



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica

Generación de Modelo 3D de la Torre Campanario Fadri
mediante Scan-To-BIM

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: Gas Gozalbo, Mario

Tutor/a: Lerma García, José Luis

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a toda la gente que me ha apoyado para realizar este proyecto.

A mi familia, que siempre está ahí, siendo el mejor apoyo posible y mostrando interés por cualquier proyecto que les comento.

A Andra, que siempre está ahí para escuchar mis explicaciones sobre cosas que a veces ni yo entiendo, que me ayuda cuando ve que no puedo, que me apoya siempre en todo.

A mi tutor José Luis, que ha sabido guiarme en todo el proceso y motivarme en los momentos en lo que yo veía que el proyecto no salía adelante.

A Ambroise, que conociéndome tan solo de este curso no dudó en ayudarme con la toma de datos.

A Manuel, que sin saber él nada de topografía, no dudó en ayudarme durante la última salida a la que Ambroise no podía asistir.

A Ali, que me explicó cómo funcionaba Revit y me ayudó mucho a comenzar a entender este software nuevo para mí.

Y, por último, pero no menos importante, a Ana Meseguer y a todos los trabajadores del MUCC, que me dieron la oportunidad de realizar el proyecto y me dieron todas las facilidades posibles.

A todos vosotros, gracias.

Compromiso

"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía"

Fdo.: Mario Gas Gozalbo

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, cursive 'M' followed by a long, sweeping horizontal stroke that extends to the right.

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es obtener un modelo 3D preciso de la torre campanario “Fadrí” para poderlo utilizar en favor de su conservación, así como los objetivos académicos ligados a la realización de un trabajo final de grado (TFG). A estos objetivos se les suman otros, como aprender a organizar y realizar todo el proceso necesario para la obtención de dicho resultado, y realizar un servicio a la comunidad aportando conocimientos técnicos. Este último objetivo hace que el trabajo se convierta en un proyecto de aprendizaje servicio (ApS), que se resume en ayudar a una entidad pública o privada aportando un servicio gratuito a cambio de obtener experiencia y formación en el servicio prestado.

La metodología empleada para cumplir estos objetivos marcados ha seguido el esquema de trabajo scan-to-HBIM (‘Historic Building Information Modelling’), mediante el cual a partir de mediciones realizadas sobre el objeto en cuestión usando láser escáner o fotogrametría y tras el procesamiento de estos datos, se genera un modelo 3D a partir de los productos obtenidos de estas mediciones (nube de puntos, ortofotos...). De esta manera, el trabajo se ha dividido en cinco partes; (1) planteamiento del problema y de las soluciones; (2) salida a campo para la toma de datos; (3) procesamiento de los datos obtenidos; (4) generación del modelo 3D y de planimetrías; y (5) análisis de resultados.

Cabe destacar en esta metodología que, al tener el añadido de ser un proyecto ApS, se ha colaborado con el Museo de la Ciudad de Castellón (MUCC), entidad que se encarga de la conservación del “Fadrí”. Esta entidad ha permitido realizar los trabajos de medición dando acceso a la torre y aportando gran cantidad de información que ha sido de gran ayuda para la documentación patrimonial de esta.

Los resultados de este trabajo pueden dividirse en tres partes. Por un lado, se ha obtenido una nube de puntos de precisión milimétrica a partir del uso de un láser escáner terrestre, mientras que por el otro se han obtenido dos productos derivados de esta nube de puntos: una serie de planos donde se presentan en forma de vistas de alzados y secciones de la torre y un modelo 3D preciso (5mm/2cm) de esta. Ambos productos derivados son productos muy útiles para la conservación del campanario, pues permiten extraer información geométrica de este.

La utilidad principal de este proyecto es poder realizar restauraciones y rehabilitaciones basándose en las mediciones y los productos derivados de estas, pudiendo de esta manera conservar la torre en su estado actual y haciendo que el edificio prevalezca y se mantenga en buen estado para las generaciones venideras.

Índice de figuras

Ilustración 1: Croquis del fototeodolito de Laussedat empleado por Meydenbauer para sus estudios.....	7
Ilustración 2: Artículos relacionados con la toma de datos 3D.....	9
Ilustración 3: Planos acotados realizados por Vicente Traver Tomás 1958.....	10
Ilustración 4: Impresiones 3D obtenidas por el ITC y la UJI	11
Ilustración 5 : Proceso BIM.....	15
Ilustración 6: Dimensiones BIM.....	15
Ilustración 7: Niveles BIM.....	16
Ilustración 8: Comparativa LODs	18
Ilustración 9: Fadrí y detalles de la entrada.....	19
Ilustración 10: Croquis estaciones para el escaneo de la parte externa	21
Ilustración 11: Sección registro Terraza	23
Ilustración 12: Torre registrada al completo	24
Ilustración 13: Capilla sobre la puerta modelizada.....	26
Ilustración 14: Imagen de la Sala de Campanas	27
Ilustración 15: Terraza Modelizada	27
Ilustración 16: Capilla real vs Capilla modelizada	28
Ilustración 17: Puntos adquiridos y modelado	28
Ilustración 18: Escaleras modelizadas	29
Ilustración 19: Modelo 3D de la Torre	29
Ilustración 20: Capturas del estudio solar	30
Ilustración 21: Precios láser scáner Trimble	31
Ilustración 22: Precios software Autodesk	32
Ilustración 23: Precios Real Works	32

Índice de tablas

Tabla 1: Láser escáner vs Fotogrametría	20
Tabla 2: Costes Directos	31
Tabla 3: Sueldos brutos según convenio	32
Tabla 4: Costes Trabajadores	33

Índice

Índice de tablas	5
1. Introducción	7
2. Objetivos	12
3. Datos	13
4. Metodología	14
4.1. Introducción al BIM	14
4.2. HBIM y Scan-To-BIM	17
4.3. Toma de datos	18
4.4. Procesamiento de las nubes de puntos	22
4.5. Generación del modelo 3D	25
5. Resultados	27
6. Presupuesto	31
7. Conclusiones	34
8. Bibliografía	36
9. Planos	37

1. Introducción

“La fotogrametría es el arte, la ciencia y tecnología de obtener información fiel acerca de objetos físicos y su entorno a través de procesos de grabación, medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos.” (B. de CEUPE, 2018).

Esta definición de la página web del CEUPE (Centro Europeo de Postgrado) en uno de sus artículos, define de manera muy concreta y entendible lo que es la fotogrametría. Esta técnica o ciencia, es la base para todos los trabajos actuales que siguen la metodología *“Scan-to-BIM”*, pues para conseguir los modelos o productos conocidos como *“As-Built”*, todas las técnicas actuales de adquisición de datos están inspiradas en estas metodologías.

La fotogrametría para la conservación del patrimonio y la recreación de planos a escala de edificaciones se remonta a la propia invención de esta ciencia. Ya en el siglo XIX Albrecht Meydenbauer, recoge las metodologías de fotografía empleadas hasta entonces para fines topográficos y cartográficos y la intenta implementar para levantamientos arquitectónicos, creando así una fotogrametría primitiva que, evidentemente, todavía presentaba problemas que hoy daríamos como básicos, por ejemplo, la dificultad para detectar puntos comunes.

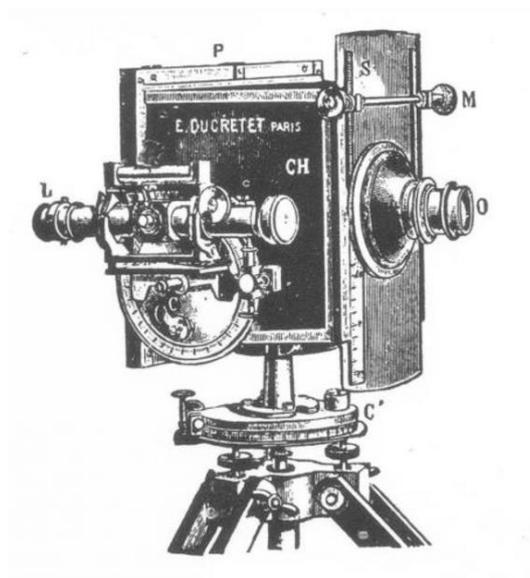


Ilustración 1: Croquis del fototeodolito de Laussedat empleado por Meydenbauer para sus estudios.

Fuente: (Carneiro da Silva, 2015)

Si bien es cierto que los inicios de la fotogrametría se basan en la fotogrametría terrestre, su desarrollo y la mayoría de los avances se realizaron a partir de descubrir el potencial que la fotogrametría aérea presentaba. Así pues, tras la segunda guerra mundial, la fotogrametría empezó a ser una ciencia mucho más extendida siendo empleada para fines cartográficos a gran escala, pudiendo obtener ortofotos del terreno georreferenciadas.

Muchas décadas después, en los años 90, con el desarrollo inmenso en todos los ámbitos de la tecnología, la fotogrametría pasó a digitalizarse, haciendo que su uso se extendiera más todavía. Sus procesos se simplificaron y se descubrieron nuevas metodologías para el reconocimiento de puntos comunes.

El objetivo de esta introducción no es explicar la historia de la fotogrametría, por esta razón no he querido entrar en detalle de todos los avances sucesivos que han hecho que esta ciencia evolucione, pero pienso que es interesante comentar a grandes rasgos la historia de esta tecnología pues las metodologías de captura de datos empleadas en este proyecto se basan en la fotogrametría, como ya se ha explicado.

En este trabajo se ha empleado un láser escáner para la obtención de los datos. Su funcionamiento y procesamiento es distinto al de la fotogrametría clásica, partiendo de la base de que este aparato no toma fotografías, sino que mide el objeto mediante la extracción de puntos de este proyectando un rayo láser sobre el objeto y procesando el rayo reflejado y recibido en el aparato. Pero realmente, no es tan distinto, al fin y al cabo, la fotografía no hace más que capturar los reflejos de la luz (ya sea natural o artificial) y traducir esos reflejos a información capturada en píxeles.

Además, el proceso posterior de tratamiento de los datos obtenidos es similar; en ambos casos buscamos puntos comunes entre las distintas capturas para poder unirlos y obtener un modelo conjunto de todas estas tomas. ¿Pero, si hay tanta similitud, porque usar una metodología u otra?

Este debate en muchas ocasiones depende del profesional o estudioso con el que hables. Lo cierto es que para el ámbito en el que se basa este proyecto, es decir la conservación del patrimonio, ambas técnicas arrojan resultados similares si se aplican de manera correcta. A la hora de elegir una metodología u otra hay que analizar el tipo de proyecto que se va a realizar, el tiempo que se tiene para realizarlo, las precisiones, el presupuesto, la disponibilidad de personal cualificado...

Actualmente, debido a la sencillez de su uso, el láser escáner parece estar ganando el debate en este ámbito. Si bien para la realización de cartografía y/o modelos digitales del terreno sigue siendo la fotogrametría aérea la metodología más empleada, en cuanto a modelos 3D de edificaciones el láser escáner (escáner o móvil) empieza a ser lo más extendido.

Esto se debe a que, a diferencia de la fotogrametría terrestre, el uso de un láser escáner tiende a ser más cómodo, evitando los procesos de calibración y siendo significativamente más rápido. También influye el hecho de que el láser escáner adquiera tantísima cantidad de información en apenas 5 minutos.

Si realizamos una sencilla búsqueda en “Google Académico” podemos ver que 3 de los 5 primeros artículos que aparecen ya mencionan en su título el láser escáner.

The screenshot shows a Google Scholar search results page. The search query is 'adquisición de datos 3D+edificaciones'. The page displays several search results, each with a title, author information, and a brief description. The first result is 'S-HBIM: herramientas de digitalización 3D para el diagnóstico estructural de edificaciones patrimoniales' by RA Rony Wilman. The second is 'Alternativas para la Adquisición de Datos Colaborativos Necesarios en la Construcción de Mapas de Ruido de Trafico Automotor' by JS Marulanda, JO Villegas, and LAT Jiménez. The third is '[PDF] MONITORIZACIÓN DE UN TALUD EN YESOS MEDIANTE LASER SCANNER TERRESTRE (TLS): EL CASO DE LA PEÑA DE FINESTRAT, ALICANTE' by E Alonso, J Corominas, and M Hürimann. The fourth is 'Adquisición automática de datos de edificios con escáneres 3D y generación de modelos' by BQ Galera. The fifth is 'Estudio de Captura de Datos con Escáner Láser Terrestre (TLS) para la Aplicación en Modelado de Información para la Edificación (BIM)' by A Rodríguez-Juárez.

Ilustración 2: Artículos relacionados con la toma de datos 3D

Podemos decir por lo tanto que este tipo de trabajos está muy extendido y que tal vez bienes patrimoniales de muchas ciudades hayan sido ya modelizados y medidos mediante estas técnicas. Cuando me puse en contacto con el Museo de la Ciudad de Castellón (MUCC de ahora en adelante) para hacer un trabajo de este tipo y me propusieron hacer el “Fadrí” entendí que evidentemente no se había realizado ningún trabajo similar o al menos ellos no tenían constancia de este o lo habían desestimado. Con el fin de confirmar estos supuestos, investigué por mi cuenta si sobre el edificio se habían hecho trabajos similares en clave de conservación patrimonial.

El primer estudio que encontré fue el realizado por el arquitecto y alcalde de la ciudad Francisco Traver Tomás, que en su libro “Antigüedades de Castellón de la Plana” publicado en 1958 en el que se mostraban una serie de fotografías y planos a escala de todas las edificaciones y elementos históricos de la ciudad y por lo tanto del Fadrí.

Este libro puede obtenerse mediante el Ayuntamiento de Castellón, pero como tampoco era necesario obtenerlo para la realización de este trabajo, el museo aportó una serie de fotografías de lo que se muestra en este:

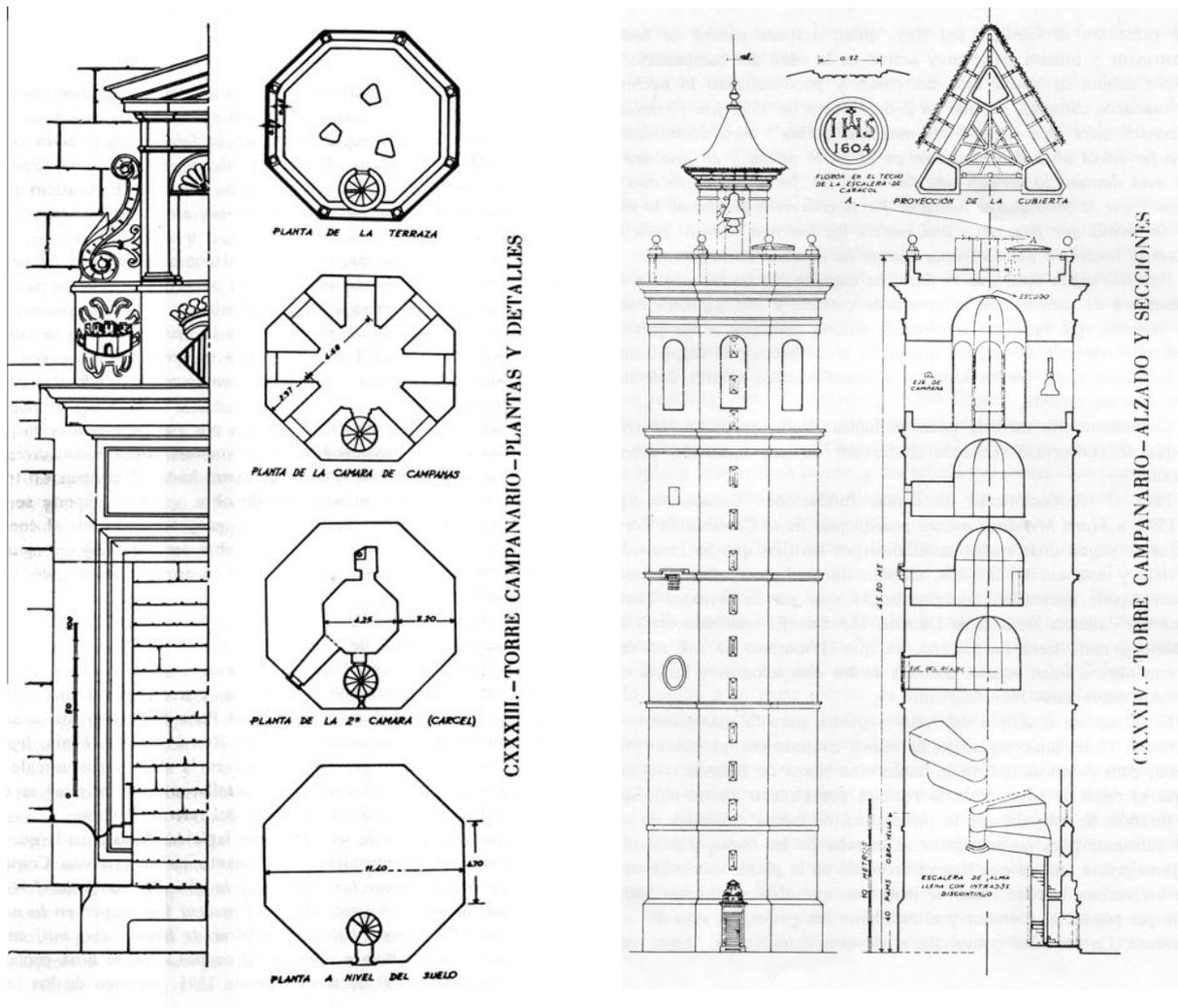


Ilustración 3: Planos acotados realizados por Vicente Traver Tomás 1958.

Fuente: (Traver Tomás, 1959)

Otro de los estudios encontrados fue realizado por la Universitat Jaume I (UJI de ahora en adelante) junto con el Instituto de Tecnología Cerámica (ITC de ahora en adelante) y financiado por el Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE de ahora en adelante). Este proyecto sí habla de modelización 3D a partir de mediciones y, es más, han realizado impresiones de los modelos obtenidos. No queda del todo claro en los artículos periodísticos publicados ni en las webs de dichas entidades qué metodología han empleado, aunque si puede verse en una de las páginas web una ilustración de lo que parece ser un escáner.

Vistos los resultados que aportan, parece que no hicieron la torre por completo, basándose únicamente en la parte externa y sin centrarse en exceso en los detalles como pueden ser las campanas, la capilla sobre la puerta... Tal vez por esta razón el MUCC sigue buscando un modelo completo o sencillamente no se han puesto en contacto con estas entidades y les ha parecido buena idea que se realice un trabajo de este tipo.

3D RestaurAM

Home Patrimonio Fabricación Aditiva Modelos impresos Partners Equipo Contacto



3D RestaurAM

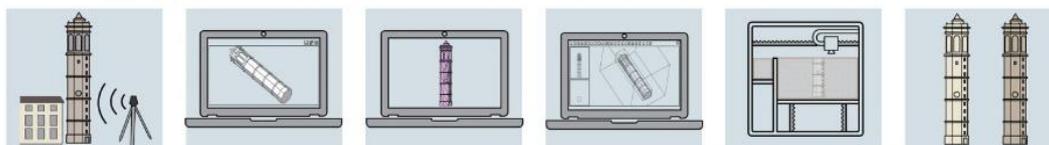


Ilustración 4: Impresiones 3D obtenidas por el ITC y la UJI

Fuente: (3D RestaurAM, 2021)

Otro documento interesante aportado por el MUCC fue un libro inédito, en el que se detallan las etapas de construcción, distintos detalles interesantes como las inscripciones que encontramos en la entrada a la torre, información sobre las campanas y muchos más datos de interés patrimonial.

Este trabajo se ha basado únicamente en la parte métrica y geométrica de la torre, sin añadir información histórica de la torre al modelo obtenido, pero de cara al futuro, el trabajo realizado podría complementarse con información extraída de este libro y poder así obtener un modelo BIM de alto nivel de desarrollo.

2. Objetivos

Al ser este un Trabajo Fin de Grado (TFG), uno de los objetivos a mencionar es el objetivo académico de este trabajo. Este viene definido en la Memoria de Verificación como: “realizar un ejercicio original individualmente y presentar y defender ante un tribunal universitario”. En este caso el proyecto deberá tener relación con el grado en Ingeniería Geomática y Topografía.

Para poder cumplir con este objetivo debe realizarse un proyecto que tiene a su vez una serie de objetivos específicos, que se desglosan a continuación:

1. Obtener una nube de puntos de precisión milimétrica para su posterior uso en la generación de planos y modelos 3D.
2. Obtener una colección de planos a escala en dos dimensiones para poder realizar mediciones sobre estos.
3. Obtener un modelo 3D de alta precisión (mejor a 2cm) para su posterior uso en conservación de la torre.
4. Aprender todos los procesos necesarios para poder realizar un proyecto de estas dimensiones, incluyendo la planificación, la captura de los datos, el procesado de estos y la obtención de productos finales.
5. Aportar esta información al MUCC, entidad con la que se colabora para la realización del proyecto y la cual se encarga de la conservación del edificio.
6. Cumplir uno de los objetivos ODS, concretamente el 11.4: Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo.
7. Realizar un proyecto que pueda ayudar a la conservación patrimonial de mi ciudad natal.
8. Alcanzar un nivel de detalle entre LOD4 y LOD5, es decir obtener un modelo métrico donde se aprecien detalles de la torre.

3. Datos

En este proyecto no se han utilizado fuentes de datos externas más que para la redacción de la memoria, pues el proyecto ha sido realizado con los datos obtenidos en las distintas salidas a campo realizadas por el alumno.

Al estar ya mencionadas y citadas las fuentes empleadas en la redacción del proyecto tan solo cabe definir la fecha y precisión de los datos adquiridos.

Dato: nubes de puntos de la torre mediante escaneados consecutivos utilizando el láser escáner terrestre Trimble TX6.

Fechas: 21/02/2022 – 07/03/2022 – 08/03/2022

Precisión: milimétrica con una densidad de los puntos de 22.4 mm a los 30 m de distancia (nivel de adquisición 1 del modelo de láser escáner empleado).

4. Metodología

4.1. Introducción al BIM

Antes de comenzar a explicar la metodología empleada, deben explicarse brevemente una serie de conceptos teóricos sobre la metodología BIM y más concretamente sobre el HBIM, que una de las bases de este proyecto.

HBIM son las siglas de *Heritage Building Information Modelling*. Estas siglas se utilizan para definir el uso de la metodología BIM a proyectos relacionados con el patrimonio (*Heritage* en inglés).

Por lo tanto, para explicar el concepto HBIM debe primero conocerse que es el BIM. BIM son las siglas de *Building Information Modeling*. Estas siglas se relacionan con una metodología de trabajo que pretende implementar unos pasos a la hora de realizar la planificación, la ejecución y la gestión de los proyectos de construcción. Esta metodología surge como respuesta a la dificultad de que todas las partes implicadas en una obra conozcan las modificaciones que otras partes han efectuado, provocando problemas de ejecución, retrasos, malentendidos... Para resolver estos problemas BIM establece el uso de un modelo de información digital en el que (respetando una serie de jerarquías previamente establecidas) todos los participantes del proyecto pueden participar.

De esta manera la metodología BIM pretende que todos los trabajos realizados en una obra o un proyecto (esta metodología adaptada puede aplicarse a otro tipo de proyectos) estén interconectados, haciendo que los cambios realizados por uno de los equipos sean actualizados de manera “automática” y notificado al resto de equipos. Un sencillo ejemplo sería que, tras unas pruebas de carga realizadas sobre unas losas de hormigón, se tome la decisión de cambiar el armado de estas. Este cambio haría que se modificara el tipo de losa a emplear en el proyecto, que el equipo de obra tal vez necesitara otro tipo de maquinaria, que los presupuestos cambiaran y demás; en un modelo digital de información, estos cambios serían automáticos con tan solo editar el tipo de losa a utilizar.

Evidentemente, realizar un modelo BIM implica también una serie de trabajos previos como pueden ser buscar los catálogos de materiales a emplear o en su defecto crear familias nuevas de materiales o elementos, lo que implica establecer las dimensiones del objeto, los materiales, el coste etcétera.

La metodología BIM también se caracteriza por no solo utilizarse a la hora de proyectar el trabajo a realizar, sino que también es empleada en las fases de construcción y mantenimiento de la obra.

Todas las acciones implicadas en estas fases se engloban en el conocido como proceso BIM, que puede verse resumido en la siguiente figura:

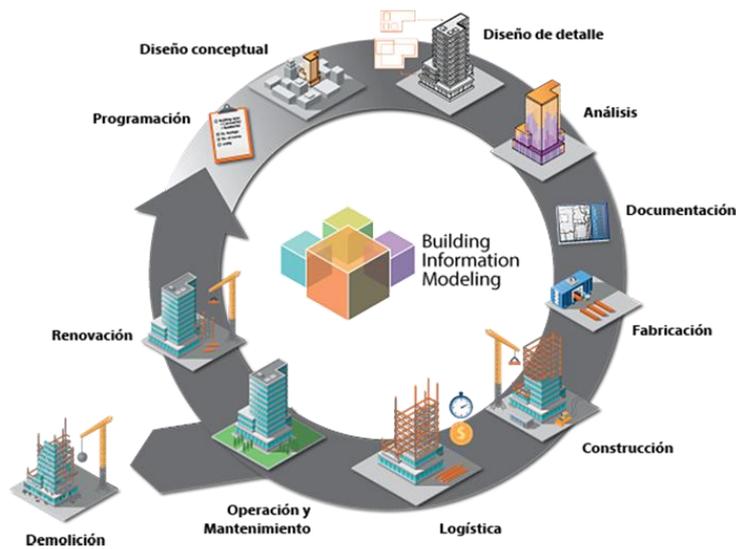


Ilustración 5 : Proceso BIM

Fuente: (QVID. Arquitectos y Asociados, s.f.)

Otra de las claves de esta metodología son las dimensiones. Estas establecen las cantidad de procesos que alcanza un proyecto, pudiendo clasificar el nivel de desarrollo BIM al que un proyecto haya llegado. Como puede verse en la siguiente ilustración, las dimensiones básicas empiezan por la generación de bocetos y estudios aproximados, aumentando las dimensiones conforme se aumenta la cantidad y profundidad del trabajo realizado.

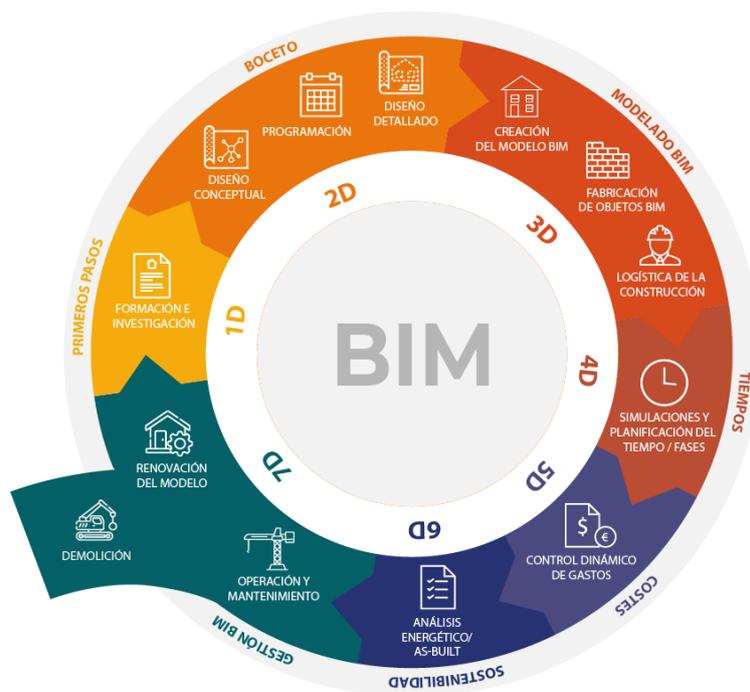


Ilustración 6: Dimensiones BIM

Fuente: (Insiteca Ingenieros, 2019)

Las dimensiones mencionadas también tienen una alta relación con los llamados niveles BIM. Estos niveles utilizan las dimensiones para establecer el nivel de implementación de la metodología BIM en el proyecto, considerando cómo de colaborativo es el proyecto o el grado de interoperabilidad entre otros muchos factores.

Los niveles se clasifican en:

-Nivel 0: El nivel de colaboración es mínimo o nulo. Los diseños y productos del modelo de información no pasan de un formato CAD en dos dimensiones.

-Nivel 1: El nivel de colaboración es parcial. A parte del CAD 2D, incluye figuras en 3D cualitativas (es decir no son métricas). Utiliza formatos interoperables.

-Nivel 2: El nivel de colaboración es alto. Modelos 3D métricos con información alfanumérica asociada. La interoperabilidad está totalmente integrada. Abarca también las dimensiones 4 y 5, gestión del tiempo y presupuesto.

-Nivel 3: Es el nivel donde la metodología BIM está completamente implementada. Incluye las dimensiones 6 y 7, correspondientes al análisis de la sostenibilidad y a la gestión del mantenimiento.

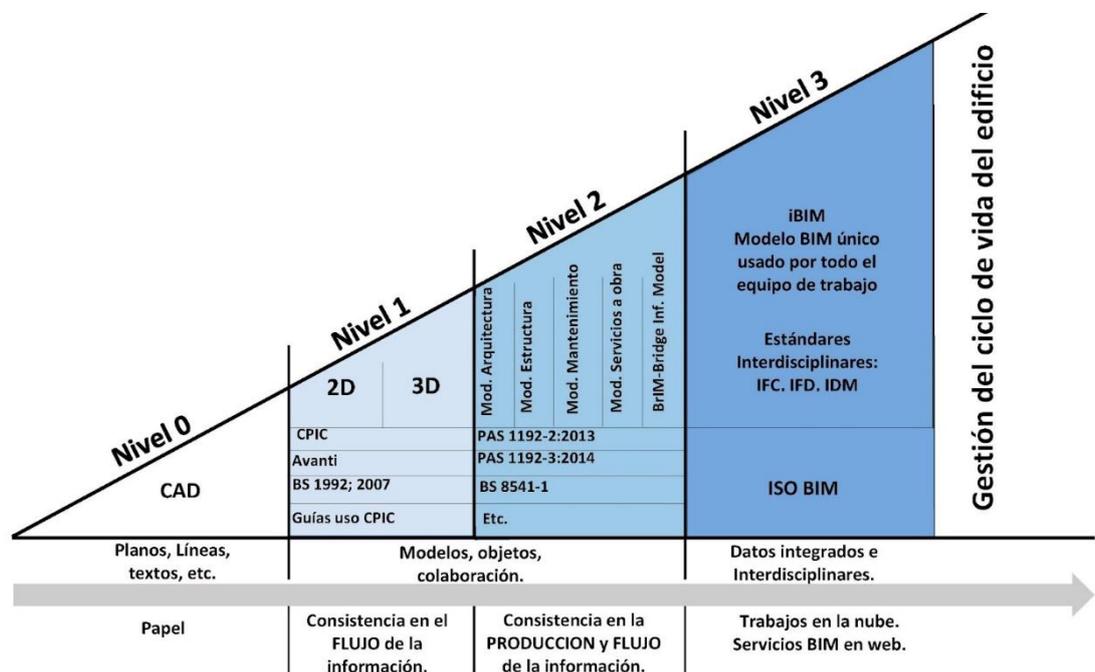


Ilustración 7: Niveles BIM

Fuente: (LORENZO-FLUXA Arquitectos y Asociados, 2020)

4.2. HBIM y Scan-To-BIM

Una vez explicada la metodología BIM, podemos entender qué es el HBIM y que diferencias hay con respecto al proceso BIM. Como ya se ha comentado antes en este documento, la diferencia básica entre las dos metodologías es que una está encarada normalmente para proyectos de nueva construcción mientras que la otra se utiliza para edificios o elementos que ya están construidos y por lo tanto lo que se pretende es conseguir un modelo de información que defina de la manera más fidedigna los elementos de la construcción tanto cualitativa como métricamente.

Por lo tanto, en la metodología HBIM existe un proceso de adquisición de datos mediante mediciones y documentación con el fin de recrear el edificio digitalizando los elementos y aportándoles información asociada. El producto obtenido finalmente permitirá que en un futuro este edificio pueda ser rehabilitado o restaurado, pudiendo así conservar el patrimonio.

El proceso mediante el cual se adquiere la información necesaria para la generación del modelo digital se conoce como Scan-To-BIM. Aunque una traducción literal sería Escaneo-A-BIM, estas siglas también incluyen los procesos de adquisición de información asociada, además de que la metodología para el levantamiento de la construcción no tiene por qué ser mediante láser escáner, aunque como se ha mencionado en la introducción de este documento, es la más comúnmente empleada en este tipo de proyectos.

Al igual que se han definido las dimensiones y los niveles del BIM, para la metodología Scan-To-BIM deben definirse tres conceptos importantes:

-LOD, *Level Of Detail*, Nivel de Detalle: cuantifica el detalle geométrico de los componentes BIM definidos en el proyecto.

-LOI, *Level Of Information*, Nivel de Información: cuantifica la cantidad de información asociada al modelo.

-LOD, *Level of Development*, Nivel de Desarrollo: cuantifica la confianza o fiabilidad del modelo considerando tanto la información geométrica como la alfanumérica asociada a esta.

Los dos LODs se clasifican utilizando niveles, siendo los niveles superiores los que más desarrollados están y los menores los que menos trabajo han conllevado. Al tener el Nivel de Desarrollo una relación directa con el Nivel de Detalle, pueden ser confundidos, pero debe destacarse que son conceptos distintos y que el segundo solo mide la definición geométrica del modelo sin tener en cuenta la información asociada a este.

Para el nivel de detalle se definen 6 niveles que son:

-Nivel 1, Simbólico: Se representan los elementos en 2 dimensiones.

-Nivel 2, Conceptual: Se genera una figura similar al elemento, pero sin tener ningún detalle ni métrica.

-Nivel 3, Genérico: Se genera un modelo que se asemeja más a la realidad, pero sigue necesitando de planos auxiliares para definir detalles. Las medidas son aproximadas.

-Nivel 4, Específico: Es el primer nivel que puede considerarse métrico. En este se es capaz de reconocer detalles y sirve para realizar presupuestos y planificaciones a partir de este.

-Nivel 5, Construcción: Nivel donde se representan todo tipo de detalles constructivos necesarios para la ejecución de la obra.

-Nivel 6, As Built: Nivel donde cualquier pequeña variación de la construcción se ve representada.

Los niveles de desarrollo tienen una escala distinta y más difusa, pues dependen también del LOI del proyecto. Si lo comparamos únicamente con el nivel de detalle, podemos relacionar sus niveles de la siguiente manera:

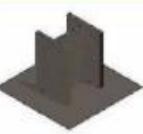
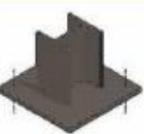
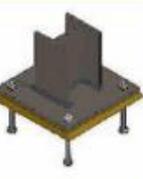
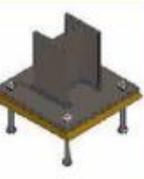
LOD 1	LOD 2	LOD 3	LOD 4	LOD 5	LOD 6
Symbolic	Conceptual	Generic	Specific	Construction	As built
					
LOD100		LOD200	LOD300 LOD350	LOD400	LOD500

Ilustración 8: Comparativa LODs

Fuente: (Lerma, 2020)

4.3. Toma de datos

Explicados ya todos los conceptos teóricos en los que se basa la metodología aplicada para el desarrollo de este proyecto, podemos empezar a explicar qué pasos se han llevado a cabo para la consecución de los distintos objetivos predefinidos.

El primer paso en cualquier proyecto HBIM es la adquisición de los datos, es decir la recopilación de datos métricos y de la información asociada. Debido a que este proyecto no ha querido adentrarse en la aportación de información a los productos métricos obtenidos (trabajo que hubiera ocupado mucho más tiempo del previsto) en este apartado nos centraremos únicamente en la toma de datos métrica.

Como se ha mencionado a lo largo de este proyecto, la toma de datos o, mejor dicho, el levantamiento del edificio puede hacerse con distintas metodologías. Descartando evidentemente métodos muy costosos y que aportarían poca información como podría ser realizar un levantamiento con aparatos de topografía clásica, donde daríamos coordenadas a un número finito de puntos y recrearíamos la forma del edificio mediante la unión de los puntos de cada elemento, nos quedan dos metodologías óptimas, la fotogrametría y el escaneado mediante láser escáner.

Para poder elegir una de las dos metodologías debemos tener en cuenta la naturaleza del edificio en cuestión. El *Fadrí* es una torre campanario del siglo XVI de aproximadamente 60 m de altura. Su planta es octogonal y sus muros externos carecen de detalles, siendo estos lisos (tan solo se ven los bordes de los bloques de piedra), aunque sí destacan algunos elementos como la capilla situada sobre la puerta y una serie de inscripciones sobre el umbral de esta.



Ilustración 9: Fadrí y detalles de la entrada

Fuentes: (Estrada, s.f.) / ("Abariltur", 2009)

Por otro lado, en su parte interior encontramos una estrecha escalera de caracol de apenas 60 cm de ancho que conecta con los distintos habitáculos de la torre que son: la sala del reloj, la prisión, la vivienda del campanero, la cámara de las campanas y la terraza.

Son mínimos los casos en que tenemos elementos que necesiten una precisión milimétrica, en todo caso los elementos sobre la puerta necesitarían unas mediciones auxiliares para su perfecta modelización, pues sí tienen detalles que necesitan de un estudio más exhaustivo. Como el objetivo de este proyecto es obtener el modelo de la torre, no se consideró realizar mediciones sobre estos elementos con mediciones centradas en ellos, pero a pesar de esto sí se ha intentado modelizar dichos elementos con los datos obtenidos.

Debido a que se consideró que la precisión necesaria sería del orden de 1 centímetro, se realizó un listado de pros y contras entre la toma de fotos y el escaneado.

Láser Escáner		Fotogrametría	
Pros	Contras	Pros	Contras
Rapidez en la adquisición de los datos	Zonas ocultas no podrán ser medidas	Aparato muy manejable	Conocimiento de la calibración del aparato
Sencillez en el uso del aparato	Dificultad para estacionar en las escaleras	Calibración propia pudiendo salvar mayores distancias	Dificultades con la superposición de fotogramas en el interior
Superposición entre las capturas más sencilla	Necesidad de trabajo auxiliar para texturas	Adquisición de texturas de forma simultánea	Mayor coste de tiempo
Mayor cantidad de información (contexto del edificio)		Posibilidad de toma de datos para elementos de mayor precisión	Menor cantidad de información

Tabla 1: Láser escáner vs Fotogrametría

Como podemos ver en la Tabla 1, ambas metodologías tienen ventajas y desventajas, siendo cualquiera de las dos útiles para la realización del proyecto. Debido a la falta de experiencia en este tipo de trabajos y a que ya había estudiado en algunas asignaturas como Gestión de datos 3D, y Fotogrametría y Representación Gráfica del Patrimonio el uso del láser escáner, me decanté por esta opción pues a priori es una metodología más sencilla de aplicar.

Una vez decidida la forma de adquirir los datos se debía hacer una planificación de la adquisición de estas. Para ello se consideró con qué nivel de adquisición se trabajaría, cuantas estaciones se realizarían y qué tipo de dianas serían empleadas.

En cuanto al nivel de adquisición, se pensó que el óptimo era el nivel 1 del aparato, que mide un punto cada 22,6 mm a 30m y por cada estación almacena unos 30 millones de puntos. Al realizar muy pocos escaneados (los del exterior únicamente) a distancias superiores a los 10 m y realizar normalmente mediciones a 3 m como máximo, haciendo la relación, nos daría que este nivel mediría un punto cada dos milímetros (2,26 mm a 3 m), siendo una densidad más que suficiente para el trabajo a realizar.

Respecto al uso de dianas, se pensó en emplear dianas planas en blanco y negro para el exterior y utilizar estas mismas junto con las dianas esféricas para las mediciones interiores, evitando así problemas de falta de puntos comunes.

Para la planificación del número de estaciones y de su posición, inicialmente se planificó cómo hacer la toma de datos del exterior de la torre, sabiendo que sería necesaria una segunda sesión para la toma de los datos debido a que el horario en el que nos permitían medir la torre era muy limitado teniendo solo la mañana de los lunes para realizar las mediciones. Considerando que los aparatos se recogían y devolvían en Valencia, esto nos daba un margen de unas 6 h de trabajo.

Esta primera sesión serviría también para planificar las mediciones en el interior de la torre, pues hasta entonces no se había realizado ninguna visita. Para hacer las mediciones de manera más rápida y no dejar nunca el aparato sin supervisión, le pedí a mi compañero de la asignatura de Patrimonio, Ambroise Loisel que me acompañara a realizar las mediciones.

Ambos alternamos funciones, colocando dianas y estacionando el aparato, pudiendo así realizar el proceso de manera mucho más rápida. La planificación de mediciones inicial fue la siguiente:



Ilustración 10: Croquis estaciones para el escaneo de la parte externa

Debido a la altura de la torre, uno de los problemas que había que solucionar era cómo medir las zonas superiores sin que quedaran zonas ocultas o al menos minimizándolas. Para evitar este problema, la idea fue establecer una serie de estaciones en las azoteas de los edificios cercanos a la torre (en la imagen triángulos rojos). La idea inicial era que el MUCC mediara con el ayuntamiento para que nos dieran permiso para medir desde la azotea de alguno de esos edificios (municipales todos) pero por falta de entendimiento del proyecto o falta de comunicación entre nosotros y el museo, el ayuntamiento no dio los permisos así que se optó por otra solución.

Para solucionar el problema se decidió realizar estaciones lo más alejadas posibles de la torre, pudiendo así adquirir datos de las zonas más altas sin tener los problemas antes mencionados. Con esta planificación realizada, fuimos a la plaza el día 21 de febrero y realizamos 13 estaciones rodeando la torre y haciendo la última en el umbral de la puerta, para poder así relacionar en un futuro las mediciones internas con las externas. En cuanto al posicionamiento de dianas, colocamos varias dianas en los edificios aledaños y en la propia torre, para poder así observar las dianas desde distintos puntos de la plaza haciendo que como mínimo se vieran 4 dianas desde cada estación.

Esa salida a campo sirvió también para ver la dificultad que suponía las mediciones del interior de la torre y se determinó que para tener una correcta superposición entre las distintas mediciones sería necesario realizar una medición cada tres escalones, a parte de las mediciones de las habitaciones. En esta sesión también se aprovechó y se midió la terraza superior dejando el resto de la torre para otra sesión.

Tras unas semanas de pausa debido a la falta de disponibilidad de la torre, volvimos para terminar el trabajo el día 7 de marzo. En este caso la manera de trabajar fue la siguiente; mientras uno colocaba dianas lisas a en las paredes de las escaleras y dianas esféricas en

algunos escalones, el otro avanzaba con el láser escáner desde abajo. No podía trabajarse de otra forma pues el láser escáner y el trípode cubrían todo el ancho de la escalera y por lo tanto impedía el paso hacia abajo o hacia arriba de cualquiera de los dos. El objetivo de esta salida era dejar la toma de datos zanjada, pero hubo dos errores que provocaron que hiciera falta otra sesión.

El primero fue confiar en que con tres baterías sería suficiente para medir todo el interior. Cuando recogimos el material se nos informó de que una de las baterías no estaba cargada, pero se creyó que con seis horas de trabajo (había 3 baterías cargadas con una duración de 2 h cada una aproximadamente) sería suficiente.

El segundo error fue realizar todas las mediciones nivelando el aparato. Por falta de experiencia, se desconocía la posibilidad de utilizar el láser escáner sin necesidad de nivelarlo, pudiendo hacer un escaneado nivelado por ejemplo cada 10 estaciones. Esto evidentemente hubiera reducido mucho el tiempo de medición y hubiera permitido terminar el trabajo ese mismo día.

A pesar del error, hubo suerte y el MUCC permitió volver al día siguiente para medir lo que faltaba de la torre sin tener que quitar las dianas que ya se habían escaneado. En total se realizaron 89 estaciones.

4.4. Procesamiento de las nubes de puntos

Tras la toma de datos el siguiente proceso realizado fue el registro de las nubes de puntos obtenidas a partir de los distintos escaneados. El planteamiento de la unión de las distintas nubes fue el siguiente:

En primer lugar, se realizaría el registro de la parte externa y de la terraza superior para seguidamente realizar el registro de la parte interna y que estos dos elementos sirvieran como principio y final. Se actuó de esta manera porque al hacer el registro de esos dos elementos aislados, servirían de control para el registro interno, es decir, si en la unión de la parte interna había errores groseros, al unirlo con la parte externa o con la terraza, se detectarían fácilmente.

Son muchas las opciones que el software de Trimble "RealWorks" aporta para dar soluciones a los registros de nubes de puntos. Al haber utilizado dianas que este software reconoce, se optó por emplear la opción de auto extracción de dianas. Esta solución detecta automáticamente las dianas que hay en cada nube de puntos y posteriormente las relaciona con las dianas que aparecen en otras capturas. Este proceso necesita de una revisión, pues a veces el software confunde elementos con dianas o no detecta algunas.

Se empezó como se ha dicho por la parte externa. En este caso el software funcionó muy bien y no dio ningún problema lejos de lo habitual, alguna diana no detectada o algún elemento detectado como diana sin serlo, pero nada más. Solucionados estos pequeños errores, se obtuvo un resultado óptimo para los objetivos marcados, teniendo un error en el registro de tan solo 2mm.

De la misma manera se trabajó en el registro de la terraza, con la diferencia de que en este emplazamiento se utilizaron solo dianas esféricas para ver cómo respondían. El registro de esta fue todavía más sencillo pues todas las estaciones estaban muy cerca y se reconocían de manera rápida y concisa las dianas. En este caso el registro arrojó mejores resultados teniendo un error de 0.5mm.



Ilustración 11: Sección registro Terraza

Para el registro de la parte interna se procedió de la misma manera, seleccionando todas las estaciones (71) se aplicó el método de auto extracción de dianas esperando tener que hacer una revisión sencilla y posteriormente obtener los resultados. Al ejecutar la acción el primer informe del programa fue bastante alarmante pues calculaba un error de 1400 mm, es decir, casi 1.5 m. Evidentemente esto era un error muy grosero y se supuso que sería alguna diana relacionada erróneamente. Tras eliminar todas las dianas erróneas, se solucionó el problema obteniendo 8mm de error, pero al revisar bien el registro, se observó que muchas nubes estaban mal posicionadas.

El hecho de que estuvieran mal posicionadas no impedía que hubiera un error dentro de la tolerancia, pues al ser la mayoría de las estaciones en la escalera y ser esta un elemento muy repetitivo (cilindro con escalones en espiral), algunas nubes aún estando separadas por varios metros coincidían. Se tenía que por lo tanto hallar dónde estaba el error para poder pensar en una metodología adecuada.

Con la ayuda del tutor, se observó que se había cometido un fallo a la hora de posicionar las dianas. Al ser este elemento tan repetitivo, las dianas debían distinguirse de manera obvia, pues de no ser así confundirían unas estaciones con otras y en la toma de datos, aunque se quiso tener en cuenta esta consideración se cometió el error de generar un patrón en la colocación de las dianas. Esto provocaba el error comentado y hacía que dianas separadas por tal vez 10 m de altura, se consideraran la misma.

Para solucionar este error se planteó primero la siguiente solución: realizar el registro de las dos primeras estaciones, después registrar sobre estas la tercera y así sucesivamente. Es decir, se relacionaba cada vez una nueva estación con el conjunto de estaciones ya relacionadas. Esta forma de trabajar parecía adecuada, puesto que al ya haber registrado posteriormente las nubes se creía que ya las consideraba como una sola y no como un conjunto de nubes.

Pero no fue así. Al terminar el registro esta vez con incluso menor error, volvieron a detectarse nubes posicionadas en lugares erróneos, haciendo nuevamente inútil el registro. Había pues que encontrar una forma de trabajo en la que las nuevas nubes tan solo tuvieran en cuenta aquellas con las que el usuario tuviera total seguridad de que tenía o podía tener relación. Así pues, se ideó la siguiente solución: registrar las nubes con tan solo sus dos siguientes y sus dos anteriores.

De esta manera se procedió registrando las nubes 1 y 2, después se registró la 3 junto con estas dos y luego para registrar la 4 tan solo se le dijo al programa que tuviera en cuenta la 2 y la 3, eliminando así cualquier posibilidad de error. Esta forma de actuar se emplearía para el registro de las escaleras, ya que en las habitaciones este problema no existía y lo único que había que hacer era unir la estación del umbral de la habitación con el interior de esta. A parte de emplear la auto extracción de dianas, también fueron necesarios en algunos casos el uso de puntos naturales pues en la unión de algunas de las estaciones no había dianas suficientes. En estos casos se emplearon puntos comunes como las esquinas de las ventanas o los surcos de los bloques de las paredes.

Una vez terminado este proceso que fue mucho más costoso de lo esperado, se obtuvo un registro de toda la parte interna con 5mm de error, lo cual sigue cumpliendo con las tolerancias planteadas (errores por debajo de 2 cm).

Obtenido dicho resultado, se dispuso a realizar el registro de la parte externa y la terraza junto con la parte interna. Debido a que las mediciones de estas se realizaron muy separadas en el tiempo, las nubes estaban en proyectos distintos y por lo tanto se debió importar las nubes ya anteriormente registradas al proyecto actual. Debido a algún error del programa, las nubes aparecían como no registradas y hubo que rehacer el proceso, obteniendo nuevamente los mismos resultados.

Esta unión no se hizo mediante la solución explicada, pues no había dianas comunes entre una toma de datos y otra. Lo que se hizo en este caso fue emplear puntos naturales como por ejemplo la fachada de la catedral. Esta unión se realizó con 3mm de error, por lo que se podía concluir que el registro de la torre entera se había terminado con éxito.



Ilustración 12: Torre registrada al completo

4.5. Generación del modelo 3D

Una vez obtenida una nube de puntos homogénea sobre la cual se podía realizar mediciones, se comenzaron los trabajos necesarios para la creación del modelo en tres dimensiones. Para comenzar se pensó en que software era el necesario para realizar este trabajo siendo Revit el elegido.

Se escogió este programa porque es un programa muy comúnmente utilizado para la generación de modelos en tres dimensiones y para proyectos BIM, ya que permite utilizar una gran gama de catálogos y elementos predefinidos que facilitan mucho la generación de los edificios. Además, también permite la importación de nubes de puntos, haciéndolo muy útil para este proyecto.

A pesar de permitir importar nubes de puntos, este software tiene limitaciones con respecto a estas. Las nubes no deben superar los 10 millones de puntos aproximadamente, pues de lo contrario el programa no funciona bien o simplemente no es capaz de leer el archivo. Esto hace que se necesite un procesado más antes de ponerse a digitalizar la torre, reducir la cantidad de puntos a algo asequible para el programa.

Este paso era muy necesario en este proyecto donde tras todos los registros se tenía una nube con 2.000 millones de puntos. En primera instancia se acotó la zona de trabajo, eliminando todos los puntos pertenecientes a edificios cercanos a la torre y mucha parte del ruido. Con este proceso se obtuvo una nube de puntos de 1.800 millones, por lo que seguía siendo necesaria una gran reducción.

Para poder tener nubes de puntos lo suficientemente pequeñas, se decidió realizar un remuestreo de la nube dividiendo la torre en varias partes concretamente 7, dos para el inicio de la torre y una por cada habitación. Con estas subdivisiones hechas, se remuestrearon todas cogiendo un punto cada 5 mm, una densidad más que suficiente para cumplir los objetivos marcados y menor a la obtenida en las mediciones pues considerando que el nivel 1 mide 1 punto cada 22.4 mm a 30 m, siendo las distancias en el interior tan cortas, seguramente teníamos zonas con densidades de un punto cada uno o dos milímetros.

Con esta última reducción se consiguieron 7 nubes de puntos con menos de 3 millones de puntos cada una, con lo que se podría trabajar con Revit sin ningún problema.

A diferencia de los típicos programas de diseño como puede ser Autocad, Revit consta de una peculiaridad con la que es necesario familiarizarse para poder trabajar con soltura. Esta es que Revit necesita constantemente que se le indique sobre qué plano se está trabajando. Si lo pensamos bien, tiene sentido, pues al trabajar con datos en tres dimensiones, es una forma de asegurarse que no hay errores en la definición de las profundidades y dimensiones de los elementos, restringiendo las líneas o figuras dibujadas a un plano al que posteriormente se le podrá dar profundidad.

Este detalle al principio es complicado, ya que al haber trabajado con softwares muy distintos es un concepto difícil de asimilar. Otra peculiaridad de Revit es el uso de las llamadas familias. Estas son elementos o conjuntos de elementos modelizados, que pueden ser insertadas en el proyecto para facilitar la modelización del propio. Por ejemplo, si las ventanas de nuestro

proyecto son todas iguales y conocemos el modelo, podemos insertar ese modelo desde un catálogo de familias de dicha marca o fabricante. Es evidente que, para edificios patrimoniales como este, esto no podrá hacerse pues los elementos no se encontrarán en un catálogo de familias Revit, pero si puede ser útil para generar elementos con las herramientas que proporciona el software y después incrustarlos en el modelo.

Tras intentar modelizar sobre la nube de puntos varias veces y ver que en muchas ocasiones los resultados no eran adecuados o que sencillamente no se disponía de las herramientas necesarias para modelizar dichos elementos, decidí trabajar con dichas familias siguiendo estos pasos:

- 1) Medir sobre la nube de puntos usando planos transversales y perpendiculares a los elementos.
- 2) Utilizar estas mediciones para generar una nueva familia y crear el elemento en cuestión.
- 3) Insertar el elemento en el proyecto.

Queda en duda qué metodología hubiera sido más precisa pues, aunque en un principio parece que esta solución puede perder precisión, dibujar sobre la nube de puntos también puede estar influenciada por el ruido de la propia nube, con lo que también podrían cometerse errores. Viendo los resultados que se obtenían colocados sobre las nubes de puntos, se podía ver que efectivamente los resultados eran precisos (del orden de 1-2cm de error).

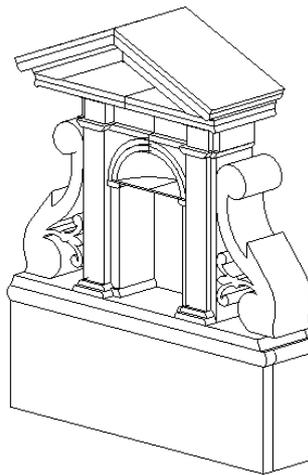


Ilustración 13: Capilla sobre la puerta modelizada

A pesar de que la metodología permitía trabajar cómodamente y de manera precisa, algunos elementos no pudieron ser modelizados, o por lo menos no con el nivel de detalle deseado, o bien porque el programa no daba la libertad suficiente para modelizar elementos de ese tipo o bien porque sería necesaria otra metodología para medir esos elementos. El por qué concreto de la no modelización de estos elementos, se explicará en próximos apartados.

5. Resultados

En este apartado se explicarán los resultados obtenidos y se mostrarán algunas imágenes de estos, a pesar de que muchos de los resultados, al ser planos, se verán en ese apartado. Además, también se explicará en este apartado el porqué de algunas cuestiones relevantes en cuanto a la obtención de los resultados finales.

En primer lugar, los primeros resultados obtenidos a partir del trabajo realizado fueron una serie de planos de las habitaciones y de la torre utilizando la nube de puntos. Para la realización de estos se emplearon imágenes a escala extraídas de la nube de puntos mediante RealWorks. Cabe destacar que, aunque estos planos son menos vistosos, pues vemos todos los puntos y se ven transparencias en los elementos, son los planos más precisos métricamente hablando, es decir, un elemento reconocible en estos planos se puede medir con total confianza, pues al estar realizado sobre la nube de puntos sabemos que los errores sobre esta son milimétricos.



Ilustración 14: Imagen de la Sala de Campanas

En segundo lugar, se ha obtenido un modelo en tres dimensiones de la Torre con precisión de decenas de milímetros, es decir alrededor de 1 cm. Es cierto que hay elementos más precisos como pueden ser detalles concretos como las campanas, más fáciles de aislar y menos influenciados por el ruido, y elementos menos como pueden ser los muros o las cúpulas de las habitaciones. A pesar de eso, se puede decir que el proyecto finalmente es un modelo con un LOD4 (nivel de detalle) teniendo algunos elementos que pueden llegar a LOD5.

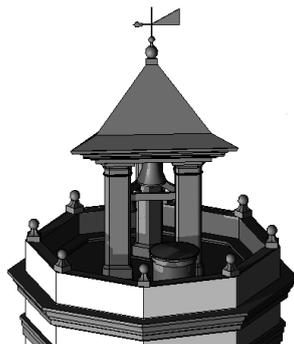


Ilustración 15: Terraza Modelizada

Como se ha comentado anteriormente, a pesar de haber obtenido un modelo preciso, a este le faltan elementos que no han podido ser modelizados por diversos motivos. A continuación, se explicarán las razones.

En primer lugar, no se ha podido modelizar la escultura y los surcos de dentro de la capilla sobre la torre. Esto se debe a que, para poder modelizar dichos elementos, sería necesaria otra metodología pues esos detalles requieren precisión submilimétrica y con el aparato empleado no se obtiene dicha precisión. Como el objetivo de este proyecto no se centraba en esos elementos no se le dio importancia por lo que no se hicieron mediciones auxiliares.



Ilustración 16: Capilla real vs Capilla modelizada

Fuente: (Estrada, s.f.)

En segundo lugar, otro de los elementos que no se modelizaron a un nivel métrico fueron las gárgolas. Esto se debe a que eran elementos que también necesitaban una alta precisión y que además estaban muy lejos de las estaciones de medición, puesto que las únicas estaciones que las veían eran las hechas desde el suelo. Se intentó realizar dicha modelización, pero los resultados no han conseguido ser los óptimos, quedándose estos elementos en un LOD2, que como se ha definido anteriormente, es un modelo conceptual, sin métrica alguna, pero al menos sirve para situar ese elemento en la torre.

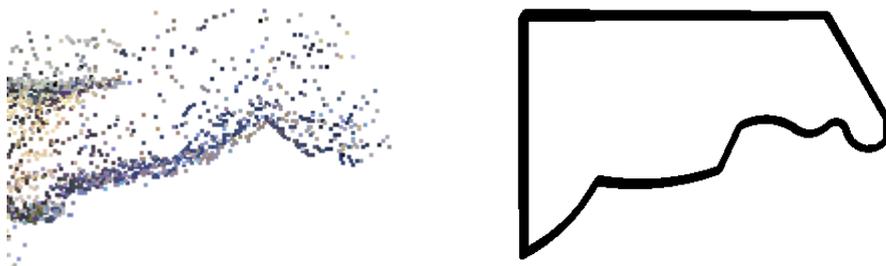


Ilustración 17: Puntos adquiridos y modelado

Para haber podido modelizar estos elementos de manera adecuada, se necesitaría o bien el uso de drones o pértigas desde la terraza para realizar una serie de fotografías, o bien el montaje de andamios o el uso de elevadores para poder escanear con otro aparato las gárgolas.

Por último, la escalera no ha podido ser modelizada tampoco en LOD4. Este elemento en principio parecía sencillo de modelizar pues Revit permite generar escaleras en espiral cilíndrica de manera automática y salvando cualquier distancia, pero el problema viene en los escalones. A pesar de que sí permite editar las escaleras a un ancho y largo fuera de normativa, llega a un punto en el que el programa avisa de que si se cambian más los parámetros no podrá trazar la escalera. Esto provoca que las escaleras en ocasiones se crucen con las ventanas y no se ajusten exactamente a su posición real.

Tras varias pruebas, se pudo conseguir que coincidiera el número de escalones (189) el arranque de la escalera, el final y el radio, pero no se consiguió que la escalera estuviera situada correctamente, haciendo que algunas zonas su posición no sea la real. Como este modelo si tiene información métrica pero no se ajusta correctamente a la realidad, se ha clasificado como un elemento con LOD3, es decir, un elemento con medidas aproximadas que necesitaría de detalles auxiliares.

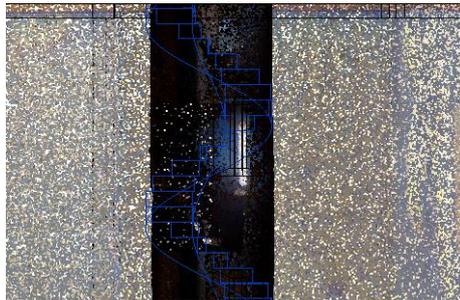


Ilustración 18: Escaleras modelizadas

Como puede verse en esta imagen, las escaleras generadas coinciden con el radio de las escaleras reales y los escalones tienen dimensiones similares, pero la ventana que vemos aun estando bien situada en el muro, no queda bien encuadrada con la escalera generada.

A pesar de la falta de precisión de estos elementos, se puede afirmar al menos que el resto si están modelizados de manera precisa.

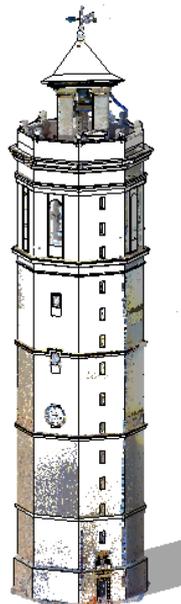


Ilustración 19: Modelo 3D de la Torre

También se ha obtenido un estudio solar, que permite ver como se iluminaría la torre con el paso del sol durante un día entero:

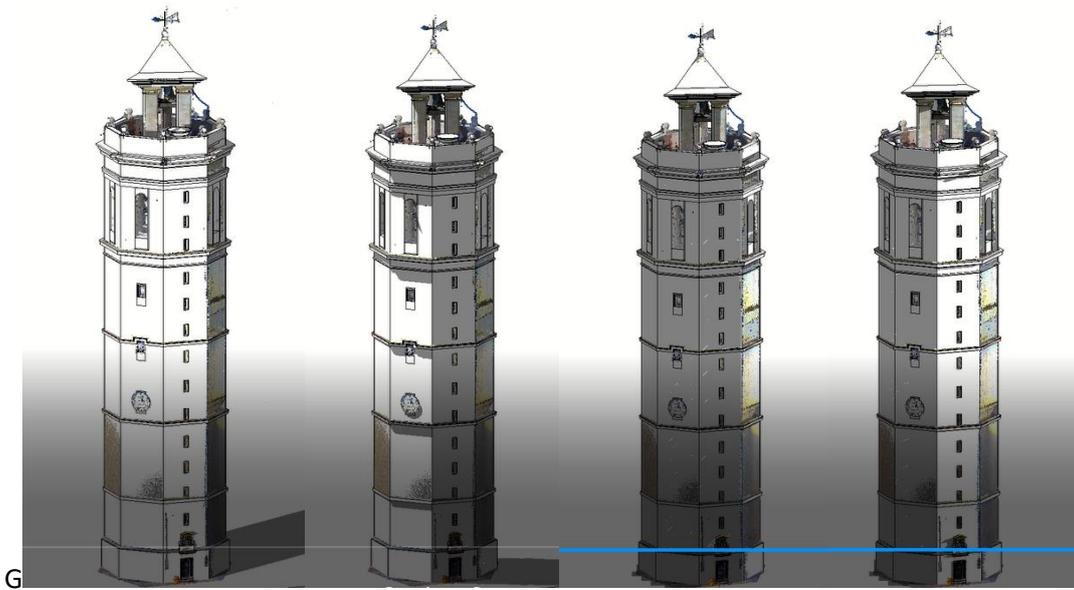


Ilustración 20: Capturas del estudio solar

Además de lo ya comentado, también se han obtenido planos a partir del modelo en tres dimensiones generado.

En resumen, se han obtenido una serie de productos métricos que permitirán documentar las dimensiones de la torre de manera precisa.

6. Presupuesto

Para la realización de este presupuesto se han tenido en cuenta dos tipos de coste, el indirecto y el directo. El primero sería el coste hipotético de tener una oficina técnica donde trabajar y donde tener los medios necesarios para desarrollar el proyecto. Los costes directos son aquellos directamente relacionados con el proyecto en sí, desglosándose en: costes de recursos humanos y costes de recursos materiales.

Observando precios por internet y el convenio que creo que se ajusta mejor a la realidad (se explicarán a continuación) se ha obtenido la siguiente tabla de costes directos:

Actividades	Duración	RRHH	Coste RRHH	RR. MM.	Coste RR. MM	Dietas y despl.	
Adquisición de datos	2 días	1 I.G.T	335,03	1 L.S. Trimble TX6	995,00	85,60	
		1 Aux T	170,73	100 dianas	5,00		
Trazado planos	1/2 día	1 I.G.T.	83,76	Autocad	291,00		
Procesado nube	4 días	1 I.G.T.	670,05	Trimble Real Works	285,00	-----	
Modelado 3D	10 días	1 I.G.T.	1675,14	Revit	418,00	-----	
TOTAL	16,5 días		2934,71		2093,70	85,60	5.114,0 €

Tabla 2: Costes Directos

Para los costes de los recursos materiales se ha accedido a distintas webs de referencia para ver cuál es el precio de alquilar tanto software como aparatos empleados.

En el caso del láser escáner no se ha encontrado el precio de dicho modelo, pero sí de dos muy similares de la misma marca con lo que se ha realizado la media de precio entre ambos y se ha aplicado, teniendo en este caso un coste de 497,5 €.

	Trimble X7	PROMOCIÓN 430 € 600€
	Trimble TX8 HP	710 €
	Trimble TX5	285 €

Ilustración 21: Precios láser scáner Trimble

Fuente: (al-top TOPOGRAFÍA, 2022)

Para calcular los precios de coste de los softwares a utilizar que han sido Autocad, Revit y RealWorks, se ha accedido a la web oficial de Autodesk, así como nuevamente a la web AI-TOP. En el caso de los softwares de Autodesk ambos tienen una licencia mínima mensual mientras que RealWorks si permite una licencia semanal.

Ilustración 22: Precios software Autodesk

Fuente: (Autodesk, 2022)

Ilustración 23: Precios Real Works

En cuanto a los costes de los recursos humanos se ha empleado el convenio publicado en el BOE el 18 de octubre 2019 sobre el sector de Empresas de ingeniería y Oficinas de estudios técnicos, que fue recientemente prolongado hasta mayo de 2022 y que todavía no ha sido modificado.

En este se estipula una tabla de sueldos brutos anuales según una tabla donde se establecen unos niveles:

Año 2020

Niveles	Tabla salarial según art. 33		Plus convenio anual según art. 38 convenio	Total anual
	Mes x 14	Anual		
1 LICENCIADOS Y TITULADOS 2.º Y 3.º CICLO UNIVERSITARIO Y ANALISTA	1.712,42	23.973,88	2.349,69	26.323,57
2 DIPLOMADOS Y TITULADOS 1.º CICLO UNIVERSITARIO. JEFE SUPERIOR	1.291,04	18.074,56	2.349,69	20.424,25
3 TÉCNICO DE CÁLCULO O DISEÑO, JEFE DE 1.ª Y PROGRAMADOR DE ORDENADOR	1.244,93	17.429,02	2.349,69	19.778,71
4 DELINEANTE-PROYECTISTA, JEFE DE 2.ª Y PROGRAMADOR DE MAQ. AUXILIARES	1.141,36	15.979,04	2.349,69	18.328,73
5 DELINEANTE, TÉCNICO DE 1.ª, OFICIAL 1.ª ADMTVO. Y OPERADOR DE ORDENADOR	1.019,82	14.277,48	2.349,69	16.627,17
6 DIBUJANTE, TÉCNICO DE 2.ª, OFICIAL 2.ª ADMTVO., PERFORISTA, GRABADOR Y CONSERJE	878,63	12.300,82	2.349,69	14.650,51
7 TELEFONISTA-RECEPCIONISTA, OFICIAL 1.ª OFICIOS VARIOS Y VIGILANTE	849,16	11.888,24	2.349,69	14.237,93
8 AUXILIAR TÉCNICO, AUX. ADMTVO., TELEFONISTA, ORDENANZA, PERSONAL DE LIMPIEZA Y OFICIAL 2.ª OFICIOS VARIOS	790,36	11.065,04	2.349,69	13.414,73
9 AYUDANTE OFICIOS VARIOS	757,29	10.602,06	2.349,69	12.951,75

Tabla 3: Sueldos brutos según convenio

En este caso se han considerado dos tipos de trabajadores, el de nivel 1 al que se le ha considerado como un Ingeniero en geomática y topografía y el de nivel 8 al que se le ha considerado como auxiliar en las labores de la toma de datos.

Para calcular el coste real que supondría para la empresa se ha considerado que a este sueldo se le deben añadir las cotizaciones y dividirlo entre 11 meses, pues son los meses de actividad real de un trabajador. Con esto se ha podido obtener el coste mensual del trabajador y sucesivamente el coste semanal, diario y por horas:

Profesional	IGT	AUX
Sueldo Bruto	26323,57	13414,73
Cotizaciones (sueldo *0,4)	10529,43	5365,89
Coste anual	36853,00	18780,62
Coste mensual	3350,27	1707,33
Coste diario	167,51	85,37
Coste por hora	20,94	10,67

Tabla 4: Costes Trabajadores

Otro de los costes a considerar ha sido el de las dietas y desplazamientos. Según convenio por día son 10 euros en dietas y 0.19 euros por kilómetro de desplazamiento. En este caso como el convenio está algo desfasado, he decidido aumentar el precio del coste del kilómetro al doble, pues los precios de carburante aun aumentado mucho. Así pues, tenemos 10 € por dos trabajadores y dos días y 0.38 € por dos desplazamientos de 120 kilómetros (ida y vuelta a Valencia).

Como se ha comentado al inicio de este apartado, se deben tener en cuenta también los costes indirectos. Según lo estudiado en cursos anteriores, se estima que el coste de una oficina técnica al mes es de unos 3000 €. Considerando que el proyecto dura 17 días y sabiendo que un mes son 20 días laborables, se han estimado unos costes de 2550€.

Por lo tanto, sumando los costes directos e indirectos, el proyecto tendría un coste total de 7664 € y, aplicando un beneficio de un 50%, el proyecto se presupuestaría en 11.496 €.

7. Conclusiones

En este apartado se realizará el análisis de todos los objetivos específicos viendo cuáles se han alcanzado y cuáles no.

El primer objetivo era “obtener una nube de puntos de precisión milimétrica para su posterior uso en la generación de planos y modelos 3D”. Este objetivo puede decirse que se ha cumplido con creces, pues se ha obtenido una nube de puntos registrada con un error milimétrico, sirviendo a parte de para realizar el modelo 3D para realizar planos en dos dimensiones.

El segundo objetivo era “obtener una colección de planos a escala en dos dimensiones para poder realizar mediciones sobre estos”. Este objetivo también se ha cumplido teniendo planos de la torre tanto desde la nube de puntos como desde el modelo 3D obtenido finalmente.

El tercer objetivo era “obtener un modelo 3D de alta precisión (menor a 2cm) para su posterior uso en conservación de la torre”. Este ha sido tal vez un objetivo que no se ha cumplido al 100%. Si bien es cierto que los elementos modelizados si tienen la precisión requerida, han quedado elementos por modelizar, cosa que hace que el modelo 3D no tenga toda la información necesaria para una perfecta conservación de la torre.

El cuarto objetivo era “aprender todos los procesos necesarios para poder realizar un proyecto de estas dimensiones, incluyendo la planificación, la captura de los datos, el procesado de estos y la obtención de productos finales”. Este objetivo se ha cumplido pues todos los procesos han sido realizados por el alumno de manera autónoma aprendiendo de los errores y problemas que iban surgiendo y encontrando soluciones.

El quinto objetivo era “aportar esta información al MUCC, entidad con la que se colabora para la realización del proyecto y la cual se encarga de la conservación del edificio”. Este objetivo también se ha cumplido, puesto que los trabajadores del museo al recibir los productos han agradecido mucho el trabajo y la ayuda aportada.

El sexto objetivo era “cumplir uno de los objetivos ODS, concretamente el 11.4: Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo”. Este objetivo puede decirse que está satisfecho pues el trabajo ha sido entregado a la entidad que se encarga del mantenimiento de dicho bien patrimonial para su uso.

El séptimo objetivo era “realizar un proyecto que pueda ayudar a la conservación patrimonial de mi ciudad natal”. Un objetivo personal, pero que realmente ha sido una de las razones principales para realizar el proyecto y que también ha sido cumplido.

El octavo objetivo era “alcanzar un nivel de detalle entre LOD4 y LOD5, es decir obtener un modelo métrico donde se aprecien detalles de la torre”. Este objetivo se ha cumplido en los elementos modelizados, aunque como ya se ha comentado anteriormente, para cumplirlo al 100% se debería haber podido modelizar todos los elementos de la torre.

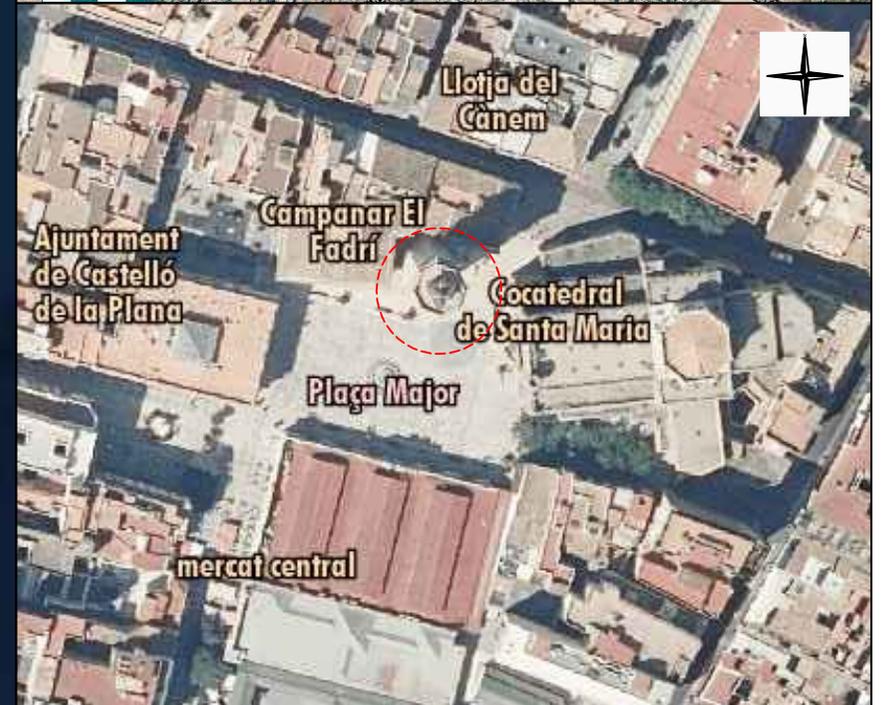
Como conclusión general, puede decirse que los objetivos se han cumplido en su mayoría y que el proyecto podrá cumplir su función principal, que no es más que ayudar a la conservación de la torre.

8. Bibliografía

- "Abariltur". (21 de 09 de 2009). *flickr*. Obtenido de <https://www.flickr.com/photos/abariltur/3999739085>
- al-top TOPOGRAFÍA. (2022). *al-top*. Obtenido de <https://www.al-top.com/alquiler/>
- Autodesk. (2022). *Software Autodesk*. Obtenido de <https://www.autodesk.es/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- B. de CEUPE. (07 de 12 de 2018). *CEUPE*. Obtenido de <https://www.ceupe.com/blog/la-fotogrametria.html?dt=1656967764352>
- BIMnD. (2022). *Fotogrametría versus Escáner Láser: pros y contras*. Obtenido de <https://www.bimnd.es/fotogrametriaversusescaner3d/>
- Carneiro da Silva, D. (14 de Diciembre de 2015). *ResearchGate*. Obtenido de Evolução da Fotogrametria no Brasil: https://www.researchgate.net/publication/315956116_Evolucao_da_Fotogrametria_no_Brasil
- Estrada, M. (s.f.). *Cases i edificis antics al Castelló d'ara*. Obtenido de Pinterest: <https://www.pinterest.com/pin/571112796479840193/>
- Generalitat Valenciana. (2022). *3drestauram*. Obtenido de <http://www.3drestauram.es/>
- Gobierno de Navarra, ed. (10 de Junio de 2019). *navarra.es*. Obtenido de <https://www.navarra.es/es/noticias/2019/06/10/las-primeras-y-casi-centenarias-imagenes-areas-de-navarra-puestas-en-valor-en-forma-de-ortofoto>
- Insiteca Ingenieros. (26 de 11 de 2019). *Consultoría BIM - Insiteca Ingenieros*. Obtenido de <https://insitecaingenieros.com/consultoria-bim/>
- Lerma, J. L. (2020). *Building Information Modelling (BIM): Scan-To-BIM*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia y ETSI Geodésica, Cartográfica y Topográfica.
- LORENZO-FLUXA Arquitectos y Asociados. (16 de 12 de 2020). *¿Qué es BIM?* Obtenido de <https://lfh.cl/sitio/portfolio/bim-lee/>
- Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social. (18 de Octubre de 2019). *BOE*. Obtenido de <https://www.convenioscolectivos.net/xviii-convenio-colectivo-nacional-de-empresas-de-ingenieria-y-oficinas-de-estudios-tecnicos/#xviii-convenio>
- QVID. Arquitectos y Asociados. (s.f.). *QVID. Arquitectos y Asociados*. Obtenido de <http://www.qvidarq.com/rad/bim.html>
- Traver Tomás, V. (1959). *Antigüedades de Castellón de la Plana*. Castellón: Ayuntamiento de Castellón.

9. Planos

A continuación, se expone la colección completa de planos obtenidos.



 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>  <p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRAFÍA</p>	<p>Autor: Mario Gas Gozalbo</p> <p>Firma: </p>	<p>Título del proyecto:</p> <p>GENERACIÓN DE MODELO 3D DE LA TORRE CAMPANARIO "FADRÍ" MEDIANTE SCAN-TO-BIM</p>	<p>Título del plano</p> <p>SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO</p>	<p>Escala:</p> <p>SIN ESCALA</p> <p>Fecha:</p> <p>JUNIO 2022</p>
--	---	--	--	--



Leyenda:

	Vista Torre - Catedral
	Vista Torre - Mercado
	Vista Torre - Ayuntamiento
	Vista Reloj



Autor: Mario Gas Gozalbo

Título del proyecto:

Título del plano

Escala:

1 / 1000



Firma:

GENERACIÓN DE MODELO 3D DE LA TORRE
CAMPANARIO "FADRÍ" MEDIANTE SCAN-TO-BIM

PLANTA GENERAL Y
DISTRIBUCIÓN DE VISTAS

Fecha:
JUNIO 2022



Autor: Mario Gas Gozalbo

Título del proyecto:

Título del plano

Escala:
1 / 400



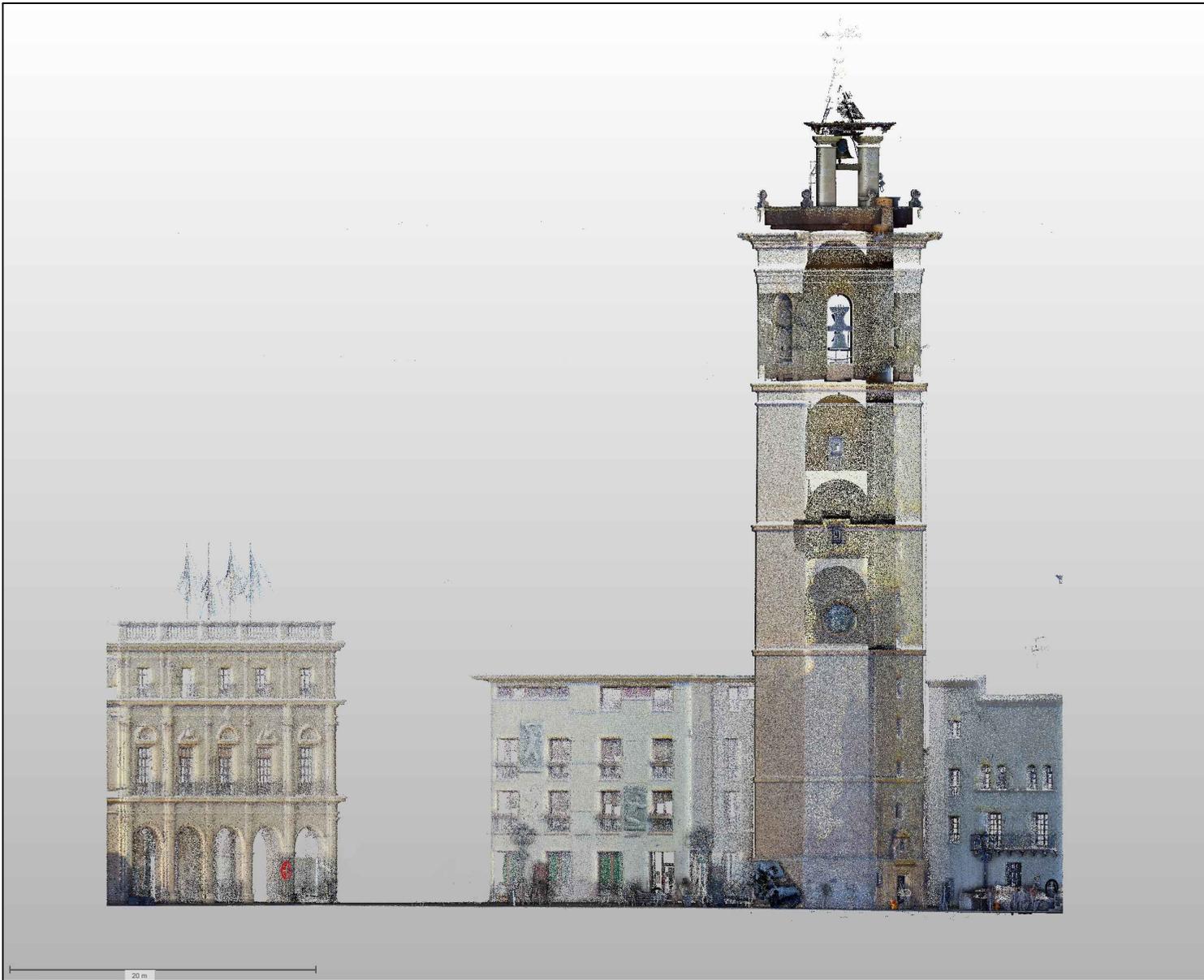
Firma:

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized letters, enclosed in a rectangular box.

GENERACIÓN DE MODELO 3D DE LA TORRE
CAMPANARIO "FADRÍ" MEDIANTE SCAN-TO-BIM

VISTA TORRE -AYUNTAMIENTO

Fecha:
JUNIO 2022



Autor: Mario Gas Gozalbo

Título del proyecto:

Título del plano

Escala:
1 / 400



Firma:

A handwritten signature in black ink, enclosed in a rectangular box.

GENERACIÓN DE MODELO 3D DE LA TORRE
CAMPANARIO "FADRÍ" MEDIANTE SCAN-TO-BIM

VISTA RELOJ

Fecha:
JUNIO 2022



Autor: Mario Gas Gozalbo

Título del proyecto:

Título del plano

Escala:
1 / 400

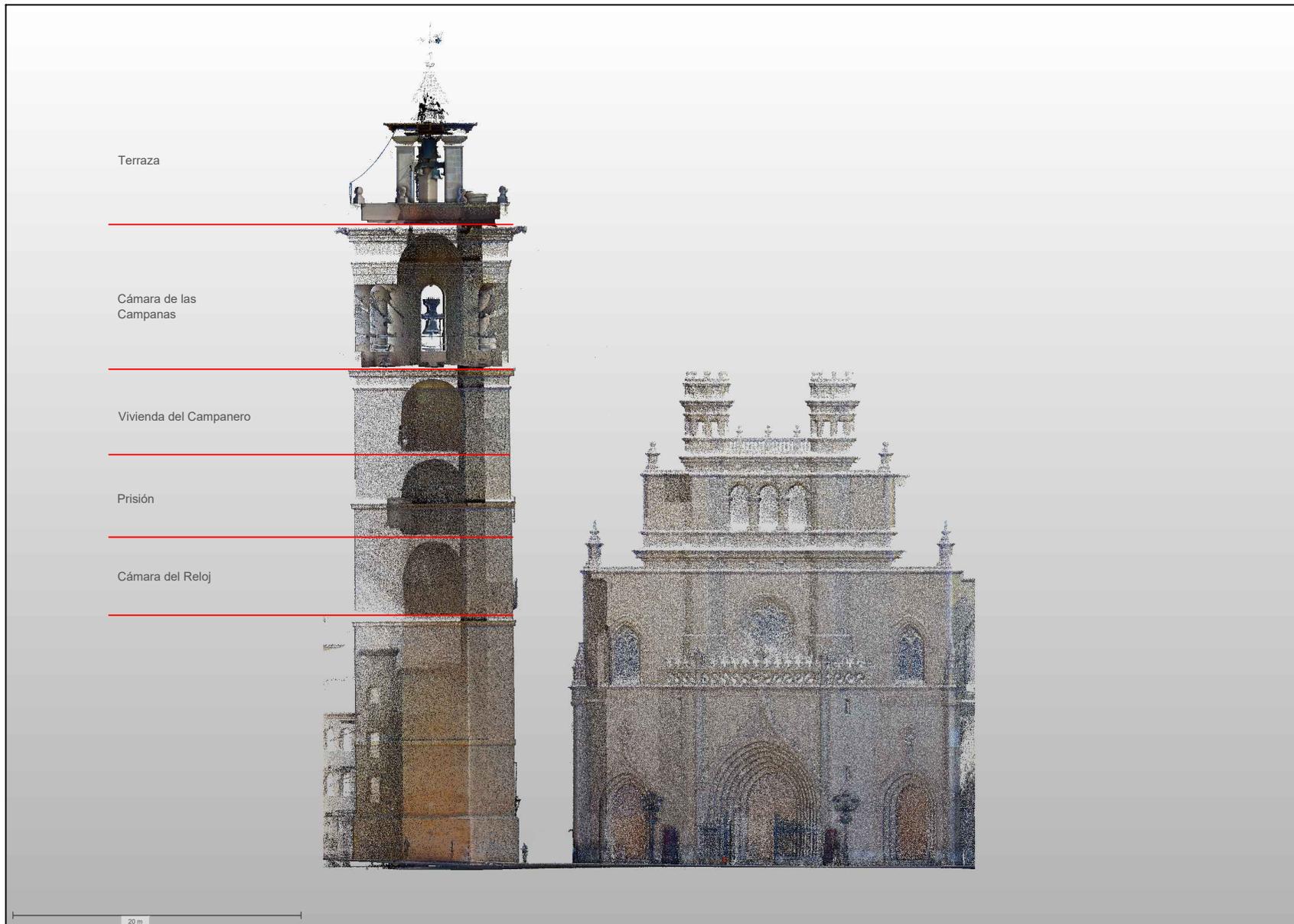


Firma:

GENERACIÓN DE MODELO 3D DE LA TORRE
CAMPANARIO "FADRÍ" MEDIANTE SCAN-TO-BIM

VISTA TORRE - MERCADO

Fecha:
JUNIO 2022



Terraza

Cámara de las Campanas

Vivienda del Campanero

Prisión

Cámara del Reloj

20 m



Autor: Mario Gas Gozalbo

Título del proyecto:

Título del plano

Escala:
1 / 400



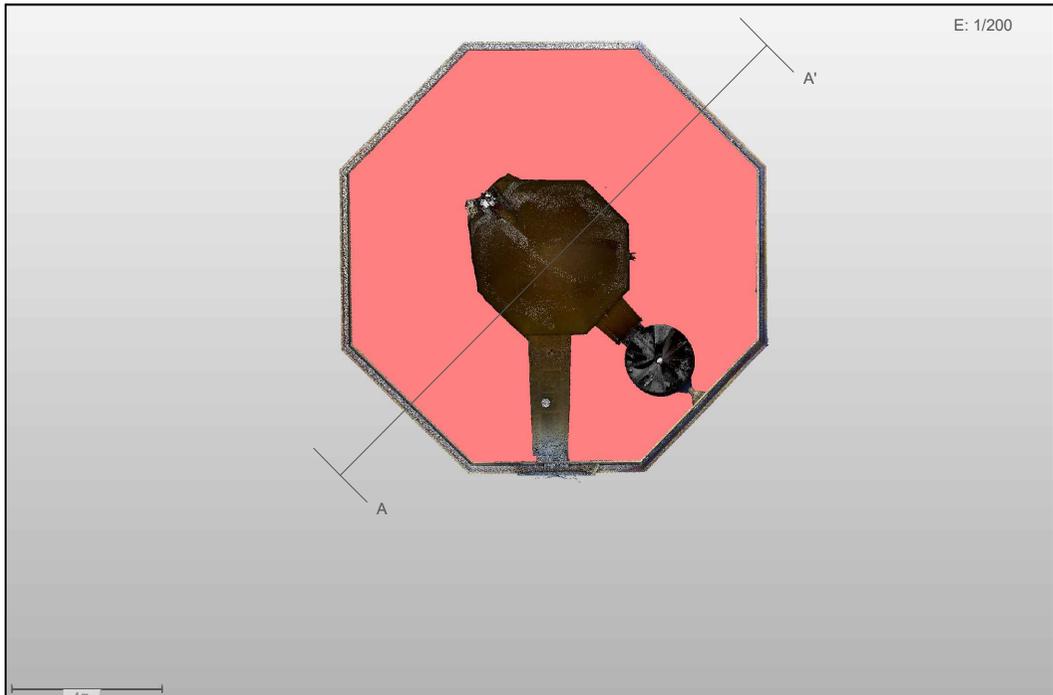
Firma:



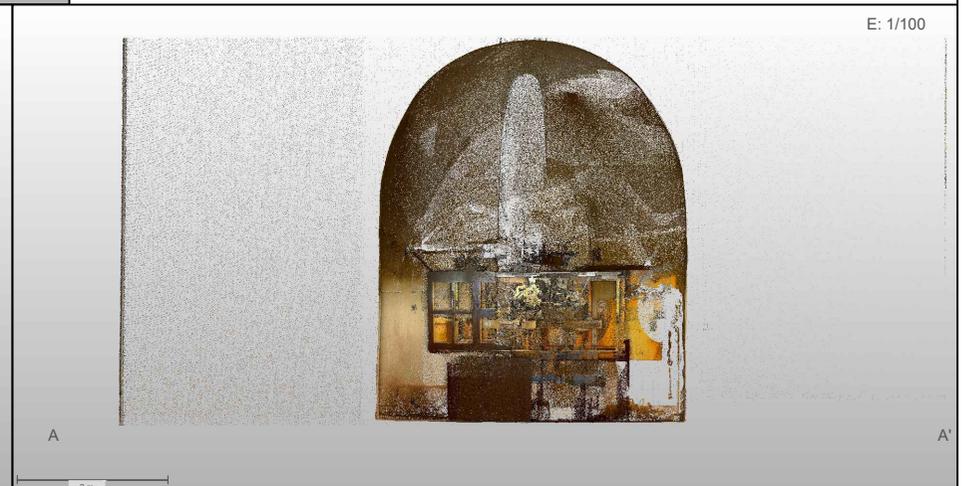
GENERACIÓN DE MODELO 3D DE LA TORRE CAMPANARIO "FADRÍ" MEDIANTE SCAN-TO-BIM

VISTA TORRE - CATEDRAL Y DISTRIBUCIÓN HABITACIONES

Fecha:
JUNIO 2022



Nota:
 El color salmón hace referencia a zonas que en la nube aparecían huecas al ser zonas interiores inaccesibles.

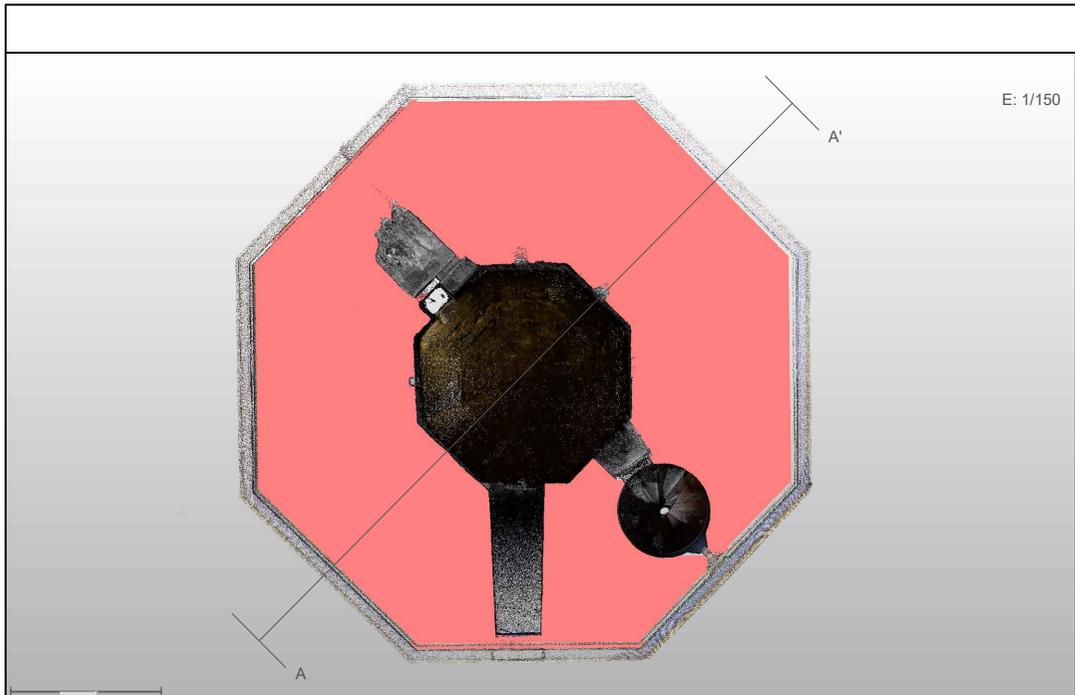


Autor: Mario Gas Gozalbo
 Firma: 

Título del proyecto:
 GENERACIÓN DE MODELO 3D DE LA TORRE CAMPANARIO "FADRÍ" MEDIANTE SCAN-TO-BIM

Título del plano
 CÁMARA RELOJ PLANTA Y ALZADOS

Escala:
 VARIAS INDICADAS
 Fecha:
 JUNIO 2022



Nota:
 El color salmón hace referencia a zonas que en la nube aparecían huecas al ser zonas interiores inaccesibles.

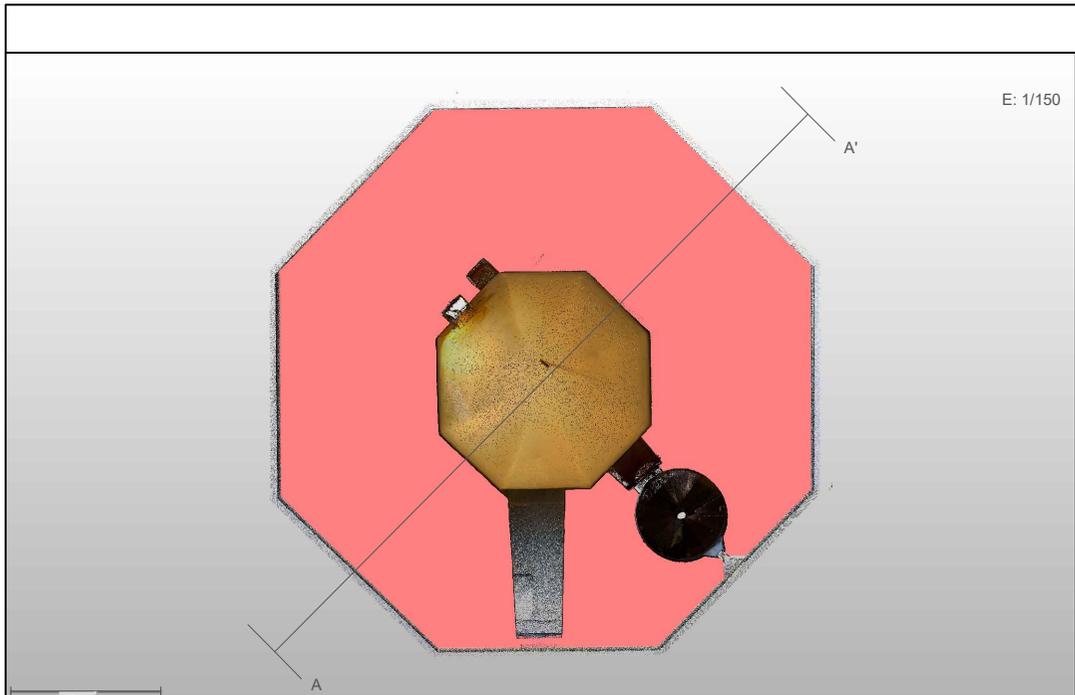


Autor: Mario Gas Gozalbo
 Firma:

Título del proyecto:
 GENERACIÓN DE MODELO 3D DE LA TORRE CAMPANARIO "FADRÍ" MEDIANTE SCAN-TO-BIM

Título del plano
 PRISIÓN PLANTA Y ALZADOS

Escala:
 VARIAS INDICADAS
 Fecha:
 JUNIO 2022



E: 1/150

Nota:
 El color salmón hace referencia a zonas que en la nube aparecían huecas al ser zonas interiores inaccesibles.



E: 1/100



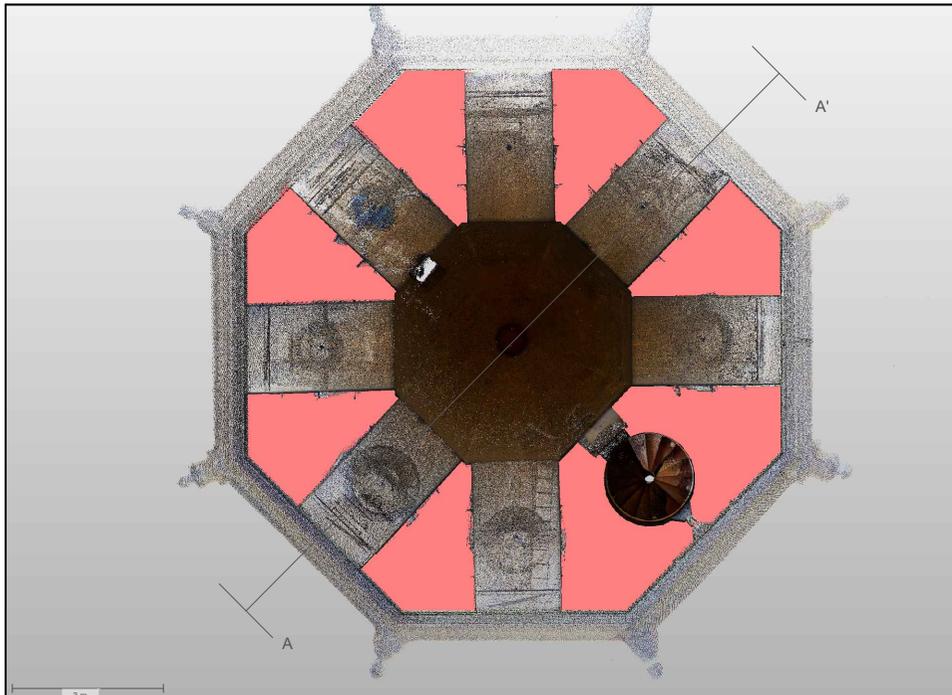
E: 1/100

Autor: Mario Gas Gozalbo
 Firma:

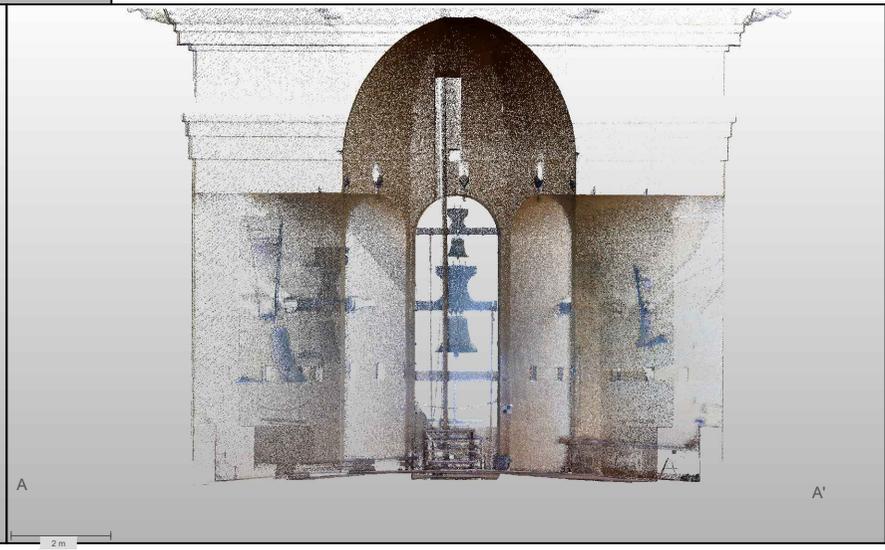
Título del proyecto:
 GENERACIÓN DE MODELO 3D DE LA TORRE CAMPANARIO "FADRÍ" MEDIANTE SCAN-TO-BIM

Título del plano
 VIVIENDA DEL CAMPANERO PLANTA Y ALZADOS

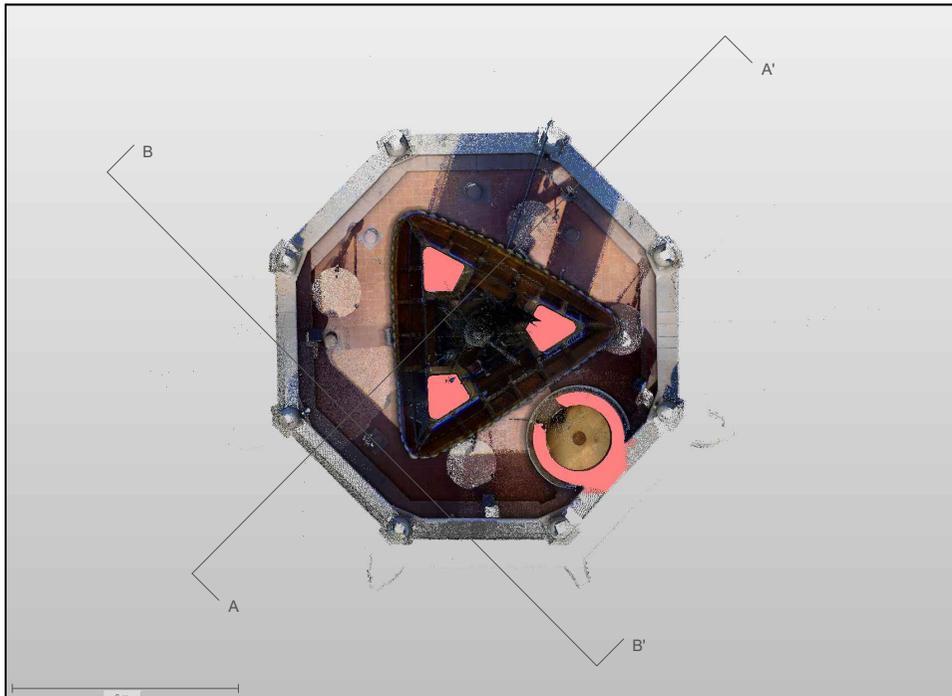
Escala:
 VARIAS INDICADAS
 Fecha:
 JUNIO 2022



Nota:
 El color salmón hace referencia a zonas que en la nube aparecían huecas al ser zonas interiores inaccesibles.



	<p>Autor: Mario Gas Gozalbo</p> <p>Firma: </p>	<p>Título del proyecto:</p> <p>GENERACIÓN DE MODELO 3D DE LA TORRE CAMPANARIO "FADRÍ" MEDIANTE SCAN-TO-BIM</p>	<p>Título del plano</p> <p>CÁMARA DE LAS CAMPANAS PLANTA Y ALZADOS</p>	<p>Escala: 1 / 150</p> <p>Fecha: JUNIO 2022</p>
---	---	--	--	---



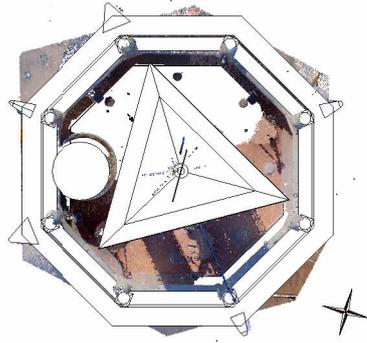
Nota:
 El color salmón hace referencia a zonas que en la nube aparecían huecas al ser zonas interiores inaccesibles.



 	<p>Autor: Mario Gas Gozalbo</p> <p>Firma: </p>	<p>Título del proyecto:</p> <p>GENERACIÓN DE MODELO 3D DE LA TORRE CAMPANARIO "FADRÍ" MEDIANTE SCAN-TO-BIM</p>	<p>Título del plano</p> <p>TERRAZA PLANTA Y ALZADOS</p>	<p>Escala: 1 / 200</p> <p>Fecha: JUNIO 2022</p>
--	---	--	---	---

3 Distribución alzados

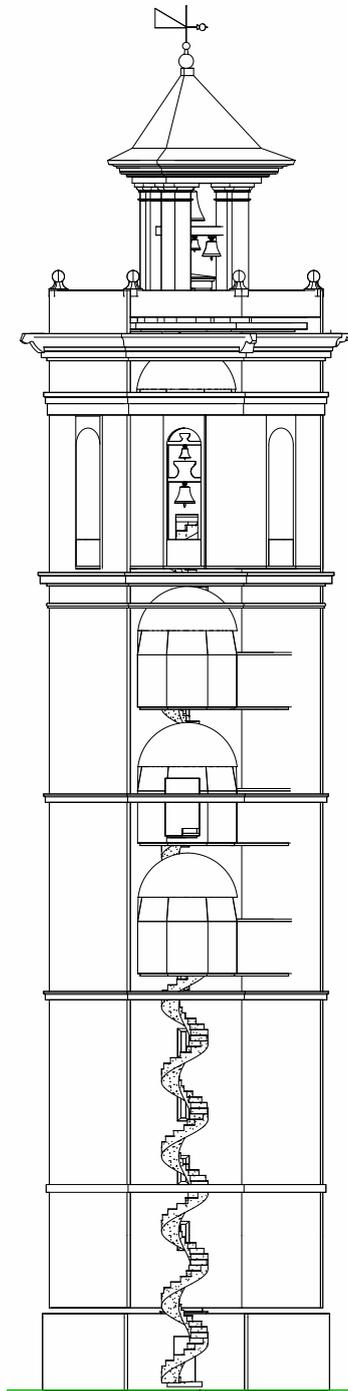
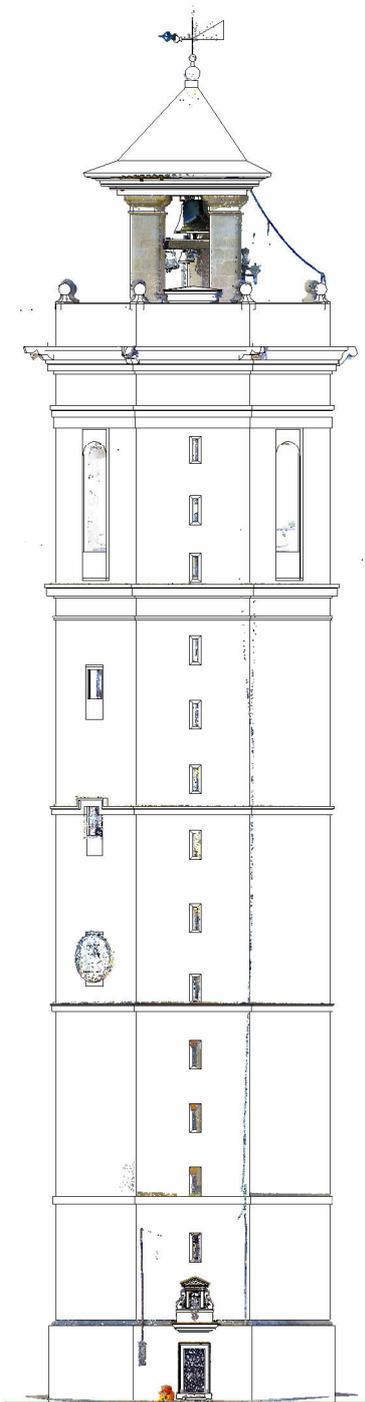
Vista 1



Vista 3

1 Vista 1
1 : 100

2 Vista 3
1 : 100



Autor: Mario Gas Gozalbo



TÍTULO DEL PROYECTO

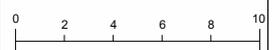
Generación de Modelo
3D de la Torre
Campanario "Fadrí"
mediante Scan-To-BIM

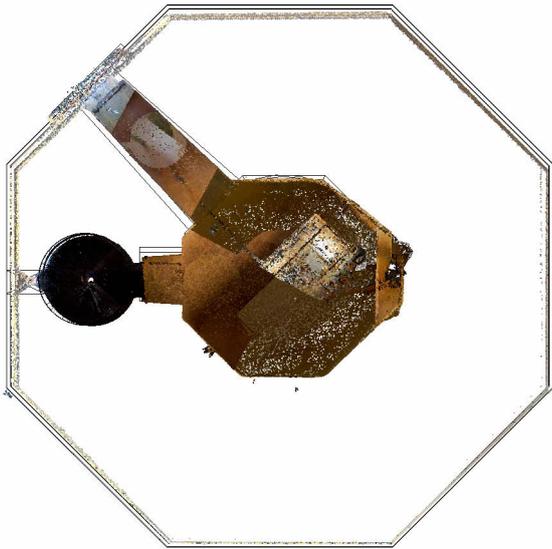
TÍTULO DEL PLANO

Alzados

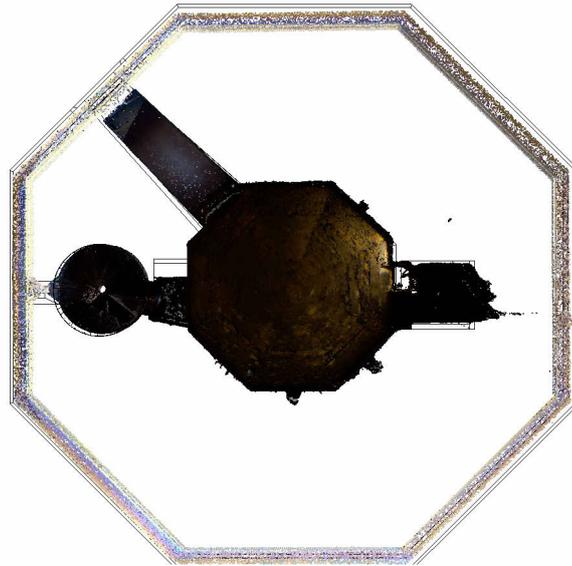
FECHA
07/01/22

ESCALA (en A1)
1 : 100

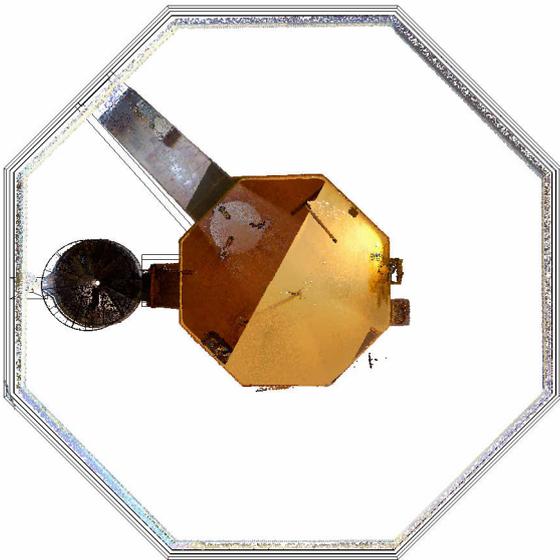




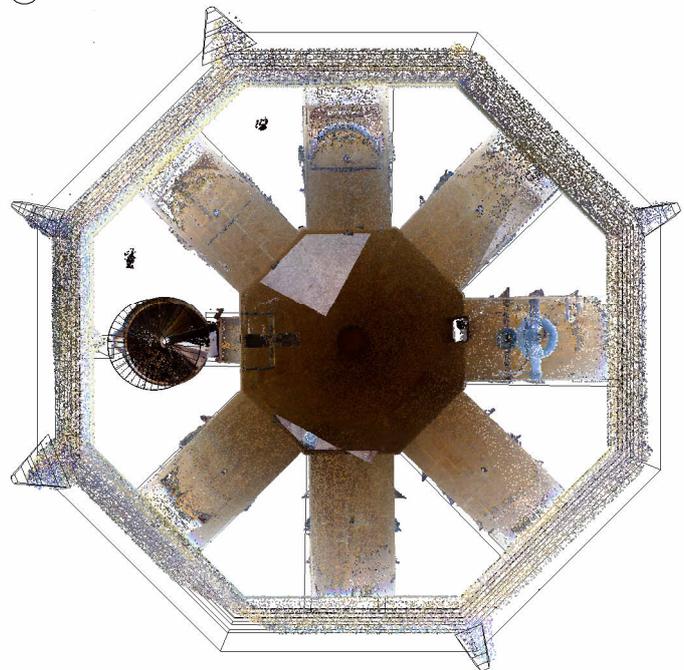
1 Sala Reloj



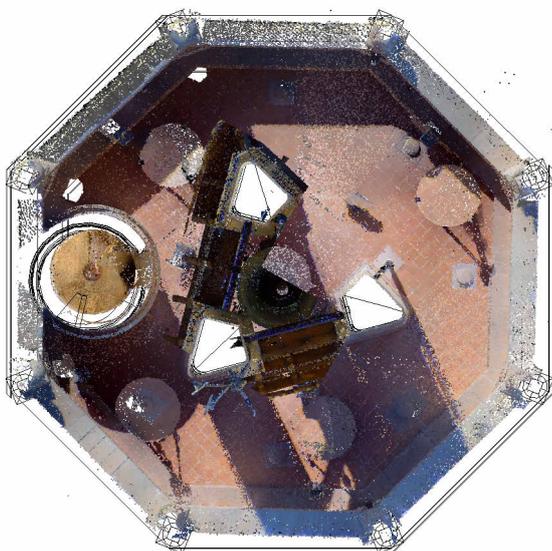
2 Prision



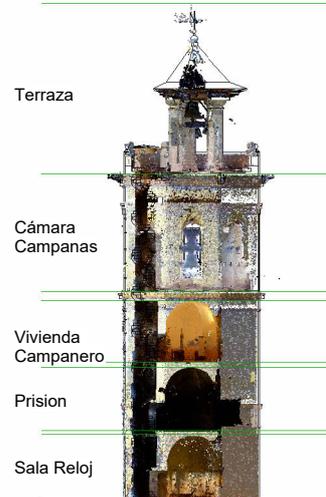
3 Vivienda Campanero



4 Cámara Campanas

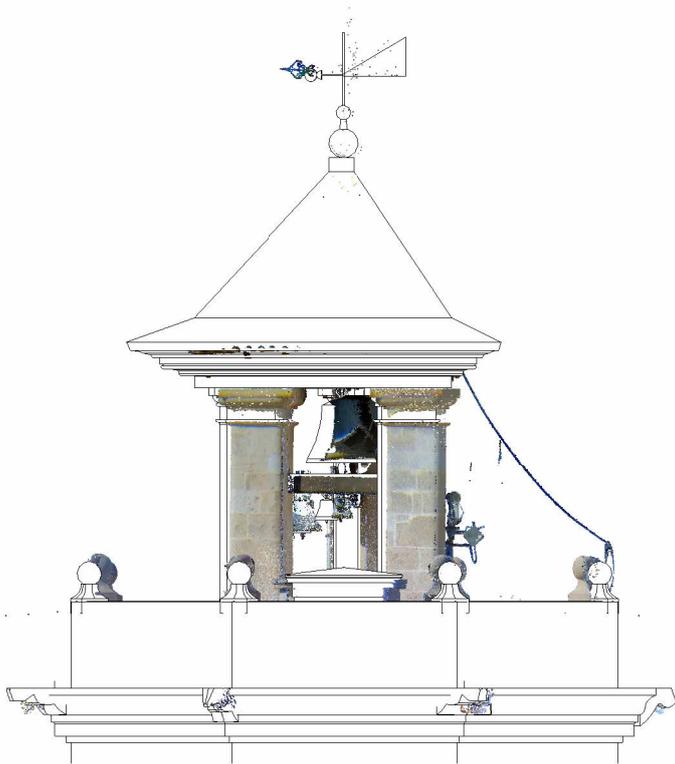


5 Terraza

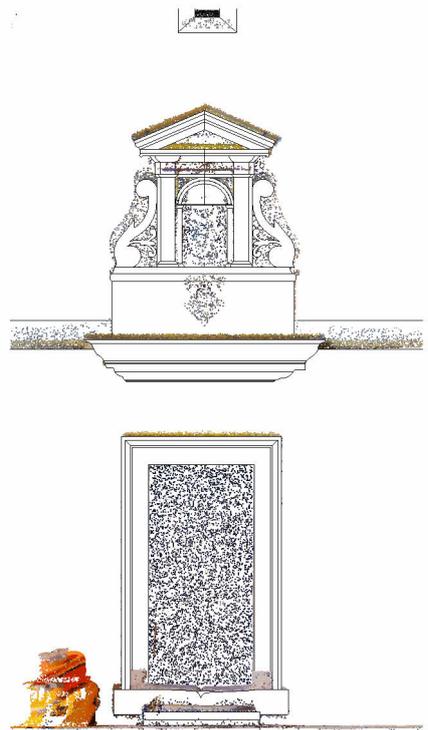
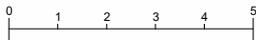


6 Distribución Habitaciones
E: 1/200

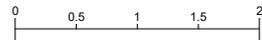
Autor: Mario Gas Gozalbo	
TÍTULO DEL PROYECTO	
Generación de Modelo 3D de la Torre Campanario "Fadrí" mediante Scan-To-BIM	
TÍTULO DEL PLANO	
Plantas Habitaciones	
FECHA	ESCALA (en A1)
07/01/22	1:50
0 1 2 3 4 5	



2 Alzado Terraza
1 : 50



1 Detalle Puerta
1 : 20



Autor: Mario Gas Gozalbo	
	
TÍTULO DEL PROYECTO	
<p>Generación de Modelo 3D de la Torre Campanario "Fadri" mediante Scan-To-BIM</p>	
TÍTULO DEL PLANO	
<p>Detalles</p>	
FECHA	ESCALA (en A1)
07/01/22	Como se indica
	