



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de
Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Carlos Supervielle Bergés

DIRECTOR: Xavier Núñez Nieto

CURSO ACADÉMICO: 2017-2018

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de
Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

El concepto de integración BIM (Building Information Modeling) describe una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de proyectos de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en una maqueta de información digital creada por todos los agentes que intervienen en el proceso de elaboración. El uso del BIM va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y extendiéndose a lo largo del ciclo de vida del edificio, permitiendo la gestión del mismo y reduciendo los costes de operación. Atendiendo a esto, el presente Trabajo de Fin de Grado desarrolla el modelado proyectivo 4D (volumen + programación) del edificio para I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación) vinculado al Centro Universitario de la Defensa (CUD) en la Escuela Naval Militar (ENM). Así, aplicando la tecnología BIM, se ha llevado a cabo la recreación virtual del edificio, incorporando los atributos ingenieriles específicos que definen el mismo como entidad inteligente. El modelo multidimensional generado permite gestionar de manera integral el edificio en su totalidad, incluyendo caracterización geométrica, información constructiva y tiempos de ejecución. Asimismo, se ha conseguido elaborar una maqueta a escala del edificio mediante fabricación aditiva, a partir del modelo geométrico desarrollado virtualmente.

PALABRAS CLAVE

Maqueta virtual, BIM, Simulación 4D, Programación temporal, Impresión 3D

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer el trabajo y tiempo dedicado por parte de mi tutor, Xavier Núñez Nieto, a la realización del trabajo. Además de ser una de las personas que despertó en mí el interés sobre la materia, ha realizado una excepcional labor como tutor. Aconsejando y marcando los tiempos necesarios para conseguir un desarrollo fluido del trabajo Sin lugar a dudas, ha conseguido explotar mis capacidades logrando el mejor resultado que se podía obtener en el tiempo establecido.

No me olvido de mi familia, padres, hermanos y tíos que han tenido que soportarme días enteros realizando el trabajo.

Importante también la ayuda del Centro Universitario de la Defensa, la Escuela Naval y la Dirección de la obra por las facilidades prestadas durante el desarrollo de este trabajo.

Por último, he de agradecer la paciencia y amistad a mis compañeros de camarera la L-3, José Cuartero, Jaime Ferrando e Ignacio Moreu. Han aguantado largas noches con el ruido del ordenador y la luz del flexo encendida sin apenas quejarse. Además, es importante tener alguien cercano con quien poder compartir las experiencias y que estén ahí para cuando las cosas no salen como deberían.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	8
1 Introducción.....	9
1.1 Descripción	9
1.2 Antecedentes	9
1.2.1 Justificación	10
1.3 Objetivos	11
1.4 Localización	11
1.5 Marco Legal	12
1.6 Estructura del trabajo	13
2 Estado del arte	15
2.1 Descripción	15
2.2 AEC.....	15
2.3 BIM	16
2.3.1 BIM en España	17
2.3.2 Ventajas del BIM	17
2.3.3 Dimensiones BIM	18
2.3.4 Niveles BIM.....	19
2.3.5 Tecnologías complementarias	20
2.4 Cuarta dimensión (4D).....	22
2.5 Software de aplicación	23
2.5.1 Autodesk Revit	24
2.5.2 Autodesk AutoCAD.....	24
2.5.3 Microsoft Project	25
2.5.4 Autodesk Navisworks Manage	26
2.6 Impresión 3D.....	26
2.6.1 Modo de funcionamiento	26
2.6.2 Evolución histórica	27
2.6.3 Usos y aplicaciones.....	27
2.6.4 Tecnologías de fabricación	27
3 Desarrollo del TFG.....	31
3.1 Descripción	31

3.2 Modelado	31
3.2.1 Mediciones y actualización de información	31
3.2.2 Geometría constructiva	38
3.2.3 Materiales y texturas	58
3.3 Simulación 4D.....	61
3.3.1 Importación desde Autodesk Revit.....	62
3.3.2 Interfaz Autodesk Navisworks Manage.....	63
3.3.3 Simulación	63
3.4 Impresión 3D.....	72
3.4.1 Exportación a STL.....	72
3.4.2 Selección de maqueta	73
3.4.3 Adaptación del modelo	74
3.4.4 Software Cura Lulzbot.....	76
3.4.5 Proceso de impresión	80
3.4.6 Coste de fabricación	81
4 Resultados	83
4.1 Descripción	83
4.2 Modelado	83
4.2.1 Interoperabilidad.....	83
4.2.2 Planos.....	85
4.2.3 Maqueta virtual	105
4.2.4 Anotaciones y correcciones	109
4.2.5 Renderizados.....	110
4.2.6 Recorrido virtual	114
4.3 Simulación 4D.....	115
4.3.1 Programación.....	115
4.3.2 Simulación temporal	117
4.4 Maqueta a escala	119
4.4.1 Coste de fabricación	122
5 Conclusiones y líneas futuras	123
5.1 Descripción del apartado.....	123
5.2 Conclusiones	123
5.2.1 Modelado	123
5.2.2 Simulación 4D	124
5.2.3 Impresión 3D	124
5.2.4 Conclusión final.....	125

5.3 Líneas futuras	125
5.3.1 Corto plazo.....	125
5.3.2 Largo plazo	125
6 Bibliografía.....	127
Anexo I: Programación temporal detallada	131
Anexo II: Manual de instrucciones de la impresora 3D Lulzbot TAZ 5	141
Anexo III: Manual de instrucciones del Odómetro Rolatape RT412D	163
Anexo IV: Manual de instrucciones del Telémetro BOSCH GLM 100C.....	167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Vista panorámica de la Escuela Naval Militar [1]	9
Figura 1-2 Fachada principal (izquierda) y esquina suroeste del Centro de Investigación del CUD	10
Figura 1-3 Aumento progresivo de la localización de la Escuela Naval Militar	12
Figura 1-4 Situación Centro de Investigación	12
Figura 1-5 Hoja de ruta de BIM en España [3].....	13
Figura 2-1 Aplicación de BIM todo el ciclo de vida de un proyecto [4].....	16
Figura 2-2 Implantación global de BIM [5].....	17
Figura 2-3 Dimensiones BIM	18
Figura 2-4 Niveles BIM [8]	19
Figura 2-5 Nube de puntos generada por tecnología LiDAR [9].....	20
Figura 2-6 Reconstrucción volumétrica de un túnel mediante GPR [10].....	21
Figura 2-7 Imagen capturada con cámara termográfica [11].....	22
Figura 2-8 Simulación 4D. Relación de tiempo y animación	23
Figura 2-9 Logotipo e interfaz del software Autodesk Revit	24
Figura 2-10 Logotipo e interfaz del software Autodesk AutoCAD.....	25
Figura 2-11 Logotipo e interfaz del software Microsoft Project	25
Figura 2-12 Logotipo e interfaz del software Autodesk Navisworks Manage	26
Figura 2-13 Esquema de funcionamiento de FDM (izquierda) [12] y maqueta escalada realizada por FDM (derecha) [13]	28
Figura 2-14 Elementos para la fabricación con estereolitografía (izquierda) [14] y modelo en baño de resina (derecha) [15].....	28
Figura 2-15 Esquema de funcionamiento de SLA (izquierda) [12]y hélice realizada por SLS (derecha) [16].....	29
Figura 3-1 Fases de desarrollo del proyecto	31
Figura 3-2 Zona ampliada (verde) y remodelada (rojo) del edificio	32
Figura 3-3 Odómetro Rolatape RT412D [17] (izquierda) y Telémetro BOSCH GLM 100C [18] (derecha).....	32
Figura 3-4 Actualización de pilares estructurales.....	34
Figura 3-5 Planta baja actualizada	35
Figura 3-6 Cajetín (imagen de la derecha) y combinación de cajetín y marco (imagen de la izquierda)	36
Figura 3-7 Sede Electrónica del Catastro.....	37
Figura 3-8 Elaboración del plano de emplazamiento	37
Figura 3-9 Distribución de la interfaz de Revit	38

Figura 3-10 Vinculación de Autodesk AutoCAD a Autodesk Revit.....	39
Figura 3-11 Niveles de referencia.....	40
Figura 3-12 Selección del clima en la localización del edificio	40
Figura 3-13 Proceso de rotación del norte real	41
Figura 3-14 Rejillas de referencia.....	41
Figura 3-15 Inserción de pilares en el modelo.....	42
Figura 3-16 Armadura de pilares	43
Figura 3-17 Tipos de cerramiento.....	44
Figura 3-18 Configuración de la estructura en los cerramientos	44
Figura 3-19 Levantamiento de muros	45
Figura 3-20 Forjado con losas alveolares y armadura.	46
Figura 3-21 Generación de ventanas y propiedades	47
Figura 3-22 Detalle puerta de garaje y propiedades paramétricas.....	48
Figura 3-23 Selección de disposición del tejado a tres aguas.....	49
Figura 3-24 Planos de referencia para generación de familias	50
Figura 3-25 Sistema de vigas estructurales.....	50
Figura 3-26 Generación de panel tipo sándwich.....	51
Figura 3-27 Distribución de los falsos techos de escayola	52
Figura 3-28 Generación de la estructura del falso techo acústico	52
Figura 3-29 Modelo virtual y modelo real de la escalera de emergencias.....	53
Figura 3-30 Escalera fachada norte.....	54
Figura 3-31 Detalle del perfil de la cornisa de la fachada	55
Figura 3-32 Perfil de barrido de saliente de fachada (izquierda) y ruta de barrido (derecha)	55
Figura 3-33 Detalle de telar en la fachada	56
Figura 3-34 Detalle de muesca en los muros de hormigón.....	56
Figura 3-35 Generación de los rodapiés interiores del edificio	57
Figura 3-36 Comprobación de la colocación de los rodapiés en modelo virtual.....	57
Figura 3-37 Generación de recorrido virtual y campo visual de la cámara.....	58
Figura 3-38 Ventana desplegable con la biblioteca de materiales	59
Figura 3-39 Introducción de imágenes para aspecto de materiales	59
Figura 3-40 Introducción del patrón relieve	60
Figura 3-41 Propiedades físicas (izquierda) y térmicas (derecha) de los materiales	60
Figura 3-42 Proceso de renderizado de imagen.....	61
Figura 3-43 Formatos permitidos para la importación a Autodesk Navisworks Manage	62
Figura 3-44 Modelo importado en Navisworks (derecha) desde Revit (izquierda).....	62

Figura 3-45 Distribución de la interfaz de Autodesk Navisworks.....	63
Figura 3-46 Creación de conjuntos de selección	64
Figura 3-47 Desglose de los conjuntos de selección	65
Figura 3-48 Asistente para la importación de archivos CSV.....	65
Figura 3-49 Establecimiento de tareas predecesoras	67
Figura 3-50 Importación de programación a software Autodesk Navisworks Manage	68
Figura 3-51 Proceso de enlace de conjuntos de selección y tareas.....	69
Figura 3-52 Edición de fotogramas para la creación de animaciones	70
Figura 3-53 Animación de la escalera de incendios	70
Figura 3-54 Secuencia de puntos de vista sucesivos para la generación de animación.....	71
Figura 3-55 Aspectos de visualización en la simulación.....	72
Figura 3-56 Herramienta para exportar a STL desde Autodesk Revit.....	73
Figura 3-57 División del edificio por plantas para impresión	74
Figura 3-58 Eliminación de carpintería para impresión 3D.....	75
Figura 3-59 Comparación de pilares en modelo original (superior) y modelo para imprimir (inferior).....	76
Figura 3-60 Impresora Lulzbot TAZ 5	76
Figura 3-61 Modos de visualización: sólido(superior), rayos-x(izquierda) y por capas(derecha).....	77
Figura 3-62 Visualización de un modelo en la interfaz del software Cura Lulzbot	78
Figura 3-63 Código de colores para visualización de capas	79
Figura 3-64 Detalle de escalera de emergencias en software Cura	79
Figura 3-65 Asignación de capas a las tejas	80
Figura 3-66 Creación de la base para la maqueta	80
Figura 3-67 Impresión de comprobación.....	81
Figura 4-1 Formatos RVT (abajo derecha), NWF (arriba dcha.), DWG (arriba izq.) y STL (abajo izq.)	84
Figura 4-2 Maqueta virtual exportada a AutoCAD	84
Figura 4-3 Esquina sureste del Centro de Investigación.....	105
Figura 4-4 Esquina nordeste del Centro de Investigación	105
Figura 4-5 Esquina suroeste del Centro de Investigación.....	106
Figura 4-6 Esquina noroeste del Centro de Investigación	106
Figura 4-7 Visualización. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: estructura alámbrica, línea oculta, sombreado, colores coherentes, realista y trazado de rayos.	107
Figura 4-8 Sección vertical en 3D	108
Figura 4-9 Sección diagonal en 3D.....	108
Figura 4-10 Sección horizontal en 3D	109

Figura 4-11 Anotaciones realizadas sobre el modelo virtual.....	109
Figura 4-12 Comparación de configuraciones de renderizado	110
Figura 4-13 Diferencia entre configuraciones de renderización.....	110
Figura 4-14 Renderizado de la vista suroeste del edificio	111
Figura 4-15 Imagen renderizada de la esquina sureste del edificio	111
Figura 4-16 Imagen renderizada de la cubierta tipo sándwich	111
Figura 4-17 Renderizado nocturno del edificio	112
Figura 4-18 Imagen renderizada desde la terraza	112
Figura 4-19 Renderizado del pasillo central	113
Figura 4-20 Renderizado del laboratorio de mecánica	113
Figura 4-21 Imagen renderizada del laboratorio multiusos	114
Figura 4-22 Imagen renderizada del pañol de embarcaciones.....	114
Figura 4-23 Mosaico del recorrido virtual	115
Figura 4-24 Simulación 4D con la barra de desarrollo de tareas.....	117
Figura 4-25 Comparación de textos en simulación 4D.....	117
Figura 4-26 Evolución de simulación 4D	118
Figura 4-27 Fachada este de la maqueta a escala	119
Figura 4-28 Vistas de las plantas por separado y en conjunto.....	119
Figura 4-29 Composición de las diferentes plantas que generan el edificio.....	120
Figura 4-30 Vistas de las cuatro esquinas del edificio.....	120
Figura 4-31 Vista ampliada de la esquina sureste del edificio.....	120
Figura 4-32 Detalle de la distribución de superficies de la primera planta	121
Figura 4-33 Detalle de la distribución de superficies de la planta baja	121
Figura 4-34 Fachada sur con detalle de puertas de garaje	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Características Odómetro Rolatape RT412D [17]	33
Tabla 3-2 Características del Telémetro BOSCH GLM 100C [18]	33
Tabla 3-3 Superficies del Centro de Investigación.....	35
Tabla 3-4 Características Impresora 3D Lulzbot TAZ 5.....	77
Tabla 4-1 Características de impresión de las plantas del edificio.....	122
Tabla 4-2 Tiempo empleado y coste de la luz.....	122

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción

En este capítulo se describirán los antecedentes a la construcción del Centro de Investigación del Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar. Asimismo, se detallarán los objetivos para el proyecto, se localizará el edificio y además de enmarcar el trabajo en un marco legal, se detallará su estructura.

1.2 Antecedentes

La Escuela Naval Militar es el centro de formación de oficiales de la Armada Española desde su creación, hace ya más de trescientos años. A principios del siglo XVIII la Marina española se encontraba en una situación de decadencia. Hasta la firma del tratado de Utrecht en 1714 seguía dependiendo en gran medida de la Flota francesa. Al concluir la Guerra de Sucesión en España, Felipe V contaba con un poderoso ejército. Sin embargo, se hacía patente el escaso número de efectivos y un cuadro de mandos improvisado de que disponía la Marina. Es por esto que en 1717 se fundó en Cádiz el primero de los centros de formación para los oficiales de marina. Denominada la Compañía de Guardias Marinas se cursaban estudios en el arte de la navegación y la guerra. Era un centro ilustrado en el que cursaban los más avanzados estudios en todas sus materias. Su principal impulsor fue el Intendente General de Marina José Patiño Rosales que realizó una modernización de la Armada en muchos de sus aspectos.



Figura 1-1 Vista panorámica de la Escuela Naval Militar [1]

Tras varias reubicaciones, ha tenido diferentes denominaciones desde su creación. Habiendo sido incluso escuela flotante a bordo de la fragata Asturias entre 1817 y 1908, sufrió varios cambios a lo

largo de su historia. Finalmente, en 1943 con la actual denominación de Escuela Naval Militar (en adelante, ENM), el Jefe del Estado decide su traslado a la Villa de Marín. Situada en la Ría de Pontevedra, se considera óptima para la formación de los alumnos gracias al emplazamiento geográfico que aporta unas condiciones excepcionales para la formación marinera y militar.

Desde su establecimiento en Marín ha seguido sufriendo una serie de cambios en sus planes de estudios. Uno de los más característicos data del 2010. Con la llegada del plan Bolonia, se incorporó al estudio de los alumnos una carrera en ingeniería mecánica por la Universidad de Vigo. Así nació el Centro Universitario de la Defensa. Centro adjunto de la Universidad de Vigo y que se encarga de la formación ingenieril de los alumnos que cursan sus estudios en la ENM. Manteniendo su esencia militar, se ha logrado un sistema conjunto en el que los alumnos son capaces de conseguir una adecuada formación militar, además de adquirir después de cinco años el título de Ingeniero Mecánico por la Universidad de Vigo.

Profesores de universidad se trasladaron al nuevo Centro Universitario de la Defensa (CUD) para impartir sus clases. Con una mentalidad principalmente docente, en los primeros años de su implantación, se dio una menor importancia al ámbito de la investigación. Sin embargo, para la trayectoria profesional de los profesores, es importante una cierta labor de investigación. Además, en diferentes evaluaciones de calidad, como la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y la Acreditación (ANECA), se considera importante que el centro haya realizado ciertas labores en este ámbito. Es por esto que años después de su implementación, se consideró de gran importancia el dotar al centro de un espacio para que se lleve a cabo la investigación en las diferentes áreas. Así, en el año 2017 se comenzó con la construcción del Centro de Investigación del CUD.



Figura 1-2 Fachada principal (izquierda) y esquina suroeste del Centro de Investigación del CUD

El edificio se entregó para su periodo de pruebas a principios de enero del 2018. En él se permitirá llevar a cabo trabajos de investigación por parte de los docentes del Centro Universitario de la Defensa, además, servirán de laboratorios para la impartición de clases prácticas.

1.2.1 Justificación

Tras varios años realizando los estudios ingenieriles, uno de los aspectos más interesantes fue el diseño digital de maquetas y modelos virtuales. Si bien es cierto que el trabajo que lleva el proceso es laborioso y sacrificado; sin embargo, los resultados finales a muchos dejan perplejos. El realismo que se obtiene en los modelos es de tal magnitud, que algunas personas que no supiesen que la imagen o el video procede de una maqueta virtual, podría fácilmente confundirla con una fotografía realista.

Además, la gestión y modificación de todo un edificio con el mero hecho de tan solo mover una línea, es algo que hoy en día sigue impresionando. Siguiendo esta línea de trabajo, pareció conveniente el realizar un Trabajo de Fin de Grado que estuviese relacionado con el ámbito del diseño virtual. Así el Building Information Modeling (más conocido como BIM), pareció un tema más que interesante para tratar en el presente trabajo.

Todo esto se complementa con el hecho de que, en España, a partir de 2019, como se explica en el apartado 2.3.1, será obligatorio el uso de la metodología BIM para cualquier proyecto de

infraestructura o edificación de licitación pública. Debido a esto, en muchas universidades no se ha comenzado tan siquiera hablar de la metodología, que es el futuro en la industria de la construcción. Se ha considerado de gran importancia ir dotando al CUD de un conocimiento en el uso de modelos colaborativos para la formación de sus alumnos. Teniendo experiencia con el desarrollo de varios Trabajos de Fin de Grado, se pretende a partir del curso venidero comenzar a formar a los alumnos en ciertos aspectos relacionados con el BIM, modernizando y estando un paso por delante de la normativa. El disponer de modelos que puedan servir de demostración del potencial que se puede adquirir con software BIM, puede ser de gran ayuda para la docencia en este aspecto.

Por todo esto, se ha considerado conveniente el realizar un proyecto relacionado con el futuro inmediato en el ámbito de la edificación, siendo un centro de formación que se va adaptando a los cambios que van surgiendo a medida que va avanzando la tecnología.

1.3 Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es la creación de un modelo virtual 3D del Centro de Investigación del CUD que, vinculado a una programación temporal, genere una simulación 4D del proceso constructivo asociado a dicho edificio. De este modo se dará cumplimiento a la Directiva Europea sobre contratación pública de la Unión Europea 2014/24/EU, donde se establece que los Estados Miembros deben fomentar, precisar e imponer el uso de la metodología BIM en los procesos de diseño y licitación, tanto en los proyectos de construcción, como en aquellos de edificación que sean financiados con fondos públicos.

La consecución de este objetivo primordial lleva asociada, de manera intrínseca, la persecución y desarrollo de una serie de objetivos derivados, que vienen a secundar de manera complementaria al principal. Así, a lo largo del desarrollo del trabajo se pretende:

- Elaborar una maqueta tridimensional digitalizada del edificio con información inteligente, que le otorgue significado ingenieril y posibilidad de cálculo a todos los niveles.
- Generar la planimetría bidimensional de la edificación construida, de manera que esta quede completamente definida de manera geométrica y geolocalizada respecto a un punto de referencia físico.
- Obtener imágenes fotorrealistas a través de la renderización del modelo tridimensional, que permitan una comprensión óptima del proyecto.
- Establecer la programación temporal del proceso de construcción asociada al edificio y vincularla con el modelo digital desarrollado.
- Implementar una simulación virtual de alta calidad que permita la visualización de la obra, tanto a priori como a posteriori, por parte de cualquier tipo de usuario, incluso aquel no especializado en la materia.

Adicionalmente a los objetivos previamente establecidos y a la vista del desarrollo evolutivo del trabajo, se planteó la posibilidad de llevar a cabo la fabricación de una maqueta real a escala del edificio, mediante la aplicación de procesos de fabricación aditiva.

Así pues y resumiendo de manera global, en este trabajo se persigue el desarrollo de una maqueta digital colaborativa mediante la aplicación del método BIM, que permita la gestión integral del edificio a lo largo de todo su ciclo de vida.

1.4 Localización

El edificio del Centro de Investigación se realizó para cubrir las necesidades del CUD en cuanto a investigación. Para ello se reformó y amplió un edificio ya existente en la Escuela Naval Militar. La

ENM se encuentra situada en la Villa de Marín, en la provincia de Pontevedra, en Galicia, España (ver Figura 1-3)



Figura 1-3 Aumento progresivo de la localización de la Escuela Naval Militar

Dentro de la ENM, el edificio de las aulas de investigación se encuentra ubicado en el muelle Almirante Vierna. Entre los edificios Isaac Peral y el denominado Núcleo de Lanchas de Instrucción. Está orientado norte-sur. Su cara este colinda con la dársena de la ENM. Su cara oeste da al antiguo muelle de cruceros, y sus caras norte y sur son colindantes con los edificios del Núcleo de Lanchas y el Isaac Peral respectivamente, como se puede observar en la imagen Figura 1-4. Sus coordenadas son 42°23'51''N, 8°42'23''W.

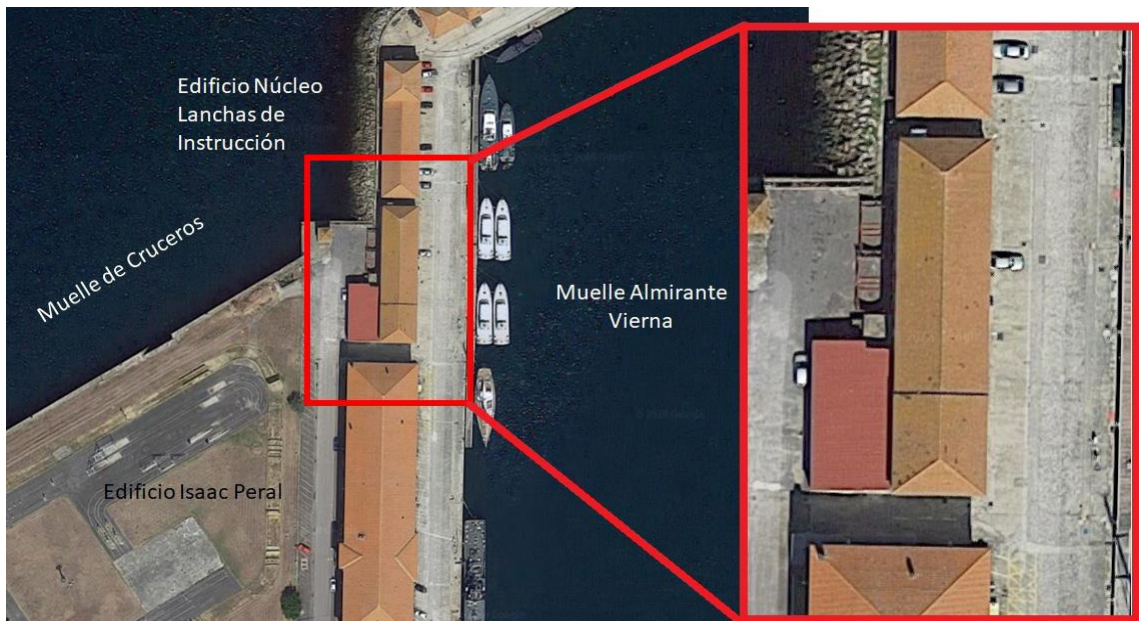


Figura 1-4 Situación Centro de Investigación

1.5 Marco Legal

La legislación vigente de la Unión Europea 2014/24/UE [2] en su artículo 22.4 establece que, “para contratos de obra y concursos de proyectos, los estados miembros podrán exigir el uso de

herramientas específicas, como herramientas de diseño electrónico de edificios o herramientas similares”.

Para ello el Gobierno estableció el 14 de julio de 2015 la Comisión BIM en España, dirigida por el Ministerio de Fomento. Su objetivo es el establecimiento de una estrategia para alcanzar un determinado nivel de madurez, que se irá incrementando de forma progresiva evitando grandes cambios en el sector. Esta comisión pretende promover el uso del BIM en el ámbito profesional y docente además de posicionar a España como un referente a nivel mundial en el uso de BIM. Con esto en mente se estableció una hoja de ruta en la primera reunión de dicha comisión (ver Figura 1-5).



Figura 1-5 Hoja de ruta de BIM en España [3]

En ella se establece que, para diciembre del año 2018, será obligatorio el uso de BIM para licitaciones públicas de edificación. En cuanto a las licitaciones públicas de infraestructuras, será obligatorio el uso de BIM a partir de finales de Julio del 2019 [3].

Por otra parte, la implantación de la metodología BIM en universidades españolas, tanto en planes de estudio como en postgrados, está sufriendo bastante retraso, por lo que los conocimientos de los titulados llevan un pequeño desfase con la herramienta. Como consecuencia, existe una carencia de profesionales especializados para cubrir los roles que estas metodologías van a demandar.

1.6 Estructura del trabajo

El presente trabajo está estructurado en tres partes diferenciadas. En primer lugar, se realiza la introducción y puesta en contexto del trabajo. En un segundo apartado se describe el estado del arte en el ámbito en el que se engloba el proyecto. Más adelante, se realiza el desarrollo del trabajo como núcleo central de la memoria. Específicamente, se divide de la siguiente manera:

- **Introducción:** Se realiza una introducción para poner en contexto y se describen los objetivos a cumplir en el trabajo
- **Estado del Arte:** Se describe el estado actual de la metodología empleada para la realización del trabajo.
- **Desarrollo del TFG:** Se detallan los pasos seguidos para la consecución de los objetivos. Siendo este el apartado principal del trabajo, se describen todas las etapas con minucioso detalle
- **Resultados:** En este apartado se muestran los resultados obtenidos mediante el desarrollo del trabajo, es decir, es la culminación del desarrollo del proyecto.
- **Conclusiones y líneas futuras:** Se exponen conclusiones y se establecen futuras líneas de trabajo

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Descripción

En este apartado se muestra el estado actual en cuanto a la metodología y tecnología empleada en la industria de la construcción, la ingeniería y la arquitectura. Por otra parte, se definirá la importancia que está cobrando la metodología de Building Information Modeling (BIM) para esta industria.

2.2 AEC

La ingeniería de la edificación ha sufrido importantes cambios a lo largo de su historia. Desde el uso de papel y lápiz para la elaboración de planos, edificios que se construían sin saber si aguantaban estructuralmente, hasta la realización de edificios en modelos colaborativos virtuales. Hoy en día se podría decir que esta ingeniería se compone, a groso modo, de diferentes fases: diseño, ejecución, mantenimiento y demolición. La coordinación entre las diferentes figuras encargadas de cada una de estas es fundamental para un buen desarrollo del proyecto.

Hoy en día la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) presenta serios retos. Uno de los problemas de esta industria es la toma de decisiones a los diferentes niveles, tanto táctico como estratégico. Teniendo en cuenta la importancia que cobra minimizar los errores en todas las etapas de un proyecto, suele ser normal el tener al menos un experto en gestión de proyectos dentro del equipo de trabajo. Esta figura será la encargada de minimizar el impacto sobre el proyecto del paso por las diferentes etapas y expertos.

El Project Management Institute (PMI) es una organización estadounidense que asocia a profesionales en el ámbito de la gestión de proyectos. Este instituto elaboró el Project Management Body of Knowledge (PMBOK). El PMBOK presenta una metodología estándar reconocida internacionalmente que facilita la comunicación entre los diferentes miembros del equipo, además de la incorporación rápida y flexible de otros componentes al equipo. Teniendo en cuenta la dimensión y la importancia que ha cobrado el PMI en los últimos años, sale a la luz la trascendencia de la coordinación de todo el equipo encargado de un proyecto.

Los problemas específicos de la AEC son, entre otros, el ser una industria demasiado fragmentada o el no estar abierta a la innovación y al cambio. Esto se hace patente en un país como España, siendo uno de los países europeos en el que aún no es obligatorio presentar un proyecto BIM para un trabajo que ha salido a licitación pública.

Una de las herramientas que ha sido creada recientemente para intentar paliar la descoordinación y la falta de toma de decisiones es el BIM. Se está hablando de ella como el futuro del AEC.

2.3 BIM

El Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación, gestión, desarrollo y mantenimiento de un Proyecto. Es un proceso basado en modelado 3D que ayuda a los profesionales del AEC a planear, diseñar, construir y gestionar de una manera más eficiente edificios e infraestructuras entre otros.

Hasta ahora se utilizaban programas de CAD (Computer Aided-Design) que imitaban el uso de lápiz y papel en dos dimensiones. Mediante el uso de líneas y tramas podían crear elementos en 3D, que, sin embargo, eran meras representaciones geométricas.

El BIM va más allá. Es una metodología colaborativa entre proyectista, constructores y demás figuras en el proceso constructivo. De ahí la importancia que está adquiriendo dentro de la AEC. Con esta herramienta, se pone a disposición de todos los profesionales que intervienen en las diferentes fases de diseño, construcción y explotación de un proyecto todo tipo de información relacionada con este. Se trata por tanto de centralizar toda la información en un único modelo.

Esta metodología tiene muchas ventajas, como, por ejemplo, la información que se le entrega al promotor es mucho más detallada y completa que la que se le daba presentando el proyecto con planos 2D. Otra es el intercambio y la conversión de archivos BIM a otros programas que permiten realizar diversos estudios dentro de las distintas etapas del proyecto. Además, el uso cada vez más frecuente de las nubes de datos permite el trabajo en línea y la conexión entre diferentes elementos del proceso constructivo en todo el mundo.

Por lo tanto, BIM se extiende a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto (ver Figura 2-1), no quedándose únicamente en la fase de diseño, como venía siendo habitual hasta ahora en los proyectos clásicos. Esto es un aspecto fundamental y una de sus mayores ventajas. Hoy en día, puede ser necesaria la realización con BIM de un edificio que ya ha sido construido, ya que una infraestructura aún necesita mantenimiento, puede sufrir modificaciones o demoliciones.

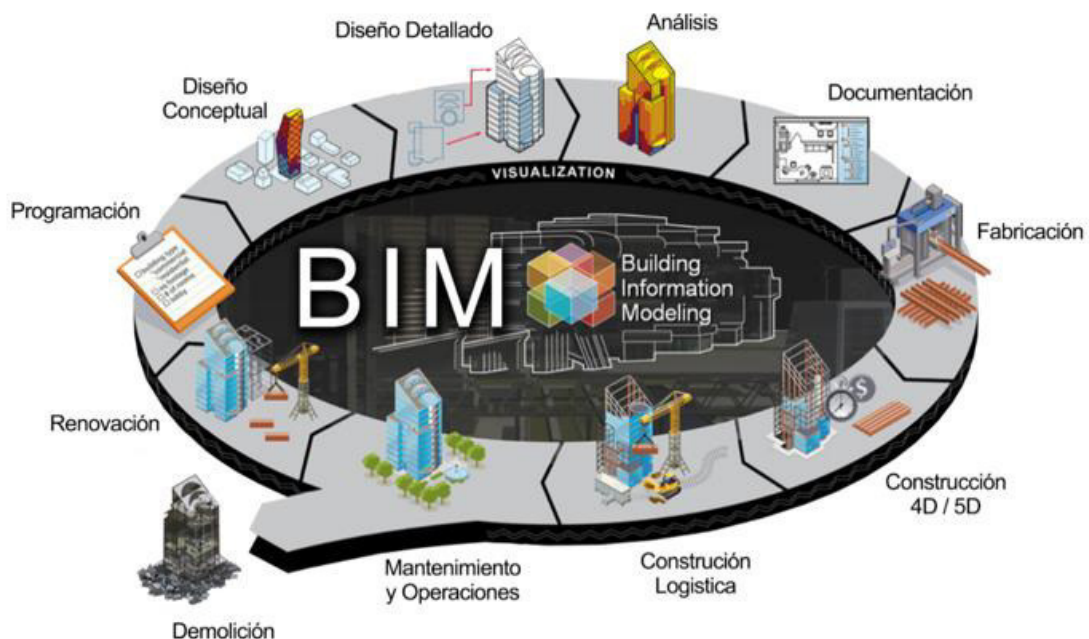


Figura 2-1 Aplicación de BIM todo el ciclo de vida de un proyecto [4]

La información en el modelo aglomera los datos de los técnicos estructurales, de instalaciones eléctricas, de fontanería, económicos, materiales, de administración etc. Es decir, centraliza en una

base de datos sobre el modelo 3D, todas las aportaciones que van realizando los agentes que intervienen en el proceso de edificación.

2.3.1 BIM en España

BIM ya es obligatorio en multitud de países de Europa como Reino Unido, Dinamarca, Finlandia, Suecia y en potencias mundiales como Estados Unidos.

Dentro de la Unión Europea, España es uno de los países en el que todavía no es obligatorio el uso de BIM para procesos de diseño y licitación de proyectos y proyectos de construcción y de edificación financiados con fondos públicos (ver Figura 2-2). En la Directiva Europea sobre contratación pública de la Unión Europea 2014/24/EU [2], se recoge que todos los Estados Miembros de la UE deben fomentar, precisar o imponer el uso de metodología BIM en estos procesos. Teniendo presente esto, el 14 de Julio del 2015 se constituye la Comisión para la implantación de la metodología BIM en España, presidida por la Ministra de Fomento, Ana Pastor. Esta comisión establece una hoja de ruta para la implementación de esta metodología en dos fases: 17 de diciembre de 2018 para Licitaciones Públicas de Edificación, ampliándose al 26 de julio de 2019 para Licitaciones Públicas de Infraestructuras.

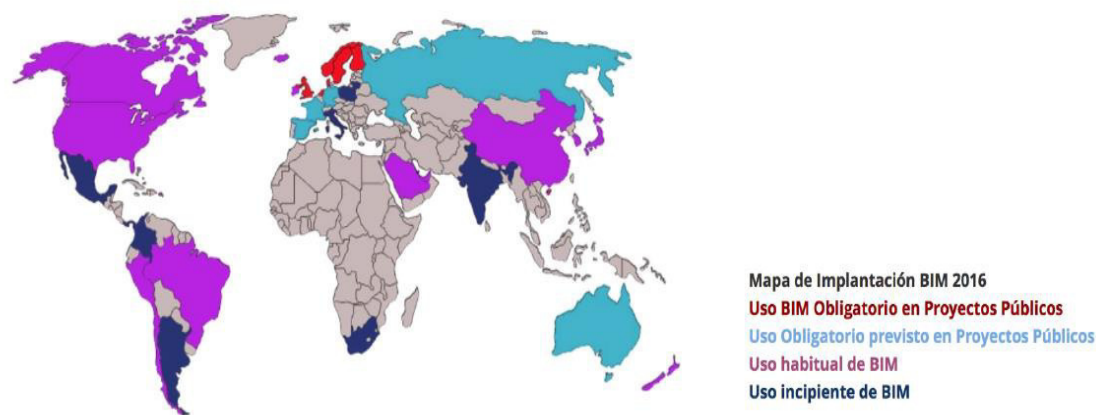


Figura 2-2 Implantación global de BIM [5]

Según un estudio realizado por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) [6], más del 50% de los clientes internacionales de las constructoras exigen o tienen interés en el uso de BIM, especialmente en Asia. Además, se estima que su uso permite ajustar las mediciones de los proyectos en un 37% y reducir el coste total de estos en un 20%.

Más allá de la normativa, es importante la implantación de esta herramienta y la formación a estudiantes, profesionales, profesores para extender su uso y garantizar el futuro de la AEC. Según una encuesta realizada por el Consejo Superior de Colegio de Arquitectos de España (CSCAE) en 2016 [7], la implantación del Sistema es aún baja, ya que tan solo el 14% de las empresas lo usa en la totalidad de sus proyectos. Sin embargo, existe una importante progresión, ya que más de un 50% de los arquitectos prevén realizar cursos en el manejo de la herramienta.

Con todo, se puede decir que en estos últimos años se ha estado impulsando en España el uso de esta metodología colaborativa, cobrando gran importancia en este proceso organismos como el Ministerio de Fomento además de otras empresas en el sector.

2.3.2 Ventajas del BIM

Son muchas las ventajas que está aportando BIM a la industria de AEC. Cabe destacar entre todas ellas las siguientes: la reducción de errores en todas las etapas del proceso, la conexión de diferentes nodos del proyecto, la reducción de coste y tiempo, una mejor concepción de todo el equipo del trabajo a realizar o una mayor exactitud en todos los ámbitos de la construcción.

En primer lugar, la reducción de errores es uno de los mayores beneficios del BIM. La detección temprana de fallos en el diseño permite el ahorro del tiempo empleado en el rediseño. Además, evita en la medida de lo posible la aparición de fallos in situ que no fueron detectados en el diseño del proyecto. Esto supone uno de los mayores ahorros en el proceso constructivo ya que la resolución de problemas durante el proceso constructivo suele ser una tarea muy costosa.

Por otro lado, la facilidad que aporta el trabajo en una nube y con un modelo único, permite evitar el rediseño y las réplicas para las distintas disciplinas del ámbito constructivo. A mayores, herramientas para marcar y revisar el modelo aseguran que todos los integrantes han podido aportar su perspectiva en el proceso de diseño y están listos para comenzar la edificación.

Otra importante ventaja es que, al tener el diseño en una vista virtual, no genera confusiones y malinterpretaciones por parte del equipo de trabajo, sino que se va a realizar tal y como quiera el promotor de acorde con el modelo BIM.

Por último, la exactitud que aporta esta metodología es mucho mayor a la que se obtenía con los planos 2D. No solo en la geometría sino en la posición o en las características de los materiales. Este factor permite disminuir la cantidad de errores y entregar al cliente un trabajo mucho más preciso.

2.3.3 Dimensiones BIM

La relevancia que adquiere BIM viene dada por sus dimensiones. Hasta ahora los sistemas CAD 3D permitían quedarnos en representaciones geométricas de líneas. Con la metodología BIM se puede trabajar en siete dimensiones que van aportando información de interés al trabajo, como se puede ver en la Figura 2-3 de elaboración propia.

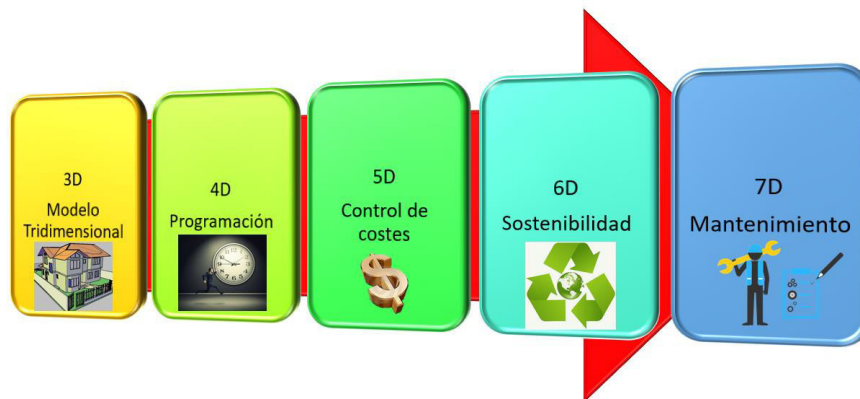


Figura 2-3 Dimensiones BIM

Las dos primeras dimensiones, 1D y 2D, son el trabajo de investigación, la recopilación de datos, el diseño de concepto, el planeamiento y el dibujo en 2D de los planos. Una vez realizadas las dos primeras etapas se comienza con el BIM 3D. Es decir, con la introducción de los datos paramétricos en un modelo colaborativo que será la base de todos los datos introducidos. A partir de aquí, se comienza a trabajar sobre el modelo, añadiendo todo tipo de información. Para dar un mayor realismo a la maqueta virtual se le adjudican diferentes tipos de texturas a los elementos. Por otra parte, se dota a los materiales de las características que poseen para poder realizar diferentes estudios (lumínicos, acústicos, de temperatura, estructurales etc.). La metodología BIM permite ir más allá del 3D. La siguiente dimensión del BIM viene determinada por el tiempo, como se verá más adelante en el apartado 2.3.4.

El siguiente paso es el 5D. La idea de esta dimensión es la de extraer información precisa sobre el coste del proyecto. Se pueden tener en cuenta varios aspectos, como el coste del capital (el coste de la compra e instalación de un componente), el coste de uso o el de la reparación o recambio. Esta información se le puede asociar a cada material, generando una vinculación que permite a los gestores de costes extrapolar las cantidades de un componente a un proyecto, obteniendo el coste del desarrollo

total. La facilidad con la que se puede obtener la información del coste total del proceso, además de la adaptación del modelo a cambios y por lo tanto el cambio de coste total, supone una importante ventaja. Por otra parte, si se tiene la simulación 4D, también se podría conocer el coste que está suponiendo la construcción en un determinado periodo de tiempo. Por consiguiente, se podrían hacer informes financieros con el avance del proyecto, sabiendo si se está cumpliendo con el presupuesto que se determinó. Como en todas estas etapas, la precisión del cálculo del coste dependerá de la exactitud con la que se introduzcan los datos en el modelo colaborativo. Con el 5D se permite la actualización continua del informe de costes, cuándo tradicionalmente, esto se haría reducidas veces a lo largo del transcurso de la construcción.

A lo largo de los últimos años se ha producido un aumento considerable en la preocupación por el desarrollo sostenible. Ha cobrado una gran importancia en el mundo de la construcción. Hoy en día las empresas buscan certificar sus productos para obtener una mejor valoración y proyección de mercado. Certificaciones como Leed están suponiendo una auténtica revolución, y grandes empresas como Zara persiguen estos certificados. Teniendo todo esto en cuenta, la dimensión 6D está relacionada con la sostenibilidad energética de los edificios. Así, se puede conseguir un importante ahorro de energía realizando informes con propuestas de cambio a lo largo del proyecto. El programa entiende los valores que se le introducen como propiedades de los materiales y es capaz de realizar un estudio energético del edificio.

Por último, el 7D trabaja con la gestión del edificio a lo largo de su vida. Se podría decir que se trata del manual de instrucciones para el uso del proyecto. Se pueden introducir datos sobre el uso de los elementos para un resultado óptimo. Por otra parte, se pueden hacer anotaciones sobre el mantenimiento necesario a lo largo del ciclo de vida del edificio. Es decir, le da al proyecto el control logístico y operacional, optimizando procesos importantes en su ciclo de vida como pueden ser las inspecciones, reparaciones o los mantenimientos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se puede afirmar que las dimensiones del BIM tienen por objetivo mejorar el proceso de toma de decisiones y la solución de problemas a lo largo del ciclo de vida de un producto.

2.3.4 Niveles BIM

Es importante diferenciar los niveles BIM de las dimensiones BIM. A diferencia de las dimensiones BIM, los niveles representan el grado de implantación de esta metodología en un proyecto (ver Figura 2-4).

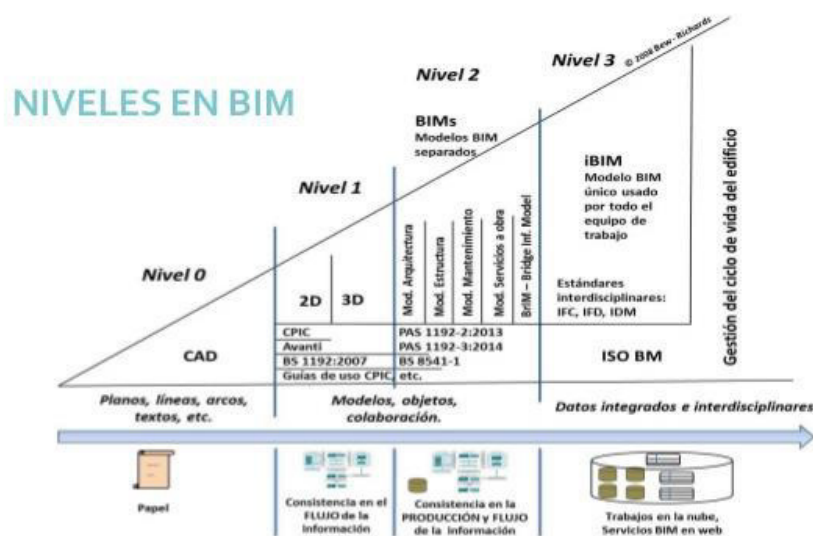


Figura 2-4 Niveles BIM [8]

El nivel 0 del BIM significa que no hay colaboración. Solo se utiliza el dibujo 2D principalmente para dar información sobre la producción. La distribución se realiza fundamentalmente en papel o en formato electrónico. En la actualidad siguen existiendo una cantidad importante de empresas que aún se encuentran en este punto de desarrollo BIM.

Nivel 1 sería el que denominaríamos a la mezcla del diseño en 3D para el trabajo de concepto y modelado, manteniendo la representación 2D para la aprobación de la documentación del proyecto. Sin embargo, no se comparte el modelo entre los diferentes miembros del equipo. Hoy en día este es el nivel más extendido. Más aun cuando para finales de 2019 se prevé una implantación total del sistema y por lo tanto en la actualidad las empresas están modernizando su metodología de trabajo y presentación de proyectos para cumplir con lo estipulado.

El siguiente paso es el trabajo colaborativo. Así se define el nivel 2 del BIM. Todas las partes implicadas utilizan su propio modelo 3D, pero no necesariamente utilizan un modelo compartido. Por lo tanto, esta colaboración se realiza mediante el intercambio de modelos entre unos y otros. Un formato común permite la combinación de la información en cada modelo para realizar tareas de comprobación.

Por último, el nivel 3 es al que se pretende llegar en última instancia. Representa una colaboración total entre todos los agentes involucrados en todo el ciclo de vida de un proyecto. La importancia de este avance radica en el uso de un modelo compartido en el que pueden colaborar simultáneamente todas las figuras que realizan una aportación al modelo. También conocido como el “Open BIM” es la panacea en este entorno. Se han de pulir ciertos detalles, ya que temas como el copyright o la fiabilidad del modelo y que no haya sido manipulado por personas ajenas es un aspecto fundamental para la evolución del BIM.

2.3.5 Tecnologías complementarias

Existe una creciente tendencia a la vinculación de distintas tecnologías a la metodología BIM. A través de estas se pueden obtener modelos virtuales con significado BIM a partir de la importación de los datos recogidos.

2.3.5.1 LiDAR

LiDAR es un acrónimo proveniente del inglés (Light Detection and Ranging) y es una técnica de teledetección óptica que obtiene una muestra densa de la superficie de la tierra (ver Figura 2-5).

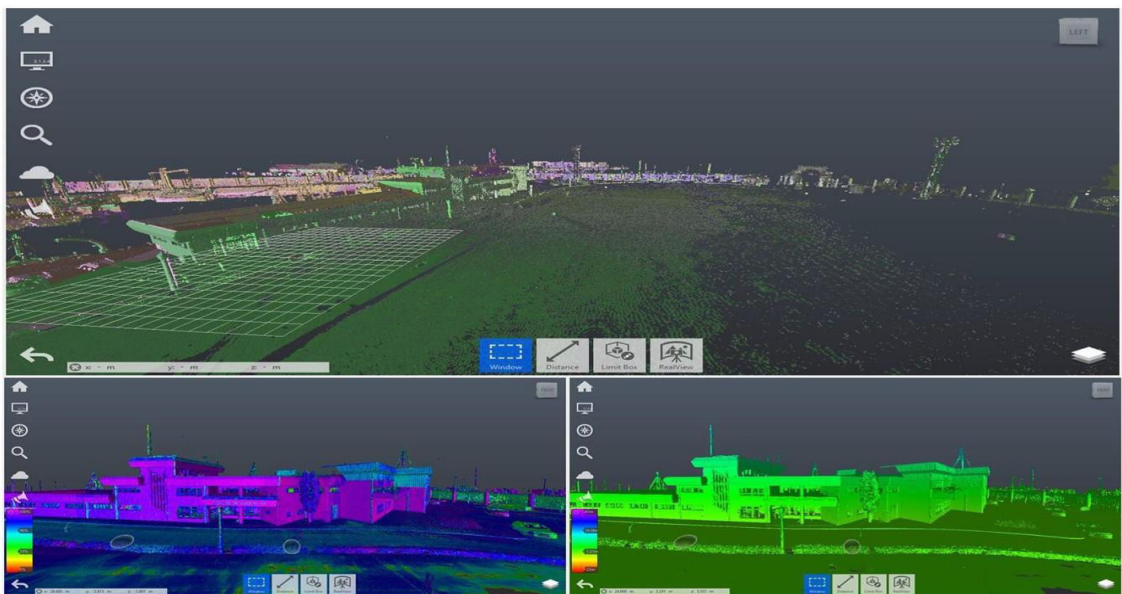


Figura 2-5 Nube de puntos generada por tecnología LiDAR [9]

Es un sensor óptico activo que transmite una serie de pulsos hacia un objetivo utilizando un haz láser pulsado. Midiendo el tiempo de retraso entre la emisión y recepción de la onda generada se obtiene la distancia al objeto. Añadiendo información de localización de Global Positioning System (GPS) y el INS (sistema de navegación por inercia), las distancias se convierten en medidas de puntos tridimensionales reales.

Con esta información, el equipo LiDAR genera una nube de puntos con cierta información en cada uno. Entre ellos cabe destacar el número de devolución, cantidad de devoluciones totales, tiempo del GPS o el ángulo y dirección del escaneo. Esta información vinculada a programas de metodología BIM permite la obtención de modelos de los cuales no se disponían los planos como se puede ver en creación del edificio Príncipe de Asturias en la ENM [9].

2.3.5.2 Radar de Penetración Terrestre

El Radar de Penetración Terrestre o GPR, se utiliza para mapear objetos, estructuras y otros elementos por debajo del nivel del suelo. Para ello, genera una señal electromagnética que penetra a través del suelo. Se pueden establecer diferentes configuraciones de frecuencia. Para suelos poco profundos se utilizan las altas frecuencias. Sin embargo, con profundidades mayores, se utilizarán las bajas frecuencias.

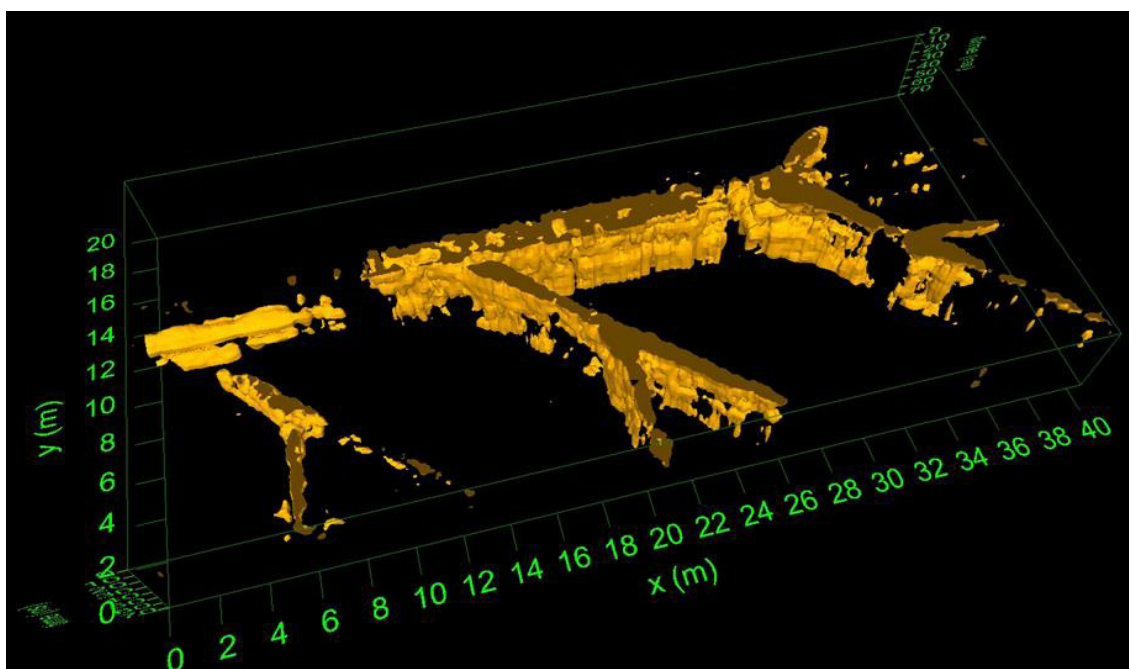


Figura 2-6 Reconstrucción volumétrica de un túnel mediante GPR [10]

El sistema se compone de tres elementos: la unidad de control, la antena y un sistema de grabación. La señal emitida por la antena rebota en la superficie y regresan al receptor de la antena. Dependiendo de la amplitud de la señal y la diferencia de tiempos, se calcula la profundidad del rebote.

Hoy en día este tipo de tecnología permite la obtención de datos de infraestructuras subterráneas (ver Figura 2-6) y se fusiona con los modelos arquitectónicos y topográfico para la obtención de un modelo BIM completo.

2.3.5.3 Termografía infrarroja

La termografía infrarroja es una técnica que permite medir la temperatura superficial, de los cuerpos a través de su radiación infrarroja. Es una técnica no invasiva, es decir, no modifica las características del objeto al realizar su medición. Mediante las cámaras térmicas se obtienen las imágenes termográficas.

En una termografía, cada pixel corresponde a la medida de una temperatura. La imagen se representa con un código de colores, desde los colores más fríos como el azul para representar bajas temperaturas hasta los colores más cálidos como el blanco o el rojo para representar altas temperaturas (ver Figura 2-7).



Figura 2-7 Imagen capturada con cámara termográfica [11]

Mediante la combinación de imágenes infrarrojas y fotografías reales se puede conseguir la nube de puntos que servirá de base para la reconstrucción del modelo en 3D. Generando una maqueta virtual gestionada mediante la metodología BIM.

2.4 Cuarta dimensión (4D)

El 4D añade otra dimensión al proyecto en forma de programación. La información se le añade a los componentes que se construirán en correlación a la programación realizada. Estos datos se pueden utilizar para obtener información y visualización precisa del desarrollo secuencial de la construcción (ver Figura 2-8).

Es importante diferenciar entre la planificación de un proyecto y la programación. Mientras que planificar consiste en definir objetivos, el trabajo a realizar, los recursos disponibles, el plazo y presupuesto, programar es establecer en detalle un calendario de ejecución del proyecto, teniendo en cuenta los plazos en los que se realizan las tareas o la vinculación entre los distintos procesos. Es decir, tiene en cuenta el proceso constructivo día a día y depende de cada elemento.

La programación puede llevar todo tipo de información, como el tiempo que se requiere para construir, el tiempo necesario para que este operativo o la secuencia de instalación. La vinculación de la programación a la representación gráfica facilita la comprensión del desarrollo del proyecto y el conocimiento del estado planeado de la evolución del proyecto en un determinado momento de la construcción. Esta metodología de trabajo es de enorme ayuda cuando se habla de planificación, para asegurar que está secuenciada con seguridad, lógica y de manera eficiente. Ser capaz de programar el tiempo y la manera en la que se van desarrollando los acontecimientos evita el costoso e indeseado

diseño in-situ. Ahora, en vez de crear la programación mientras se desarrolla la propuesta de proyecto, se puede vincular la programación desde el principio y ver si la empresa será capaz de conseguir realizarla en el plazo indicado.

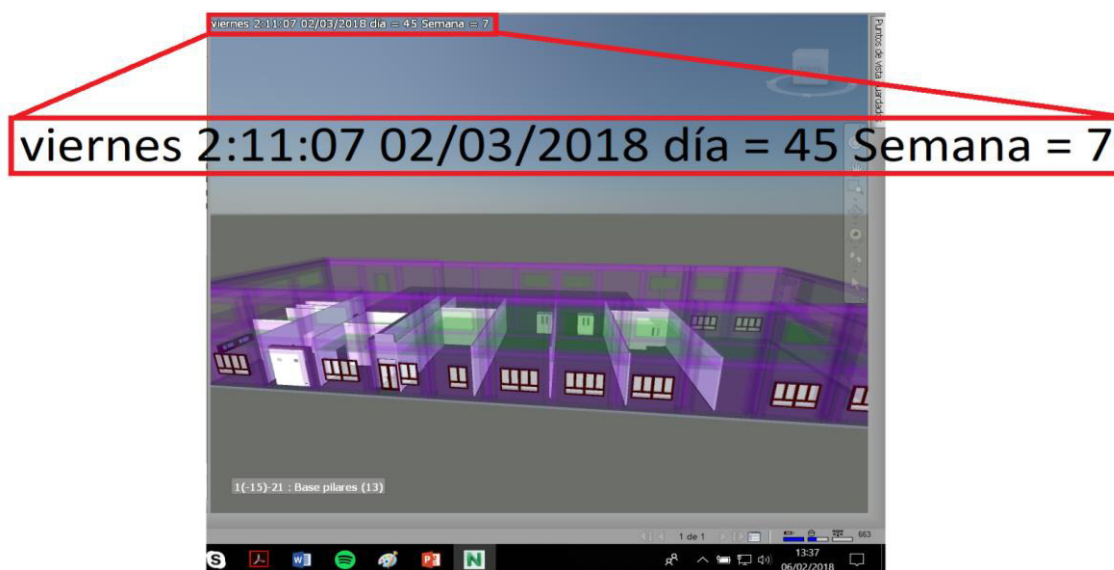


Figura 2-8 Simulación 4D. Relación de tiempo y animación

A mayores, se permite con esta dimensión, la comparación del transcurso de la programación de un proyecto con el desarrollo real, pudiendo observar dónde se producen los retrasos y cuáles son los puntos clave y los puntos sensibles dentro de la programación.

2.5 Software de aplicación

Uno de los pilares del desarrollo de la metodología BIM es el software que permite su implantación. Hoy en día existen diferentes programas que permiten el uso de esta metodología. Sin embargo, se le va a dar una mayor importancia a la Suite de Autodesk por ser la que se ha utilizado para el desarrollo de este trabajo además de ser la más extendida en el mundo de la edificación. Un aspecto muy importante del uso de programas Autodesk es la interacción que permite entre la amplia variedad de programas que dispone en el ámbito de la AEC. De hecho, dispone de una Suite llamada: “Architecture, Engineering and Construction Collection” con más de veinticinco programas distintos que están relacionados con este ámbito. Además, la migración de un programa a otro se realiza con suma facilidad, como se demostrará en el desarrollo de este trabajo.

La variedad de programas que ofrece Autodesk es muy amplia. Disponen de programas destinados para diferentes ámbitos dentro de BIM. Cabe mencionar entre ellos Autodesk Revit, que permite la elaboración del modelo 3D y sirve como base para comenzar a trabajar sobre la maqueta virtual. Otros programas como Autodesk AutoCAD (conocido como AutoCAD) siguen permitiendo el trabajo en 2D, como se venía haciendo hasta ahora en el ámbito de la AEC. Sin embargo, este software sigue siendo de gran utilidad en el uso combinado con otros programas de la Suite. Por otra parte, el programa Autodesk Navisworks Manage (también conocido por Navisworks) permite una programación en 4D del desarrollo del proyecto. Autodesk Insight es un software que permite una mejor gestión medioambiental y energética del proyecto, siendo de gran importancia en el 6D.

Como se puede observar, la cantidad de programas que la marca pone a disposición del cliente y su interacción entre todas las partes hacen que sea una de las Suites más utilizadas para BIM en el mundo ingenieril.

2.5.1 Autodesk Revit

Como ya se ha mencionado anteriormente, Autodesk Revit (también conocido como Revit) (ver Figura 2-9) es un software para BIM. Sus potentes herramientas permiten el uso de modelos inteligentes para planear, diseñar, construir y gestionar edificios e infraestructuras. Permite una metodología multidisciplinar para un diseño colaborativo. Consecuentemente, diferentes miembros del equipo pueden trabajar en el mismo proyecto simultáneamente usando un modelo compartido. Gracias a su trabajo multidisciplinar, cuando los diferentes agentes de la AEC trabajan en una plataforma unificada, el riesgo de errores en el intercambio de información se puede reducir drásticamente. El programa permite la elaboración del modelo 3D a través de las diferentes familias paramétricas. Una vez se tiene dicho modelo se le comienzan a dar propiedades y texturas a los diferentes materiales. Así comienza el modelo colaborativo con información sobre el proyecto. A parte de la infraestructura, permite la realización de todo tipo de instalaciones como la eléctrica, la térmica o la de tuberías entre otras, generándose un modelo completo del edificio.

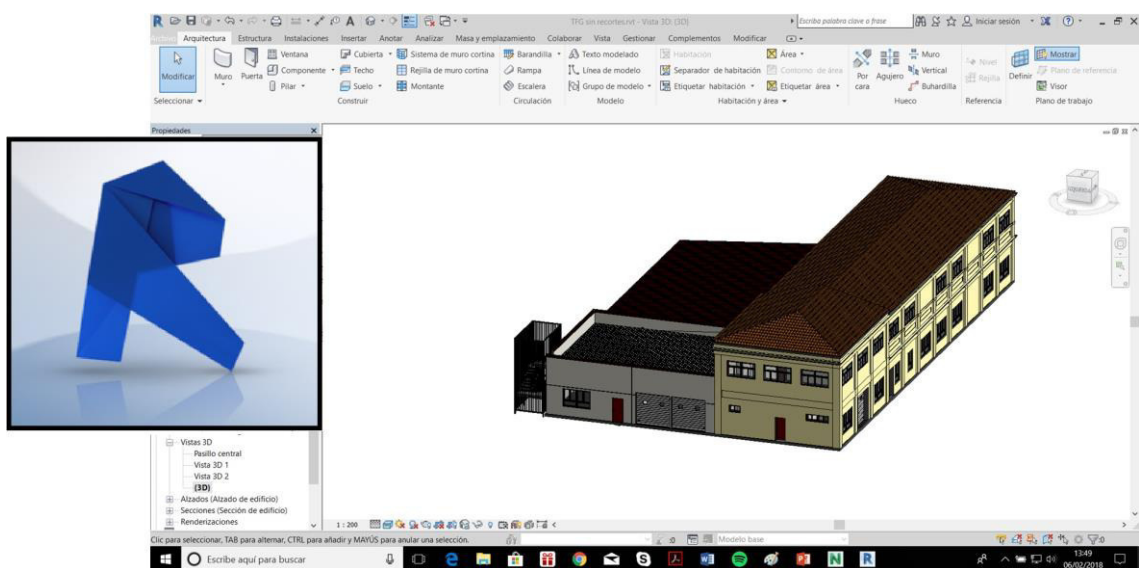


Figura 2-9 Logotipo e interfaz del software Autodesk Revit

A mayores, permite la renderización de imágenes y la realización de recorridos virtuales que dan un mayor realismo al modelo y permiten una mayor comprensión de lo que se requiere para el proceso constructivo.

2.5.2 Autodesk AutoCAD

AutoCAD es un programa ampliamente utilizado hoy en día en el ámbito de la AEC. Es una herramienta de trabajo complementaria en el desarrollo de proyectos BIM. Resulta de gran utilidad para la realización de planos en 2D (ver Figura 2-10) que más adelante pueden servir como base para su diseño en 3D.

Otra importante ventaja es la interoperabilidad con otros programas como por ejemplo pudiese ser Revit. De hecho, para la realización de planos de emplazamiento o situación, esta herramienta resulta de gran utilidad. Además, permite la importación de documentos PDF que el programa lee y asigna capas, consiguiendo un modelo digital del modelo en papel. Por ejemplo, si se tuviese un plano en un PDF se podría importar en AutoCAD y se obtendría el modelo digital de dicho plano. Por consiguiente, es una herramienta que a pesar de lo que pudiese parecer sigue siendo de vital importancia para el apoyo a la metodología BIM. Al ser un software que lleva implementado varios años ha ido sufriendo modificaciones y mejoras que lo hacen uno de los más versátiles de su tipo en el mercado.

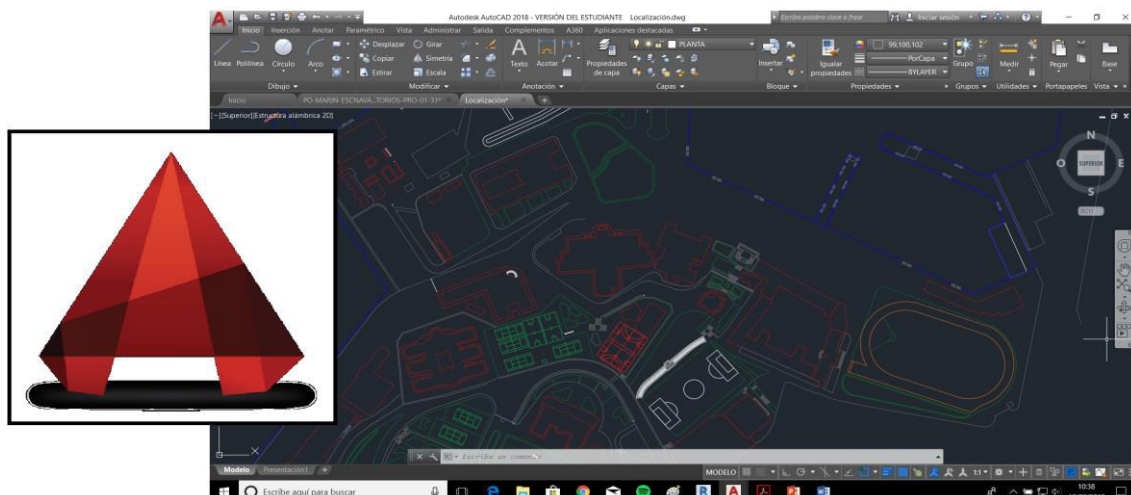


Figura 2-10 Logotipo e interfaz del software Autodesk AutoCAD

Aunque pueda parecer anticuado el trabajo en 2D, es un complemento muy importante para la metodología BIM. A parte de servir de base si fuese necesario para la elaboración de modelos tridimensionales, en la actualidad sigue haciendo falta la elaboración de planos como el de situación o emplazamiento para la localización de la obra y para ello AutoCAD se muestra como un programa sumamente competente.

2.5.3 Microsoft Project

Para la realización de la programación temporal del proyecto se ha utilizado el programa Project (ver Figura 2-11). Es utilizado en procesos BIM como vínculo, aunque no sea un programa específico de esta metodología. Esta herramienta permite la realización de una programación al nivel de detalle que requiera el cliente. Se pueden asignar los tiempos para la ejecución de cada una de las etapas del proyecto.

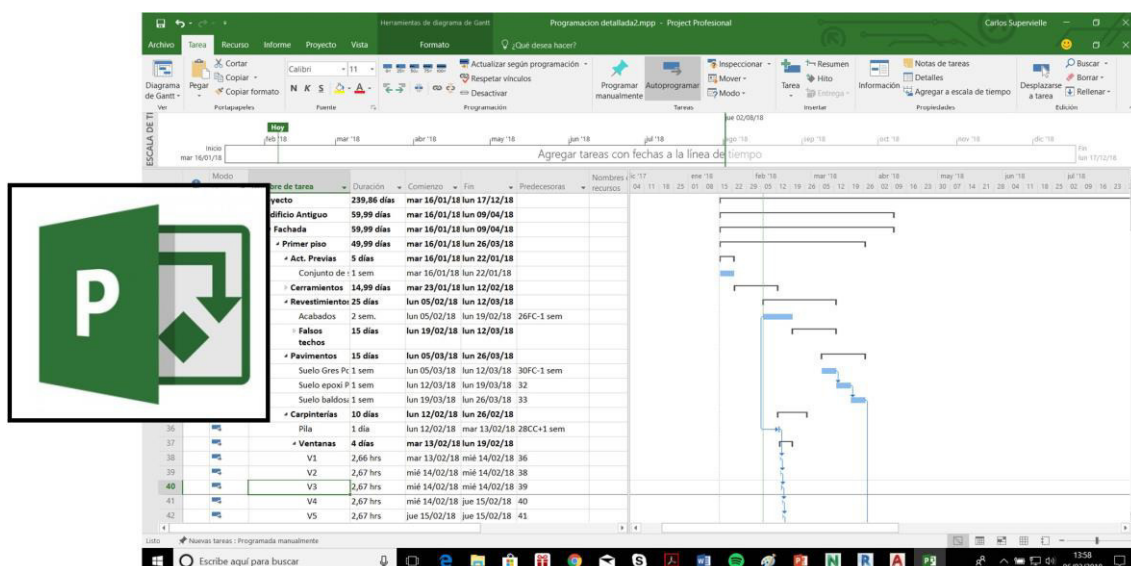


Figura 2-11 Logotipo e interfaz del software Microsoft Project

La facilidad para la vinculación del software Microsoft Project con el Autodesk Navisworks Manage es de vital importancia. En la actualidad, una gran parte de los gestores de proyectos se ayudan de esta herramienta para programar sus trabajos. Por lo tanto, que programas como Navisworks puedan vincular programaciones de Project muestra la importancia que cobra este software para la gestión de proyectos.

2.5.4 Autodesk Navisworks Manage

Si se necesitara un software para la realización de una simulación 4D, uno de los softwares más utilizados hoy en día sería el Autodesk Navisworks Manage (ver Figura 2-12). Una de sus funciones es la de relacionar una programación de un proyecto con el modelo 3D. A cada elemento del modelo se le asigna una animación y un espacio temporal. Con esta relación se visualiza el avance del proyecto a medida que va transcurriendo el tiempo tal y como ha sido programado.

No sólo permite realizar estas tareas; además, permite la creación de recorridos virtuales dándole un mayor realismo incorporando figuras de personas que pueden andar por los edificios. Adicionalmente, se pueden realizar anotaciones en el modelo interactivo que pueden ser visualizadas por los diferentes agentes. Incluso, se puede realizar cambios estructurales que se sincronizan con el modelo importado.

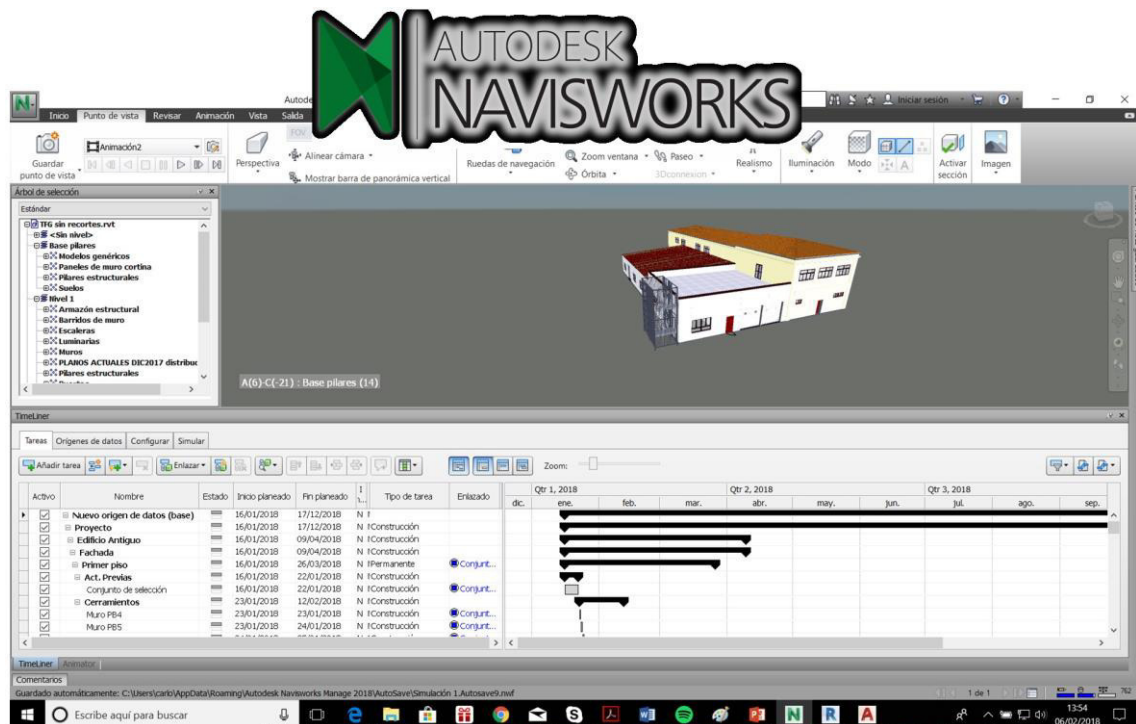


Figura 2-12 Logotipo e interfaz del software Autodesk Navisworks Manage

2.6 Impresión 3D

La impresión 3D es el proceso de crear objetos sólidos tridimensionales desde un archivo digital. Existen diferentes tecnologías para impresión 3D, pero todas basadas en un mismo principio: un modelo digital se convierte en un sólido tridimensional mediante la adición de material capa por capa.

2.6.1 Modo de funcionamiento

Para conseguir la impresión, es necesario trocear el archivo digital en capas que más adelante serán enviadas a la impresora. A partir de aquí, los procesos de impresión varían según la tecnología empleada, desde pequeñas impresoras que funden el material y lo depositan en una plataforma de impresión, hasta grandes máquinas industriales que utilizan el láser para fundir metal en polvo de manera selectiva. La impresión puede tardar horas o días en completarse dependiendo del tamaño y complejidad del objeto. En la mayor parte de los casos, las impresiones son tratadas una vez finalizadas para obtener el acabado deseado.

El material de impresión también hace que la impresora varíe. Hoy en día existe una amplia variedad de materiales disponibles, por ejemplo: plástico, carbono, metal y madera entre otros.

2.6.2 Evolución histórica

Aunque pueda parecer que la impresión 3D es un concepto futurista, lleva existiendo más de 30 años. Chuck Hull inventó el primer proceso de impresión 3D en 1983. En una patente, lo denominó “Estereolitografía” y lo definió como un método y un aparato para crear objetos sólidos mediante la impresión sucesiva de capas de material ultravioleta curado que se situarían uno encima del otro. Sin embargo, la patente sólo se centra en líquidos curables. Pronto se percató que su técnica no estaba limitada únicamente a líquidos. Así, expandió la definición a “cualquier material capaz de solidificar o cambiar su estado físico”. Con esto sentó las bases de la hoy conocida impresión 3D.

Hasta 2009, el uso de impresoras 3D estaba limitado al uso industrial. Al expirar la patente para una de las técnicas más comunes de impresión, la deposición de material fundido, comenzó a tener importancia esta forma de fabricación. Con la llegada de la primera impresora 3D de mesa y el abaratamiento de los costes, se ha conseguido abaratar su coste hasta la centésima parte. Así, el mercado de la impresión 3D despegó a partir del año 2009.

Desde entonces, se han disparado las ventas de impresoras 3D. Se estiman en unos 300000 usuarios de impresoras 3D en el mundo, una cifra que se está duplicando cada año.

2.6.3 Usos y aplicaciones

En la actualidad existen multitud de industrias que hacen uso de esta metodología de fabricación. Cabe destacar entre ellas la creación de maquetas a partir de modelos 3D. A partir de toda la información que aglomera un modelo BIM, se extrae la necesaria para la creación de una maqueta. Una vez realizada, puede tener multitud de usos: decorativo, explicativo o docente entre otros. También está cobrando importancia en la fabricación de piezas a gran escala. Hoy en día se fabrican mediante el uso de impresoras 3D industriales, piezas de elementos de materiales como acero u hormigón.

Además, existen otros usos, como en la industria de la odontología, que es cada vez más común el uso de impresoras 3D para fabricar retenedores y aparatos dentales.

Otro ejemplo se puede encontrar en el mundo de las prótesis. Se está revolucionando las vidas de muchos niños, ya que a medida que crecen, se les van quedando pequeñas las prótesis, y deben cambiarlas. Un proceso extremadamente costoso antes de la llegada de la impresión 3D. Sin embargo, ahora pueden ir adaptando sus prótesis a medida que su cuerpo se va desarrollando.

Existen multitud de ejemplos del uso de la impresión 3D, como en la industria de la aviónica, en la aeroespacial, en la de drones e incluso en zapatos. Además, el crecimiento de la impresión 3D es exponencial, por lo tanto, se espera encontrar en pocos años ejemplos de este tipo de fabricación en objetos del día a día.

2.6.4 Tecnologías de fabricación

Actualmente existen multitud de métodos para la impresión 3D. Con el avance del tiempo, han ido apareciendo nuevos materiales y tecnologías de fabricación. Algunos tan llamativos como la impresión 3D en madera. A continuación, se expondrán algunas de las tecnologías más extendidas de impresión.

2.6.4.1 Modelado por deposición fundida (FDM)

Esta tecnología es la más común en el mundo de las impresoras 3D de escritorio. Se utiliza para prototipados rápidos y de bajo coste.

El proceso comienza con un hilo de material llamado filamento que está enrollado en una bobina (ver imagen izquierda de la Figura 2-13). Este hilo está unido a la boquilla que funde el material que se le introduce. Una vez fundido, se puede extruir el recorrido predeterminado por la impresora. Cuando

ha sido depositado según el trazado de la impresora, el material se enfría y solidifica, proporcionando la capa necesaria para comenzar el siguiente nivel.

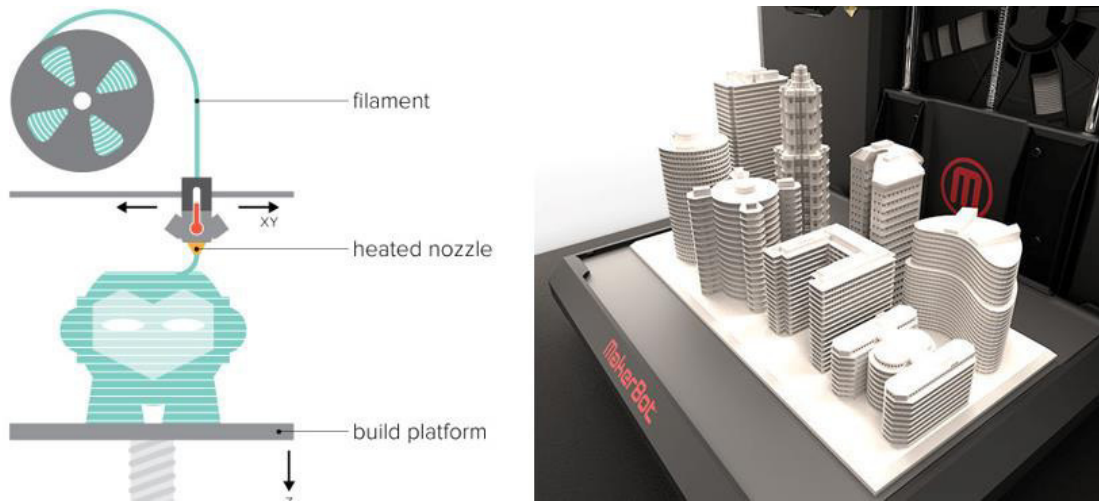


Figura 2-13 Esquema de funcionamiento de FDM (izquierda) [12] y maqueta escalada realizada por FDM (derecha) [13]

Al ser la tecnología más barata, ofrece una amplia variedad de materiales, como ABS, PLA, nylon o materiales más exóticos como carbono, bronce o madera. Además, existe una amplia variedad de colores para la impresión.

2.6.4.2 Estereolitografía (SLA) y Procesado Digital de Luz (DLP)

Ambos procesos crean objetos imprimidos en 3D a partir de una resina líquida (fotopolímero) que cura utilizando una fuente de luz para solidificar el material. Es utilizado para la creación de piezas con alto nivel de detalle, esculturas y joyería. La diferencia entre SLA y DLP es que, el primero utiliza un láser como fuente de luz y el segundo un proyector.

Para el proceso, una plataforma se sumerge en un tanque con resina líquida. Una vez sumergida, un láser o una luz traza el recorrido de cada capa, solidificando el material. Después, la plataforma baja para permitir la solidificación de la siguiente capa. Es aquí cuándo una hoja barre la pieza dejando una nueva capa de resina líquida en la superficie de la cubeta (ver imagen de la izquierda de la Figura 2-14).

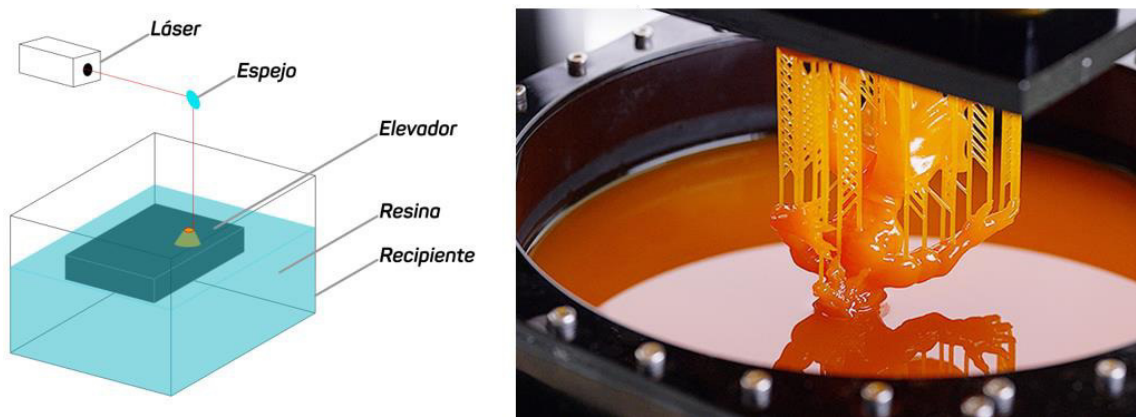


Figura 2-14 Elementos para la fabricación con estereolitografía (izquierda) [14] y modelo en baño de resina (derecha) [15]

Una vez se han completado las capas de material, se sumerge en un baño químico que retira el exceso de resina. Para finalizar, se cura en un horno de luz ultravioleta. Como contraposición, esta metodología es de las más caras de fabricación al ser de las más precisas.

2.6.4.3 Sinterizado Selectivo por Láser (SLS)

Esta tecnología utiliza un láser para fundir y solidificar capas de un material que es depositado en polvo. Estas máquinas tienen dos pistones (ver imagen de la izquierda de la Figura 2-15), cuando comienza la impresión, el láser imprime la primera capa en el polvo. Al terminar, el pistón baja y sube el que contiene el material en polvo. A continuación, un rodillo esparce el polvo encima del objeto. El proceso se repite para generar la maqueta.

La mayor ventaja de esta metodología es la libertad de diseño que permite. El exceso de material sin fundir genera un soporte para la estructura, lo que permite la elaboración de diseños de mayor complejidad. Como contraposición, los objetos acabados necesitan más tiempo para enfriar, causando un mayor tiempo de producción.

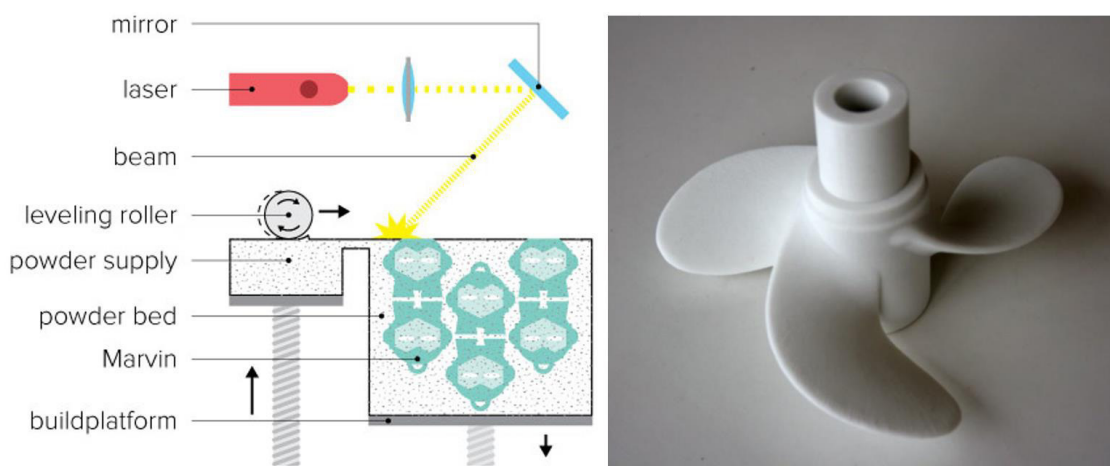


Figura 2-15 Esquema de funcionamiento de SLA (izquierda) [12] y hélice realizada por SLS (derecha) [16]

2.6.4.4 Otras tecnologías

Además de las anteriormente mencionadas, existen multitud de metodologías de impresión. Destacando la Fundido Selectivo por Láser (SLM), con un proceso similar al SLS permite la impresión de grandes objetos metálicos. Sin embargo, requiere mucha más potencia ya que los puntos de fusión del metal son mucho más altos.

Por otra parte, la impresión a color Z-CORP, utiliza un pegamento (composite) para unir y endurecer el polvo de las diferentes áreas. El color es aplicado mediante cuatro agujas que pintan la capa exterior. Es decir, al imprimir una capa, se pasa a la siguiente esparciendo más polvo, pegándolo y coloreando. El modelo obtenido tiene una textura rugosa debido al pegamento y al polvo y es frágil. Además, no permite un gran detalle en el modelo.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Descripción

En este capítulo se explica el proceso de desarrollo para la creación de una maqueta virtual y una simulación 4D del Centro de Investigación del CUD. Para ello se va a detallar cada uno de los pasos seguidos para la consecución de la simulación en tiempo del edificio.



Figura 3-1 Fases de desarrollo del proyecto

3.2 Modelado

En este apartado se detallará el procedimiento seguido para la elaboración del modelo 3D que sirve como precedente para la realización de la simulación temporal.

3.2.1 Mediciones y actualización de información

Como base para la realización del trabajo se ha utilizado la información existente en el proyecto inicial de construcción del edificio, correspondiente al Centro de Investigación del CUD.

Durante el desarrollo del presente trabajo se hará referencia a dos zonas del Centro de Investigación. Por una parte, se diferencia la zona de ampliación del edificio, la cual ha sido construida desde cero y es el módulo prefabricado en la zona oeste del edificio. Por otra, se encuentra el denominado edificio antiguo, el cual ha sufrido una remodelación al completo de su planta baja, manteniendo la fachada. En el primer piso de esta zona únicamente se han remodelado los baños. En la

planta baja, la distribución es tal que parece ser todo el mismo edificio, sin distinguirse entre la zona ampliada y la remodelada. En la Figura 3-2 se pueden apreciar las dos zonas.

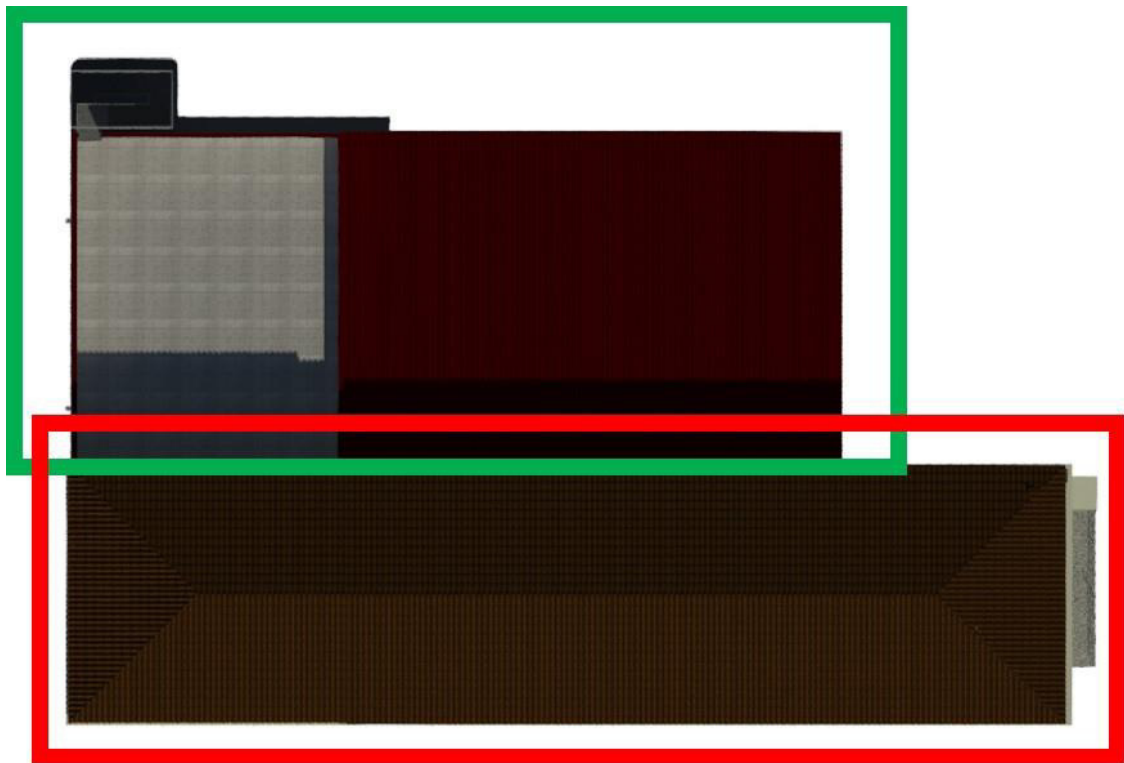


Figura 3-2 Zona ampliada (verde) y remodelada (rojo) del edificio

Tras visitar estas instalaciones se pudo observar que el edificio había sufrido algunas modificaciones con respecto a la información contenida en el proyecto original. Es por esto que se procedió a realizar las mediciones y actualizaciones pertinentes para que el modelo fuese lo más veraz posible. Para poder comenzar con el modelado del proyecto, se comprobaron las medidas del edificio, modificando aquellas que fueran erróneas, e incluso cambiando la disposición de algunas habitaciones que, finalmente, no fueron construidas en concordancia con los planos originales.

Para la realización de las mediciones se utilizaron siguientes equipos:



Figura 3-3 Odómetro Rolatape RT412D [17] (izquierda) y Telémetro BOSCH GLM 100C [18] (derecha)

- Odómetro Rolatape RT412D (ver Figura 3-3): Este aparato se utiliza habitualmente para la medida de distancias en zonas exteriores e interiores de edificios. En este caso, se utilizó para la comprobación del perímetro del edificio y para escalar los planos de emplazamiento y localización que se realizaron.

Su uso es sencillo, sólo hay que encenderlo, seleccionar las unidades en las que se desea realizar la lectura y proceder con la medición como se detalla en el Anexo III. Además, permite el almacenamiento de ciertas lecturas que se hayan tomado previamente. Se pueden apreciar sus características en la Tabla 3-1.

Características	Valores
Unidades de medida	Pies, Pulgadas/ Pies, centenas/ Métrico, cm
Tipo de contador	Digital
Circunferencia	3.4 pies
Diámetro	1 pie
Tipo de mango	Telescópico de 3 secciones
Dimensión recogido	26-1/2''
Dimensión extendido	40''
Peso	3.5 lbs

Tabla 3-1 Características Odómetro Rolatape RT412D [17]

- Telémetro BOSCH GLM 100C: La comprobación de las mediciones internas del edificio se realizó con este instrumento. Posteriormente, con las mediciones realizadas, se procedió a la actualización de los planos del edificio. Tiene una distancia máxima de medición de 100 metros. Algunas de sus características vienen detalladas en la Tabla 3-2, aunque se pueden encontrar todas ellas en el Anexo IV.

Características	Valores
Diodo láser	635 nm, < 1 mW
Margen de medición	0.05 – 100.00
Clase de láser	2
Exactitud de la medición habitual	± 1,5 mm
Alimentación de tensión	1 batería de litio de 3,7 V (1250 mAh)
Desconexión automática	5 mín.
Peso, aprox.	0,14 kg
Unidades de medida	mm/m
Vida útil de las baterías, número de mediciones aprox.	25.000

Tabla 3-2 Características del Telémetro BOSCH GLM 100C [18]

Durante la actualización de los planos se realizaron varias modificaciones a la información original. Una de las más importantes fue la modificación de los planos para la inclusión de los pilares estructurales de la fachada del edificio antiguo, que no habían sido representados en la planimetría original. Como se muestra en la Figura 3-4, todos los pilares que se encuentran en la parte inferior de la pantalla (fachada Este), se representaron en la parte superior (fachada Oeste).

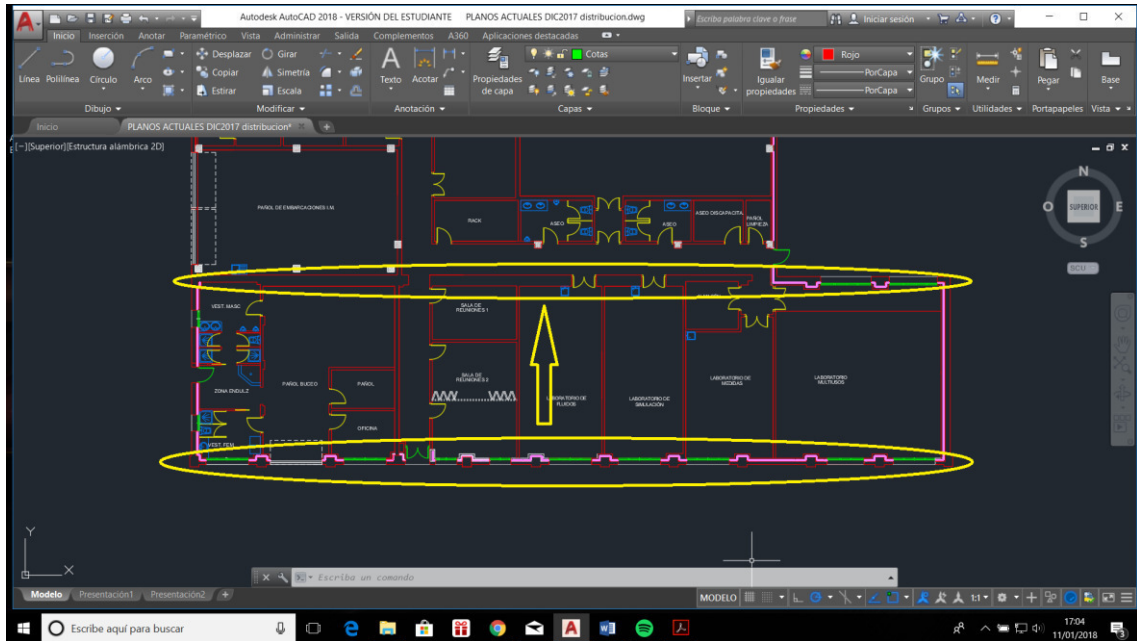


Figura 3-4 Actualización de pilares estructurales

La disposición general de las habitaciones también sufrió importantes cambios. Se introdujo un almacén en el espacio que en un principio estaba destinado en su totalidad al laboratorio de materiales. Almacén que no estaba previsto originalmente, y que por tanto no tenía adjudicada superficie. Con esta modificación, se pasa de tener un laboratorio de medidas de 50.10 m^2 a uno de 41.66 m^2 , siendo los 8.44 m^2 restantes utilizados para el almacén (ver Tabla 3-3). Por otra parte, al realizarse la modificación en el almacén del laboratorio de medidas, el distribuidor que fue originalmente diseñado debió ser actualizado. Pasó de ser un distribuidor de dos puertas, que daban acceso únicamente al laboratorio de medidas y al multiusos, a ser uno de tres, que también da acceso al nuevo almacén.

Situación similar sucedió con la sala de calderas y el pañol colindante. Se redujo el área del pañol, pasando de 8.4 m^2 a 7.84 m^2 , aumentando el área de la sala de calderas en 0.56 m^2 . Además, se introdujo un tabique separador en dicha sala con una puerta que la divide en dos espacios separados. Por otra parte, algunos elementos de carpintería sufrieron modificaciones debido a la ubicación de la escalera de incendios que sufrió una reubicación. En un principio su emplazamiento iba a ser en la esquina suroeste sobre la cara sur, sin embargo, se acabó situando en la cara oeste del edificio (parte superior de la Figura 3-5).

Al final se actualizaron principalmente los planos que fueron a servir de base para el diseño virtual del edificio, como por ejemplo el plano de la Figura 3-5. Estos planos son los que llevan la mayor parte de la información y han de estar perfectamente actualizados, ya que son los que serán importados al programa Autodesk Revit para su realización en 3D. Los planos de planta y los alzados han sido en los que se han realizado las modificaciones oportunas, para que el proyecto sea lo más veraz posible.

Para otro tipo de información como ciertas alturas o la colocación de ciertos elementos no hace falta la modificación de los planos en 2D ya que este tipo de información se introduce como datos paramétricos en el programa de diseño 3D. Es decir, se realiza la actualización sobre el mismo modelo virtual. Teniendo en cuenta que sobre los planos 2D de la planta baja y la primera planta se van a

realizar los levantamientos de todos los elementos del proyecto, es de vital importancia que estén actualizadas al máximo detalle.

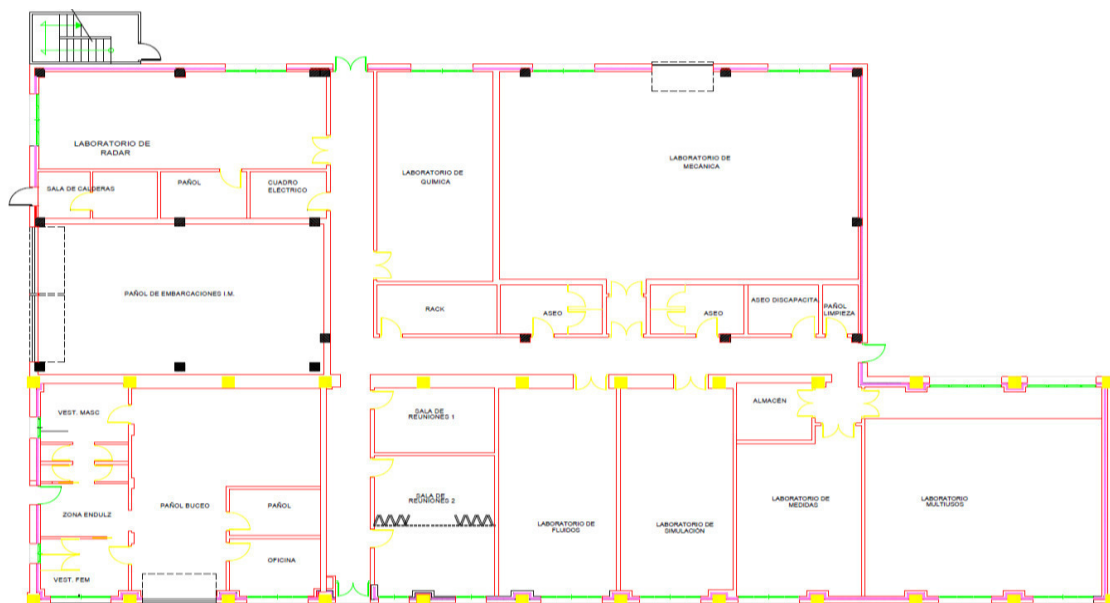


Figura 3-5 Planta baja actualizada

Finalmente, la superficie de las aulas del Centro de Investigación asciende a un total de 916.14 m². Se compone principalmente de ocho laboratorios: radar, química, mecánica, fluidos, simulación, medidas y uno multiusos. Otra de las características del edificio es la construcción de tres salas de reuniones que evitan el desplazamiento al edificio principal del CUD para realizar las oportunas asambleas. Por otra parte, se ha mantenido la localización del pañol de buceo y se ha dotado al edificio de un pañol de embarcaciones para el uso del departamento de Infantería de Marina de la ENM. La distribución por áreas queda tal y como se puede observar en la Tabla 3-3.

Superficies	m ²	Superficies	m ²
Oficina	10.00	Aseos	26.78
Pañol principal	73.52	Pañol limpieza	3.91
Pañol	7.70	Sala reuniones 1	16.91
Pañol embarcaciones	88.42	Sala reuniones 3	16.71
Aseos/vestuarios	28.51	Sala reuniones 2	16.88
Sala calderas	10.91	Laboratorio fluidos	49.58
Cuadro eléctrico	6.49	Laboratorio simulación	47.12
Laboratorio radar	55.65	Laboratorio medidas	41.66
Pañol	7.84	Almacén	8.44
Laboratorio química	50.31	Laboratorio multiusos	102.00
Rack	11.87	Distribuidor	84.04
Laboratorio mecánica	152.87	Total	916.14

Tabla 3-3 Superficies del Centro de Investigación

3.2.1.1 Planos de Situación y emplazamiento

Para situar al proyecto dentro de la Villa de Marín y en la Escuela Naval Militar se realizaron los planos de situación y emplazamiento.

Para ello, lo primero fue diseñar el marco y el cajetín del plano que se iba a utilizar. Utilizando el programa Autodesk AutoCAD 2018 se diseñó el marco de los planos con las medidas correspondientes a un A4. Para poder gestionar el dibujo como un solo elemento se utiliza la opción de generar un bloque. A partir de aquí, se podrá introducir dicho bloque cuántas veces sea necesario en el dibujo. El siguiente paso, es la elaboración del cajetín del plano dibujando las polilíneas necesarias con las dimensiones que desee el usuario. Una vez obtenida la distribución del cajetín se introducen los títulos de cada apartado: “Título del Proyecto”, “Escala”, “Realizado por” o “Revisado por” entre otros. Finalizado el cajetín se vuelve a generar un bloque. Entonces, se combinan los dos bloques creados para crear el bloque definitivo (ver Figura 3-6).



Figura 3-6 Cajetín (imagen de la derecha) y combinación de cajetín y marco (imagen de la izquierda)

En este momento se tiene un diseño para planos de medida A4. Sin embargo, si se desea realizar planos de otras dimensiones, habría que volver a diseñarlos. Para solucionar este problema, se procede a generar estas medidas de forma paramétrica, es decir, si se selecciona unas dimensiones de A3, el plano se ajusta automáticamente.

Para ello, se debe de trabajar en el editor de bloques. En primer lugar, se establecen ambas dimensiones a modificar, es decir, el alto y el ancho. Utilizando la paleta de creación de bloques, dentro de la pestaña “Parámetros”, se escoge el parámetro lineal y se seleccionan las dimensiones a acotar. Finalizado esto, se hace uso del comando “Estiramiento”, dentro de la pestaña “Acciones” de la paleta de creación de bloques. Esta acción estira el plano las dimensiones que más adelante se determinen.

Después, se utilizó la herramienta “Consulta” de las pestañas de “Acciones” y de “Parámetros”, generando una tabla de consulta a la que se le añaden los parámetros necesarios, en este caso el alto y el ancho. Se les dan unas dimensiones y se les asigna un nombre mediante el cual serán seleccionados. En dicha tabla de consulta se establece el alto y el ancho para cada una de las configuraciones (A4, A3, A2 etc.). Para finalizar, tan sólo queda la creación de las etiquetas de atributo. Gracias a estas etiquetas, cada vez que se introduzca el bloque se permitirá introducir los datos asociados a cada parámetro. Algunas de estas son por ejemplo el nombre del realizador o el tipo de documento. Además, algunas de ellas se pueden introducir automáticamente, como la última fecha de revisión (la última vez que se abrió el documento) o la escala a la que está el dibujo.

Para el plano de ubicación, se descargó de la Sede Electrónica del Catastro (SEC [19]), el plano correspondiente a la Villa de Marín (ver Figura 3-7). Se obtuvo en formato DXF, el cual se puede importar directamente sobre el programa Autodesk AutoCAD. Una vez obtenido el plano se pueden seleccionar las capas que se quieren visualizar ya que el archivo trae información que muchas veces no es necesaria para la representación de la ubicación.

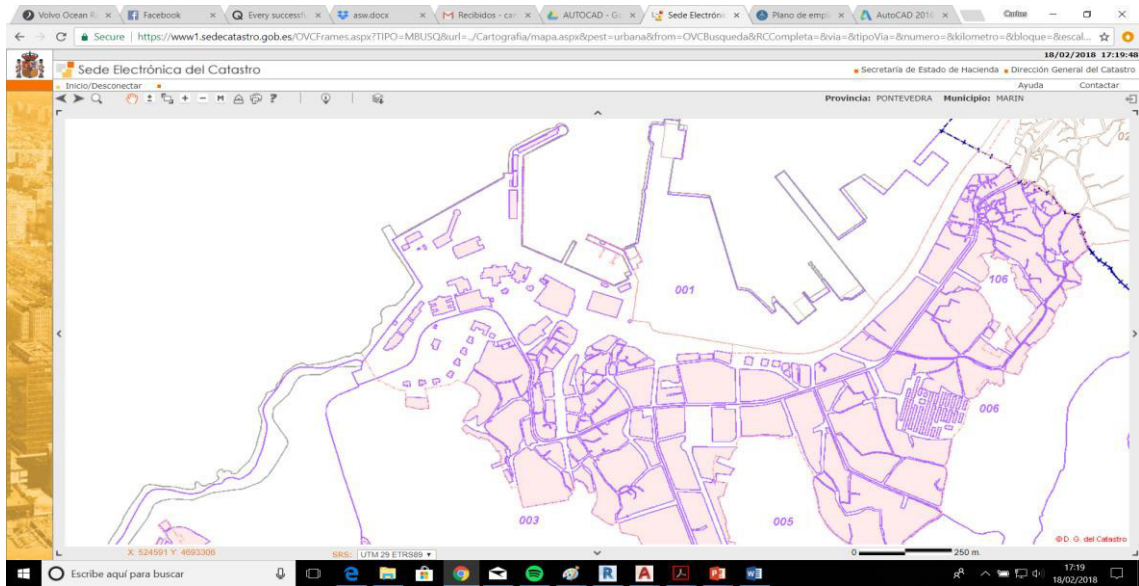


Figura 3-7 Sede Electrónica del Catastro

En este programa, existen dos interfaces distintas, la interfaz modelo y la interfaz papel. La primera sirve para realizar los planos se desean. La segunda, para la visualización e impresión de todos los documentos que se quisieran sacar del programa. Para la realización de los planos sobre la interfaz papel, se insertó el bloque del marco del plano. Luego, se crearon las denominadas ventanas gráficas, en las cuales se pueden visualizar dibujos de la interfaz modelo. Escalando a 1:20000 (escala de un plano de ubicación), colocando una imagen de Galicia para situar la Villa de Marín y ayudado de una imagen geográfica a vista de pájaro del edificio, se obtiene el plano de ubicación.

Para el plano de emplazamiento, el procedimiento seguido es distinto al anterior. En este caso, se obtiene una imagen geográfica de la Escuela Naval Militar. Posteriormente se importó en AutoCAD para tener una imagen sobre la que se pueden realizar dibujos, mediciones y anotaciones. Con la ayuda de la herramienta “Polilínea”, se trazan todos los perímetros de los edificios y zonas características de la ENM como se puede ver en la Figura 3-8. Una vez terminado con el trazado se les dan colores a las líneas para representar las zonas verdes, el asfalto o los edificios.

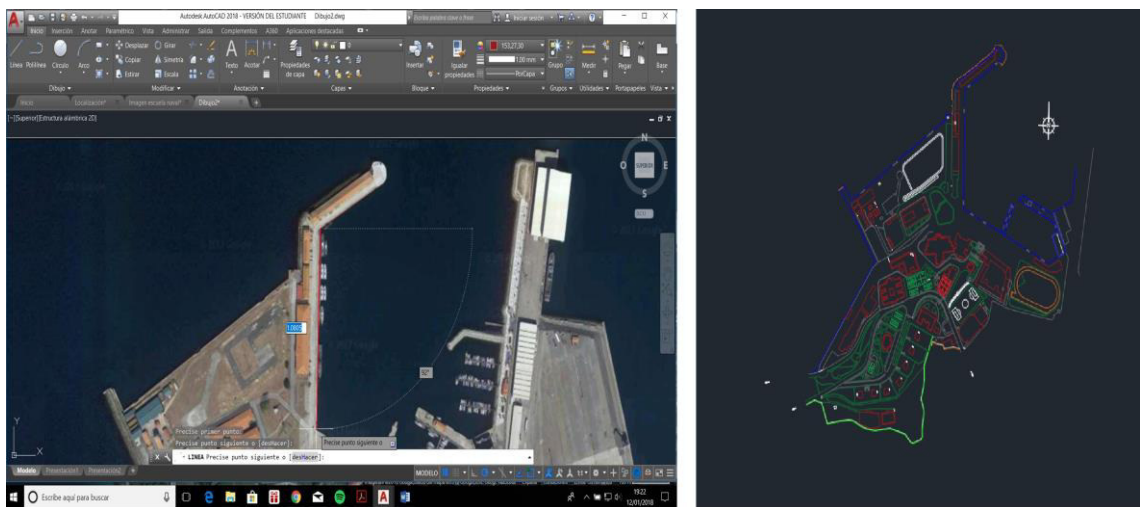


Figura 3-8 Elaboración del plano de emplazamiento

Una vez realizado el plano en la interfaz del modelo, se procede de igual forma que con el plano de ubicación. En la interfaz papel, se crean las ventanas gráficas para representar el plano que se ha creado. A la derecha, se realiza con otra ventana gráfica un zoom sobre el edificio a emplazar, el

Centro de Investigación. Debajo de la cual, se muestra una imagen satélite del edificio dentro de la ENM.

3.2.2 Geometría constructiva

Para la realización de esta etapa, como ya se mencionó anteriormente, se ha utilizado el programa Autodesk Revit en su versión 2018.

3.2.2.1 Interfaz Autodesk Revit 2018

En la parte superior de la interfaz de Autodesk Revit se pueden encontrar los diferentes comandos para la realización de todas las operaciones que permite el programa (ver zona “A” de la Figura 3-9). Navegando por las diferentes ventanas, como puede ser la de arquitectura, o la de estructura, se van encontrando los diferentes botones que ejecutan las acciones, como la creación de muros, ventanas u otros componentes. En la parte izquierda de la pantalla suelen estar situados dos paneles: el primero es el panel de propiedades que permite verlas y modificarlas para el elemento que se haya seleccionado (zona “B” de la Figura 3-9), el segundo es el navegador de proyectos (zona “C” de la Figura 3-9), en el cual se puede seleccionar diferentes vistas del proyecto, como por ejemplo la vista 3D, la vista de los planos de techo o la vista de planta. Por último, en el centro de la pantalla se tiene la ventana de visualización (zona “D” de la Figura 3-9). Es habitual trabajar con más de una ventana desplegada a la vez para poder observar los cambios que se realicen en ambas (ver Figura 3-9). Por ejemplo, levantar un muro en el plano de planta y observar cómo se coloca correctamente en el modelo 3D.

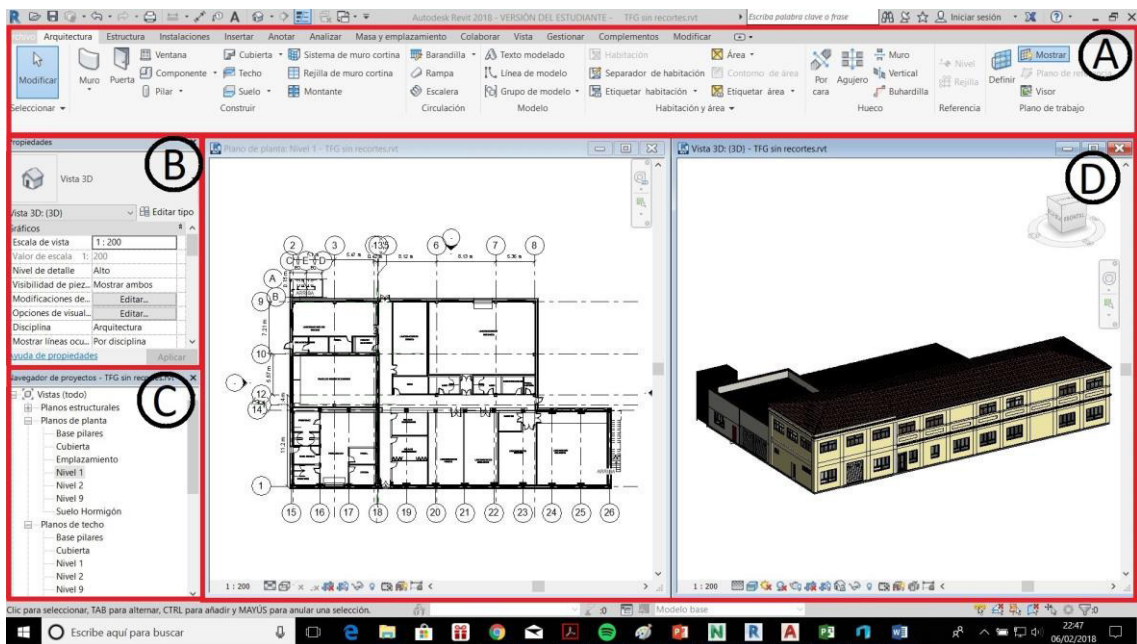


Figura 3-9 Distribución de la interfaz de Revit

El programa utiliza las llamadas familias de elementos para trabajar en las distintas áreas. Es decir, para cargar por ejemplo un pilar, el programa tiene guardada una serie de familias de pilares con ciertas características. Lo mismo ocurre con ventanas, puertas o cualquier elemento que se desee añadir. La biblioteca es lo suficiente grande para crear un edificio no específico con todas las familias que Revit aporta. No obstante, para hallar elementos específicos se puede hacer uso de la creciente base de datos que existe en internet de este tipo de archivos. Gracias al auge de la metodología BIM, hoy en día existen una gran cantidad de familias que están a disposición de los usuarios en la web. Además, diferentes empresas ya comienzan a ofrecer la descarga de sus productos en formato RFA (Revit Family) para que sean introducidos en los modelos y poder hacer propaganda de ellos.

A mayores, Revit permite la elaboración de familias por parte del diseñador. Posibilitando la creación de elementos que no se encuentren ni en las librerías del programa ni en la web. Por ejemplo,

para el caso concreto del presente trabajo, entre otros, se realizaron las correas tipo Rodiña con la generación de una nueva familia de correas, como se verá más adelante en el apartado 3.2.2.8.

3.2.2.2 Importación y niveles de referencia

Como ya se ha mencionado, una de las mayores ventajas del uso de programas Autodesk es extrapolar el trabajo de un software a otro con suma facilidad. Esto resulta de gran aplicación ya que, para el caso de estudio, se importaron planos 2D desde AutoCAD a Revit aparte de otras vinculaciones que se hicieron a lo largo del proyecto.

Dependiendo de cómo se desee que sea la vinculación de los planos, existen dos formas de importar planos, “Importar CAD (Computer-Aided Design)” o “Vincular CAD”. La primera sirve para tener el plano en Autodesk Revit y poder modificarlo en el programa. La segunda, vincula el archivo DWG de AutoCAD, por lo tanto, cualquier modificación que se realice sobre el archivo original se verá reflejada en Revit. En ambas formas de vinculación se han de establecer ciertos parámetros como las unidades de importación, los colores, las capas o los niveles que se desean importar, como bien se puede observar en la Figura 3-10.

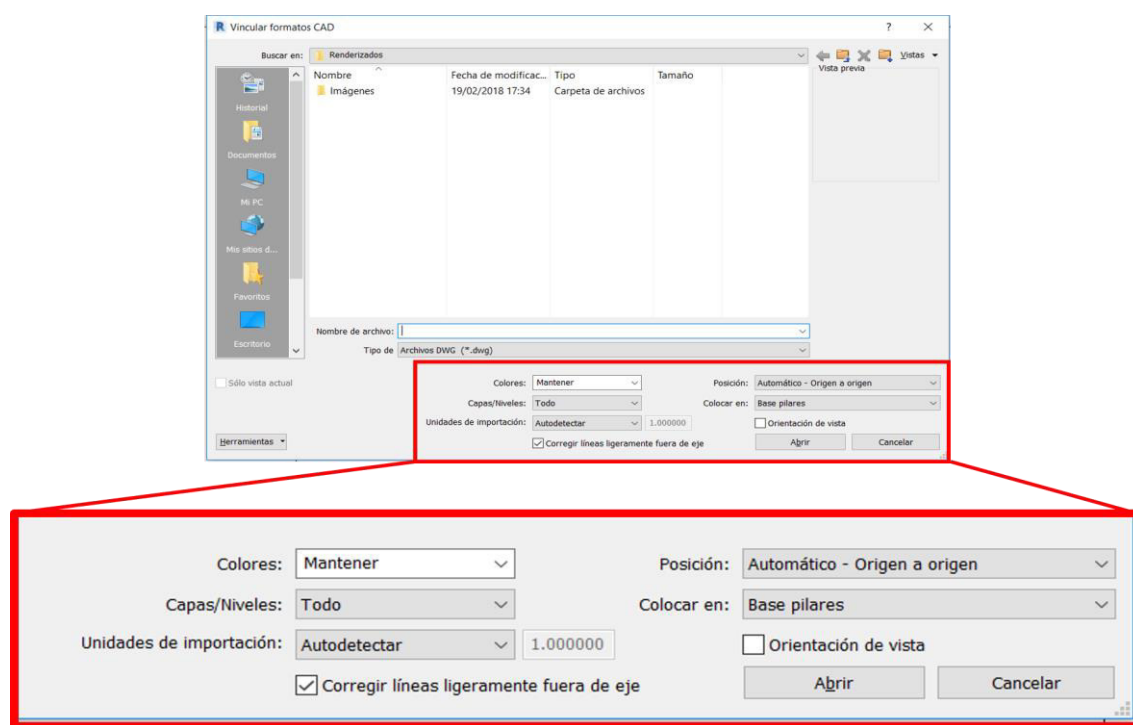


Figura 3-10 Vinculación de Autodesk AutoCAD a Autodesk Revit

En este caso, se optó por la opción de vincular los planos ya que la modificación de planos se suele realizar de una manera más dinámica en el programa Autodesk AutoCAD. Al ser una vinculación, cualquier cambio que se realice en los planos de AutoCAD, con el simple hecho de realizar una actualización, automáticamente aparecen los nuevos cambios introducidos en el programa de Revit. Por lo tanto, es una forma muy dinámica de trabajo que permite una mayor comodidad a la hora de cambiar y modificar los planos.

Este proceso se realiza con la planta baja y con la primera planta, que servirán de base para la colocación de los elementos que compondrán el modelo 3D.

Antes de la importación, se deben crear distintos niveles de referencia que serán clave para referenciar todos los elementos que son generados. Sin embargo, los que delimitan la planta baja, la primera planta y la cubierta son los fundamentales. Para crearlos, desde una vista de alzado se selecciona el botón que muestra los niveles y la altura a la que se deben de disponer. Una vez realizado

este proceso como se puede ver en la Figura 3-11, ya pueden generarse objetos vinculados a estas alturas. Por lo tanto, ya se puede realizar la vinculación de los planos 2D y referenciarlos al nivel que se determine.

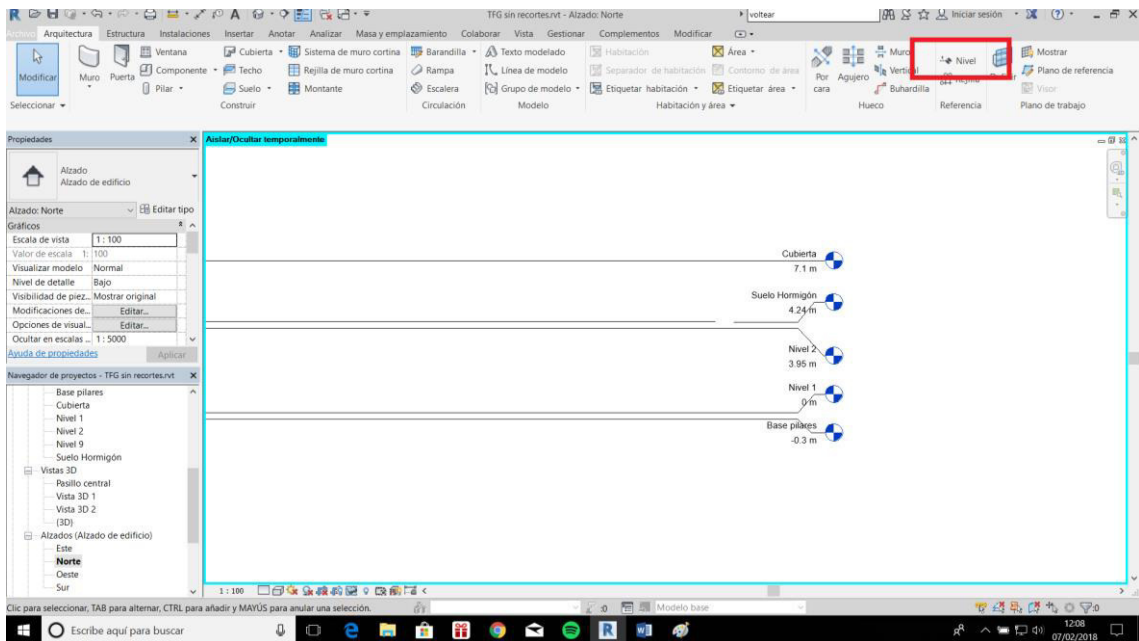


Figura 3-11 Niveles de referencia

3.2.2.3 Geolocalización

El programa permite la geolocalización y la orientación del modelo introduciendo más información en el modelo BIM. Con esta información se puede conocer al detalle el movimiento del sol y las sombras generadas en cada momento del día. Para su introducción, se selecciona la opción “Ubicación” del submenú “Gestionar”. En la ventana que aparece, eligiendo la opción “Servicio de información geográfico por internet”, se puede seleccionar la ubicación del edificio en un mapa. Posteriormente, se elige el clima en la zona (ver Figura 3-12), pudiendo escoger el de la estación meteorológica más cercana.

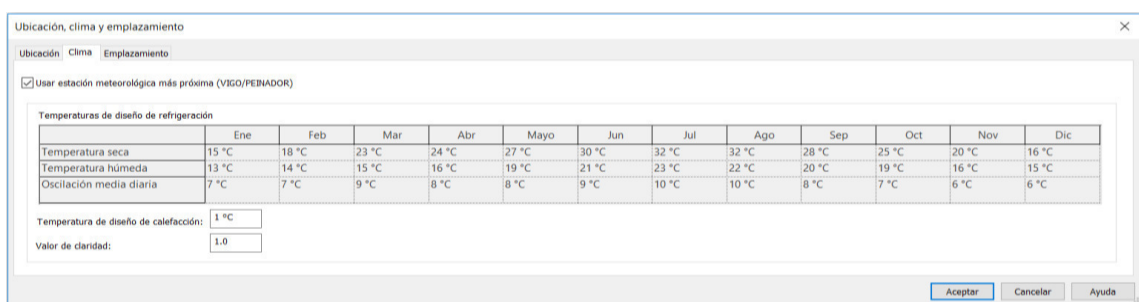


Figura 3-12 Selección del clima en la localización del edificio

En el modelo virtual del Centro de Investigación, hubo que realizar una rotación del norte real. Existen dos orientaciones en el programa: el norte real y el norte del proyecto. El norte real determina el camino de luz, es decir la posición y orientación de los rayos de sol. El norte del proyecto determina la parte del edificio que se visualizará en la parte superior de la pantalla.

La rotación del norte real comienza con la selección de “Camino de sol activado” para visualizar la trayectoria del sol sobre el modelo (paso “1” de la Figura 3-13). Después, se ha de seleccionar una vista en planta del emplazamiento (paso “2” de la Figura 3-13). En las propiedades, se elige la opción

“norte real” dentro de la pestaña “Orientación” (paso “3” de la Figura 3-13). Por último, se debe rotar el edificio para hacer coincidir la fachada norte con el norte real del proyecto.

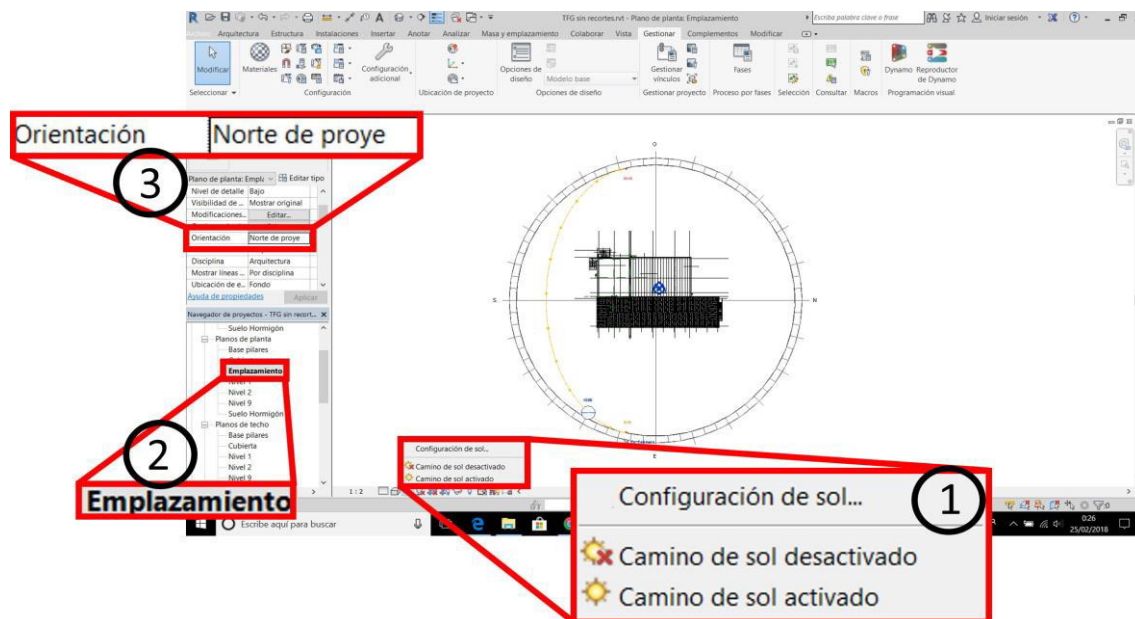


Figura 3-13 Proceso de rotación del norte real

Finalizado el proceso, se puede configurar el sol determinando el día y la hora. Automáticamente, el programa lo sitúa a la declinación, altura y ángulo determinados generando sobre el edificio el efecto que crearía el solo en ese momento.

3.2.2.4 Pilares, vigas y armazón estructural

Una vez se tienen los planos vinculados, se comienza por insertar una rejilla de trabajo (ver Figura 3-14). Su principal función es la de servir de referencia y poder vincularle objetos. Es decir, a una rejilla se le podría asignar una fila de pilares que estuviesen alineados. Al estar bloqueados en la rejilla, el desplazarla, movería todos los elementos le hayan sido bloqueados. Así, se genera una serie de rejillas para todos los pilares que tiene el modelo. Al establecer una distancia entre rejillas, automáticamente todos los elementos ligados a ellas se sitúan a esa distancia. Es una herramienta muy útil que facilita el trabajo y la organización del modelo.

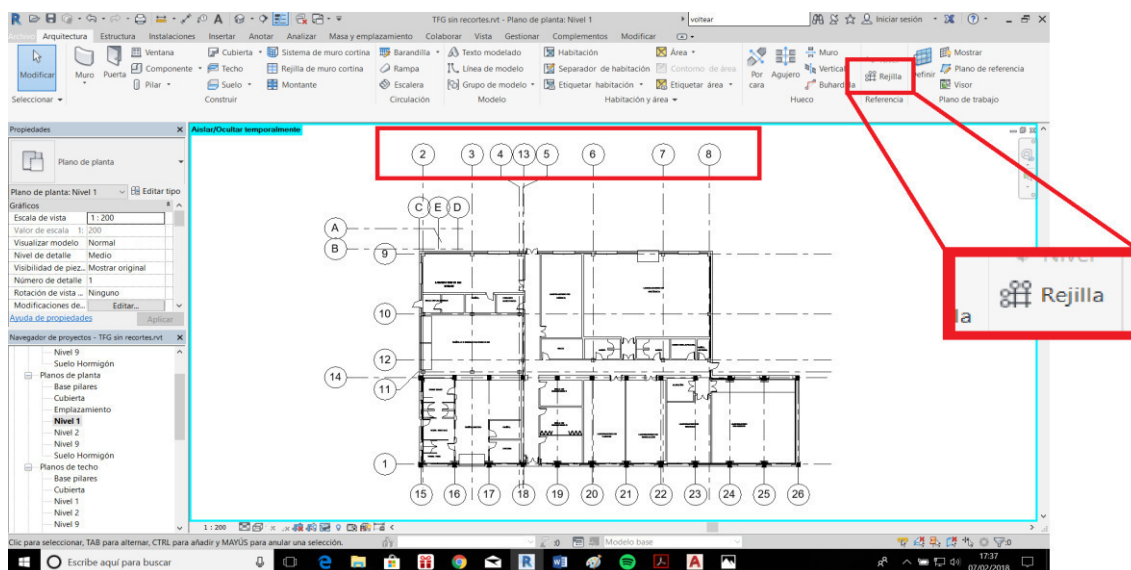


Figura 3-14 Rejillas de referencia

Para la inserción de pilares existen dos opciones: pilares estructurales o pilares arquitectónicos. Por una parte, los pilares estructurales prevalecerían en caso de superposición con otros elementos debido a la jerarquía del programa. Además, este tipo de elementos se tendrán en cuenta para los cálculos estructurales. Por su parte, los pilares arquitectónicos sirven como embellecimiento, no soportan estructuras y no se tienen en cuenta para los cálculos de la estructura.

Así, para el edificio a realizar, los pilares serán estructurales y se seleccionan dentro de la pestaña de “Arquitectura”. A continuación, se debe cargar la familia de pilares de hormigón prefabricado de 35MPa, como establecen los planos de origen. Una vez cargada la familia, se duplica el pilar de serie para darle las dimensiones de base y anchura deseadas y generar el tipo específico de pilar para nuestro proyecto. Obtenido el tipo, en la vista de la planta baja se van introduciendo los pilares en el lugar que determina los planos vinculándolos a las diferentes rejillas para poder desplazarlos en conjunto y acotar la distancia de separación de estos. Se puede observar la evolución de este proceso en la Figura 3-15.

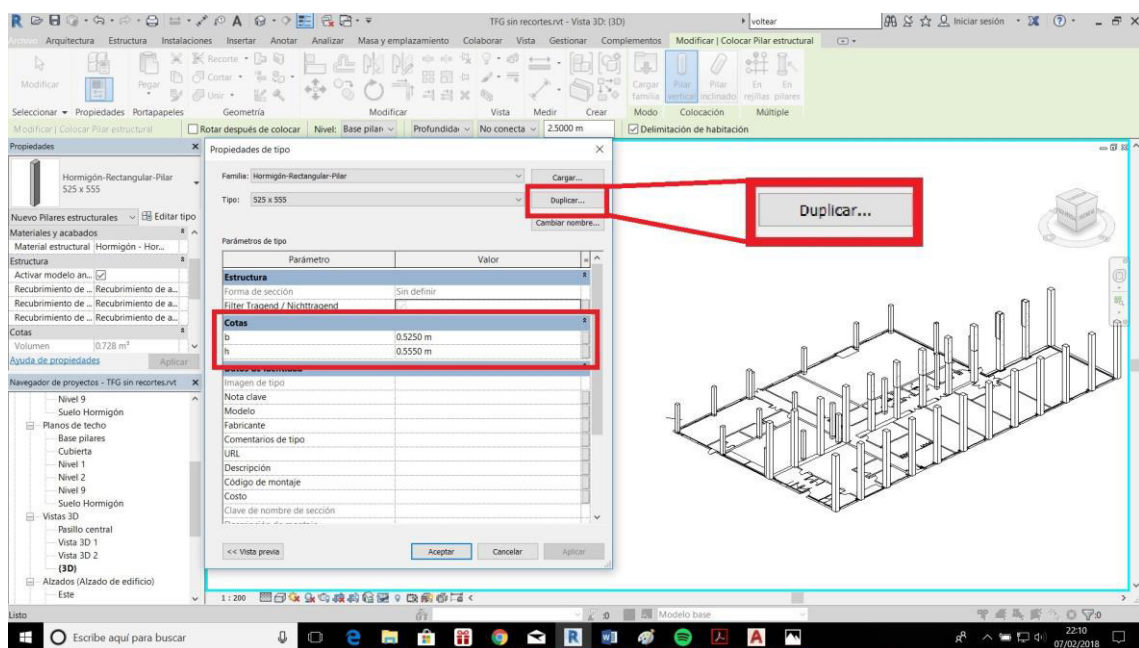


Figura 3-15 Inserción de pilares en el modelo

El siguiente paso en el proceso será la armadura de los pilares que sean de hormigón armado. Para ello, se establece un recubrimiento para la armadura, es decir, la distancia del borde a la que se encontrará la armadura. Posteriormente, se selecciona la opción de “Armadura” dentro de las modificaciones del pilar, y se establecen las distintas configuraciones de armadura dependiendo de la ubicación del pilar. Como norma general suelen tener cuatro armaduras longitudinales de 20 mm de diámetro y estribos de 8 mm de diámetro con una separación de 20 cm entre cada estribo (ver Figura 3-16). El programa ofrece diferentes tipos de armaduras, por ejemplo, armaduras rectas que se utilizarán en el caso de los refuerzos longitudinales o armaduras en forma de cuadrado finalizadas en gancho hacia el interior que se utilizarán para el refuerzo transversal. A mayores, en Revit se pueden crear nuevas formas de armaduras, aunque no suele ser habitual ya que las más comunes se encuentran ya en la biblioteca.

El proceso seguido para la creación de las vigas es eminentemente el mismo que el de los pilares. Es decir, se carga la familia de hormigón prefabricado y se especifican las dimensiones para la viga deseada. En este caso, se referencia las vigas a la primera planta y se desfasa la altura que viene determinada en el proyecto. Asimismo, es necesario referenciar cada extremo de las vigas de la cubierta tipo sándwich ya que, al ser inclinadas, la altura de cada extremo varía.

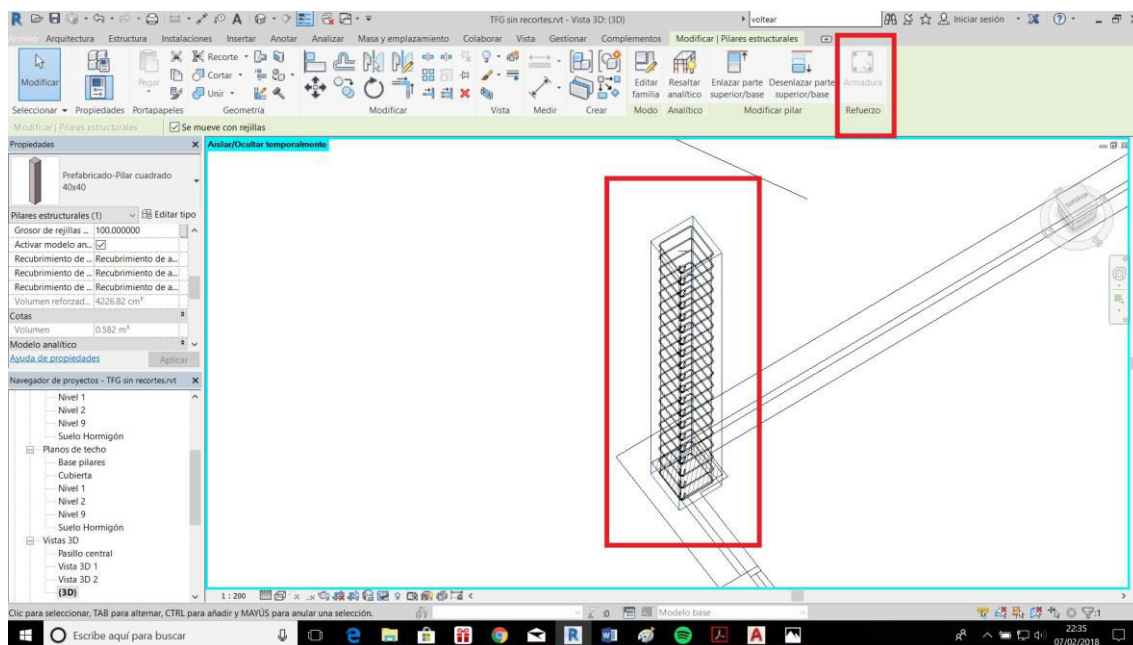


Figura 3-16 Armadura de pilares

En ese momento se halló uno de los errores en el diseño que se solucionó sobre el modelo virtual. Al colocar las vigas, se observó que la viga del extremo norte no apoyaba sobre el pilar intermedio. Después de estudiar las diferentes opciones y buscar información al respecto, se decidió aumentar la altura del pilar intermedio para que sea tangente a la viga que apoya sobre él. Como se puede observar, una de las ventajas mencionadas en el apartado 2.3.2, fue la corrección de errores antes de comenzar con la construcción del proyecto. Este es un claro ejemplo de cómo esta metodología puede ayudar en este aspecto, mejorando en su conjunto el sistema.

Una vez colocadas todas las vigas, se procede a su armadura, siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó para los pilares.

3.2.2.5 Muros y cerramientos

Para los muros, se puede elegir entre los estructurales o los arquitectónicos. Los primeros para aquellos muros que se tendrán en cuenta para el cálculo estructural y los segundos para el embellecimiento. A mayores, existen otros dos tipos de muro, el muro de telar y el muro de barrido, que serán tratados en el apartado 3.2.2.11

Teniendo en cuenta el tipo de muro, se escogerán para el edificio los estructurales. Dentro de estos, existe otra división en el tipo de muros. Por una parte, están los muros básicos, generados mediante capas de distinto espesor que le dan las características al muro. Por otra, están los muros apilados, más complejos, que permiten apilar distintos muros básicos con diferentes espesores, variando el espesor total del muro dependiendo de la altura. Ambos de aplicación directa en el proyecto, pero la mayor parte de los cerramientos del edificio se realizaron con los muros básicos. Sin embargo, el cerramiento en la zona de la terraza tiene diferente composición a diferentes alturas, ya que el muro que levanta alrededor de la terraza es únicamente hormigón mientras que desde el suelo hasta el nivel de la primera planta se tiene todas las capas del muro. Por consiguiente, hubo que utilizar la configuración de muro apilado.

Para dotar de los espesores y materiales necesarios, se estudió la configuración de los cerramientos que vienen determinada en los planos como se puede ver en la Figura 3-17 de elaboración propia. De ella se puede extraer toda la información necesaria para la elaboración de los cerramientos.

TIPOS DE CERRAMIENTO
Escala 1/20

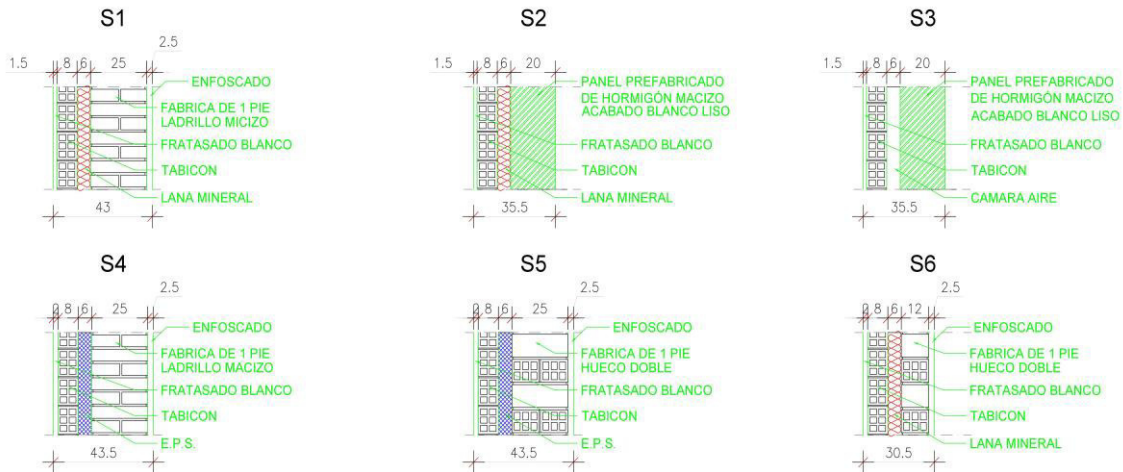


Figura 3-17 Tipos de cerramiento

Con el objetivo de facilitar el trabajo, se realizó una búsqueda de cerramientos que tuviesen un parecido a los que se buscaban. Como ya se mencionó, muchas empresas están poniendo a disposición de los usuarios material en formato de Revit y otros programas BIM para dar una mayor proyección a la empresa. En este caso, se realizó la descarga (desde la siguiente página web [20]) de un cerramiento con unas características parecidas al que se busca.

A continuación, se introdujo la familia en el modelo y a partir de este, se duplicó y se le dieron las características específicas. Así se realizaron cada uno de los distintos cerramientos. Los materiales utilizados en el diseño de los cerramientos son los mismos configurados con diferentes espesores y de diferentes maneras. Para los cerramientos exteriores se utilizaron los siguientes: fábrica de un pie de ladrillo macizo, panel prefabricado de hormigón macizo o fábrica de ladrillo de hueco doble de medio o de un pie. Exceptuando los cerramientos con hormigón prefabricado, en los demás se utiliza un enfoscado en la capa exterior. La siguiente capa es el aislamiento. Se utilizan aislamientos de lana mineral, de poliestireno expandido (EPS) o una capa de aire. Por la cara interior se utiliza tabicón, acabando con un fratasado blanco.

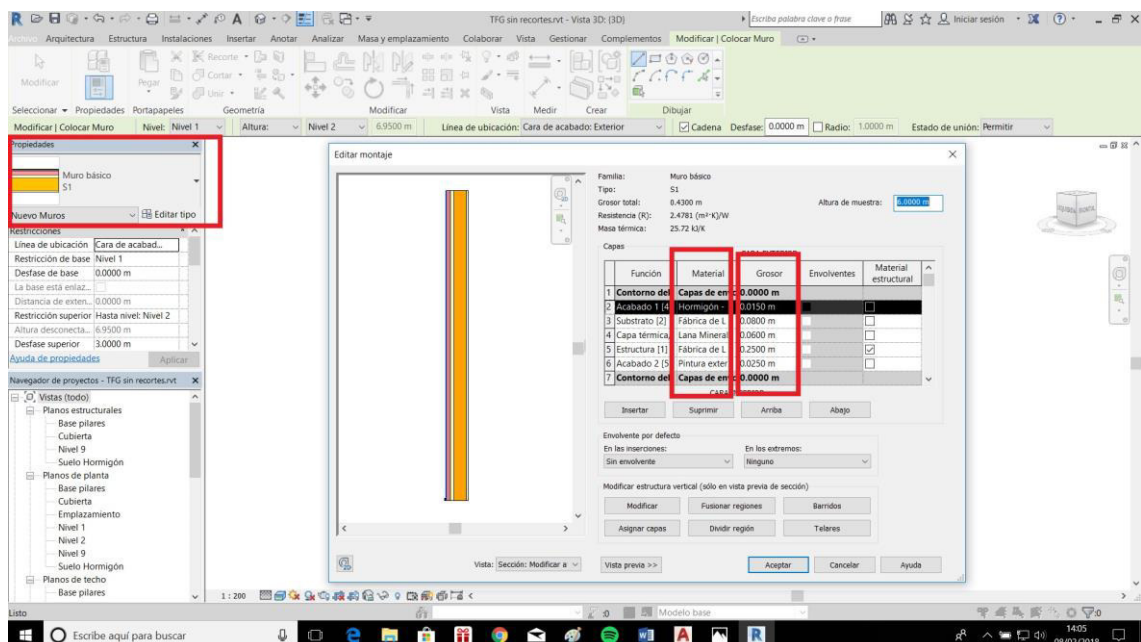


Figura 3-18 Configuración de la estructura en los cerramientos

Para formar cada uno de los cerramientos, una vez duplicados y renombrados, se procede a modificar la estructura dentro de sus propiedades como en la Figura 3-18. Es aquí donde se le da el espesor requerido a cada capa del cerramiento y se establece el material con sus características.

En el caso del muro apilado de la terraza, se procede de igual forma. Se eligen los muros que se desean apilar, para este caso, se desea apilar un panel de hormigón prefabricado sobre el muro básico que se creó denominado “S3”. Una vez establecidas las alturas hasta las que van a llegar cada uno, se decide sobre que capa apoya el panel superior, si sobre la exterior o la interior. De esta manera se procede con los tres diferentes tipos de muro apilado que se utilizan en el proyecto.

Para la colocación de los muros, se selecciona el que se desea utilizar y se emplaza según el dibujo en planta que sirve como referencia (ver Figura 3-19). A continuación, se establece la planta baja como nivel de referencia inicial y dependiendo de la situación, los diferentes niveles de referencia finales. Unos se referencian hasta la primera planta, a otros se les da una altura desde la planta baja, y unos pocos se enlazan con el elemento superior adquiriendo la forma del elemento que les cierra.

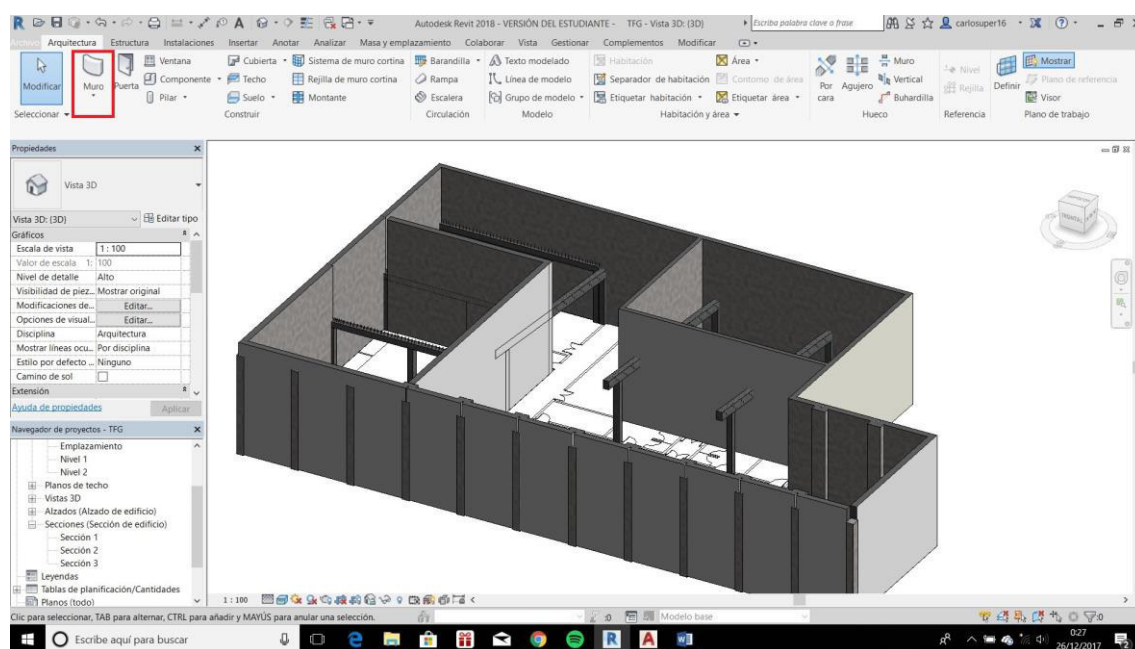


Figura 3-19 Levantamiento de muros

3.2.2.6 Forjado

El forjado del edificio se realiza sobre las vigas destinadas para ello. En un primer momento, se selecciona el tipo de losa correspondiente para realizar el forjado. En el caso de la terraza es un forjado unidireccional con losas alveolares tipo “Rodriña”, con un espesor de 20 cm de losa a la que hay que añadir 5 cm de hormigón en el cual se introducirán el mallazo y los negativos (ver Figura 3-20). Revit aporta una serie de losas alveolares que pueden ser dimensionadas para que tengan una anchura de 120 cm y 9 alveolos cada una. Para ayudar en su colocación se establecen planos de referencia para bloquear el extremo de cada losa a estos planos y conseguir así su perfecta alineación. Acabadas las losas, se genera una capa de hormigón que llevará el mallazo, con barras de acero cada 20 cm en longitudinal, y cada 30 cm en transversal, ambas con un diámetro de 5 mm. El mallazo es una estructura metálica que reparte el esfuerzo de las cargas por toda la viga. Además, se le añadirá unos negativos que son unas barras de acero colocadas longitudinalmente que soportaran los momentos flectores negativos. Estarán separadas 20 cm, con un límite elástico de 500 MPa.

Para la armadura se procede de manera similar que con los pilares. Se establece un recubrimiento, que será la separación entre el borde y las barras de acero y se comienza con la colocación de la armadura con las características correspondientes.

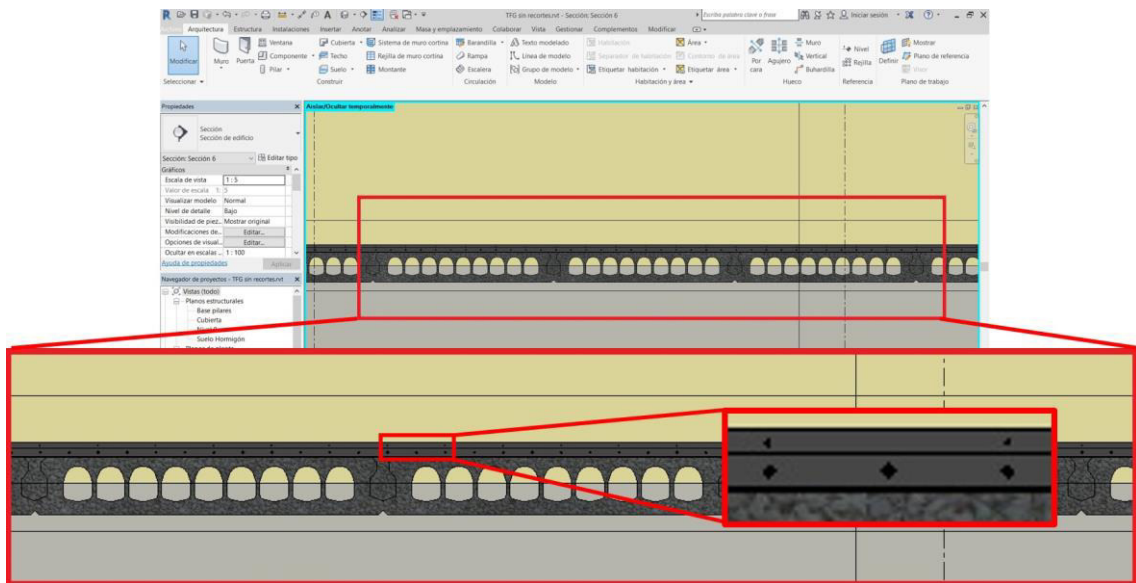


Figura 3-20 Forjado con losas alveolares y armadura.

3.2.2.7 Carpinterías

La colocación de las carpinterías es una de las partes más importantes al ser uno de los elementos que hacen que un edificio sea reconocible. En este proceso se han utilizado las familias tanto de la biblioteca del programa como de fuentes externas. La utilización de modelos de diferentes bases de datos, como bien pueden ser páginas destinadas a ello como BIMObjects [21], ha sido fundamental para este apartado.

3.2.2.7.1 Ventanas

Como ya se mencionó en el apartado 3.2.1, la actualización de los planos ha sido una etapa fundamental para el correcto desarrollo del proyecto. El caso de las ventanas es un claro ejemplo de esto. El diseño que se estableció en un principio para las ventanas fue a posteriori modificado cuando estas se colocaron. Por diseño, las ventanas llevan los travesaños en la parte superior, sin embargo, finalmente, las ventanas de la planta baja tienen los travesaños en la parte baja de las ventanas.

Una vez se tienen las familias descargadas, se procede a su modificación para ajustarlas a las exigencias del modelo. Por ejemplo, la profundidad a la que se sitúa la ventana en el muro es uno de los factores que han de modificarse.

Para su colocación, se selecciona el botón para introducir las ventanas dentro de la pestaña de “Arquitectura”. Posteriormente, se carga la familia que se ha modificado para insertarla en el proyecto. Se debe seleccionar la vista en la que se desea introducir las ventanas. Las formas más habituales suelen ser en el plano de alzado, utilizando planos de referencia a una determinada altura para su correcta colocación, en la vista tridimensional, para poder ver cómo van quedando en el proyecto, o en la vista de planta estableciendo en las propiedades su altura. De cualquier forma, se realice en una vista u otra, luego se comprueba con las demás.

Dependiendo de la familia que se tenga, se pueden modificar determinadas características de la ventana. Algunas, siendo más simples, sólo permiten modificar la altura, el ancho o dimensiones básicas. Sin embargo, en modelos más complejos se pueden modificar todo tipo de características, como el ancho del marco, el espesor del cristal o el ancho del parteluz, tal como se puede ver en la Figura 3-21. De todas formas, si fuese necesario, se puede modificar la familia, introduciendo medidas

paramétricas en las propiedades del elemento que pasan a poder ser modificadas en el modelo. Por ejemplo, si se desea modificar el ancho de un marco en una ventana que no dispone de esta medida, se puede abrir la familia y modificarla. Se acotan las dimensiones y se le da un nombre, por ejemplo: “ancho marco” y se introduce en las propiedades del objeto. Al cargarlo de nuevo en el proyecto, se podrá modificar este nuevo parámetro dándole la medida que se necesite.

En el caso del proyecto, todas las ventanas son de aluminio. Para las del primer piso, se descargó [22] un modelo similar al que posteriormente se le realizaron ciertas modificaciones para asimilarlas a las ventanas del edificio. En cuanto a las ventanas de la planta baja, se descargaron de otra página web [23] y hubo que modificar la profundidad a la que se situaba la ventana en el muro ya que, en un principio, la situaba totalmente incrustada. Por otra parte, las ventanas de los baños de la planta baja se consiguieron a partir de la base de datos de Revit.

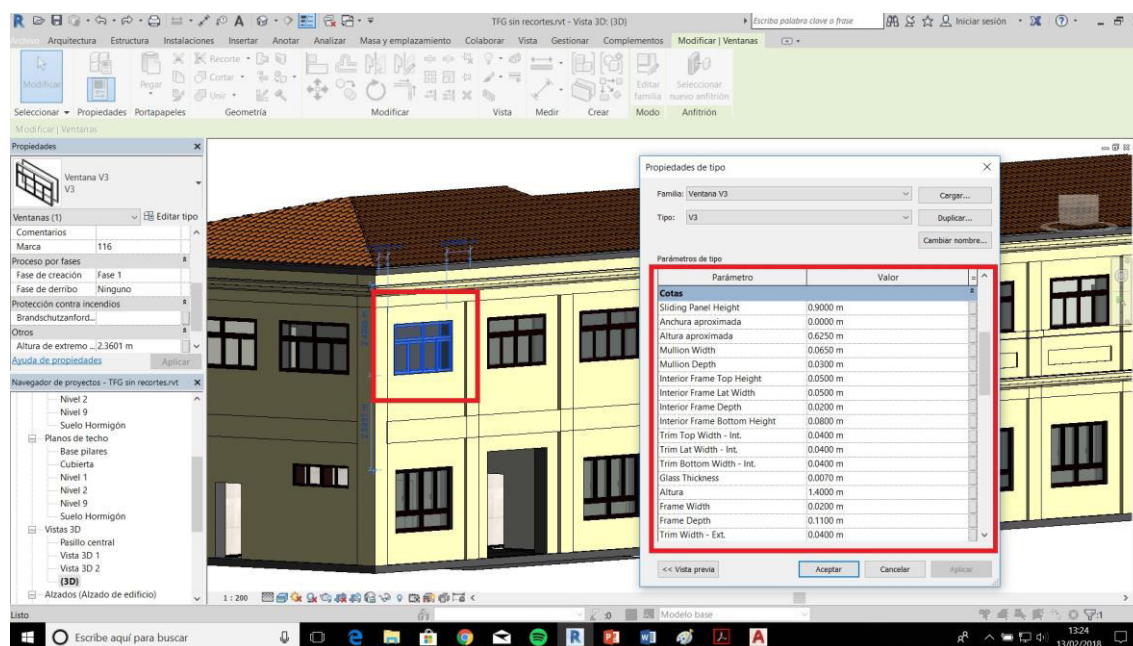


Figura 3-21 Generación de ventanas y propiedades

3.2.2.7.2 Puertas

La generación de este conjunto de familias se ha realizado de tres formas distintas: en el caso de las puertas exteriores obteniendo las familias de distintas bases de datos en páginas webs, para las puertas interiores utilizando la base de datos del programa y, por último, introduciendo elementos de detalle en modelos obtenidos de la web para las puertas de garaje.

El procedimiento a seguir en los dos primeros casos es similar al de las ventanas. Se duplica la puerta para poder aplicarle las dimensiones que interesan y sobre los planos de planta, se van colocando las puertas, modificando la apertura según haya sido determinado en los planos de origen. Se les deben de dar un nivel de referencia para que el programa las sitúa a la altura correcta.

No obstante, el proceso de modificación de una puerta para la introducción de elementos de detalle, es un proceso mucho más elaborado. Las puertas de garaje son un claro ejemplo de esto. Se descargaron dichas puertas de una página web [24], sin embargo, luego habría que modificarlas para asemejarlas a la realidad. Una vez se tiene el modelo en el editor de familias, lo primero es conocer el elemento y como ha sido diseñado. En este caso, era necesario insertar unas ventanas y un tirador para dar realismo al modelo. En el caso de la ventana, se realizó una extrusión vacía para generar el hueco de la ventana en la puerta de garaje. Después, desde la vista de perfil, se generó una extrusión con espesor paramétrico, es decir, que se podrá modificar y no será un parámetro constante. Para una correcta creación de la ventana se debe vincular su extrusión con el agujero que se creó. Así, cuando se

decidan modificar las dimensiones de la ventana, automáticamente se modifique el hueco en la puerta. Una vez se tiene la ventana, se decide hacerla paramétrica para poder modificarla más adelante si hiciese falta (ver Figura 3-22). Si no se hiciese esto, la ventana se quedaría siempre a la altura que se dejó en la familia y con las dimensiones de su extrusión. Para darle estas propiedades, lo primero es situar unos planos de referencia y vincular los extremos de la ventana a estos planos. Luego, se establecen unas acotaciones entre planos a las que se les asigna un nombre y al modificar las dimensiones del parámetro, los planos se sitúan a la nueva distancia arrastrando los extremos de la ventana. Se procede de igual manera con todos los parámetros que se deseen introducir. En este caso, se optó por introducir el espesor de la ventana, el ancho y el alto, la altura a la que se sitúa con respecto al suelo y la distancia de separación de las ventanas al centro de la puerta.

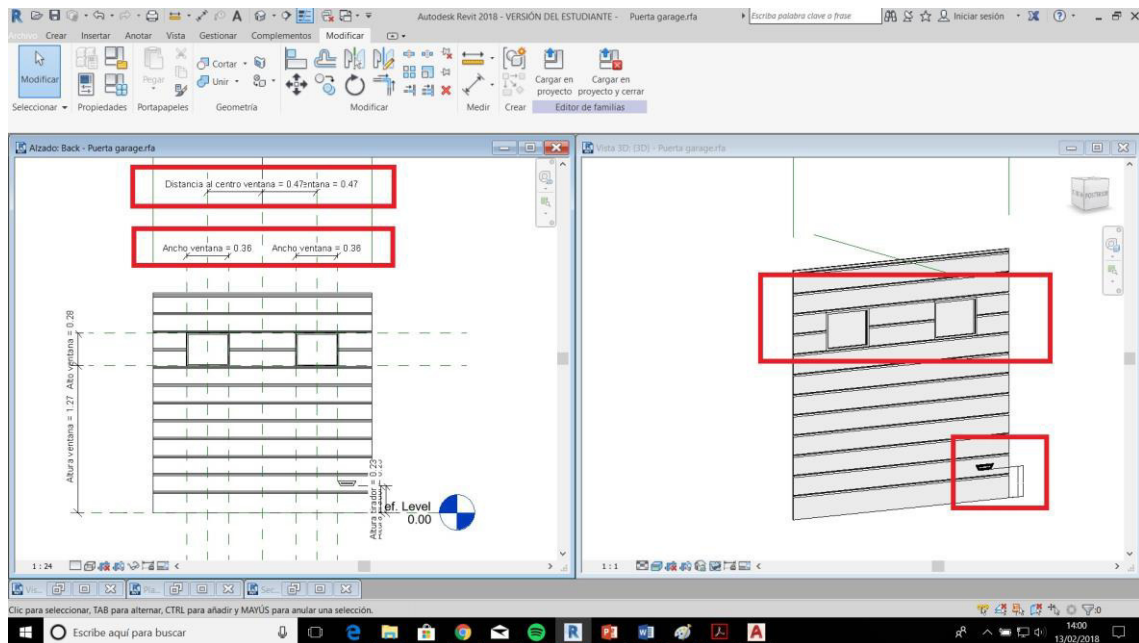


Figura 3-22 Detalle puerta de garaje y propiedades paramétricas

Además, se diseñó el tirador de la puerta generando una extrusión que no traspasase la totalidad de la puerta. Luego, se introdujo un barrido para generar el reborde de plástico del tirador.

Finalizado el proceso, se obtuvo una puerta de garaje que fue modificada y adaptada a las necesidades del diseño.

3.2.2.8 Cubiertas

En este proyecto, se tienen dos tipos de cubiertas diferentes. Por un lado, un techado clásico con tejas de cerámica y por otro, en la zona de la ampliación, una cubierta tipo sándwich.

Para generar la base de las tejas, se seleccionan los techos dentro de la pestaña de “Arquitectura” y se dibuja su perímetro. Entonces se decide el número de aguas que va a tener la cubierta (ver Figura 3-23), para ello se suprimen los lados del perímetro que no van a tener pendiente. De forma predeterminada, se genera un techado a cuatro aguas, por lo tanto, para este proyecto se debe de eliminar la pendiente de uno de los lados. Una vez generada la geometría, se procede a la comprobación de las alturas y ángulos del diseño. En este caso, la pendiente debe tener un ángulo de 14 grados. Realizada la base para las tejas, se procede a colocarlas. Existen diferentes métodos para ello, sin embargo, el más rápido, realista y cómodo es realizarlo con una familia adaptativa que se ajuste a la geometría que se le determine. Se podrían insertar una a una las tejas, sin embargo, sería un proceso mucho más costoso. Con la ayuda de diferentes personas que aportan sus trabajos a la red, se consigue una familia adaptativa de tejas que concuerda con el tejado del proyecto [25]. Para su colocación, se selecciona la opción “Componentes” y se carga en el proyecto. Para situarlas sobre el

soporte, se seleccionan las cuatro esquinas de cada una de las pendientes del tejado y se elige la orientación que van a tener las tejas. Entonces, la familia adaptativa genera un conjunto de tejas que se ajustan a la geometría determinada. No obstante, es habitual que se generen tejas en lugares que no corresponden o con una orientación que no es la adecuada. Al ser objetos individuales, se pueden borrar aquellas tejas que no hayan sido colocadas correctamente.

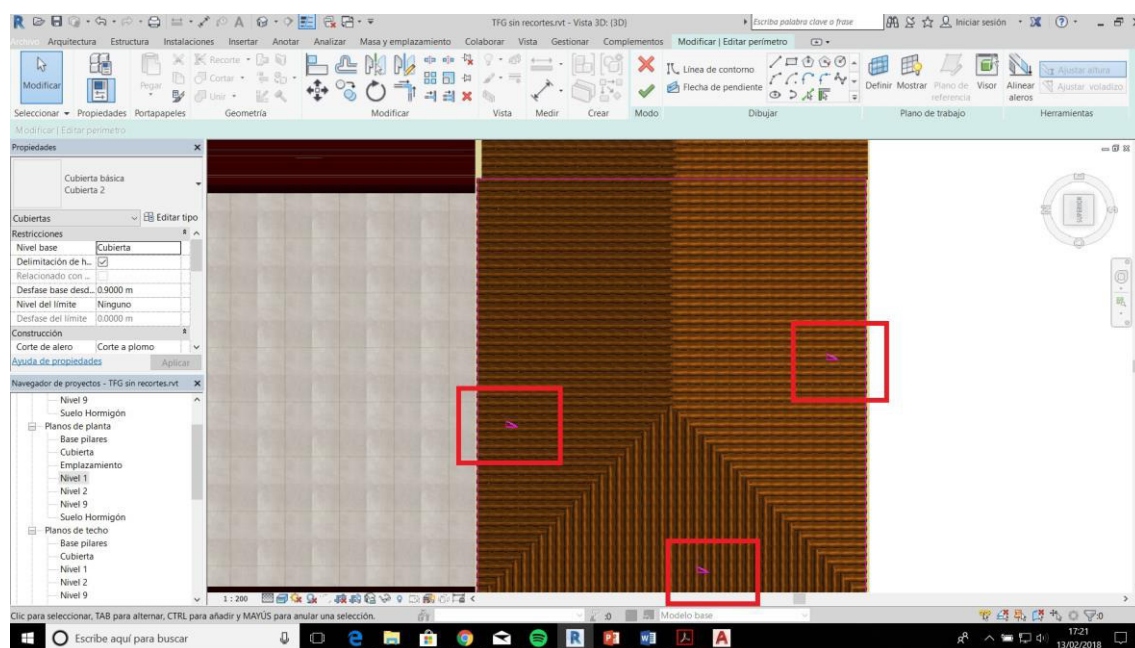


Figura 3-23 Selección de disposición del tejado a tres aguas

El otro tipo de cubierta que se ha de generar es una cubierta tipo sándwich. Debido a que en la zona de ampliación se han utilizado eminentemente materiales prefabricados, es habitual que en este tipo de construcciones se haga uso de este tipo de paneles gracias a las ventajas que aportan. Una de ellas es su bajo coeficiente de conductividad térmica lo que permite un buen aislamiento térmico. Asociado a esto, se consigue una optimización del espacio ya que con menores espesores se mantienen las necesidades de aislamiento térmico. Otra importante cualidad es la impermeabilidad. Gracias a su sistema de montaje hermético se consigue la estanqueidad a la humedad y al agua.

Para permitir la colocación de la cubierta se debe crear el soporte de la estructura que serán correas tipo “Rodiña” de 25 cm de altura. Las dimensiones de la correa vienen determinadas en el proyecto. En Revit no existen correas con características similares, por lo tanto, se ha de crear una familia para este tipo de correas.

El proceso seguido para el diseño de un nuevo tipo de correa comienza con cargar una familia genérica de correas que aporta ciertas referencias. Para diseñar la correa se debe dibujar su perfil. Las líneas que lo definan irán vinculadas a unos planos de referencia (ver Figura 3-24). Al acotar estos planos y nombrarlos, estas referencias pasan a ser propiedades paramétricas del elemento que se podrán cambiar en cualquier momento. Una vez generado se realiza una extrusión del perfil. Posteriormente se deben vincular ambos extremos a los planos que referencian el comienzo y el fin del elemento para que en el modelo se pueda generar una correa con la longitud que desee el usuario. Por último, se ha de cargar el elemento en el proyecto poder usarlo.

Finalizado el proceso se obtiene un nuevo tipo de correas en las cuales se podrán modificar los parámetros que se hallan acotado con los planos de referencia. En la ventana de propiedades se podrán dimensionar todos estos parámetros generando distintos tipos de correas todas ellas similares a las que se han generado de serie, las tipo “Rodiña”.

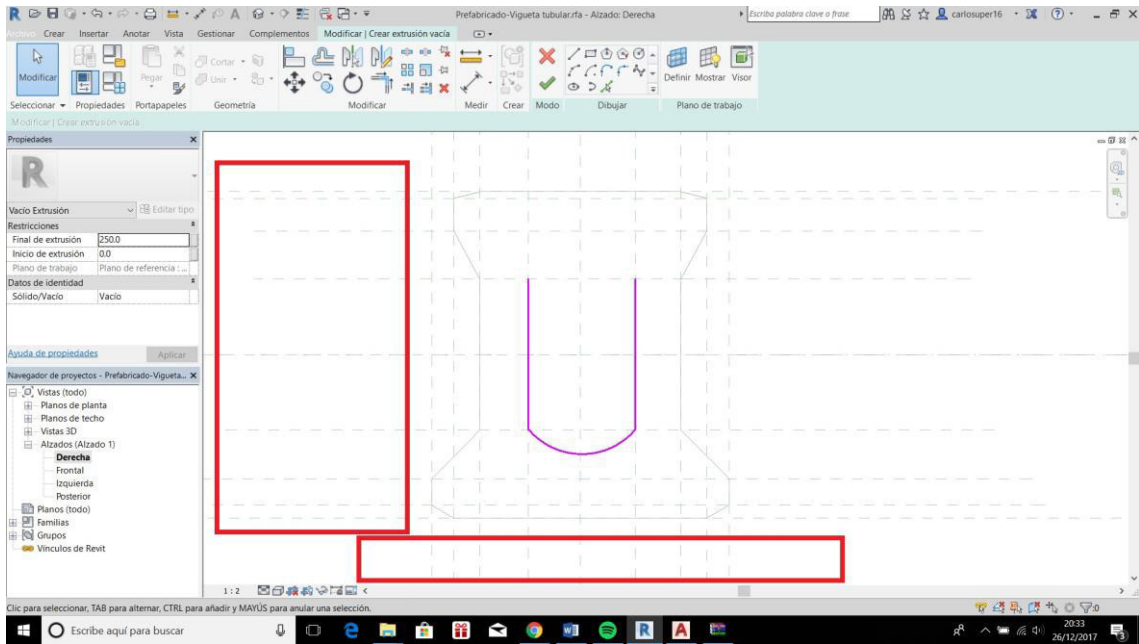


Figura 3-24 Planos de referencia para generación de familias

Terminado el proceso de la creación de esta familia de correas, se procede a su colocación en el proyecto. Para esto, ya que el plano sobre el que se van a colocar las correas es inclinado, se debe realizar una sección inclinada de la cubierta. Una vez generada la sección, se pueden introducir las correas con la inclinación necesaria de diferentes formas, una de las cuales es individualmente de una en una. Sin embargo, el programa da la opción de generar un sistema de vigas (ver Figura 3-25), tomando como referencia las dos correas del extremo. Una vez generado dicho sistema, dentro de las propiedades se pueden seleccionar las características del sistema. Por ejemplo, se puede elegir entre una separación máxima o una mínima y el programa genera el número necesario de vigas para que esto se cumpla. También se puede seleccionar un número fijo de vigas y así, Revit las separará la distancia necesaria. Por otra parte, se debe escoger el tipo de correa con el que se desea realizar el sistema.

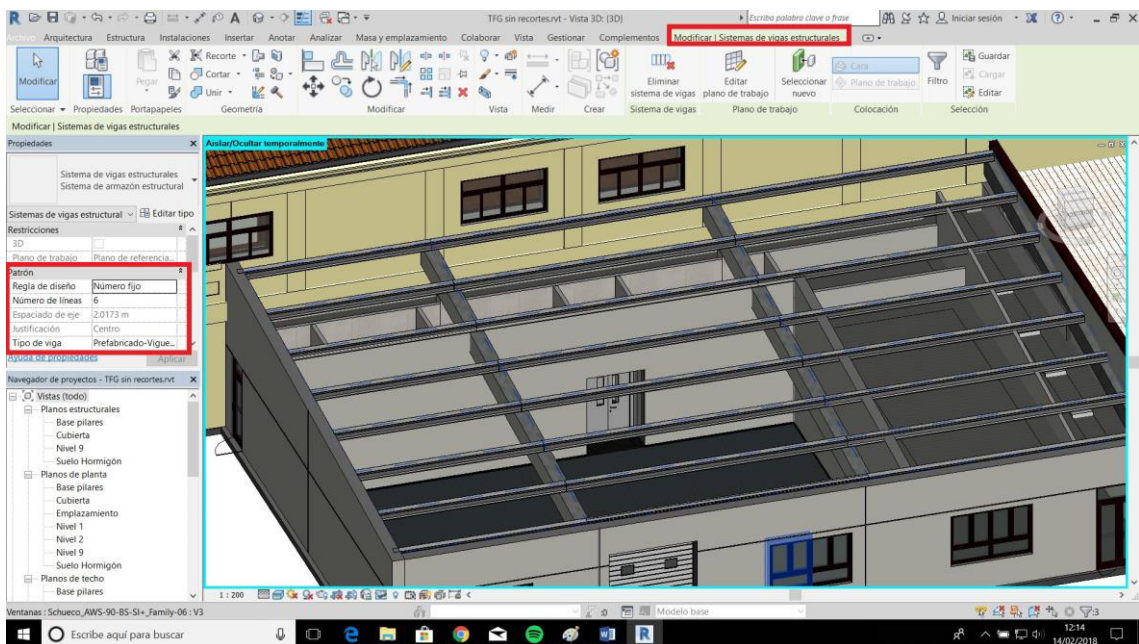


Figura 3-25 Sistema de vigas estructurales

El uso de bases de datos ha sido una herramienta fundamental en el desarrollo del proyecto. Una vez más, se hace uso de ellas [26] con objetos BIM para la colocación del panel tipo sándwich que lleva la cubierta. Sin embargo, en este caso, se descarga un archivo en formato proyecto, es decir, no se puede importar directamente como una familia al proyecto del Centro de Investigación. Para solucionar este problema, se han de importar las reglas de un proyecto a otro. Para esto, en la pestaña de “Gestionar”, existe una opción para transferir las normas del proyecto. Utilizando ese comando, se traspasan los elementos y reglas que existen en un proyecto al otro. En este caso sólo hace falta transferir el “Tipo de Cubierta Inclinada” para evitar la transferencia de datos innecesarios. Realizado este proceso ya se tiene en el grupo de cubiertas las cristaleras inclinadas entre las que se encuentra la “Isodeck_Roof”, el panel tipo sándwich que se utiliza. Para su introducción, se elige la cubierta por extrusión entre las opciones de colocación de este tipo de elemento. Para ello, se selecciona un plano de trabajo, en este caso, la pared lateral del garaje y se elige el perfil de la extrusión (ver Figura 3-26), que será una línea que apoya en las correas de la cubierta, consiguiendo la inclinación que se requiere en el modelo. Para finalizar, se ajustan los extremos de la extrusión desde el muro de la terraza hasta el final del muro que cierra el garaje.

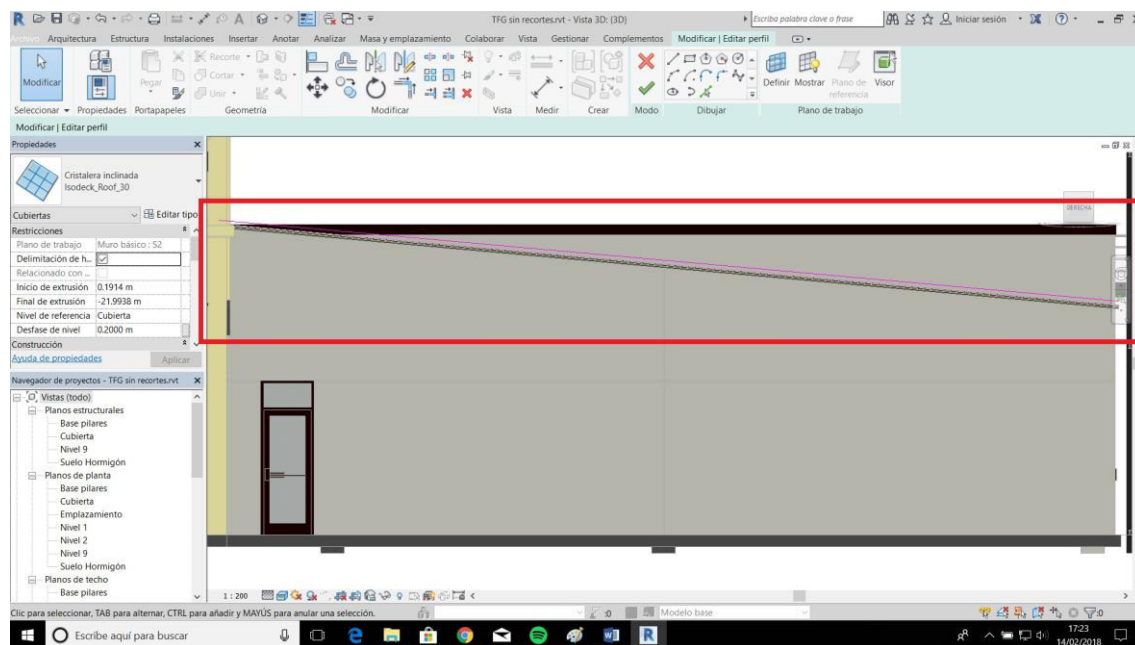


Figura 3-26 Generación de panel tipo sándwich

3.2.2.9 Falsos techos

El techo de la planta baja, está formado por dos falsos techos. El primero, abarca todos los espacios exceptuando el pañol de buceo, el laboratorio de mecánica y el pañol de embarcaciones. Es un falso techo de escayola con baldas de 60x60 cm. El superior, situado a 15cm del suelo de la primera planta, es un falso techo acústico, colocado por debajo del local de ensayo de la banda de música para evitar la contaminación acústica.

Para su colocación, hace falta estar en la vista de planos de techo. En este caso, se trabajó desde el plano de techo de la planta baja. Desde la biblioteca de Revit, se importó una rejilla de trabajo de 600x600 mm, la medida exacta de las placas de escayola que se van a situar. En concordancia con el diseño, se establecen el número de filas y columnas correspondiente a cada habitación en el diseño.

El software permite dos maneras para la instalación de los techos. Por un lado, puede establecer de forma automática los techos de habitaciones que estén cerradas por muros. Sin embargo, en el caso de estudio no es de utilidad ya que las placas que se van a colocar no abarcan en su totalidad el techo. Por lo tanto, la colocación se realizó manera individual para cada habitación. Para generar uno de los

techos se dibujó el perímetro exterior y en las propiedades, se le adjudicó la altura a la que se debía estar el falso techo. Una vez realizado, se comprobó si estaban el número de columnas y filas necesarias. Cuando no era el caso, se procedió a modificar el perímetro para ajustarlo a las filas y columnas. Para facilitar el proceso y evitar generar un techo para cada habitación y teniendo en cuenta que todos los falsos techos están a la misma altura, se generaron copias del primer techo para cada una de las habitaciones. A continuación, se modificó el perímetro para ajustarlo a cada habitación individualmente, quedando finalmente como se muestra en la Figura 3-27.

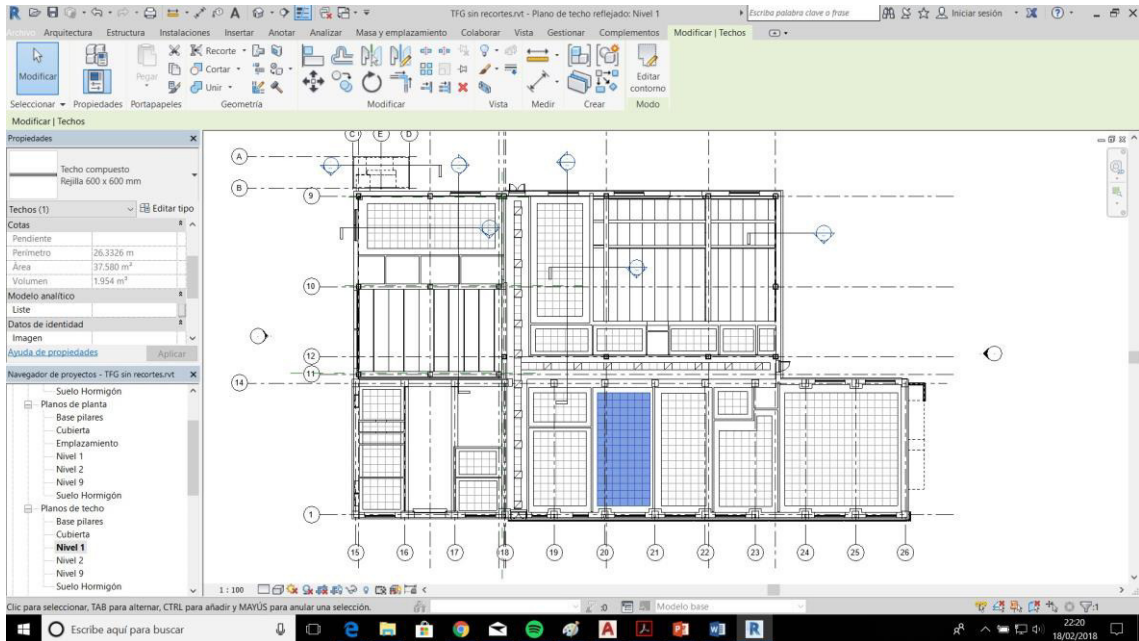


Figura 3-27 Distribución de los falsos techos de escayola

Para el falso techo acústico se utilizó un tipo de techo denominado “Techo compuesto” que se duplicó para poder generar su estructura. Para ello, una vez duplicado, se modificaron las capas dentro de las propiedades del techo. Se le dio un grosor de 40mm a la capa de lana mineral que actúa como aislante acústico y el acabado que es un tablero de muro de yeso, un espesor de 12 mm (ver Figura 3-31). Para su colocación, se eligió el falso techo acústico, se seleccionó el perímetro alrededor de la sala de música, y se le dio la altura determinada para que estuviese a 0,15 m del suelo de la primera planta.

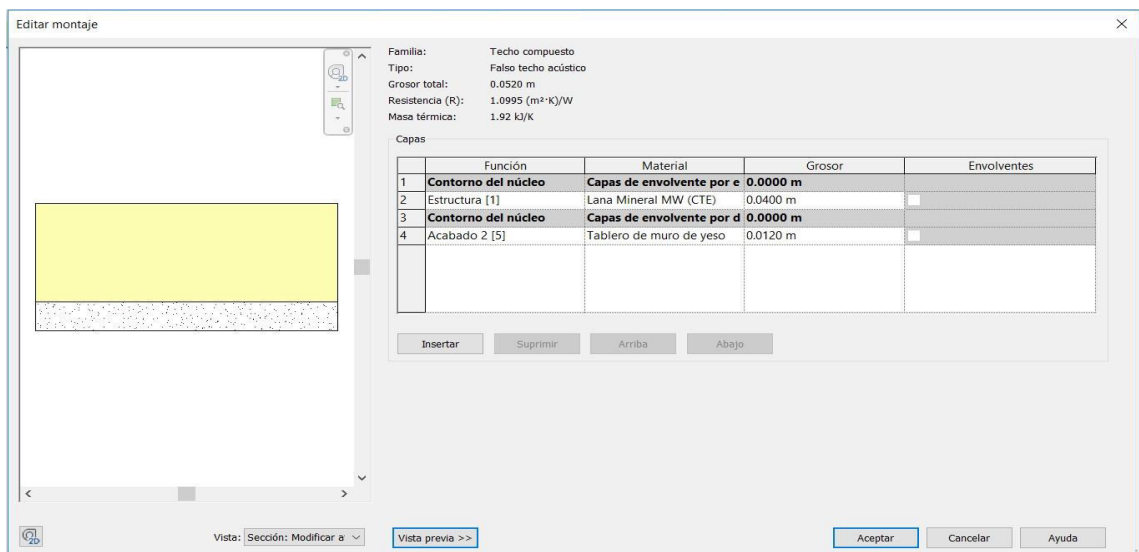


Figura 3-28 Generación de la estructura del falso techo acústico

3.2.2.10 Escaleras

El Centro de Investigación posee dos escaleras principales, una en la fachada norte que da acceso a aula de ensayo de la banda de música, y la otra, una escalera de emergencias de nueva construcción en la fachada oeste de edificio ampliado que da acceso a la terraza.

3.2.2.10.1 Escalera de emergencias

Para la creación de este elemento se tuvieron que importar las diferentes estructuras que lo componen. Los seis pilares principales están constituidos por dos barras de perfil UPN 100 enfrentadas. Los barrotes transversales que se encuentran a media altura y en el tope, son perfiles IPN 180. Para cargarlos se ha de seleccionar la opción “Cargar familias” dentro de los pilares estructurales y en la ventana que aparece se debe seleccionar el perfil que se desea dentro de la selección que ofrece.

La colocación de los pilares se lleva a cabo desde la vista en planta de la planta baja. En primer lugar, se generan unas rejillas de referencia, como las mencionadas en el apartado 3.2.2.2, con la finalidad de vincular todos los barrotes a dicha rejilla. Así, se permite el movimiento simultáneo y la alineación de todos ellos. Además, sirven de referencia para la colocación de los pilares.

Para establecer su altura, se le dio la referencia de nivel de la planta baja y se le otorgó una altura de 6,43 metros. El procedimiento seguido con las vigas es similar, se realizó desde la misma vista en planta para su correcta colocación. Una vez alineadas, se les colocó a la altura que establecía el diseño.

En cuanto a la escalera, el programa genera tres tipos principales: la escalera ensamblada, la moldeada in situ y la prefabricada. La que concuerda con el diseño en este caso fue la escalera ensamblada. Para generar la estructura se han de seleccionar el número de escalones que se desean en total, la altura máxima de contrahuella, es decir, la altura entre dos escalones consecutivos y la profundidad de huella (profundidad del escalón). Una vez seleccionados, se estableció el perímetro de la escalera, concordando con el plano de planta. Entre cada tramo de escalera, se generaron los correspondientes descansillos. Por último, se estableció la altura que iba a abarcar la escalera. Al generarse la escalera, hubo que eliminar la barandilla del exterior, tal y como se tiene en la realidad. Al final queda una escalera idéntica a la que se puede observar en el edificio, como se puede observar en la Figura 3-29.



Figura 3-29 Modelo virtual y modelo real de la escalera de emergencias

3.2.2.10.2 Escalera lateral

El proceso de generación de la escalera de la fachada norte es eminentemente el mismo que el de la escalera de emergencias. Para ello se eligió la opción de modelar la escalera monolítica. De nuevo, se han de introducir los parámetros deseados de número de escalones, la altura máxima de contrahuella y la profundidad de huella. El siguiente paso es la delimitación del perímetro de la escalera, generando el descansillo intermedio y el descansillo superior. Finalizada la escalera, se procedió a la creación del pórtico. Para ello se levantaron dos muros en el lugar indicado y se generó la cubierta que la cubre. Además, se le introdujo el ventanuco del que disponía, obteniendo el resultado que se puede ver en la Figura 3-30.

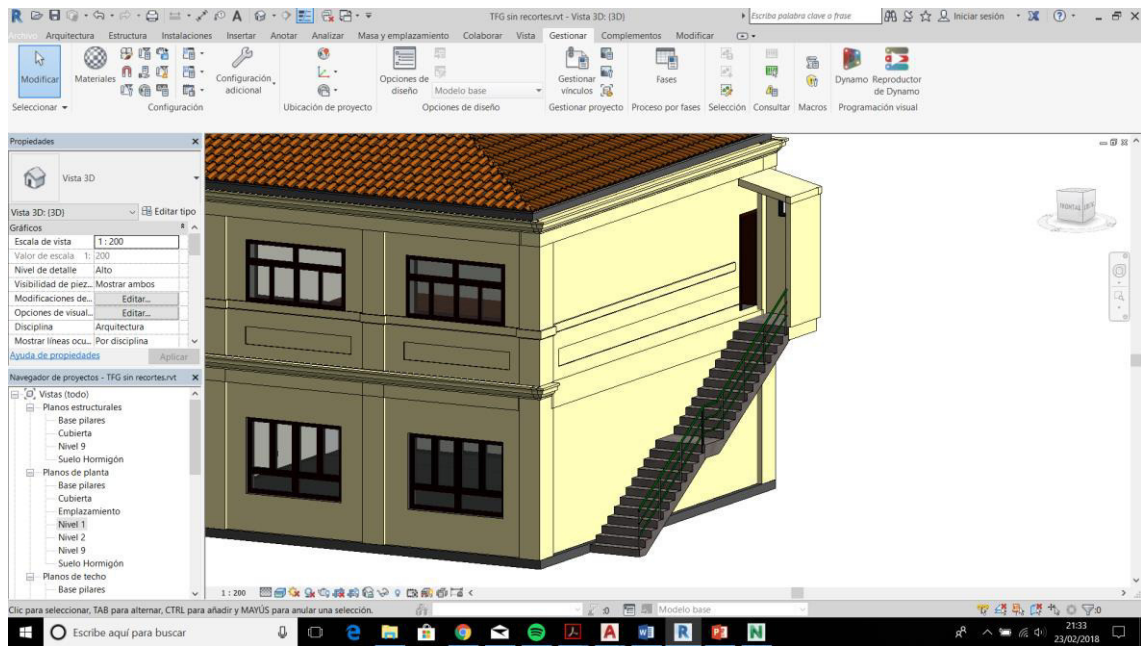


Figura 3-30 Escalera fachada norte

3.2.2.11 Elementos de detalle

Una vez se obtuvo la geometría básica, se procedió a la creación de los elementos de detalle que darían un mayor realismo a la maqueta.

Uno de los elementos más característicos de la fachada es la cornisa que existe entre la planta baja y la primera planta. Para crear este tipo de detalle se utilizó la opción barrido de muro dentro de la pestaña de muros. Se debía generar un nuevo tipo de barrido para que concordase con la cornisa deseada. Por lo tanto, lo primero que se hizo fue crear un perfil que se asemejase al de la cornisa. Para ello, se abrió uno de los perfiles básicos para barrido de muros, y sobre este, se generó el perfil de la cornisa que se deseaba. El siguiente paso fue cargar el perfil en el modelo, para que se pudiese seleccionar dentro de las propiedades del nuevo tipo de barrido que se creó. Después, se seleccionó el barrido, se colocó en uno de los muros de la fachada del edificio y se extendió a toda la fachada. Además, se utilizó el comando “Modificar Retornos”, para que el programa generase las esquinas de la fachada, uniendo la cornisa en esquina para dos fachadas distintas (ver Figura 3-31).

Sin embargo, esta cornisa sólo se encuentra en las fachadas este y oeste del edificio ya que mantiene el diseño tradicional de la parte antigua. En la zona de ampliación no se han introducido elementos de embellecimiento como este, sino que aquellos elementos que sean de detalle serán debidos a la propia construcción como puede ser la línea de separación entre los diferentes bloques de hormigón.

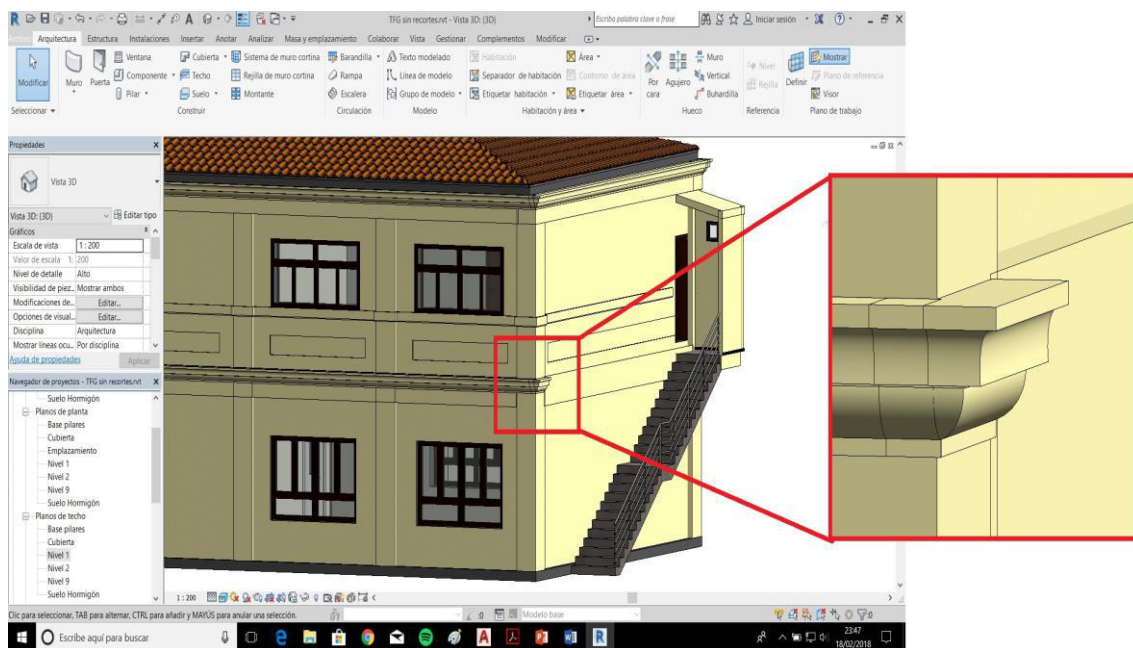


Figura 3-31 Detalle del perfil de la cornisa de la fachada

A mayores, se utilizó la generación de componentes in-situ para la creación del detalle del saliente en la fachada que es tangente a la parte inferior de las ventanas. Para ello, se seleccionó la creación de un barrido modelado in-situ. Lo primero fue establecer la ruta que iba a seguir el barrido que se iba a generar. La vista óptima para esto fue la de planta de la planta baja (como se puede observar en la imagen de la derecha de la Figura 3-32), ya que en ella se podía percibir perfectamente el recorrido exterior seguido por los muros exteriores, con los salientes correspondientes a los pilares estructurales. Así, se vincularon las líneas generadas al exterior de la fachada. Lo siguiente fue la selección del perfil con el que se realizó el barrido (ver Figura 3-32). Para esta ocasión, en vez de generar un perfil aparte e importarlo, se creó un perfil sobre el propio modelo. Con este objetivo, se utilizó la vista 3D, desde una perspectiva perpendicular a la fachada norte, para determinar el perfil sobre la fachada este.

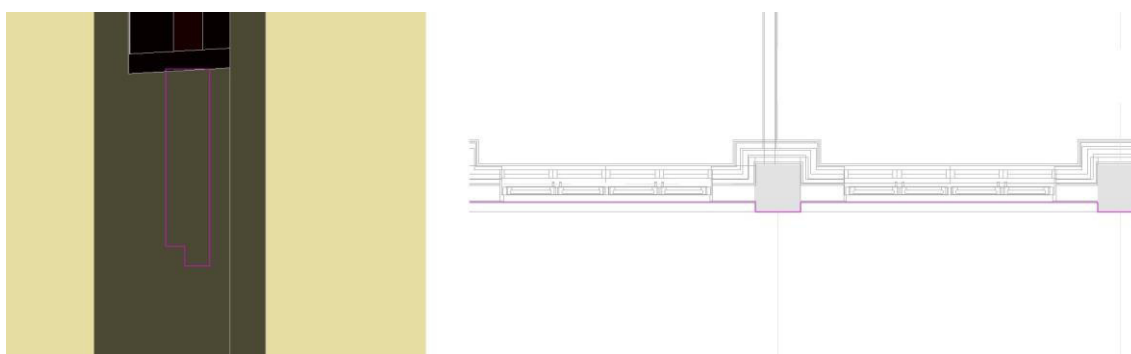


Figura 3-32 Perfil de barrido de saliente de fachada (izquierda) y ruta de barrido (derecha)

Otro elemento de detalle en la fachada es una muesca a la altura del primer piso. Se requirió la utilización del último tipo de muros que existe en Revit; los telares, que se utilizan para realizar hendiduras en los muros que se hayan generado. El procedimiento que se siguió fue similar al de la generación de la cornisa, siendo esta vez un perfil más sencillo. Por lo tanto, lo primero fue crear el perfil que posteriormente se introdujo como propiedades dentro del nuevo tipo de telar que se creó. Una vez se tuvo el telar con el alto y el espesor necesarios, se procedió a su colocación (ver Figura 3-33). La longitud que iba a tener en cada muro se pudo modificar colocado ya el telar, por lo tanto, fue una dimensión que no se tuvo en cuenta en su diseño.

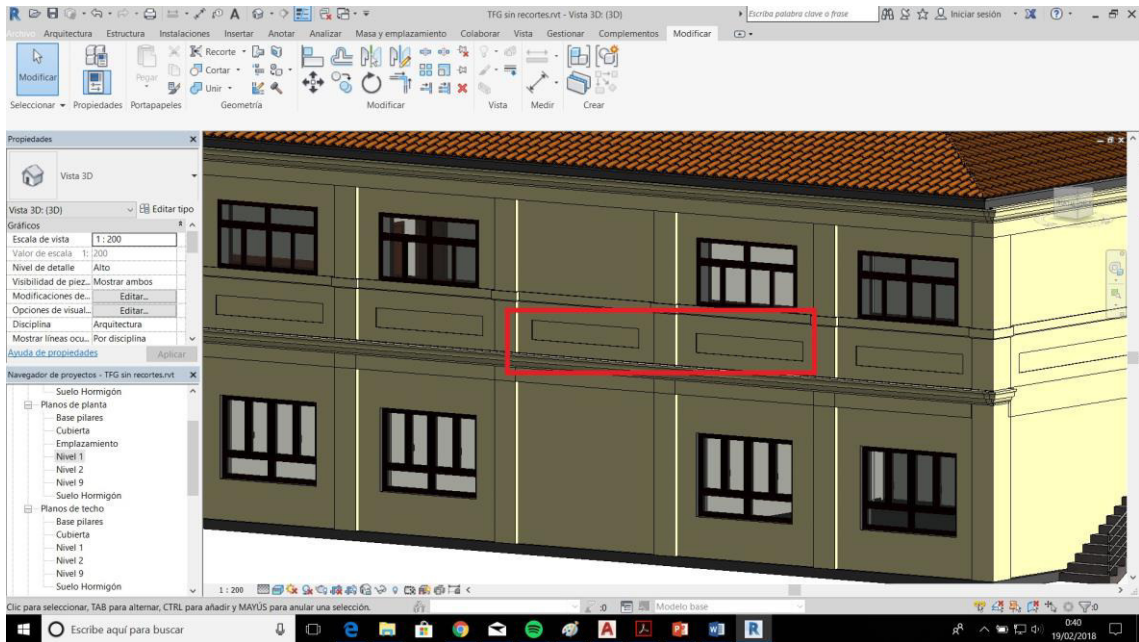


Figura 3-33 Detalle de telar en la fachada

Por último, se generó el detalle de los muros de hormigón en la zona de ampliación del nuevo edificio. En este caso, se generó la muesca que se puede observar en la Figura 3-34 en el muro de hormigón prefabricado que quedó por la unión de los distintos muros exteriores. Entre las opciones de los telares, está la opción de generarlo en vertical, en vez de horizontal, que es la forma que viene establecida por defecto. Para la colocación de las hendiduras en los muros de hormigón, se utilizaron los telares verticales además de los horizontales.

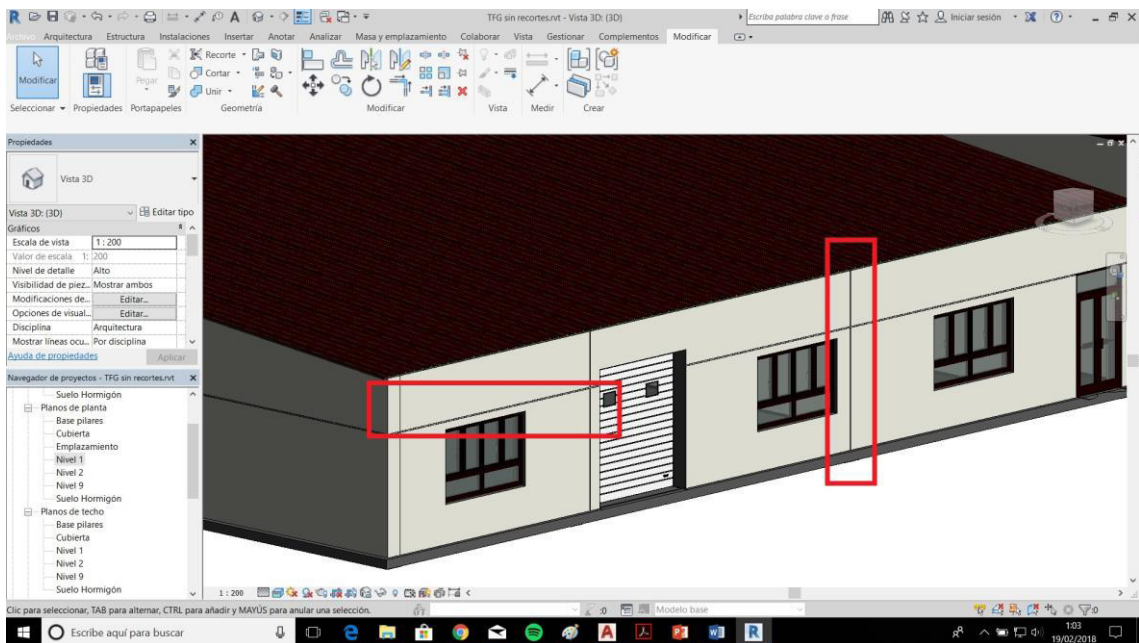


Figura 3-34 Detalle de muesca en los muros de hormigón

En cuanto a la parte interior del edificio, como elemento de detalle se generaron los rodapiés de los muros. La introducción de este elemento se hizo desde las propiedades de los muros, en la ventana en la que se generaron las diferentes capas que compusieron el tipo de muro. Para ello, se seleccionó la opción de barridos, entonces, se abrió la ventana para la generación de los barridos en el muro. Previo a esto, se generó el perfil que iba a determinar el rodapié que recorre el interior del edificio. Con el perfil cargado en el proyecto se seleccionó dentro de la ventana de “Barridos de muro” (ver Figura

3-35). Además, se seleccionaron otros parámetros, como el material del rodapié o si iba a estar situado en el interior o en el exterior del muro.

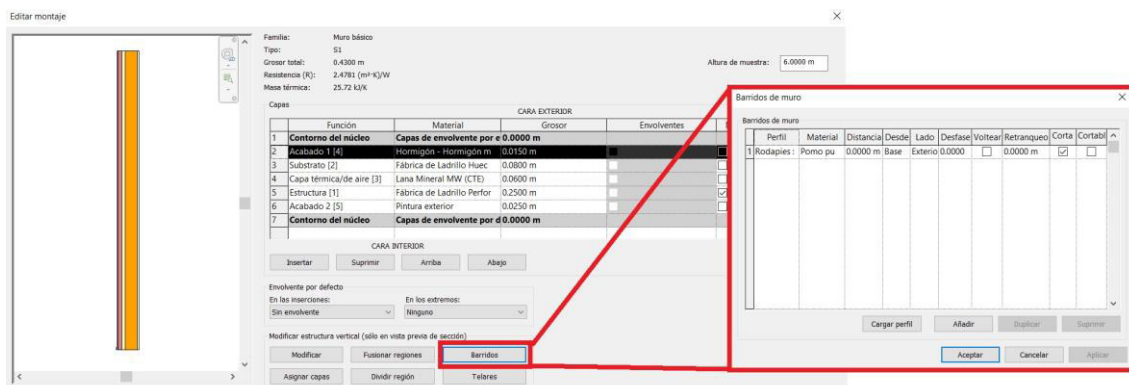


Figura 3-35 Generación de los rodapiés interiores del edificio

En la ventana de visualización de la estructura se puede observar cómo se creó el rodapié; sin embargo, se ha de comprobar en el modelo virtual si se ha generado de manera correcta y en la zona adecuada del muro. De hecho, en los muros interiores, como llevan rodapiés en ambas caras, se insertaron dos rodapiés al muro, uno en la parte exterior y otro en la interior. Así, es importante la comprobación desde varios puntos de vista de la correcta colocación de estos elementos de detalle (ver Figura 3-36). A mayores, se ha de comprobar las conexiones en las esquinas y alargar o acortar determinados tramos para que concuerde con la realidad.

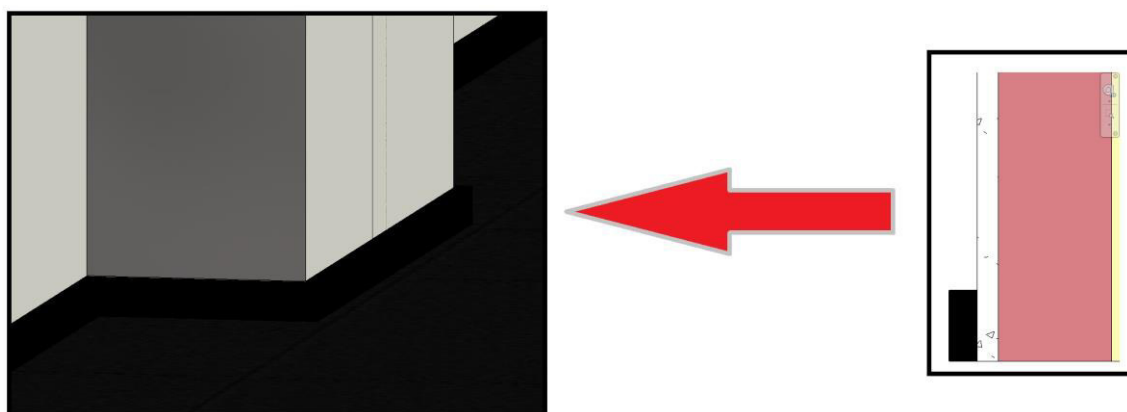


Figura 3-36 Comprobación de la colocación de los rodapiés en modelo virtual

Todos estos elementos de detalle ayudan a los usuarios del modelo a una visualización más realista del edificio. Además, permite una mejor comprensión por parte de todos los miembros implicados de la situación de cada uno de los elementos que constituyen todo el modelo.

3.2.2.12 Recorrido virtual

Autodesk Revit tiene una amplia variedad de aplicaciones. Una de ellas es la generación de recorridos virtuales. Con ellos se permite una visualización mucho más realista de la maqueta, otorgando una sensación de inmersión en el modelo 3D.

Con el fin de generar dicho recorrido, desde el submenú “Vista”, se selecciona la opción “Recorrido Virtual”. Después, desde un plano en planta se van seleccionando los puntos por los que se desea que transcurra el paseo virtual y la orientación de la cámara (ver Figura 3-37). Se puede variar la duración total del recorrido además del número de fotogramas totales.

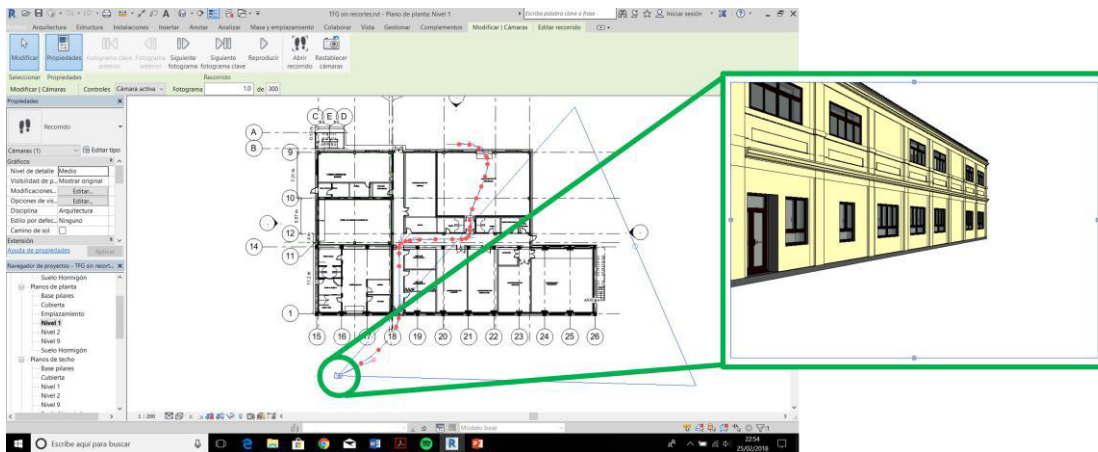


Figura 3-37 Generación de recorrido virtual y campo visual de la cámara

En el navegador de proyectos, dentro de la pestaña de “Recorridos” se pueden seleccionar todos los recorridos que se hayan creado. Para exportarlos como vídeo, en la opción “Exportar”, se selecciona “Recorrido” dentro de “Imágenes y Animaciones”.

3.2.3 Materiales y texturas

Una de las partes más importantes del modelado es la asignación de materiales y texturas a la maqueta, para dar un mayor realismo a todo el conjunto.

3.2.3.1 Información en modelo

Los materiales son una de las características más importantes para una correcta visualización del modelo. Todos los elementos, tienen de una u otra manera asignados una serie de materiales. Lo más común suele ser que se encuentre una pestaña de materiales y acabados bien en las propiedades rápidas, es decir a las que se pueden acceder sin editar el tipo de elemento, o en las propiedades. En elementos complejos es común que existan más de un tipo de material para las distintas partes del objeto. Por ejemplo, en una ventana se tiene distinto material para el vidrio, para el marco o para los bordes de la ventana.

Como contraposición, en otros componentes no se puede modificar directamente su material en una pestaña destinada para ello. Un claro ejemplo de esto son los muros. En ellos, el material se establece al seleccionar las distintas capas que la componen. Es decir, dentro de la estructura del muro, a cada capa se le asigna el grosor y el material de esta capa.

El modo de trabajo de Revit facilita enormemente la gestión de los materiales de elementos que han sido importados. Así, Revit adquirirá los materiales de los objetos que hayan sido descargados e importados al proyecto. Con esto se consigue un aumento considerable de los materiales disponibles en la biblioteca de materiales además de la facilidad de manejo de todos estos elementos. Dependiendo del tipo de importación que se realice, teniendo en cuenta las características del objeto, existen algunas que permiten la modificación de los materiales directamente en el proyecto, y otras que no. Para estos últimos, se ha de modificar dentro de la familia el material que se va a utilizar.

Para la modificación de los materiales, se utiliza la opción de “Materiales”, dentro de la ventana de “Gestionar”. Una vez se abre la ventana desplegable, aparecen todos los que están disponibles en el proyecto (ver Figura 3-38). Repetidas veces hubo que generar nuevos materiales para satisfacer las necesidades del diseño. Para ello, existen dos opciones, una de ellas es crear un material nuevo; sin embargo, se suele buscar uno parecido al que se desea generar y se duplica. A partir de ahí, se modifican el aspecto, la textura y las características necesarias para cada uno. La otra es crear directamente un material nuevo y para ello se le han de introducir todas las características que se deseen en el material.

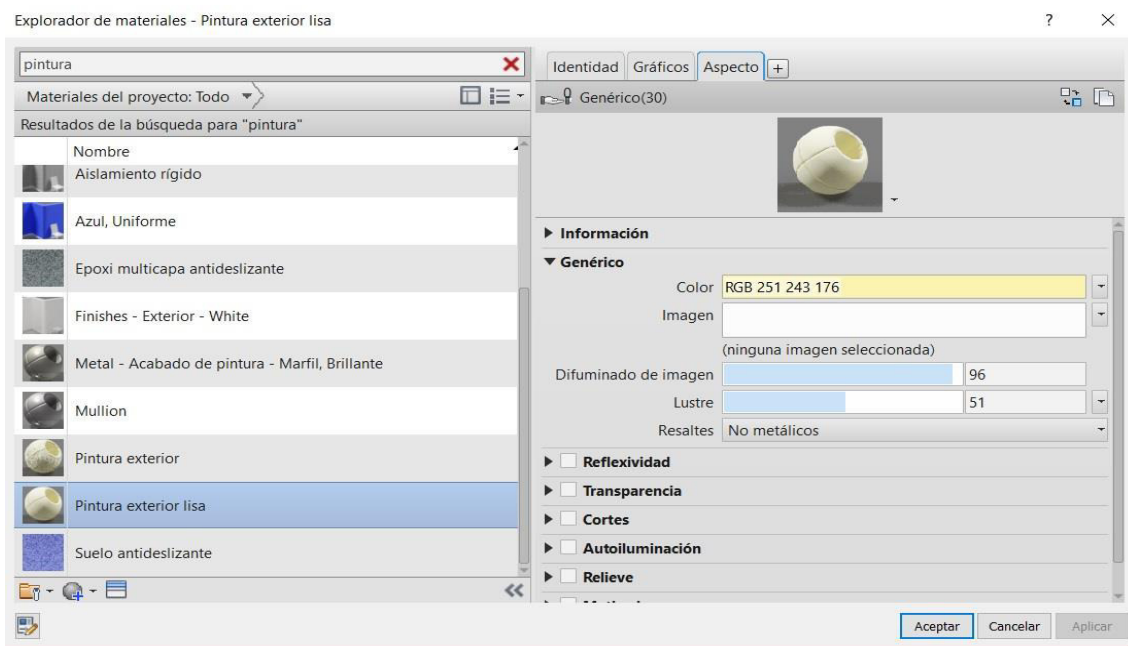


Figura 3-38 Ventana desplegable con la biblioteca de materiales

Dentro de cada material, existen diferentes ventanas para la modificación de las características. La primera ventana que aparece es la de “Identidad”, en esta pestaña se puede añadir información del material como el nombre, descripción, clase, comentarios o palabras clave. Además, se puede introducir información del producto como el fabricante, el modelo o el coste.

La siguiente ventana es la de “Gráficos”, en ella se establecen las visualizaciones del material dependiendo de la vista en la que se esté. Es decir, se establece la visualización para cuando sea visto en 3D, para cuando se vea desde un plano de planta, o para su visualización desde una región de corte.

La tercera pestaña es la de “Aspecto”, una de las más importantes, ya que determina el aspecto que tendrá el material tanto en la maqueta virtual como en los diferentes renderizados que se realicen. Dentro de esta ventana, se pueden seleccionar las siguientes características: color, imagen, difuminado de la imagen, reflexividad, transparencia, cortes, auto iluminación, relieve y matizado. De entre estas, cabe destacar por su importancia el color, ya que le dará el pigmento al objeto. Por otra parte, se podría realizar una fotografía de la textura de un material y cargarla como imagen, dando un realismo excepcional al modelo. Además, otra opción sería la descarga de imágenes de la web que se asimilen a la que se necesita (ver Figura 3-39).

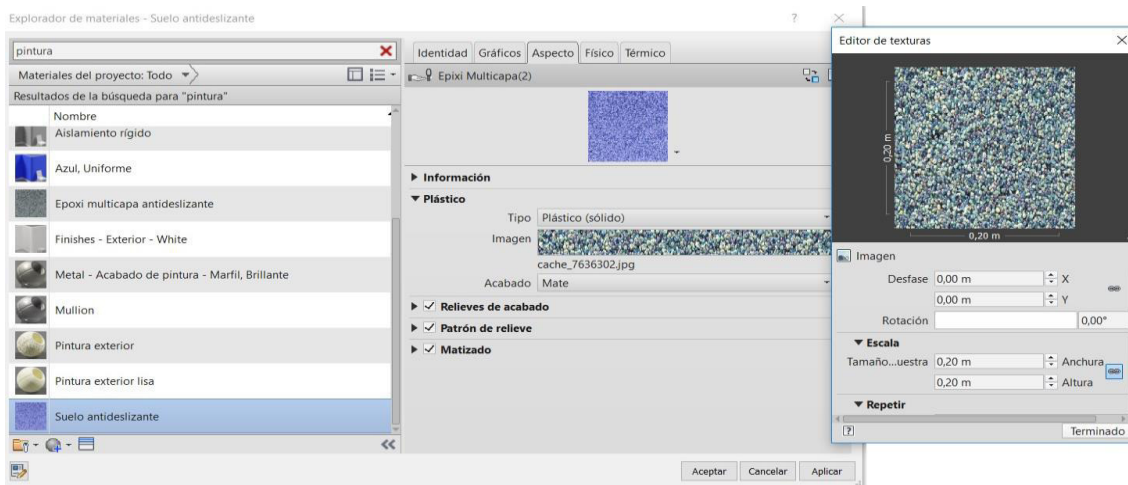


Figura 3-39 Introducción de imágenes para aspecto de materiales

Una vez abierto el editor de texturas, se selecciona el ancho y largo que va a tener la imagen que se ha cargado. Además, se establece el modo en el que se va a repetir la imagen en la superficie en la que se va a situar. La opción más habitual suele ser la disposición en mosaico.

Para la generación de texturas con superficies rugosas, se utiliza la opción de “Patrón de relieve”. Para ello, se introduce una imagen que será la que aporte el relieve al modelo. Un claro ejemplo de esto son las baldosas que fueron utilizadas para el suelo de baldosa de terrazo de microgramo en la planta baja. En ellas, por una parte se introdujo una imagen del terrazo de micrograno y por otra el patrón de unas baldosas en el suelo, como se puede ver en la Figura 3-40. Aplicando el relieve correspondiente, se consigue el efecto deseado.

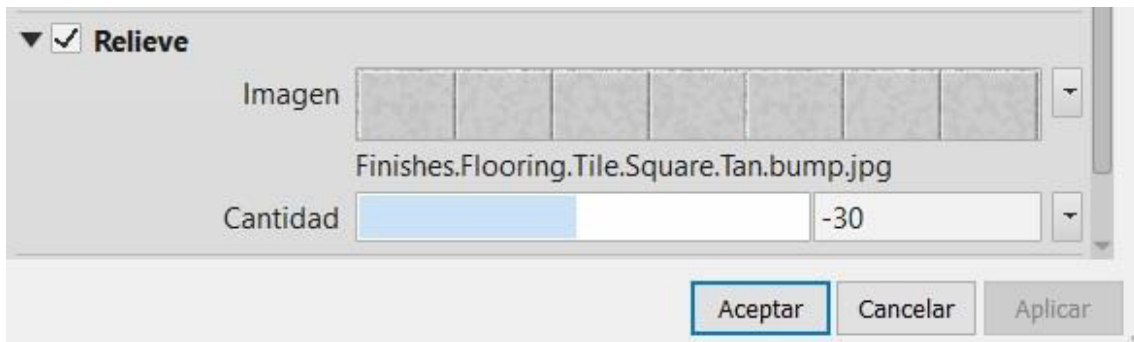


Figura 3-40 Introducción del patrón relieve

Las dos últimas pestañas que se pueden modificar en las propiedades del material son las denominadas “Físico” y “Térmico”. Son las características físicas y térmicas del material como se puede ver en la Figura 3-41. Esta es una de las importantes ventajas que aporta la metodología BIM como ya se vio en el apartado 2.3.2. Se permite la introducción de las propiedades físicas del material como el Módulo de Young, el coeficiente de Poisson, la densidad, el módulo cortante, el límite de elasticidad o la resistencia máxima a tracción. Todas estas de gran importancia a la hora de realizar cálculos estructurales o mecánicos del edificio o de sus elementos.

En la pestaña de “Térmico” se encuentran las propiedades caloríficas y de luminosidad del material. Entre otras se encuentran la conductividad térmica, el calor específico o la reflexividad. A todos los materiales que se crean, se les pueden introducir todas estas características. Para un estudio lumínico del edificio, sería de vital importancia la comprobación exhaustiva de todos los parámetros lumínicos de los materiales. Aquellos elementos que fueron descargados de bases de datos en páginas webs tienen todas las características que el fabricante le da a sus materiales. Los materiales que aporta la biblioteca de Revit, dependiendo del material, traen algunas de las arriba mencionadas propiedades. Al duplicar un material, se duplican todos sus parámetros, pudiendo modificar cualquiera de estos.

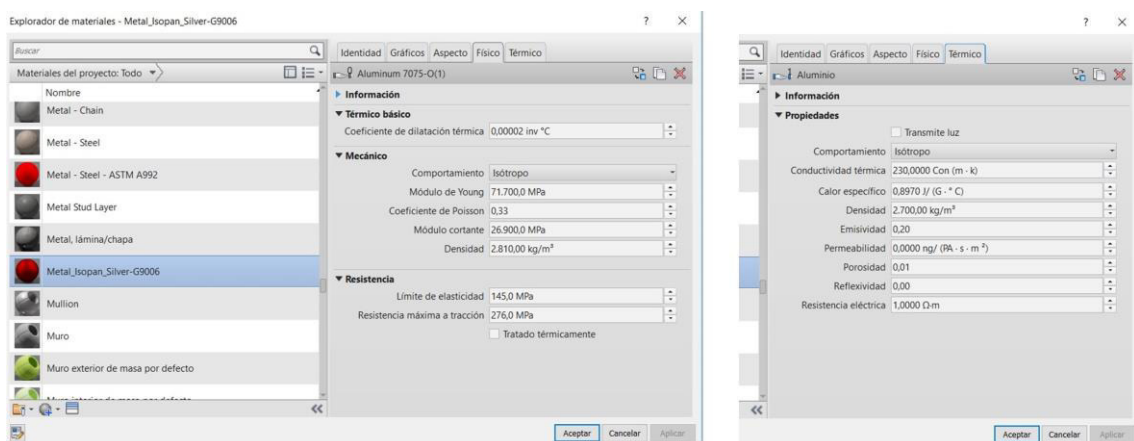


Figura 3-41 Propiedades físicas (izquierda) y térmicas (derecha) de los materiales

3.2.3.2 *Renderizados*

A lo largo del proyecto se generan diferentes tipos de renderizados, ya pueden ser con motivos de visualización de la maqueta o para la comprobación de errores. Un renderizado, es el proceso de generar una imagen o un vídeo a partir de un modelo 3D. Para ello se utiliza la mezcla de texturas, luces, materiales y animaciones, generando unas imágenes o vídeos que muchas veces pueden ser confundidos con fotografías reales. Para la obtención precisa de las texturas, se realiza un proceso de prueba y error en el que se modifica la textura, se genera un renderizado de prueba y se vuelve a modificar el material.

La creación de un buen renderizado comienza con la colocación de la “Cámara”. En el submenú “Vista”, en la pestaña “Cámara”, se pueden establecer las cámaras necesarias a las que se les otorga un campo de visión y una altura. Al tener dispuesta la cámara, se puede acceder a su visualización. Existen diferentes tipos de renderizado: borrador, media, alta, óptima o personalizada. Todas ellas dependiendo del nivel de detalle. A mayor detalle y calidad en la imagen, mayor será el tiempo empleado en su renderización.

Estas imágenes cobran una gran importancia en los proyectos de construcción, ya que el cliente se puede hacer una idea mucho más realista de cómo están distribuidos los elementos. En el proceso de renderizado se puede observar como la imagen va ganando nitidez a medida que el programa va renderizando las capas en las que ha dividido la imagen como se puede ver en la Figura 3-42.



Figura 3-42 Proceso de renderizado de imagen

Uno de los factores determinantes para la generación de renderizados es la iluminación. El programa permite tres configuraciones para el exterior y el interior del edificio: sólo sol, iluminación artificial y sol o sólo iluminación artificial. Si se utiliza la opción del sol, se ha de configurar para obtener el efecto deseado. Por otra parte, el efecto que genera la iluminación artificial es extremadamente realista debido a la profundidad que adquiere la imagen gracias a las sombras generadas por las luces.

3.3 Simulación 4D

En este apartado, se explicará el proceso seguido para la elaboración de una simulación 4D. Para ello es necesario, por una parte, la creación de una programación del tiempo, y por otra la animación de los distintos elementos que componen la maqueta virtual. Con la combinación de ambas se obtiene la simulación temporal del edificio.

Coincidiendo con la renovación del edificio y extrayendo cierta información del proyecto original, se optó por realizar la simulación temporal del tiempo transcurrido para la remodelación y ampliación que sufrió el edificio durante el año 2017. Con este fin, se utilizó el programa Microsoft Project para la elaboración detallada de este proceso. Obtenida la programación, se elaboró una simulación 4D con el programa Autodesk Navisworks Manage que muestra el avance en la construcción del proyecto con respecto al tiempo empleado.

3.3.1 Importación desde Autodesk Revit

El primer paso a seguir para la elaboración de la simulación temporal fue la importación de la maqueta virtual desde el software Revit. Como ya se mencionó anteriormente, la coordinación entre programas de esta mismo Suite es máxima. Por tanto, para introducir el modelo en el programa, se hace clic sobre la opción de importar archivo de Revit. Después de esperar a que el programa cargue todos los datos, apareció el modelo 3D que se había realizado en Revit en la interfaz del programa Navisworks.

Como se puede observar en la Figura 3-43, no sólo se permite la importación desde programas Autodesk, sino que permite incluir archivos desde otros softwares como pueden ser CATIA o Siemens NX.

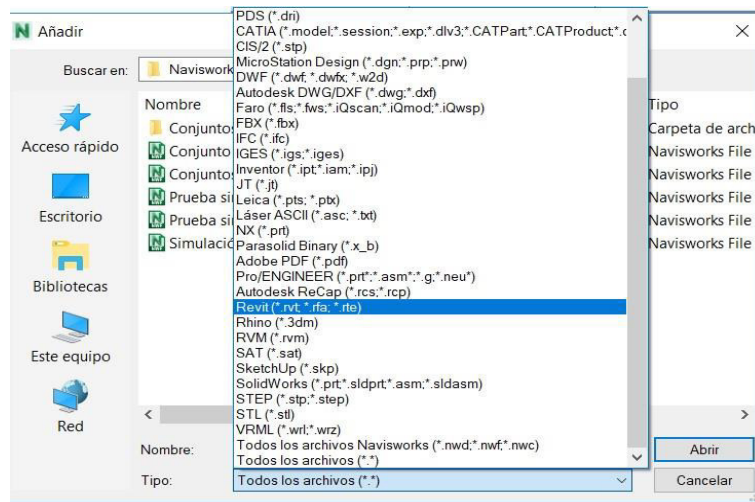


Figura 3-43 Formatos permitidos para la importación a Autodesk Navisworks Manage

Una vez se tiene el modelo importado en Navisworks, cualquier modificación que sea guardada en el modelo original, aparecerá en el modelo de Navisworks. Esto es debido a que el programa, cada vez que abre el proyecto con el que se está trabajando, actualiza el modelo del proyecto del cual había sido importado. Así, si se decide realizar una caja de sección del edificio en el programa Revit para poder visualizar el interior, en la siguiente actualización, aparecerá el modelo seccionado en la ventana del programa de Navisworks como se puede observar en la Figura 3-44.

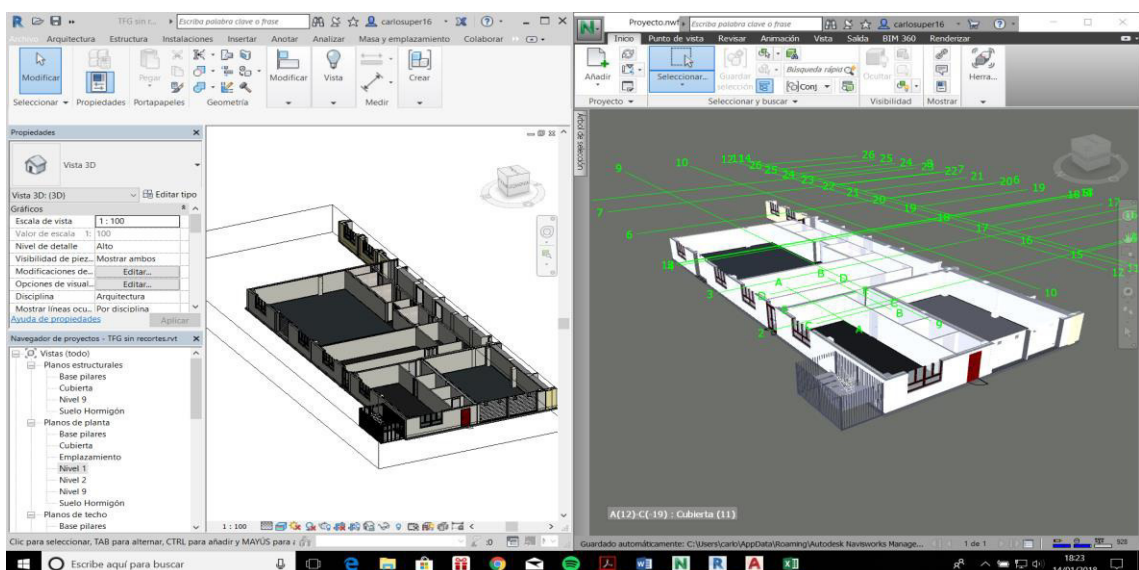


Figura 3-44 Modelo importado en Navisworks (derecha) desde Revit (izquierda)

Este hecho saca a la luz una de las principales características de los modelos colaborativos y de la interconexión entre diferentes softwares. La actualización inmediata de los modelos permite mantener al usuario al día de todas y cada una de las actualizaciones que vaya sufriendo la maqueta digital.

3.3.2 Interfaz Autodesk Navisworks Manage

Para la elaboración de esta etapa del proceso se ha utilizado el software Autodesk Navisworks Manage 2018. Al ser un programa que gestiona datos de diferentes modelos, es habitual tener varias pestañas abiertas en la interfaz, dejando un espacio reducido para la visualización del modelo.

Como en la mayoría de los softwares Autodesk, en la parte superior se encuentra el menú de navegación (zona “A” de la Figura 3-45), a través de él se pueden ejecutar todas las acciones, o abrir las ventanas que sean necesarias para la ejecución del trabajo. Para la simulación temporal suele seleccionarse la disposición que se muestra en la Figura 3-45 por ser la más cómoda para gestionar en su conjunto el proyecto. En la parte izquierda se tiene el “Árbol de Selección” (zona “B” de la Figura 3-45). En esta pestaña se puede seleccionar cualquier elemento que haya sido importado, ya sean pinturas, acabados, materiales o barridos. A mayores, permite la selección de un mismo conjunto, por ejemplo, de todos los muros tipo “S1” que fueron importados.

En la zona inferior de la pantalla (zona “C” de la Figura 3-45), se decidió colocar el Timeliner, herramienta que gestiona la relación entre la programación vinculada y las animaciones de los elementos. Al ser la herramienta principal para el desarrollo de esta parte del proyecto, ocupa la mayor parte del espacio. A la derecha se puede observar la ventana del Animator (zona “D” de la Figura 3-45), en esta, se le otorga a cada elemento una animación en un tiempo determinado. Por último, en el centro de la pantalla está la ventana de visualización del modelo (zona “E” de la Figura 3-45). En ella se puede rotar, seleccionar, visualizar y realizar los cambios necesarios.

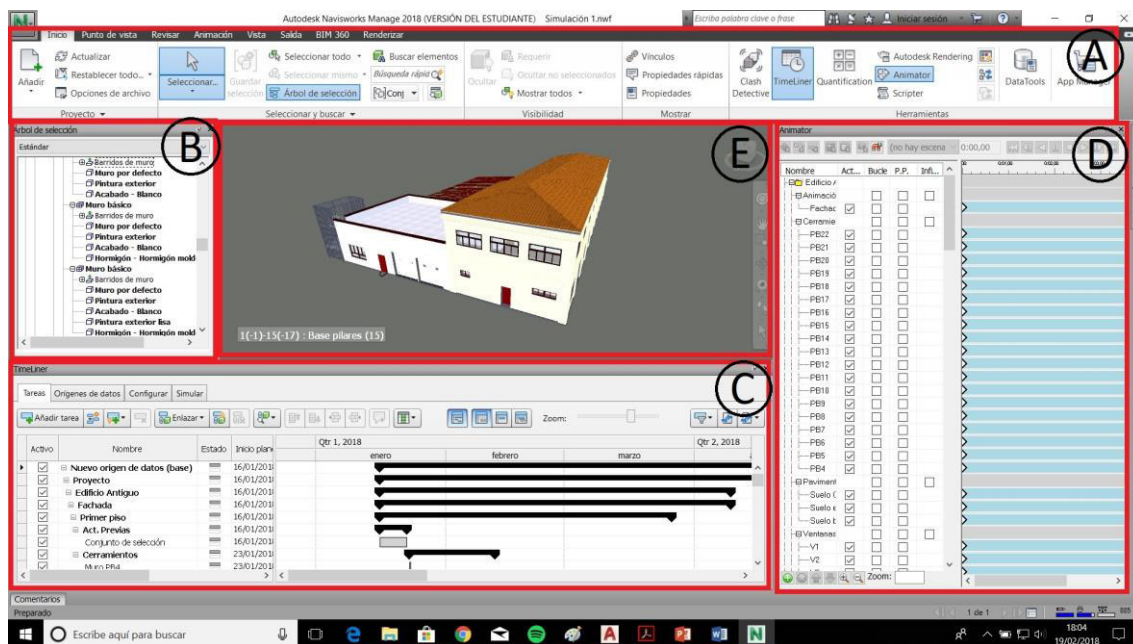


Figura 3-45 Distribución de la interfaz de Autodesk Navisworks

La distribución de las diferentes ventanas que se disponen en el programa se puede establecer a gusto del usuario, permitiendo multitud de configuraciones distintas.

3.3.3 Simulación

Para la creación de la simulación se decidió seguir el proceso que será descrito en este subapartado. No obstante, no es la única metodología para la obtención de una simulación temporal.

De hecho, se podría realizar el proceso de programación en el programa Autodesk Navisworks Manage. Se decidió utilizar el Microsoft Project porque permitía un mayor nivel de detalle en la programación además de ser uno de los programas más utilizados en este ámbito.

3.3.3.1 Generación de conjuntos

El primer paso para la creación de una simulación 4D es establecer unos conjuntos de selección al nivel de detalle al que se desea hacer la programación temporal. Es decir, si se desea establecer el tiempo que tarda en construirse un elemento individual, como bien pudiese ser un muro, se han de establecer conjuntos de selección que lleguen al nivel de detalle en el que se puedan seleccionar individualmente todos los muros.

Para la creación de conjuntos, existen dos opciones. En primer lugar, se puede hacer uso del buscador de elementos introduciendo ciertas propiedades que son únicas de cada elemento que se busca. Así, para facilitar el proceso, se puede poner una marca o una observación a cada elemento en el programa Revit, para que posteriormente sea más fácil su selección. Por ejemplo, si se le pone una observación a todas las ventanas del primer piso que pudiese: “ventanas primer planta”, se podría realizar la búsqueda de esta observación en el programa Navisworks, seleccionando directamente estas ventanas. En segundo lugar, se puede seleccionar sobre el modelo los elementos que se desea que formen parte de un conjunto. Es habitual seleccionar el acabado o la pintura, ya que se selecciona la capa exterior. Así, haciendo uso del Árbol de Selección, se selecciona el elemento en su totalidad y no únicamente una capa. En el presente trabajo, se seleccionaron todos los conjuntos desde el modelo. En cuanto el conjunto estaba creado, se procedía a ocultarlo para que fuesen quedando sólo los elementos que aún no han sido seleccionados dentro de un conjunto.

Al seleccionar un conjunto, se puede observar en la Figura 3-46 como los elementos que lo componen se somborean de azul. Una vez se tienen seleccionados, se pueden modificar todos a la vez y realizar acciones sobre todos los elementos seleccionados.

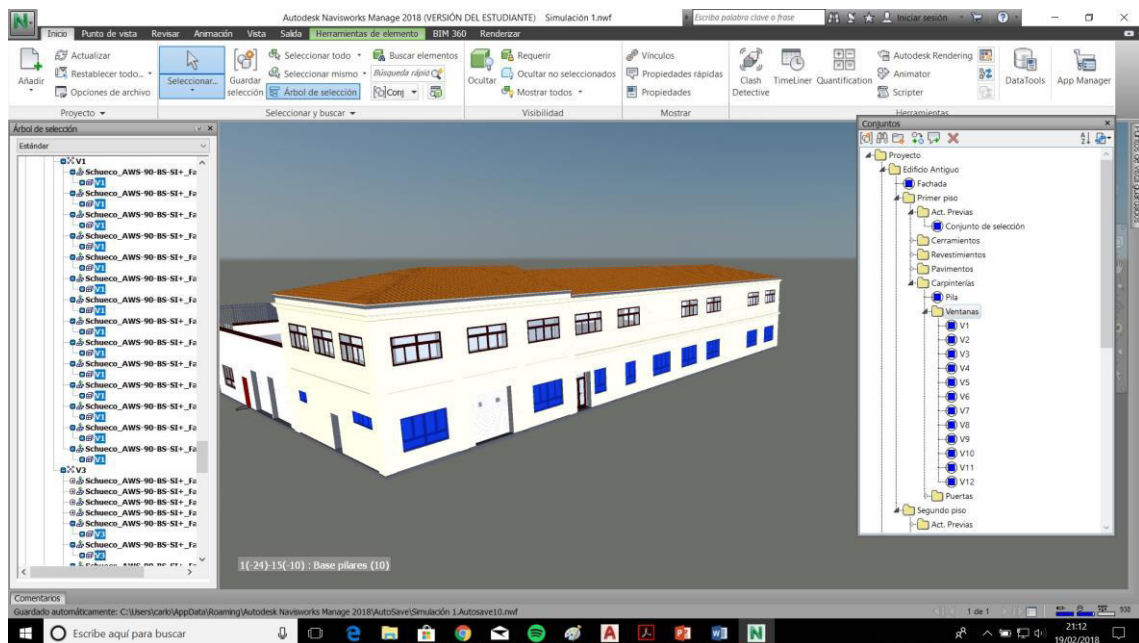


Figura 3-46 Creación de conjuntos de selección

El proceso se repitió para cada uno de los elementos en el modelo. Mediante la creación de carpetas y subcarpetas, se logró la organización de todos los subconjuntos. Finalmente, quedó todo dentro de una carpeta denominada “Proyecto” (ver Figura 3-47). Para la comprobación de que se crearon correctamente todos los conjuntos, al seleccionar esa carpeta y ocultar todos sus elementos,

quedó completamente vacío la ventana de visualización, garantizando que todos los elementos de la maqueta habían sido introducidos en algún subconjunto.

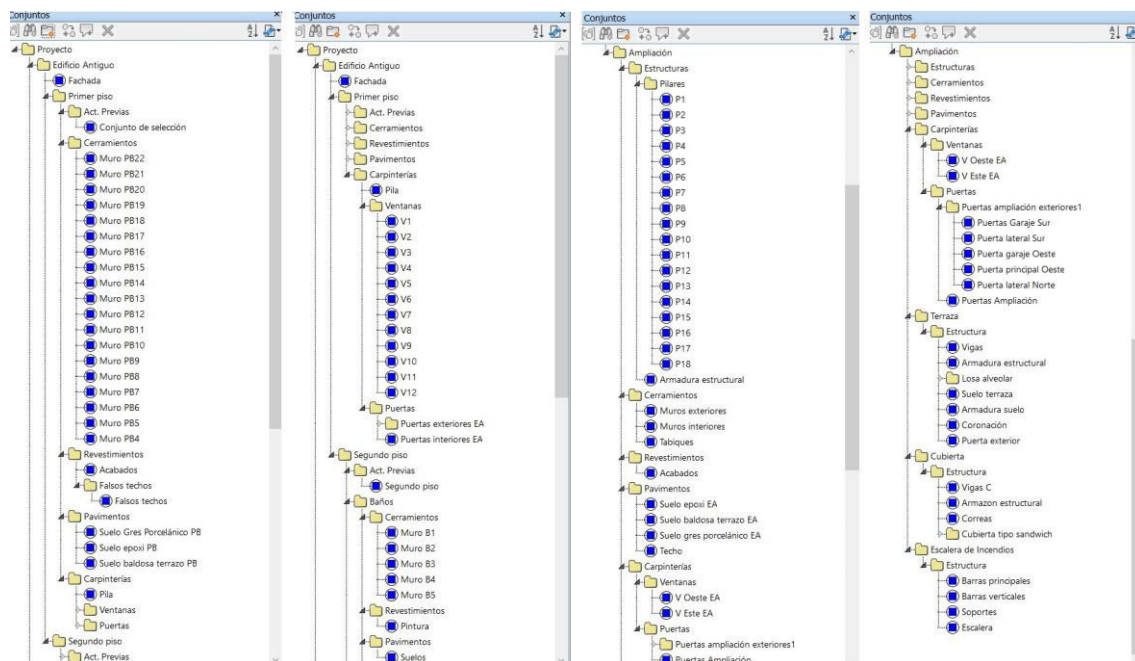


Figura 3-47 Desglose de los conjuntos de selección

3.3.3.2 Exportación de conjuntos

Para facilitar la generación de la programación en el programa Microsoft Project, se exportaron los conjuntos en formato CSV. Para ello, en la herramienta Timeliner, se seleccionó la opción en la pestaña “Añadir Tareas Automáticamente” de “Para cada conjunto”. Así se generó una tarea para cada uno de los conjuntos de selección que se crearon. El siguiente paso fue la exportación mediante la opción que daba el programa de “Exportar la planificación” se exportó en formato CSV.

Una vez se guardó el documento como formato CSV, se abrió el archivo desde el Microsoft Project. Al abrir el archivo, apareció el asistente para la importación de formatos CSV.

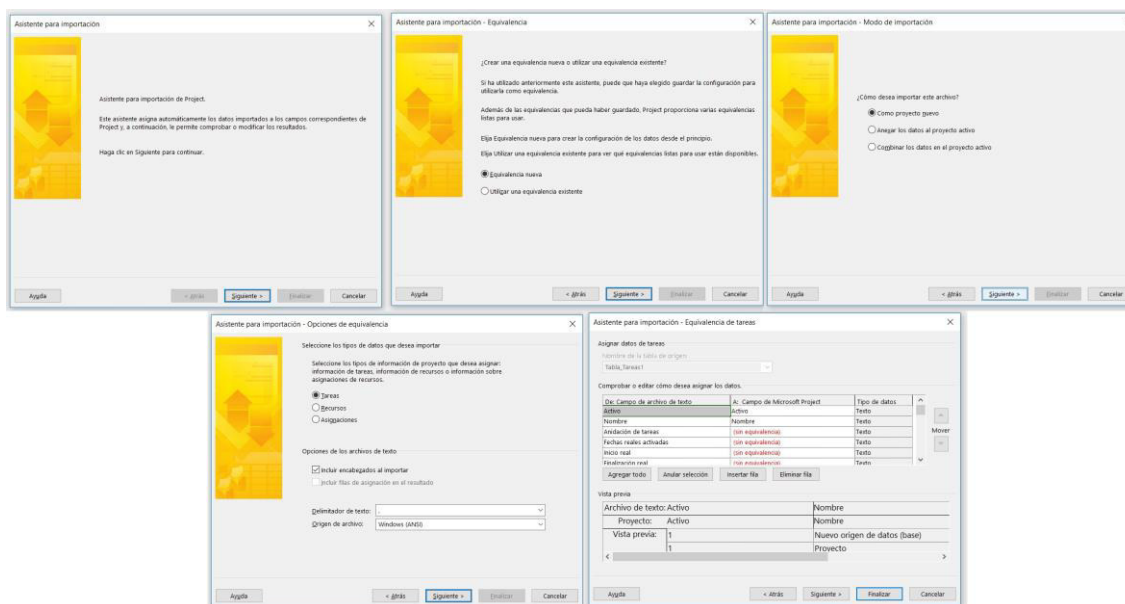


Figura 3-48 Asistente para la importación de archivos CSV

Siguiendo los pasos del asistente (ver Figura 3-48), en primer lugar, se seleccionó crear una equivalencia nueva. En segundo lugar, se marcó la opción de importar el archivo como un proyecto nuevo. Para la siguiente ventana, se seleccionó como tipo de información que se deseaba asignar la opción “Tareas”. En esta pestaña fue de vital importancia el cambio del delimitador de textos. Algunos ordenadores modernos les viene de serie el “;” como delimitador. Sin embargo, el CSV es un formato que sólo trabaja con “,”, por lo tanto, ese fue un parámetro que se cambió en el asistente. Por último, hubo que asignar a cada campo del archivo de texto, (de los campos que se exportaron del Navisworks), un campo del Microsoft Project. Terminado este proceso, se obtuvo para cada conjunto que se había creado una tarea en Microsoft Project. Se tuvieron que jerarquizar todas las tareas, ya que habían perdido la jerarquía. Es decir, se subordinó los conjuntos a las carpetas a las que correspondían y estas a su vez a las que correspondían.

Para finalizar, se guardó el proyecto como un archivo normal de Project. En este punto, se tenía una programación lineal extremadamente sencilla, las tareas se sucedían unas detrás de otras sin tener en cuenta la relación que existía entre ellas ni el tiempo que tardaba su ejecución.

3.3.3.3 Programación en Microsoft Project

Para realizar la programación de la remodelación y ampliación del Centro de investigación del CUD, se abrió el archivo que se creó con Microsoft Project 2016 con la programación sencilla del modelo. A partir de esta programación se comenzó a modificar todos los aspectos relacionados con el tiempo de transcurso de la obra.

En primer lugar, se estableció el calendario de trabajo. Es decir, se seleccionaron los días laborables a la semana y las horas diarias que iban a trabajar. Se optó por el calendario estándar, es decir, días laborables de lunes a viernes, y un horario de 09:00 h a 13:00 h por la mañana y de 15:00 h a 19:00 h por la tarde. En segundo lugar, se estableció el modo de programación automática, es decir, cuando se le introduzca una duración, dependiendo de la fecha de comienzo y de las preferencias, se establece una fecha de finalización. Posteriormente, se estableció la duración de cada uno de los elementos que fueron creados como conjuntos. Por ejemplo, de media, la duración de la construcción de un muro del edificio remodelado fue 6,31 horas. Sumando un total de 15 días para la construcción de todos los cerramientos de la zona de remodelación.

La programación que se realizó fue concorde con la que se desarrolló en la obra. Así, la programación está dividida en dos etapas: remodelación y ampliación. La duración total del proyecto se estimó en once meses. La primera etapa tuvo una duración de tres meses, mientras que la segunda etapa tuvo una duración de ocho meses.

Realizada la tarea de dotar a cada etapa una duración dentro del Project, el siguiente paso es el establecimiento de las tareas predecesoras. Esto es, cómo se va a vincular cada una de las tareas con la anterior y con la siguiente. Para ello existen cuatro opciones distintas:

- Fin a comienzo (FC): Si se establece esta predecesora, la tarea B comenzará justo al acabar la tarea A
- Comienzo a comienzo (CC): Al establecerla, la tarea B comenzará al mismo tiempo que la tarea A
- Fin a fin (FF): En este caso, la tarea B no puede terminar hasta que haya terminado la tarea A. No siendo necesario que finalicen al unísono.
- Comienzo a fin (CF): En esta configuración, la tarea B no puede terminar hasta que haya comenzado la tarea A.

Todas estas relaciones pueden ser modificadas. Es decir, para especificar un tiempo de adelanto, se hace uso de un signo negativo. Por ejemplo, “FC-1sem” quiere decir que la tarea B comenzará una semana antes de que finalice la tarea A. Para señalar un atraso, se hará uso del signo positivo, como, por ejemplo, “CC+1sem” quiere decir que la tarea B comenzará una semana después del comienzo de la semana A (ver Figura 3-49).

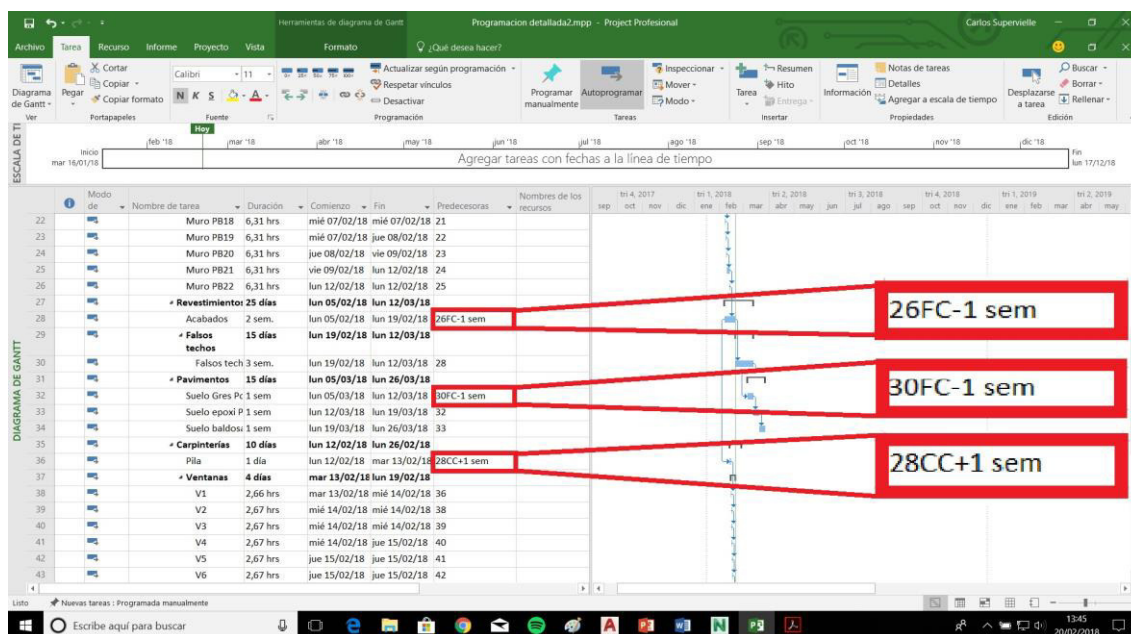


Figura 3-49 Establecimiento de tareas predecesoras

En el caso a tratar, algunos ejemplos de estas vinculaciones pueden ser la relación entre cerramientos y revestimientos. La etapa de revestimientos comienza una semana antes del final de la etapa de cerramientos. Esto es así ya que se puede ir colocando revestimientos en los tabiques y muros que ya hayan sido colocados, acelerando el proceso de construcción.

3.3.3.4 Importación de la programación

Finalizado el proceso de generación de la programación en un programa específico como Microsoft Project, se procede a la importación a Autodesk Navisworks Manage del desarrollo temporal elaborado. Un aspecto positivo de Navisworks es que permite la importación desde el programa Project, y por lo tanto no suele haber errores en la importación.

Dentro de la herramienta Timeliner, en la pestaña “Orígenes de datos”, se permite la importación de diferentes formatos de Microsoft Project como por ejemplo el formato CSV, el MPX o los formatos tradicionales de Microsoft Project 2007-2013 (ver Figura 3-49). Se seleccionó esta última opción ya que fue en el formato en el que se guardó la programación.

A mayores, se permite la actualización del vínculo a la programación. Así, cualquier modificación realizada a posteriori en el archivo de Microsoft Project, se podrá actualizar automáticamente en el Timeliner del Navisworks.

Al realizar la vinculación, se mostró en la ventana del Timeliner el desglose de todas las tareas tal y como se había realizado en la programación. Además, se tienen ciertos campos aún por rellenar. Uno de ellos que sí que es obligatorio rellenar es el “Tipo de tarea”, es importante para asignarle un modo de visualización. Es decir, todas las tareas que sean del tipo “Construcción” se visualizarán en el modelo de una determinada manera.

En el software se pueden generar cuantos tipos de tareas quiera el usuario, otorgando una visualización distinta a cada uno y pudiendo diferenciarlos en la visualización de la simulación.

Por otra parte, se pueden vincular varios archivos distintos a la misma simulación temporal. En Navisworks se cargan ambos archivos y se importan a la ventana del Timeliner, gestionando los tiempos y estableciendo las precedencias correspondientes se permite una correcta relación entre ambas programaciones.

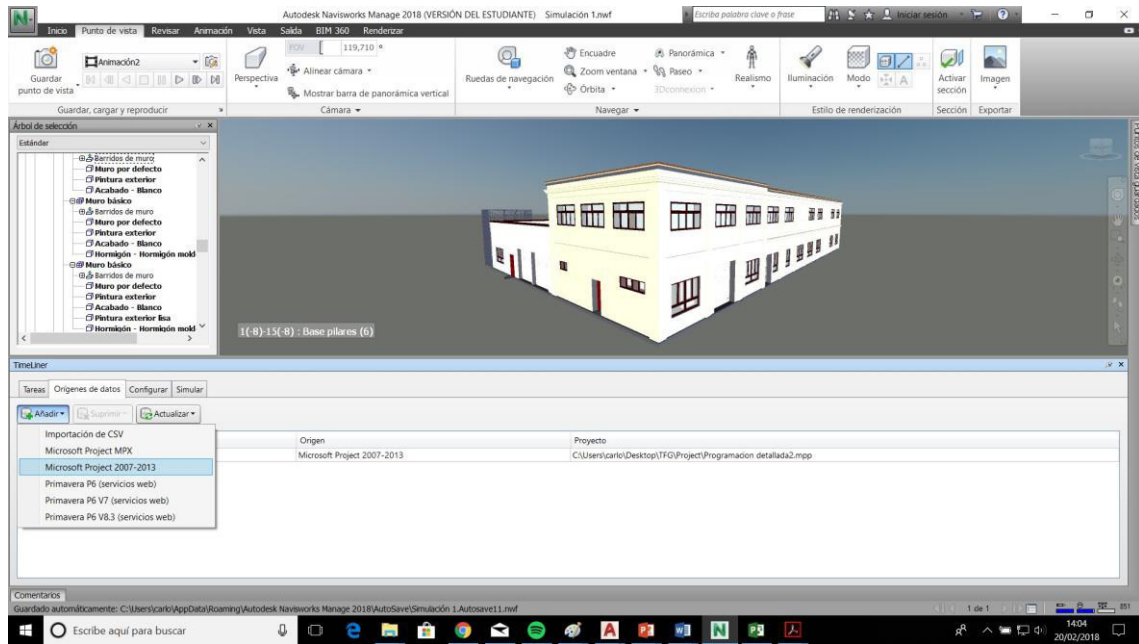


Figura 3-50 Importación de programación a software Autodesk Navisworks Manage

Siguiendo este proceso, se obtiene una vinculación dinámica de la programación. Este hecho muestra una vez más la interoperabilidad de la metodología BIM en diferentes aspectos.

3.3.3.5 Enlazar conjuntos y tareas

El siguiente paso en el proceso de creación de la simulación temporal es enlazar a cada una de las tareas un conjunto de selección de los que se habían creado.

A pesar de que el programa permite la incorporación directa de programaciones de Microsoft Project y evitar el paso desarrollado en el apartado 3.3.3.2, el hacer esa etapa facilita enormemente la vinculación de conjuntos y tareas. Esto es así ya que los conjuntos se vinculan a tareas con su mismo nombre. Por lo tanto, al exportar todos los conjuntos, se garantizó que cada tarea tenía el mismo nombre que el conjunto al que representaba. De ahí la importancia de no repetir ningún nombre para distintos conjuntos de selección, sino a la hora de vincularlos, no se realizará de manera correcta. En este caso, no se cometió ese error; sin embargo, sí que se generaron carpetas que compartían nombre con algunos conjuntos. Por lo tanto, se le adjudicaron conjuntos a carpetas que no tenían un tiempo asignado en el desarrollo del proyecto. La solución fue eliminar el enlace en aquellas tareas que lo tenían y no debían.

Para realizar el vínculo, se utilizó la opción “Enlazar automáticamente mediante reglas” de la herramienta Timeliner. En la ventana que se despliega, se seleccionó la segunda opción, enlazar los conjuntos de selección a las tareas con el mismo nombre. Al aplicar la regla, en la columna de “Enlazado” se vincula cada uno de los conjuntos a su respectiva tarea, como se puede observar en la Figura 3-51.

Si fuese necesario crear nuevos conjuntos, se podrían enlazar manualmente a las tareas que se desearan. Sin embargo, realizar este proceso para cada una de las tareas en una programación detallada, sería un proceso muy laborioso. Si se desea añadir alguna tarea más en la programación, se debería crear esta tarea en el archivo de Microsoft Project. Luego, se actualizaría en el Timeliner el vínculo, generándose de manera automática esta nueva tarea. El siguiente paso sería la creación de un nuevo conjunto de selección, el cual deberá tener el mismo nombre que la tarea que se ha añadido. Por último, se enlaza dicho conjunto en la columna “Enlazado” del Timeliner, quedando ambos vinculados.

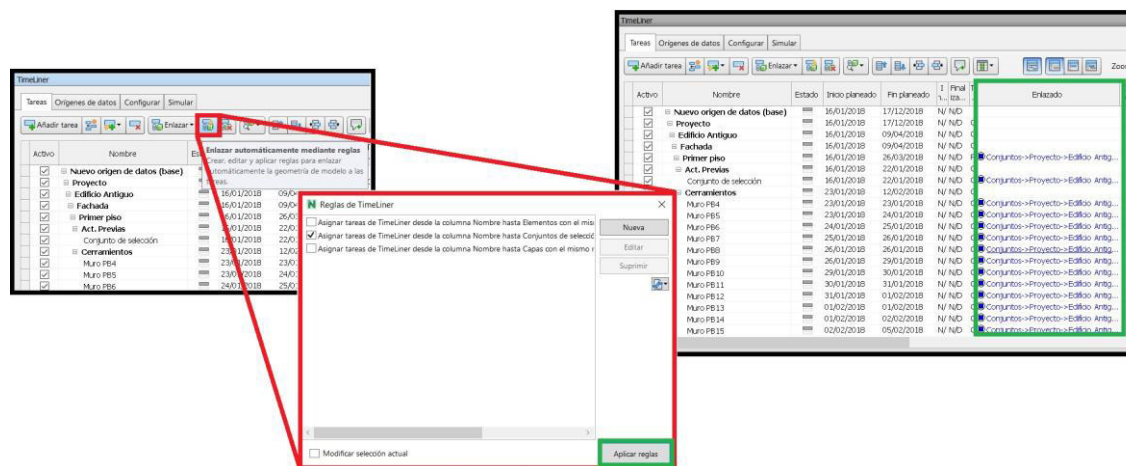


Figura 3-51 Proceso de enlace de conjuntos de selección y tareas

A estas alturas del proceso, ya se ha generado una simulación temporal muy sencilla. Si se selecciona la pestaña de simular y se le da al botón de comenzar, se obtiene una simulación temporal estática. Es decir, van apareciendo en su sitio cada uno de los elementos a medida que va transcurriendo el tiempo de la simulación.

3.3.3.6 Animación

3.3.3.6.1 Animación de elementos

Para dar una mayor complejidad y vistosidad a la simulación, se procedió a animar individualmente cada conjunto de selección que ha sido utilizado. Para ello se utiliza la herramienta Animator. En la ventana destinada para ello se añadieron dos carpetas de escenas, una para la zona de remodelación y otra para la ampliación del edificio. El siguiente paso fue crear las diferentes escenas para cada uno de los conjuntos. Una escena es un conjunto de animaciones, por ejemplo, se creó una escena denominada cerramientos, en ella se encontraban todas las animaciones de los cerramientos del edificio remodelado.

La creación de animaciones se realiza haciendo clic derecho sobre una escena, mediante la opción “Añadir conjunto de animación” y seleccionando “A partir de la selección actual”. Por lo tanto, se generará una animación para el conjunto que estuviese seleccionado. Con el selector de tiempos en el instante inicial, se seleccionó “Capturar fotograma clave”, luego, se seleccionó el tiempo a 5s y se procedió de igual manera. Así, se creó una animación de cinco segundos. El tiempo que se seleccione de animación no es de importancia ya que una vez se realice la vinculación, durará lo que establezca la tarea.

Las animaciones se crean haciendo clic derecho sobre el inicio y el final de la barra de tiempos. Así, se establecerá el estado inicial del elemento y el estado final, y el programa generará la animación uniendo ambas. Por lo general, el estado final no se modifica ya que se pretende que quede en su lugar y con las dimensiones reales. Así, lo habitual suele ser la modificación del estado inicial. Al abrir el “Editor de fotograma clave”, se pueden modificar alguno de los siguientes parámetros: trasladar, centro, girar, escala y la transparencia. Por ejemplo, si se quiere que un elemento se desplace en el modelo desde 20 metros en el eje x, se establecerá el valor “20” en el apartado trasladar. Manteniendo el fotograma final como estaba originalmente, es decir, con todos los valores a cero, se consigue una animación en la que el elemento se traslada desde 20 metros. También se puede modificar la escala inicial, generando un aumento de escala durante la animación que dará una sensación de crecimiento en el elemento.

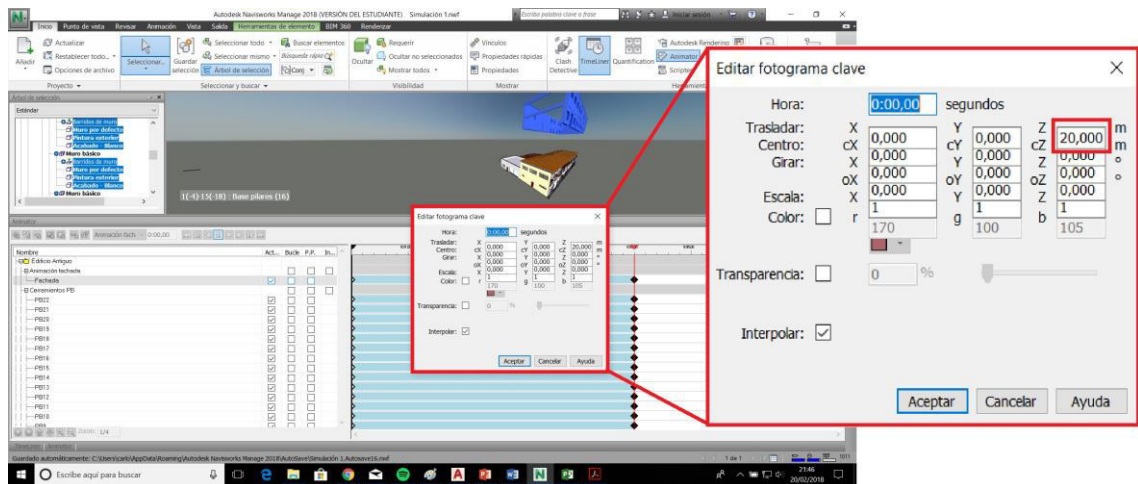


Figura 3-52 Edición de fotogramas para la creación de animaciones

Para generar de una forma rápida todas las animaciones de un mismo tipo, se copia la animación anterior en cada escena. Se selecciona el siguiente elemento de esa escena y se actualiza en la copia el conjunto seleccionado. Con este procedimiento no es necesario generar la misma animación repetidas veces.

Se ha de tener en cuenta que la animación que se cree irá vinculada a una tarea, es decir, a un tiempo dentro de la totalidad del proyecto. Así, se debe de tener en cuenta que no se puede pretender tener animaciones largas para elementos que, en relación al proyecto, su duración es corta. Esto es debido a que apenas se podrá visualizar la animación. Un claro ejemplo de esto es la escalera de emergencias. Para su colocación se estima una duración de cuatro días, por lo tanto, animar individualmente cada uno de los barrotes que la componen no tendría sentido ya que no habría tiempo para su visualización. Por esto se decidió realizar el movimiento de este elemento separando por un lado la escalera en su totalidad, y por otro todas las vigas y pilares, como se puede observar en la Figura 3-53.

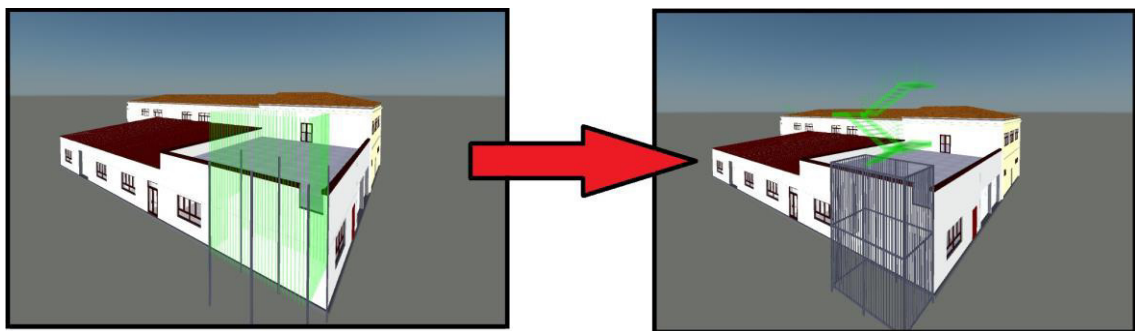


Figura 3-53 Animación de la escalera de incendios

Al generar una animación para cada conjunto, se hace una simulación mucho más vistosa para el cliente. Además, se puede apreciar de una manera más clara el orden en el proceso de construcción.

3.3.3.6.2 Animación de puntos de vista

Para dar un mayor grado de complejidad a la simulación 4D se procedió a incluir un movimiento de la cámara a mientras se desarrolla la simulación.

Se debieron crear varios puntos de vista para la creación de esta animación. Para ello, se selecciona la opción “Guardar punto de vista” dentro de la ventana principal “Punto de vista”. Al presionar el botón, automáticamente se guarda la vista actual del modelo. Se le adjudica un nombre para poder identificarla. Se repite el mismo proceso con las vistas que se desea que conformen la

animación (ver Figura 3-54). Una vez se tienen todas, se seleccionan y presionando el botón derecho, se selecciona “Agregar animación”.

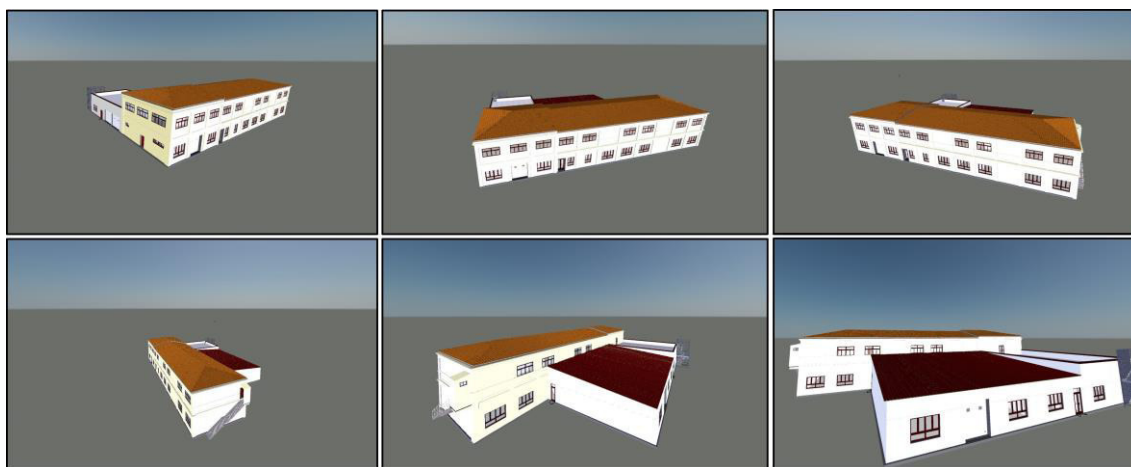


Figura 3-54 Secuencia de puntos de vista sucesivos para la generación de animación

El programa automáticamente realiza transiciones suaves entre cada imagen que se había guardado. Así, se crea un video con los puntos de vista que habían sido seleccionados. Por otra parte, se ha de determinar la duración de la animación, que debe de ser la misma que la que se establezca para la simulación temporal. Para ello, se seleccionó la opción de editar los parámetros de la animación y se insertó una duración de sesenta segundos.

Con la animación creada tan solo quedaba vincularla a la simulación temporal. Para ello, en el Timeliner, dentro de la pestaña “Simulación”, se seleccionó la opción “Configuración”. En la ventana que apareció se eligió dentro de la opción “Animación”, “Animación de puntos de vista guardados”. Con esta selección, se introduce en la simulación la animación de los puntos de vista que anteriormente se habían creado.

3.3.3.6.3 Visualización

Como ya se comentó en el apartado 3.3.3.4, el tipo de tarea establece, entre otros, el código de colores que llevará la animación de ese elemento. De serie, viene establecido que aquellos que en el tipo de tarea se haya seleccionado “Construcción”, se visualizará en verde al 90% de transparencia como aspecto de inicio, mientras que al final tendrá el aspecto del modelo. A mayores, se introdujo un tipo de tarea denominado “Permanente”, para el cual el aspecto de inicio será un color violeta al 90% de transparencia y para el aspecto final, el del modelo. Así, se puede diferenciar claramente la parte del edificio que no ha sufrido modificaciones (en violeta) y la parte del edificio que ha sido remodelada y ampliada (en verde) como se puede observar en la Figura 3-55. Todas estas características están sujetas a modificaciones dependiendo de las intenciones para la visualización del modelo del diseñador. De hecho, se podría establecer que el modelo entrase desde un principio con el aspecto del modelo y por tanto no se viesen las transparencias.

Así, a la fachada del edificio y a las zonas del segundo piso que no sufrieron modificaciones se les estableció un tipo de tarea “Permanente”, diferenciándolas claramente de aquellas partes que iban a ser de nueva construcción y serían visualizadas en el modelo con verde transparente.

Asimismo, se permite la modificación del texto que aparece en la ventana de simulación. El formato estándar es el día de la semana, hora y fecha, el número de días que han transcurrido y por último el número de semanas que han transcurrido. Para su modificación, se debe seleccionar la opción configuración de la simulación dentro de la pestaña “Simulación”. En la ventana que aparece, se debe seleccionar la edición del texto, pudiendo desde aquí añadir o suprimir aquellos valores que se deseen.

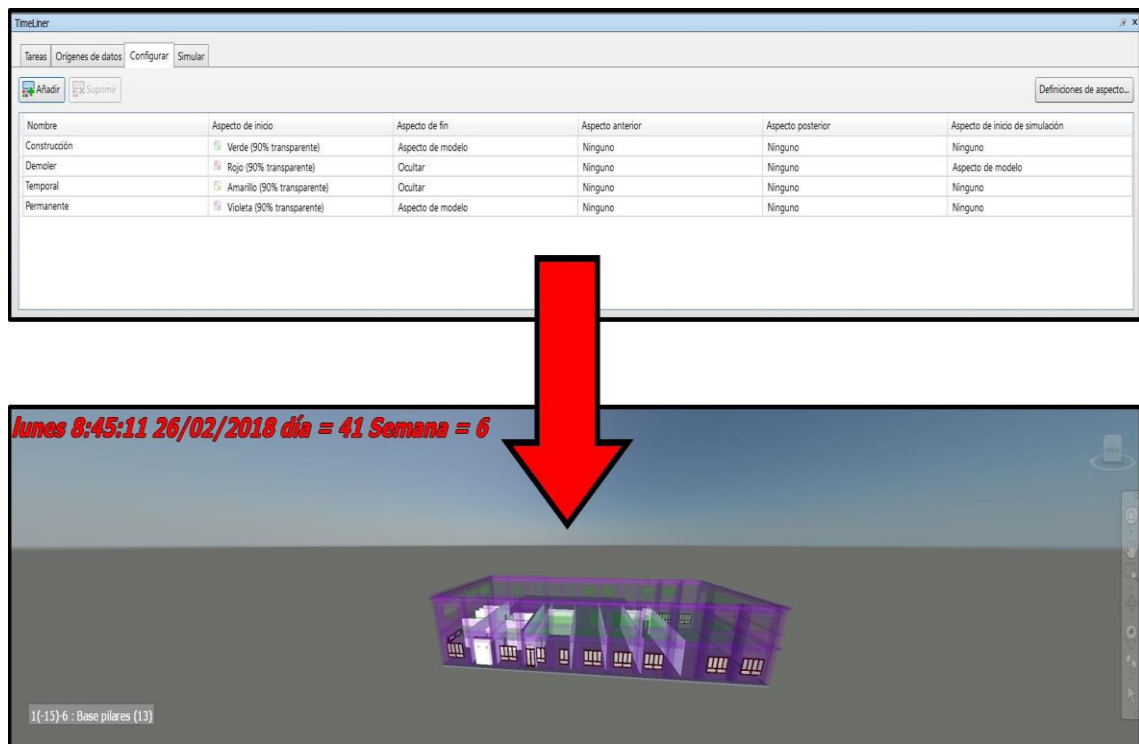


Figura 3-55 Aspectos de visualización en la simulación

Habiendo seguido todo el proceso descrito, se obtiene una simulación 4D completa, incluyendo las animaciones que la hacen más vistosa. Asimismo, una vez obtenida la simulación, cualquier modificación se realiza de una manera mucho más rápida, ya que la actualización de los modelos permite realizarla de forma automática.

3.4 Impresión 3D

En el presente apartado se describirá el proceso seguido para la consecución de una maqueta a partir del modelo 3D que se realizó. Para ello se explicará de forma detallada los pasos en dicho proceso.

3.4.1 Exportación a STL

Un fichero STL es un formato de archivo que define geometrías 3D, excluyendo características como texturas, color o propiedades físicas que sí que estarían presentes en otros formatos de diseño asistido por computadora (CAD) como por ejemplo Revit.

Los archivos STL se pueden obtener de dos clases de datos: desde una nube de puntos o mediante la exportación desde diferentes formatos de CAD. Para la creación del STL a partir de la nube de puntos, el software tratará de unir todos los puntos de forma óptima teniendo en cuenta el proceso de digitalizado.

Por otra parte, es el formato estándar para tecnología de impresión aditiva y utiliza un mallado triangular. A menor tamaño de triángulo, mayor resolución y calidad, sin embargo, mayor será el peso del fichero. Por tanto, se debe llegar a un equilibrio entre peso del fichero y resolución.

Como ya se ha hecho patente a lo largo del trabajo, Autodesk Revit es un software que permite trabajar con multitud de formatos además de otros programas. Para poder exportar a formato STL, se ha de instalar un complemento dentro del programa de Revit. El complemento se puede encontrar dentro de las actualizaciones de Autodesk. Se procede a instalar el complemento “STL Exporter for Revit 2018”. Una vez instalado, aparece en la interfaz de Revit en la pestaña de complementos, la nueva herramienta (ver Figura 3-56)

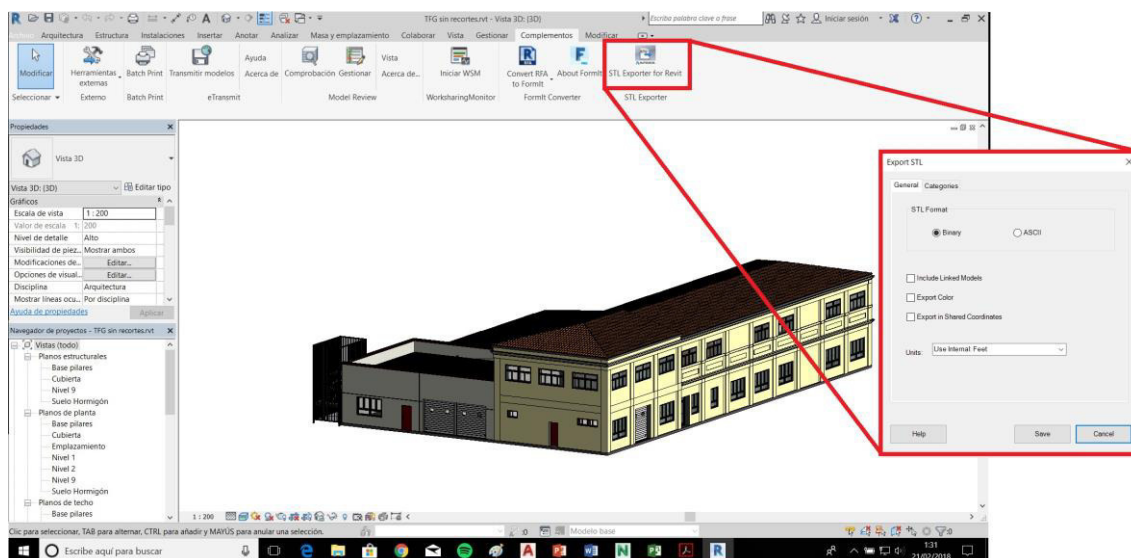


Figura 3-56 Herramienta para exportar a STL desde Autodesk Revit

Para la exportación, se debe tener claro que el modelo que se va a exportar es el que se esté visualizando en la ventana. Es decir, si se ha utilizado una caja de sección para realizar un corte, tan sólo se exportará la sección que ha sido cortada. En la ventana de exportación se puede seleccionar el formato del STL, bien binario o en formato ASCII.

ASCII (acrónimo inglés de “American Standard Code for Information Interchange”, Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información) es un código de caracteres basado en el alfabeto latino. Es por esto que puede ser leído y editado por un editor de textos. Sin embargo, el código binario es una sucesión de bits que transportan información. En este caso, se exportó en formato binario ya que no se realizarían modificaciones posteriores al archivo.

3.4.2 Selección de maqueta

En este subapartado se explicará el diseño que se ha seleccionado para el modelo, el método de impresión y dentro de este el material que se ha seleccionado para la elaboración de la maqueta. Por último, se escogerá el color de la impresión.

3.4.2.1 Selección de diseño de impresión

La representación de la parte exterior del edificio en una sola pieza es una de las opciones que se podrían haber escogido para la fabricación de la maqueta. En este caso, se hubiese perdido gran parte de la información que aporta la maqueta ya que todos los elementos internos no podrían ser visualizados. Por otra parte, sería un proceso en el que habría que realizar una enorme adaptación del edificio ya que habría que eliminar toda la parte interna para que la impresora no intente imprimirla y en su lugar genere un relleno.

Otra opción hubiese sido la impresión de un corte del edificio, mostrando por una parte la cara exterior y por otra toda la parte interna del edificio. Una opción en la que no se obtendría una visualización general de todo el modelo

Las características que se deseaban para la fabricación de la maqueta eran la visualización de la distribución interna del edificio y poder visualizar el edificio al completo. Por lo tanto, se optó por la opción de imprimir cada planta por separado (ver Figura 3-57). Así se podría visualizar el interior de cada planta separándolas o por otra parte se podrían apilar las tres y visualizar el exterior del edificio. Además, se ahorra material al no tener que rellenar el edificio por dentro en el caso de representarlo al completo.

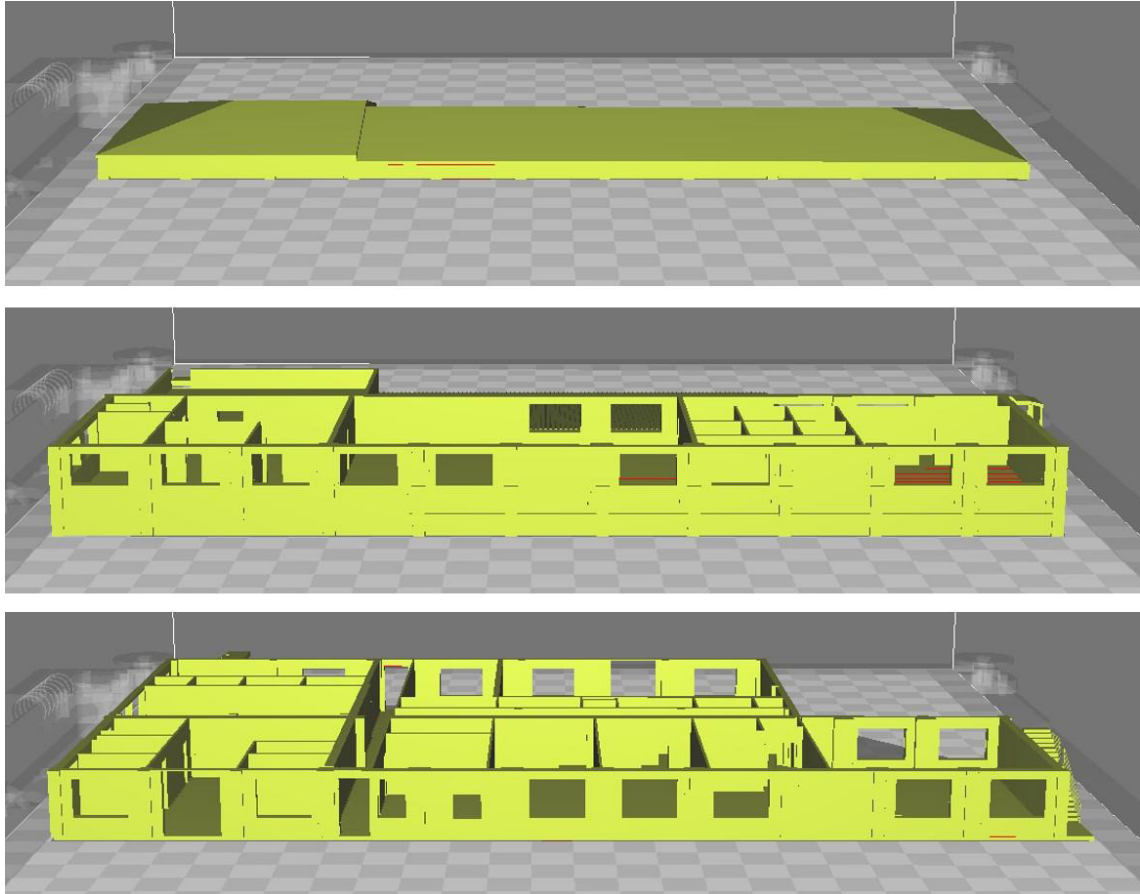


Figura 3-57 División del edificio por plantas para impresión

3.4.2.2 Selección de método de impresión

Como ya se mencionó en el apartado 2.6.4, existen multitud de métodos de impresión. Sin embargo, se seleccionó el modelado por deposición fundida con PLA debido a que es el más barato y extendido en impresión 3D. A mayores, se obtiene un modelo con mayor detalle que por otros métodos de impresión más caros como pudiese ser la impresión en Z-CORP.

Por otro lado, se seleccionó el color blanco para imprimir ya que con este color se generan determinadas sombras que dan sensación de profundidad en el modelo. Este efecto es menos acusado en otros colores disponibles.

3.4.3 Adaptación del modelo

El alto nivel de detalle que se logró en el modelo virtual requiere que se realicen ciertas modificaciones sobre el modelo 3D para conseguir que sea un modelo imprimible. Para ello, se realizaron algunas adaptaciones en el modelo, manteniendo la esencia del edificio.

En primer lugar, se decide que, para la maqueta, se va a prescindir de puertas y ventanas, dando una mayor sensación de profundidad a la maqueta y generando ciertas sombras que ayudan a generar una sensación de realismo (ver Figura 3-58). Como ya se mencionó en el apartado 3.4.1, se exportan sólo los elementos que estén visibles, por lo tanto, en la vista 3D en Revit, se selecciona las “Modificaciones de visibilidad” y se deja visible todos los elementos exceptuando puertas y ventanas.

Otra de las modificaciones fue el tejado. Debido a la forma en que fue generado, cada teja es un elemento individual con geometría por la cara interna y por la externa. La impresora, intenta realizar cada una de las geometrías, y al ser el conjunto de tanta complejidad, podría fallar a la hora de imprimir. Además, en las aristas del tejado, debe ir intercalando cada teja con un patrón de impresión

extremadamente complicado. Debido a esto, se debió de simplificar el tejado, creando una superficie rugosa que simulase las tejas.

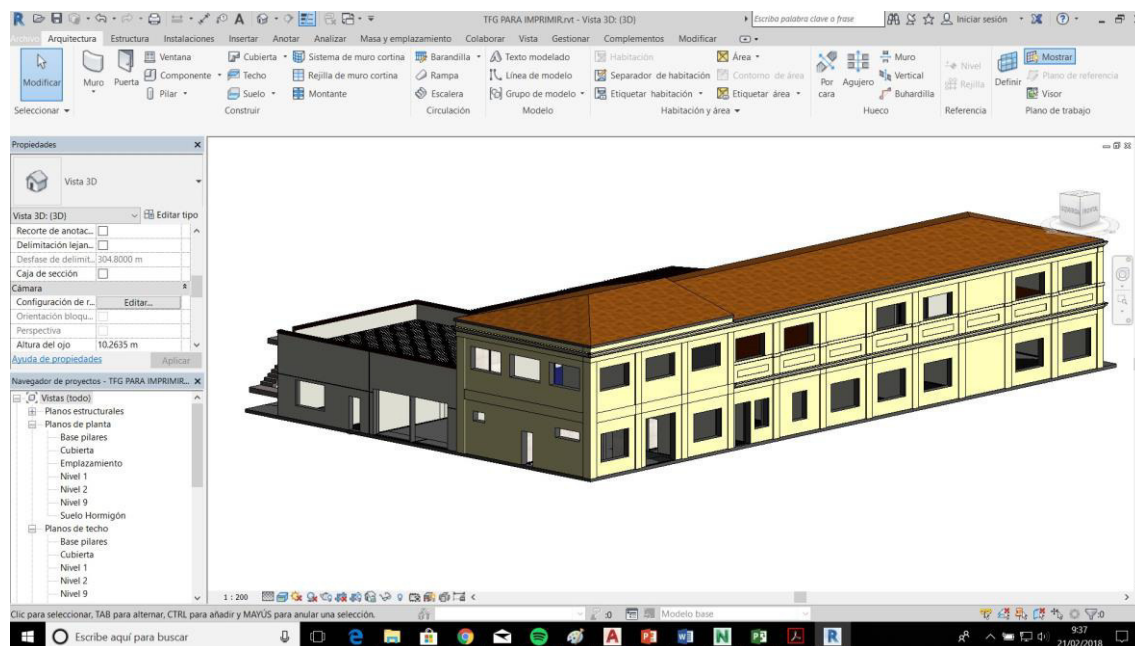


Figura 3-58 Eliminación de carpintería para impresión 3D

En cuanto a la escalera de incendios, se tuvo que pegar al edificio para darle una sustentación firme y evitar roturas durante el proceso de deposición de material. Además, los barrotes de la estructura eran más finos que el mínimo espesor que permite la boquilla, 0.5 mm. Es por esto que se decidió abrir completamente la escalera y dejarla al aire para poder visualizarla sin obstáculos. Además, se hicieron continuos los peldaños de los escalones para poder imprimirlo.

Otra de las modificaciones que hubo que realizar fue la eliminación de elementos que no iban a ser visibles en la maqueta. Por ejemplo, las vigas del tejado, que quedaban escondidas entre el tejado y el techo de la primera planta. Todos estos elementos que no iban a ser representados, hubo que limpiarlos del modelo. La razón es que, si la impresora tiene un vacío en el modelo, genera un relleno de una determinada densidad para dar consistencia a la estructura. Este relleno lo genera de una manera relativamente sencilla y con un patrón establecido. Sin embargo, si encuentra elementos en una zona vacía, intentará representarlos, generando estructuras que los soporten y haciendo mucho más complicada su impresión. El mismo caso sucede con las vigas y estructuras que se encuentran desde el primer falso techo de la planta baja hasta el suelo de la primera planta. Por lo tanto, se decidió eliminar todos estos elementos que no iban a ser vistos y eliminar el falso techo acústico que no se iba a poder visualizar.

Asimismo, para una buena impresión es preferible que la base del elemento sea continua, para evitar que el modelo se desprenda mientras se está creando. Así, hubo que recortar los pilares de la estructura que sobresalían por debajo del nivel base del elemento. Sino hubiese sido así, el modelo se hubiese intentado imprimir sobre los pilares. Para las primeras capas, que serían las representaciones de los pilares no habría inconveniente. Sin embargo, al llegar al suelo de la planta baja, la impresora tendría que haber creado una estructura de sustentación para toda la superficie del suelo. Se generaría la base de toda la estructura en el aire, y por tanto no tendría un buen apoyo (ver Figura 3-59 en la que la zona azul es material de soporte). El problema llegaría al intentar desprender la maqueta de la cama de impresión ya que, al ser la base en su mayor parte relleno, será una zona con muchos agujeros que puede colapsar al intentar sacar el modelo de la impresora.

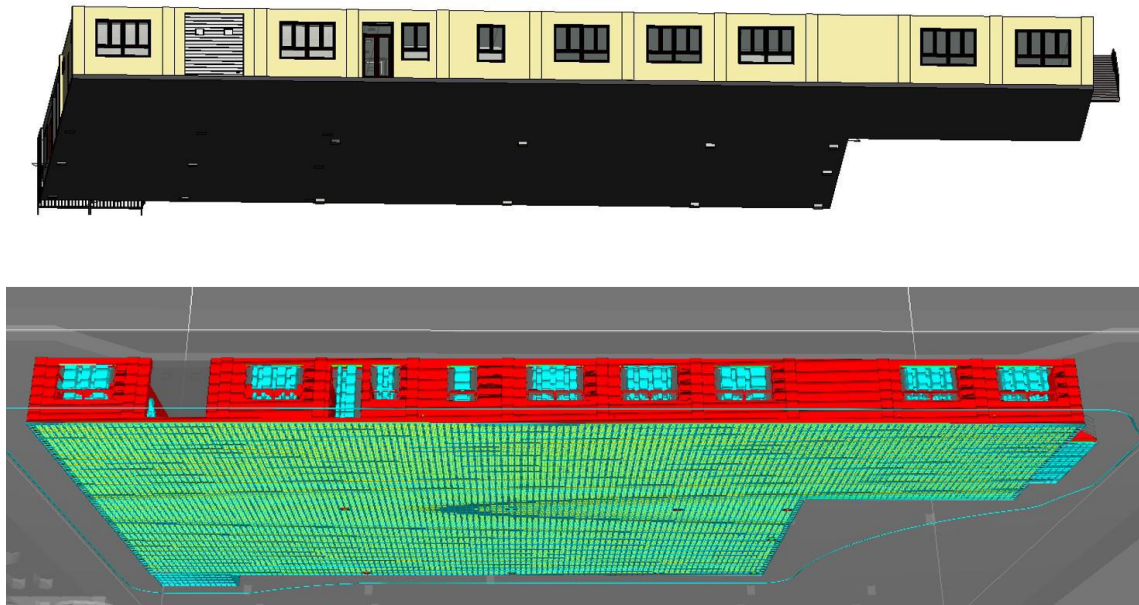


Figura 3-59 Comparación de pilares en modelo original (superior) y modelo para imprimir (inferior)

Lo mismo sucedía con la estructura del primer piso. El falso techo, que hacía de suelo para la elaboración de la segunda planta, hubo que limpiarlo para que quedase liso y se pudiese tener una buena base de sustentación.

3.4.4 Software Cura Lulzbot

Todo el proceso de optimización del modelo para su impresión 3D se realizó mediante el programa Cura Lulzbot. Este es un programa que por una parte prepara el modelo para ser impreso, y por otra, y permite el control de la impresora 3D. Al visualizar el modelo, se pueden percibir las modificaciones que se han de realizar para conseguir que el modelo pueda ser imprimible.

3.4.4.1 Impresora 3D

Para la realización de la maqueta, se utilizó la impresora TAZ 5 de Lulzbot. La interoperabilidad entre la impresora y el programa Cura es máxima ya que el software se diseñó específicamente para el trabajo con impresoras de esta casa.

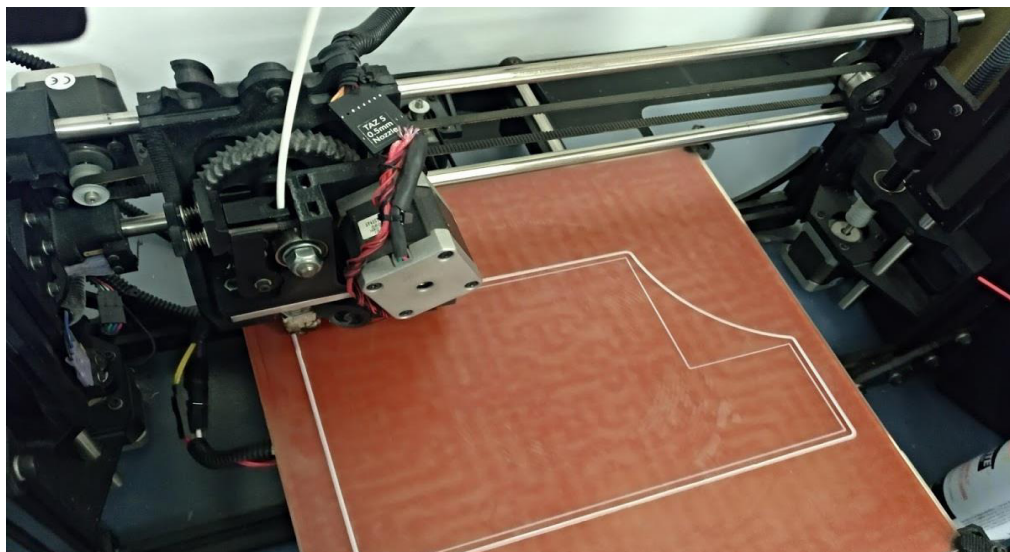


Figura 3-60 Impresora Lulzbot TAZ 5

Es una impresora de escritorio que permite realizar los modelos de mayor dimensión dentro de este tipo de equipos. Además, tiene la capacidad de mantener el plato de construcción caliente mientras se realiza la impresión. Así, cuando se desea seguir imprimiendo, el calor mantiene los elementos unidos, y al terminar se enfría para permitir despegarlo. Sus características se muestran en la Tabla 3-4.

Características	Valores
Área de impresión	298 mm x 275 mm x 250 mm
Rapidez impresión máxima	200mm/s
Materiales de impresión	ABS, PLA, PET, Nylon, Polycarbonate, Flexible, HIPS, Polyester, PETG
Media de volumen producido	300 mm ³ /min
Resolución de capa	75-350 micrones
Espesor de la capa	0.050mm – 0.50mm
Tamaño del filamento compatible	3mm

Tabla 3-4 Características Impresora 3D Lulzbot TAZ 5

Aunque tiene pequeños fallos de impresión, es en conjunto una buena impresora 3D. Además, admite una amplia variedad de materiales para realizar la impresión.

3.4.4.2 Interfaz de Cura Lulzbot

La distribución de la interfaz del programa es distinta a los demás softwares utilizados. En el Cura, en la parte izquierda de la pantalla (ver zona “A” de la Figura 3-62), están todos los comandos para la situación del modelo en el entorno de trabajo, es decir, la escala, la rotación o la opción de moverlo. Además, permite diferentes modos de visualización (ver Figura 3-61):

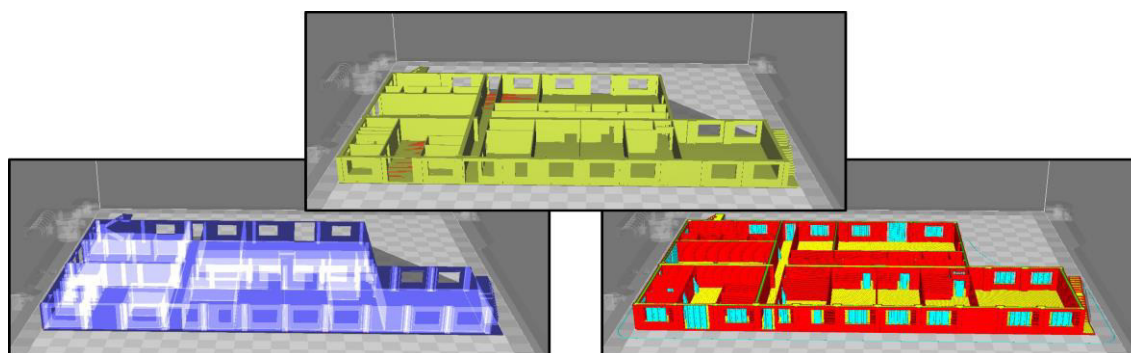


Figura 3-61 Modos de visualización: sólido(superior), rayos-x(izquierda) y por capas(derecha)

- Sólido: En el cual se representa el modelo como un sólido, no pudiendo ver elementos que estuviesen tapados por otros
- Rayos X: Con esta forma de visualización se obtiene un modelo en el cual se puede visualizar a través de los elementos sólidos.
- Por capas: Esta es la forma más utilizada, ya que muestra cada una de las capas en las que va a realizar la impresión.

En el centro de la pantalla se tiene la ventana de visualización (zona “B” en la Figura 3-62) donde se pueden observar los diferentes cambios dependiendo de las propiedades de impresión. Por último, en la zona de la derecha, se encuentran todas las opciones para la modificación de la impresión (zona “C” de la Figura 3-62). Entre ellas se encuentran, por ejemplo, el tipo de relleno que se establece, el espesor de cada capa de impresión, las velocidades de deposición de cada tipo de material o el tipo de adhesión al plato de impresión.

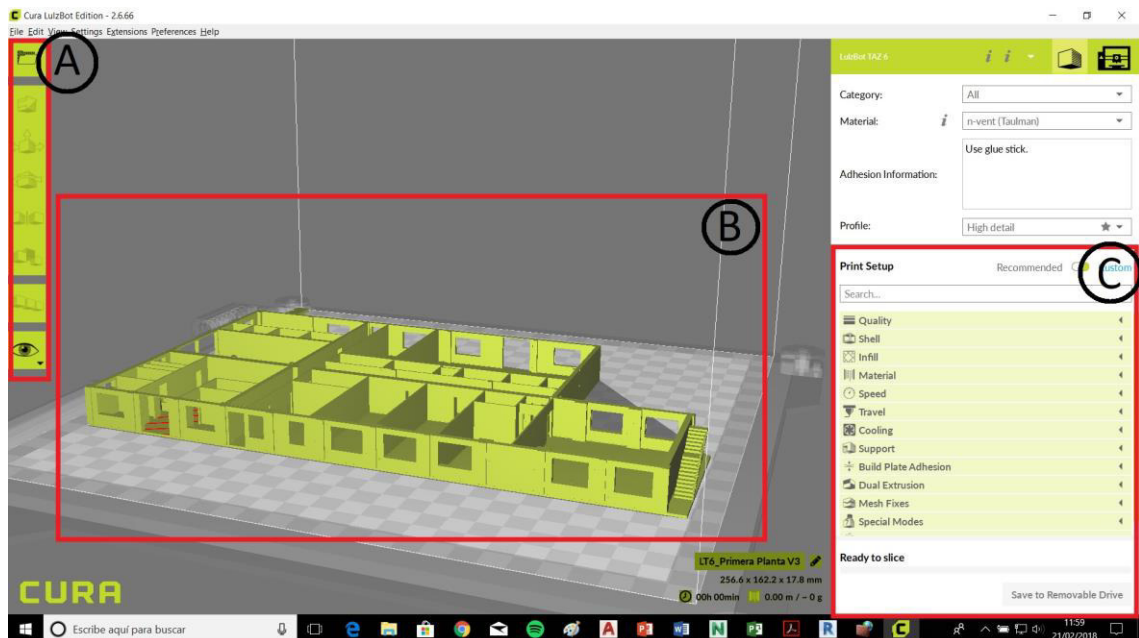


Figura 3-62 Visualización de un modelo en la interfaz del software Cura Lulzbot

Además, el programa muestra el tiempo total de impresión en la esquina inferior derecha. Además, también se puede obtener la longitud de material utilizado y su peso, dato que se encuentra a la derecha del tiempo total de impresión.

3.4.4.3 Comprobación del modelo en Cura

Para realizar las modificaciones oportunas, se utilizó este software para la comprobación de las capas de impresión. A medida que se iban realizando las modificaciones, se iba observando si en dicho programa iba a ser imprimible.

Para ello, el programa utiliza un código de colores (ver Figura 3-63) que refleja el tipo de elemento que está imprimiendo. Con el color azul claro, se representan las estructuras de ayuda sobre las que apoyarán otros elementos. El rojo representa la capa exterior de la parte del modelo que será impresa. Con el verde, se representa la parte interior de aquellos muros que tengan suficiente espesor para que se genere una capa interior. En cuanto al naranja, sirve para mostrar el relleno de zonas que no van a ser visibles. Por último, el color amarillo representa el suelo, es decir, capas horizontales del material depositado.

Utilizando este código de colores, se puede ir observando las zonas en las que la impresora podría tener algún tipo de problema. Lo óptimo para la impresión es que haya la menor mezcla de colores posible en cada zona. Esto significa que la impresora imprimirá cada zona con un mismo tipo de impresión. Como se verá más adelante, no es óptima la configuración en que el tejado tiene tres tipos de impresiones.

También se han de tener en cuenta algunas esquinas que se han de suavizar para permitir la impresión de la maqueta. Siguiendo este procedimiento, se realizaron las modificaciones oportunas para obtener un modelo imprimible.

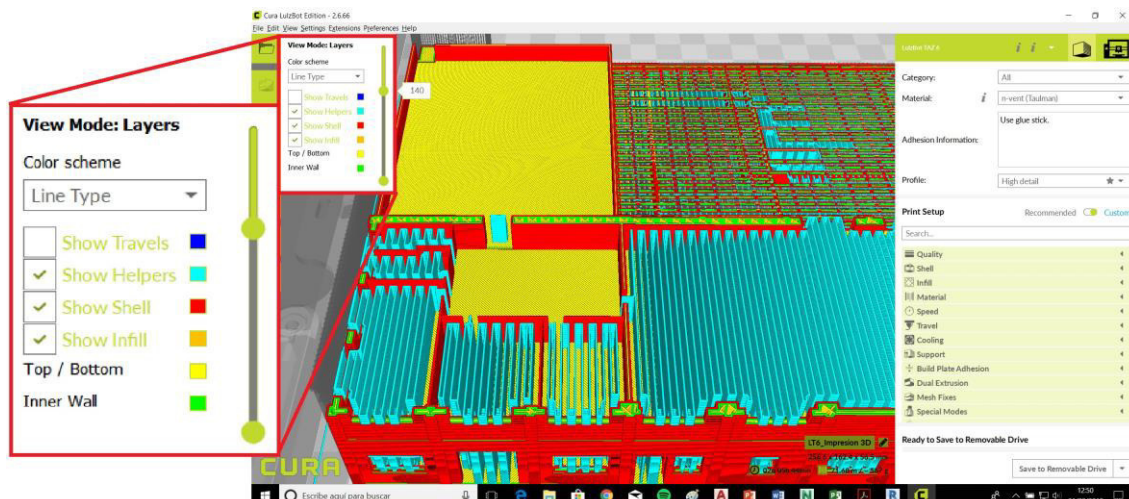


Figura 3-63 Código de colores para visualización de capas

Como se puede observar en la Figura 3-64 el programa omite los barrotres de la escalera de emergencias (no le asigna ninguna capa de material) por ser menores al espesor mínimo que genera la impresora. Por otra parte, para dicha escalera sin modificar el programa genera una estructura de apoyo para cada escalón. Debido a que la separación entre escalones es mínima, quitar toda esta estructura acabada la impresión, sería un trabajo sumamente complicado.

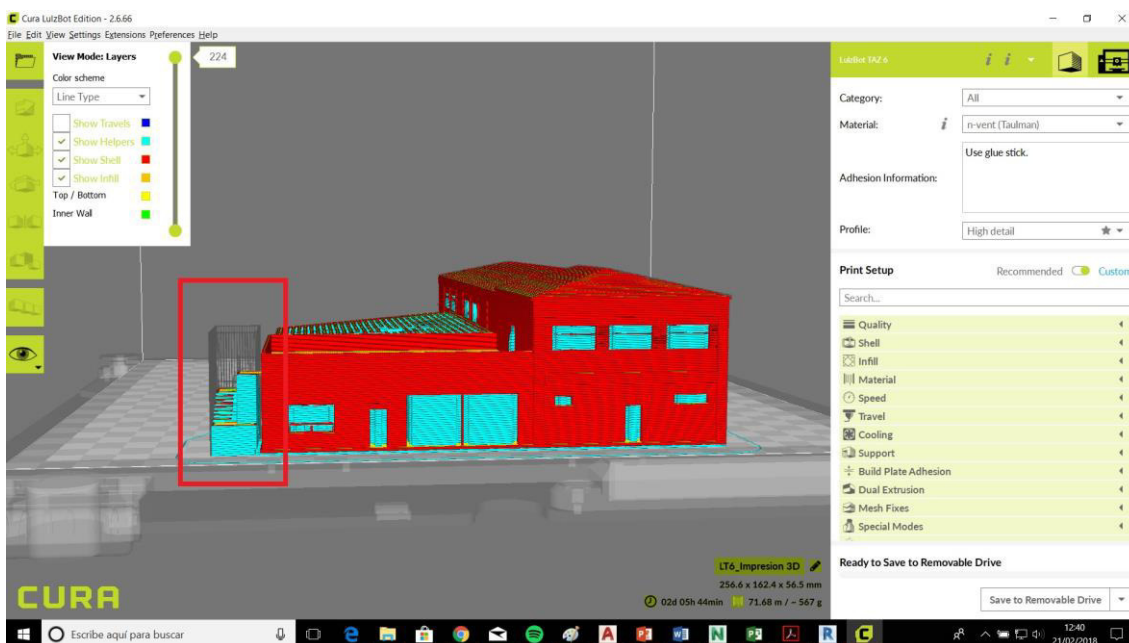


Figura 3-64 Detalle de escalera de emergencias en software Cura

Otro claro ejemplo de cómo el programa muestra las zonas complicadas de impresión, es en el tejado, antes de realizar el cambio se puede observar en la ventana gráfica que la impresora asigna capas exteriores, capas interiores de pared y capas horizontales a cada una de las tejas (ver Figura 3-65). Por lo tanto, este será un elemento que la impresora no será capaz de imprimir por el alto nivel de detalle que tiene. En la Figura 3-65, se puede observar la asignación de colores que se hace al tejado.

Por lo tanto, se tuvo que modificar el tejado para generar una superficie que pudiese ser generada por la impresora. Para ello se diseñó el mismo tipo de cubierta cambiando las tejas por una superficie ondulada que las simulase.

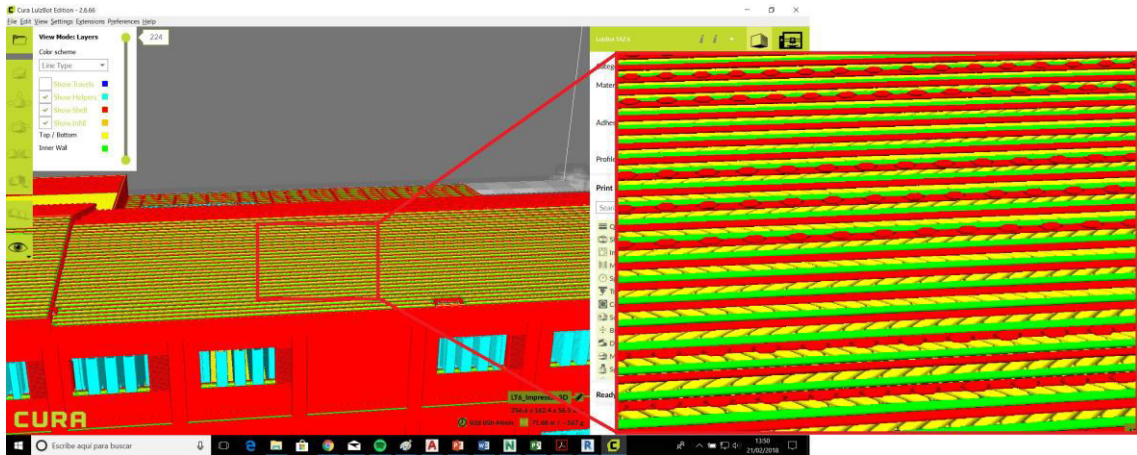


Figura 3-65 Asignación de capas a las tejas

3.4.5 Proceso de impresión

Una vez se han optimizado los modelos, se procede a la impresión del modelo. Durante este proceso, se puede observar cómo la impresora va depositando el material que corresponde a cada una de las capas que ha creado. Para ello utiliza la información de las coordenadas “X” e “Y”, depositando material según las capas que fueron asignadas con el programa Cura. Se puede observar en el Anexo II el procedimiento seguido en detalle para realizar una impresión con este equipo.

En primer lugar, se crea la base para toda la pieza como se puede ver en la Figura 3-66. Se realiza sobre una plataforma caliente para facilitar la unión de las distintas capas. Además, es preferible tener la mayor área posible de base para que al separar la maqueta no se rompan las zonas más sensibles.

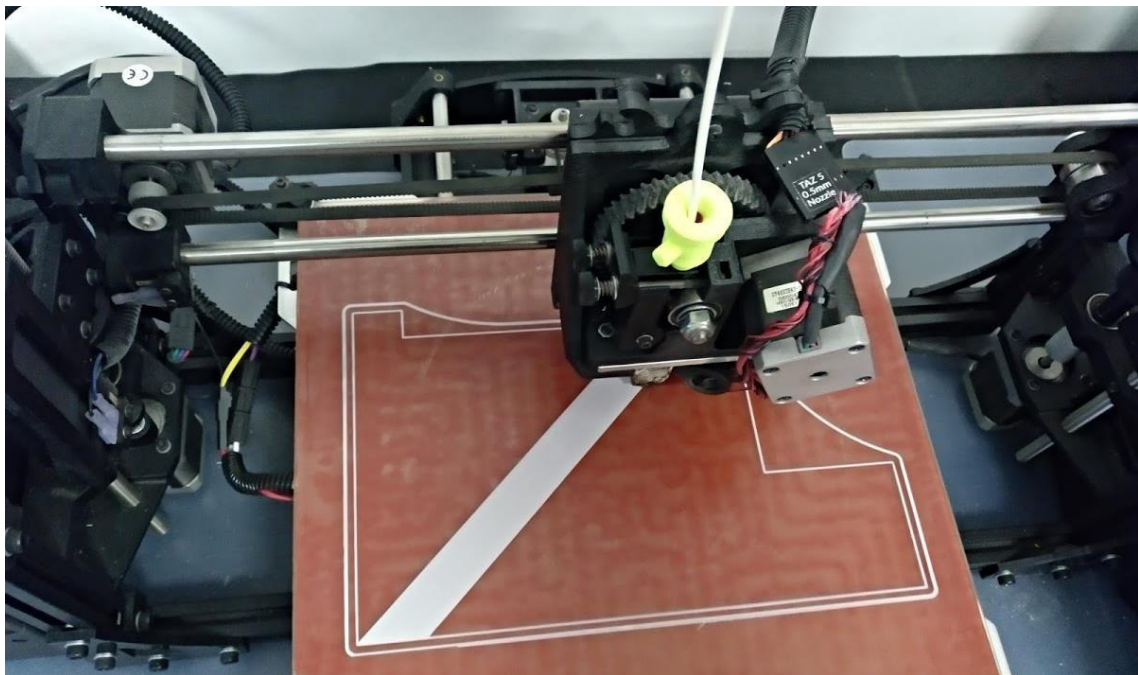


Figura 3-66 Creación de la base para la maqueta

A continuación, la impresora va creando las capas unas encima de otra, generando un mallazo de soporte para aquellos elementos que no tienen sustentación. El espesor de la capa anterior es un factor de suma importancia ya que el filamento se va a adherir a este espesor. Si en algún momento del proceso no se adhiere el filamento extruido, se debe desechar la maqueta ya que la impresora no será capaz de seguir con el proceso de adhesión.

En todo el proceso de fabricación se han de tener en cuenta las pruebas que se realizan para comprobar si una parte de la maqueta es imprimible. Muchas veces, aún suponiendo que la impresora será capaz de imprimir un elemento, se ha de probar para verificar si esto es cierto. Por lo tanto, se realizan varias impresiones de comprobación como se puede ver en la Figura 3-67.

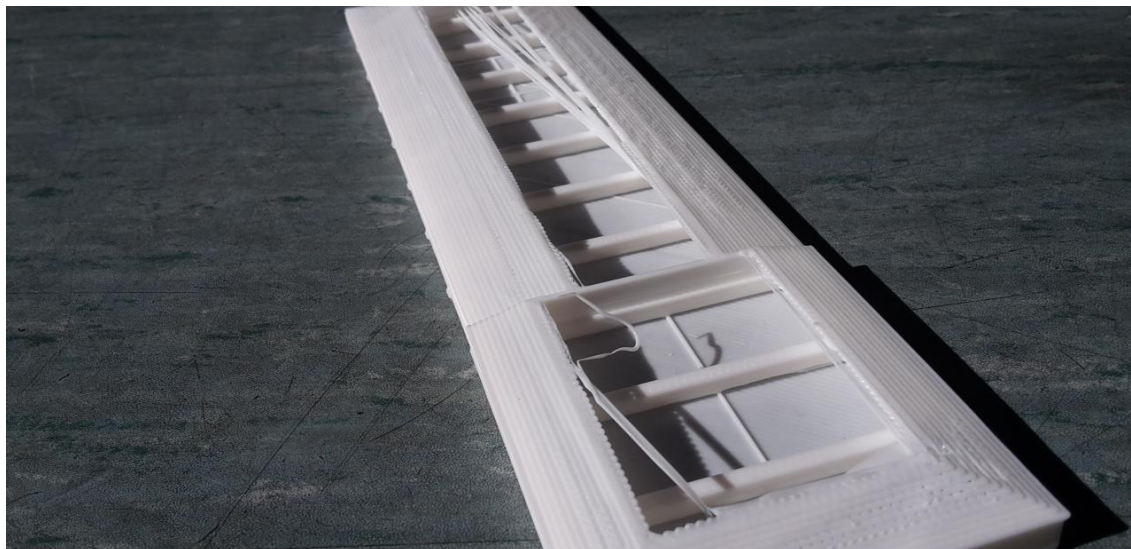


Figura 3-67 Impresión de comprobación

3.4.6 Coste de fabricación

El objetivo de este apartado es determinar a grandes rasgos un presupuesto de impresión para la maqueta que se ha fabricado.

Para la realización de un presupuesto de impresión 3D se deben tener en cuenta los siguientes costes: material, electricidad, mano de obra y amortización de la compra de la impresora.

En el factor mano de obra se obvia el precio al ser la maqueta de elaboración propia. Sin embargo, este suele ser uno de los factores que disparan el precio de este tipo de productos. A mayor tiempo de impresión, mayor será el coste total debido al coste de la mano de obra.

La amortización de la compra de la impresora tampoco se ha tenido en cuenta ya que se permitió el uso de la impresora a coste cero. Aún así, no suele ser un factor determinante en el precio final ya que en un periodo corto de tiempo realizando asiduamente impresiones se amortiza dicho precio.

Por lo tanto, los factores que se han tenido en cuenta para el cálculo del coste de fabricación han sido el coste del material y el coste de la electricidad. En primer lugar, el gasto de luz en el periodo de creación de la maqueta se ha calculado teniendo en cuenta la media anual del precio voluntario para el pequeño consumidor (PVPC) del KWh para el año 2017, siendo de 0,120588 € [27]. El KWh es una unidad que no pertenece al sistema internacional de unidades y se utiliza para la facturación de la luz. Expresa la cantidad de potencia en un tiempo determinado. Así, un kilovatio hora es la energía necesaria para mantener una potencia de un kilovatio durante una hora.

El otro elemento es el coste del material. En este caso se seleccionó el PLA (ácido poliláctico) que es un polímero constituido por moléculas de ácido. Se utiliza ampliamente en la impresión 3D debido a su bajo coste, a que no emite gases nocivos y por tanto se puede fabricar en espacios cerrados, a su amplia variedad de colores y a su extendido uso para fabricación de modelos 3D.

Para la obtención del precio del material se realizó una búsqueda por la web de rollos de PLA. Se seleccionó una de las opciones que representaba un precio medio para un rollo de 1 Kg de PLA blanco, suponiendo un coste de 21 €.

4 RESULTADOS

4.1 Descripción

En el presente capítulo se mostrarán los resultados obtenidos del desarrollo del proyecto. Se desglosarán los resultados obtenidos en cada etapa del desarrollo del proyecto. Además, se valorará la importancia de los softwares en relación a estos resultados.

4.2 Modelado

Uno de los principales resultados del trabajo ha sido la obtención de una maqueta digital con metodología BIM. Así, una vez obtenida, se pueden generar todo tipo de simulaciones como pudieran ser las estructurales, lumínicas, acústicas o las energéticas entre otras. Además, permite una gestión integral del edificio a lo largo de su ciclo de vida desde el diseño, pasando por la construcción, el mantenimiento o la sostenibilidad.

4.2.1 Interoperabilidad

Una vez obtenido el modelo en tres dimensiones, el programa Autodesk Revit permite la exportación del modelo a una amplia variedad de softwares y formatos (ver Figura 4-1). Esta es una de las mayores ventajas de la metodología BIM, el disponer de toda la información de un proyecto en distintos formatos.

Entre la variedad de opciones para la exportación cabe destacar los siguientes formatos: archivos CAD como DWG, DXF o ACIS, formato DWF, NWF para Autodesk Navisworks Manage, formatos para impresión 3D como STL (ver Figura 4-2) o uno de los más utilizados, a PDF.

El formato DWG (proveniente de acortar la palabra anglosajona “drawing”) fue creado por la suite de Autodesk para referirse a archivos 2D. Debido a la importancia en el mercado del programa Autodesk AutoCAD, otros programas comenzaron a ser compatibles con este tipo de archivos. Aun así, otros softwares seguían teniendo problemas para su lectura. Así se creó DXF (del inglés “drawing Exchange file”), formato puente entre archivos DWG y otro tipo de programas. Es importante destacar la facilidad para la conversión de modelos en Revit a archivos DWG, obteniendo el modelo en el programa AutoCAD (ver Figura 4-2). A partir de ahí, se pueden realizar múltiples comprobaciones, generación de planos si no se tuviesen y distintos tipos de visualización.

La exportación a formatos como ACIS, STL o DXF demuestra que no se limita la exportación a programas de la Suite Autodesk, si no que permite la vinculación del modelo a programas fuera de esta familia.

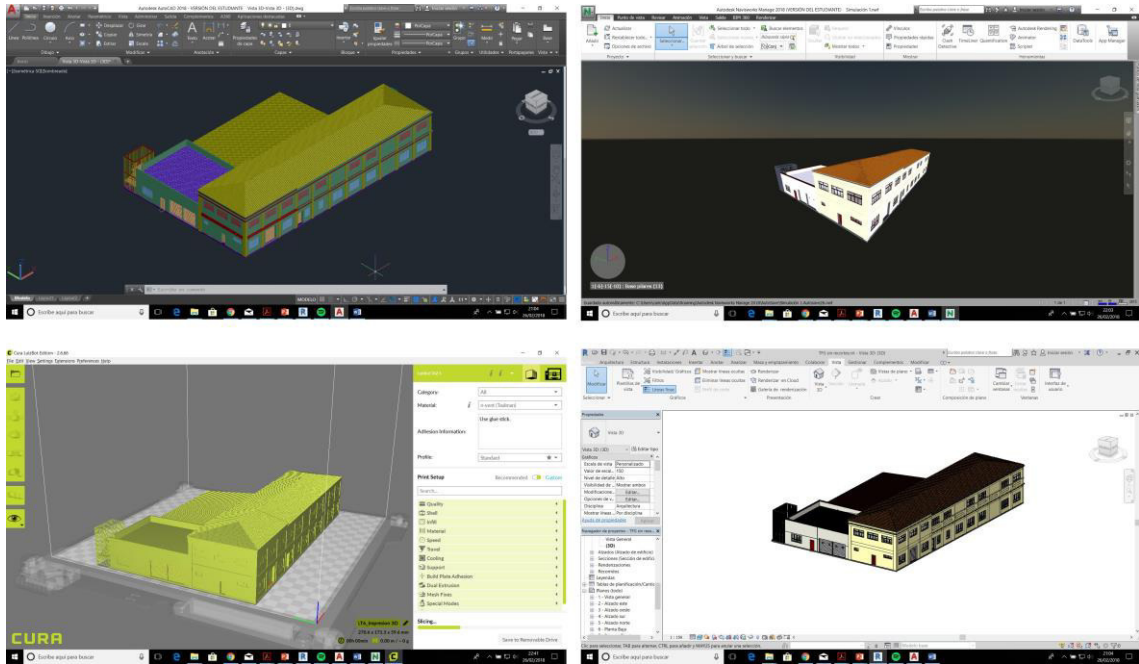


Figura 4-1 Formatos RVT (abajo derecha), NWF (arriba dcha.), DWG (arriba izq.) y STL (abajo izq.)

Mención aparte merece la exportación a PDF ya que es una de las herramientas más utilizadas en este tipo de programas. Cualquier documento que se desee generar se podrá realizar en PDF. La obtención de los planos del edificio se realiza habitualmente en este conocido formato. Además, para obtener imágenes de calidad, el procedimiento a seguir es en primer lugar la exportación a PDF para más adelante convertir el archivo en imagen.

En el presente trabajo se han realizado múltiples conversiones de archivos para poder exportarlos a otros programas. Es una cualidad fundamental y sin la cual no se podría haber desarrollado todo el potencial de las herramientas ya que, por ejemplo, sin el modelo virtual generado en Revit, no se podría haber creado la simulación temporal.

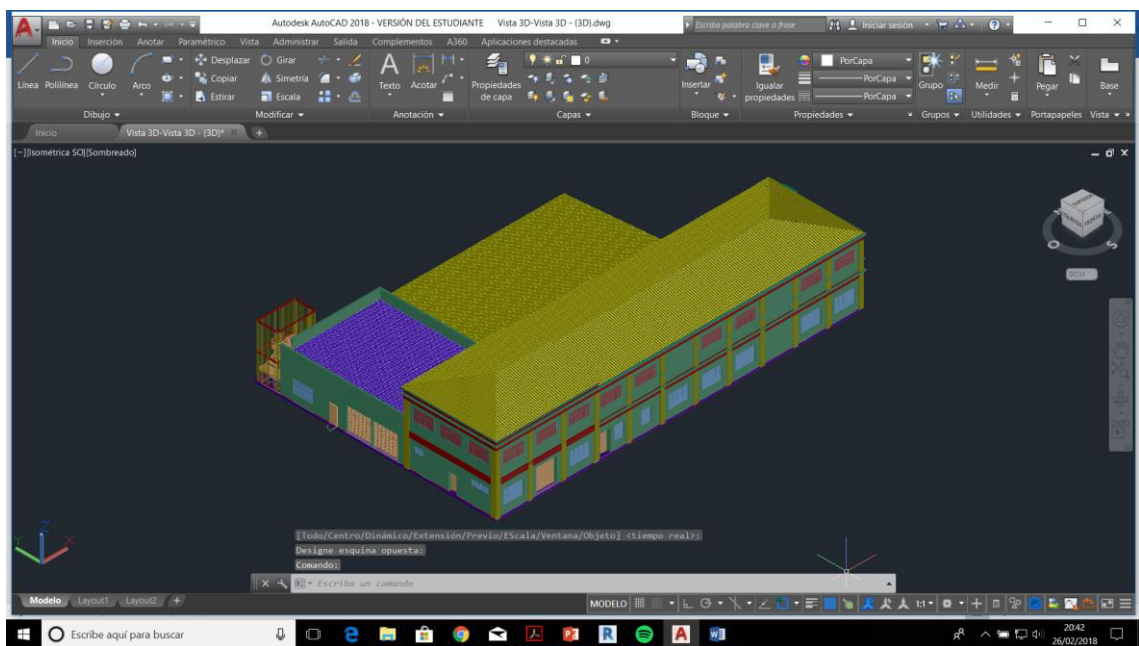


Figura 4-2 Maqueta virtual exportada a AutoCAD

Como se comentó en el apartado 3.3.1, se puede exportar el modelo virtual al programa Autodesk Navisworks Manage. Así, se pueden realizar multitud de operaciones en el modelo sobre este software.

Una de las principales funciones de este programa es la creación de simulaciones 4D, pudiendo vincular una maqueta virtual a la evolución de la programación de la obra.

Por otra parte, para la realización de maquetas a escala mediante la impresión tridimensional, Autodesk Revit permite la exportación al formato STL, que aporta información geométrica respecto de un eje de coordenadas para su futura impresión.

4.2.2 Planos

Uno de los usos de la metodología BIM es la obtención de la planimetría del modelo que ha sido generado. Teniendo en cuenta que se puede gestionar el edificio al completo, se pueden representar todo tipo de planos y vistas, dando un mayor nivel a la planimetría de la obra. Así, se consiguen planos sin ambigüedades para poder realizar una construcción fidedigna del edificio.

Este ha sido uno de los resultados de la construcción del modelo virtual, poder obtener los datos con todas las actualizaciones e información que se quiera transmitir.

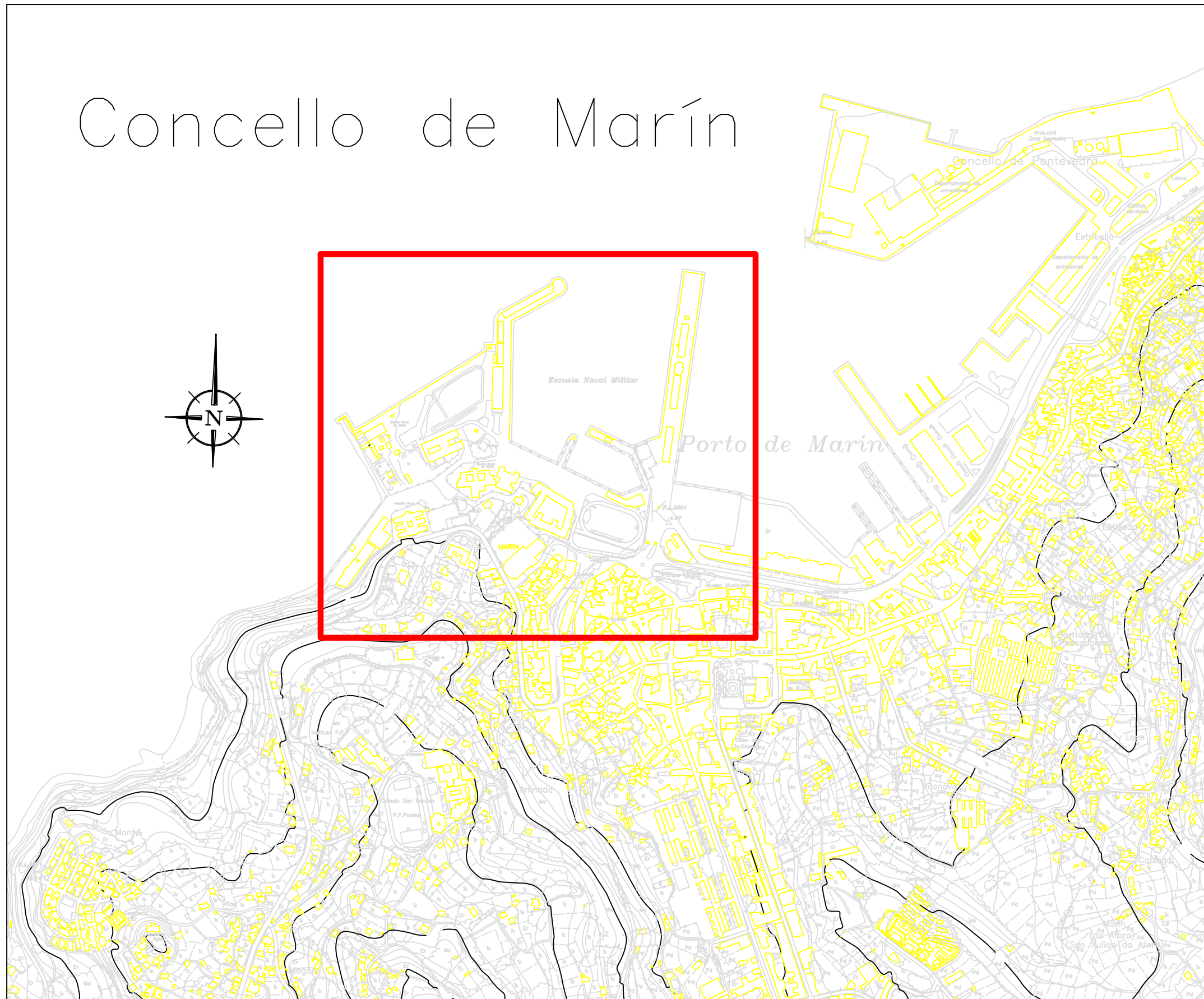
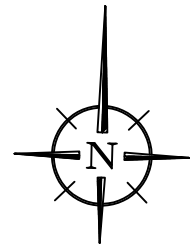
Para ello se han generado distintos planos que se pueden agrupar en las siguientes secciones, según su identidad geométrica

- Planos de ubicación: Utilizados para la localización del edificio.
- Planos de conjunto: Otorgan una vista general del edificio desde diferentes perspectivas
- Alzados: Presentan los diferentes alzados del edificio.
- Plantas: En ellos se puede observar la distribución en planta del edificio
- Cortes: Diferentes cortes para detallar en profundidad el edificio

A continuación se detalla la relación completa de los planos recogidos en el apartado de resultados y que vienen a definir geoméricamente el edificio en su totalidad.

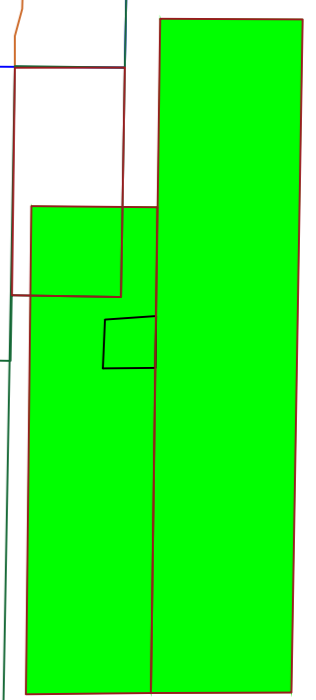
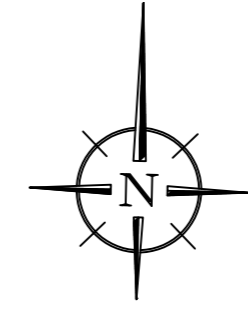
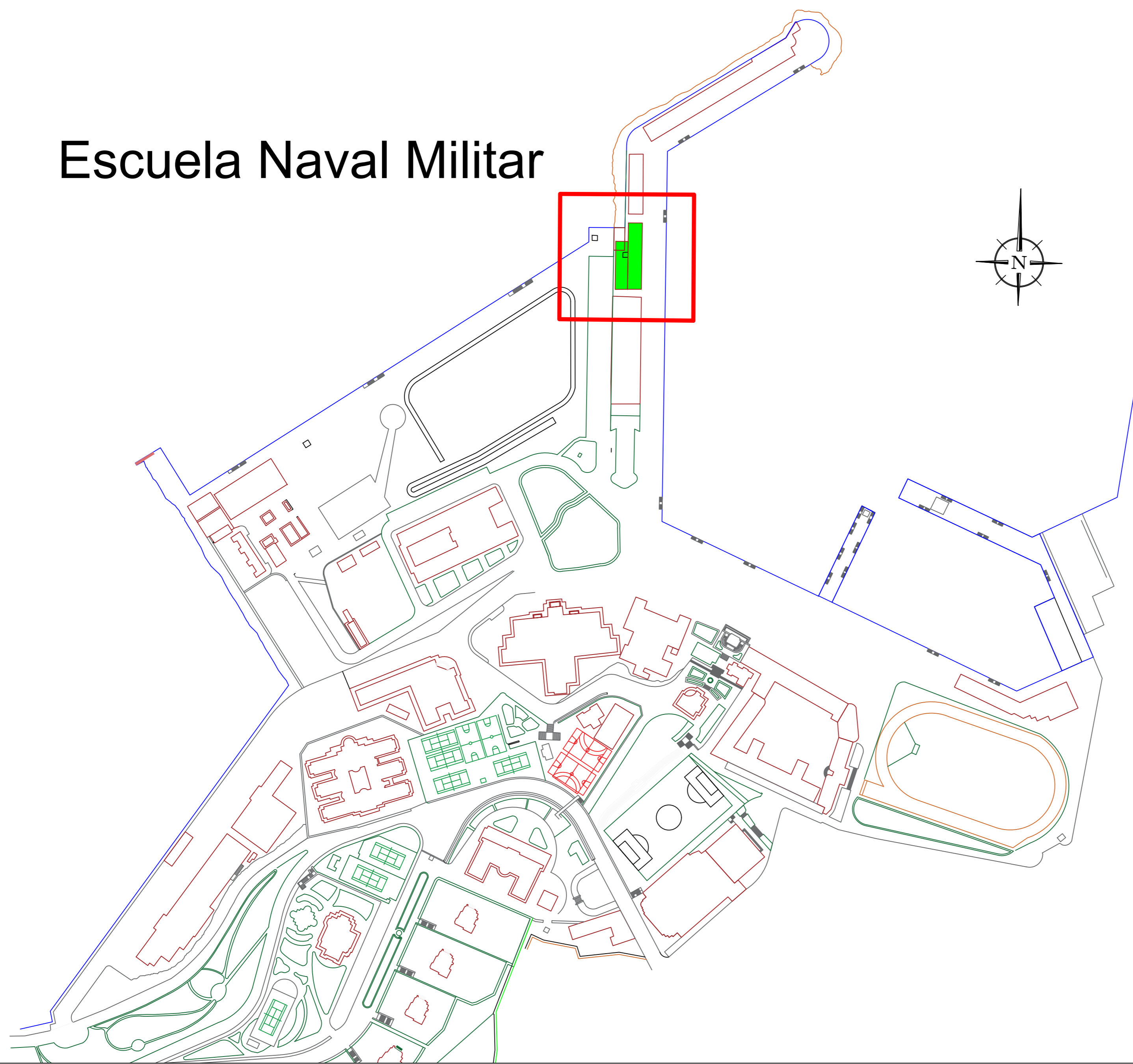
Ubicación	✓ Situación	n° 1
	✓ Emplazamiento	n° 2
Conjunto	✓ Vista general esquina sureste.....	n° 3
	✓ Vista general esquina suroeste.....	n° 4
	✓ Vista general esquina noreste	n° 5
	✓ Vista general esquina noroeste	n° 6
Alzados	✓ Oeste	n° 7
	✓ Norte	n° 8
	✓ Sur.....	n° 9
	✓ Este	n° 10
Plantas	✓ Planta baja	n° 11
	✓ Primera planta.....	n° 12
	✓ Cubierta	n° 13
Cortes	✓ Corte A-A'	n° 14
	✓ Corte B-B'	n° 15
	✓ Corte C-C'	n° 16
	✓ Corte D-D'	n° 17
	✓ Sección A-A' en 3D	n° 18
	✓ Sección B-B' en 3D.....	n° 19

Concello de Marín

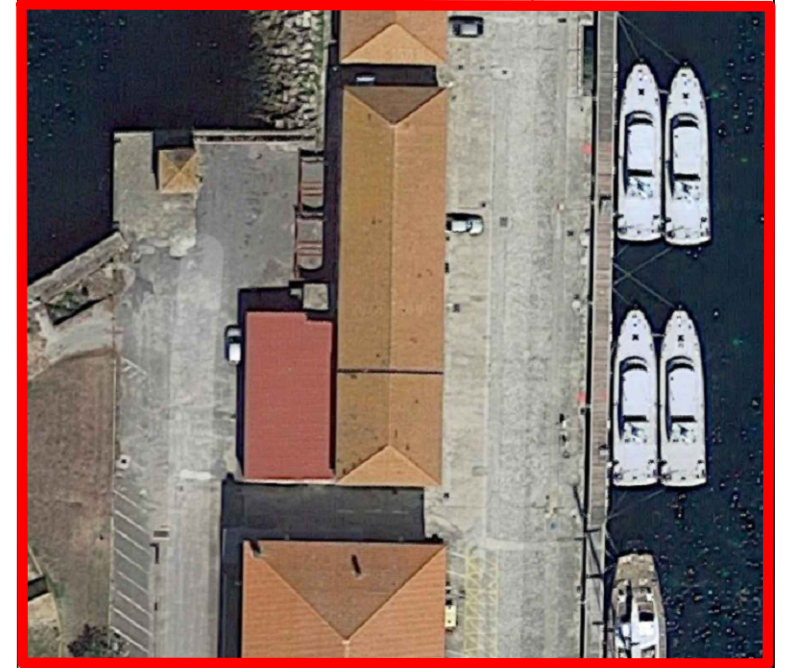


	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1:20000
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Situación	
Revisado por: Xavier Nuñez Nieto	Situación: Marín		
Título de plano: Situación General		Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 1

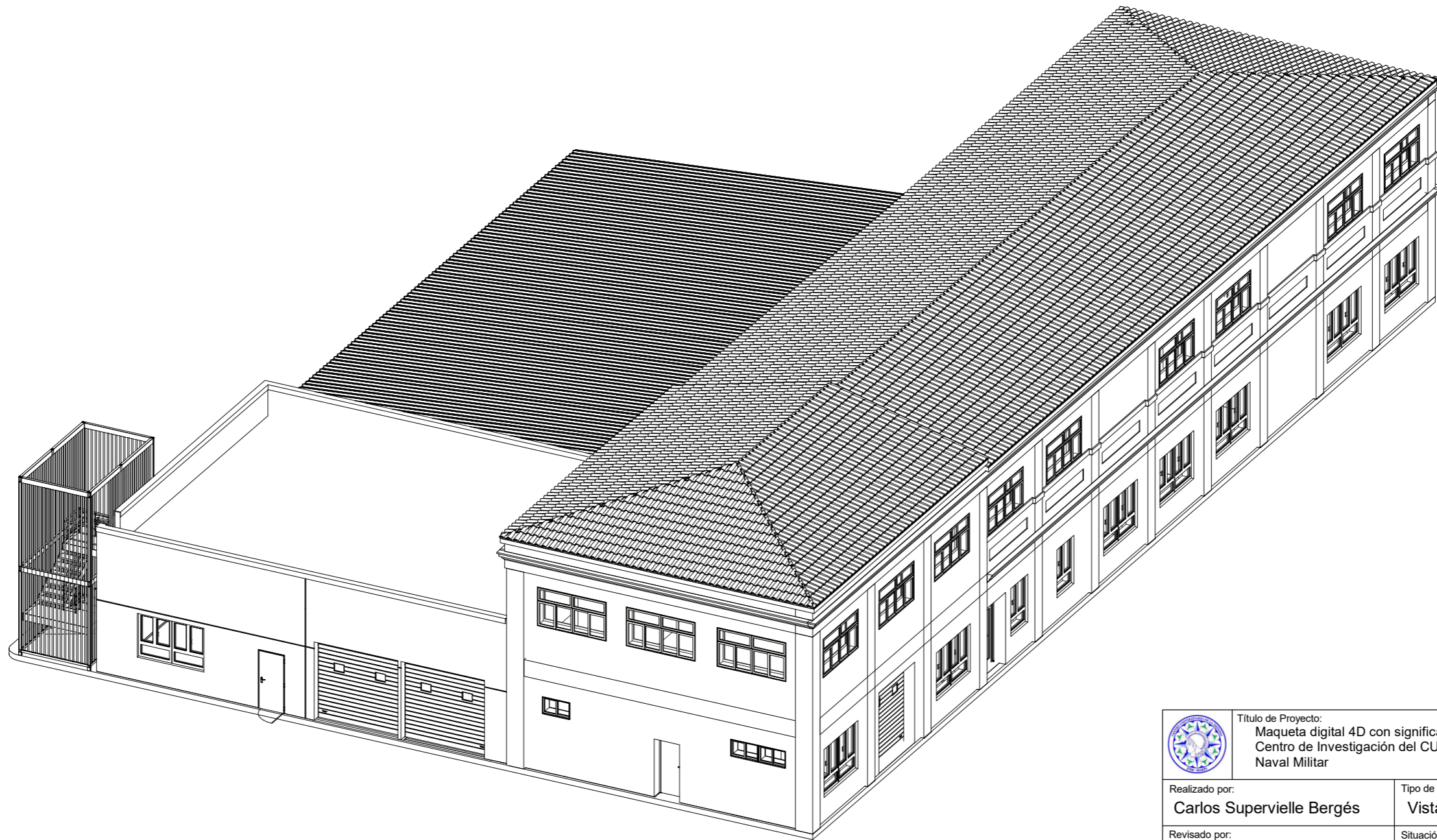
Escuela Naval Militar



E 1:500



	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar	Escala: 1:2000
Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Emplazamiento	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Marín	
Título de plano: Emplazamiento	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 2



Título de Proyecto:
Maqueta digital 4D con significado BIM del
Centro de Investigación del CUD en la Escuela
Naval Militar

Escala:
1 : 150

Realizado por:
Carlos Supervielle Bergés

Tipo de documento:
Vista de conjunto

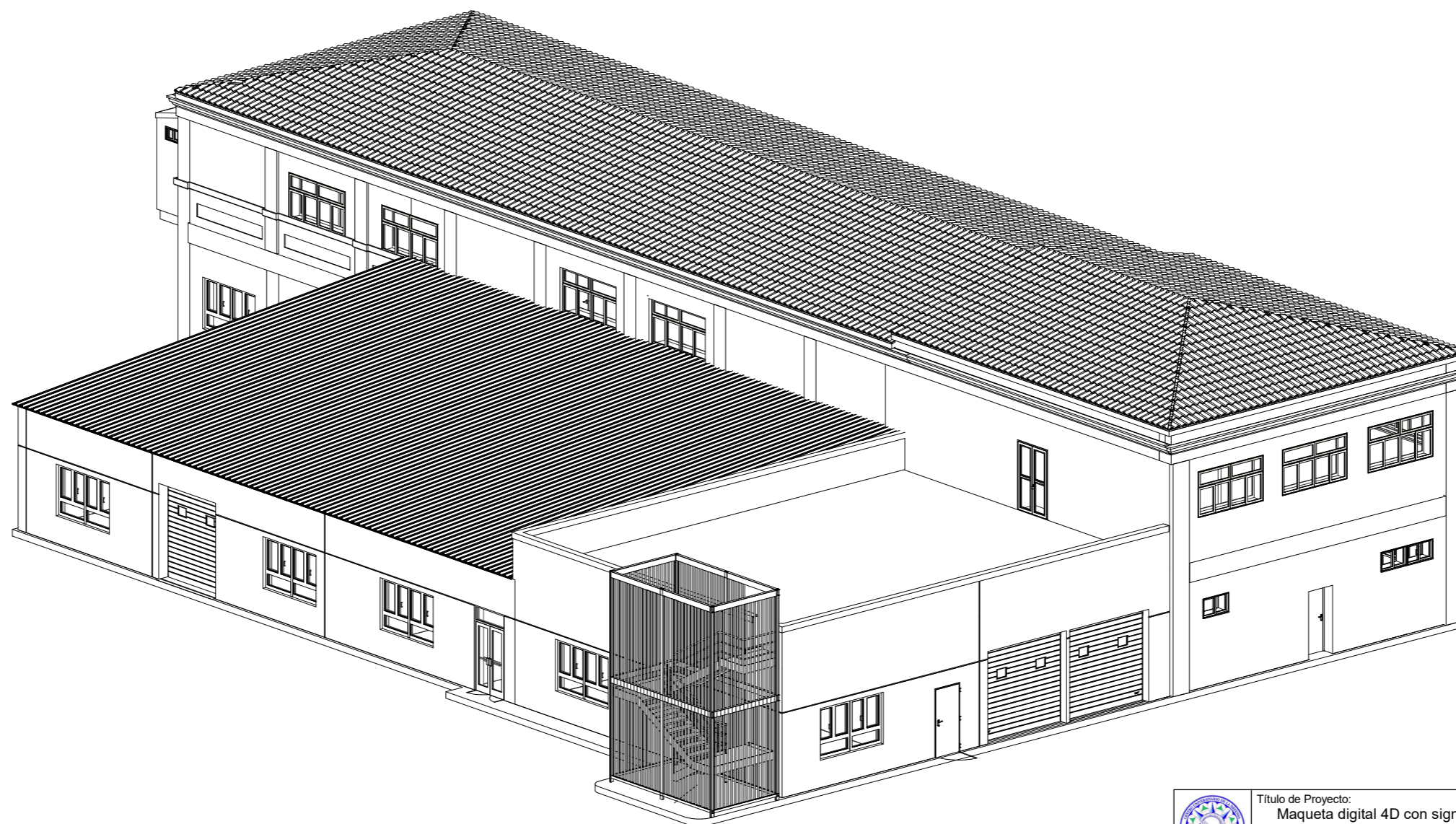
Revisado por:
Xavier Núñez Nieto


Situación:
Centro de Investigación

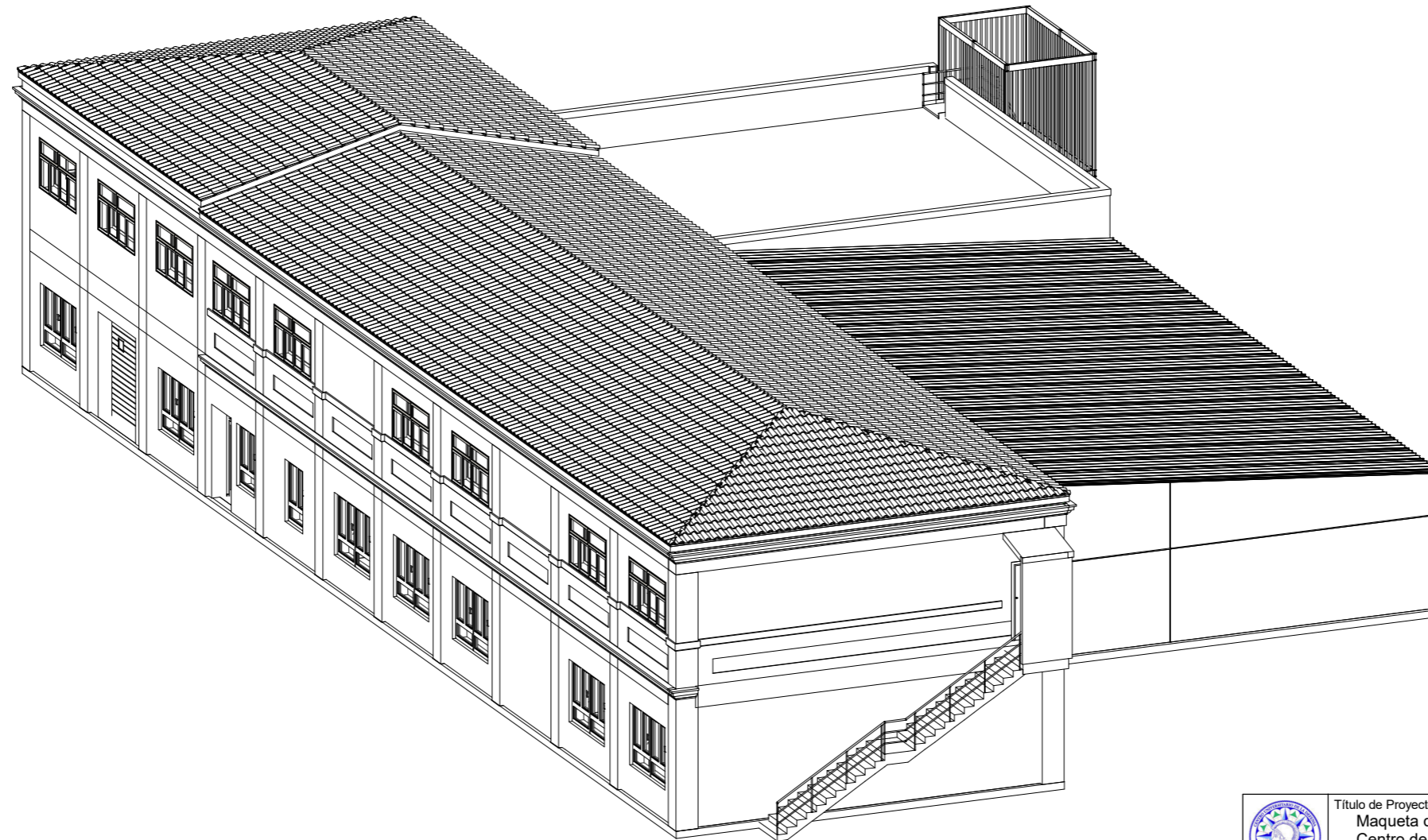
Título de plano:
Vista general esquina sureste


Fecha:
12/02/2018

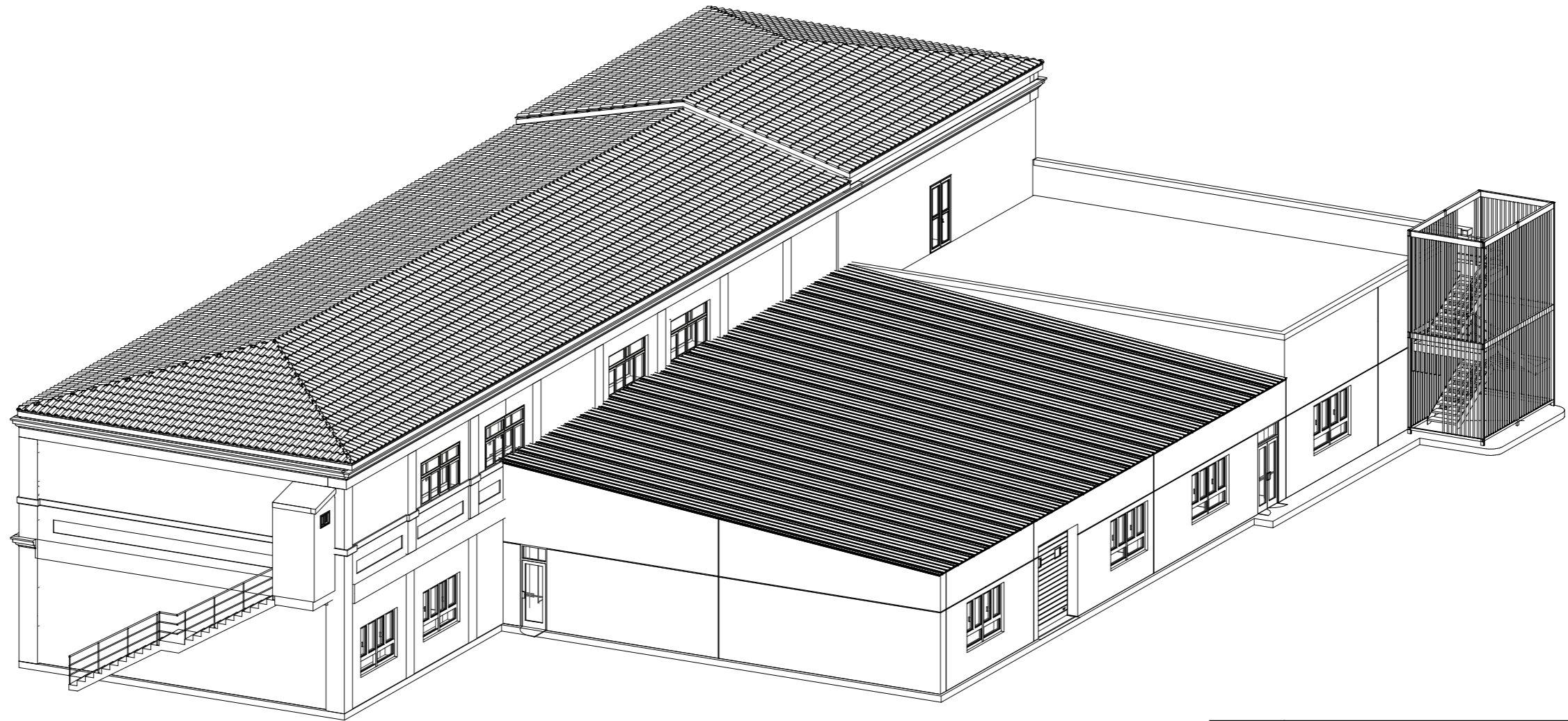
Nº de plano:
3




	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 150
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Vista de conjunto	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Vista general esquina suroeste	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 4	




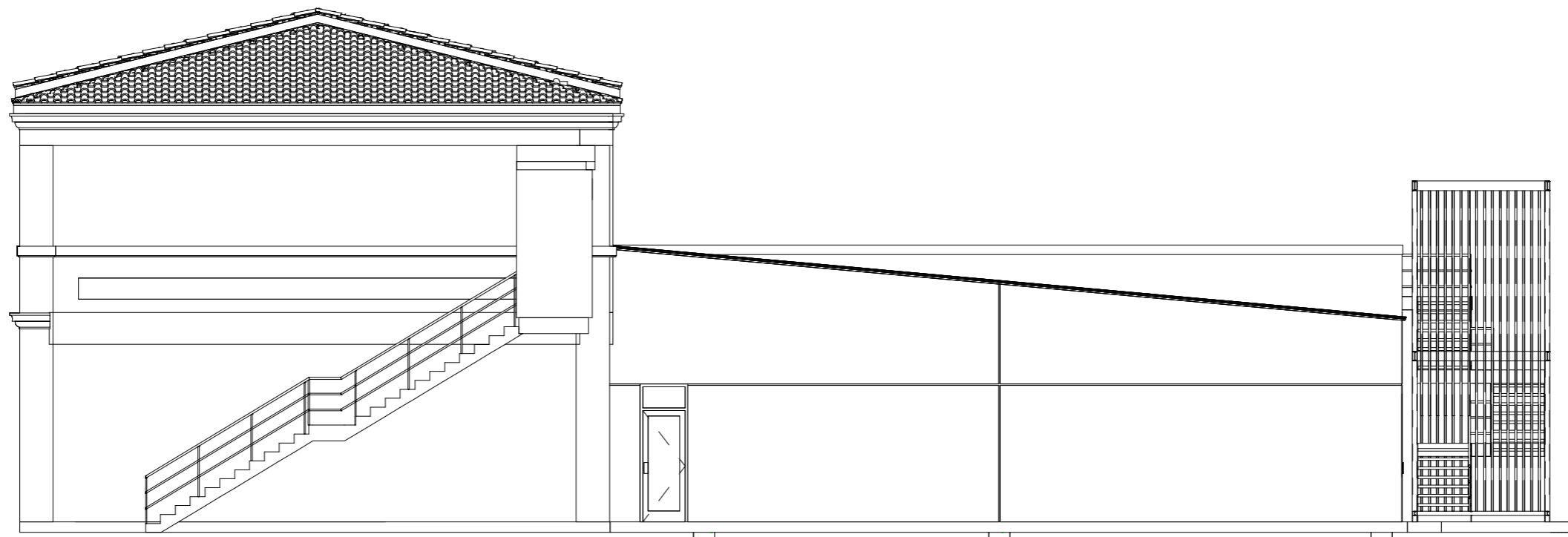
	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 150
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Vista de conjunto	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Vista general esquina noreste	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 5	




	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 150
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Vista de conjunto	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Vista general esquina noroeste	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 6	



	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 150
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Alzado	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Alzado oeste	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 7	



	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 100
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Alzado	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Alzado norte	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 8	



Título de Proyecto:
 Maqueta digital 4D con significado BIM del
 Centro de Investigación del CUD en la Escuela
 Naval Militar

Escala:
 1 : 100

Realizado por:
 Carlos Supervielle Bergés

Tipo de documento:
 Alzado

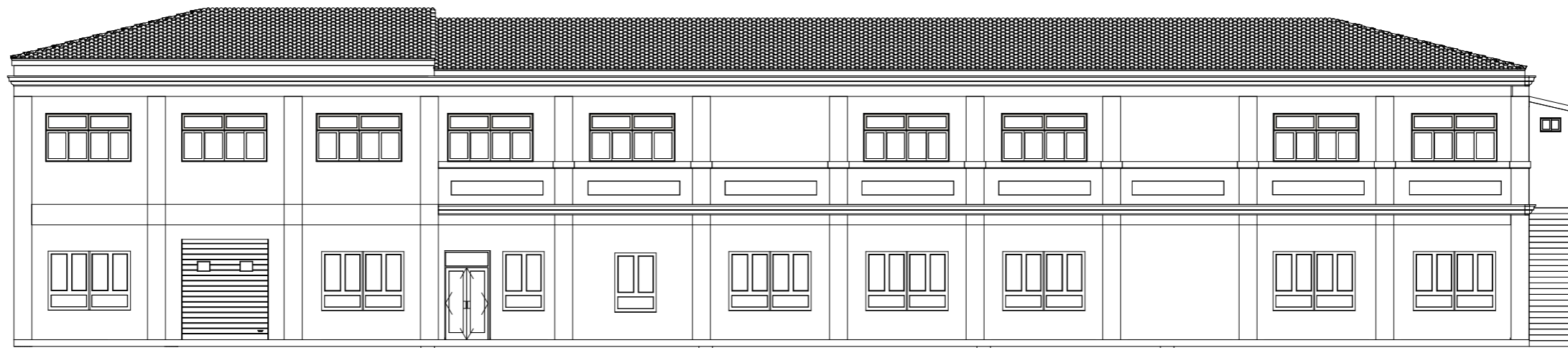
Revisado por:
 Xavier Núñez Nieto

Situación:
 Centro de Investigación

Título de plano:
 Alzado sur

Fecha:
 12/02/2018

Nº de plano:
 9



Título de Proyecto:
Maqueta digital 4D con significado BIM del
Centro de Investigación del CUD en la Escuela
Naval Militar

Escala:
1 : 150

Realizado por:
Carlos Supervielle Bergés

Tipo de documento:
Alzado

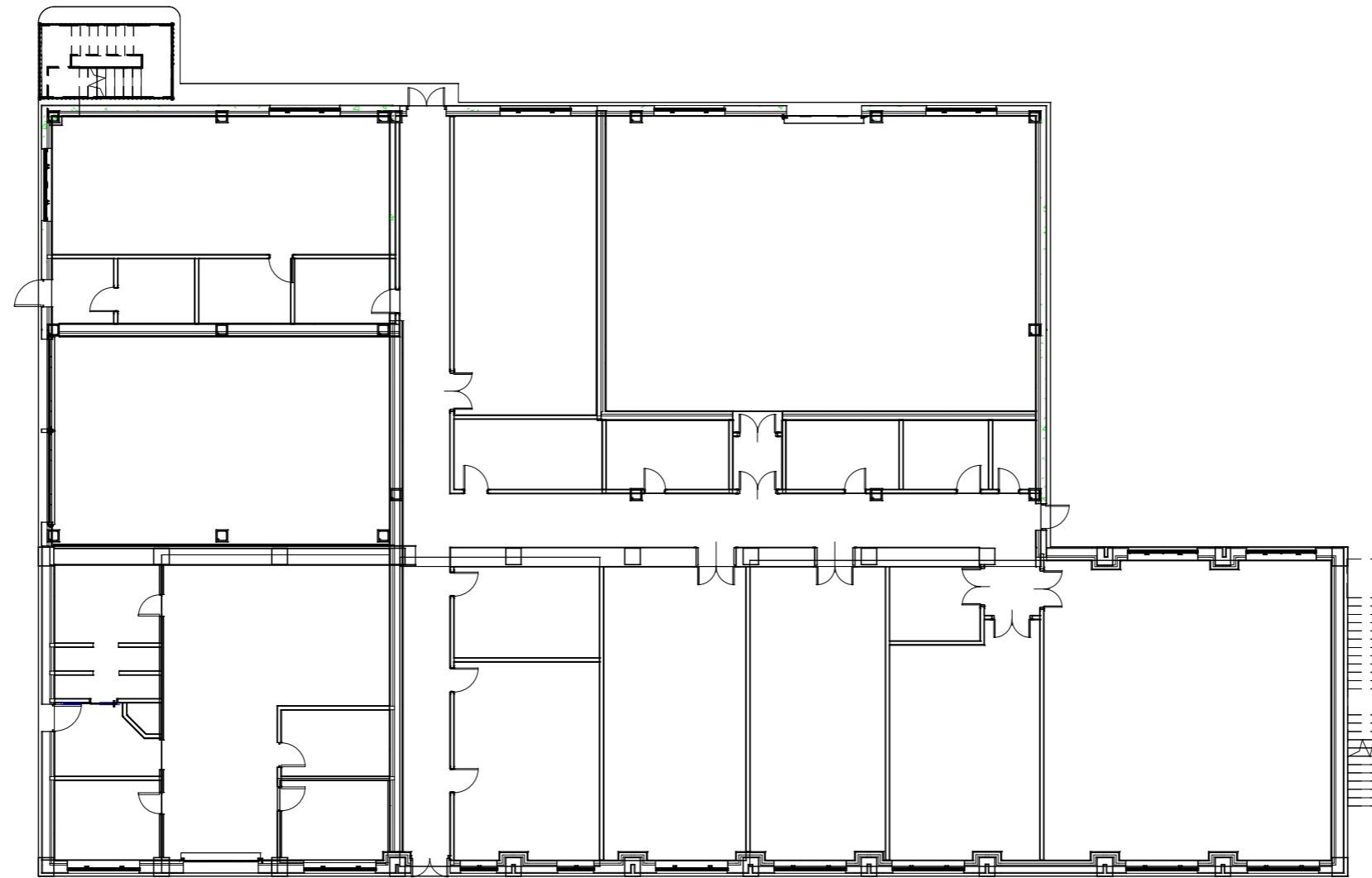
Revisado por:
Xavier Núñez Nieto

Situación:
Centro de Investigación

Título de plano:
Alzado este

Fecha:
12/02/2018

Nº de plano:
10



Título de Proyecto:
Maqueta digital 4D con significado BIM del
Centro de Investigación del CUD en la Escuela
Naval Militar

Escala:
1 : 200

Realizado por:
Carlos Supervielle Bergés

Tipo de documento:
Planta

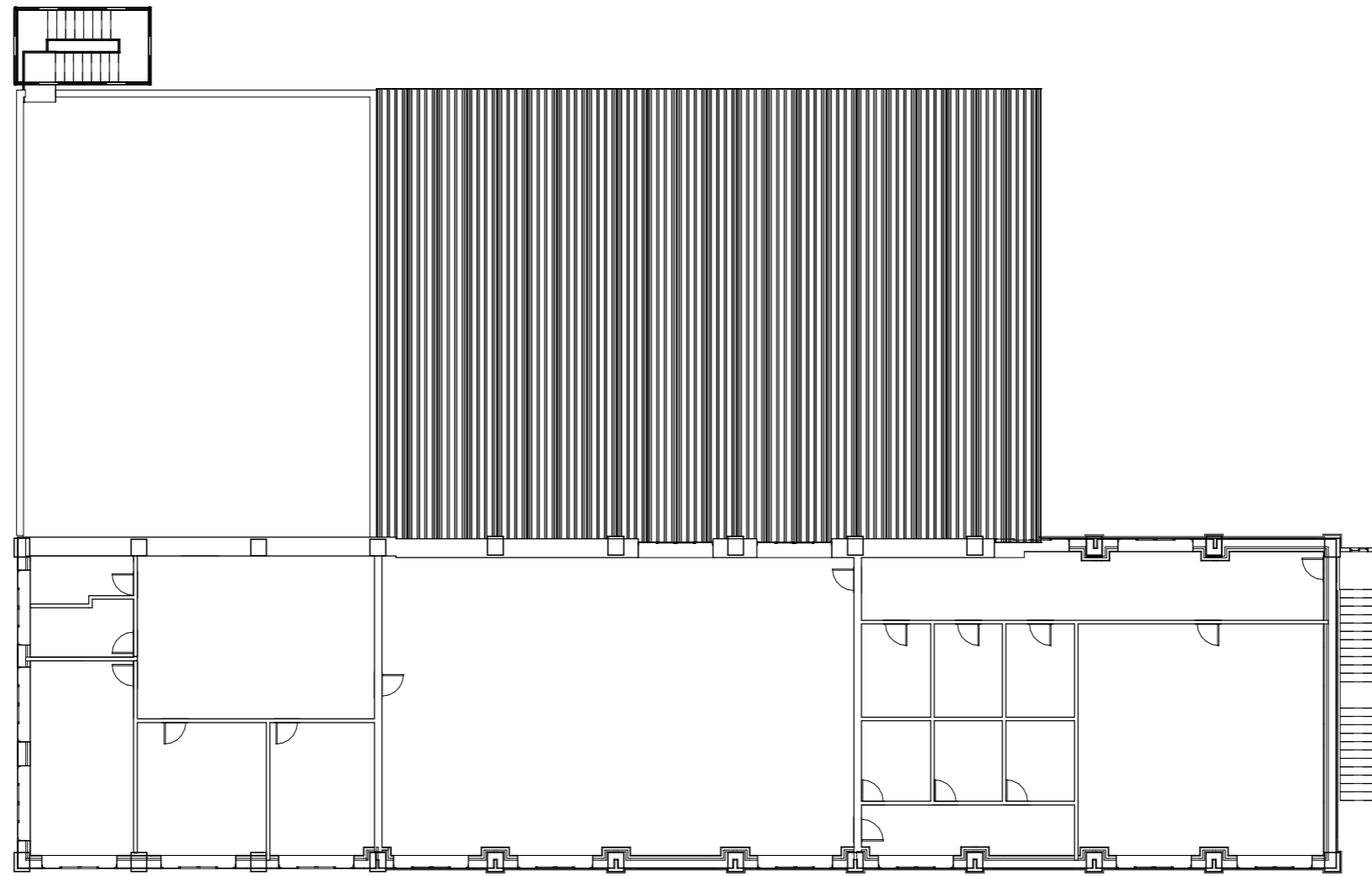
Revisado por:
Xavier Núñez Nieto


Situación:
Centro de Investigación

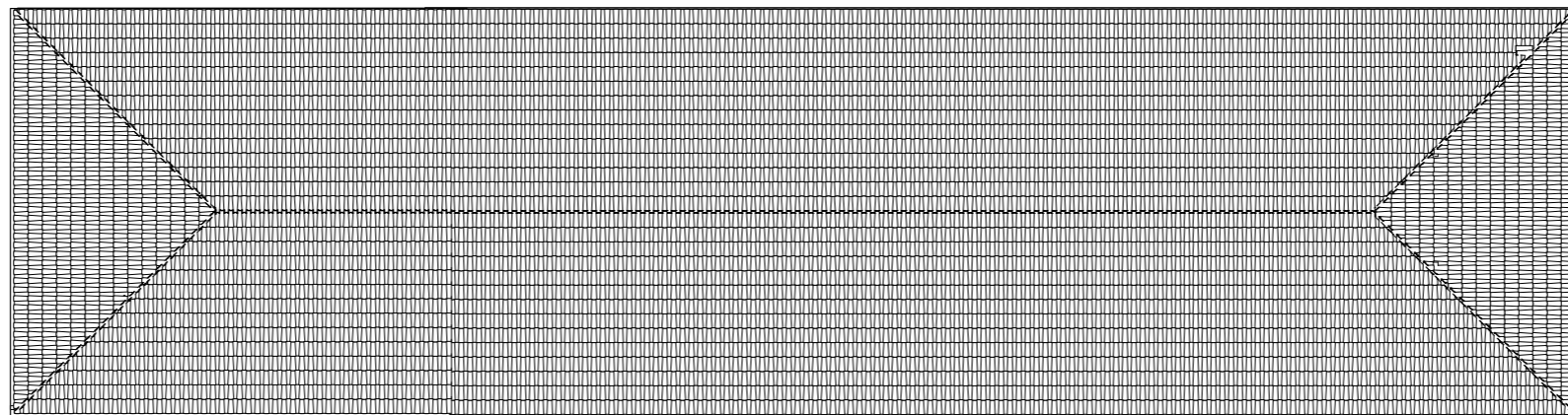
Título de plano:
Planta Baja


Fecha:
12/02/2018

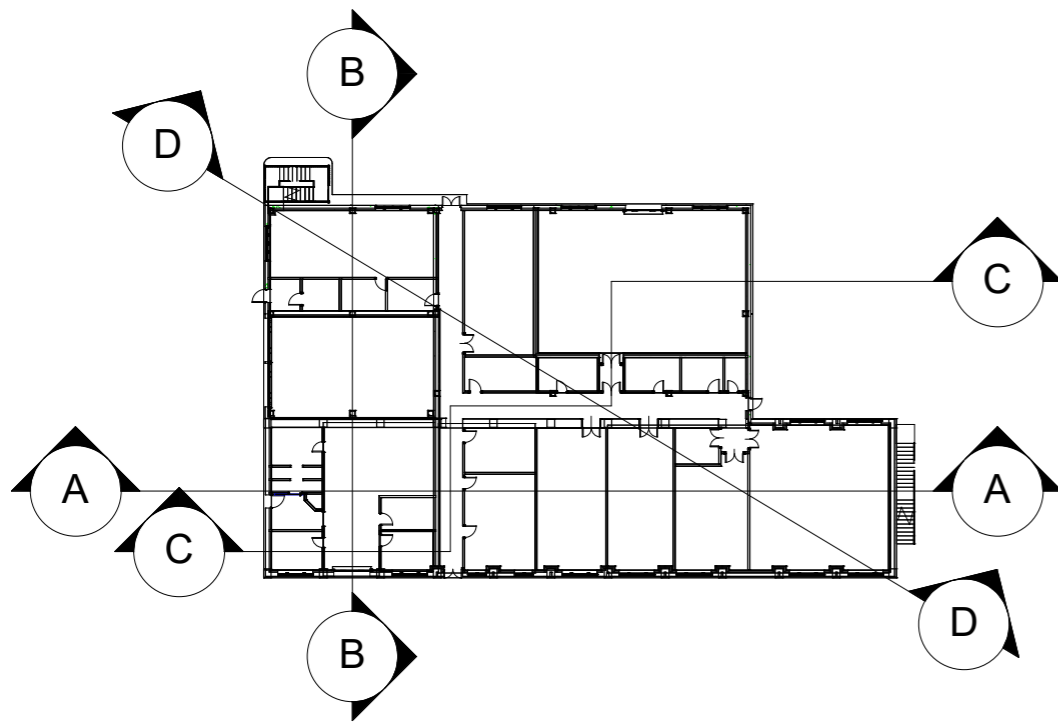
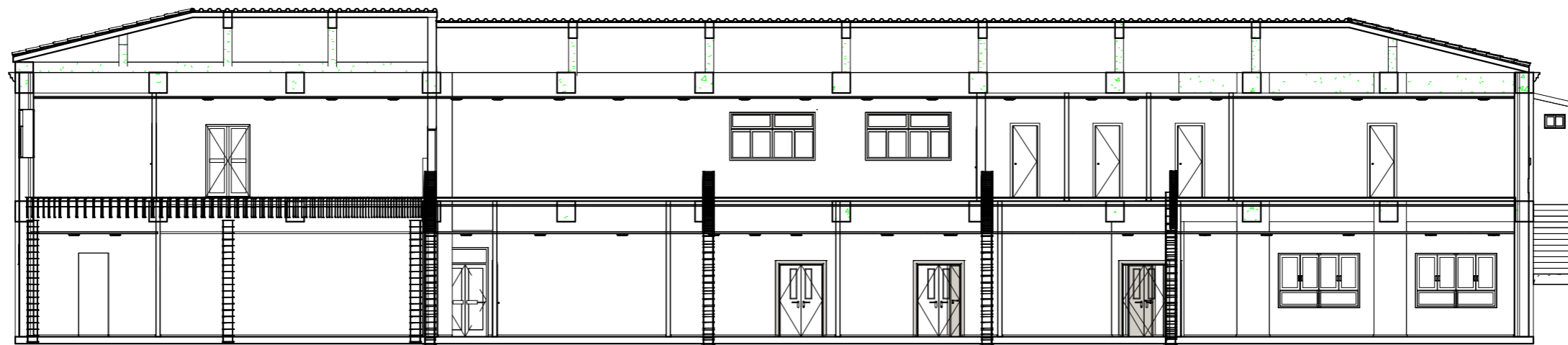
Nº de plano:
11




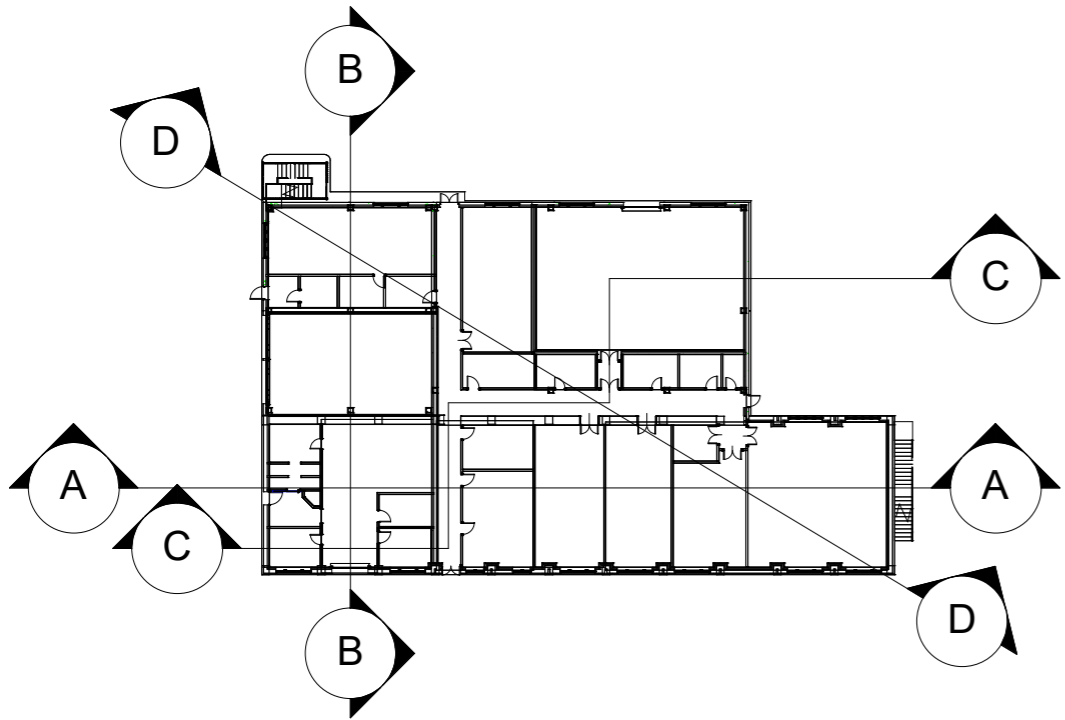
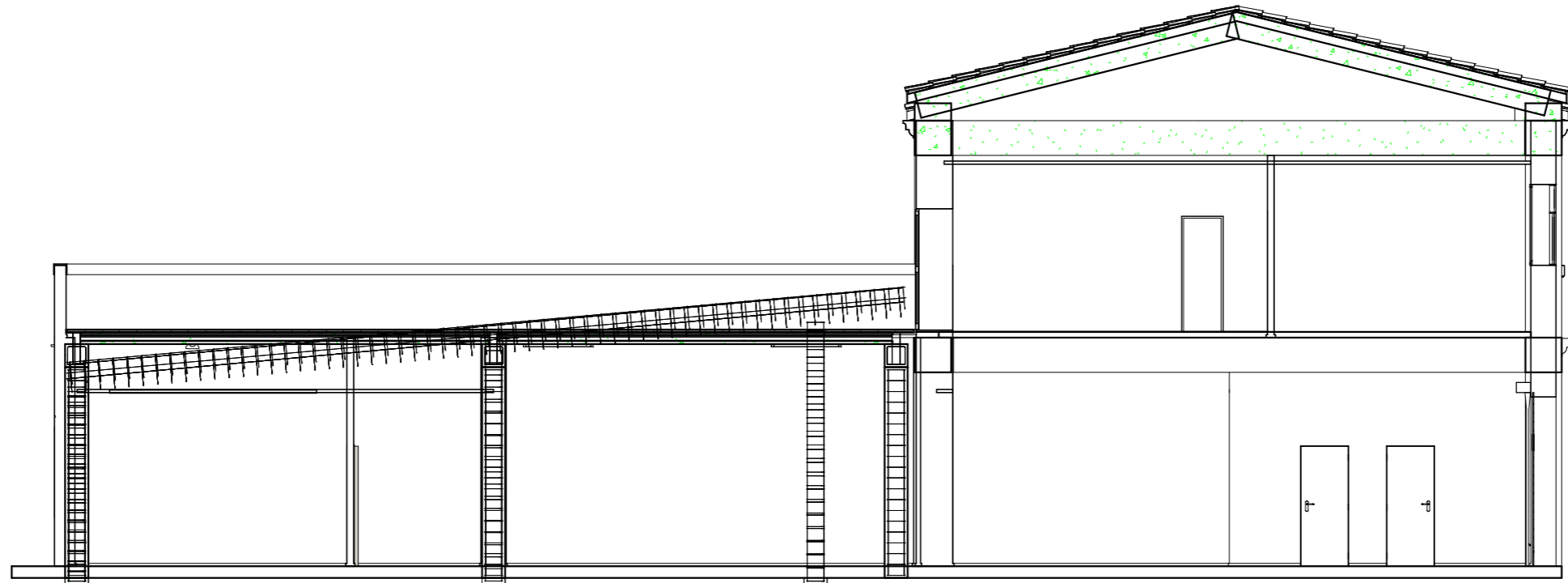
	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 200
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Planta	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Primera planta	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 12	




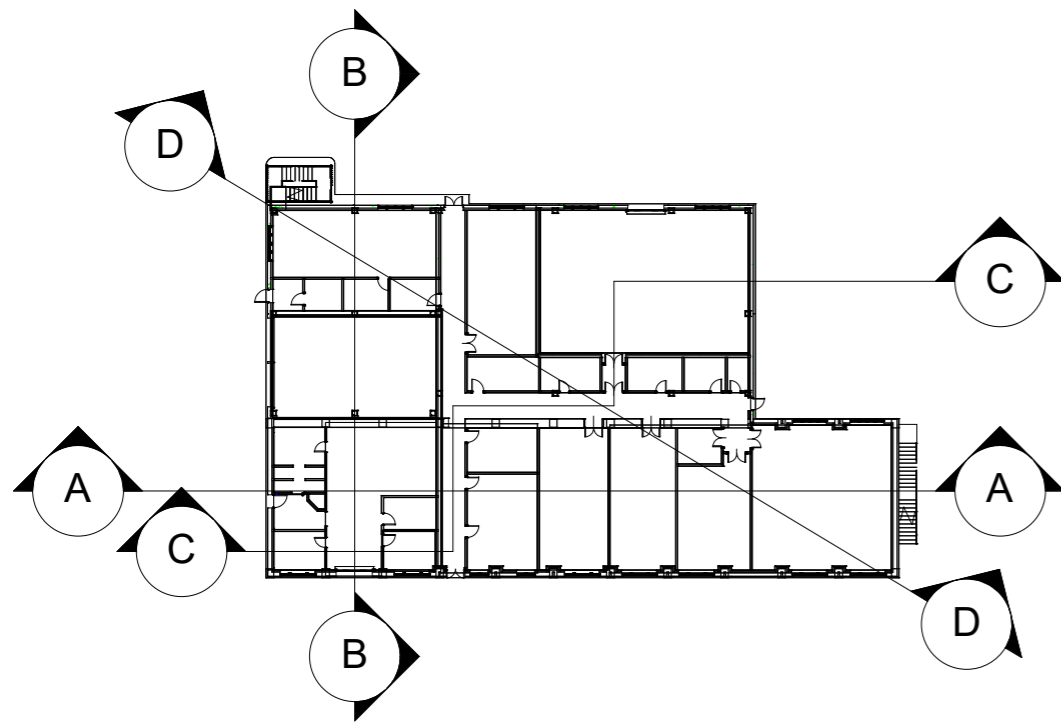
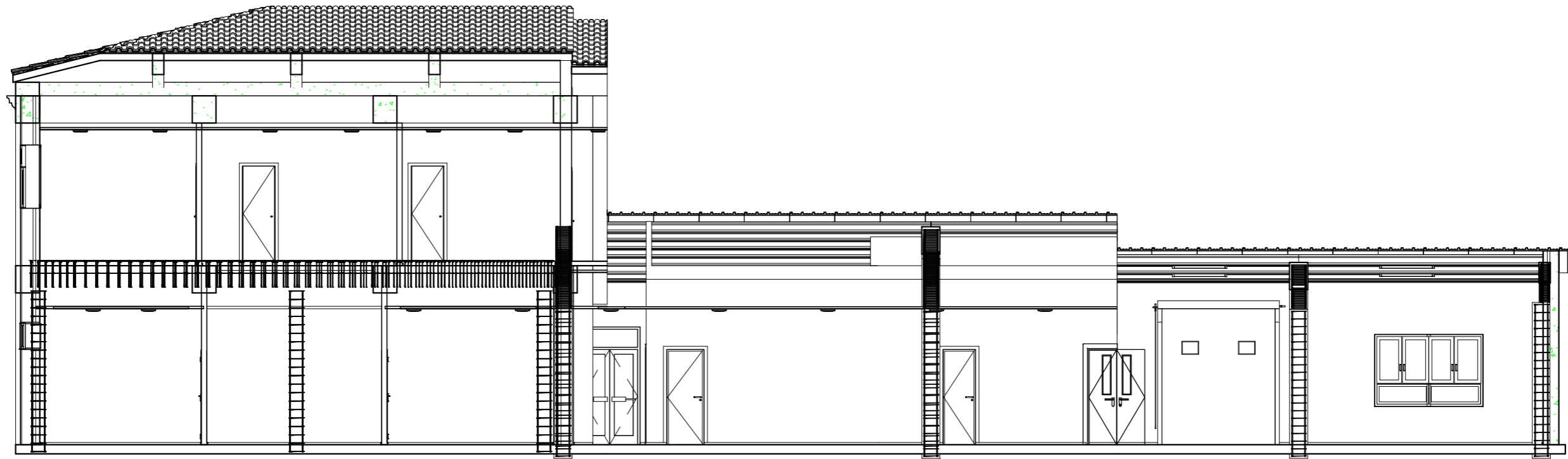
	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 200
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Planta	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Planta cubiertas	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 13	




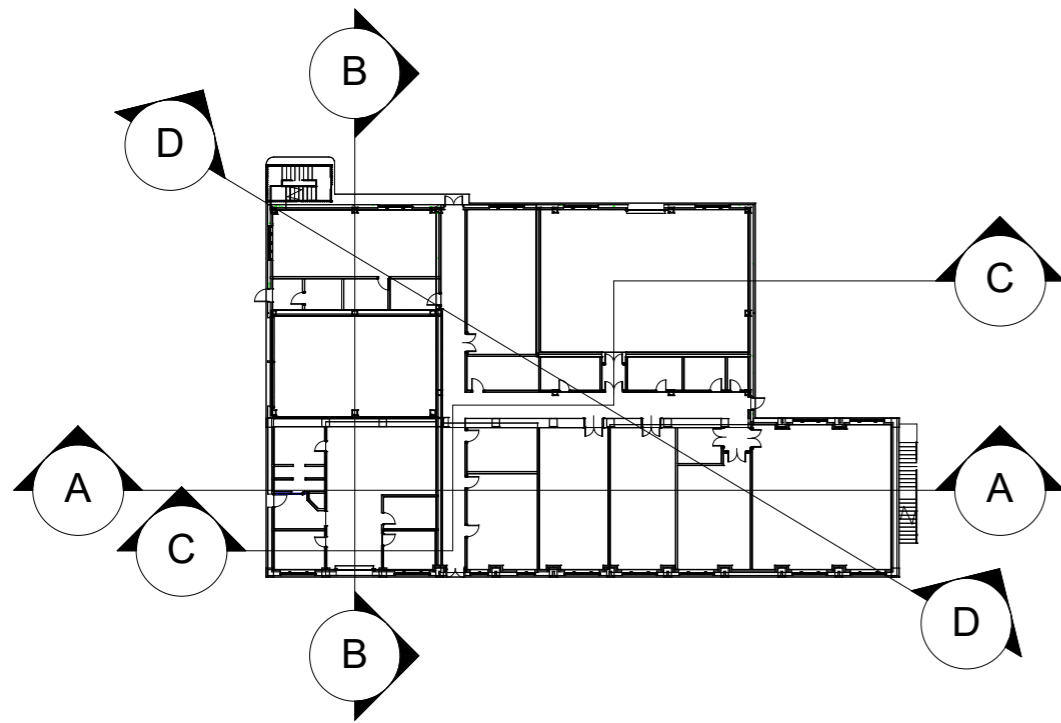
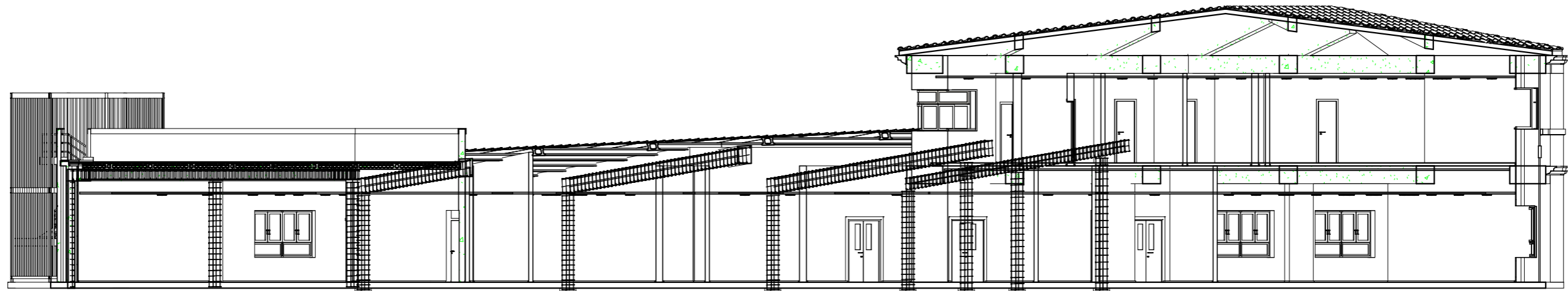
	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 150
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Corte	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Corte A-A'	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 14	




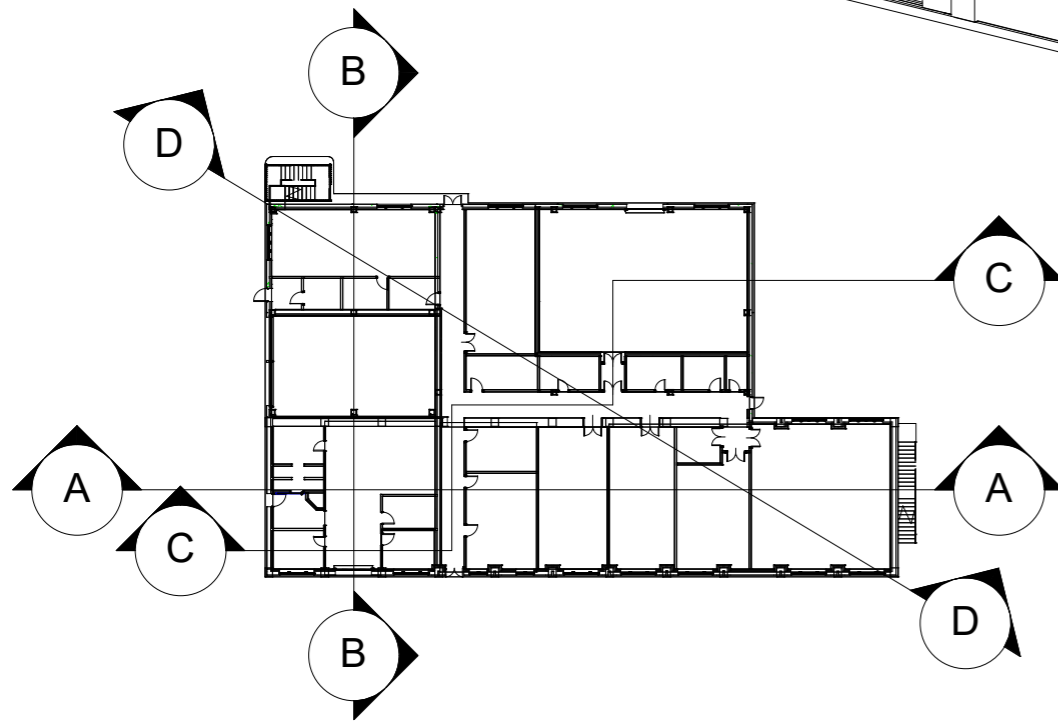
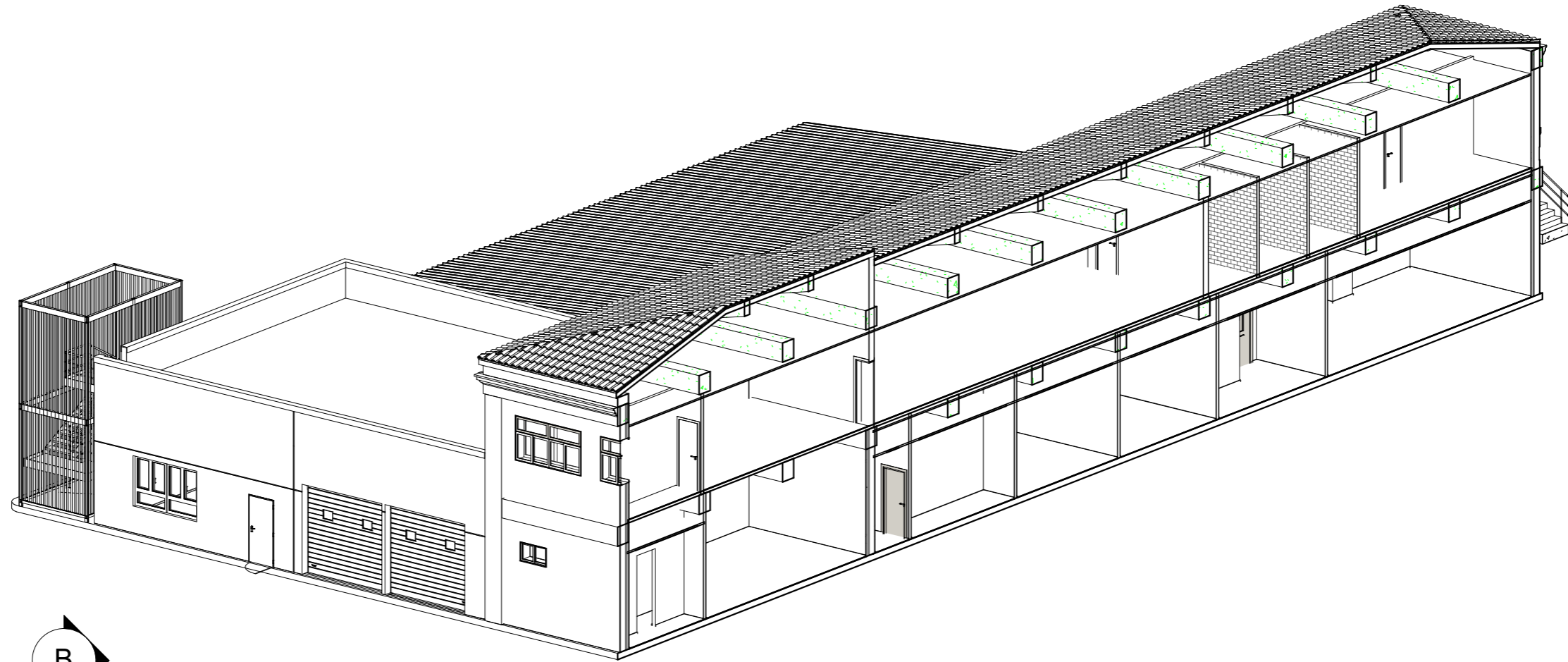
	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 100
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Corte	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Corte B-B'	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 15	




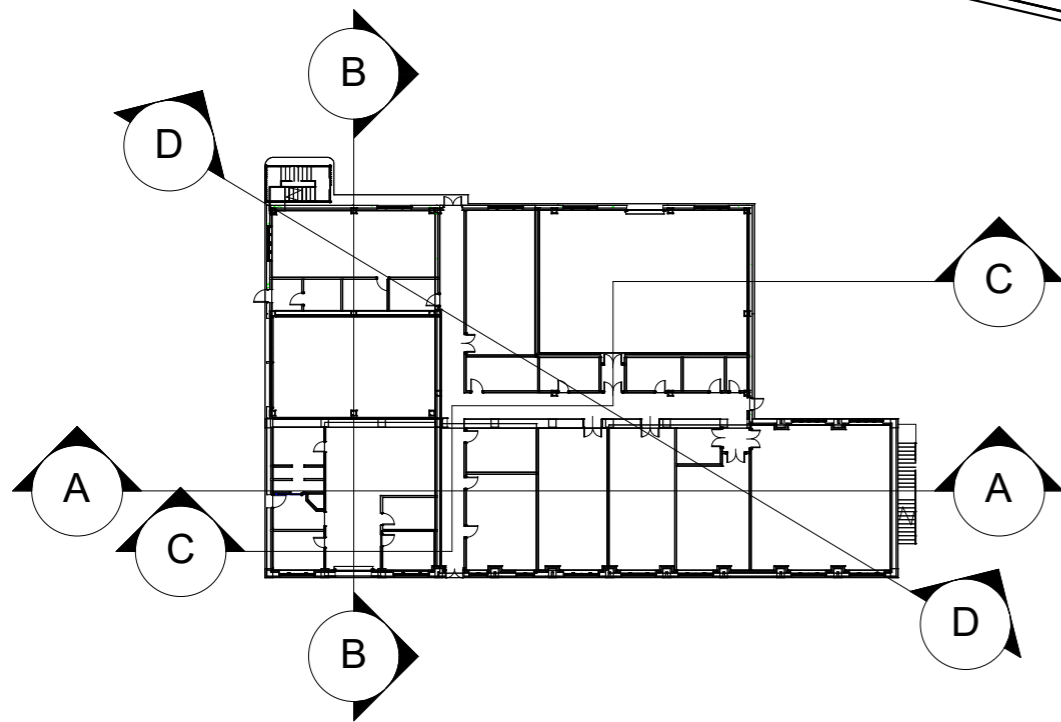
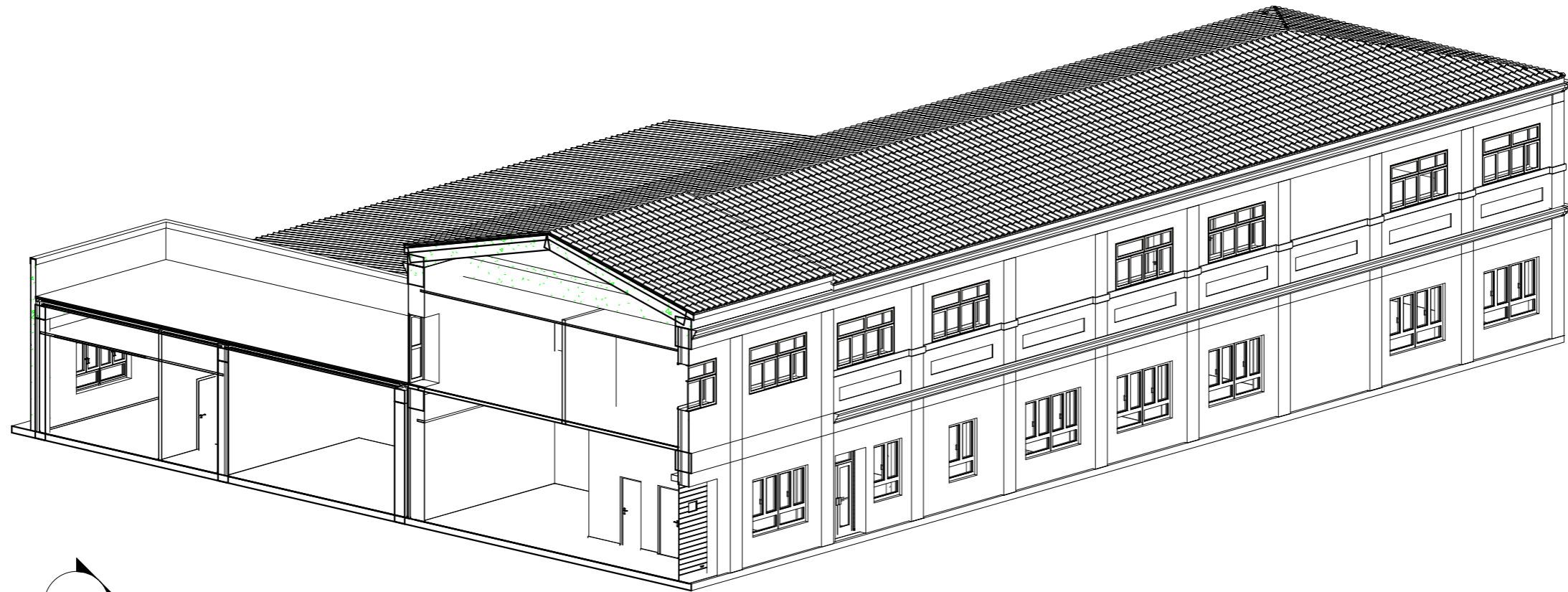
	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 100
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Corte	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Corte C-C'	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 16	




	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 150
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Corte	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Corte D-D'	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 17	



	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala: 1 : 150
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Sección	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Sección A-A' en 3D	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 18	



	Título de Proyecto: Maqueta digital 4D con significado BIM del Centro de Investigación del CUD en la Escuela Naval Militar		Escala:
	Realizado por: Carlos Supervielle Bergés	Tipo de documento: Sección	
Revisado por: Xavier Núñez Nieto	Situación: Centro de Investigación		
Título de plano: Sección B-B' en 3D	Fecha: 12/02/2018	Nº de plano: 19	

4.2.3 Maqueta virtual

Una de las obtenciones más importantes, y a partir de la cual se derivan las demás, es la maqueta virtual del edificio. Generando los diferentes elementos de detalle, las texturas y materiales correspondientes, se pretende conseguir un modelo lo más parecido a la realidad posible, como se pueden ver desde la Figura 4-3 hasta la Figura 4-6.

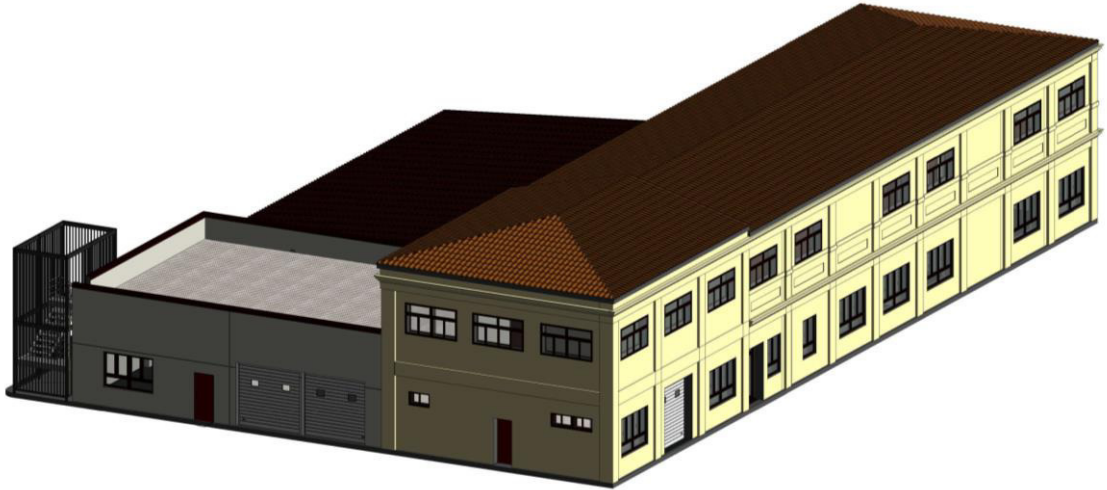


Figura 4-3 Esquina sureste del Centro de Investigación

En la fachada sur de la Figura 4-3 del edificio se puede observar las dos puertas de garaje que dan entrada al pañol de embarcaciones. A su derecha se encuentra la entrada a los vestuarios tanto masculino como femenino del pañol de buceo. En la fachada este el edificio tiene algunos elementos de detalle como cornisas a diferentes niveles o rebajes de embellecimiento. Además, se encuentra la entrada principal a las aulas de investigación y a su izquierda la puerta de garaje que da acceso al pañol de buceo.

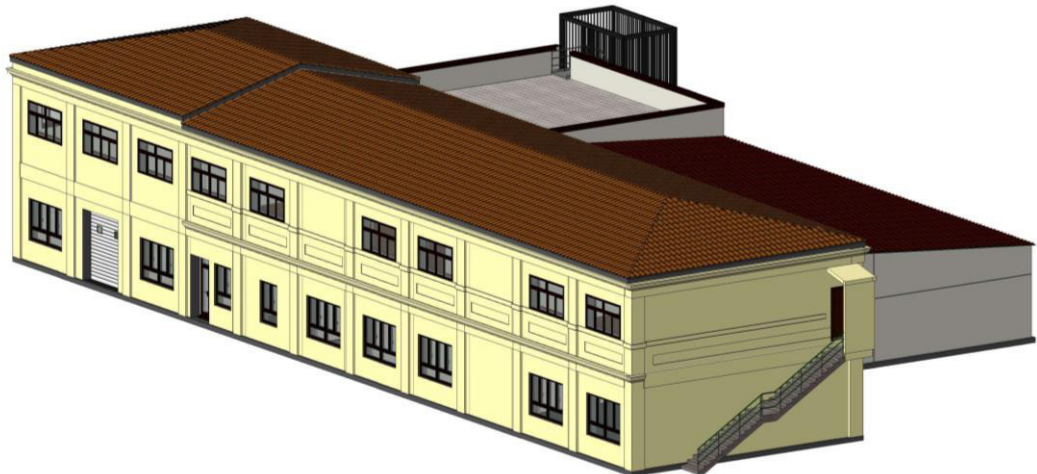


Figura 4-4 Esquina nordeste del Centro de Investigación

La fachada norte del edificio muestra la escalera de acceso a la primera planta para entrar en el local de ensayo de música. Este es uno de los dos accesos que existen a la primera planta. El otro está en la fachada oeste del edificio, por la escalera de emergencias.

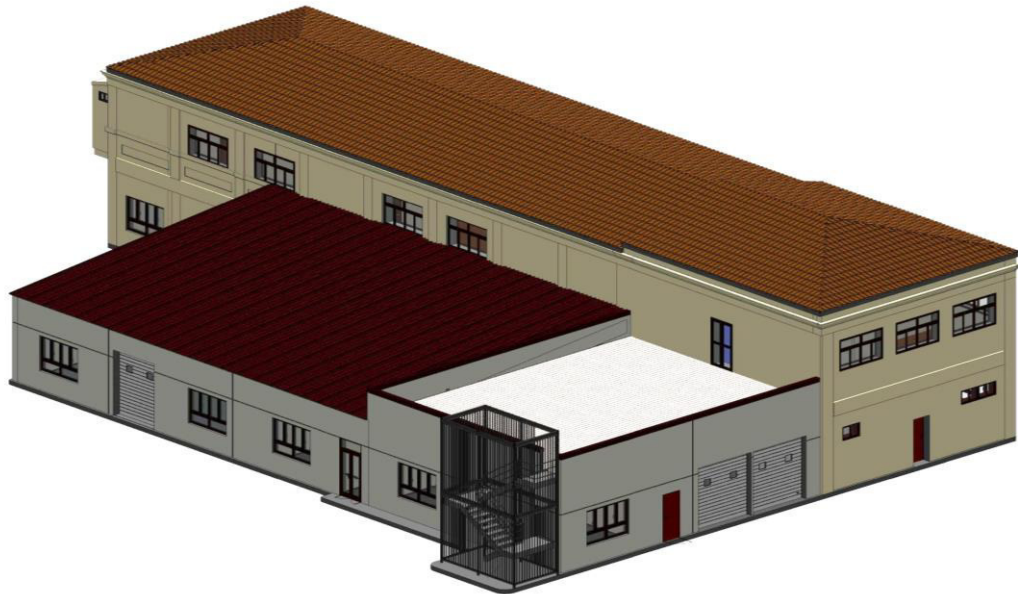


Figura 4-5 Esquina suroeste del Centro de Investigación

En la cara oeste del edificio se puede observar la característica escalera de emergencias que da acceso a la terraza en la que se prevé situar placas solares para la realización de diferentes experimentos (ver Figura 4-5). En dicha terraza se encuentra el otro acceso a la primera planta. A la izquierda de la escalera se encuentra otra entrada al pasillo principal de las aulas de investigación. Por último, sobre la fachada oeste se puede ver la puerta de garaje que da acceso al laboratorio de mecánica del edificio.

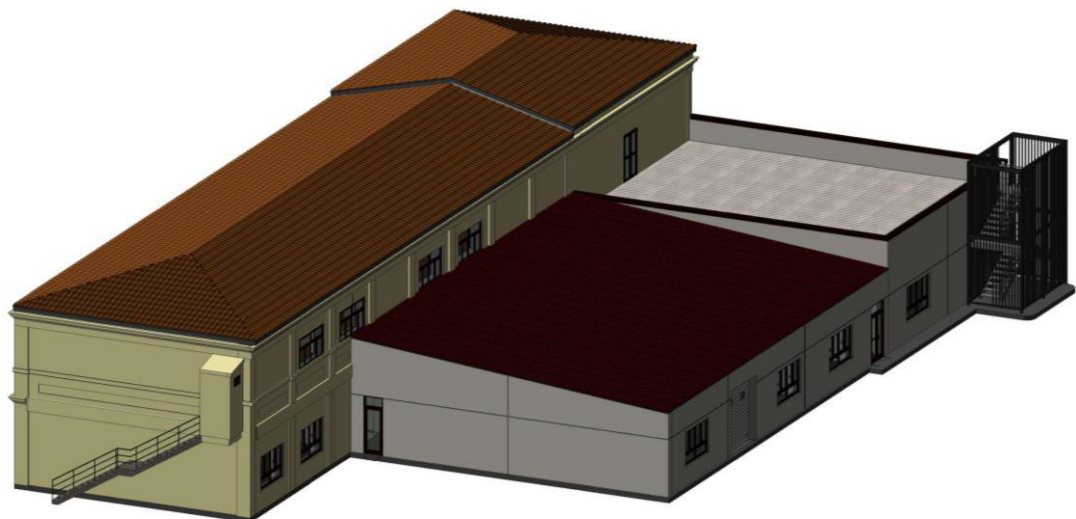


Figura 4-6 Esquina noroeste del Centro de Investigación

Aunque pudiese parecer una mera representación geométrica del edificio, es mucho más que esto. Como ya se ha mencionado en el trabajo, la importancia del modelo recae en la base de datos de información que supone para el usuario. Cada uno de los elementos aporta cierta información al conjunto del modelo.

Además, el programa permite la visualización del modelo en diferentes perspectivas (ver Figura 4-1) y representaciones que se enumeran a continuación: estructura alámbrica, línea oculta, sombreado, colores coherentes, realista y trazado de rayos. Además, en las propiedades de cada

elemento, se puede seleccionar las opciones de visualización, determinando si se desea que sean visibles en determinadas vistas.

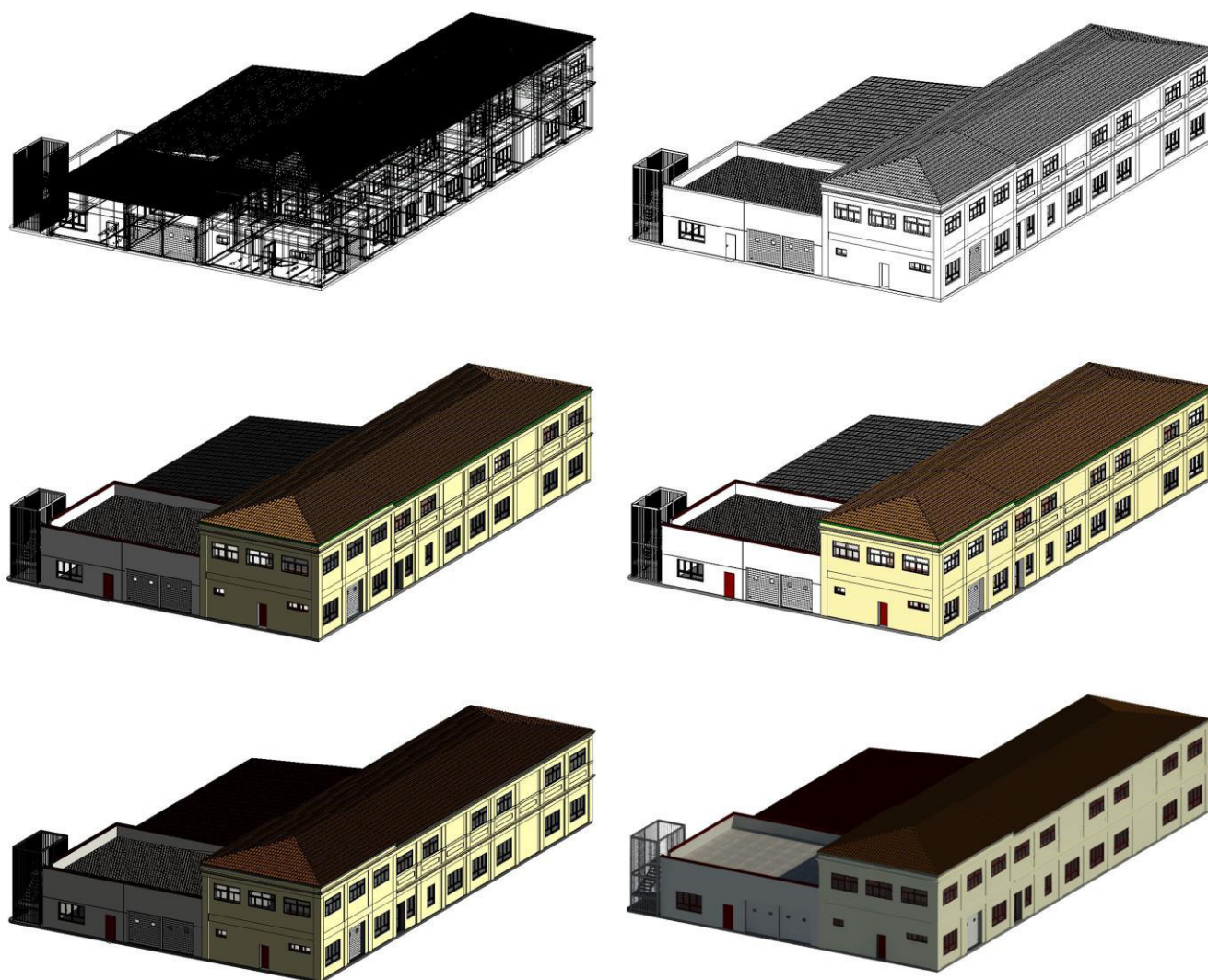


Figura 4-7 Visualización. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: estructura alámbrica, línea oculta, sombreado, colores coherentes, realista y trazado de rayos.

En ese orden, siguen una clasificación ascendente de complejidad, desde la estructura alámbrica, siendo meras representaciones de líneas, hasta el trazado con rayos, en el cual se realiza una rápida renderización de la imagen que se visualiza. En cada visualización se puede observar un aumento en el detalle y complejidad de representación. Con la última, se obtiene una representación realista del modelo sin necesidad de generar una imagen renderizada, con el correspondiente tiempo destinado a ello. Sin embargo, a mayor complejidad, mayor el tiempo para navegar por el proyecto, ya que el ordenador debe mostrar el máximo nivel de detalle. Así, se debe seleccionar el modo de visualización que más conviene en cada caso. Se ha de hacer un balance entre el modo más detallista y uno que permita un manejo correcto y a una buena velocidad del programa.

No sólo se puede obtener una visualización externa del edificio. Mediante diferentes técnicas se puede acceder al interior del mismo para realizar comprobaciones y visualizaciones de elementos. La utilización de la herramienta “Caja de secciones” en las propiedades de la vista permite realizar cortes con el simple hecho de modificar los límites del paralelepípedo que genera esta herramienta. Todo lo cortado por las aristas de este prisma no será visualizado. Por otra parte, seleccionando la opción de

“Paseo”, se permite mediante el movimiento de una cámara, desplazarse por todas las partes del proyecto.

A continuación, desde la Figura 4-8 hasta la Figura 4-10 se muestran varias visualizaciones de las zonas internas del ejercicio.

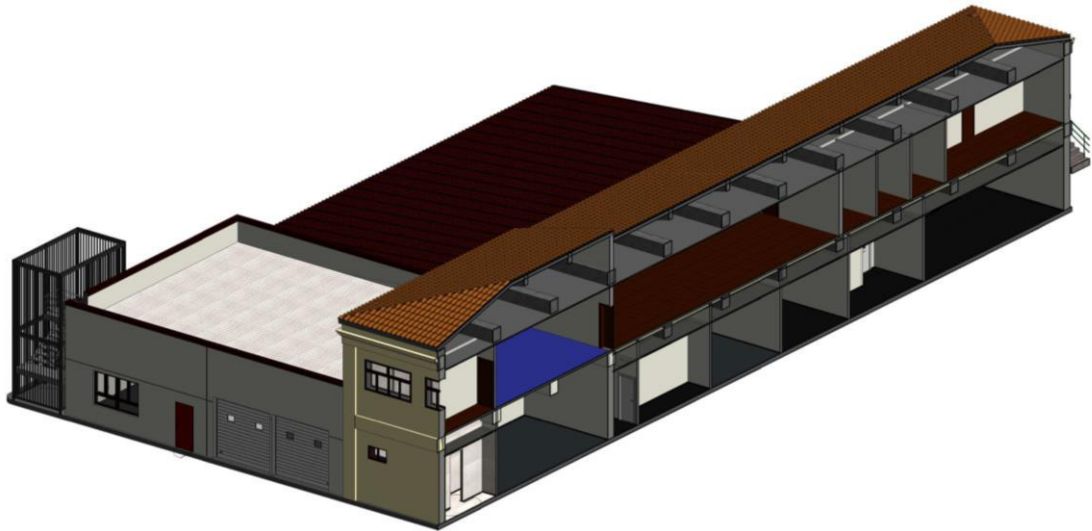


Figura 4-8 Sección vertical en 3D

La generación del modelo 3D permite la creación de cuantos cortes y secciones sean necesarios para un correcto entendimiento de la maqueta. En la Figura 4-8 se pueden observar los diferentes elementos que están entre los falsos techos y su estructura superior. Con esta técnica se puede comprobar la colocación que se ha realizado de este tipo de estructuras.



Figura 4-9 Sección diagonal en 3D

La realización de secciones en 3D permite visualizar determinadas partes del edificio que por lo general no serán vistas. Por ejemplo, en un recorrido virtual, se hacen paseos por las zonas habitables

del edificio. Sin embargo, creando cortes, se pueden observar las características de otro tipo de zonas como buhardillas, falsos techos o la estructura de las vigas.

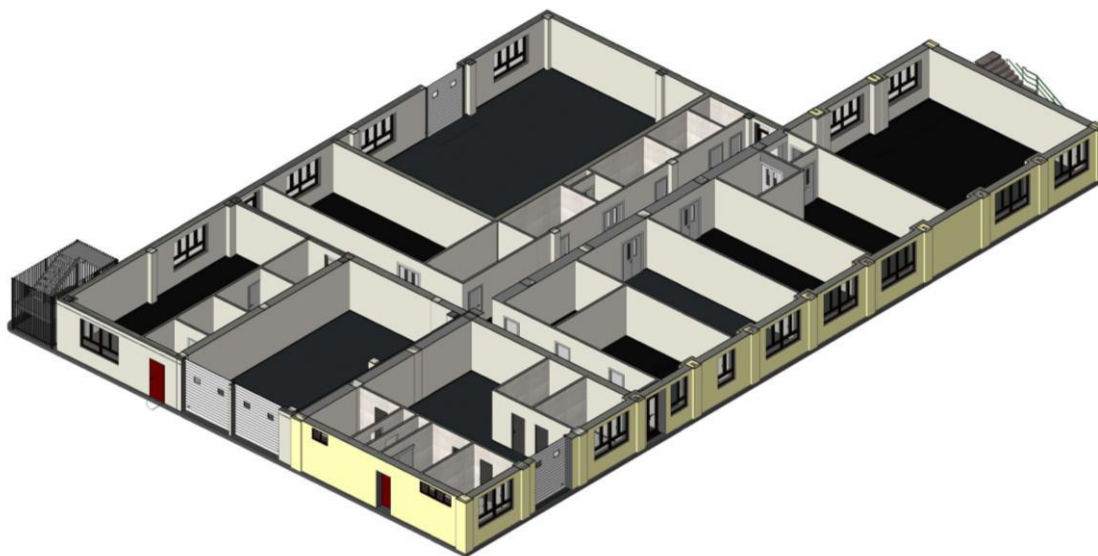


Figura 4-10 Sección horizontal en 3D

Con todo, se puede comprender la diferencia entre esta técnica de diseño y la generación de planos 2D. Se tiene un modelo en el que se puede actuar sobre todos sus parámetros, obteniendo el resultado final deseado por el usuario.

4.2.4 Anotaciones y correcciones

Programas como Autodesk Navisworks Manage permiten la anotación y corrección de fallos en el modelo virtual. Esto es de gran utilidad cuando un mismo equipo está trabajando sobre un modelo, permitiendo que una persona realice anotaciones y revisiones y que las demás puedan observarlas y actuar sobre ellas (ver Figura 4-11)

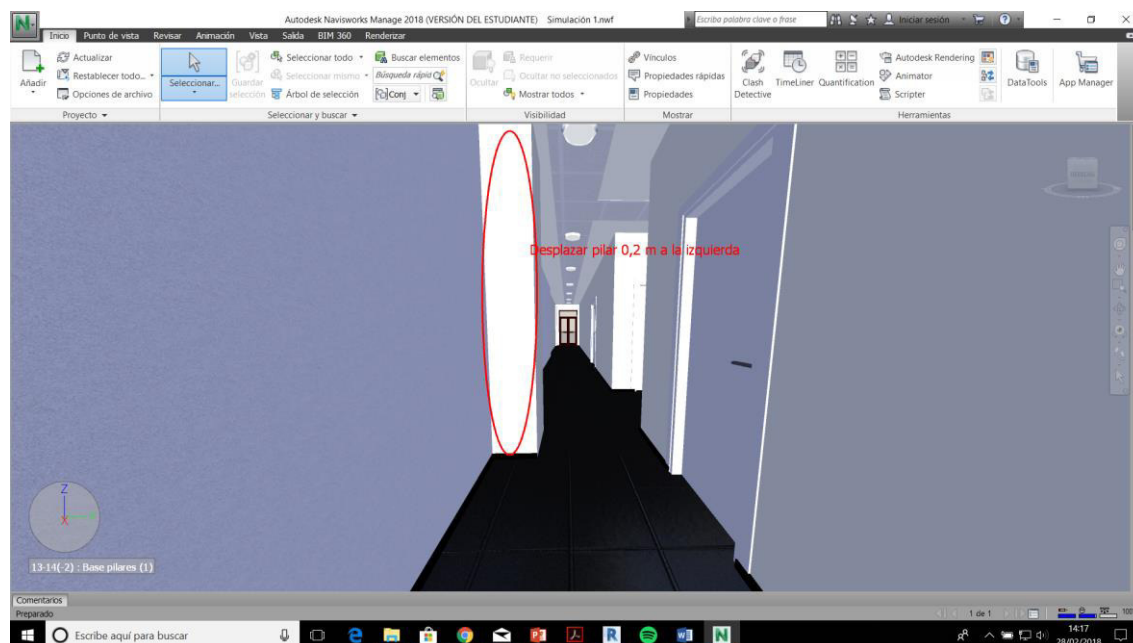


Figura 4-11 Anotaciones realizadas sobre el modelo virtual

Por otra parte, se pueden realizar modificaciones sobre el modelo para su visualización. Si se desea mantener el cambio, se puede importar el modelo de nuevo al programa Autodesk Revit, obteniendo el modelo modificado desde Navisworks. Como se puede observar el flujo de información y datos puede ser en ambos sentidos.

4.2.5 Renderizados

Con el fin de mostrar el modelo, dar una sensación de realidad y de revisar las texturas que va a llevar el proyecto, se realizan diferentes renderizados de las zonas más características del edificio desde la Figura 4-12 hasta la Figura 4-22.

La calidad de la imagen final depende del usuario. Es por esto que es de gran importancia establecer un balance entre la calidad y el tiempo de renderizado. Si aumenta considerablemente la calidad de la imagen, el programa al dividir las texturas en un mayor número de capas, aumenta en gran medida el tiempo empleado en realizar el renderizado. De aquí las diferentes opciones a la hora de generar la imagen: borrador, media, alta, óptima o personalizada. En la Figura 4-12 se puede observar dos imágenes renderizadas con distintas configuraciones. La imagen de la izquierda muestra una configuración de borrador en la que la calidad de la imagen es significativamente menor. Sin embargo, mientras que la imagen de la izquierda tiene un tiempo de renderizado medio de 30 segundos, la imagen de la derecha lleva de 5 a 7 horas para renderizarse al completo.

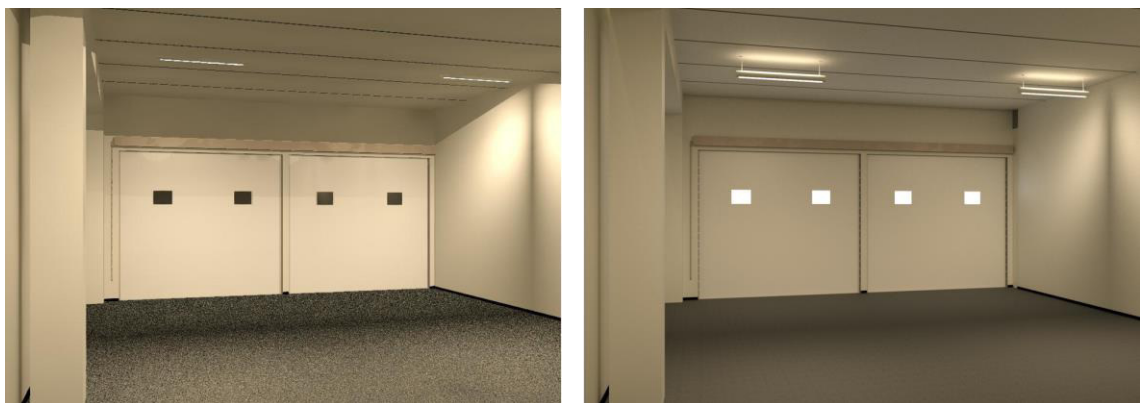


Figura 4-12 Comparación de configuraciones de renderizado

La configuración de la iluminación es de vital importancia ya que le dan aspectos muy distintos las configuraciones con solo y las artificiales.

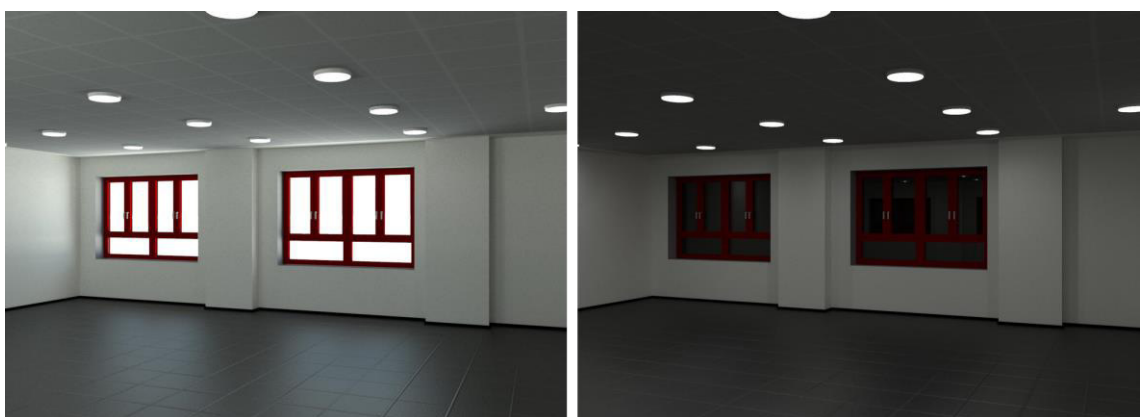


Figura 4-13 Diferencia entre configuraciones de renderización

En la Figura 4-13 se puede observar la diferencia entre una imagen configurada sólo con luces artificiales (imagen de la derecha) y otra con el sol además de dichas luces (imagen de la izquierda).



Figura 4-14 Renderizado de la vista suroeste del edificio



Figura 4-15 Imagen renderizada de la esquina sureste del edificio



Figura 4-16 Imagen renderizada de la cubierta tipo sándwich



Figura 4-17 Renderizado nocturno del edificio



Figura 4-18 Imagen renderizada desde la terraza



Figura 4-19 Renderizado del pasillo central



Figura 4-20 Renderizado del laboratorio de mecánica



Figura 4-21 Imagen renderizada del laboratorio multiusuarios

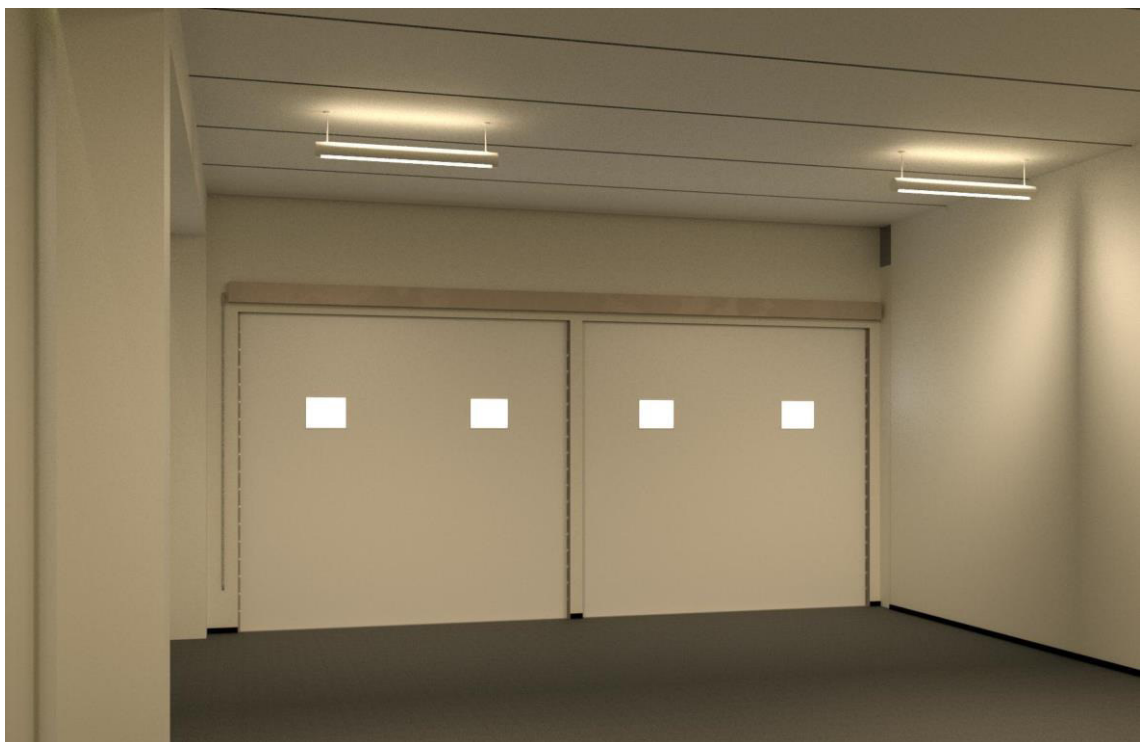


Figura 4-22 Imagen renderizada del pañol de embarcaciones

4.2.6 Recorrido virtual

Como una mejora a las imágenes renderizadas, existen los recorridos virtuales. El programa Autodesk permite la generación de estos paseos para mostrar de una forma mucho más dinámica la composición del edificio.

Una vez generado el recorrido como se describió en el apartado 3.2.2.12, existen dos opciones para la creación del vídeo. Por una parte, se podría realizar el vídeo renderizado del recorrido, otorgando un mayor nivel de realismo al paseo. Sin embargo, el tiempo para su renderizado será extremadamente

largo. Por otra parte, se puede realizar el vídeo con las texturas de origen del programa. Así se crea un vídeo mucho menos pesado, que, a pesar de disminuir en calidad, sigue otorgando una sensación de inmersión en el modelo. En la Figura 4-23, se presentan diferentes fotogramas contenidos en un paseo virtual realizado por el interior del Centro de Investigación.

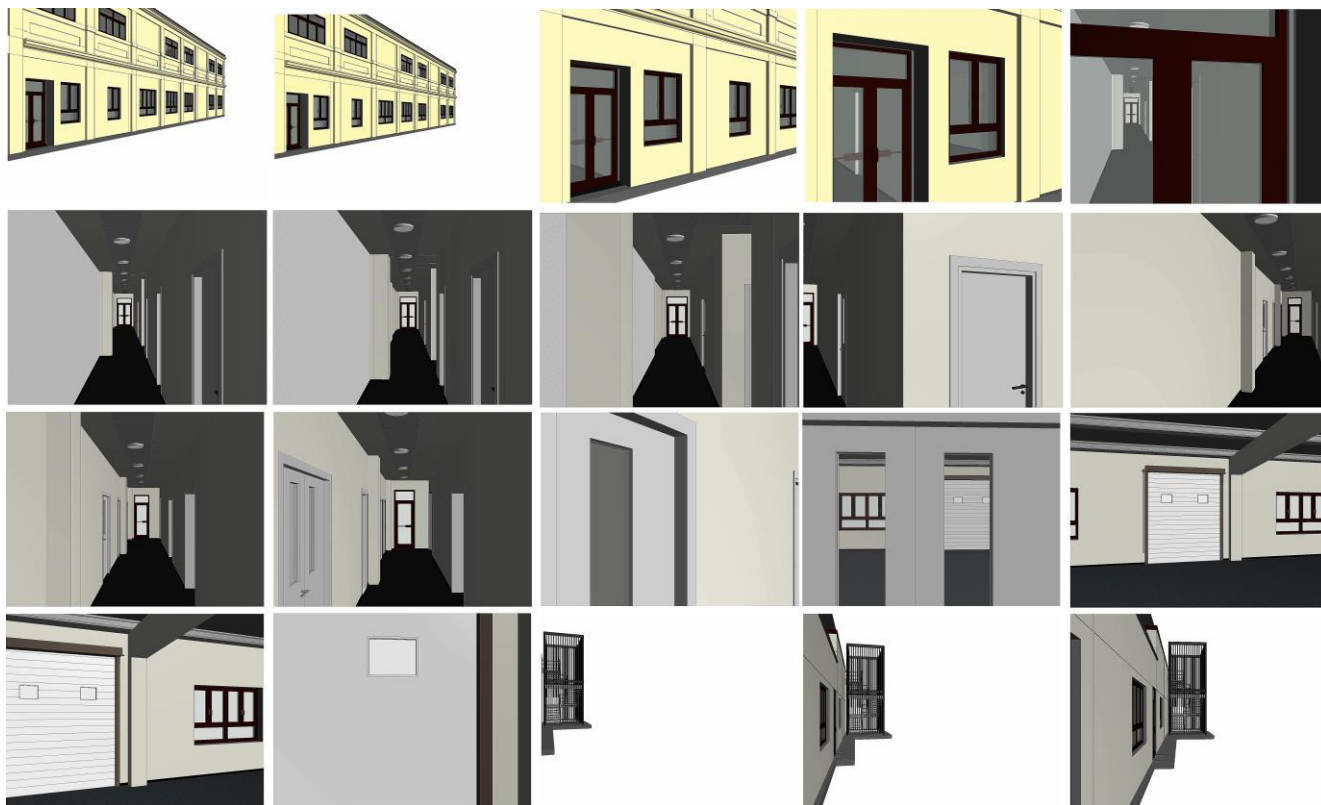


Figura 4-23 Mosaico del recorrido virtual

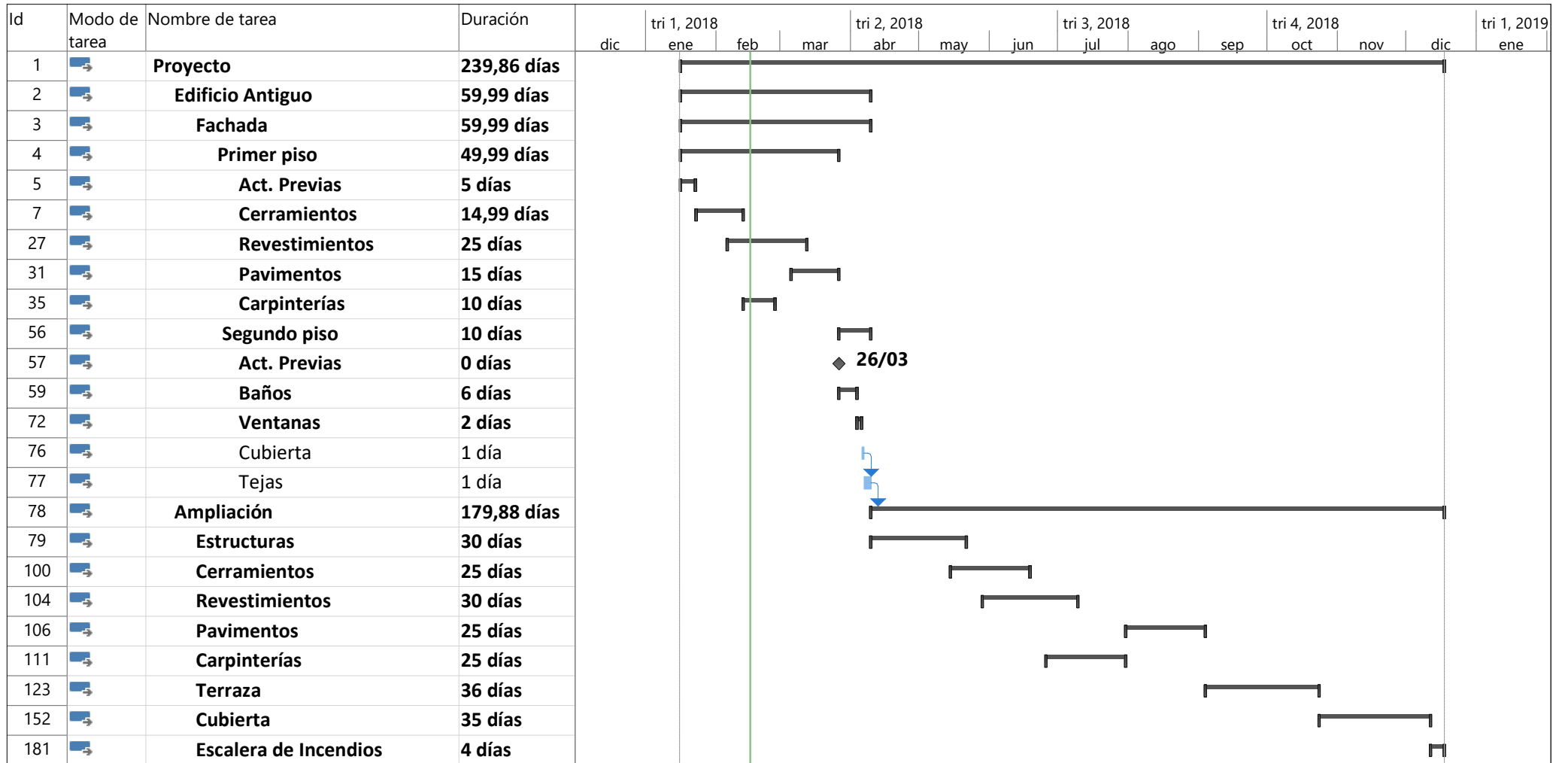
No es sólo una herramienta para poder mostrar el edificio a personas ajenas, también es utilizada para la detección de errores o de ciertas modificaciones que se deseen realizar sobre el modelo. Se debe de tener en cuenta que este es uno de los aspectos del uso de la metodología BIM.

4.3 Simulación 4D

El proceso de obtención de un modelo virtual fue el preámbulo para la generación de una simulación temporal del modelo. Por una parte, se creó una programación de la evolución de la reforma y ampliación del edificio a lo largo del tiempo. Por otra, se crearon las animaciones para dar una mayor vistosidad a la evolución de la construcción del edificio. Al combinarlas, se obtuvo una simulación del desarrollo de la construcción de la obra con respecto al tiempo empleado. Ampliando así, la información que posee el modelo, aumentando la base de datos de este modelo BIM.

4.3.1 Programación

Con el objetivo de generar una simulación 4D se tuvo que crear una programación con el programa Microsoft Project, demostrando la interoperabilidad en este tipo de programas. Teniendo en cuenta el calendario establecido para la reforma y ampliación, se creó una programación que cumpliera con los plazos establecidos. Se obtuvo un detallado desglose de tiempos, determinando incluso el tiempo de construcción de los muros individualmente. Se puede observar en la siguiente imagen el resumen de la programación, pudiendo consultar la programación detallada en el Anexo I.



Proyecto: Programacion detalla
Fecha: vie 16/02/18

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

4.3.2 Simulación temporal

Una vez vinculadas las diferentes partes que forman la simulación temporal, se obtiene una simulación (ver Figura 4-24) en la que se puede mostrar diferente información sobre el avance del proyecto tal como el número de días o semanas transcurridas o el tanto por ciento completado del proyecto. Dependiendo de la configuración, se muestran en la animación en un color transparente (verde para elementos de nueva construcción y morado para elementos permanentes) aquellos elementos que están en proceso de construcción que al finalizar, se transforman en elementos sólidos.

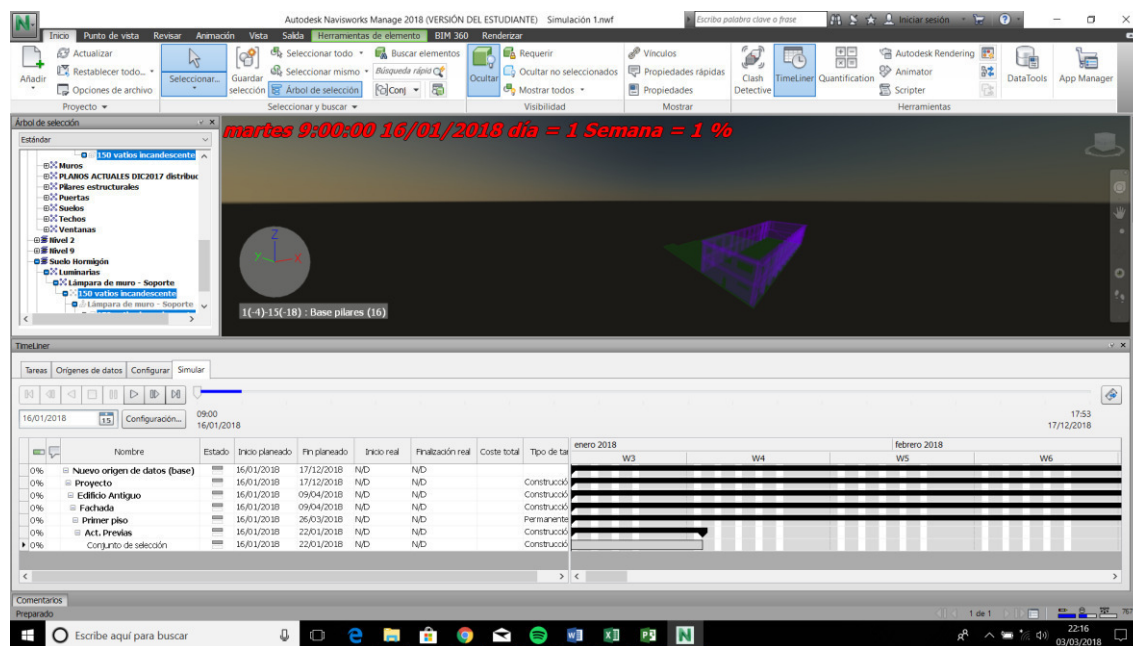


Figura 4-24 Simulación 4D con la barra de desarrollo de tareas

Aparte de la animación generada, se puede crear un vídeo renderizado para la exposición de la simulación a un público. Ya que en este vídeo no se va a visualizar la programación ni el proceso de cada uno de los elementos, se permite la opción de introducir estos datos en el texto mostrado en la pantalla de simulación. Así, en la zona seleccionada de la pantalla, se puede observar el porcentaje referido al avance de esa etapa del proyecto. En la Figura 4-25 se puede ver un fotograma del vídeo para la semana 8 del proceso constructivo. Como ya se mencionó anteriormente, se pueden observar elementos que están en proceso de construcción (zonas verde y morada) o procesos que ya han sido terminados y se muestran en estado sólido como las ventanas.

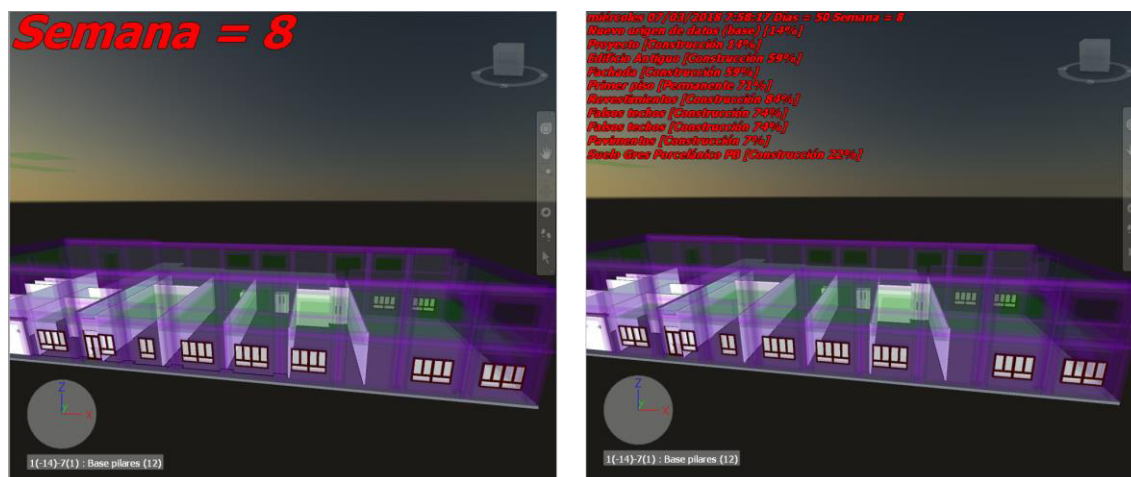


Figura 4-25 Comparación de textos en simulación 4D

Con simulaciones de este tipo, el cliente se puede hacer una idea de la evolución en el proceso de construcción del edificio (ver Figura 4-26). Por lo tanto, podría comparar y establecer si existen retrasos o adelantos en el proceso de edificación.

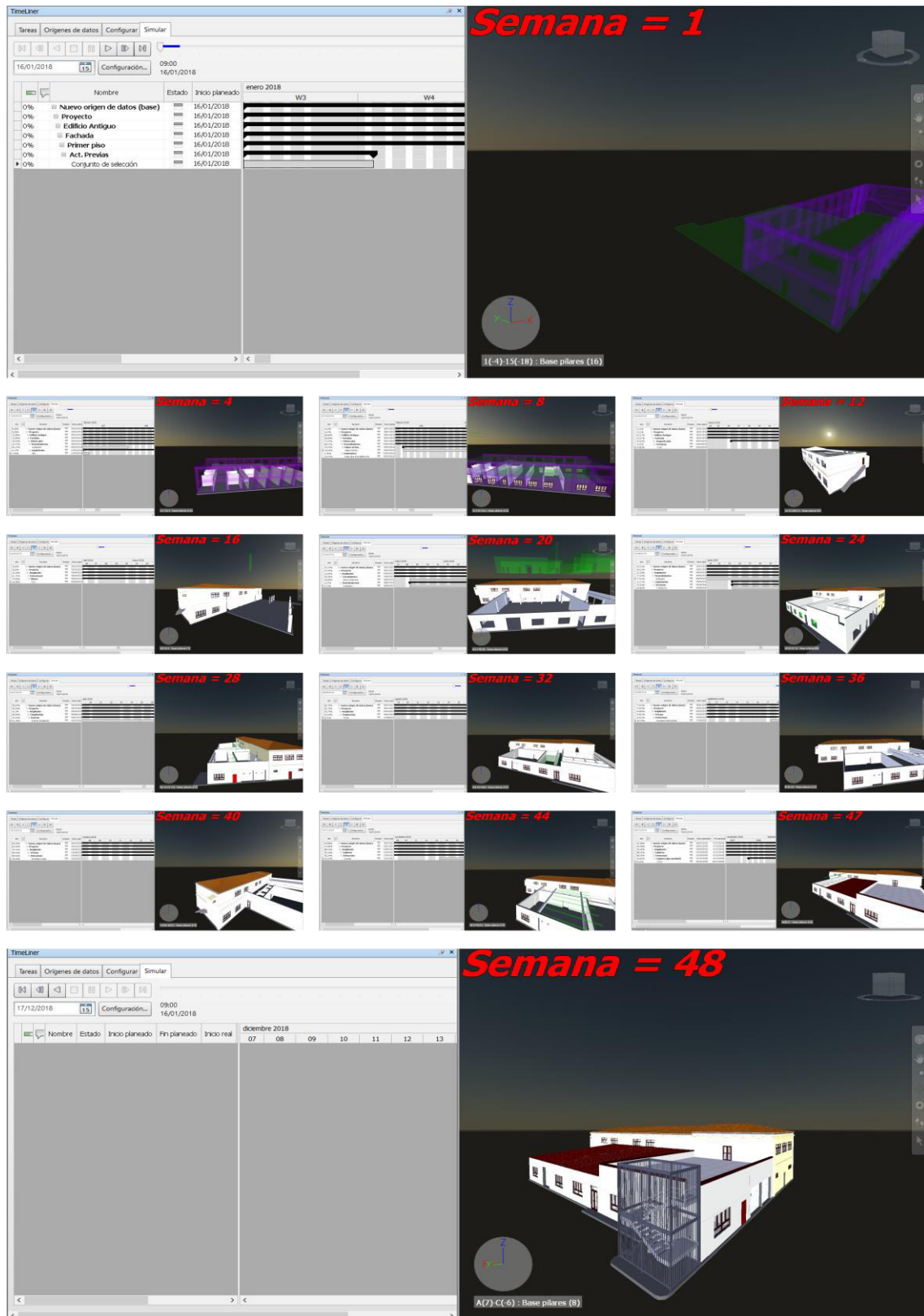


Figura 4-26 Evolución de simulación 4D

4.4 Maqueta a escala

Como complemento al trabajo, se decidió demostrar la interoperabilidad y la capacidad de la metodología BIM de adaptarse a tecnologías vinculadas. Asimismo, se fabricó un modelo 3D a escala del Centro de Investigación. La maqueta se compone de tres partes: la planta baja, la primera planta y las cubiertas.

Se han imprimido individualmente para poder mostrar el interior del edificio y la distribución de las diferentes áreas de trabajo. Así pues, se pueden visualizar individualmente cada planta o juntarlas y generar el conjunto del edificio visto desde el exterior.

Es de gran utilidad obtener una maqueta real del modelo 3D. Por una parte, facilita la explicación del edificio a posibles visitas que viniesen a verlo. Por otra, puede servir como un elemento decorativo, que muestre la distribución del edificio. Además, a nivel docente, se puede explicar sobre la maqueta el proceso de fabricación, haciendo ver las correcciones que serían necesarias en el caso de realizar una impresión 3D. Desde la Figura 4-27 hasta la Figura 4-34 se pueden observar diferentes imágenes de la maqueta fabricada con modelado por deposición fundida.



Figura 4-27 Fachada este de la maqueta a escala

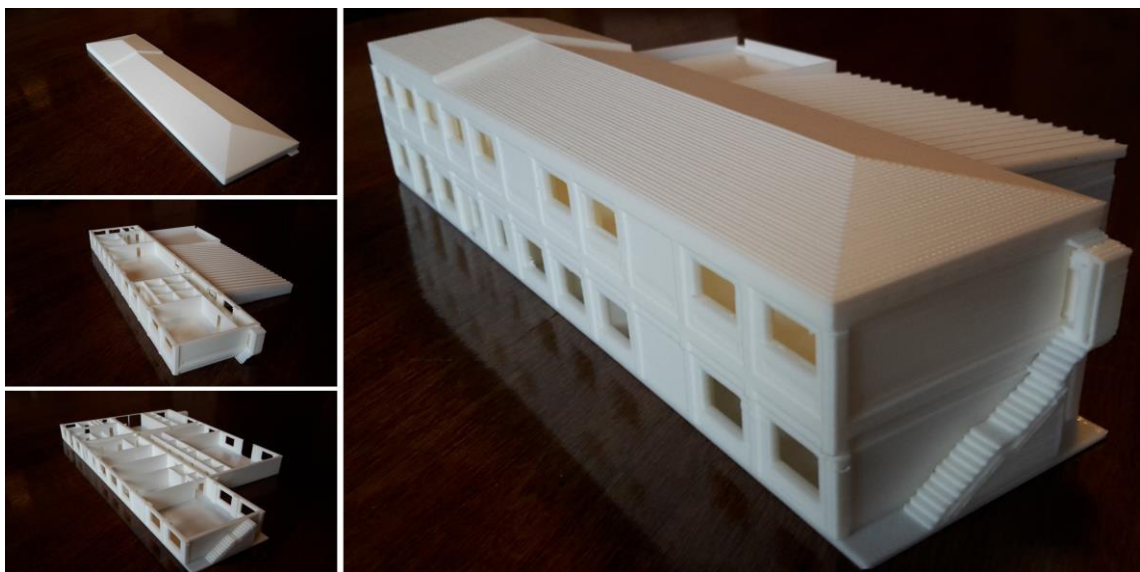


Figura 4-28 Vistas de las plantas por separado y en conjunto



Figura 4-29 Composición de las diferentes plantas que generan el edificio

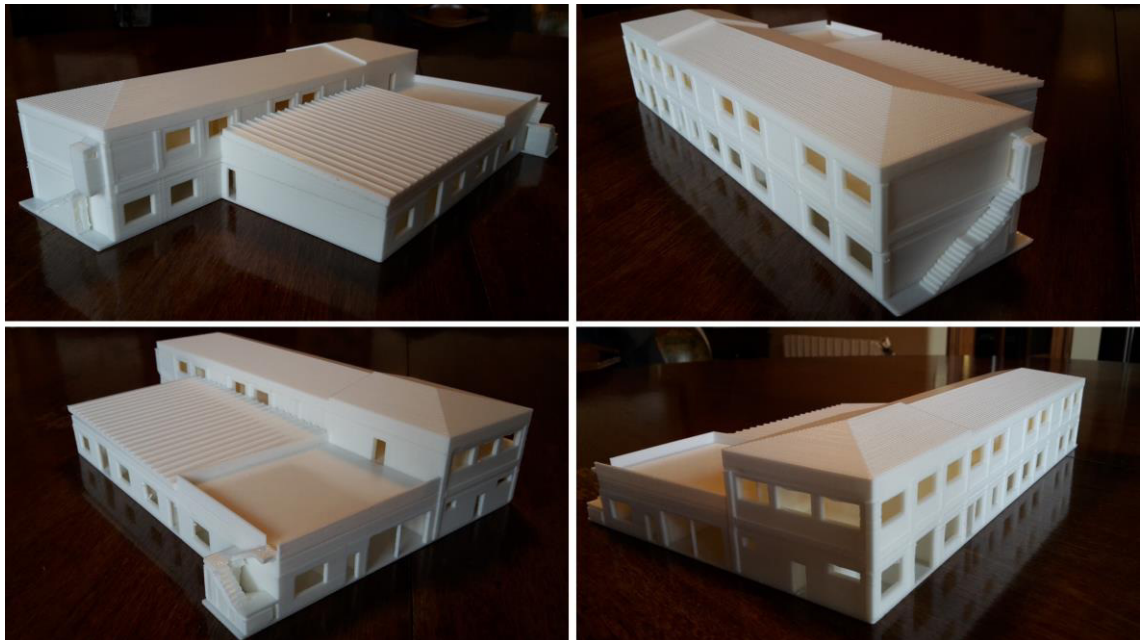


Figura 4-30 Vistas de las cuatro esquinas del edificio

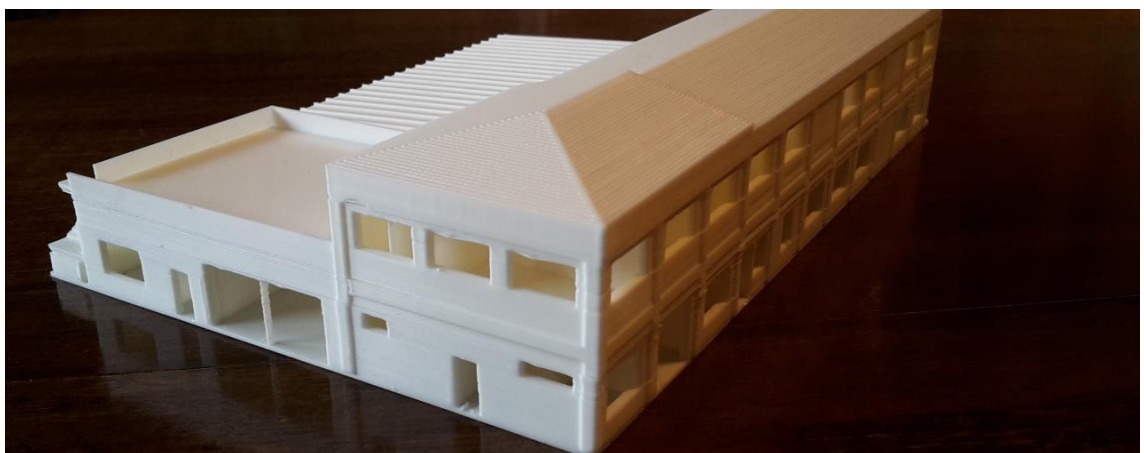


Figura 4-31 Vista ampliada de la esquina sureste del edificio



Figura 4-32 Detalle de la distribución de superficies de la primera planta

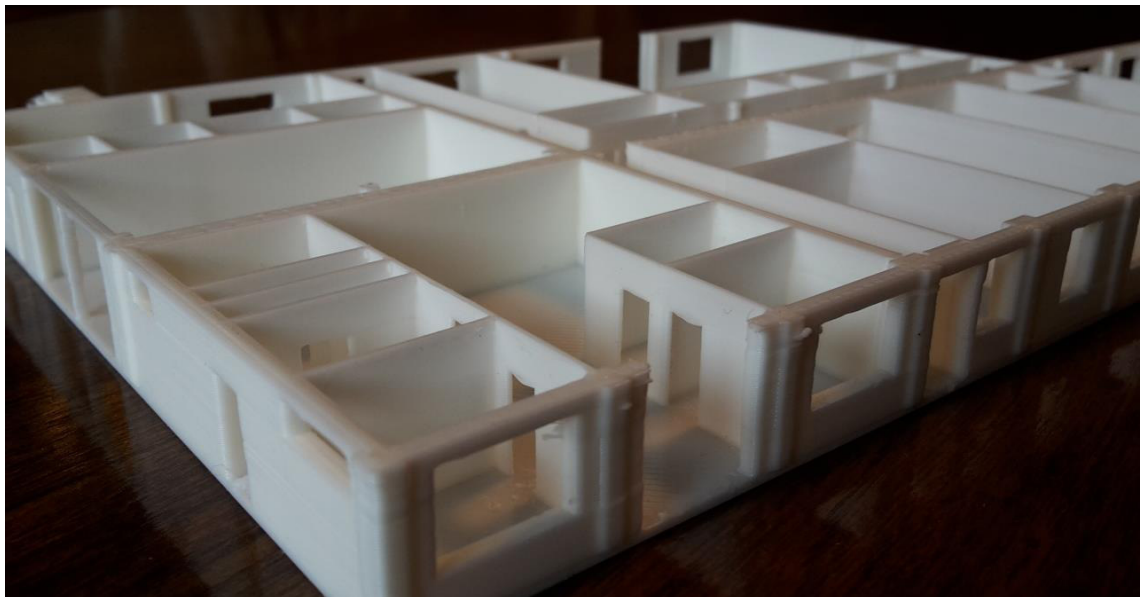


Figura 4-33 Detalle de la distribución de superficies de la planta baja

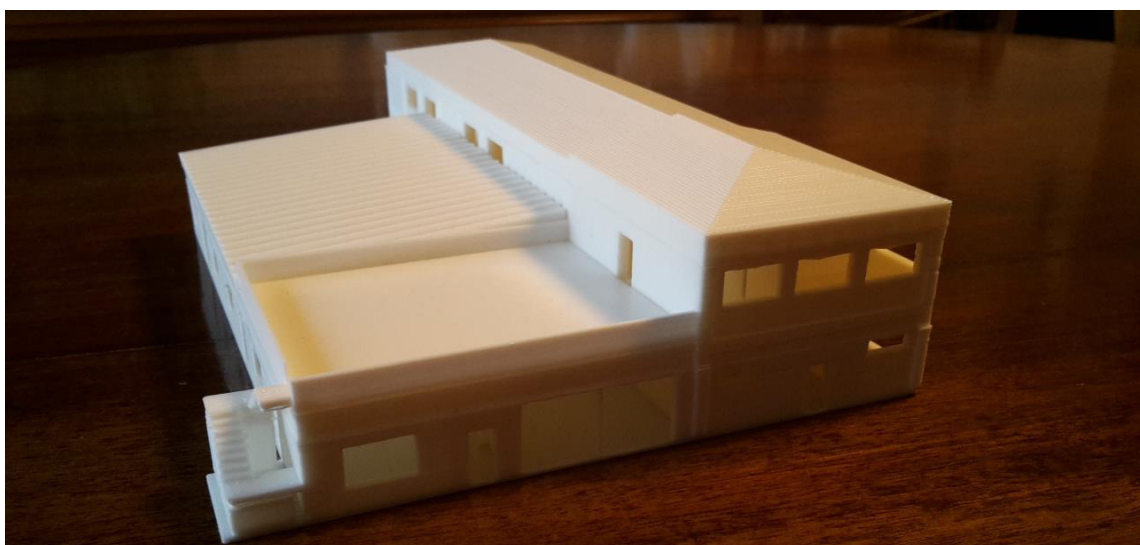


Figura 4-34 Fachada sur con detalle de puertas de garaje

4.4.1 Coste de fabricación

Como ya se explicó en el apartado 3.4.6, para el cálculo del coste de fabricación se han tenido en cuenta dos factores: el coste de la luz y el coste del material.

Realizando la suma del material empleado en cada pieza (planta baja, primera planta y cubiertas) se obtiene un total de 50.57 m lo que es igual a 399 g con un grosor de capa de 0.25 mm y un ancho de hilo de 0.5 mm. Teniendo en cuenta que el coste de un rollo de 1 Kg de PLA cuesta 21€, en la Tabla 4-1 se detalla el gasto de material para cada elemento de la maqueta y el coste asociado a dicho gasto. Así, se obtiene un coste total en PLA de 8.4 €.

Superficies	Longitud material	Peso material	Coste material
Planta baja	15.68 m	124 g	2.604 €
Primera planta	22.98 m	181 g	3.801 €
Cubiertas	11.91 m	94 g	1.974 €
TOTAL	50.57 m	399 g	8.4 €

Tabla 4-1 Características de impresión de las plantas del edificio

Por otra parte, el gasto de luz en el periodo de creación de la maqueta se ha calculado con los costes reseñados en el apartado 3.4.6. En la Tabla 4-2 se detalla el tiempo y el coste de la luz asociado. Para obtener los costes parciales de la luz se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Coste luz} = \text{Tiempo} \times \text{Coste KWh} \times \text{Potencia} = 38,25 \text{ h} \times 0,120588 \frac{\text{€}}{\text{KWh}} \times 0,5 \text{ KW} = 2,3 \text{ €}$$

El coste total de la luz para la fabricación de la maqueta asciende a 2.3€.

Superficies	Tiempo	Coste KWh	Potencia	Coste luz
Planta baja	15.3 h	0,120588 €/KWh	0.5 KW	0.922 €
Primera planta	15.93 h	0,120588 €/KWh	0.5 KW	0.96 €
Cubiertas	7 h	0,120588 €/KWh	0.5 KW	0.422 €
TOTAL	38.25 h	0,120588 €/KWh	0.5 KW	2.3 €

Tabla 4-2 Tiempo empleado y coste de la luz

Es importante tener en cuenta, como se mencionó anteriormente, que en este precio no se ha tenido en cuenta ni la mano de obra ni la amortización de la compra de la impresora ya que en este caso han sido a coste cero. A continuación, se puede observar el cálculo realizado para la obtención del coste total de la maqueta.

$$\text{Coste total} = \text{Coste total del material} + \text{Coste total luz} = 8,4 \text{ €} + 2,3 \text{ €} = 10,7 \text{ €}$$

Todo esto hace un coste total en la impresión 3D con modelado por deposición fundida de las tres plantas del modelo de 10.7 €.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Descripción del apartado

En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas de cada una de las etapas del trabajo que se han seguido para llegar a la consecución de los objetivos establecidos en el mismo. Así pues, se extraerán dichas ideas de los apartados de modelado, simulación 4D e impresión 3D. Finalmente, se dará una conclusión final que aglomere todas las que fueron extraídas de cada uno de los apartados.

Por otro lado, se establecerán una serie de posibles líneas de actuación futura, que vengan a continuar con la idea principal establecida en este trabajo.

5.2 Conclusiones

5.2.1 Modelado

Todo lo expuesto en el segundo apartado del trabajo se hace patente en la realización del modelado de la maqueta virtual. En primer lugar, con la toma de mediciones salió a la luz que la modificación de proyectos de construcción es una acción que está a la orden del día. Es habitual que el proyecto sufra modificaciones durante el proceso de construcción. Por lo tanto, es de vital importancia para la generación de maquetas virtuales tener la información más actualizada posible y realizar la comprobación de los datos obtenidos.

Por otro lado, la realización de la maqueta virtual ha puesto de manifiesto que, aunque a priori pueda parecer un proceso laborioso, una vez se tiene el modelo, se simplifica enormemente la gestión de todo el edificio. Es por esto que emplear el tiempo necesario en realizar una maqueta digital fidedigna es de gran importancia en la obtención de los resultados de las diferentes simulaciones y estudios que se deseen realizar sobre el Centro de Investigación. Además, con la obtención del modelo se consigue una base de trabajo sobre la cual se pueden realizar estudios, modificaciones, anotaciones o la generación de vídeos. Por lo tanto, se obtiene una herramienta para la gestión del edificio a lo largo de su ciclo de vida. Así, no sólo es beneficioso la generación de un modelo 3D en el proceso de construcción, sino que también es de utilidad realizarlo una vez construido, para, por ejemplo, la realización de estudios estructurales, de sostenibilidad, para llevar a cabo el mantenimiento o la demolición del edificio. En cuanto al software utilizado, Autodesk Revit ha sido una herramienta extremadamente útil en la generación del modelo. Es un programa ampliamente utilizado en el mundo BIM que además está ampliamente probado después de múltiples versiones. Así, los posibles fallos que pudiese tener se deben más a las peculiaridades del usuario que a las carencias del programa.

Finalmente, tras varias pruebas con distintos materiales y texturas, se demostró la importancia de una elección correcta al respecto. Es decir, de una representación lo más parecida a la real posible. La

elección correcta o no de los materiales y sus características repercute directamente sobre los resultados obtenidos en simulaciones y pruebas. Además, es información almacenada en el modelo y por lo tanto exportada a demás programas y aplicaciones. A su vez, se han de seleccionar cuidadosamente las texturas si se desea mostrar el edificio de una manera más visual e inmersiva. Por lo tanto, es conveniente la realización detallada de esta etapa en el proceso de modelado.

5.2.2 Simulación 4D

Los resultados de este apartado muestran, entre otras, la facilidad con la que se pueden vincular diferentes formatos de archivos. La interoperabilidad entre diferentes softwares es fundamental para la generación de la simulación temporal. Además, que las actualizaciones en un formato actualicen en los demás da una mayor agilidad en el proceso de creación.

Para la creación de dicha simulación se han utilizado un total de cuatro programas distintos, todos vinculados entre sí de una manera o de otra. Esto permite la interacción entre los distintos agentes involucrados en el proceso de edificación. Cada uno puede gestionar el modelo utilizando el software específico en su ámbito, y lo pueden realizar a distancia si necesidad de establecer reuniones de coordinación. Toda la información se alberga en el modelo 3D y se exporta a otros programas. Un claro ejemplo de esto es la generación de la simulación a través del programa Autodesk Navisworks Manage, obteniendo la información del modelo del programa Autodesk Revit.

En cuanto a la programación, se ha reparado en la importancia de la creación detallada de esta. A mayor detalle, mayor será la exactitud en la representación de la simulación. Es decir, aunque laborioso, se debe intentar dotar de una duración temporal a la instalación o construcción de cada uno de los elementos y que el conjunto de estos sea una etapa en el proceso. Por ejemplo, establecer una duración a cada una de las ventanas que en su conjunto con las puertas determinen la duración de la instalación de las carpinterías. Así, se podrá seleccionar si se desea visualizar el conjunto en la instalación o individualmente cada elemento.

Además, se demuestra la utilidad de la simulación temporal para la comprobación del proceso de construcción. A mayores, para la venta de proyectos, siempre es bienvenido por parte del comprador una simulación temporal para hacerse una idea del tiempo necesario para completar la obra. Todo esto va en beneficio de la vistosidad del edificio, creando un producto mucho más atractivo a las distintas partes interesadas. Por otra parte, se ha valorado positivamente la interfaz del programa Autodesk Navisworks Manage para la generación de la simulación. El software permite no sólo la generación de simulaciones y animaciones, sino también la realización de anotaciones sobre el proyecto que pueden ser de utilidad para el equipo técnico involucrado en el proyecto. Es decir, en su conjunto es un programa de gestión BIM que se centra en el trabajo con el espacio temporal dentro de un proyecto.

5.2.3 Impresión 3D

La impresión 3D ha sacado a la luz varias conclusiones sobre la este tipo de fabricación que para mucha gente pueden ser desconocidas. El proceso de preparación del modelo para la impresión es laborioso y complicado. Muchas veces no se puede representar a la perfección el modelo que se desea, debido a las restricciones técnicas de la impresora. Así, se han de pulir detalles de la maqueta para que esta pueda ser imprimible. Es por esto, que lo que a priori parece ser un proceso sencillo, se convierte en uno en el que se emplea una gran cantidad de tiempo. De hecho, en la creación del modelo en un principio se supuso mucho menos tiempo del que finalmente fue necesario. Es por esto que se debe tener en cuenta al querer realizar una maqueta de este tipo que no es un proceso en el que se introduzca el modelo en la impresora y esta lo imprima.

Se podría decir que la metodología de trabajo consiste, a menudo, en una iteración continua de prueba y error. Es decir, muchas veces, aunque pueda parecer que se ha logrado que un modelo sea imprimible, se ha de probar para ver si realmente la impresora será capaz de generarlo. Por lo tanto, se pueden generar piezas erróneas que muestran que hace falta realizar correcciones en el modelo.

Por último, el auge de la tecnología relacionada con la impresión 3D hace que esté ganando importancia en el mundo de la fabricación. Tanto es así que hoy en día se tienen impresoras industriales creando piezas a escala real de una amplia variedad de materiales como pueden ser el hormigón o el acero. Es decir, probablemente en un periodo corto de tiempo, se tendrán una mayor cantidad de objetos creados con esta tecnología, haciéndola mucho más importante y popular.

5.2.4 Conclusión final

Una vez finalizado el desarrollo del trabajo se han conseguido alcanzar todos los objetivos planteados de inicio, incluso llegando a lograr algunos adicionales. De este modo, se ha obtenido la maqueta digital inteligente del edificio de investigación vinculado al Centro Universitario de la Defensa y toda la planimetría asociada al mismo. Se ha conseguido establecer la programación temporal del proceso constructivo y vincularla al modelo tridimensional, generando una simulación en tiempo real perfectamente entendible por cualquier tipo de usuario. Además, de manera adicional a los objetivos previos, se ha elaborado una maqueta real a escala del edificio, mediante la aplicación de métodos de fabricación aditiva.

De manera global y a la vista de los resultados obtenidos, se puede concluir que la metodología BIM se ha mostrado como una herramienta de trabajo colaborativa de gran potencial para la creación y gestión integral de proyectos de edificación. La interoperabilidad y capacidad de centralización del trabajo, incluyendo a todos los agentes implicados en el proceso, hacen de esta tecnología la apuesta de futuro más plausible dentro del mundo de la ingeniería de la construcción.

5.3 Líneas futuras

5.3.1 Corto plazo

En línea continuista con este trabajo y de manera extensiva al mismo, se propone la elaboración de las instalaciones MEP (Mechanical Electrical Plumbing) asociadas al edificio. Dichos cálculos suponen una prolongación del método BIM, llevada a cabo sobre el modelo virtual diseñado en este trabajo. Así pues, se debería proseguir con el diseño correspondiente a la instalación de alumbrado, eléctrica, térmica, agua, protección contra incendios, acústica, fontanería y saneamiento, entre otras.

5.3.2 Largo plazo

Pensando más a largo plazo, se propone la monitorización de la edificación con sensores y vectores de información de diversa índole, para recoger todo el “Big Data” asociado al edificio. Esto permitiría ascender en los diferentes niveles BIM y llegar a gestionar el edificio de manera integral a lo largo de todo su ciclo de vida; anticipando las labores de mantenimiento requeridas según los criterios de sostenibilidad, para llegar a conseguir un edificio eficiente e inteligente.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Armada Española, «Armada Española,» [En línea]. Available: www.armada.mde.es. [Último acceso: 23 enero 2018].
- [2] Parlamento Europeo y Consejo Europeo, *DIRECTIVA 2014/24/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO*, Diario Oficial de la Unión Europea, 2014.
- [3] C. BIM, «Introducción a la Comisión BIM».
- [4] CONSTRUBIM, «CONSTRUBIM,» [En línea]. Available: <http://construbim.com/que-es-bim.php>. [Último acceso: 13 enero 2018].
- [5] CICE La Escuela Profesional de Nuevas Tecnologías, «CICE La Escuela Profesional de Nuevas Tecnologías,» [En línea]. Available: <https://www.cice.es/noticia/landing-blog/bim-obligatorio-espana-2018/>. [Último acceso: 20 enero 2018].
- [6] Asociación Española de Normalización y Certificación, «Estándares en apoyo del BIM».
- [7] C. S. d. I. C. d. A. d. España, *Resultados de la Encuesta CSCAE sobre implantación de sistemas BIM*, 2016.
- [8] Espacio BIM, «Espacio BIM,» [En línea]. Available: <https://www.espaciobim.com/madurez-bim-level-0-1-2-3/>. [Último acceso: 20 enero 2018].
- [9] R. Hermida Mayán, X. Nuñez-Nieto e I. Puente Luna, *Modelado constructivo inteligente 3D del edificio Príncipe de Asturias situado en la Escuela Naval Militar*, Marín, 2017.
- [10] X. Nuñez-Nieto, M. Solla, A. Novo y H. Lorenzo, «Three-dimensional ground-penetrating radar methodologies for the characterization and volumetric reconstruction of underground tunneling,» *Construction and building materials*, vol. 71, pp. 551-560, 2014.
- [11] Syntegra Group, «Syntegra Group,» [En línea]. Available: <https://syntegragroup.com/m-and-e/services/building-control-compliance-testing/thermographic-survey/>. [Último acceso: 22 enero 2018].
- [12] 3D HUBS, «3D HUBS,» [En línea]. Available: <https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing#basics>. [Último acceso: 13 febrero 2018].

- [13] Direct Industry, «Direct Industry,» [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/makerbot-emea/product-139518-1735906.html>. [Último acceso: 20 febrero 2018].
- [14] La fábrica de inventos, «La fábrica de inventos,» [En línea]. Available: <http://lafabricadeinventos.com/estereolitografia-sla/>. [Último acceso: 20 enero 2018].
- [15] 3D Natives, «3D Natives,» [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-por-estereolitografia-les-explicamos-todo/>. [Último acceso: 20 febrero 2018].
- [16] Lupeon, «Lupeon,» [En línea]. Available: <http://www.lupeon.com/impresion-3d/tecnologias-de-impresion/sinterizado-selectivo-laser>. [Último acceso: 20 febrero 2018].
- [17] Rolatape, «Rolatape,» [En línea]. Available: <http://www.rolatape.com/us/en/products/rolatape%C2%AE-rt-series/rt412d/rt412d.html>. [Último acceso: 23 enero 2018].
- [18] BOSCH, «BOSCH,» [En línea]. Available: <https://www.bosch-professional.com/es/es/products/glm-100-c-0601072700>. [Último acceso: 6 febrero 2018].
- [19] Ministerio de Hacienda y Función Pública, «Sede Electrónica del Catastro,» [En línea]. Available: <https://www.sedecatastro.gob.es/>. [Último acceso: 24 enero 2018].
- [20] Precio Centro Guadalajara, «Precio Centro Guadalajara,» [En línea]. Available: <http://preciocentro.com/cerramientos/fabricas-vistas/fachada-f-1-5-lp240-rm15-at-lhd70-ri15>. [Último acceso: 13 enero 2018].
- [21] BIMobjects, «BIMobjects,» [En línea]. Available: http://bimobject.com/es?gclid=EAIAIQobChMIyoh9bOi2QIVR5kbCh1g0wbQEAAAYASA AEgIJTPD_BwE. [Último acceso: 13 enero 2018].
- [22] BIMobjects, «BIMobjects,» [En línea]. Available: https://bimobject.com/es/schueco/product/schueco_window_aws_90_bs_si_plus_inward_opening. [Último acceso: 13 enero 2018].
- [23] Tresingenieros, «Tresingenieros,» [En línea]. Available: http://www.tresingenieros.com/revit/familias-revit/familias_para_revit_39_puertas_de_2_hojas_020_de_la_puerta_doble_de_aluminio_con_el_travesano_-rfa/. [Último acceso: 12 enero 2018].
- [24] Arcat, «Arcat,» [En línea]. Available: <https://www.arcat.com/bim/overdoor/Doors-and-Hardware-Overhead-Doors-Counters.shtml>. [Último acceso: 15 enero 2018].
- [25] H. Kim, «Enjoy Revit,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/enjoyrevit/family-general/spanish-roof-tile>. [Último acceso: 15 enero 2018].
- [26] BIMobjects, «BIMobjects,» [En línea]. Available: <https://bimobject.com/es/isopan/product/isodeck>. [Último acceso: 13 enero 2018].
- [27] Red Eléctrica de España, «Esios,» [En línea]. Available: https://www.esios.ree.es/es/lumios?rate=rate1&start_date=26-02-2018T23:25&end_date=27-02-2018T23:25. [Último acceso: 27 febrero 2018].
- [28] Amazon, «Amazon,» [En línea]. Available: https://www.amazon.es/Filamento-PLA-BLANCO-1-75MM-rollo/dp/B019E0U5D8/ref=sr_1_8/260-2884114-

- 5682636?ie=UTF8&qid=1519517849&sr=8-8&keywords=rollo+pla. [Último acceso: 18 febrero 2018].
- [29] Form Z, «Form Z,» [En línea]. Available: http://ftp.formz.com/products/formz/rapid_prototyping.html. [Último acceso: 20 febrero 2018].
- [30] R3ALD, «R3ALD,» [En línea]. Available: <http://www.r3ald.com/que-es-un-fichero-stl>. [Último acceso: 26 enero 2018].
- [31] Tarifas Luz y Gas, «Tarifas Luz y Gas,» [En línea]. Available: <https://tarifasgasluz.com/faq/precio-kwh>. [Último acceso: 18 febrero 2018].
- [32] Tech Crunch, «Tech Crunch,» [En línea]. Available: <https://techcrunch.com/2017/02/12/wtf-is-lidar/>. [Último acceso: 16 febrero 2018].
- [33] Vision Ingenieros, «Vision Ingenieros,» [En línea]. Available: <https://www.visioningenieros.com/copia-de-vision-ingenieros-home>. [Último acceso: 24 enero 2018].
- [34] S. Stocking, *BIM/GIS Convergence within a 3D Model Utilizing LiDAR Data*.
- [35] C. Herrin, «BIM and Reality Modeling,» *xyHt*, 2017.
- [36] Factoría 3D, «Factoría 3D,» [En línea]. Available: <https://www.lafactoria3d.es/>. [Último acceso: 9 febrero 2018].
- [37] S. Soltani, «The Contributions of Building Information Modelling to Sustainable Construction,» *World Journal of Engineering and Technology*, p. 7, 2016.
- [38] M. Habibi Anbouhi, N. Farahza y S. Mohammad Hossein Ayatollahi, «Analysis of Thermal Behavior of Materials in the Building Envelope Using Building Information Modeling (BIM)—A Case Study Approach,» *Open Journal of Energy Efficiency*, 2016.
- [39] Golparvar-Fard and Y. H. a. Mani, "BIM and Thermographic Sensing: Reflecting the As-is Building Condition in Energy Analysis," *Journal of Construction Engineering and Project Management*.
- [40] A. Dooyong y C. Heesung, «Integration of Building Maintenance Data in Application of Building Information Modeling (BIM),» *Journal of Building Construction and Planning Research*, 2014.

ANEXO I: PROGRAMACIÓN TEMPORAL DETALLADA

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 1, 2018			tri 2, 2018			tri 3, 2018			tri 4, 2018			tri 1, 20
						dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1		Proyecto	239,86 días	mar 16/01/18	lun 17/12/18													
2		Edificio Antiguo	59,99 días	mar 16/01/18	lun 09/04/18													
3		Fachada	59,99 días	mar 16/01/18	lun 09/04/18													
4		Primer piso	49,99 días	mar 16/01/18	lun 26/03/18													
5		Act. Previa	5 días	mar 16/01/18	lun 22/01/18													
6		Conjunc	1 sem	mar 16/01/18	lun 22/01/18													
7		Cerramienta	14,99 días	mar 23/01/18	lun 12/02/18													
8		Muro PB	6,31 hrs	mar 23/01/18	mar 23/01/18													
9		Muro PB	6,31 hrs	mar 23/01/18	mié 24/01/18													
10		Muro PB	6,31 hrs	mié 24/01/18	jue 25/01/18													
11		Muro PB	6,31 hrs	jue 25/01/18	vie 26/01/18													
12		Muro PB	6,31 hrs	vie 26/01/18	vie 26/01/18													
13		Muro PB	6,31 hrs	vie 26/01/18	lun 29/01/18													
14		Muro PB	6,31 hrs	lun 29/01/18	mar 30/01/18													
15		Muro PB	6,31 hrs	mar 30/01/18	mié 31/01/18													
16		Muro PB	6,31 hrs	mié 31/01/18	jue 01/02/18													
17		Muro PB	6,31 hrs	jue 01/02/18	jue 01/02/18													
18		Muro PB	6,31 hrs	jue 01/02/18	vie 02/02/18													
19		Muro PB	6,31 hrs	vie 02/02/18	lun 05/02/18													
20		Muro PB	6,31 hrs	lun 05/02/18	mar 06/02/18													
21		Muro PB	6,31 hrs	mar 06/02/18	mié 07/02/18													
22		Muro PB	6,31 hrs	mié 07/02/18	mié 07/02/18													

Proyecto: Programacion detalla
Fecha: mié 16/02/18

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 1, 2018			tri 2, 2018			tri 3, 2018			tri 4, 2018			tri 1, 20
						dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
23		Muro PB	6,31 hrs	mié 07/02/18	jue 08/02/18													
24		Muro PB	6,31 hrs	jue 08/02/18	vie 09/02/18													
25		Muro PB	6,31 hrs	vie 09/02/18	lun 12/02/18													
26		Muro PB	6,31 hrs	lun 12/02/18	lun 12/02/18													
27		Revestimie	25 días	lun 05/02/18	lun 12/03/18													
28		Acabado	2 sem.	lun 05/02/18	lun 19/02/18													
29		Falsos techos	15 días	lun 19/02/18	lun 12/03/18													
30		Falsos	3 sem.	lun 19/02/18	lun 12/03/18													
31		Pavimento:	15 días	lun 05/03/18	lun 26/03/18													
32		Suelo Gri	1 sem	lun 05/03/18	lun 12/03/18													
33		Suelo ep	1 sem	lun 12/03/18	lun 19/03/18													
34		Suelo bal	1 sem	lun 19/03/18	lun 26/03/18													
35		Carpintería	10 días	lun 12/02/18	lun 26/02/18													
36		Pila	1 día	lun 12/02/18	mar 13/02/18													
37		Ventana:	4 días	mar 13/02/18	lun 19/02/18													
38		V1	2,66 hrs	mar 13/02/18	mié 14/02/18													
39		V2	2,67 hrs	mié 14/02/18	mié 14/02/18													
40		V3	2,67 hrs	mié 14/02/18	mié 14/02/18													
41		V4	2,67 hrs	mié 14/02/18	jue 15/02/18													
42		V5	2,67 hrs	jue 15/02/18	jue 15/02/18													
43		V6	2,67 hrs	jue 15/02/18	jue 15/02/18													
44		V7	2,67 hrs	jue 15/02/18	vie 16/02/18													

Proyecto: Programacion detalla
Fecha: mié 16/02/18

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 1, 2018			tri 2, 2018			tri 3, 2018			tri 4, 2018			tri 1, 20
						dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
45		V8	2,67 hrs	vie 16/02/18	vie 16/02/18													
46		V9	2,67 hrs	vie 16/02/18	vie 16/02/18													
47		V10	2,67 hrs	vie 16/02/18	lun 19/02/18													
48		V11	2,67 hrs	lun 19/02/18	lun 19/02/18													
49		V12	2,67 hrs	lun 19/02/18	lun 19/02/18													
50		Puertas	5 días	lun 19/02/18	lun 26/02/18													
51		Puerta exterior EA	1 día	lun 19/02/18	mar 20/02/18													
52		Pue	2,67 hrs	lun 19/02/18	mar 20/02/18													
53		Pue	2,67 hrs	mar 20/02/18	mar 20/02/18													
54		Pue	2,67 hrs	mar 20/02/18	mar 20/02/18													
55		Puerta	4 días	mar 20/02/18	lun 26/02/18													
56		Segundo piso	10 días	lun 26/03/18	lun 09/04/18													
57		Act. Previa	0 días	lun 26/03/18	lun 26/03/18													
58		Segundo	0 días	lun 26/03/18	lun 26/03/18													
59		Baños	6 días	lun 26/03/18	mar 03/04/18													
60		Cerámica	3 días	lun 26/03/18	jue 29/03/18													
61		Muro	0,6 días	lun 26/03/18	mar 27/03/18													
62		Muro	0,6 días	mar 27/03/18	mié 28/03/18													
63		Muro	0,6 días	mié 28/03/18	mié 28/03/18													
64		Muro	0,6 días	mié 28/03/18	jue 29/03/18													
65		Muro	0,6 días	jue 29/03/18	jue 29/03/18													

Proyecto: Programacion detalla
Fecha: mié 16/02/18

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 1, 2018				tri 2, 2018			tri 3, 2018			tri 4, 2018			tri 1, 20
						dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene
66		Revestin	1 día	jue 29/03/18	vie 30/03/18														
67		Pintur.	1 día	jue 29/03/18	vie 30/03/18														
68		Pavimen	1 día	vie 30/03/18	lun 02/04/18														
69		Suelos	1 día	vie 30/03/18	lun 02/04/18														
70		Carpinte	1 día	lun 02/04/18	mar 03/04/18														
71		Puerta	1 día	lun 02/04/18	mar 03/04/18														
72		Ventanas	2 días	mar 03/04/18	jue 05/04/18														
73		V Sur	0,67 días	mar 03/04/18	mié 04/04/18														
74		V Este	0,67 días	mié 04/04/18	jue 05/04/18														
75		V Oeste	0,66 días	jue 05/04/18	jue 05/04/18														
76		Cubierta	1 día	jue 05/04/18	vie 06/04/18														
77		Tejas	1 día	vie 06/04/18	lun 09/04/18														
78		Ampliación	179,88 días	lun 09/04/18	lun 17/12/18														
79		Estructuras	30 días	lun 09/04/18	lun 21/05/18														
80		Pilares	25 días	lun 09/04/18	lun 14/05/18														
81		P1	1,4 días	lun 09/04/18	mié 11/04/18														
82		P2	1,4 días	mié 11/04/18	jue 12/04/18														
83		P3	1,4 días	jue 12/04/18	lun 16/04/18														
84		P4	1,4 días	lun 16/04/18	mar 17/04/18														
85		P5	1,4 días	mar 17/04/18	mié 18/04/18														
86		P6	1,4 días	mié 18/04/18	vie 20/04/18														
87		P7	1,4 días	vie 20/04/18	lun 23/04/18														

Proyecto: Programacion detalla
Fecha: mié 16/02/18

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 1, 2018			tri 2, 2018			tri 3, 2018			tri 4, 2018			tri 1, 20
						dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
88		P8	1,4 días	lun 23/04/18	mié 25/04/18													
89		P9	1,4 días	mié 25/04/18	jue 26/04/18													
90		P10	1,4 días	jue 26/04/18	vie 27/04/18													
91		P11	1,4 días	vie 27/04/18	mar 01/05/18													
92		P12	1,4 días	mar 01/05/18	mié 02/05/18													
93		P13	1,4 días	mié 02/05/18	vie 04/05/18													
94		P14	1,4 días	vie 04/05/18	lun 07/05/18													
95		P15	1,4 días	lun 07/05/18	mar 08/05/18													
96		P16	1,4 días	mar 08/05/18	jue 10/05/18													
97		P17	1,3 días	jue 10/05/18	vie 11/05/18													
98		P18	1,3 días	vie 11/05/18	lun 14/05/18													
99		Armadura est	1 sem	lun 14/05/18	lun 21/05/18													
100		Cerramientos	25 días	lun 14/05/18	lun 18/06/18													
101		Muros exterior	2 sem.	lun 14/05/18	lun 28/05/18													
102		Muros interior	2 sem.	lun 28/05/18	lun 11/06/18													
103		Tabiques	1 sem	lun 11/06/18	lun 18/06/18													
104		Revestimientos	30 días	lun 28/05/18	lun 09/07/18													
105		Acabados	6 sem.	lun 28/05/18	lun 09/07/18													
106		Pavimentos	25 días	lun 30/07/18	lun 03/09/18													
107		Suelo epoxi E/	2 sem.	lun 30/07/18	lun 13/08/18													
108		Suelo baldosa	1 sem	lun 13/08/18	lun 20/08/18													
109		Suelo gres por	1 sem	lun 20/08/18	lun 27/08/18													

Proyecto: Programacion detalla
Fecha: mié 16/02/18

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 1, 2018			tri 2, 2018			tri 3, 2018			tri 4, 2018			tri 1, 20
						dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
110		Techo	1 sem	lun 27/08/18	lun 03/09/18													
111		Carpinterías	25 días	lun 25/06/18	lun 30/07/18													
112		Ventanas	10 días	lun 25/06/18	lun 09/07/18													
113		V Oeste EA	1 sem	lun 25/06/18	lun 02/07/18													
114		V Este EA	1 sem	lun 02/07/18	lun 09/07/18													
115		Puertas	15 días	lun 09/07/18	lun 30/07/18													
116		Puertas ampliación exteriores1	5 días	lun 09/07/18	lun 16/07/18													
117		Puertas	1 día	lun 09/07/18	mar 10/07/18													
118		Puerta la	1 día	mar 10/07/18	mié 11/07/18													
119		Puerta g	1 día	mié 11/07/18	jue 12/07/18													
120		Puerta p	1 día	jue 12/07/18	vie 13/07/18													
121		Puerta la	1 día	vie 13/07/18	lun 16/07/18													
122		Puertas Am	2 sem.	lun 16/07/18	lun 30/07/18													
123		Terraza	36 días	lun 03/09/18	mar 23/10/18													
124		Estructura	36 días	lun 03/09/18	mar 23/10/18													
125		Vigas	2 sem.	lun 03/09/18	lun 17/09/18													
126		Armadura e	1 sem	lun 17/09/18	lun 24/09/18													
127		Losa alveol	10 días	lun 24/09/18	lun 08/10/18													
128		LA1	0,1 sem.	lun 24/09/18	mar 25/09/18													
129		LA2	0,1 sem.	mar 25/09/18	mar 25/09/18													
130		LA3	0,1 sem.	mar 25/09/18	mié 26/09/18													

Proyecto: Programacion detalla
Fecha: mié 16/02/18

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 1, 2018			tri 2, 2018			tri 3, 2018			tri 4, 2018			tri 1, 20
						dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
131	→	LA4	0,1 sem.	mié 26/09/18	mié 26/09/18													
132	→	LA5	0,1 sem.	mié 26/09/18	jue 27/09/18													
133	→	LA6	0,1 sem.	jue 27/09/18	jue 27/09/18													
134	→	LA7	0,1 sem.	jue 27/09/18	vie 28/09/18													
135	→	LA8	0,1 sem.	vie 28/09/18	vie 28/09/18													
136	→	LA9	0,1 sem.	vie 28/09/18	lun 01/10/18													
137	→	LA10	0,1 sem.	lun 01/10/18	lun 01/10/18													
138	→	LA11	0,1 sem.	lun 01/10/18	mar 02/10/18													
139	→	LA12	0,1 sem.	mar 02/10/18	mar 02/10/18													
140	→	LA13	0,1 sem.	mar 02/10/18	mié 03/10/18													
141	→	LA14	0,1 sem.	mié 03/10/18	mié 03/10/18													
142	→	LA15	0,1 sem.	mié 03/10/18	jue 04/10/18													
143	→	LA16	0,1 sem.	jue 04/10/18	jue 04/10/18													
144	→	LA17	0,1 sem.	jue 04/10/18	vie 05/10/18													
145	→	LA18	0,1 sem.	vie 05/10/18	vie 05/10/18													
146	→	LA19	0,1 sem.	vie 05/10/18	lun 08/10/18													
147	→	LA20	0,1 sem.	lun 08/10/18	lun 08/10/18													
148	→	Suelo terra:	1 sem	lun 08/10/18	lun 15/10/18													
149	→	Armadura s	1 sem	lun 15/10/18	lun 22/10/18													
150	→	Coronación	0,5 días	lun 22/10/18	mar 23/10/18													
151	→	Puerta exte	0,5 días	mar 23/10/18	mar 23/10/18													
152	→	Cubierta	35 días	mar 23/10/18	mar 11/12/18													

Proyecto: Programacion detalla
Fecha: mié 16/02/18

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 1, 2018			tri 2, 2018			tri 3, 2018			tri 4, 2018			tri 1, 20	
						dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene
153		Estructura	35 días	mar 23/10/18	mar 11/12/18														
154		Vigas	2 sem.	mar 23/10/18	mar 06/11/18														
155		Armazon es	1 sem	mar 06/11/18	mar 13/11/18														
156		Correas	2 sem.	mar 13/11/18	mar 27/11/18														
157		Cubierta tipo	10 días	mar 27/11/18	mar 11/12/18														
158		CU1	0,1 sem.	mar 27/11/18	mié 28/11/18														
159		CU2	0,1 sem.	mié 28/11/18	mié 28/11/18														
160		CU3	0,1 sem.	mié 28/11/18	jue 29/11/18														
161		CU4	0,1 sem.	jue 29/11/18	jue 29/11/18														
162		CU5	0,1 sem.	jue 29/11/18	vie 30/11/18														
163		CU6	0,1 sem.	vie 30/11/18	vie 30/11/18														
164		CU7	0,1 sem.	vie 30/11/18	lun 03/12/18														
165		CU8	0,1 sem.	lun 03/12/18	lun 03/12/18														
166		CU9	0,1 sem.	lun 03/12/18	mar 04/12/18														
167		CU10	0,1 sem.	mar 04/12/18	mar 04/12/18														
168		CU11	0,1 sem.	mar 04/12/18	mié 05/12/18														
169		CU12	0,1 sem.	mié 05/12/18	mié 05/12/18														
170		CU13	0,1 sem.	mié 05/12/18	jue 06/12/18														
171		CU14	0,1 sem.	jue 06/12/18	jue 06/12/18														
172		CU15	0,1 sem.	jue 06/12/18	vie 07/12/18														
173		CU16	0,1 sem.	vie 07/12/18	vie 07/12/18														
174		CU17	0,1 sem.	vie 07/12/18	lun 10/12/18														

Proyecto: Programacion detalla
Fecha: mié 16/02/18

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	tri 1, 2018			tri 2, 2018			tri 3, 2018			tri 4, 2018			tri 1, 20
						dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
175		CU18	0,1 sem.	lun 10/12/18	lun 10/12/18													
176		CU19	0,1 sem.	lun 10/12/18	mar 11/12/18													
177		CU20	1 hr	mar 11/12/18	mar 11/12/18													
178		CU21	1 hr	mar 11/12/18	mar 11/12/18													
179		CU22	1 hr	mar 11/12/18	mar 11/12/18													
180		CU23	1 hr	mar 11/12/18	mar 11/12/18													
181		Escalera de Incendios	4 días	mar 11/12/18	lun 17/12/18													
182		Estructura	4 días	mar 11/12/18	lun 17/12/18													
183		Barras princ	1 día	mar 11/12/18	mié 12/12/18													
184		Barras verti	1 día	mié 12/12/18	jue 13/12/18													
185		Soportes	1 día	jue 13/12/18	vie 14/12/18													
186		Escalera	1 día	vie 14/12/18	lun 17/12/18													

Proyecto: Programacion detalla
Fecha: mié 16/02/18

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

ANEXO II: MANUAL DE INSTRUCCIONES DE LA IMPRESORA 3D LULZBOT TAZ 5

3D Printer Software

1.1 Software Overview

Aleph Objects, Inc., the maker of the LulzBot™ TAZ, completely supports free/libre hardware and software. Along with the TAZ being a free/libre hardware design, it has been tested to work with 100% free/libre software. Our source code and design files are hosted on our development server found at <http://devel.lulzbot.com>. To operate your desktop 3D printer you will need to install a few software packages onto your PC. You will need a 3D printer host, an .STL to .gcode generator, and optional CAD or 3D modeling software.

1.2 Software Types

Printer Hosts

Printer Host software is used to control the 3D printer. The program not only allows you to manually move the printer along all the axes, but set temperatures manually, send commands and receive feedback/error messages from the onboard electronics. We recommend that new users start with Cura as it includes a slicing engine as well.

Common Printer Hosts:

- Cura
- Printron (Pronterface)
- MatterControl
- OctoPrint
- Botqueue

Slicers

These programs take the 3-Dimensional model (typically STL/OBJ/etc) and determine the 3D printer toolpath based on the options selected. The slicing engine uses the nozzle diameter, printing and movement speeds, layer height and other variables to determine the coordinates where it needs to move and the rates at which it will do so. This information is exported out of the program as a gcode file. The gcode file is a plain-text file with a series of text-based codes and a list of the complete X,Y and Z axis

1.3. INSTALLING DRIVERS

coordinates used for printing the 3D model. We recommend that new users start with Cura as it includes the printer host as well.

Recommended Slicers:

- Cura
- Slic3r

All of the following free/libre software packages are available for GNU/Linux, Windows, and Apple OS X. However, we highly recommend using these programs on GNU/Linux.

The required software can be found in the Support/Downloads section at LulzBot.com/support/downloads. You will also find instructions there for installing each program onto your PC. You can also find downloads specific to the LulzBot™ TAZ 3D printer on the LulzBot™ TAZ product page.

1.3 Installing Drivers

Linux and Mac OSX users will not need to install a driver to communicate with the TAZ 3D printer. Windows users will need to install the drivers. Using Cura as your printer host and slicing software is recommended, as the drivers will automatically be installed. The drivers can also be downloaded from LulzBot.com/support/downloads. A visual guide showing the driver installation process can be found in our download section as well.

1.4 Cura

Setup Cura

Cura is available for download on our website at <https://www.lulzbot.com/support/downloads>. When installing, it is recommended to uninstall any previous versions of Cura you may have been using. When first opening Cura, you will be prompted to go through the **First run wizard**. This will consist of selecting your printer.

It is important to select the correct printer, as Cura uses custom profiles and machines settings based upon which printer you are running.

3D Printer Software

- Download the appropriate installer for your computer operating system. Instructions on installation for each operating system is available at <http://LulzBot.com/cura>.
- Install Cura by double clicking on the installer.
- Select LulzBot TAZ.
- Once the proper printer is selected, select **Next**.

Once the installation wizard finishes you can move forward with your first print!

1.5 Quick Print Settings

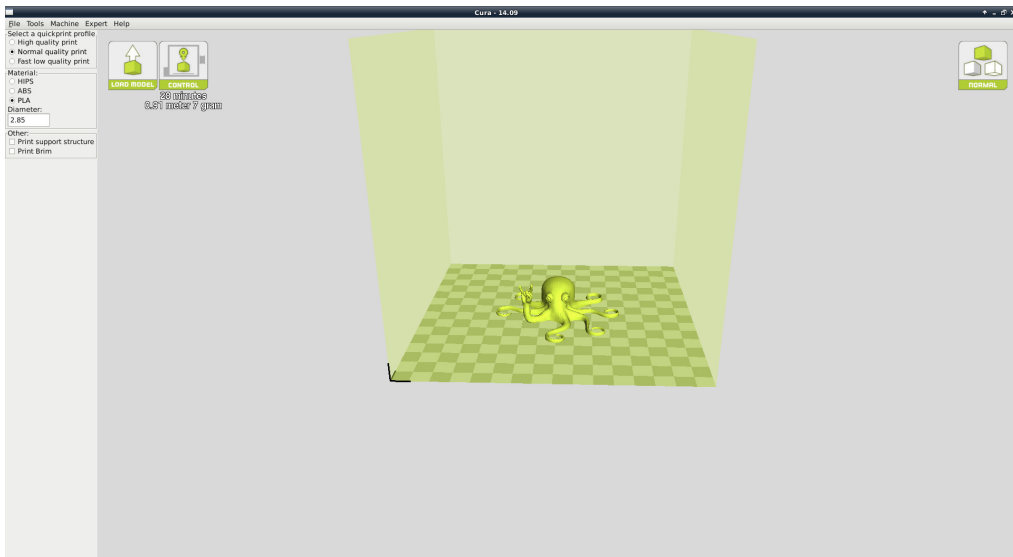


Figure 1.1: Quick Print Settings

After setting up Cura for the first time, you will be shown the main interface screen. (Fig. 1.1, page 16):

1.5. QUICK PRINT SETTINGS

Selecting a Quick Print Profile

The print quality settings can be found in the top left-hand corner of the window. For most filaments, there will be High Quality, Normal Quality, or Fast Quality options. Some of the more exotic filaments may only have a Normal Quality profile.

High Quality

Designed to give greater detail and finer objects. This will have a smaller layer height, which will make each layer thinner, so that curves seem more natural and walls seem less noticeable. This setting will also require more layers to be laid down, increasing overall print time.

Medium Quality

Designed to give a medium resolution, by increasing the layer height and print speeds. This will make the organic curves slightly more step-like than the fine setting, but will reduce printing time.

Fast Quality

Designed for the fast prints, where overall model finish is not of concern. Most commonly used for quick iteration of designs found in rapid prototyping.

Material Selection

Choose your desired filament. The TAZ ships with a 1 meter sample of ABS, that should be used in your first print. If you are not using Lulzbot supplied filament, update your filament diameter to your specific average filament diameter. Do this by taking 10 to 12 filament diameter measurements from different parts of the reel and averaging them. Update your filament diameter. You may also want to adjust the temperature, as different manufacturers have different recommended temperatures.

Printing Support Material

The TAZ 3D printer is able to print models that have angles and overhangs, even without support material depending on the overhang distance and angle. Turn this option on if your model could benefit from support material.

Brim

Brim is used to increase surface area of the part you're printing, thereby ensuring proper part adhesion. This will print a single layer high edge around the outside of the part, helping first layer adhesion and minimizing warping.

Load Model File

Select the STL model you would like to print. Either use the **Load Model** button or select **File > Load Model**. Once the file has been loaded, you will see a 3D rendering of your object on the build platform. Select the model to see the various options.

Model Orientation

Move your model to change where it is printed on the build plate. Do this by left clicking on the model and dragging it to the desired location. The **black** outlined corner represents the front left hand corner of the build plate on your printer. You can also Right Click and hold in the build screen, to view your model from different angles.



Figure 1.2: Options after selecting model

1.5. QUICK PRINT SETTINGS

Rotate

The **Rotate** button will give you the ability to orient your model in along all three axes. Once you click the rotate button, three circles will surround your model. The **red circle** will allow you to rotate around the **Z axis**. The **Yellow circle** will rotate around the **Y axis**. The **Green circle** will rotate around the **X axis**.

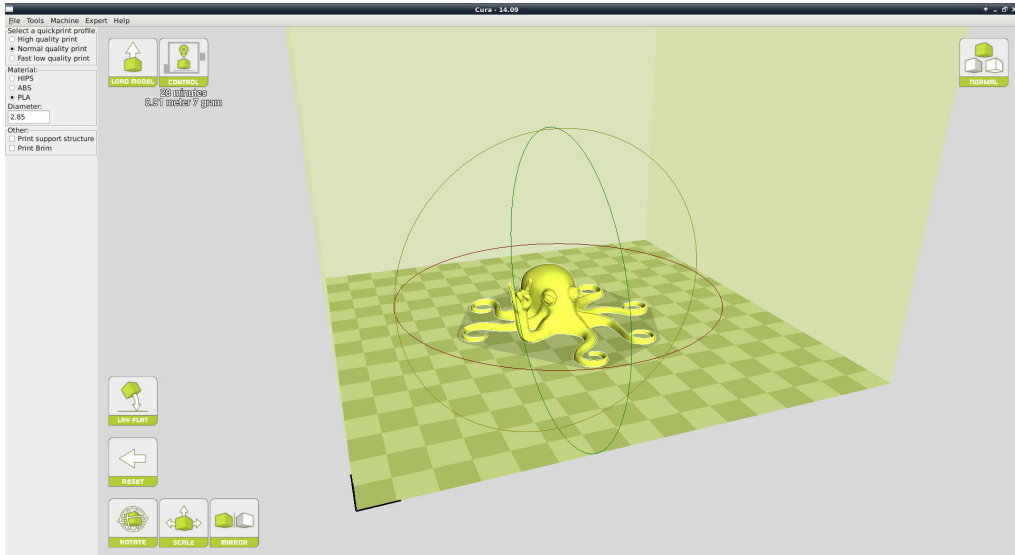


Figure 1.3: Rotating your Model

Lay Flat

The **Lay Flat** button will ensure that the flat portion of your print is securely attached to the bed. It is highly recommended to use this option after rotating your model in the Z direction, as it will help prevent adhesion issues during the print.

Reset

The **Reset** button will return your model to the original orientation as defined by the CAD program used to create the model.

Scale

The **Scale** button displays the model dimensions, along with the ability to scale along the X Y or Z axes. Anything **below** the number 1.0 will reduce the objects size, while anything **above** the number 1.0 will increase the objects size. As a default, it will be set to uniform scaling. This will cause the X Y and Z axes to be scaled by the same amount when you make a change to any of them. To disable this, select the lock in the lower section of the scaling window.

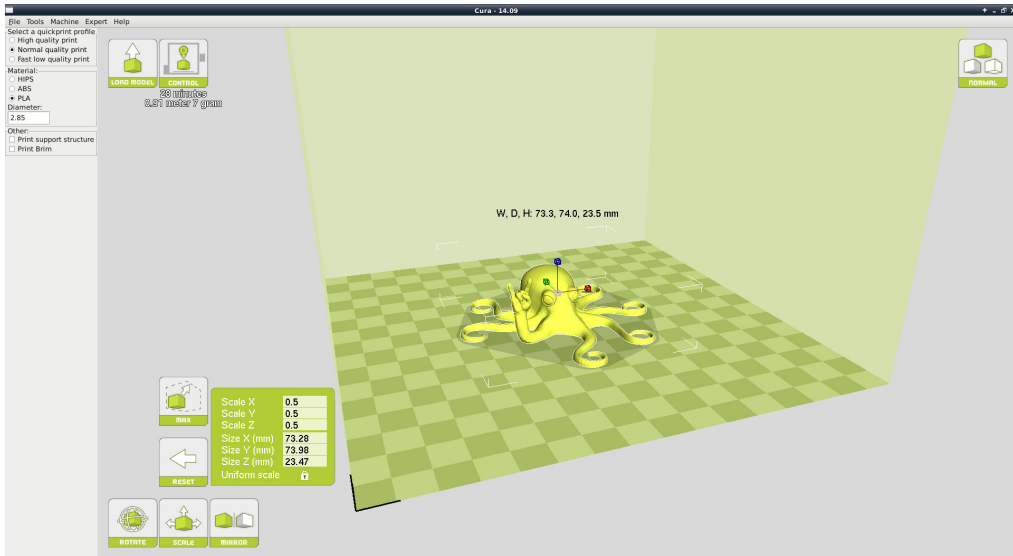


Figure 1.4: Scaling your Model

1.6 View Options

This mode allows you to view your model in a variety of different ways. This can be helpful for spotting issues before the print even starts.

Normal

This is the standard view and shows the solid outer surfaces of the model. (Fig. 1.5, page 21):

Ghost

Ghost view mode makes the model translucent to allow you to see what is behind it.



Figure 1.7: View in Ghost

Xray

Xray is very similar to Ghost mode. It will allow you to see into objects, ensuring that inner details are correct.

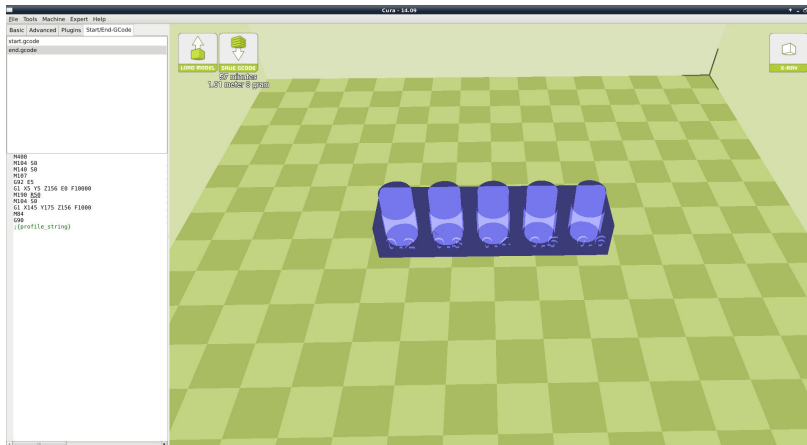


Figure 1.8: View in Xray

1.6. VIEW OPTIONS

Layers

To view the toolpath of your print head and to ensure no skipped layers or gaps use this option. Use the slide bar on the right hand side of the window to move up and down through the toolpath layers.

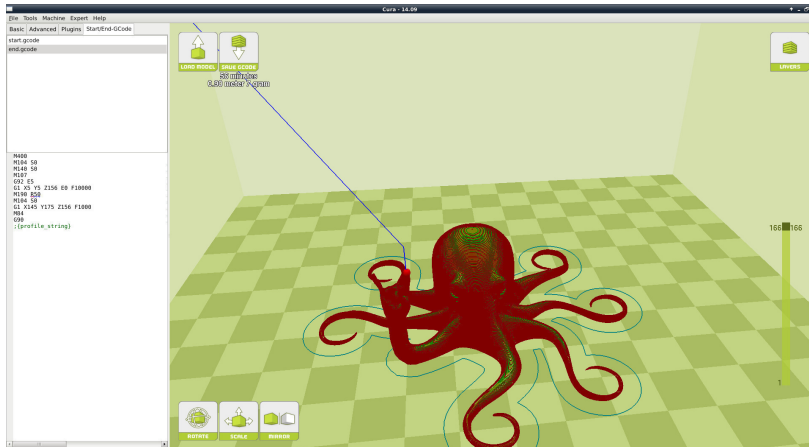


Figure 1.9: View in Layers

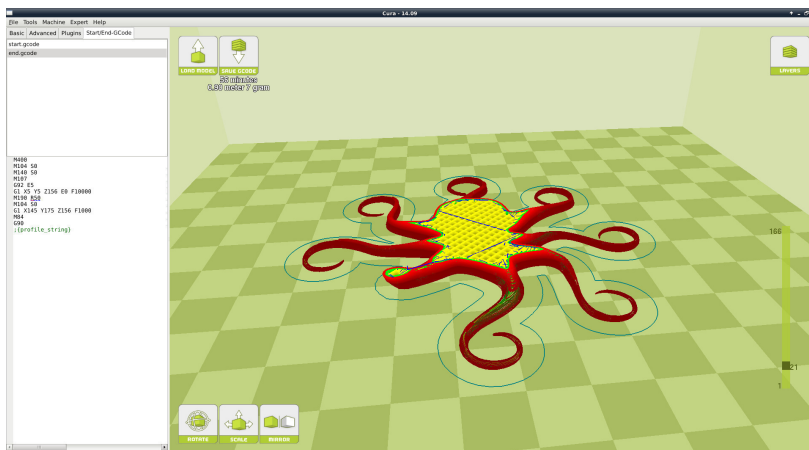


Figure 1.10: Viewing Specific Layers

1.7 Starting Your First Print

Once you have your model, profile, and filament loaded, it is time for your first print!

Control

Connect your 3D printer to a computer using a USB cable, power it on and select the **Control** button. This will bring up your Pronterface user interface. You will not be able to send any commands until the window title changes to **Operational**. Once it is operational, you will need to set your filament specific temperatures. The temperature box heats the hot end, while the bed temp sets the bed temperature. Your current temperatures will be listed in the top of the control box. Once your hot end and bed are heated, select **Print**. This will start the printing process.

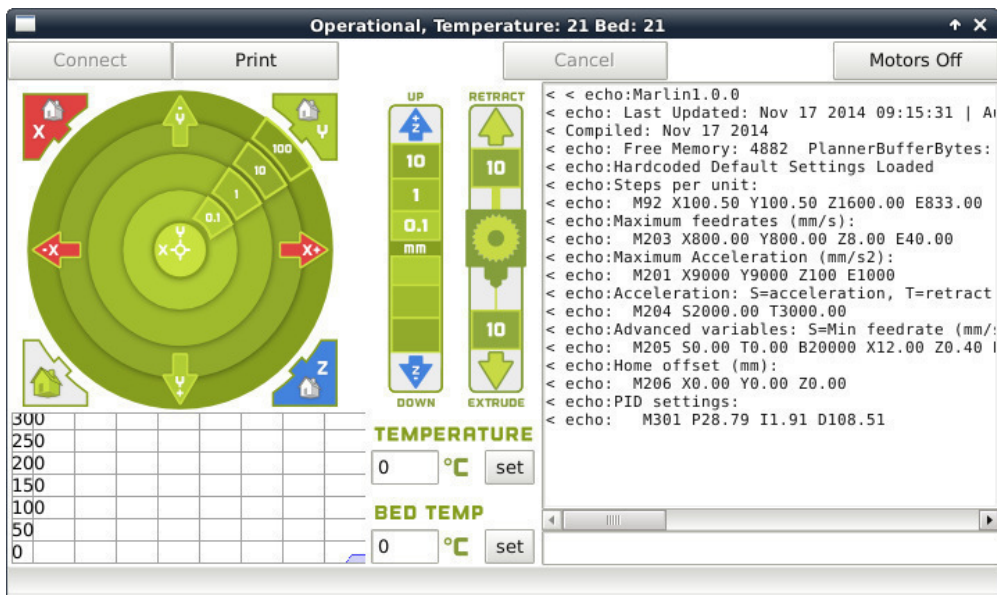


Figure 1.11: Control Screen

1.8 Removing Your First Print

After your first print has finished, you need to wait for the part to cool down. Your parts will be easier to remove if you allow your heated bed to cool down to optimal temperature. This will allow the plastic to contract, making it easier to remove.

Once your heated bed has cooled, use the blue handled knife that was included with your toolkit to remove the item. Carefully insert the blade of the knife between your print and heated bed. Once underneath the part rotate the blade- lifting with the sharp edge into the part, to gently pop the piece off your plate.

1.9 Full Settings

Full settings should not be used until enough experience with 3D printing has been gained to feel comfortable with all aspects of the printer and its operation. The simple settings will provide good results for most models. The first time Cura is launched it will default to the Quick Print interface. In order to have more control of your slicing and Gcode generation, switch to Full Settings. Select Expert > Switch to full settings. The following tabs will now be available: Basic, Advanced, Plugins, and Start/End-Gcode. You will also have access to the Expert Settings.

3D Printer Software

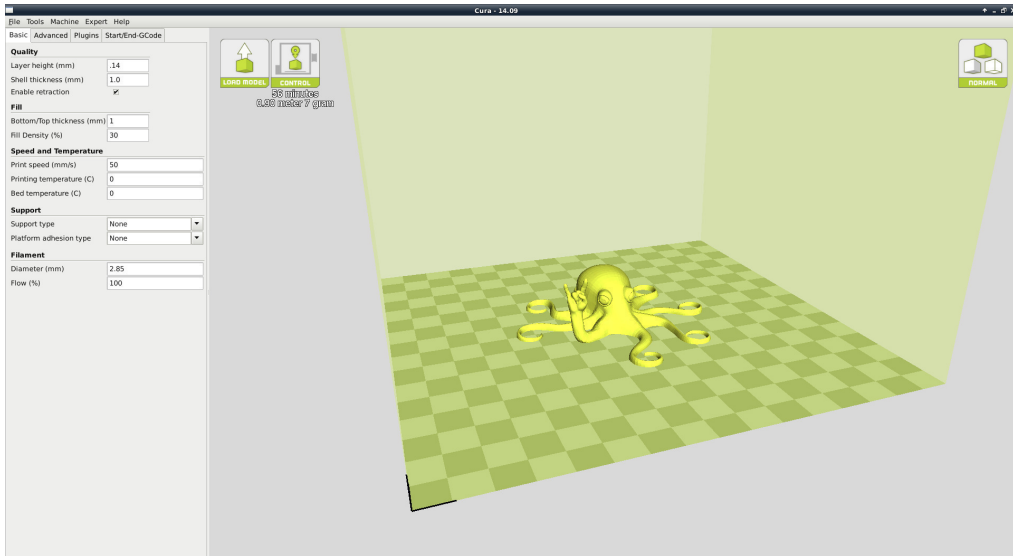


Figure 1.12: View in Full Settings

Loading a Profile

When you first switch to Full Settings, Cura will revert to very generic settings. We recommend using our tested profiles that are available here: <https://www.lulzbot.com/support/downloads>. You will want to choose the profile that matches your filament and quality needs. Once downloaded, you can load the file into Cura by selecting **File > Open Profile**. Choose your desired profile. This will automatically update all of your settings for use with your printer.

1.10 Basic Tab Options

Layer Height

The thickness of each printed layer is known as the **Layer Height**. The smaller the layer height, the smoother curves will appear. Larger layer heights are better for bridging and overhangs. Smaller layer heights will also increase print time, as it will take more layers to complete the object.

1.10. BASIC TAB OPTIONS

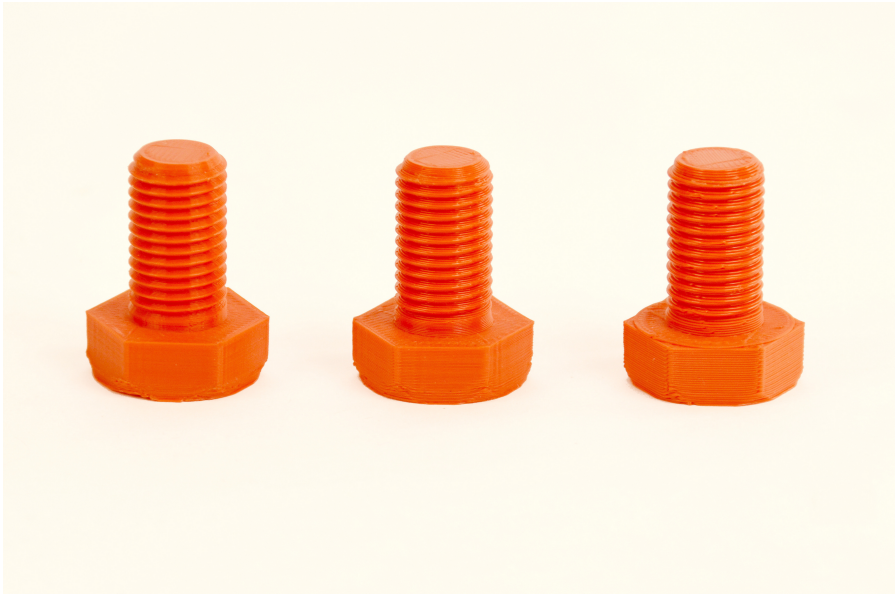


Figure 1.13: Differences in Layer Height

Shell Thickness

This defines the number of vertical walls that comprise the outside of your model. We recommend keeping this set to multiples of your nozzle width. Your TAZ 3D printer is equipped with a 0.35 mm nozzle.

Enable Retraction

Retraction tells your printer to pull filament out of the hot end upon travel moves. Travel moves are when your print head moves from one area of the print, to another without laying down filament. We recommend keeping this on for all filament types, and adjusting the retraction length and speed for the specific filament.

Bottom/Top Thickness (mm)

Also known as **Surface Layers**- this will determine how thick the top and bottom layers are. A larger number here will create a thicker top and bottom which can be helpful for strength, bridging, and quality purposes. We recommend keeping this number as a multiple of your layer height.

Fill Density

This number is expressed as a percentage. 0% will give a completely hollow print, while 100% will give you a completely solid object. We have found that 20% to 40% fill density is functional for most prints.

Print Speed (mm/s)

Your overall printing speed can be adjusted here. If no other speeds are determined in the later sections your printer will automatically default to this speed. This speed will be different, depending on what type of filament you are using.

Printing Temperature

We recommend leaving this temperature setting to “0”. If you set your temperature in this section your printer will not begin printing until it reaches the EXACT temperature. We recommend setting your printing temperatures through the Pronterface UI, or through your LCD.

Support Type

Some models will require support material in order to print properly. This will usually occur when an object has an angle in relation to the build plate between 0 to 45 degrees. It is highly recommended to orient your object so that it minimizes or eliminates the need for support.

Touching Buildplate

This causes the support material to build up between the heated bed and the object. The red example is Touching Buildplate.

Everywhere

This prints support material between the heated bed and object as well as between the object and itself. The green example is Support Everywhere.

1.10. BASIC TAB OPTIONS

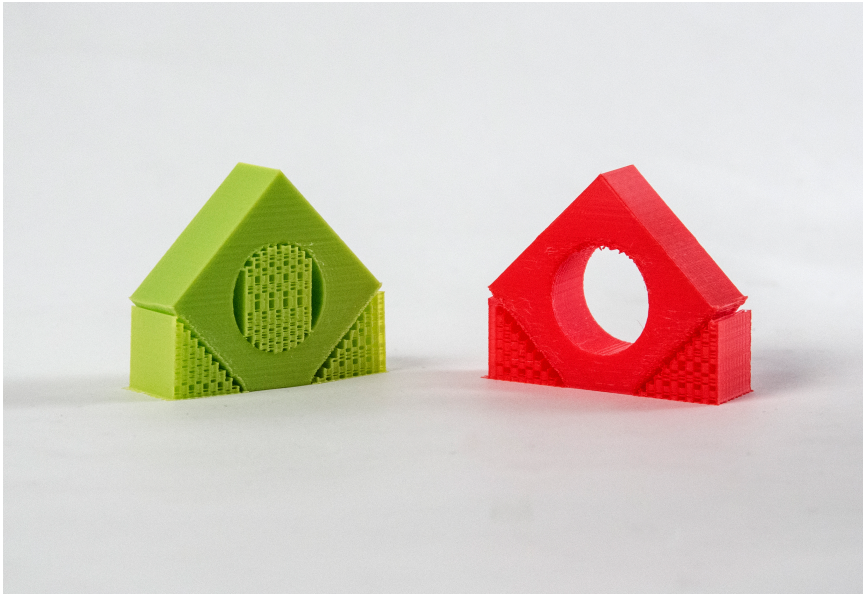


Figure 1.14: Support Types

Platform Adhesion Type

Some models have a small surface area contacting the plate. This can create adhesion issues causing your part to pop off at some point during the print. To fix this, use either **Brim** or **Raft**. Raft is better used when a model has small heated bed contact points and overhangs.

Brim

Brim will create a single layer of filament, contacting and surrounding your model. This will increase the surface area of the part contacting the build platform thereby preventing it from popping off the heated bed. Brim will also help in situations where you are seeing corner lift. Brim settings can be adjusted in the **Expert Settings** options.

Raft

Raft will generate a layer of material underneath your object. Raft was more often used before the addition of heated plates to increase surface area. Raft settings can be adjusted in the **Expert Settings** options.

Filament Diameter

The filament diameter setting is one of the more important settings. Make sure that you update this value periodically with your average filament diameter. While your filament may be referred to as 3mm, it is more likely going to be near 2.9mm +/- 0.1mm. You will want this to be an accurate average, as it will allow your printer to correctly calculate how much filament it is pulling into the hot end.

Filament Flow %

This controls how much filament your printer is extruding in relation to speed. This setting is mainly used to adjust for filament density variations. Leave this value at 100% as changing it can lead to surface quality issues.

1.11 Advanced Tab Options

Nozzle Size (mm)

This defines your nozzle size. The slicing engine uses this value combined with your other settings to determine how quickly to feed filament into your hot end. The TAZ ships with a 0.35mm nozzle.

Retraction Speed (mm/s)

Retraction Speed determines the speed at which your filament is reversed out of the hot end for travel moves and when changing direction during printing. We recommend keeping this set to 25mm/s.

Retraction Distance

Retraction Distance determines how much filament is pulled out of your hot end on travel moves and when changing direction. You will want to adjust this depending on temperature settings and filament type. Higher thermal retaining filaments such as PLA behave better with a longer retraction distance. We have found anywhere from 1mm to 3mm is a good starting range.

1.11. ADVANCED TAB OPTIONS

Initial Layer Thickness

This will control how thick your first printed layer height is printed onto the heated bed. Having a larger initial layer height will help prevent your part from popping off the plate.

Initial Layer Line Width

This will control how wide your first extruded filament path is for the initial layer. A wider line width will help with bed adhesion. We have found 125% to be a good starting place. For models with moving printed in place parts, a smaller initial layer line width is recommended.

Cut Off Object Bottom (mm)

This setting is used to help print models that were not specifically designed for FFF printing. In particular, it is for models that do not have a flat surface to adhere to the plate. It will sink your object Xmm into the build plate, creating a nice flat surface to begin your print. You can also use this option to remove the lower portion of your model.

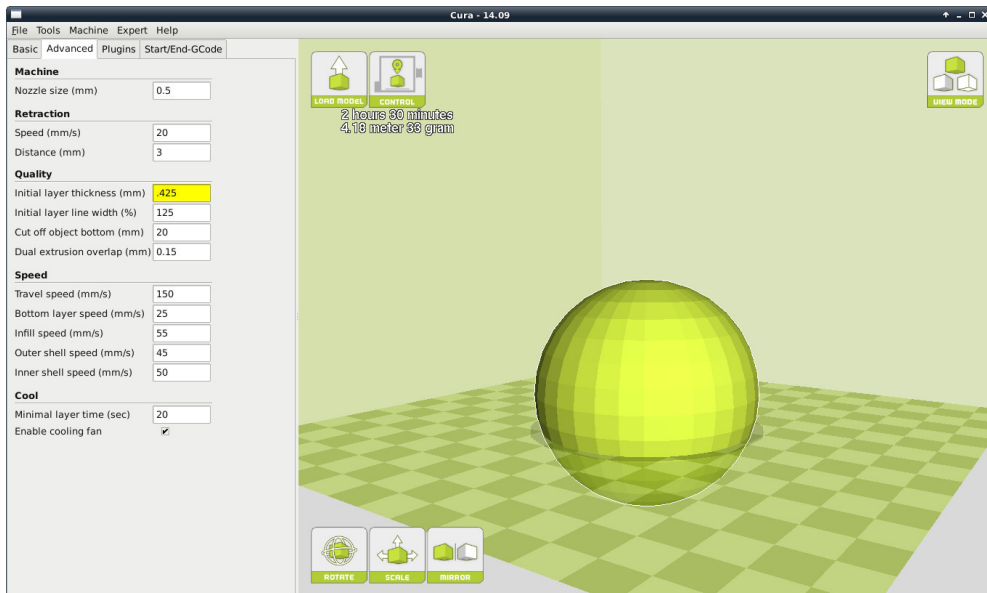


Figure 1.15: Cutoff Example

Dual Extrusion Overlap

This will determine how far your Dual Extruders will overlap when laying down material. This will help adhesion between the two different colors or types of filament. This setting is only used when the printer is equipped with two hot ends and extruders.

Travel Speed

This setting will determine how fast your print head moves while not extruding filament. A normal travel speed of 125 - 150mm/s is recommended.

Bottom Layer Speed

This will control your initial layer speed. In general, a slower initial layer speed will help with first layer adhesion.

Infill Speed

This is how fast your print head speed will be while laying down the interior portion of your model. Faster speeds are usually tolerable here, as none of the infill will be visible from the outside of your object. If you go too fast compared to your inner and outer shells, you can have adhesion issues or globs of filament left behind from the printhead.

Outer Shell Speed

This will be the outermost surface of the model. This is the most important speed setting, as it controls the speed of your print head on the visible layers. As a general rule of thumb, the slower you go the better looking print you will get.

Inner Shell Speed

This affects vertical walls that are in between the outer shell and infill. This will not be visible but will help support the outer shell and the infill. We recommend keeping this speed setting between your infill and your outer shell speed.

Minimal Layer Time

This will determine a minimum amount of time your printer will spend laying down each layer. If your layer print time falls below this your printer will automatically slow down to reach this time before moving onto the next layer. Tweaking this can help get cleaner, crisper prints.

Enable Cooling Fan

Enables operation of your extruder's active cooling fan. The fan settings can be adjusted in the **Expert Settings** options.

ANEXO III: MANUAL DE INSTRUCCIONES DEL ODÓMETRO ROLATAPE RT412D



Digital Measuring Wheel
Rueda medidora digital
Roue de mesurage numérique

**Operating
Instructions**

**Instrucciones de
utilización**

Mode d'emploi



Model

RT412D 12-in / 30 cm

Modelo

RT412D 12 pulgadas / 30 cm

Modèle

RT412D de 12 po / 30 cm

Gracias por comprar la rueda medidora digital ROLATAPE. Sírvase leer detenidamente este manual antes de utilizarla.

CARACTERÍSTICAS

- 1. Medición de distancia BI-direccional:**
Cuenta incrementos positivos en cualquiera de las dos direcciones hasta 9999.99 m ó 9999 pies 11 pulgadas.
- 2. Convierte automáticamente unidades de medida:**
El valor mostrado actualmente y los valores almacenados en la memoria se pueden convertir a tres unidades de medida distintas.

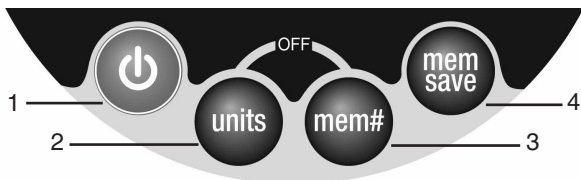
m - cm m / cm
pies – centésimas pies / centésimas
pies – pulgadas pies / pulgadas
- 3. Almacene hasta cuatro mediciones en la memoria:**
Recupera rápidamente los valores previos.
- 4. APAGADO automático:**
La unidad se apaga después de 3 minutos de inactividad.
- 5. Utilización con APAGADO manual.**
- 6. Congelar la lectura:** Hace que la rueda deje de medir.
- 7. Pantalla LCD con luz de fondo:** Para facilitar la lectura en cualquier momento.

REEMPLAZO DE LAS PILAS

La rueda medidora digital brindará aproximadamente 30 horas de uso intermitente (variable con la temperatura) con 2 pilas alcalinas AAA.


Retire las pilas aflojando el tornillo para liberar la cubierta del compartimiento y abra dicha cubierta.

UTILIZACIÓN DEL TECLADO



TECLADO:

Botón 1: ENCENDIDO / BORRAR

Presione el botón para ENCENDER  la rueda medidora. La luz de fondo se iluminará durante 18 a 22 segundos. Al presionar el botón de encendido mientras se esté utilizando la rueda, se borrará la visualización.

Botón 2: units (unidades)

Seleccione las unidades de trabajo deseadas. Pies – pulgadas, pies – 1/100 ó métricas. Las mediciones también se pueden convertir a cada sistema presionando el botón [units] una vez que se haya hecho la medición.

Botón 3: mem# (No. de memoria)

Después de tomar la medida, presione el botón [mem#] para seleccionar la ubicación de memoria deseada para almacenar una medición.

Botón 4: mem save (almacenar en memoria)

Después de seleccionar el número de ubicación en memoria deseado, presione el botón [mem save] para almacenar la medida.

COMBINACIONES:

Congelar la lectura

Mantenga presionados al mismo tiempo los botones [mem save] y [ENCENDIDO] para congelar la lectura. La lectura se congela y la luz de fondo parpadea. Repita la acción para descongelar la lectura y continuar midiendo.

Luz de fondo encendida

Mantenga presionados los botones [units] y [ENCENDIDO] para encender la luz de fondo durante 16 a 22 segundos.

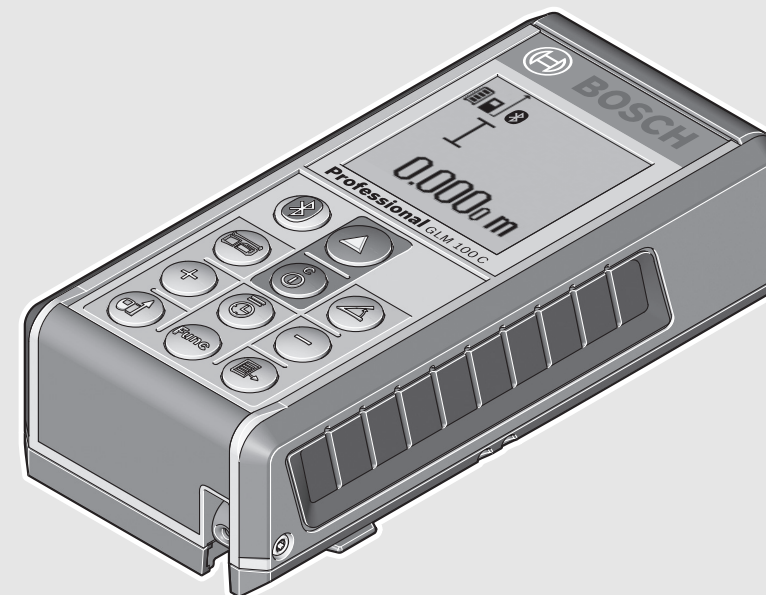
APAGADO

Mantenga presionados los botones [mem#] y [units] para apagar la unidad.

La rueda se puede extender soltando las dos abrazaderas y jalando sobre la rueda para extenderla.

Si por cualquier motivo la rueda funciona incorrectamente, se puede realizar un restablecimiento completo retirando las pilas durante 30 segundos.

ANEXO IV: MANUAL DE INSTRUCCIONES DEL TELÉMETRO BOSCH GLM 100C



Robert Bosch GmbH
Power Tools Division
70745 Leinfelden-Echterdingen
Germany

www.bosch-pt.com

2 609 141 026 (2013.07) 0 / 368 EURO



2 609 141 026

GLM 100 C Professional

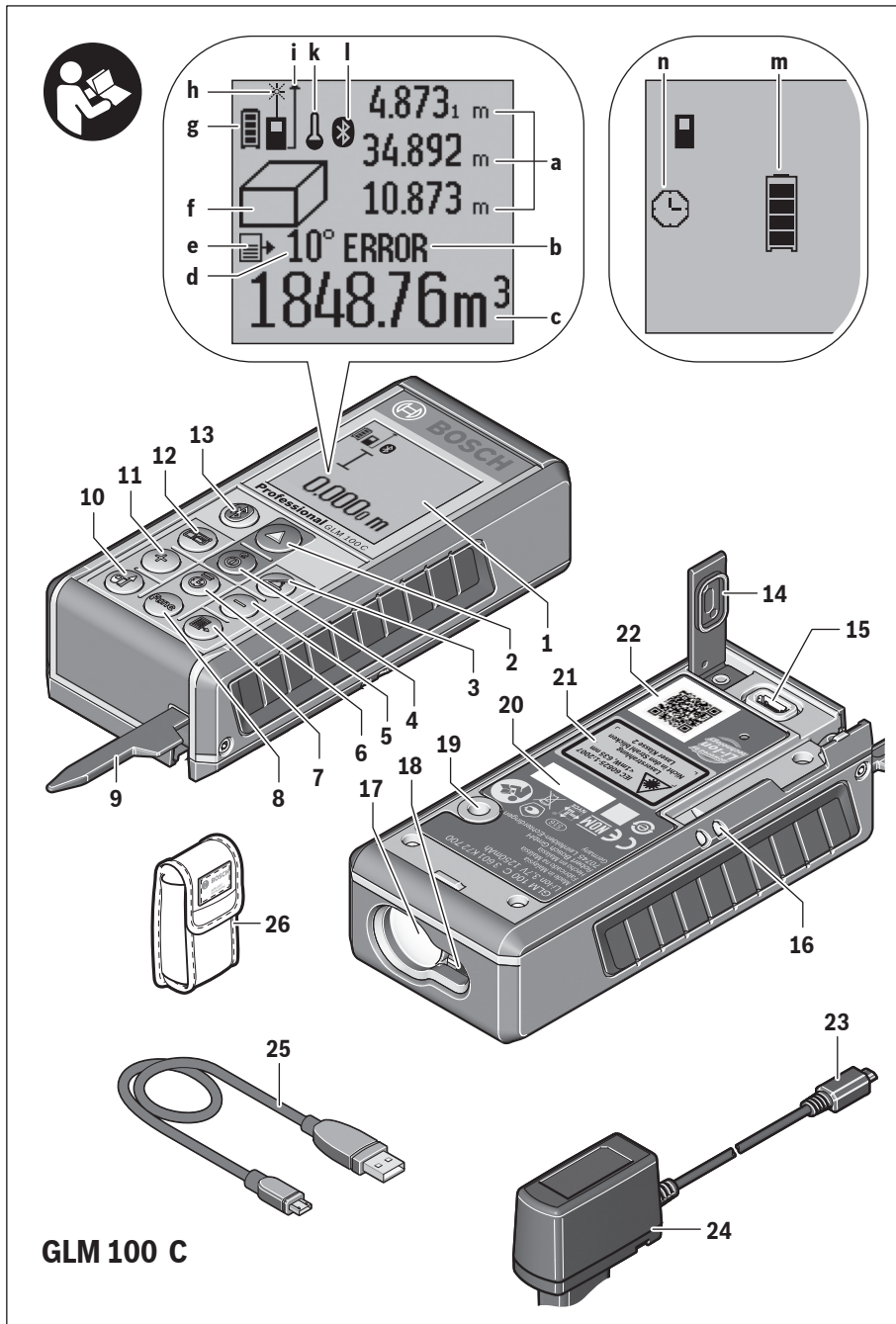
 **BOSCH**

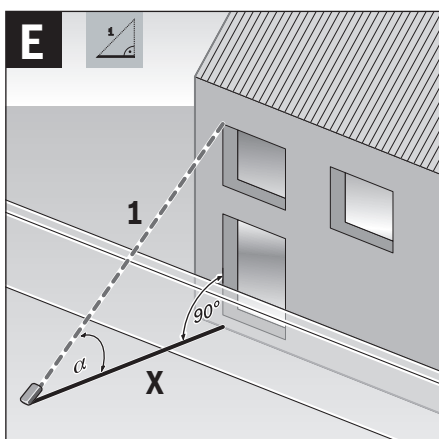
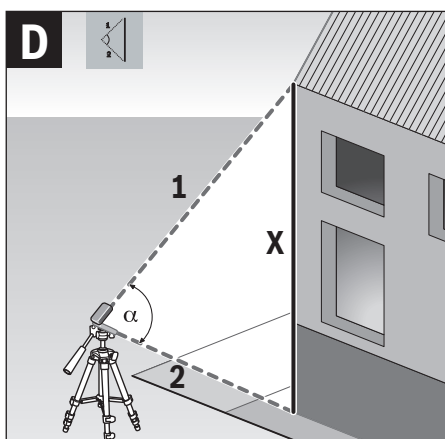
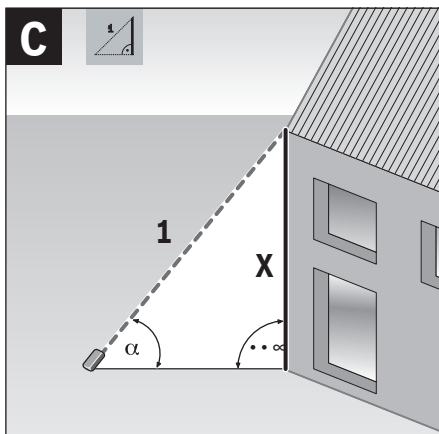
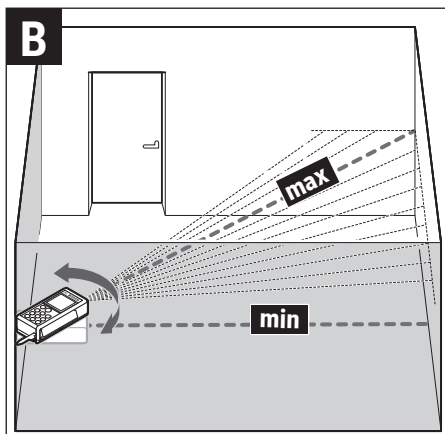
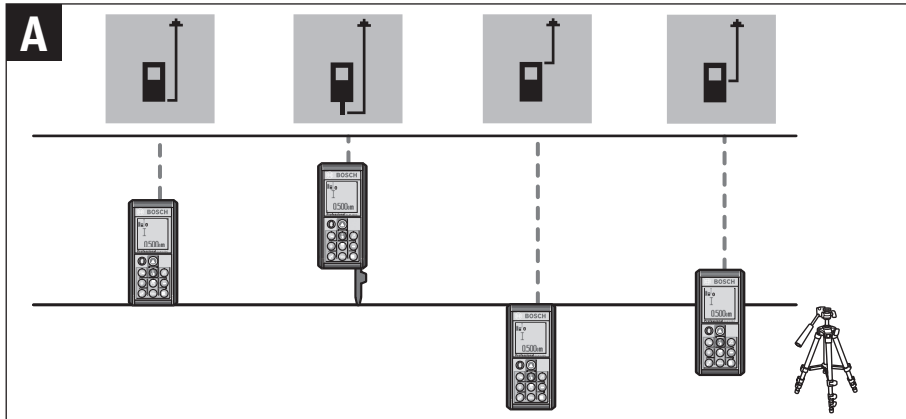
de Originalbetriebsanleitung
en Original instructions
fr Notice originale
es Manual original
pt Manual original
it Istruzioni originali
nl Oorspronkelijke
gebruiksaanwijzing
da Original brugsanvisning
sv Bruksanvisning i original
no Original driftsinstruks
fi Alkuperäiset ohjeet
el Πρωτότυπο οδηγιών χρήσης

tr Orijinal işletme talimatı
pl Instrukcja oryginalna
cs Původní návod k používání
sk Pôvodný návod na použitie
hu Eredeti használati utasítás
ru Оригинальное руководство
по эксплуатации
uk Оригінальна інструкція з
експлуатації
kk Пайдалану нұсқаулығының
түпнұсқасы
ro Instrucțiuni originale
bg Оригинална инструкция

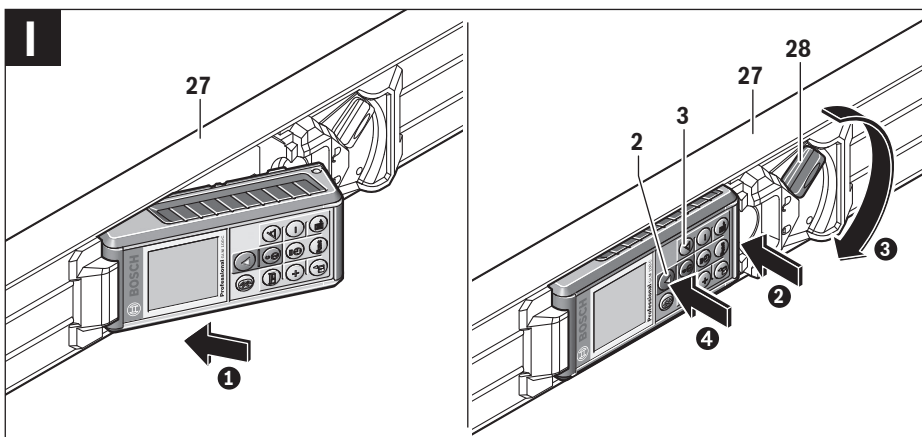
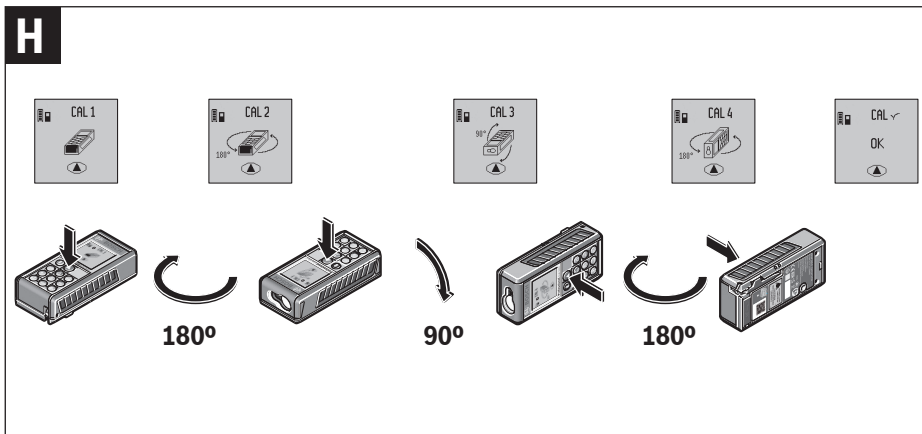
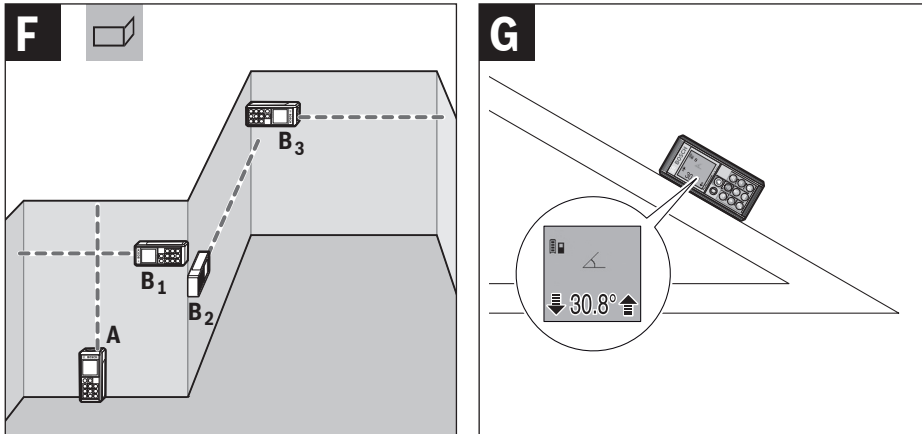
mk Оригинално упатство за работа
sr Originalno uputstvo za rad
sl Izvirna navodila
hr Originalne upute za rad
et Algupärane kasutusjuhend
lv Instrukcijas oriģinālvalodā
lt Originali instrukcija
ar تعليمات التشغيل الأصلية
fa دفترچه راهنمای اصلی





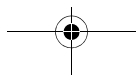
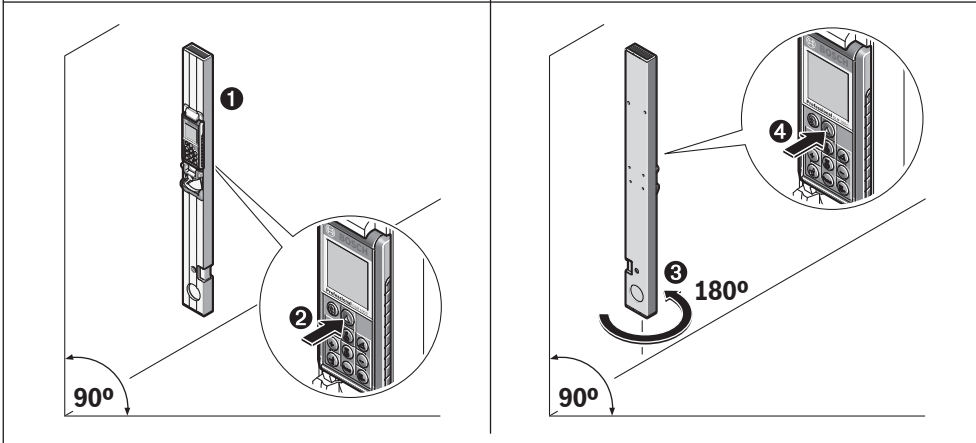
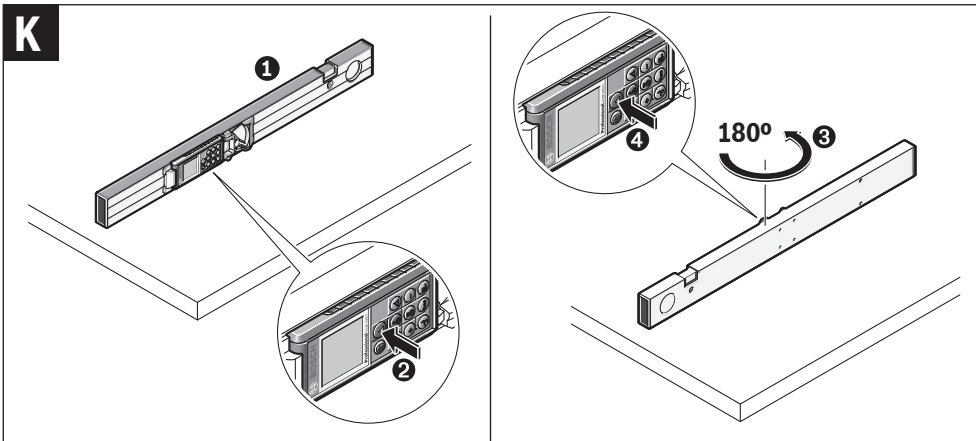
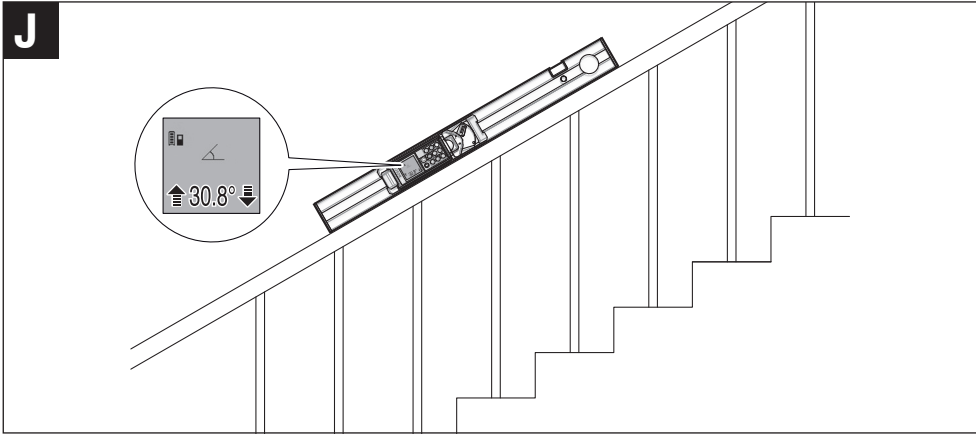


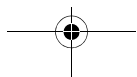
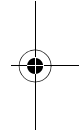
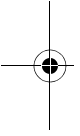
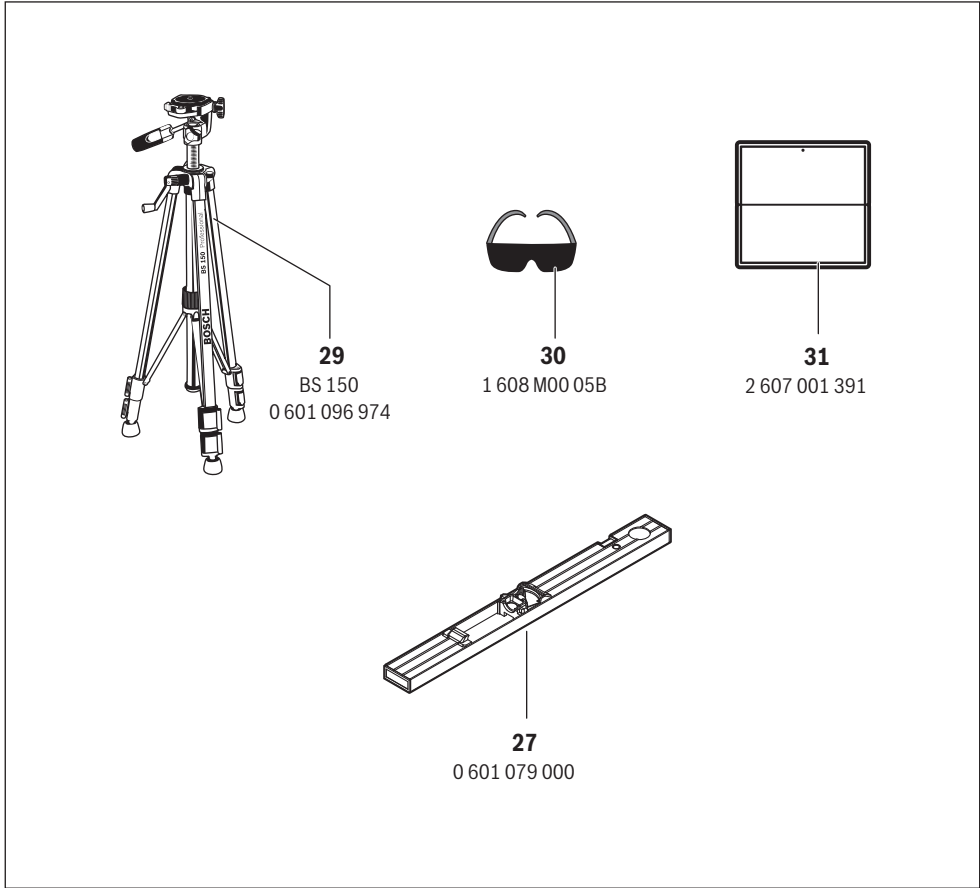
5 |





6 |





Technical Data

Digital Laser Rangefinder	GLM 100 C
Article number	3 601 K72 7..
Distance measurement	
Measuring range (max.)	100 m ^{A)}
Measuring range (typical)	0.05 – 80 m ^{B)}
Measuring range (typical under unfavourable conditions)	45 m ^{C)}
Measuring accuracy (typical)	± 1.5 mm ^{B)}
Measuring accuracy (typical under unfavourable conditions)	± 2.5 mm ^{C)}
Lowest indication unit	0.1 mm
Indirect Distance Measurement and Vial	
Measuring range	– 60° – +60° ^{D)}
Grade measurement	
Measuring range	0° – 360° (4x90°) ^{D)}
Measuring accuracy (typical)	± 0.2° ^{E)/G)}
Lowest indication unit	0.1°
General	
Operating temperature	– 10 °C... + 50 °C ^{F)}
Storage temperature	– 20 °C... + 50 °C
Allowable charging temperature range	+ 5 °C... + 40 °C
Relative air humidity, max.	90 %
Laser class	2
Laser type	635 nm, < 1 mW
Laser beam diameter (at 25 °C) approx.	
– at 10 m distance	6 mm
– at 80 m distance	48 mm
Setting accuracy of the laser to the housing, approx.	
– Vertical	± 2 mm/m ^{G)}
– Horizontal	± 10 mm/m ^{G)}
Automatic switch-off after approx.	
– Laser	20 s
– Measuring tool (without measurement)	5 min
Weight according to EPTA-Procedure 01/2003	0.14 kg
Dimensions	51 x 111 x 30 mm
Degree of protection	IP 54 (dust and splash water protected)
Data transmission	
Bluetooth®	Bluetooth® 4.0 (Classic and Low Energy) ^{I)}
Micro USB cable	USB 2.0
– Charging voltage	5.0 V ⁼⁼
– Charging current	500 mA
Battery	
	Li-Ion
Rated voltage	3.7 V
Capacity	1.25 Ah
Number of battery cells	1
Single measurements per battery charge, approx.	25 000 ^{H)}

22 | English

Digital Laser Rangefinder	GLM 100 C
Battery Charger	
Article number	2 609 120 4..
Charging time	approx. 3 h
Output voltage	5.0 V ^{DC}
Charging current	500 mA
Protection class	□/II

A) For measurements from the rear measuring-tool edge, the operating range increases the better the laser light is reflected from the surface of the target (dispersive, not reflective) and the brighter the laser point is with respect to the ambient brightness (indoors, twilight). For distances greater than 80 m, we recommend using a retroreflective target plate (accessory). For distances below 20 m, a retroreflective target plate should not be used, as it can lead to measuring errors.

B) For measurements from the rear measuring-tool edge, 100 % reflectance of the target (e.g., a white-painted wall), weak backlight and 25 °C operating temperature. Additionally, a deviation influence of ± 0.05 mm/m must be taken into account.

C) For measurements from the rear measuring-tool edge, 10 – 100 % reflectance of the target, strong backlight and – 10 °C to + 50 °C operating temperature. Additionally, a deviation influence of ± 0.29 mm/m must be taken into account.

D) For measurements with the rear side of the unit as reference, the max. measuring range is $\pm 60^\circ$

E) After calibration at 0° and 90° with an additional grade error of $\pm 0.01^\circ$ /degree to 45° (max.).

F) In the continuous measurement function, the maximum operating temperature is + 40 °C.

G) At 25 °C operating temperature

H) For a new and charged battery without display illumination, *Bluetooth*® and tone signal.

I) For *Bluetooth*® low-energy-devices, establishing a connection may not be possible, depending on model and operating system. *Bluetooth*® devices must support the SPP profile.

Please observe the article number on the type plate of your battery charger. The trade names of individual battery chargers may vary.

Please observe the article number on the type plate of your measuring tool. The trade names of the individual measuring tools may vary.

The measuring tool can be clearly identified with the serial number **20** on the type plate.

Product Features

The numbering of the product features shown refers to the illustration of the measuring tool on the graphic page.

- 1 Display
- 2 Measuring button
- 3 Button for grade measurement / calibration **
- 4 Button for clearing the internal memory / On/Off **
- 5 Minus button
- 6 Button for result / timer function **
- 7 Button for measured-value list / storage of constant **
- 8 Button for function mode / basic settings **
- 9 Positioning pin
- 10 Button for selection of the reference level
- 11 Plus button
- 12 Button for length, area and volume measurement
- 13 *Bluetooth*® button
- 14 Cover, micro USB port
- 15 Micro USB port
- 16 Fixture for carrying strap
- 17 Reception lens
- 18 Laser beam outlet
- 19 1/4" thread
- 20 Serial number
- 21 Laser warning label
- 22 QR-Code (product information)
- 23 Charge connector

- 24 Battery charger
- 25 Micro USB cable
- 26 Protective pouch
- 27 Measuring rail*^{***}
- 28 Locking lever for measuring rail
- 29 Tripod*
- 30 Laser viewing glasses*
- 31 Laser target plate*

*The accessories illustrated or described are not included as standard delivery.

** Keep button pressed to call up the extended functions.

***When operating the measuring tool in the measuring rail 27, data transmission is not possible.

Display Elements

- a Measured-value lines
- b "ERROR" indication
- c Result line
- d Digital vial / position of measured-value list entry
- e Measured-value list indicator
- f Measuring functions
 - I Length measurement
 - Area/surface measurement
 - ☐ Volume measurement
 - ⋮ Continuous measurement
 - ↗ Indirect height measurement

20 | English

- ▶ **If the text of the warning label is not in your national language, stick the provided warning label in your national language over it before operating for the first time.**
- ▶ **Do not direct the laser beam at persons or animals and do not stare into the laser beam yourself.** This measuring tool produces laser class 2 laser radiation according to IEC 60825-1. This can lead to persons being blinded.
- ▶ **Do not use the laser viewing glasses as safety goggles.** The laser viewing glasses are used for improved visualisation of the laser beam, but they do not protect against laser radiation.
- ▶ **Do not use the laser viewing glasses as sun glasses or in traffic.** The laser viewing glasses do not afford complete UV protection and reduce colour perception.
- ▶ **Have the measuring tool repaired only through qualified specialists using original spare parts.** This ensures that the safety of the measuring tool is maintained.
- ▶ **Do not allow children to use the laser measuring tool without supervision.** They could unintentionally blind other persons or themselves.
- ▶ **Do not operate the measuring tool in explosive environments, such as in the presence of flammable liquids, gases or dusts.** Sparks can be created in the measuring tool which may ignite the dust or fumes.



Protect the measuring tool against heat, e.g., against continuous intense sunlight, fire, water, and moisture. Danger of explosion.

- ▶ **In case of damage and improper use of the battery, vapours may be emitted. Ventilate the area and seek medical help in case of complaints.** The vapours can irritate the respiratory system.
- ▶ **Caution! When using the measuring tool with *Bluetooth*[®], interference with other devices and systems, airplanes and medical devices (e.g., cardiac pacemakers, hearing aids) may occur. Also, the possibility of humans and animals in direct vicinity being harmed cannot be completely exempt. Do not use the measuring tool with *Bluetooth*[®] in the vicinity of medical devices, petrol stations, chemical plants, areas where there is danger of explosion, and areas subject to blasting. Do not use the measuring tool with *Bluetooth*[®] in airplanes. Avoid operation in direct vicinity of the body over longer periods.**

The *Bluetooth*[®] word mark and logos are registered trademarks owned by Bluetooth SIG, Inc. and any use of such marks by Robert Bosch Ltd. is under license.

Safety Warnings for Battery Chargers



Keep the battery charger away from rain or moisture. Penetration of water in the battery charger increases the risk of an electric shock.

- ▶ **Only charge Bosch lithium ion batteries or lithium ion batteries installed in Bosch products. The battery voltage must match the battery charging voltage of the charger.** Otherwise there is danger of fire and explosion.
- ▶ **Keep the battery charger clean.** Contamination can lead to danger of an electric shock.
- ▶ **Before each use, check the battery charger, cable and plug. If damage is detected, do not use the battery charger. Never open the battery charger yourself. Have repairs performed only by a qualified technician and only using original spare parts.** Damaged battery chargers, cables and plugs increase the risk of an electric shock.
- ▶ **This battery charger can be used by children aged from 8 years and above and persons with reduced physical, sensory or mental capabilities or lack of experience and knowledge if they have been given supervision or instruction concerning use of the battery charger in a safe way and understand the hazards involved.** Otherwise, there is danger of operating errors and injuries.
- ▶ **Supervise children.** This will ensure that children do not play with the charger.
- ▶ **Cleaning and user maintenance of the battery charger shall not be made by children without supervision.**

Products sold in GB only: Your product is fitted with a BS 1363/A approved electric plug with internal fuse (ASTA approved to BS 1362).

If the plug is not suitable for your socket outlets, it should be cut off and an appropriate plug fitted in its place by an authorised customer service agent. The replacement plug should have the same fuse rating as the original plug.

The severed plug must be disposed of to avoid a possible shock hazard and should never be inserted into a mains socket elsewhere.

Product Description and Specifications

Intended Use

The measuring tool is intended for measuring distances, lengths, heights, clearances, grades and for the calculation of areas and volumes. The measuring tool is suitable for measuring indoors and outdoors.

The measuring results can be transmitted to other devices via *Bluetooth*[®] and USB data port (not when operating the measuring tool in the R60 Professional measuring rail).