solape con los datos generados del postprocesado de los escaneos, llevado a cabo en Autodesk ReCap.

La elección de los elementos a medir con el programa RiSCAN Pro ha venido determinada por su naturaleza y por la definición obtenida. Al ser un modelo constructivo inteligente, se debe prestar especial importancia a aquellas geometrías que hacen característico al edificio. A modo de ejemplo, no tiene las mismas pérdidas por transferencia de calor un edificio que cuente con ventanas de 1 metro de ancho que otra edificación que cuente con ventanas de 1,20 metros. Por tanto, se ha dado mayor importancia a este tipo de elementos, entre los que se incluyen ventanas, puertas y muros.

4.3 ReCap

Autodesk ReCap ha establecido la conexión entre las dos metodologías de trabajo, la Ingeniería Inversa y el BIM. Al ser esta una herramienta procedente de la suite de programas Autodesk, ha garantizado la total interoperabilidad entre el resto de programas de la misma casa.

La fase que ha desempeñado este software se encuadra en el postprocesado de datos, que busca cubrir las carencias del primer tratamiento de datos realizado en RiSCAN Pro. Si bien el registro total de los datos resultaba imposible en RiSCAN Pro por carencias computacionales, se ha paliado con creces a lo largo de la fase desarrollada en ReCap. La duración de esta fase ha sido relativamente corta, dado que las operaciones de registro, que a priori superaban en número con respecto a RiSCAN Pro, han llevado menor tiempo que en la fase previa, pues ReCap cuenta con un motor de cálculo de matrices de transformación más avanzado que RiSCAN Pro.

Aunque los registros a primera vista resultaban más simples, los resultados obtenidos nada tienen que envidiar a los obtenidos durante la fase de registro parcial. A continuación, se presentan los resultados derivados, atendiendo a tres consideraciones. La primera de ellas es el grado de solapamiento entre las nubes de puntos, en el que se mide la densidad de puntos comunes en las dos nubes a registrar. La segunda consideración es el balance, que recoge, en porcentaje, el nivel de equilibrio entre los niveles de los colores básicos rojo, verde y azul dentro de los puntos comunes encontrados entre las dos nubes de puntos. La tercera y última consideración evalúa la cantidad de puntos cuya desviación dentro del registro es menor a 6 milímetros, una precisión cuanto menos aceptable.

A pesar de que los resultados obtenidos no son tan satisfactorios (dado el mayor nivel de exigencia establecido) como en la fase de registro, en la que únicamente se atendía a la desviación estándar entre pares de puntos, los resultados encuadrados en la primera consideración, el grado de solapamiento entre nubes, da muestra de la buena planificación a la hora de escoger las posiciones de escaneo, ya que se encuentra siempre por encima del 30%. Las variaciones en balance se han dado principalmente por la distinta iluminación de los locales escaneados, pues aquellas compartimentaciones que recibían luz solar y luz artificial revisten una luminosidad mayor que aquellas con un ambiente más tenue. Cabe destacar también que la toma de datos no se ha realizado en único día, por lo que la variación de las condiciones meteorológicas, así como la hora de toma de datos ha afectado a esta consideración, que no ha supuesto un defecto relevante a la hora de registrar las nubes de puntos, ya que el registro en sí es coherente.



Figura 4-1 Nube de puntos obtenida en ReCap

La última de las consideraciones, la desviación menor a 6 milímetros ha generado buenos resultados a pesar de tratarse de un dato bastante restrictivo. Cabe mencionar que los registros obtenidos durante la fase de registro automático cumplían con creces las especificaciones de esta consideración, pero no cabe menospreciar el resultado obtenido del registro manual que, a pesar de devolver valores de exactitud menores a los obtenidos durante la fase de registro automático, cumplen con las exigencias establecidas. A pesar de ello, el alumno considera que la definición de únicamente tres superficies análogas no es suficiente para el registro preciso de los datos, ya que en multitud de ocasiones la operación de registro manual debía ser repetida, al no haber encontrado el programa solución a la ecuación de transformación planteada por el operador.



Figura 4-2 Superposición de la nube de puntos generada en ReCap con el modelo BIM

La labor que se ha llevado a cabo mediante la utilización de Autodesk ReCap ha sido un requerimiento vital para el acceso a la siguiente fase, el modelado en Autodesk Revit. El resultado obtenido luego del post-tratamiento de los datos se presenta a continuación.

La visualización que ofrece la figura anterior acredita el buen resultado obtenido de la fase de registro, pudiendo esta vez obtener una visión clara y conjunta de todas las nubes de puntos que componen el edificio “Príncipe de Asturias”. Aunque la fase de este proyecto basaba su existencia en el tránsito de información desde un láser escáner a un software de modelado BIM, también se exploran las diferentes opciones que plantea ReCap, ofreciendo múltiples visualizaciones a través de filtrados, que permiten analizar los datos desde otras perspectivas contribuyendo al dominio del software por parte del alumno.

4.4 Modelado

La elaboración paso por paso del modelo BIM del edificio “Príncipe de Asturias” ha comenzado por los elementos estructurales, incluyendo en este apartado todos los pilares, vigas y suelos que contribuyen al análisis estructural del edificio. La no existencia de planos a la hora de modelar los elementos estructurales ha requerido una importante labor de investigación, en la búsqueda de la composición y disposición de los elementos que conforman la estructura del edificio.

El resultado obtenido en este periodo ha permitido trabajar con dos tipos de estructura, dado que no se ha empleado el mismo método de construcción en las dos zonas de trabajo principales del edificio. De esta manera, se obtiene una primera zona de trabajo, que comprende el apartado de oficinas y despachos y da forma a la fachada principal del edificio. Esta zona consta de un total de 28 pilares de sección 30 centímetros, que dan sustento a un sistema de viguetas y bovedillas que forman los suelos de los pisos superiores. El procedimiento es análogo en la planta primera, aunque el número de pilares a esta altura se ha reducido hasta un total de 15 pilares, de los cuales 9 sirven de base para el forjado del piso inmediatamente superior, esto es, la primera de las torres. A este nivel, se cuenta con una cantidad de 6 pilares, cuya acción sirve de base para el último de los niveles, la segunda de las torres. Cabe destacar por último la inclusión de los 5 pilares que sustentan a los balcones principales del edificio.

En la segunda zona de trabajo, definida por los talleres y naves de almacenamiento y reparación de embarcaciones y sus pertrechos, se han insertado un total de 24 pilares, cuya sección varía con respecto a los pilares situados en la primera de las zonas de trabajo ya que, en este segundo caso, es de 45x60 centímetros. La inserción de los suelos del piso inmediatamente inferior se realiza sobre una serie de vigas dispuestas de manera perpendicular a los pilares previamente definidos, destacando que sólo una mitad de la superficie de esta segunda zona de trabajo está dividida en dos niveles, dada la existencia de una nave industrial que comprende desde el nivel del suelo de la planta baja hasta la altura de las cubiertas que encierran a la edificación. Merece especial reseña la colocación de un total de 5 vigas en el nivel superior de la zona de trabajo, que sirven de apoyo para las cubiertas de la misma.

Con los componentes estructurales ya dispuestos, se ha procedido a la colocación de los muros de cerramiento, que han permitido generar el contorno exterior del edificio. Cabe destacar que en esta fase se han generado materiales acordes con la naturaleza de los elementos empleados en la construcción del edificio, ya que se ha establecido un nivel de detalle que permita inferir la disposición de los materiales que componen cada uno de los elementos. Se ha procedido a la colocación de los muros de cerramiento generando en ambas zonas de trabajo una edificación estanca, que interiormente aún no había sido compartimentada. La compartimentación del edificio “Príncipe de Asturias” ha tenido lugar durante la fase de colocación de tabiques y particiones interiores, generando la siguiente distribución interior:

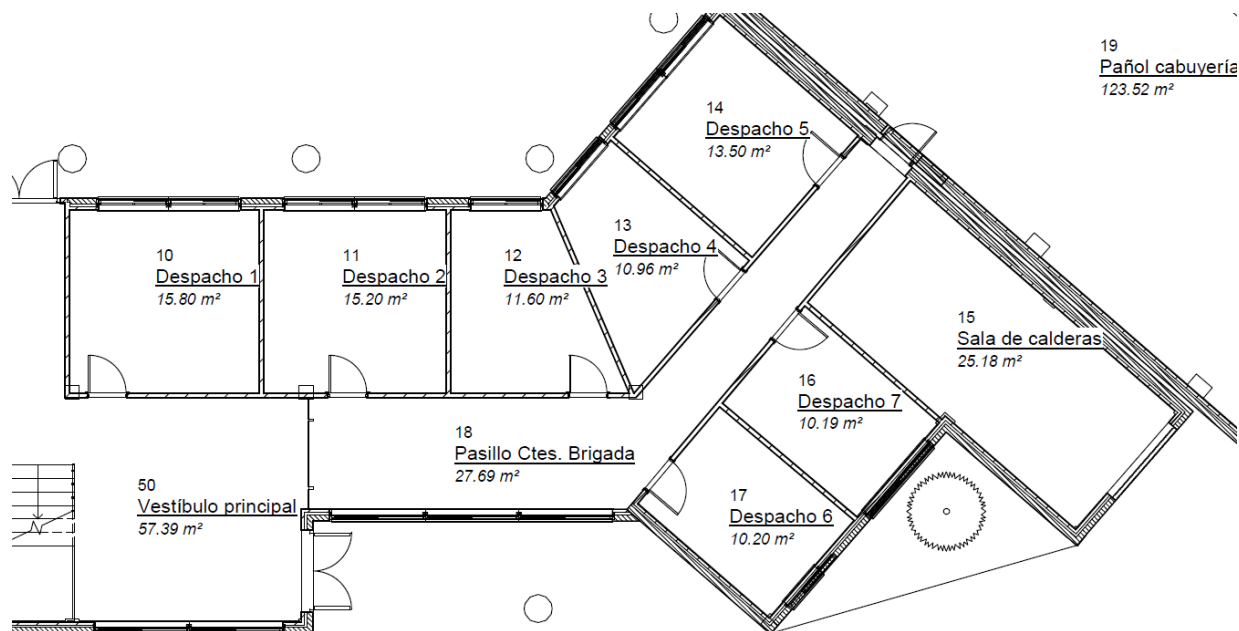


Figura 4-3 Ejemplo de distribución Planta Baja

Se puede observar cómo aquellas compartimentaciones destinadas a funciones de almacenaje de material de la Comisión Naval de Regatas en Marín disponen de una mayor superficie dedicada. Además, se clasifican los materiales por función dentro de las embarcaciones pertenecientes a la citada comisión. Así, procediendo desde el margen oeste de la primera de las zonas de trabajo, se pueden encontrar en la planta baja un compartimento dedicado al almacenamiento de chalecos salvavidas y calzado de regatas. Este compartimento debe contar con equipamiento de deshumidificación, dado que los materiales situados en este compartimento están en contacto directo con el agua del mar. Aún así, el material depositado debe recibir un baño de agua dulce previo a su almacenaje. Al sur de este compartimento, existe un pequeño almacén de pertrechos, entre los que se puede encontrar una gran variedad de objetos, desde dispositivos GPS portátiles hasta chaquetones de abrigo para las embarcaciones de vela crucero. Dentro de este almacén existe una subdivisión realizada por medio de tabiquería, que alberga las distintas estanterías en las que se clasifican las distintas banderas que se utilizan como método alternativo de comunicación en la mar. En este lugar se almacenan también las enseñas nacionales, en diversos formatos, dado que dependiendo de las condiciones meteorológicas o las normativas de protocolo recogidas en las Reales Ordenanzas para la Armada, se utilizará un tamaño u otro.

Continuando con los compartimentos dedicados a las actividades náuticas, cabe mencionar el vestíbulo donde se encuentran las puertas que dan acceso a los compartimentos anteriormente reseñados. En esta zona se encuentran las taquillas de efectos personales del personal destinado en la Comisión Naval de Regatas en Marín. Además, sirve de almacén de timones y quillas para las embarcaciones de vela ligera tipo Snipe.

La última sala dedicada a la actividad náutica en la parte oeste de la planta baja del edificio “Príncipe de Asturias” es el pañol de material relacionado con el pentatlón naval. Dicho material incluye balsas de remo y fusiles de madera para el desarrollo de las pruebas. Al igual que el compartimento de almacenaje de chalecos y calzado náutico, requiere de equipamiento para su deshumidificación. El acceso a este compartimento se realiza desde el exterior del edificio, a través de una puerta de perfil grecado.

Ya en la segunda zona de trabajo, pero en la planta baja igualmente, se sitúan, de Oeste a Este los presentados a continuación. El primero de ellos es un pañol de cabuyería dedicado al complemento de las actividades náuticas, en el que se reparan y almacenan cabos, drizas y estachas, además del

material necesario para el montaje de un campo de regatas, como pueden ser las boyas y sistemas de anclaje de las mismas.

El segundo compartimento es un taller de reparaciones, especialmente dedicado a la revisión y arreglo de las unidades de potencia que portan las embarcaciones encuadradas en la Comisión Naval de Regatas. La sala dispone de material específico para el tratamiento de motores y componentes mecánicos a bordo de las embarcaciones. En la parte norte de este compartimento, se encuentra una oficina de gestión de mantenimientos y reparaciones, a cargo del Suboficial encargado del destino.

La tercera de las compartimentaciones es la de mayor superficie y volumen dentro del conjunto formado por las dos zonas de trabajo que componen el edificio “Príncipe de Asturias”. Se trata de una nave de almacenamiento de velas y embarcaciones de vela ligera. Dispone de estanterías y una instalación de fontanería para el endulzado del material previo a su almacenaje. En él se sitúan también una serie de taquillas, utilizadas a modo de armario para el almacenado de material de repuesto para las embarcaciones. Esta compartimentación está comunicada con las otras dos compartimentaciones descritas anteriormente, mediante una puerta de perfil grecado corrediza.

Desde el mismo compartimento se puede acceder, mediante la utilización de las escaleras presentes en el mismo, a la primera planta de la edificación, que lleva hacia el último compartimento dedicado a la actividad náutica, el taller de velas. En él, el maestro velero cuenta con el material necesario para la reparación y cosido de los tejidos que se emplean para la creación de velas, el motor principal de las embarcaciones de navegación a vela.

Fuera del ámbito de la navegación, y como se describía en el primer capítulo del presente trabajo, en el edificio “Príncipe de Asturias” se desempeñan de igual manera funciones administrativas. Si se comienza desde el lado Oeste de la planta baja de la primera de las zonas de trabajo. Las dos primeras compartimentaciones que se encuentran son la Oficina de Seguridad y el Archivo de dicha oficina. Es en este lugar donde se realizan funciones de gestión de pases y acreditaciones para la seguridad de la Escuela Naval Militar. Su personal se encuentra bajo el mando del Oficial de Seguridad.

Ya en el vestíbulo principal del edificio “Príncipe de Asturias” se distinguen numerosas compartimentaciones. Siguiendo el barrido utilizado en el párrafo anterior, lo primero que se distingue son tres compartimentaciones cuya función es la de servir de zona de aseo para el personal que trabaja en el edificio y los alumnos que asisten a sus clases de formación marinera. Los aseos situados en el margen Norte han sufrido, dentro del periodo de desarrollo del presente Trabajo de Fin de Grado, una serie de modificaciones que han añadido un objetivo más, el de actualizar la planimetría presente en la Escuela Naval Militar relativa a este edificio. Una de las principales novedades es la separación de este compartimento en dos nuevos compartimentos de menor superficie, para poder dividir dichos aseos en un aseo para los Oficiales destinados en el Departamento de Instrucción y Adiestramiento y personal de la Comisión Naval de Regatas y otro aseo destinado a aquellos alumnos que cada tarde acuden al edificio para mudarse con la uniformidad preceptiva para la realización de sus actividades náuticas. Ambas nuevas compartimentaciones disponen de lavabos, WC’s y duchas dados los requerimientos del personal para el que están proyectados.

Los aseos situados al Sur de estos nuevos compartimentos son aseos para el personal femenino. Incluyen los mismos elementos que los compartimentos anteriormente descritos, pero guardan una estética distinta, puesto que conservan los materiales originales del edificio, esto es, paredes y tabiques de azulejo blanco con el suelo de cerámica que cubre las zonas comunes del edificio.

La puerta interior más cercana a la entrada principal del edificio “Príncipe de Asturias” da acceso a la zona común de los Tenientes de Navío y Comandantes de Brigada destinados en el Departamento de Instrucción y Adiestramiento, donde se encuentran varios electrodomésticos como cafeteras y una nevera para la alimentación de los Oficiales.

Opuesta a la entrada principal se encuentra un elemento separador que da acceso a los distintos despachos en los que los Oficiales desempeñan funciones administrativas. Dicha zona cuenta con un pasillo común en el que se depositan diferentes informes relativos al alumnado, ya que son estos Oficiales los que montan guardia de Profesor de Servicio, evaluando a los alumnos de guardia a su mando. Esta zona de despachos consta de un total de 6 despachos para un total de 7 Tenientes de Navío. Al final del pasillo común, existe una puerta de madera que da acceso directamente a la segunda zona de trabajo, en concreto al pañol de cabuyería descrito con anterioridad. Justo al final del pasillo, a la derecha, existe una entrada interior a la sala de calderas del edificio, que distribuye el sistema de agua caliente sanitaria para los distintos aseos presentes en el edificio y el sistema de calefacción utilizado para el acondicionamiento de las instalaciones en condiciones de temperatura bajas, como en la estación de invierno. Se puede acceder también al compartimento mencionado por una puerta de perfil grecado situada en el exterior del edificio. Con la descripción de este compartimento, se han caracterizado todos los compartimentos presentes en la planta baja del edificio “Príncipe de Asturias”.

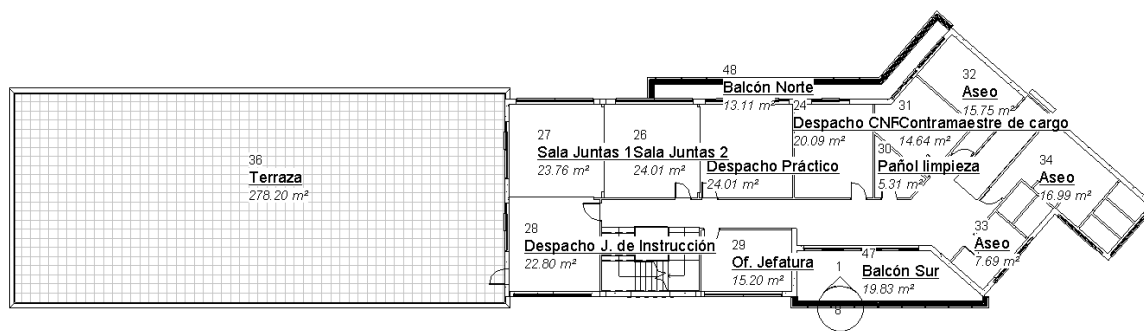


Figura 4-4 Ejemplo de distribución Planta Primera

En la primera planta, siguiendo la descripción Oeste-Este del edificio, lo primero que se puede encontrar es una terraza de dimensiones considerables. El acceso a dicha terraza se realiza a través del despacho del Capitán de Fragata Jefe del Departamento de Instrucción y Adiestramiento, que consta de dos partes claramente diferenciadas, divididas por un elemento separador descrito en el apartado (REF). La primera de las zonas corresponde al despacho en sí donde se dispone del equipamiento necesario para el desempeño de funciones administrativas. La segunda de las zonas es la Sala de Juntas, lugar que sirve de espacio para albergar las múltiples reuniones relativas a la organización interna de las distintas brigadas que componen el Batallón de Alumnos de la Escuela Naval Militar.

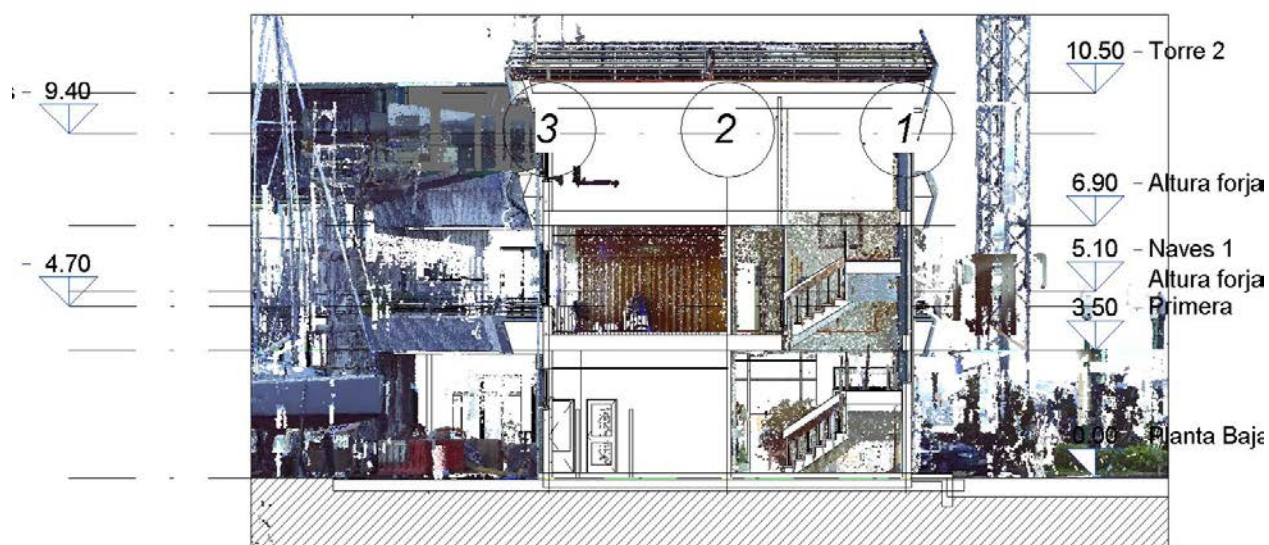


Figura 4-5 Superposición de nube de puntos y modelo en Sala de Juntas

La puerta que da acceso al despacho del Jefe de Instrucción marca el comienzo del pasillo de la primera planta. La primera de las puertas situadas en el margen Sur es la entrada al compartimento denominado “Oficinas” cuya función es la de gestionar las bases de datos, permisos, sanciones y documentación relativa a todos los alumnos de la Escuela Naval Militar y su desempeño dentro de ella.

En frente de esta oficina, se sitúa el despacho del Teniente de Navío encargado de la Comisión Naval de Regatas de la Armada en Marín, que también ejerce labores de practica para todo aquel barco que vaya a atracar en los muelles del recinto militar. Destaca en este despacho la presencia de otro elemento separador de tipo acordeón, del mismo tipo que el que se encontraba en la Sala de Juntas. Este despacho da acceso al balcón de la fachada posterior del edificio “Príncipe de Asturias”, que ofrece una perspectiva amplia de las dársenas interiores del recinto.

Continuando por el pasillo común de la primera planta, adyacente a las oficinas de gestión, se encuentra el acceso al balcón de la fachada principal del edificio “Príncipe de Asturias” en forma de ventana corrediza de doble cristal, sobre una base de 10 centímetros.

Opuesto al acceso al balcón se encuentra otro despacho, dedicado a la gestión de las actividades de la Comisión Naval de Regatas. Entre las actividades llevadas a cabo, destaca la gestión de los ciclos de mantenimiento y reparaciones a llevar a cabo en las embarcaciones que pertenecen al destino. Cuenta con una ventana corrediza que da acceso también al balcón posterior del edificio.

Conforme se continúa avanzando se podrá llegar a un vestíbulo que recoge cinco distintas compartimentaciones. De izquierda a derecha, la primera compartimentación a la que se puede acceder es el despacho del Contramaestre de Cargo, encargado de la gestión de presupuestos y materiales dentro de la Comisión Naval de Regatas. Dicho despacho presenta un segundo acceso a través del balcón de la fachada posterior del edificio.

La siguiente puerta define el primero de los aseos de la primera planta. Este compartimento está autorizado para su uso por parte de alumnos. Su diseño guarda similitud con los aseos femeninos situados en la planta baja, con paredes de azulejo blanco y suelo de cerámica, presente en las zonas comunes del edificio.

Desde el vestíbulo, el tercer camino se obviará por el momento, ya que es realmente una continuación del pasillo. La cuarta opción es otro compartimento de aseos, esta vez indicado para

Oficiales y personal destinado en el edificio. De manera análoga al último aseo descrito, cuenta con paredes de azulejo blanco y suelo de cerámica.

El quinto y último camino es también otro aseo, de dimensiones inferiores a los últimos dos. Estos aseos en cuestión están destinados al personal femenino, tanto encuadrado dentro del Batallón de Alumnos o aquellas mujeres destinadas en los departamentos que alberga el edificio “Príncipe de Asturias”.

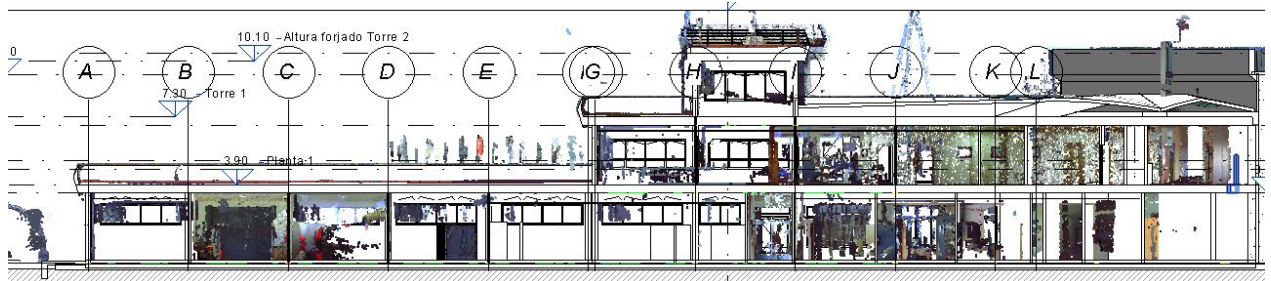


Figura 4-6 Superposición de nube de puntos y modelo en corte B-B'

Por último, se detalla el tercer camino posible desde el vestíbulo, que inicialmente se había omitido. Este camino supone una continuación del pasillo de la planta primera, pero que es característico por el hecho de servir de nexo entre las dos zonas de trabajo del edificio. Dado el hecho de que las plantas primeras de las dos zonas de trabajo establecidas no están alineadas, es necesaria la inclusión de un elemento que salve tal diferencia de nivel. La solución adoptada ha consistido en la instalación de una rampa de madera con una superficie de goma antideslizante. El final de la rampa marca el inicio de la segunda zona de trabajo dentro del edificio, definido por un vestíbulo con tres puertas.

La puerta de la izquierda da acceso a un pequeño almacén de material relativo a la formación de los alumnos, con material didáctico para su formación marinera. Justo en frente de la rampa se puede encontrar una puerta doble, que marca la entrada a la denominada “Aula de Maniobra”, que ejerce de sala en la cual se desarrollan los conocimientos teóricos que cada alumno en la Escuela Naval Militar debe adquirir. La tercera de las puertas situadas en el vestíbulo posterior a la rampa es la entrada principal al taller de velas, que ya se ha descrito en un primer apartado.

4.4.1 LOD alcanzado

Tomando en primer lugar el LOD como Nivel de Desarrollo, se determina como resultado un nivel coincidente con LoD 400. El modelo BIM generado posee unas geometrías precisas, obtenidas mediante un equipo de muy alto nivel para realizar este tipo de modelos “as-built”. Las dimensiones han sido obtenidas mediante programas de alta definición, que han asegurado que el modelo obtenido sea una reproducción fidedigna del edificio real.

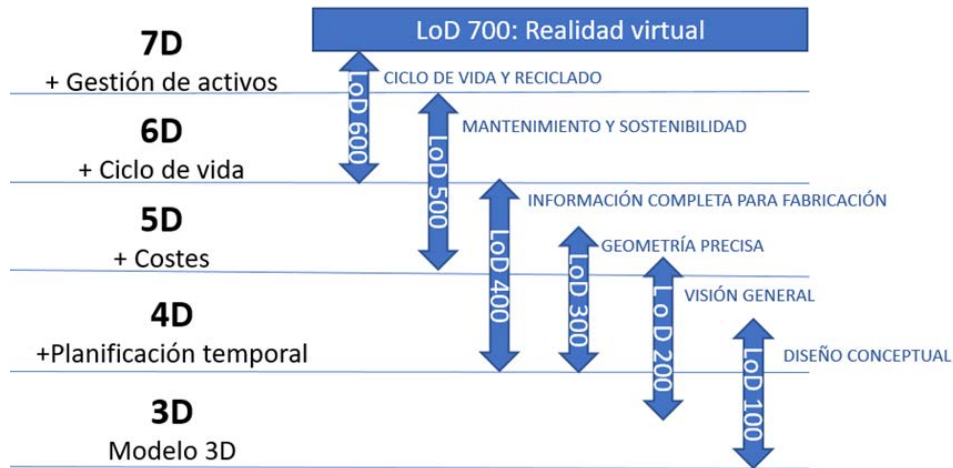


Figura 4-7 Nivel de Detalle vs. Nivel de Desarrollo

Al mismo tiempo, todos los elementos del modelo se han caracterizado y dividido en tantas capas como fuese necesario para obtener un desglose por materiales de todos y cada uno de las partes que conforman la totalidad del edificio. Estos materiales asignados cuentan con una serie de propiedades que, una vez asignadas, contribuyen al realismo de posibles simulaciones dentro del proyecto, incluyéndose incluso la georreferenciación de todos los elementos del proyecto, de tal forma que también tomen en cuenta los distintos agentes que actúan en el edificio debido a las condiciones de la localización del edificio. En aquellos elementos compuestos por varias capas de material, se ha obtenido una resultante de propiedades de la combinación de dichos elementos, que permite la obtención de resultados de la interacción entre los distintos elementos.

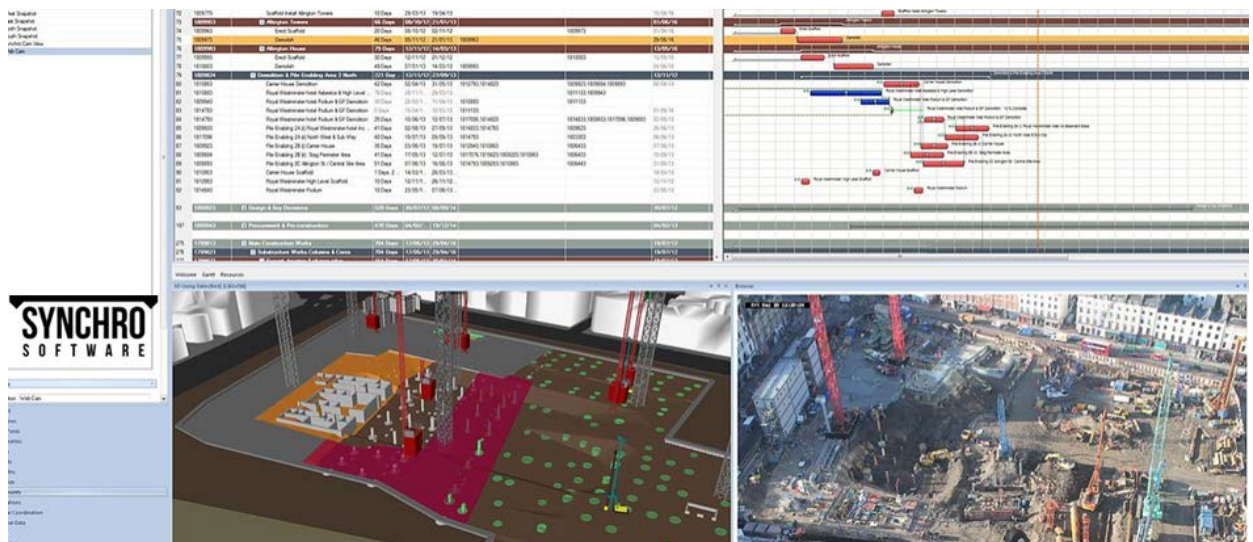
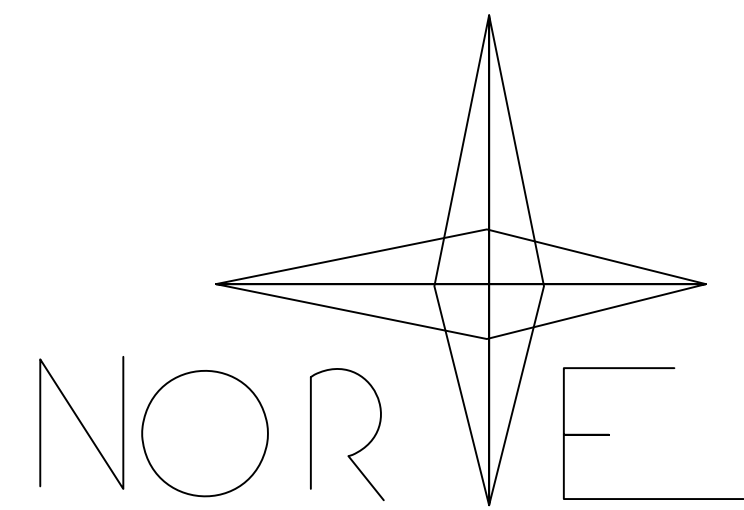
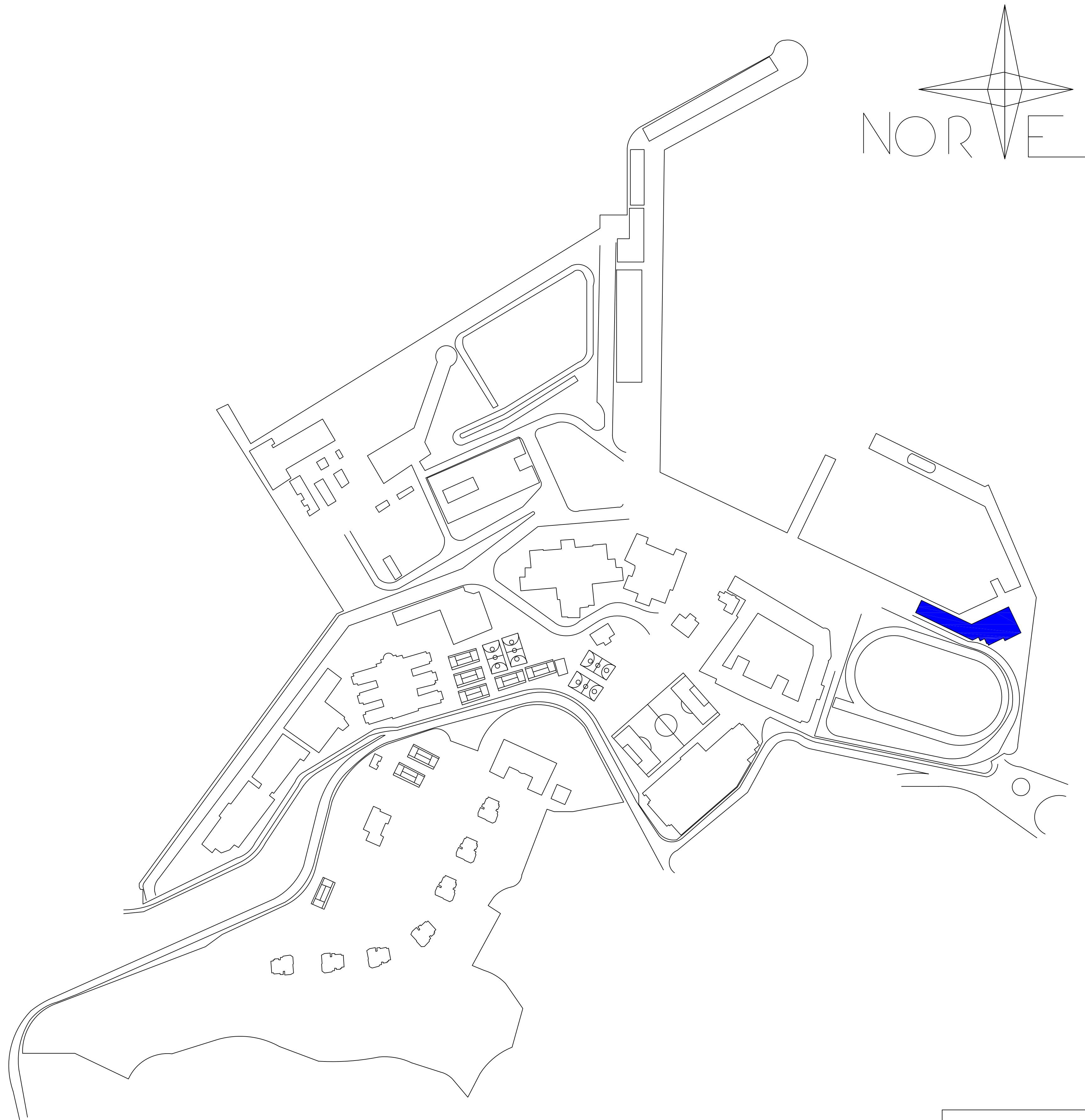


Figura 4-8 Ejemplo de software de planificación [28]

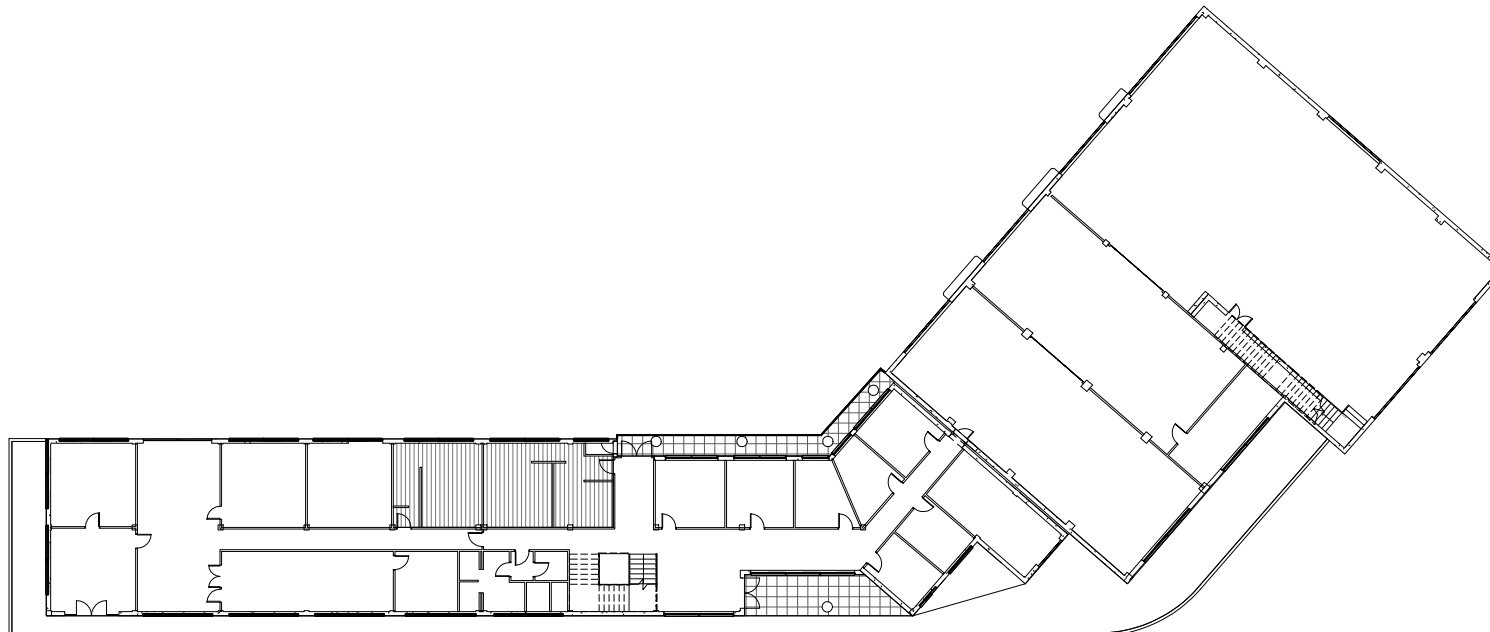
Dentro del LOD representado como Nivel de Detalle, en el que se atiende al funcionamiento general del proyecto en conjunto, se obtiene un resultado propio del 4D, siendo un modelo constructivo inteligente apto para su inmediata vinculación dentro de softwares de gestión del edificio y planificación temporal del proyecto en el caso de que se quisiera ejecutar de nuevo. Dentro de estos softwares se podrían incluir algunos programas de renombre como Synchro PRO, que permite trasladar de manera sencilla el modelo obtenido en el software de modelado utilizado, Autodesk Revit, al software de planificación.

4.4.2 Caracterización geométrica

En el presente apartado se recoge la planimetría necesaria para la completa caracterización geométrica del edificio “Príncipe de Asturias”. Dichos planos se han obtenido a partir del software de modelado BIM Autodesk Revit, adaptando las distintas escalas a las exigencias del presente trabajo. En primer lugar, se representarán las vistas en planta, generadas en escalas normalizadas que permitirán la correcta definición del contorno exterior del edificio y las dimensiones de sus distintos compartimentos. Posteriormente, se incluirán vistas de alzado de las diferentes zonas de trabajo del edificio, caracterizando así las alturas y distintos niveles del edificio. Para asegurar una correcta identificación de las dimensiones del edificio, se adjuntarán por último planos de detalle en aquellos planos que así lo requieran.



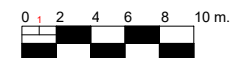
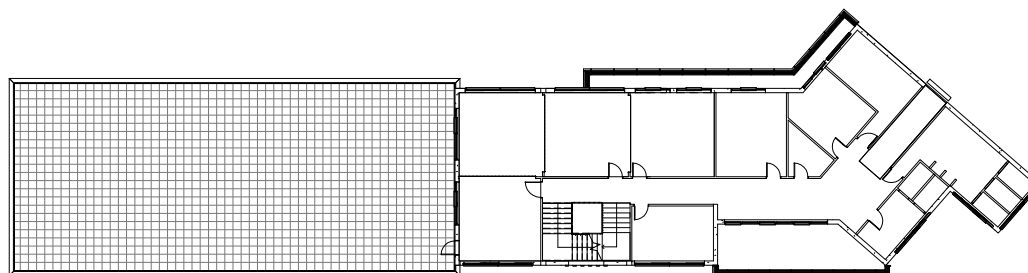
Título del proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias situado en la Escuela Naval Militar		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título del plano: Situación general y localización del edificio Príncipe de Asturias		Escala: 1:2000	Número de plano: 1
Situación: Escuela Naval Militar		Fecha de última revisión: 06/03/2017	



1 Suelo planta Baja
2 1:200



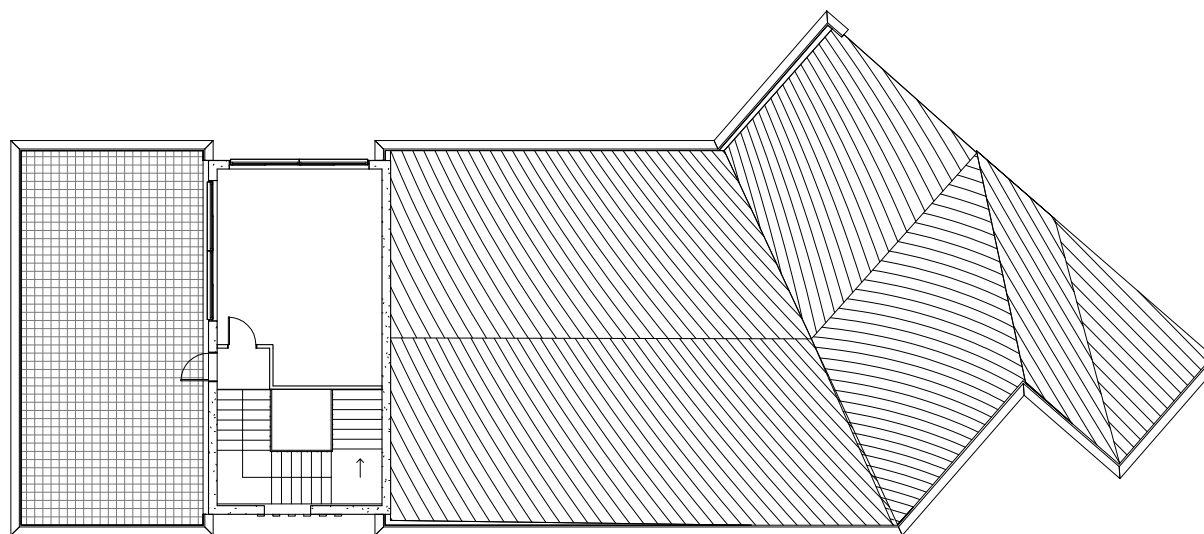
Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Planta Baja		Escala: 1 : 200	Nº de plano: 2
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:35:13	



Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Planta Primera		Escala: 1 : 200	Nº de plano: 3
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:35:23	



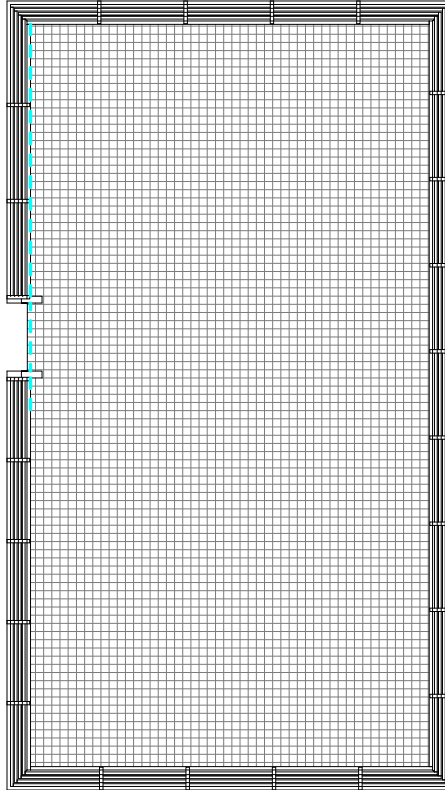
Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Planta Primera Naves		Escala: 1 : 100	Nº de plano: 4
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:35:28	



1 Torre 1
5 1:100



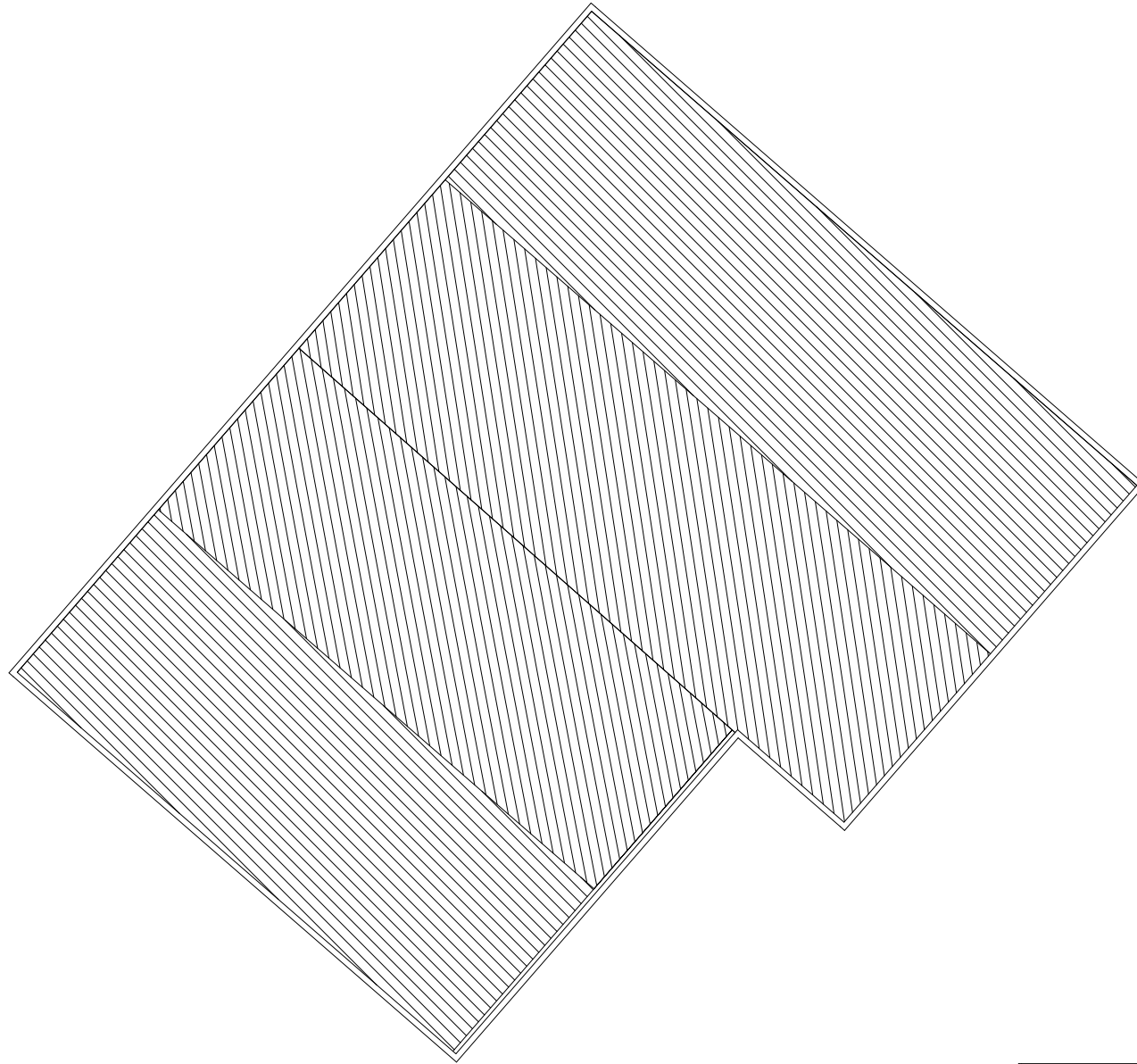
Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Planta Primera Torre		Escala: 1 : 100	Nº de plano: 5
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:35:33	



1	Torre 2
6	1 : 50



Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Planta Segunda Torre		Escala: 1 : 50	Nº de plano: 6
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:35:38	



1 Altura cubierta Naves
7 1 : 100



Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Planta Cubierta Naves		Escala: 1 : 100	Nº de plano:
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:35:43	7



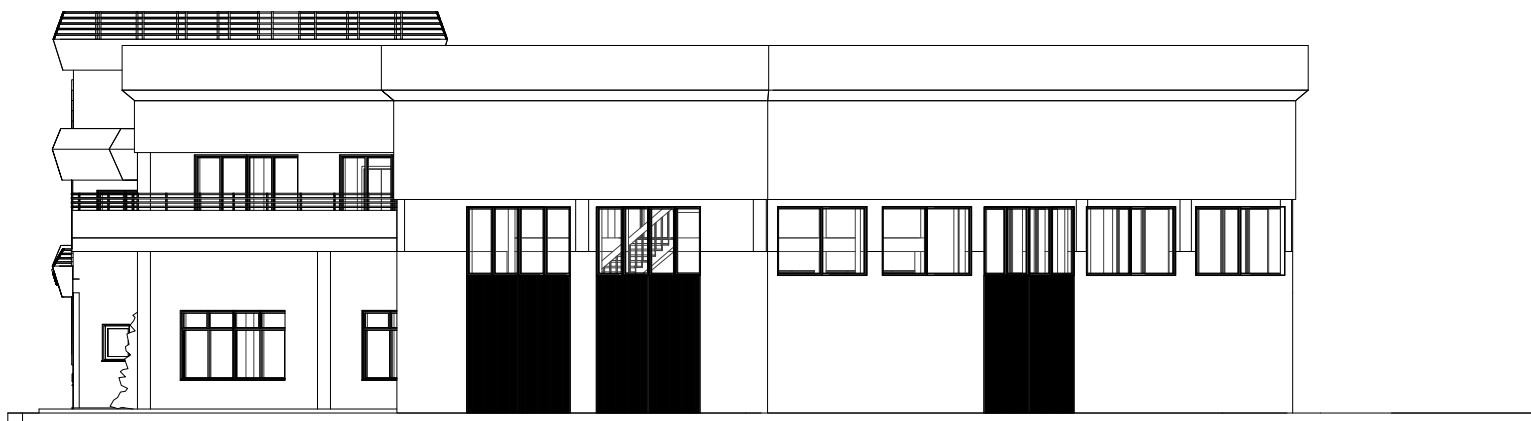
Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Alzado Sur		Escala: 1 : 200	Nº de plano: 8
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:35:51	



1
9 Alzado Norte



Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Alzado Norte		Escala: 1:200	Nº de plano: 9
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:35:58	



1 Alzado Este
10



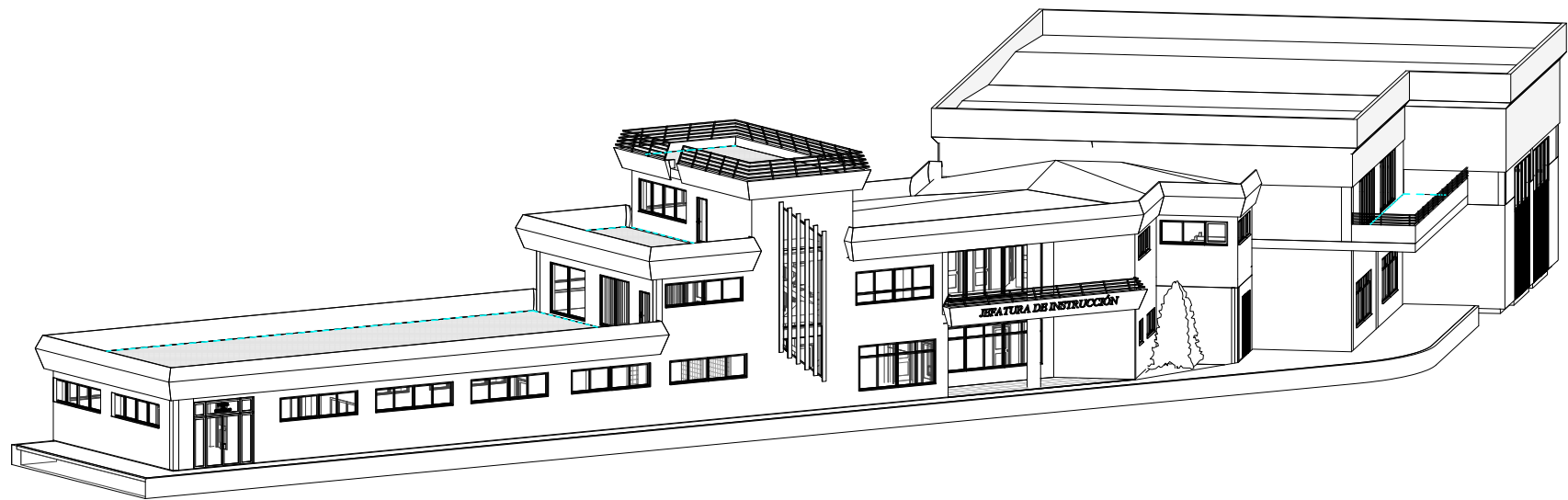
Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Alzado Este		Escala: 1:100	Nº de plano: 10
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:36:03	



1 Alzado Oeste
11



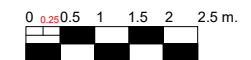
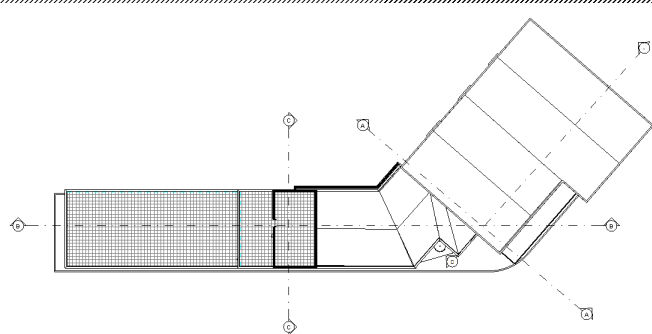
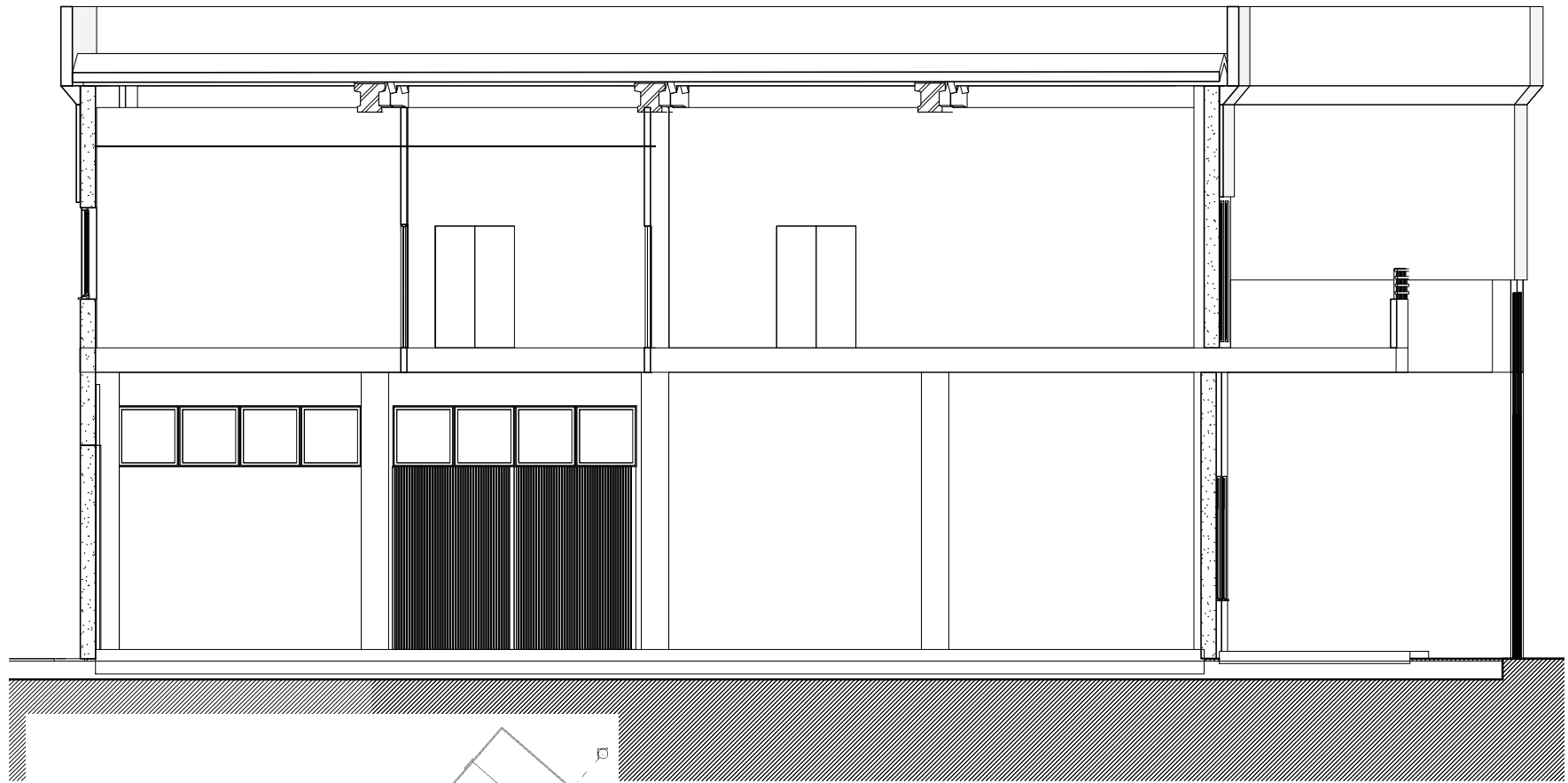
Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Alzado Oeste		Escala: 1:200	Nº de plano: 11
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:36:08	



Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias	Autor: Rafael Hermida Mayán	12
Título de plano: Vista 3D fachada principal	Escala: 1:100	
Situación: Edificio Príncipe de Asturias	Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:36:15	



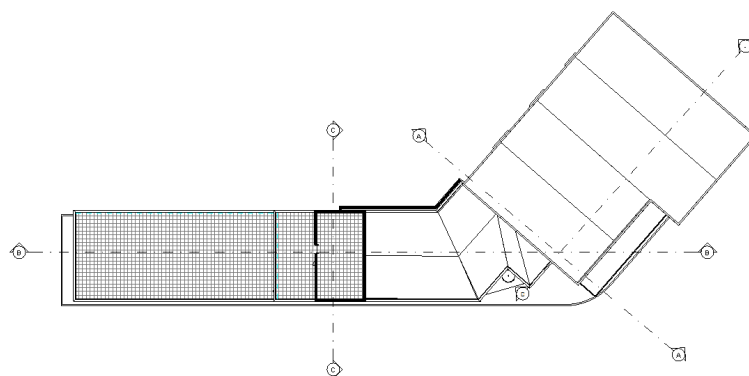
Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias	Autor: Rafael Herrada Mayán	13
Título de plano: Vista 3D fachada posterior	Escala: 1:100	
Situación: Edificio Príncipe de Asturias	Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:36:21	



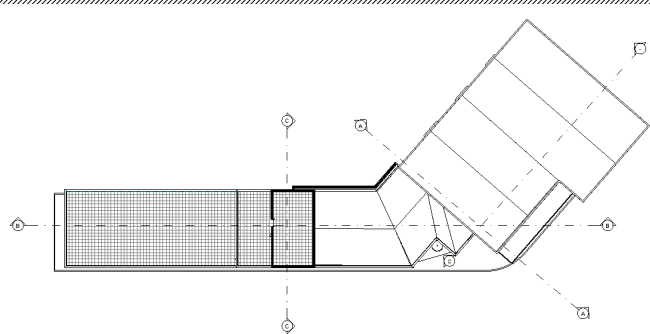
Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Corte A-A'		Escala: 1 : 50	Nº de plano: 14
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:36:28	



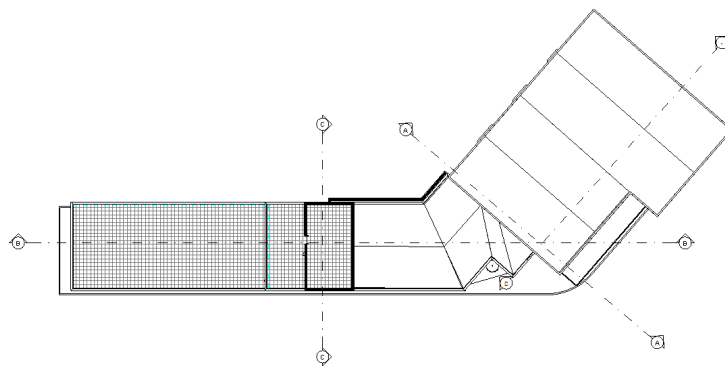
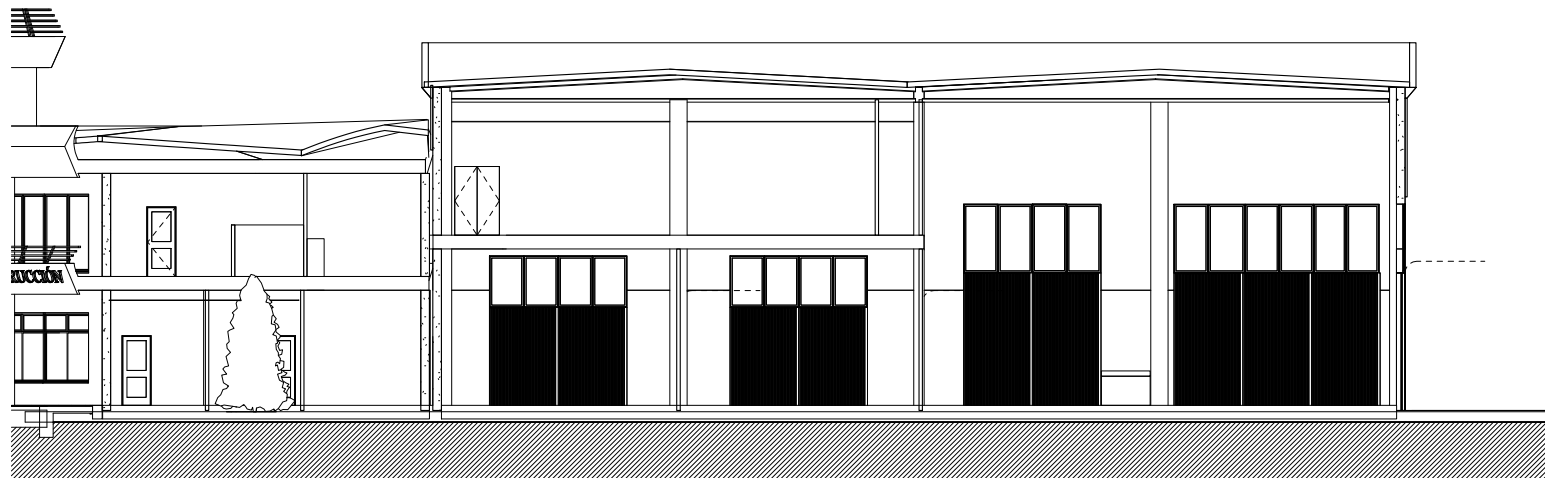
1 Sección 17
15 1 : 200



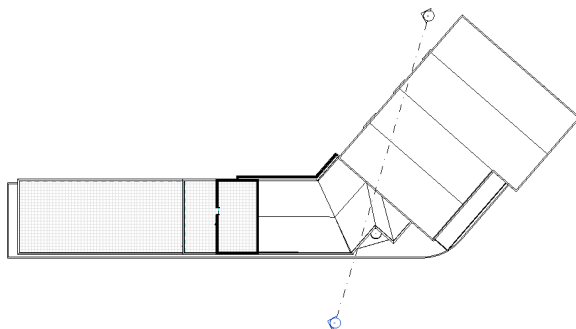
Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Corte B-B'		Escala: 1 : 200	Nº de plano: 15
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:36:33	



Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Corte C-C'		Escala: 1 : 50	Nº de plano: 16
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:36:38	



Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán	
Título de plano: Corte D-D'		Escala: 1 : 100	Nº de plano: 17
Situación: Edificio Príncipe de Asturias		Fecha de última revisión: 07/03/2017 16:36:43	



Título de proyecto: Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias		Autor: Rafael Hermida Mayán
Título de plano: Corte E-E'	Escala: 1 : 100	Nº de plano:
Situación: Edificio Príncipe de Asturias	Fecha de última revisión: 08/03/2017 14:03:45	18

4.4.3 Selección de materiales

El minucioso trabajo de investigación realizado a la hora de determinar la estructura de los elementos que componen el edificio “Príncipe de Asturias” ha sido fundamental para la consecución de una reproducción fidedigna del edificio, que posibilita la gestión virtual del mismo.

La estratificación de algunos de los elementos presentes en el modelo, genera un número de capas distribuido por la posición y naturaleza del material, buscando la combinación de sus propiedades para obtener simulaciones precisas que tengan en cuenta el comportamiento de los materiales. El resultado de la selección y asignación de materiales se puede distribuir en una base de datos que permita el acceso rápido a las propiedades y formas del elemento en cuestión. A continuación, se presentarán algunos ejemplos de la metodología empleada para clasificar los materiales presentes en el modelo en función de su naturaleza. La siguiente figura presenta un ejemplo del modelo de base de datos implementada para la clasificación de los datos.

FICHA TÉCNICA				Número: 1
FAMILIA:		MURO		
TIPO:		MURO DE CERRAMIENTO		
NOMBRE:		MURO EXTERIOR PDA		
REALIDAD	MODELO	ESTRUCTURA		
		FUNCIÓN	MATERIAL	GROSOR (centímetros)
		CARA EXTERIOR		
		Acabado 1	Gotelé	1,5
		Estructura	Ladrillo hueco	8,5
		Capa térmica	Aislamiento térmico	5
		Estructura	Ladrillo hueco	8,5
		Acabado 2	Gotelé	1,5
		CARA INTERIOR		
		GROSOR TOTAL		
		25		
PROPIEDADES ANALÍTICAS				
PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD		
Coeficiente de transferencia de calor (U)	23,2	W/(m² x K)		
Resistencia térmica (R)	0,0431	(m² x K)/W		
Masa térmica	26,83	kJ/K		
Absortancia	0,7	Adimensional		
Aspereza	3	Adimensional		

Figura 4-9 Ejemplo de ficha de la familia Muro

En el apartado superior, se clasifica al material en función de la familia a la que pertenece, el tipo de material que es y el nombre que se le ha aplicado para la realización del proyecto. En este caso, el elemento a clasificar se encuadra dentro de la familia de los muros, concretamente representa el muro de cerramiento de la fachada principal del edificio “Príncipe de Asturias”. El nombre que se ha utilizado en Revit para clasificar este elemento es “Muro exterior PDA”. Los siguientes datos implementados son muestras gráficas del elemento a clasificar, estableciendo una comparativa entre el elemento real y el elemento modelado en Revit. A su derecha, se presenta la información que más sentido da a la creación de esta base de datos, ofreciendo una rápida visión de la estructura interna del material. En el caso de este muro de cerramiento, cuenta con un total de cinco capas, distribuidas desde la capa en contacto con el exterior hasta el acabado proporcionado en la parte del muro que da al interior del edificio, además de presentar la función de cada una de sus capas y sus distintos grosores. Por último, en la parte inferior de la ficha se definen los distintos valores empleados a la hora de realizar simulaciones, que caracterizan al elemento más allá del punto de vista gráfico. En el caso de los muros se han incluido las propiedades recogidas en la siguiente tabla.

Propiedad	Significado
Coeficiente de transferencia de calor	Tasa de transferencia de calor entre dos objetos en función de área y diferencia de temperatura entre objetos
Masa térmica	Medida de la proporción del calor añadido a un objeto o material, junto a la variación de temperatura resultante
Resistencia térmica	Tasa de resistencia que un objeto ejerce ante un determinado flujo de calor por longitud de unidad y diferencia de temperatura.
Absortancia	Establece la relación entre el flujo de radiación absorbida por un objeto y el nivel de radiación total que incide sobre él.
Aspereza	Determina el factor de fricción del material.

Tabla 4-4 Propiedades analíticas de familia Muro

Como segundo ejemplo se presenta la estructura de las fichas que caracterizan a los elementos de la familia de las puertas. En este caso, las propiedades que se establecen para los cálculos son distintas que, en el caso de los muros, siendo las puertas elementos que contribuyen en gran medida al escape de calor por no conservar la estanqueidad de un compartimento.

FICHA TÉCNICA			Número: 2
FAMILIA:		PUERTA	
TIPO:		PUERTA INTERIOR	
NOMBRE:		PUERTA INTERIORES PDA	
REALIDAD	MODELO	CARACTERÍSTICAS	
		ELEMENTO	MATERIAL
		Panel	Madera de abedul
		Estructura	Madera de abedul
		Cubrejuntas	Madera de abedul
		Tirador	Aluminio
PROPIEDADES ANALÍTICAS			
PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD	
Transmitancia de luz visual	0	Adimensional	
Resistencia térmica	0,4557	(m^2 x K)/W	
Coeficiente de incremento de calor solar	0	Adimensional	
Coeficiente de transferencia de calor	2,1944	W/(m^2 x K)	

Figura 4-10 Ejemplo de ficha de la familia Puerta

La puerta utilizada en el ejemplo anterior se encuadra en el grupo de puertas interiores. Existe en el edificio “Príncipe de Asturias” un número importante de puertas como la clasificada en la figura. Para su modelado en Revit se le ha asignado el nombre de “Puerta interiores PDA”. A diferencia de las fichas relativas a elementos pertenecientes a la familia de los muros, en este apartado se busca definir el material empleado en las partes que componen la puerta. Así, en este ejemplo se ha optado por

dividir la puerta en panel, estructura, cubrejuntas y tirador. Por último, en la ventana de propiedades se incluyen las siguientes:

Propiedad	Significado
Transmitancia de luz visual	Medida de la cantidad de luz capaz de atravesar un objeto.
Resistencia térmica	Tasa de resistencia que un objeto ejerce ante un determinado flujo de calor por longitud de unidad y diferencia de temperatura.
Coefficiente de incremento de calor solar	Medida de la capacidad de un objeto para bloquear la transferencia de calor radiante procedente, generalmente, de la luz solar.
Coefficiente de transferencia de calor	Tasa de transferencia de calor entre dos objetos en función de área y diferencia de temperatura entre objetos

Tabla 4-5 Propiedades analíticas de familia Puerta

Para completar la variedad de datos que podría presentar esta base de datos, se presenta a continuación la ficha técnica de una de las ventanas presentes en el edificio “Príncipe de Asturias”. La ventana presentada se encuentra tipificada como ventana corrediza, aunque no es constante esta propiedad a lo largo de su superficie. Dicha ventana cuenta con dos paneles acristalados fijos y dos hojas corredizas en su parte superior. En el modelo BIM ha sido denominada como “Ventana vestíbulo PDA”.

FICHA TÉCNICA				Número: 3
FAMILIA:		VENTANA		
TIPO:		VENTANA CORREDIZA		
NOMBRE:		VENTANA VESTÍBULO PDA		
REALIDAD		MODELO	CARACTERÍSTICAS	
		ELEMENTO	MATERIAL	
		Marco	Aluminio	
		Cristal	Vidrio	
		Embellecedor	Aluminio	
PROPIEDADES ANALÍTICAS				
PROPIEDAD		VALOR	UNIDAD	
Transmitancia de luz visual		0,9	Adimensional	
Resistencia térmica		0,1798	(m^2 x K)/W	
Coeficiente de incremento de calor solar		0,86	Adimensional	
Coeficiente de transferencia de calor		5,5617	W/(m^2 x K)	

Figura 4-11 Ejemplo de ficha de la familia Ventana

En el apartado de características se ha decidido dividir al elemento en las diferentes partes que lo componen, como se realizaba en el caso de las puertas. Las propiedades analíticas de la misma no se adjuntan por ser las mismas que las estudiadas en las puertas, presentadas en la Figura 4-10.

4.4.4 Selección de texturas

La gestión de los materiales ha permitido la inclusión de propiedades que, en muchos casos, no contribuían a la mejora gráfica de los materiales. La selección de texturas en el presente proyecto ha sido de vital importancia para la consecución de una visualización realista del modelo 3D. Por ello, se ha seguido un proceso de selección de texturas selectivo, buscando en primer lugar imágenes claras para adjuntar a los materiales en los propios escaneos recogidos durante la fase de toma de datos, muchos de los cuales han sido establecidos como válidos sin mayor necesidad de alargar la fase de selección. Por el contrario, existen materiales que no han podido ser aceptados a partir de las imágenes generadas por los escaneos. Como solución, se ha acudido al edificio objeto del presente trabajo para la toma de fotografías específicas de las texturas a implementar.

A continuación, se presentan algunas de las texturas utilizadas para la realización del presente trabajo, cuya importación ha sido especificada en el apartado de desarrollo.



Figura 4-12 Textura (a) Suelo zonas comunes (b) Fachada principal (c) Perfil grecado

La Figura 4-12 (a) es una de las texturas utilizadas para el perfeccionamiento gráfico del modelo. Concretamente, esta textura se ha utilizado en los suelos de las distintas zonas comunes del edificio “Príncipe de Asturias”. Se observa la irregularidad del patrón que presenta, que se ha mantenido el modelo a partir del uso de herramientas de gestión de imagen.

En este caso, la textura recogida en la define la visión exterior de los muros de cerramiento que conforman la fachada del edificio. Se observa el efecto del acabado exterior, al que se ha incorporado un patrón de relieve para ganar realismo. Esta textura ha sido especialmente tratada, ya que se repite a lo largo de una superficie extensa y define la visión general del edificio “Príncipe de Asturias” en su mayoría. Por último, se presenta una textura de perfil acanalado que ha servido a la vez de patrón de relieve, que ha permitido la definición de los paneles que cubren la parte superior de la fachada de la segunda zona de trabajo. Sin embargo, se han aplicado correcciones de luminosidad en ella con la finalidad de obtener reflejos más realistas a la hora de realizar simulaciones.

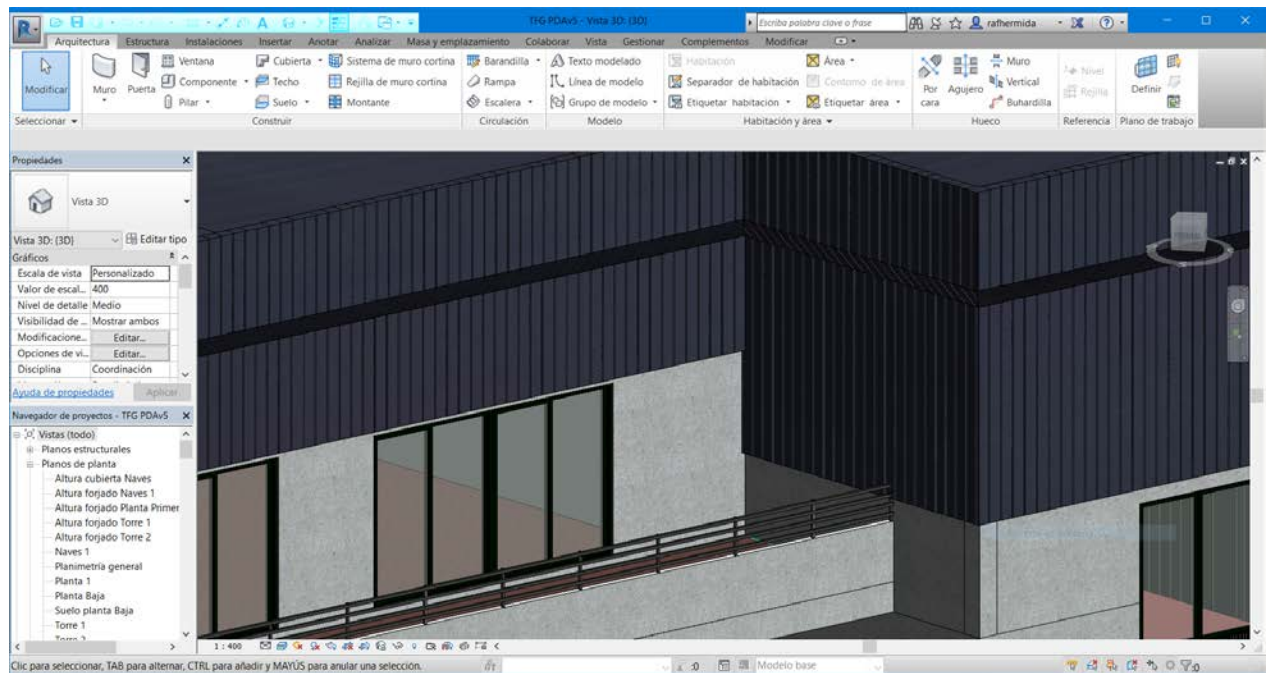


Figura 4-13 Presentación de paneles con textura aplicada

4.4.5 Modelo BIM 3D

La combinación de todos los pasos realizados que se describen en el apartado de modelado generan una representación virtual fidedigna del edificio. Revit ofrece la posibilidad de visualizar el resultado obtenido desde una vista en 3 dimensiones, sobre la que se podrá acceder al modelo desde todos los ángulos. Para una correcta visualización, Revit también permite seleccionar el nivel de detalle y las líneas a visualizar, que por defecto vendrán en detalle medio o bajo y presentarán las líneas de la trama alámbrica. Sin embargo, un nivel de detalle alto y una presentación de los elementos realista, ofrecerá al usuario la posibilidad de ver los elementos que componen el edificio de una manera muy próxima a los renderizados. A continuación, se adjuntan algunas figuras con el resultado obtenido.

Existe también la posibilidad, de realizar cortes por sección para presentar el modelo, con la herramienta denominada “Caja de sección” dentro de la vista 3D, lo que ayuda a visualizar el modelo del edificio “Príncipe de Asturias también desde el interior.

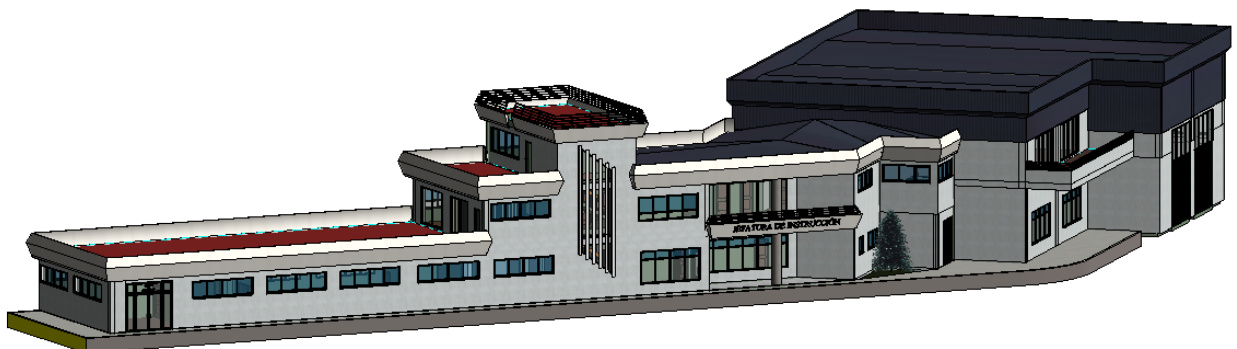


Figura 4-14 Vista 3D Modelo BIM

La visualización del modelo en 3 dimensiones facilita el manejo conjunto de los elementos presentes en el modelo. El hecho de no disponer de una visión clara de las distintas

compartimentaciones interiores del edificio, justifica el uso de la herramienta “Caja de sección”, que realizará un corte entre el modelo y un plano previamente fijado, que cubre las seis vistas posibles.

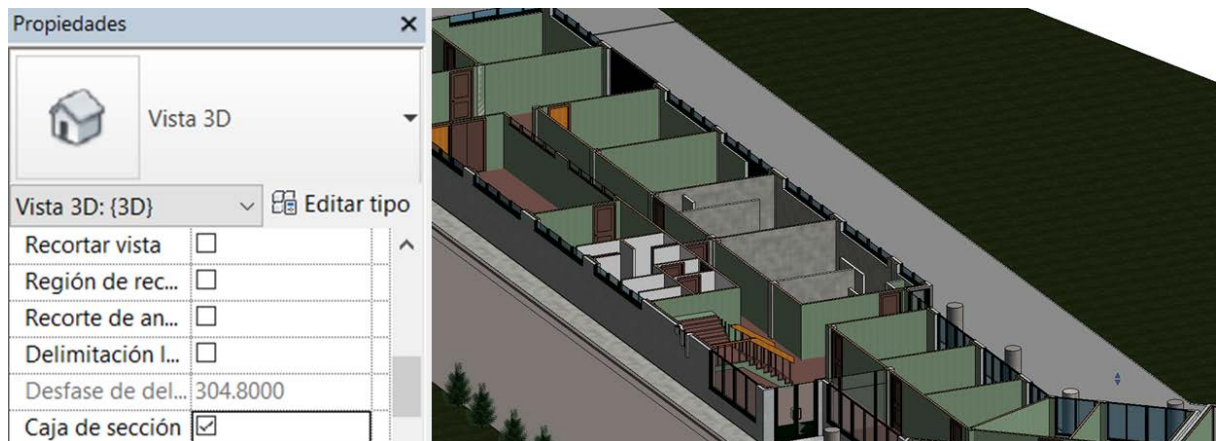


Figura 4-15 Utilización de la caja de sección

La inserción de cámaras en el interior del modelo también genera una vista adecuada para la correcta visualización del modelo, simulando la perspectiva que tendría una persona situada en un determinado compartimento del edificio. Todas estas visualizaciones se han obtenido en Revit a partir de un nivel de detalle alto y una presentación realista de los elementos. Sin embargo, no se observa la acción del Sol o de la luz artificial del edificio sobre los materiales; es por ello que se necesita renderizar el modelo, donde el programa hará un estudio de las reacciones de los distintos materiales y su comportamiento conjunto para la correcta generación de sombras.

4.4.6 Renderizados

A continuación, se generan algunas imágenes procedentes del modelo que han sido sometidas a un proceso de renderización. Para su comprensión y correcta interpretación, se adjunta asimismo la imagen recogida por el escáner láser en esta posición.



Figura 4-16 Renderizado fachada principal

La generación de renderizados conlleva la buena elección de puntos de luz para que los materiales luzcan de manera realista. Revit permite generar puntos artificiales para conseguir tal efecto, o simplemente obtener el renderizado con la única iluminación procedente del sol, como es el caso de las fachadas del edificio.



Figura 4-17 Renderizado fachada principal II

Además, para el correcto estudio de las condiciones de iluminación del edificio y gracias a la información de georreferenciación generada en las fases previas al desarrollo del proyecto, Revit permite realizar estudios solares, regulando la intensidad del sol y su posición con respecto a la fecha, hora y localización del edificio.



Figura 4-18 Renderizado fachada posterior

En los renderizados interiores es más importante, si cabe, la generación de puntos de luz que permitan una correcta visualización de los materiales. Por ello, Revit permite la selección de la iluminación interior presente en el modelo. En caso de no haberla, se generará un renderizado únicamente dependiente de la luz solar. Además, es posible combinar las acciones de Sol e iluminación interior para conseguir mejores acabados de renderización.

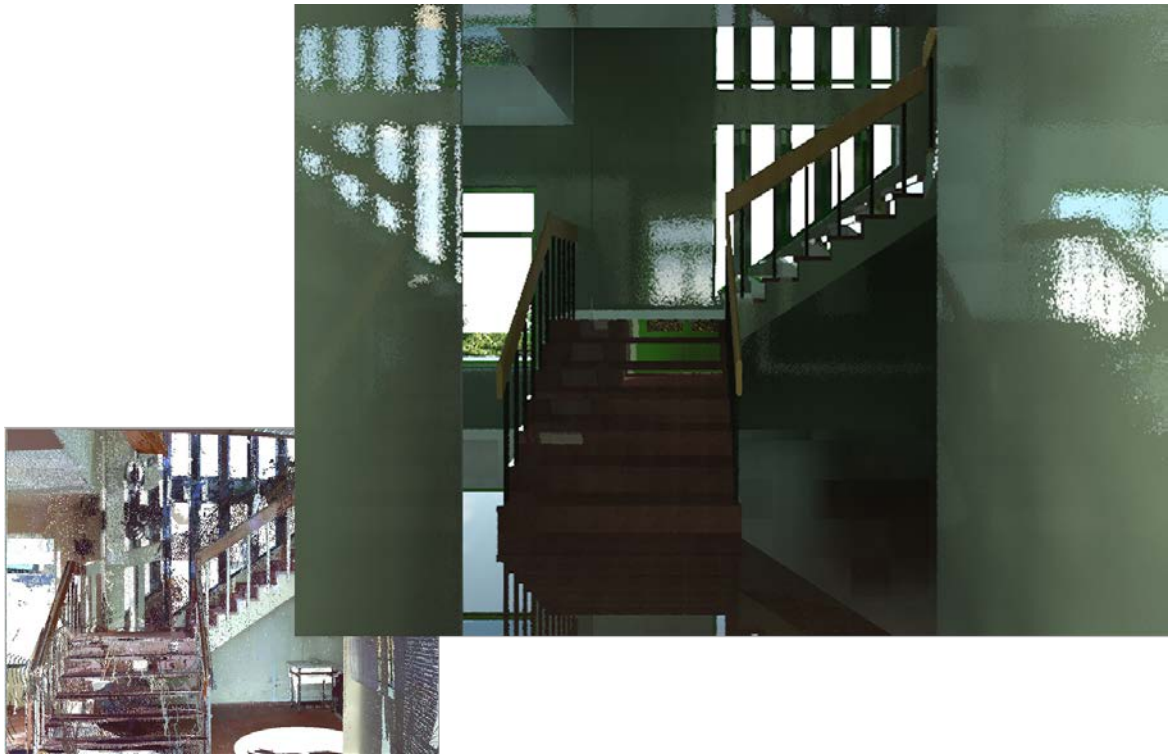


Figura 4-19 Renderizado vestíbulo principal

El nivel de detalle de los renderizados obtenidos es editable, pero se ha de tener en cuenta que una mayor demanda en detalle generará un mayor número de algoritmos de cálculo para la obtención de los resultados. Es por ello que se debe buscar un compromiso entre el nivel de detalle y el tiempo de computación por parte del programa.



Figura 4-20 Renderizado Torre 2

4.5 Simulación del proceso constructivo

La realización de una simulación del modelado constructivo contribuye a la visualización del modelo BIM desde una perspectiva más profesional, permitiendo a cualquier persona la comprensión por medio de una animación del proceso seguido para la construcción de un determinado edificio. Una vez se configuran los distintos parámetros en el software de animación, es posible visualizar desde las cámaras instaladas el resultado del proyecto realizado. Esta fase es, sin lugar a dudas, la que más vistosidad dará al trabajo, de cara a mostrar el potencial que recoge el modelo BIM elaborado.

La utilización de una cámara objetivo y la herramienta “Slice”, garantiza una mayor visión del modelo. Por una parte, se obtendrá una visión en tres dimensiones del edificio, a lo largo de sus niveles y formas características, describiendo el camino que podría seguir un visitante en el edificio. Además, se incorpora la herramienta “Slice”, que genera cortes en los elementos que componen el edificio a lo largo de todo el recorrido. La inclusión de este efecto en la animación contribuye a la correcta caracterización del edificio, haciendo especial hincapié en las divisiones interiores y su compartimentación. A continuación, se pueden visualizar algunas capturas del recorrido generado en la animación de 3ds Max:

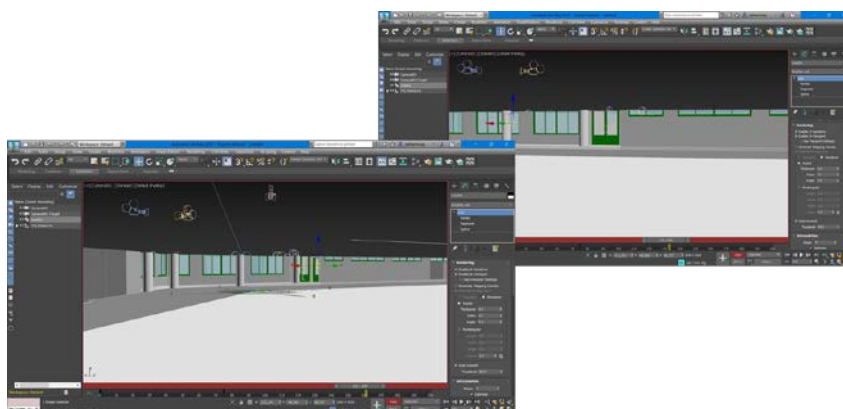


Figura 4-21 Captura de dos fotogramas de la animación generada

Posteriormente, se genera una nueva animación con la totalidad del edificio, pudiendo observar el potencial de la herramienta y distribuyendo cámaras a lo largo del modelo. Esto permitirá una visión integral del modelo generado, que será posible visualizar con los recorridos y cortes realizados durante el presente proceso de simulación. Una vez finalizado, su presentación se llevará a cabo previa renderización de los datos, cuya duración aumenta considerablemente, debido a la cantidad de algoritmos a procesar del programa.

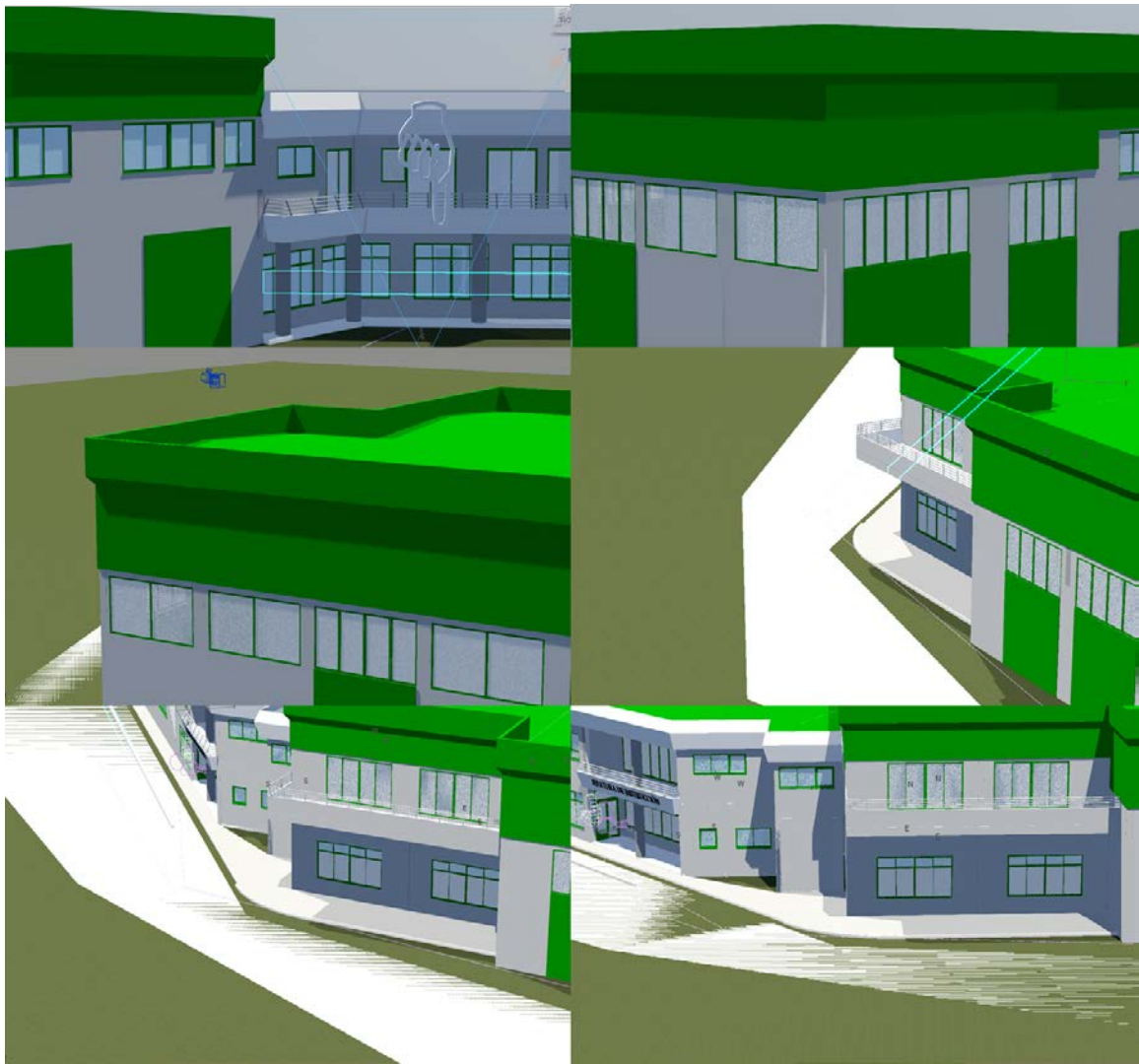


Figura 4-22 Captura de fotogramas de la animación generada

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Descripción

El trabajo realizado para la consecución de los distintos objetivos se ha dividido en distintas fases. En el siguiente apartado se extraerán conclusiones y se describirán las impresiones obtenidas por el alumno a lo largo de la realización del proyecto. Se seguirá el orden lógico de los acontecimientos, comenzando por la toma de datos, para pasar posteriormente al tratamiento y procesamiento de los mismos, su postprocesado y relevancia a la hora de modelar, además de describir las conclusiones que se obtienen de la familiarización y trabajo con la metodología BIM y su posterior adecuación y cálculo de cara a comprobar el realismo obtenido en el modelo.

En un segundo apartado, se realizará una propuesta personal por parte del alumno a raíz de las conclusiones extraídas, a modo de hoja de ruta para proyectos futuros, tanto desempeñando un trabajo dentro del modelo constructivo inteligente generado en el presente proyecto como realizando nuevos proyectos en otros edificios de relevancia en la Escuela Naval Militar.

5.2 Conclusiones

5.2.1 Trabajo de campo

Esta fase ha constituido la primera parte del proyecto. La toma de datos se ha realizado con un equipo de alta precisión, que ha asegurado la correcta obtención de los datos. La gran cantidad de datos a tomar ha venido propiciada por la gran cantidad de compartimentos presentes en el edificio “Príncipe de Asturias”. La buena elección de las posiciones de escaneo a lo largo del edificio ha sido vital para la óptima recopilación de los datos, ya que una mala elección en las posiciones podría haber generado retrasos en el desarrollo del proyecto. La colocación del equipo también ha contribuido a la correcta obtención de los puntos que, en conjunto, han conformado la nube. En muchos casos, el ajuste del equipo no se realizó correctamente, lo que provocó la repetición de la toma de datos en una misma posición de escaneo. No se debe escatimar a la hora de realizar los trabajos previos al escaneo, ya que un mal desempeño a la hora de posicionar y preparar el equipo para la toma de datos puede generar un retraso importante. Los escaneos tienen una duración larga, en especial por la necesidad de adquirir datos radiométricos y geométricos, que facilitan el trabajo posterior. El nivel de detalle requerido al equipo ha contribuido también a la duración de los escaneos, pero se ha estimado como el óptimo para la adquisición completa de datos relevantes y necesarios para la realización del proyecto. En muchos casos, estos datos han permitido incluso la definición de los perfiles de relieve de los distintos elementos que componen el edificio “Príncipe de Asturias”, lo cual indica que los parámetros implementados son correctos, y no se debe rebajar su nivel, aunque implique una reducción en el tiempo empleado en el trabajo de campo. Se podría concluir que esta fase del proyecto simboliza la

cimentación del mismo, ya que ha servido de base para todas las fases siguientes, guardando mayor o menor relación, pero siempre presentes.

5.2.2 Tratamiento y procesamiento de datos

La importación de los datos generados por el escáner láser dentro del software especializado para su tratamiento, ha sido la puerta de acceso a la metodología LiDAR, que es de las más relevantes en este proyecto. El proceso de registro ha puesto a prueba la pericia del alumno que, a lo largo de las numerosas iteraciones realizadas para la consecución del objetivo de esta fase, ha experimentado en muchas ocasiones errores de procedimiento que, en consecuencia, han propiciado la repetición del proceso de registro en algunas de las nubes de puntos. Gracias a ello, el alumno ha podido aprender el procedimiento correcto a la hora de unir nubes de puntos, entendiendo la idoneidad en la selección de puntos análogos, que ha generado reducciones de tiempo una vez ha interiorizado el concepto, sumergiéndose en la metodología LiDAR de lleno, y comprendiendo la importancia de esta fase del proyecto para la realización del mismo, ya que ha servido de base para la toma de mediciones a incluir en la fase de creación del modelo BIM.

5.2.3 Postprocesado

El procedimiento realizado durante esta fase ha buscado la consecución de un registro completo de los datos obtenidos mediante el empleo de un software propiedad de la casa Autodesk, para su correcta integración en el software de modelado y su facilitación a la hora de realizar esta operación. Nada ha tenido que ver con el registro parcial generado en la fase anterior, ya que son operaciones independientes. La utilización de este software ha contribuido a la formación del alumno en el trabajo desde distintas plataformas que, en este caso, ha simbolizado el nexo de unión entre las dos metodologías mayoritarias utilizadas durante la realización del presente proyecto. El software utilizado, Autodesk ReCap 360, es un software todavía poco conocido en el ámbito del diseño, lo que ha permitido al alumno realizar investigación en su uso y empleo, descubriendo la gran cantidad de posibilidades que ofrece a la hora de realizar modelos inteligentes “as-built”. Su componente visual hace que su uso sea sencillo e interactivo, con una estructura paso por paso que anima a aquel personal que no disponga de una formación específica en este campo a utilizarlo. Su gran cantidad de opciones a la hora de procesar de manera automática reduce en gran medida el tiempo empleado en esta fase, por lo que se recomienda seguir explotando la gran cantidad de posibilidades que ofrece.

Siendo un software con tan poco tiempo de existencia, el desarrollo y maduración del mismo avanza a pasos agigantados, por lo que se prevé que ofrezca en un futuro una integración completa con la metodología BIM, llegando incluso a generar previsualizaciones de un modelo BIM obtenido de manera automática, lo que permitiría generar modelos de edificios inteligentes en cuestión de días.

5.2.4 Modelado BIM

Se podría definir esta fase del proyecto como el pilar fundamental de cara a la consecución de los objetivos. El resultado obtenido en las fases anteriores ha generado la base de datos necesaria para la realización del modelo BIM, que se ha apoyado en gran medida en la superposición de la nube de puntos generada en la fase de postprocesado.

El poco conocimiento inicial del alumno acerca de la metodología BIM al comienzo de esta fase, ha permitido un notable aprendizaje de la misma a través del software utilizado, Autodesk Revit. La gran cantidad de opciones que presenta el software lo hacen muy completo, lo que pone de manifiesto la política de elección de herramientas empleada para el desarrollo del presente trabajo, buscando siempre el software más completo para cada una de las fases del proyecto.

El procedimiento utilizado se ha dividido por niveles de detalle, generando en un primer lugar los elementos estructurales y arquitectónicos del proyecto, para luego asignar las propiedades no gráficas de los distintos elementos que componen el edificio, para realizar en última instancia la asignación de texturas que generarían un nivel de realismo mayor. La multitud de opciones presentes en el programa

hacen necesario un largo periodo de formación para el dominio completo de la herramienta, cuya utilización llega a ser sencilla gracias a los manuales y documentos de ayuda generados por la casa propiedad de la herramienta, Autodesk.

Autodesk Revit está bajo constante desarrollo, lo que permite un avance dentro de la metodología BIM casi día a día. Actualmente, dispone de un extenso repositorio de actualizaciones y paquetes de datos, que complementan el funcionamiento de la aplicación en función de la especialidad que se quiera explotar dentro de la metodología BIM, ya sea el propio diseño de un modelo arquitectónico o la generación de una instalación de fontanería dentro del mismo, así como la correcta identificación de los espacios representados, por medio de etiquetas.

Sin embargo, el trabajo realizado en esta fase ha hecho ver que la metodología BIM en España no está muy extendida. Esto genera un problema, ya que no se explotan las herramientas existentes para el cálculo y representación de los edificios, lo que supone un gasto de tiempo y recursos considerable. El uso de las herramientas diseñadas para la explotación de la metodología BIM constituyen una ayuda esencial para el diseño y gestión de proyectos, que se pueden ampliar a una gran cantidad de ámbitos. La formación del personal enrolado en las fases de diseño y gestión de este tipo de proyectos es obligada de cara a la optimización de tiempo y recursos, un requisito indispensable a la hora de presentarse a licitaciones públicas o privadas. Para su fomento, la Unión Europea ha promulgado una directiva que obligue a recoger todo proyecto constructivo en una plataforma virtual, lo que ha constituido una de las principales motivaciones para la realización de este proyecto.

5.2.5 Simulación

La simulación está especialmente indicada en los modelos BIM especialmente a la hora de presentarse a una licitación o vender un determinado producto. Aporta vistosidad al proyecto y genera una visión clara de los detalles y especificaciones del mismo. Atendiendo a su importancia en el presente trabajo, la simulación ha constituido una fase divertida del mismo, fomentando en el alumno la consecución de una buena visualización de los objetivos alcanzados. Es preciso comentar que la necesidad de potencial computacional se ha hecho patente en esta fase más que en cualquier otra, dado el elevado nivel de iteraciones y algoritmos a realizar por el software de animación. Pero sin duda alguna, la animación y simulación de un proceso constructivo es el complemento perfecto para un modelo BIM.

5.3 Líneas futuras

Se propone, en primer lugar, la continuación en la elaboración de modelos inteligentes dentro de la Escuela Naval Militar, ya que conlleva un ahorro considerable de tiempo y recursos. Su desarrollo por parte de un alumno que ha recibido formación a lo largo de cinco años en la Escuela Naval Militar es una oportunidad muy buena que beneficia al propio alumno, que demuestra los conocimientos adquiridos a lo largo de su formación y además la complementa con la dedicación exclusiva a un campo interesante, muy amplio y en muchas ocasiones inexplorado del diseño gráfico, que además garantiza el cumplimiento de la incipiente entrada en vigor de la normativa que regula los modelos electrónicos desde su primera fase de concepción, y la gestión de mantenimiento y sostenibilidad en aquellos modelos “as-built”, que se realizan una vez el edificio está construido, como es el caso del presente proyecto.

Además, de cara a conseguir una reconstrucción volumétrica completa del edificio “Príncipe de Asturias”, se insta al desarrollo de un proyecto MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing) que inserte en el presente proyecto las instalaciones mecánicas, eléctricas y de fontanería presentes en el edificio, para garantizar un resultado más realista si cabe en caso de realizar una simulación, y que también servirá para controlar los ciclos de mantenimiento del edificio en ese aspecto, lo que ayudaría a la detección prematura de posibles problemas y su consecuente mantenimiento predictivo.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Xunta de Galicia, «Información Xeográfica de Galicia,» [En línea]. Available: <http://mapas.xunta.gal/portada>. [Último acceso: 15 1 2017].
- [2] Gobierno de España, «Boletín Oficial del Estado,» 26 2 2014. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/doue/2014/094/L00065-00242.pdf>. [Último acceso: 26 12 2016].
- [3] B. R. H. G.-J. B. C. y I. P. , Laser Scanning Technology: Fundamentals, Principles and Applications in Infrastructure, Vigo: University of Vigo.
- [4] F. R. y J. J. , Automatic extraction of buildings from LiDAR data and aerial images, Vienna: Institute of Photogrammetry and Remote Sensing.
- [5] B. R. Rodríguez, J. A. González, H. G. Jorge y P. A. Sánchez, Manual práctico de modelado 3D mediante escáner láser terrestre, Universidad de Vigo, 2011.
- [6] «TurkCADCAM.net,» [En línea]. Available: <http://www.turkcadcam.net/rapor/CADCAM-tarihcesi/index3.html>. [Último acceso: 1 3 2017].
- [7] «Dassault Systèmes,» [En línea]. Available: <https://www.3ds.com/es>. [Último acceso: 1 3 2017].
- [8] «Bentley,» [En línea]. Available: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/microstation>. [Último acceso: 2 3 2017].
- [9] T. Cerovsek, A review and outlook for a "Building Information Model"(BIM): A multi-standpoint framework for technological development., vol. 25, Advanced engineering informatics, 2011, pp. 224-244.
- [10] N. M. Dorta y R. L. R. Castells, «Modelos BIM As-built. Caso de estudio para la operación y mantenimiento de un edificio universitario.,» *Spanish Journal of Building Information Modeling*, nº 15, pp. 4-8, 2015.
- [11] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks y K. Liston, BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [12] N. M. Dorta, P. G. d. C. Assef y M. R. Méndez, «Building Information Modeling (BIM):

- Una oportunidad para transformar la industria de la construcción,» *Spanish Journal of Building Information Modeling*, vol. I, nº 14, pp. 12-18, 2014.
- [13] J. A. Madrid, «Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España,» 2015. [En línea]. Available: http://escuelaedificacion.org/images/zoo/uploads/PDF/PRESENCIALES/MBIM/Revista_Building_Smart_JAM_Art.pdf. [Último acceso: 21 2 2017].
- [14] R. O. C. T. M. D. C. M. G. y D. B. K. , Building Reconstruction using LiDAR data, Pontypridd (Wales): GIS Research Centre, School of Computing, University of Glamorgan.
- [15] «FARO,» [En línea]. Available: <http://www.faro.com>. [Último acceso: 7 3 2017].
- [16] «RIEGL: Laser Measurement Systems,» [En línea]. Available: <http://www.riegl.com>. [Último acceso: 7 3 2017].
- [17] «Autodesk,» [En línea]. Available: <http://www.autodesk.com>. [Último acceso: 7 3 2017].
- [18] X. N. Nieto y A. M. Alegre, Reconstrucción volumétrica y replanteo proyectivo del cuartel de alumnos Francisco Moreno situado en la Escuela Naval Militar mediante técnicas de modelado CAAD aplicadas en un entorno virtual 3D, Marín: Centro Universitario de la Defensa, 2016.
- [19] «Web de La Moncloa,» [En línea]. Available: <http://www.lamoncloa.gob.es>. [Último acceso: 13 enero 2015].
- [20] L. D.-V. S. L. J. A. y P. A. , Indoor daylight simulation performed on automatically generated as-built 3D models, Vigo: Department of Natural Resources.
- [21] A. A. X. X. B. A. y D. H. , Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data, Carnegie Mellon: Carnegie Mellon University.
- [22] R. V. J. S. y F. S. , «Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs,» de *Automation in construction*, vol. XXXVIII, Elsevier, 2014, pp. 109-127.
- [23] P. T. D. H. B. A. R. L. y A. L. , «Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques,» Elsevier, 7 6 2010. [En línea]. Available: www.elsevier.com/locate/autcon. [Último acceso: 16 2 2017].
- [24] X. N. Nieto, «Tema 12: Ingeniería Inversa,» de *Diseño de Máquinas*, Marín, Centro Universitario de la Defensa, 2017.
- [25] Autodesk, «Ayuda Revit 2017,» 2017. [En línea]. Available: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2017/ESP/>. [Último acceso: 2 1 2017].
- [26] American Institute of Architects, G202 "Building Information Modeling Protocol", AIA, 2013.
- [27] Autodesk, «Autodesk Knowledge Network: 3ds Max,» Autodesk, 2017. [En línea]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax-Tutorial/files/GUID-D1FE221D-E6E0-4467-8958-3AFF6764EE46-htm.html>. [Último acceso: 28 2 2017].

- [28] «Synchro Software,» [En línea]. Available: <https://synchroltd.com/es/>. [Último acceso: 23 2017].
- [29] G. V. B. G. H. G. G. S. y T. R. , Recognising structure in laser scanner point clouds, Enschede, Netherlands: International Institute of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC).
- [30] H. Y. y H. C. , 3D modeling of structures using break-lines and corners in 3D point cloud data, Tokyo Denki Univesitty Department of Civil Engineering.
- [31] A. del Caño, M. P. de la Cruz y L. Solano, «Diseño, ingeniería, fabricación y ejecución asistidos por ordenador en la construcción: evolución y desafíos a futuro,» *Informes de la Construcción*, vol. LIX, nº 505, pp. 53-71, 2007.
- [32] G. Farin, Curves and surfaces for computer-aided geometric design: a practical guide., Elsevier, 2014.
- [33] «Construmática,» [En línea]. Available: <http://www.construmatica.com/construpedia/>. [Último acceso: 13 2017].

ANEXO I: MANUAL DEL ESCÁNER LÁSER FARO® FOCUS^{3D} X 330

FARO Laser Scanner Focus^{3D} X Series

The Perfect Instrument for 3D Documentation

FARO



FARO Laser Scanner Focus^{3D} X 330



FARO Laser Scanner Focus^{3D} X 130

FARO Laser Scanner Focus^{3D} X Series



✓ Xtra range – 130m and 330m

Within the Focus^{3D} X Series, FARO offers its customers the possibility to choose between mid and long range laser scanners (130 meters and 330 meters) with the best technology for the lowest price in the market.

✓ Xtra-Safe – with the best laser class

With the class "1" laser, the Focus^{3D} X Series ensures non-hazardous operation for the user.

✓ Xtra productivity

The laser scanner's extra range greatly improves the user's productivity. Distant or large objects, excavations or objects in demanding outdoor terrain can be surveyed with fewer scans and therefore considerably quicker and more accurate than ever before.

Xpand your horizon!

Fast and exact indoor and outdoor measurements in three dimensions: Simply at your fingertips!



✓ **Universal – indoor and outdoor measurements**

Ideal for architecture, surveying, BIM, 3D documentation, construction supervision, reverse engineering, historic preservation or forensic crime scene documentation – thanks to its simple controls and compact design, the Focus^{3D} is ideally adapted to all sorts of applications.

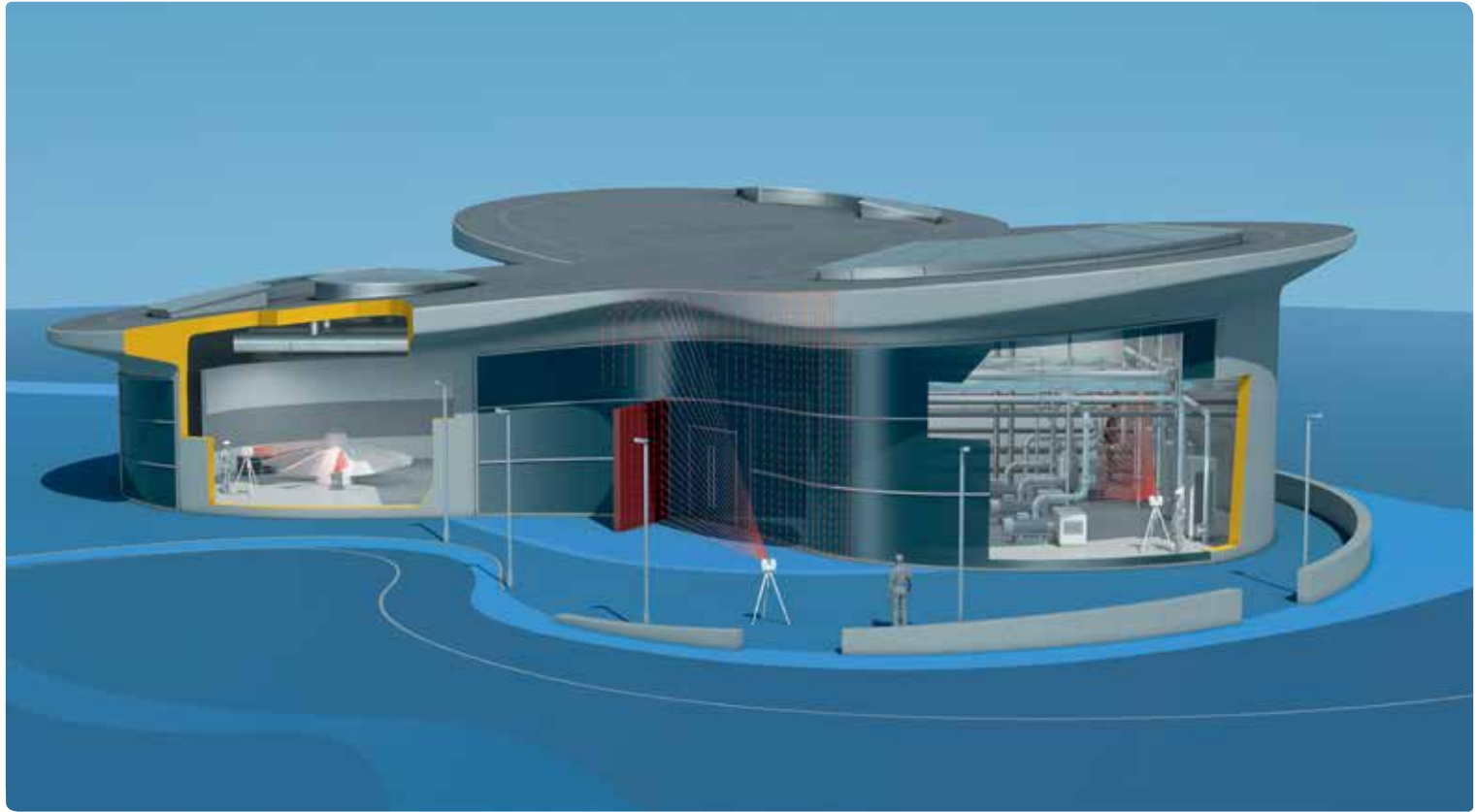
✓ **Xtra scanning – even in bright sunlight**

Extreme flexibility to perform laser scanning projects every time, everywhere. Even under the brightest sunlight.

✓ **Xtra positioning – integrated GPS**

Effortlessly determine the position of the scanner. This helps to facilitate the registration process and provides the exact time and location of the users' scans.

FARO Laser Scanner Focus^{3D} X Series



1 Scanning of outdoor environments

The Focus^{3D} is well suited to 3D documentation of buildings, building sites, roads and landscape features. Objects within a distance of 330m can be easily recorded - even in full sunlight.

2 Scanning of indoor environments

With the Focus^{3D} it is possible to quickly produce 3D documentations of interiors and technical installations such as building services, conveyor systems or process installations.

3 3D product and component documentation

Whether for inspection of large machine components, during product design or reverse engineering – the Focus^{3D} measures products and components of every possible shape and size and produces precise data and three-dimensional surface models from them.

Performance specification Focus^{3D} X 330

Range Focus^{3D} X 330 0.6 – 330m

Measurement speed up to 976,000 points/second

Ranging error² ±2mm

Ranging noise
@10m – raw data: 0.3mm @90% refl.
@25m – raw data: 0.3mm @90% refl.

@10m – raw data: 0.4mm @10% refl.
@25m – raw data: 0.5mm @10% refl.



Integr. colour camera Up to 70 mio. pixel

Laser class: Laser class 1

Weight 5,2kg

Multi-Sensor GPS, Compass, Height Sensor, Dual Axis Compensator

Size 240 x 200 x 100mm

Scanner control via touchscreen display and WLAN

About the Focus^{3D} X Series

FARO now offers an ideal solution for measurement every time, everywhere – no matter of time or location. Two ranges 130m and 330m, scanning in full sunlight and integrated GPS make the Focus^{3D} X Series user capable to perform eye-safe laser scanning in all kinds of environments: surveying sites, construction, architecture, historical preservation or forensics.

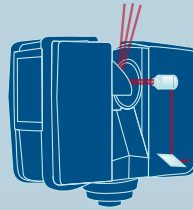
FARO's laser scanner records up to one million measurement points per second and produces a precise, three-dimensional image of its surroundings. With suitable apps in FARO's 3D App Center this image can be analysed and imported into a wide range of software applications.

The fast and accurate laser scanner Focus^{3D} offers everything you might expect from a professional 3D laser scanner – with FARO's established and well-known level of simplicity.

Our brand new, highly convenient data sharing solution: FARO SCENE Webshare Cloud offers the opportunity to easily and securely share your scan data for worldwide presentation and collaboration without the hassle of setting up and maintaining servers and software.

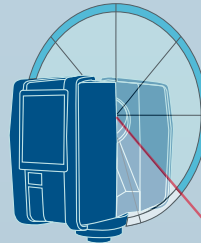
Measurement method

Distance



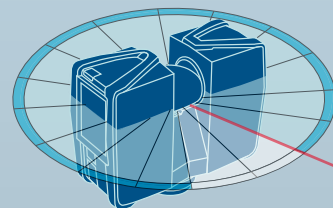
The scanner uses a laser beam which is reflected back to the scanner by an object. The distance is measured in millimetre-accuracy by the phaseshift between the sending and receiving beam.

Vertical angle



The mirror deflects the laser beam in vertical direction onto the same object. The angle is encoded simultaneously with the distance measurement.

Horizontal angle



The laser scanner revolves 360° horizontally. The horizontal angle is encoded simultaneously with the distance measurement.

Computation of the 3D coordinate

Distance, vertical angle and horizontal angle make up a polar coordinate (d, α, β) , which is then transformed to a Cartesian coordinate (x, y, z) .

Performance specification Focus^{3D} X 130

Range Focus ^{3D} X 130	0.6 – 130m
Measurement speed	up to 976,000 points/second
Ranging error ²	±2mm
Ranging noise	@10m – raw data: 0.3mm @90% refl. @25m – raw data: 0.3mm @90% refl. @10m – raw data: 0.4mm @10% refl. @25m – raw data: 0.5mm @10% refl.



Integr. colour camera	Up to 70 mio. pixel
Laser class:	Laser class 1
Weight	5,2kg
Multi-Sensor	GPS, Compass, Height Sensor, Dual Axis Compensator
Size	240 x 200 x 100mm
Scanner control	via touchscreen display and WLAN

Surveying





Xpand your horizon!

Industries such as surveying, construction, civil engineering and BIM depend on reliable, fast and accurate data. Information and spacial reference are essential through all phases of surveying and construction projects.

FARO Laser Scanner Focus^{3D} X Series with integrated GPS and the possibility to scan in direct sunlight offers the user the ideal outdoor solution, smoothing the workflows, making processes faster and more efficient, delivering accurate data and satisfying statutory requirements.

Applications

Scanning of large or distant objects: Due to the extra long range of the FARO Laser Scanner Focus^{3D} X 330, all kinds of high, long or difficult to access objects can be easily scanned and analyzed.

Project supervision: Whenever there are excavations, bridges, towers, open-pit mines, roads, railways, reservoirs, dams, pipelines to be built, there is a need for close monitoring of the individual project phases to meet the project's requirements.

Deformation monitoring: Determining if the surveyed structure or object is changing shape or moving. Saves time and rework during construction.

Large volume calculation: When measuring loose material in bulk, e.g. in barges, silos or in warehouses, large volume determination on a regular basis is an important consideration. Laser scanning allows for fast, accurate and reliable dimensional calculations.

Quality control: Precise laser scanning ensures that the final as-built condition fit design intent and minimizes the chance of potential problems.



Benefits



Time-saving, simple and complete recording of the current condition of surveying or construction sites



Real-time, digital 3D data capture and analysis of materials, volumes, structures, topography



Due to extra long range, enhanced registration of data and rapid capturing of high resolution data increases users' productivity



Precise positioning due integrated GPS

Architecture, BIM and Civil Engineering





Building documentation easier than ever

With the Focus^{3D}, FARO provides architects and civil engineers with an efficient tool for rapid, seamless and precise documentation of the current status of buildings and building sites of every kind.

Weighing just around five kilograms, the Focus^{3D} laser scanner is ideal for mobile usage on the building site. It records foundation excavations, building shells and complete buildings in 3D – completely, quickly and cost-effectively.

Applications

Façades inspection: 3D dimensional inspection of building shells and facade components before final assembly.

Structural analysis and maintenance: Rapid and cost effective control of the specified load-bearing capacity of supporting structures as well as wear and tear.

Construction progress monitoring: Seamless capture and monitoring of construction progress for legal and technical documentation.

Built environment: Precise geometrical recording of existing properties as the basis for conversions or extensions.

Free-form components inspection: Precise dimensional check of complex components such as free-form shape elements.

Deformations control: Documentation of deformation processes and monitoring of countermeasures.

Space optimization: By prior creation of 3D models.



Benefits



Revolutionary price/performance ratio



Photorealistic imaging and 3D visualisation of different concepts of building use



Immediate processing of the data in all commonly used CAD programs

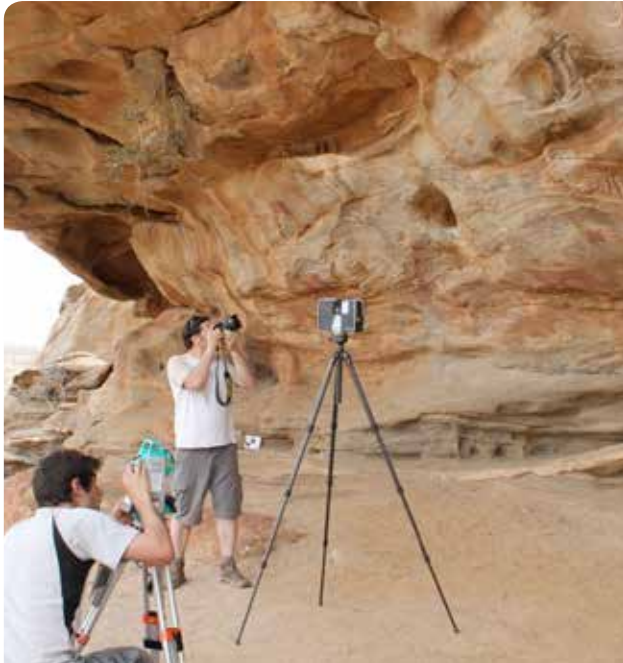


Simple variance comparison in the construction process and in the case of final building inspections



SCENE WebShare Cloud for simple and secure online sharing of scan data via the internet

Heritage & Archeology



Bringing historical sites back to life

Whether for restoration or scientific analysis purposes, for securing protected buildings or for virtual presentations of historical sites, the FARO Focus^{3D} offers the possibility of complete and detailed 3D documentation of historical structures and excavation sites. Thanks to its integrated colour camera, photo-realistic 3D images can be created instantly.



Applications

Reconstruction: Detailed 3D data for reconstruction of lost appearance of components of historical sites or archeological objects.

Restoration: Creation of 3D models for restoring purposes preserving the original building substance without the necessity of scaffolding usage.

Conservation: Precise 3D CAD documentation for preservation and protection of historical/archeological material and inventory.



Benefits

- ✓ Simple, fast and complete recording of the current condition of heritage sites or archeological objects
- ✓ Digital 3D capturing of complex forms of historic buildings at a high level of detail
- ✓ Enhanced registration of large object data and remote functionality connect multiple data sets accurately
- ✓ An ideal affordable device, particularly when there are no up-to-date construction plans

Facility and Asset Management



Efficient processes with 3D scans

Three-dimensional building data offers facility managers valuable assistance – from technical facility management through to property management.

The FARO Focus^{3D} provides complete and precise 3D documentation of the current status of buildings and building sites as well as their assets such as power components, machinery and pipe work

With the Focus^{3D} the required data can be recorded with ultimate ease. This scan data can be used for building management, collision detection for retrofits, as-built documentation for CAD modelling and other plant design tasks.



Applications

Documentation: The Focus^{3D} accurately records the inventory data that is needed by Facility Managers – be it the structural situation on a production plant or the building services equipment in an office block.

Planning of structural alterations: The scan data provides an accurate three-dimensional model of the actual status of the building. As a result Facilities Managers can run through the usage options for rooms even before planning actually begins.

Replanning of technical modifications: Changes to technical equipment, such as pipes, air ducts and electrical supply lines, can be depicted and checked in advance in the virtual model. This offers a stable basis for replanning.



Benefits



Complete and precise 3D documentation of the current status of buildings and building sites

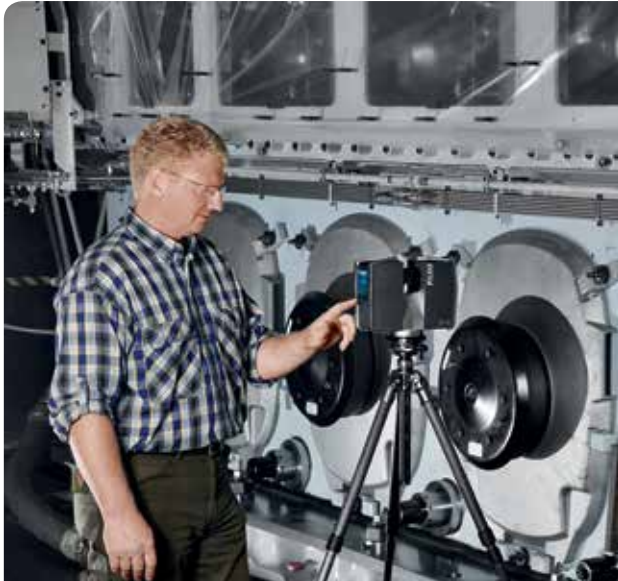


The scan data can be easily integrated with industry-standard CAD programs



The optimum basis for the planning and execution of building projects as well as for the management of properties

Inspection and Reverse Engineering



True magnitude shown in the 3D scan

Particularly in the case of very large or very complex components and shapes, conventional measuring instruments quickly reach their limitations.

With the Focus^{3D}, even these shapes can be precisely captured, inspected and re-engineered.



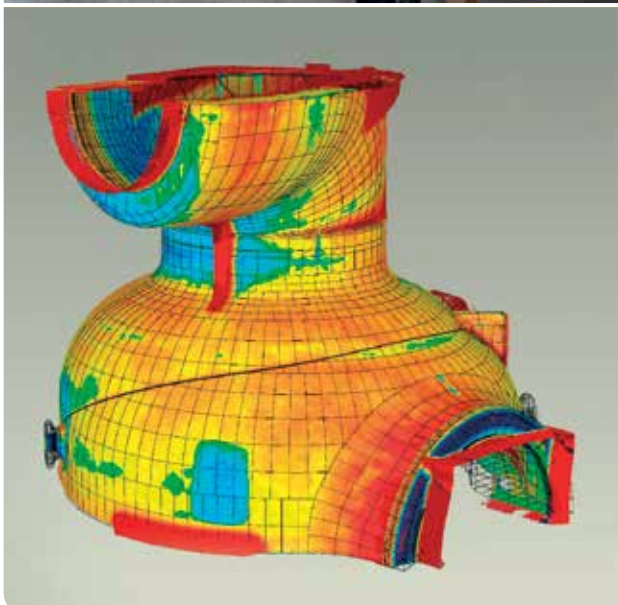
Applications

Reverse engineering: Copies of products and components for which there are no construction plans and/or CAD data available.

Interior fixtures and fittings: Precise 3D CAD documentation of complex interiors of ships, cars or aircrafts as a basis for planning of conversions.

Manufacturing documentation: Complete 3D documentation of the manufacturing status of complex machine components.

Quality control: Precise 3D documentation and dimensional inspection of large and complex components such as rotor blades, turbines, ship propellers, etc.



Benefits



Cost-efficient, quick and accurate 3D capture of as-built geometry of large products



Automated in-process control of production allow for comprehensive 3D inspection and monitoring of parts



Reduced scrap and rework due to early and comprehensive 3D quality control

Process Industry and Digital Factory



Precise 3D data saves time and money

Technical plants like refineries, power plants and production sites are complex structures which require exact 3D CAD data in order to convert, repair or extend them.

With the FARO Focus^{3D} complete and precise 3D as built data can be captured easily, precisely and completely.



Powered by Volvo Cars Group

Applications

Conversions and extensions: Precise 3D documentation of the current state of the property as the planning basis for conversions and extensions.

Offsite production: Possibility of precise-fit off-site assembly, thanks to exact 3D CAD data and dimensional control.

Asset management: Simplification of facility management and maintenance through comprehensive 3D documentation.

Training: Virtual access to remote facilities allows for off-site training and simulation.

Site supervision: Improved coordination between different trades and comprehensive documentation and supervision of all work.



Benefits



Extreme time savings and high fidelity for 3D documentation of complex factory and plant installations



Risk minimisation in brownfield projects where access is difficult or expensive and where schedules are tight



Brownfield costs can be reduced by 5-7%, contingencies for rework to less than 2%. Schedules can be compressed by as much as 10%



Efficient control and monitoring of health and safety as well as environmental regulations

Shipbuilding



Tough industrial environments

3D laser scanning is used in naval engineering to aid assembly, and to assist repair and retrofit activities.

To ensure accurately fitting parts, it is necessary to continuously perform measurements in each phase of the production process.



Applications

As-built documentation: 3D laser scanning solutions ensure that ship hulls and components can be digitized when original drawings are missing or inaccurate (as it is often the case with old vessels).

Ballast Water Treatment (BWT) retrofit: Upcoming legislation requires the installation of Ballast Water Treatment systems onboard all ocean-going vessels. 3D laser scanning can overcome challenges such as measuring the limited space in engine rooms, and capturing reliable data for the retrofitting installation process.

Ship repair: Providing a fast and accurate way to inspect ship parts during repair, 3D laser scanning can be used to verify design specifications to ensure proper fit.



Benefits



A fast and reliable technology to capture complex as-built situations in engine and pump rooms



Complete 3-dimensional information of the actual conditions



Risk minimization in projects where access is difficult and schedules are tight

Law Enforcement & Forensics



Built for the field

The fast and accurate Focus^{3D} is an ideal tool suited to performing rapid and complete 3D recordings of crime and accident scenes, insurance damage or passive car safety testing. The scanner converts weeks work into hours.

All details of relevance in any subsequent reconstruction of the crime or accident are covered. Similarly, in order to develop appropriate safety concepts for events, laser scans deliver the relevant 3D topography information.



Applications

Crime scenes investigation & analysis: Complex and timely investigations made easier and faster by the Focus^{3D}.

Bullet path reconstruction: Quick and accurate reconstruction of bullet paths made possible by combining traditional investigative methods with cutting-edge laser scanning technology.

Crash investigation & analysis: Handling, investigating and analyzing road incidents, their cause and impact made fast and reliable using FARO laser scanners.

Passive safety of cars: Reducing consequences of accidents with laser scanner tested passive safety systems can be vital for passenger survival.

Fire Investigation: Detailed fire scene reconstruction.



Benefits

- ✓ Fast, accurate and reliable data
- ✓ Authentic, complete and precise 3D copy of reality
- ✓ Reproducible 3D documentation at your fingertips
- ✓ Easy conversion of captured scenes to orthophotos and CAD

SCENE



Automated target-less scan registration

Target-less scan placement by automatic identification of edges, corner points and fast plane detection.



FARO SCENE WebShare Cloud integration

Creates scan data and publishes then in SCENE WebShare Cloud via Internet.



Super-crisp visualisation

The new color balancing as well as the innovative super sampling in 3D View provides incredibly detailed visualisation of 3D documentation projects.



Easy processing of large scan projects

With its dedicated database technology SCENE can manage an unlimited amount of scan data. Its powerful tools allow for efficient processing even of large scan projects.



Plug-ins for extended functionality

The unique plug-in interface lets the user extend SCENE's functionality by installing additional apps. All available apps can be found on the FARO 3D App Center.



Homogenization of point clouds

This feature reduces the number of excess scan points in overlapping areas of the project point cloud. Due to the reduced amount of data, the whole workflow from SCENE to the final result in 3rd party software becomes more efficient.



Real virtuality software

SCENE is specifically designed for all FARO laser scanners. The software processes and manages scanned data both efficiently and easily by using the automatic object recognition and scan registration.

SCENE is an extremely user-friendly software that allows scans to be automatically combined. The resulting point cloud can be viewed in three dimensions. All the scans are available in color and as high-contrast intensity images.

FARO SCENE WebShare Cloud & App Center

Data sharing without limits

With SCENE WebShare Cloud, FARO offers a comprehensive service to provide users with simple access to 3D documentation. Neither technical training nor specialist skills in 3D laser scanning are necessary to work with the intuitive user interface.

Digital data, such as 3D documentation, often has to be available to many different project partners. Previously, users having their own internet server, could use SCENE WebShare to present their laser scan projects to clients and project partners. Now FARO goes considerably further, offering the SCENE WebShare Cloud solution, a hosting service with various packages at different prices.



Features

- Easy data sharing and collaboration
- Best possible security level
- Minimal set up and maintenance effort
- Persistent measurements & annotations
- Hosting service offered by FARO
- Support for mobile devices

www.websharecloud.com

Our offer	Getting Started	Small Enterprise	Medium Enterprise	Large Enterprise
Storage	50GB	100GB	200GB	500GB
Downloads / month	50GB	100GB	200GB	500GB
Assigned users	10	25	50	100

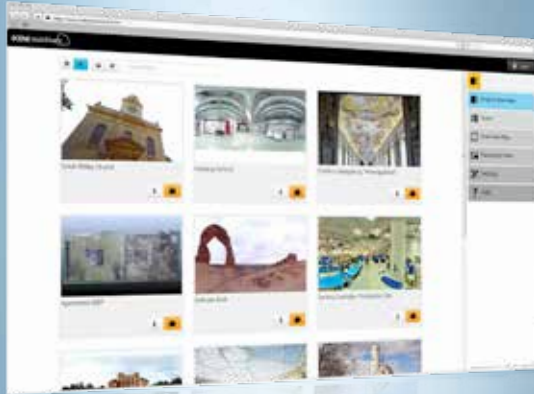
App Center



The FARO 3D App Center!

In the 3D App Center you will find software dedicated to the FARO 3D Documentation world. The shop is divided into two main categories: Stand-alone apps and plug-in apps.

3d-app-center.faro.com



Accessories



Suitcase / backpack



True mobility

In addition to a waterproof and extremely sturdy Pelicase with lots of compartments for important accessories, a light and elegant Rimowa case and an ergonomically designed backpack including tripod holder are also available.



Surveyor's Kit for the Focus^{3D} X 330 only



All in one

The kit includes: Focus^{3D} X 330, PowerBlock battery, Power Dock, 32GB SD card, SD card reader, SD card cover, optical cleaning set, quick charge power supply, car power supply, ruggedized protection and transport cover in aluminium, Panorama Quick Release, rugged transport case with wheels, license SCENE software, 1 year maintenance contract for SCENE software.



Adapters



Secure grip

Panorama Adapter Quick Release

Fits to standard photo tripods with 3/8" screw and surveyor tripods with 5/8" screws

TMS Adapter

With its two standard "wild-studs", TMS adapter can hold two prisms. The prisms support the quick survey of the scanner position.



Tripods



Stable base

Light weight tripod

Enables the mounting on any support such as a fixed post, robot arm, rail etc.

Surveying tripod

Elevating tripod with double gear reduction and included extension to reach 290 cm. Anodized aluminium parts are weather-proof.

You are in good hands



Learn more



Discover the possibilities

The Focus^{3D} has an intuitive control concept, enabling even inexperienced users to get started straight away. Valuable tips and suggestions are to be found in a training video that can be watched on the touchscreen of the scanner. However we also offer workshops, seminars and training courses for specific applications and tasks. In these, we teach you how you can use your Focus^{3D} even more effectively.



Customer service



Always there for you

Phone: Our hotline is available from 9:00 am to 5:30 pm (GMT + 8:00), Monday to Friday, under the toll-free number 1800 511 1360

E-Mail: supportap@faro.com

Online-Support Center: www.faro.com/support



Software compatibility



The Focus^{3D} and its SCENE software are compatible with the most common CAD software applications. SCENE can be used to export scan data to over 50 common software solutions, such as:

- General CAD: AutoCAD, Microstation, Rhino
- Plant construction: AVEVA PDMS, Intergraph PDS, AutoCAD Plant 3D, Microstation, Rhino
- Architecture: AutoCAD Architecture, REVIT
- Civil engineering / Surveying: AutoCAD Civil 3D, PolyWorks Surveyor, Carlson, Microsurveys
- Heritage: 3D Reconstructor
- Quality control: Geomagic Qualify, PolyWorks
- Inspector, Rapidform XOV
- Forensics: AutoCAD, SCENE Forensics
- Reverse engineering: Geomagic Studio, PolyWorks Modeler, Rapidform XOR
- Tunnelling: RR Tunnel, TMS
- Visualization: Pointools



ASIA PACIFIC HEADQUARTERS

FARO Singapore Pte Ltd

No. 3 Changi South Street 2,
#01-01 Xilin Districentre Building B,
Singapore 486548

Tel: +65.65111350

Fax: +65.65430111

Email: asia@faro.com

URL: www.faroasia.com

www.faroasia.com/LaserScanner

China Office

1/F, Building No.2, Juxin
Information Technology Park
188 Pingfu Road, Xuhui District
Shanghai 200231, China

Tel: +86.21.61917600

Fax: +86.21.64948670

Email: china@faro.com

Japan Office

716 Kumada, Nagakute-shi,
Aichi 480-1144, Japan

Tel: +81.561.631411

Fax: +81.561.631412

Email: japan@faro.com

India Office

E-12, B-1 Extension
Mohan Cooperative Industrial Estate
Mathura Rd., New Delhi – 110044, India

Tel: +91.11.46465656

Fax: +91.11.46465660

Email: india@faro.com

Thailand Office

No.1 M.D. Tower, 12th Floor,
Unit B-C1, Soi Bangna-Trad 25,
Bangna-Trad Road
Bangna, Bangkok 10260, Thailand

Tel: +66.2.7441273-4

Fax: +66.2.7443178

Email: thailand@faro.com

Malaysia Office

6th Floor, Suite 20, IOI Business Park
Persiaran Puchong
Jaya Selatan Bandar Puchong Jaya
47100 Puchong Selangor, Darul Ehsan,
Malaysia

Tel: +60.3.80644224

Fax: +60.3.80644334

Email: asia@faro.com

Vietnam Office

Room 4, 4th floor, Annex Building
309B-311 Nguyen Van Troi Street
Tan Binh District

Ho Chi Minh City, Vietnam

Tel: +84.8.38458108

Fax: +84.8.38458018

Email: asia@faro.com

South Korea Office

#1105 GoldenView Building 25
Seomyeon-ro,
Busanjin-gu Busan 614-850,
South Korea

Tel: +82.51.6623410

Fax: +82.51.9418170

Email: korea@faro.com