



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA

**Trabajo de Fin de Grado.**

**Septiembre 2021**

5º curso de Fundamentos de la arquitectura - Etsa UPV

Autor: Víctor Bas García

Tutores: Yolanda Hernández Navarro / Pasquale de Dato

***LA REALIDAD DIGITAL AL SERVICIO  
DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO.  
EL CASO DE LA TORRE TELEGRÁFICA  
DE GODELLETA COMO EXPERIENCIA  
INTERACTIVA.***

## RESUMEN

Las torres de telegrafía óptica comenzaron a utilizarse en Francia en 1793 y se implementaron posteriormente en España, en 1844. En nuestro país, tuvieron una vida útil corta, al ser sustituidas en 1856 por la telegrafía eléctrica. Estas torres, ubicadas entre sí de 7 a 10km, transmitían mensajes cifrados ópticos de forma lineal y bilateral que se observaban y reproducían desde las mismas. Las torres telegráficas, las cuales se encuentran en su mayor parte en estado de ruina o abandono, se consideran patrimonio histórico, arquitectónico-militar y cultural, y hoy en día cuentan con la protección de BIC.

Al haber estado vigente este sistema durante tan solo 12 años en España, y al haberse desarrollado distintos sistemas de telecomunicación a lo largo del tiempo, se ha ido borrando el rastro de la telegrafía óptica, provocando que gran parte de la población desconozca este antiguo sistema. Es por ello, que es esencial poner en valor este patrimonio y hacer llegar e instruir al público sobre el valor histórico, arquitectónico y cultural del mismo.

Actualmente, se han realizado intervenciones de restauración en algunas de las torres, como pueden ser la torre de Villagordo del Cabriel o la torre de Arganda del Rey, donde se realizan visitas turísticas recorriendo el interior y el exterior de la torre. Estas visitas, mayormente, se producen por población autóctona de la zona, por su fácil accesibilidad al lugar. Por lo tanto, su conocimiento y difusión está limitado.

Es por ello que el objetivo del presente TFG es hacer más accesible este patrimonio a toda la población mediante una visita virtual. Para ello, se ha utilizado como referencia la torre telegráfica de Godelleta, la cual se encuentra en mejor estado de conservación que la mayoría de las torres en la actualidad. La visita virtual permitirá al visitante recorrer en tiempo real la torre de Godelleta en su estado actual, así como compararla con un modelo 3D, al que se puede acceder, que muestra cómo fue la torre originalmente, experimentando de esta forma el funcionamiento ya no existente de las torres de telegrafía óptica.

Para la realización de este recorrido virtual se ha empleado principalmente Unreal Engine 4, un programa destinado originalmente al desarrollo de videojuegos que gracias a su continuo avance se utiliza actualmente en campos como la arquitectura, la medicina, la realidad virtual, la aeronáutica, el cine, o, como es el caso del presente TFG, el estudio y puesta en valor del patrimonio.

## PALABRAS CLAVE

Telegrafía óptica, Godelleta, visita virtual, patrimonio, Unreal Engine

## RESUM

Les torres de telegrafia òptica van començar a utilitzar-se a França en 1793 i es van implementar posteriorment a Espanya, en 1844. Al nostre país, van tindre una vida útil curta, en ser substituïdes en 1856 per la telegrafia elèctrica. Aquestes torres, situades entre si de 7 a 10km, transmetien missatges xifrats òptics de manera lineal i bilateral que s'observaven i reproduïen des d'aquestes. Les torres telegràfiques, les quals es troben en la seua major part en estat de ruïna o abandó, es consideren patrimoni històric, arquitectònic-militar i cultural, i hui dia compten amb la protecció de BIC.

En haver estat vigent aquest sistema durant tan sols 12 anys a Espanya, i en haver-se desenvolupat diferents sistemes de telecomunicació al llarg del temps, s'ha anat esborrant el rastre de la telegrafia òptica, provocant que gran part de la població desconega aquest antic sistema. És per això, que és essencial posar en valor aquest patrimoni i fer arribar i instruir al públic sobre el valor històric, arquitectònic i cultural d'aquest.

Actualment, s'han realitzat intervencions de restauració en algunes de les torres, com poden ser la torre de Villagordo del Cabriel o la torre d'Arganda del Rey, on es realitzen visites turístiques recorrent l'interior i l'exterior de la torre. Aquestes visites, majorment, es produeixen per població autòctona de la zona, per la seua fàcil accessibilitat al lloc. Per tant, el seu coneixement i difusió està limitat.

És per això que l'objectiu del present TFG és fer més accessible aquest patrimoni a tota la població mitjançant una visita virtual. Per a això, s'ha utilitzat com a referència la torre telegràfica de Godelleta, la qual es troba en millor estat de conservació que la majoria de les torres en l'actualitat. La visita virtual permetrà al visitant recórrer en temps real la torre de Godelleta en el seu estat actual, així com comparar-la amb un model 3D, al qual es pot accedir, que mostra com va ser la torre originalment, experimentant d'aquesta manera el funcionament ja no existent de les torres de telegrafia òptica.

Per a la realització d'aquest recorregut virtual s'ha emprat principalment Unreal Engine 4, un programa destinat originalment al desenvolupament de videojocs que gràcies al seu continu avanç s'utilitza actualment en camps com l'arquitectura, la medicina, la realitat virtual, l'aeronàutica, el cinema, o, com és el cas del present TFG, l'estudi i posada en valor del patrimoni.

## PARAULES CLAU

Telegrafia òptica, Godelleta, visita virtual, patrimoni, Unreal Engine

## ABSTRACT

Optical telegraphy towers began to be used in France in 1793 and were later implemented in Spain, in 1844. In our country, they had a short useful life, being replaced in 1856 by electrical telegraphy. These towers, located between 7 and 10 km apart, transmitted optical encrypted messages in a linear and bilateral way that were observed and reproduced from them. The telegraph towers, which are for the most part in a state of ruin or abandonment, are considered historical, architectural-military and cultural heritage, and today they are protected by BIC.

As this system has been in force for only 12 years in Spain, and as different telecommunication systems have been developed over time, the trace of optical telegraphy has been erased, causing a large part of the population to be unaware of this ancient system. That is why it is essential to value this heritage and to reach and educate the public about its historical, architectural and cultural value.

Currently, restoration interventions have been carried out in some of the towers, such as the Villagordo del Gabriel tower or the Arganda del Rey tower, where tourist visits are carried out visiting the interior and exterior of the tower. These visits, mainly, are produced by the indigenous population of the area, due to its easy accessibility to the place. Therefore, its knowledge and dissemination is limited.

That is why the objective of this TFG is to make this heritage more accessible to the entire population through a virtual visit. For this, the Godelleta telegraph tower has been used as a reference, which is in a better state of conservation than most of the towers today. The virtual visit will allow the visitor to visit the Godelleta tower in its current state in real time, as well as to compare it with a 3D model, which can be accessed, which shows how the tower was originally, thus experimenting the operation no longer existing of the towers of optical telegraphy.

To carry out this virtual tour, Unreal Engine 4 has been used mainly, a program originally intended for the development of video games that, thanks to its continuous progress, is currently used in fields such as architecture, medicine, virtual reality, aeronautics, cinema, or, as is the case with this TFG, the study and enhancement of heritage.

## KEY WORDS

Optical telegraphy, Godelleta, virtual visit, patrimony, Unreal Engine

## ÍNDICE

### **1- Introducción**

1.1- Estado de la cuestión

1.2- Objetivos.

1.3- Metodología

### **2. Telegrafía óptica en España: el caso de la torre de Godelleta**

2.1- Aproximación histórica de las torres de telegrafía

2.2- Análisis arquitectónico de la torre de Godelleta

2.2.1- Ubicación

2.2.2- Características y modificaciones

2.2.3- Fotoplanos de fachadas e interiores

2.2.4- Estudio de materiales

2.2.5- Estudio patológico

2.3- Recorrido virtual

2.3.1- Fotogrametría mediante Metashape

2.3.2- Modelado 3D de la torre original

2.3.3- Unreal Engine

### **3- Resultado y conclusiones**

### **4- Bibliografía**

4.1- Artículos y publicaciones

4.2- Webgrafía

4.3- Créditos de imagen

## 1- INTRODUCCIÓN

En el presente TFG, se realizará una aproximación histórica a las torres de telegrafía óptica en España para ubicar al lector y poner el valor este patrimonio. Una vez explicada la historia y el funcionamiento de las torres, se realizará el análisis y levantamiento de un caso particular; la torre telegráfica de Godelleta.

Acto seguido, se modelará la torre de Godelleta en su estado original mediante fotogrametría, y se generará un modelado 3D de la torre en su estado original. El objetivo es generar un recorrido virtual mediante el programa Unreal Engine, en el que el observador podrá desplazarse por la torre en tiempo real, pudiendo comparar el patrimonio actual con una representación de la torre original.

### 1.1- ESTADO DE LA CUESTIÓN

La telegrafía óptica comenzó a utilizarse en Francia en 1793 y posteriormente se fue implementando en otros países. Supuso un gran avance por la velocidad a la que permitió transmitir información a larga distancia. En España se empleó este sistema entre 1844 y 1856, pero, pese a su escasa vida útil, fue muy relevante en la Historia del país. Por ello, las torres de telegrafía óptica están consideradas patrimonio histórico, arquitectónico-militar y cultural, y hoy en día cuentan con la protección de BIC.

Gracias a la evolución tecnológica de los últimos años, las técnicas de representación gráfica han aumentado y mejorado exponencialmente. En la actualidad, se dispone de múltiples herramientas para representar gráficamente cualquier elemento, tanto en dos como en tres dimensiones.

En el ámbito de la arquitectura existe una gran variedad de técnicas y programas para la representación gráfica informática. De esta forma, los estudios de arquitectura consiguen transmitir de manera más visual y fidedigna los proyectos en que trabajan. Asimismo, estas representaciones son cada vez más interactivas, como pueden ser la realidad virtual o la realidad aumentada. Programas como Unreal Engine o Unity, creados inicialmente para el desarrollo de videojuegos, comienzan a emplearse en estudios de arquitectura por su gran versatilidad a la hora de navegar dentro de los proyectos y poder así mostrarlos al cliente de una forma mucho más visual que mostrando plantas y secciones del proyecto.

Por otro lado, en la última década los sistemas de fotogrametría han avanzado tanto que rivalizan con los escáneres láser y gracias a ellos, con una cámara fotográfica y un programa de fotogrametría, se pueden obtener modelos 3D de muy alta calidad.

Todas estas técnicas son utilizadas hoy en día en diversos museos y páginas web como recursos para permitir la gestión y el acceso al patrimonio histórico. Además, permiten la accesibilidad a usuarios con ciertas discapacidades.

## 1.2- OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es estudiar una alternativa de tipo virtual a la experiencia de disfrutar presencialmente el patrimonio. Una alternativa que permita estudiar y documentar fielmente edificios históricos, proponer una intervención y controlar sus resultados, así como dar a conocer sus valores asociados, sin generar algún tipo de impacto físico sobre el edificio.

Para alcanzar dicho objetivo principal, se han escogido las torres de telegrafía óptica en España en general y la Torre de Telegrafía Óptica de Godelleta como caso de estudio en particular, dando a conocer su valor patrimonial. Sobre esta torre, se establecen como objetivos secundarios: primero, realizar los estudios previos necesarios para documentar su estado de conservación (estudios de materiales y degradaciones) y; segundo, implementar una visita virtual empleando principalmente técnicas fotogramétricas, modelado 3D y un motor de videojuegos.

El resultado será facilitar, a través de una visita virtual, una comparativa mediante modelos 3D del estado actual de conservación y su estado originario.

### 1.3- METODOLOGÍA

Para la realización del TFG se han seguido las siguientes fases:

1. Consulta de fuentes escritas y documentos visuales (artículos, revistas, publicaciones, cursos, tutoriales).

Consulta de fuentes bibliográficas como artículos, revistas o publicaciones para la investigación de las torres de telegrafía óptica. Se consultan también cursos y tutoriales de Metashape, Blender, Speedtree y Unreal Engine 4 para la creación de la visita virtual.

2. Visitas de campo.

Visita a la torre de telegrafía óptica de Godelleta. En esta fase se ha realizado la toma de medidas (manualmente y con distanciómetro) y fotografías para su aplicación posterior en la fotogrametría y con el fin de realizar el estudio de materiales y degradaciones de la torre.

3. Levantamiento gráfico de la torre de telegrafía óptica de Godelleta.

Utilizando AutoCad y Blender se realiza la planimetría y el modelado 3D de la torre de telegrafía en su estado original. Mediante Metashape (programa de fotogrametría) se genera el modelado de la torre en su estado actual. Posteriormente, utilizando Unreal Engine 4 se genera la visita virtual

4. Análisis de datos obtenidos de las distintas fuentes, comprensión y síntesis de resultados.

A partir de la visita de campo, bibliografía y fotoplanos extraídos del modelo fotogramétrico se realiza el análisis de materiales y degradaciones de la torre de Godelleta

5. Conclusiones.

Las fuentes consultadas son las siguientes:

1. Archivos, bibliotecas.

2. Sedes electrónicas.

3. Otros trabajos.

4. Documentos visuales.

5. Cursos de formación.

## 2- TELEGRAFÍA ÓPTICA EN ESPAÑA. EL CASO DE LA TORRE DE GODELLETA

### 2.1- APROXIMACIÓN HISTÓRICA DE LAS TORRES DE TELEGRAFÍA

A lo largo de la historia ha sido muy importante para el hombre la transmisión de información a larga distancia. Pasando por señales de humo para mensajes más sencillos a viajes a caballo para transmitir comunicados más extensos y concretos. Considerándose estos últimos en su época suficientemente rápidos. Más tarde el ferrocarril cambió las reglas del juego y la velocidad en la transmisión de mensajes pasó a ser clave principalmente para conflictos y guerras con los países y territorios vecinos.

No es hasta la Revolución Francesa, con el avance tecnológico que ello conlleva, que se puede llevar a cabo la aplicación de la telegrafía óptica. La telegrafía óptica ya había sido investigada años atrás, pero la nueva técnica de pulimentado de lentes fue la que permitió su implantación definitiva, ya que se consiguió eliminar la aberración cromática en dichas lentes y por lo tanto se empezaron a fabricar los catalejos acromáticos, los cuales permitían la transmisión de información a mayor distancia. (OLIVÉ, S. 1990).

En 1793 se creó la primera línea de telegrafía que comunicaba París y Lille mediante 22 torres abarcando una longitud total de 230km. Esto se hizo con el modelo de telégrafo óptico de Claude Chappe. Viendo el éxito que tuvo este sistema en París (Fig. 01), se extendió a otros países como Prusia, Gran Bretaña, Estados Unidos y España. En cada país se usó un sistema y unos códigos distintos. (FERNÁNDEZ, F. 2012).

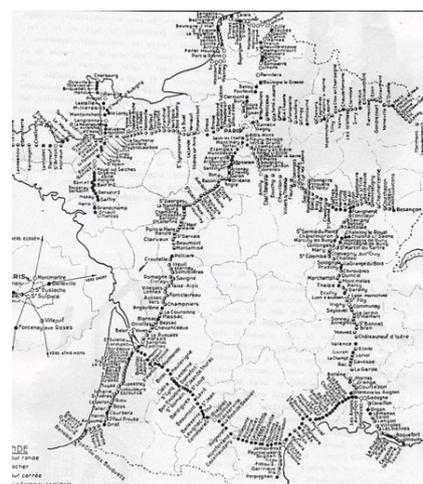


Fig. 01, Red de telegrafía óptica en Francia  
Fuente: Autor desconocido. Extraído de [http://www.ea1uro.com/eb3emb/Telegrafia\\_hist](http://www.ea1uro.com/eb3emb/Telegrafia_hist)

El sistema de telegrafía dependía en gran parte del terreno ya que las torres debían distinguirse en el horizonte, situándose principalmente en zonas deshabitadas para contrastar mejor el blanco de la torre con el azul del cielo. Se situaban los distintos aparatos en cubierta con sus correspondientes engranajes que hacían que funcionara desde dentro de la torre. Gracias a los torreros el sistema funcionaba, ya que desde cada torre estaban alerta empleando el catalejo para recibir los mensajes que llegaban desde las torres contiguas y su posterior reproducción. (OLIVÉ, S. 1990).

Estos son algunos de los distintos modelos de telegrafía óptica que se utilizaron

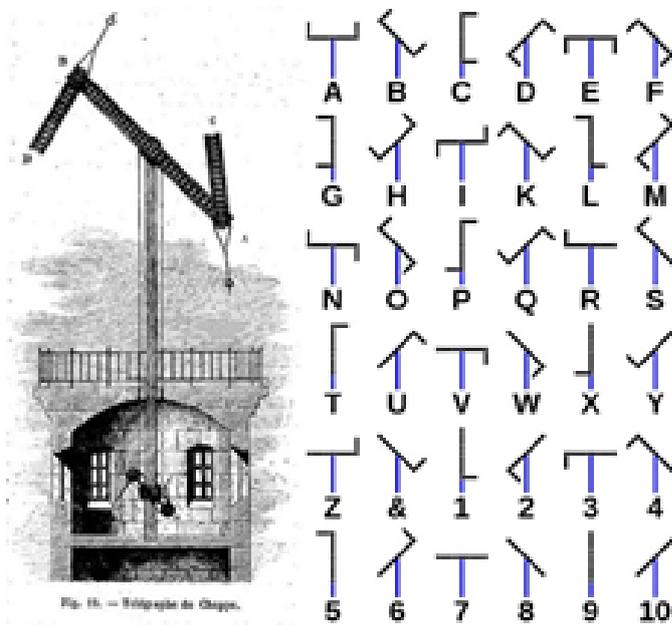


Fig. 02, Telégrafo óptico de Chappe.  
Fuente: <http://goo.gl/UYm2O5>

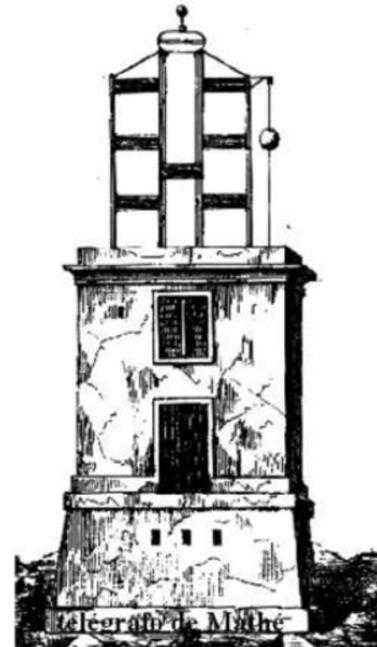


Fig. 03, Telégrafo óptico de Mathé  
Fuente: <http://goo.gl/yvMQ4c>

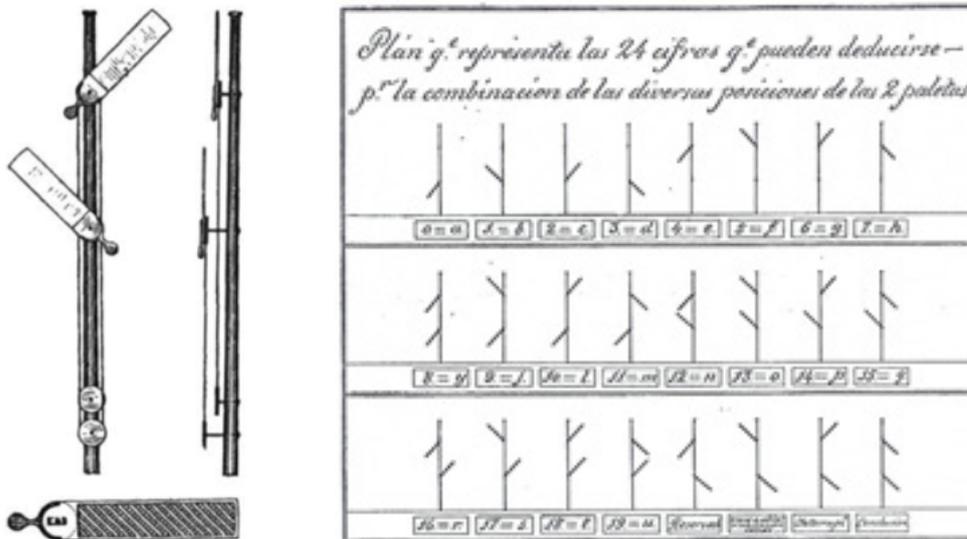


Fig. 04, Telégrafo óptico de Hurtado  
Fuente: Diversos autores. Recuperado de "Estudio histórico del cuerpo de ingenieros del Ejército. Establecimiento tipográfico «Sucesores de RIVADENEYRA», Madrid, 1911.

A través de estos dispositivos situados en las cubiertas de las torres enviaban mensajes que iban transmitiéndose de torre en torre, consiguiendo de esta forma transmitir información de una forma mucho más rápida. Estos mensajes estaban siempre cifrados de forma que los torreros transmitían dicho mensaje a la siguiente torre sin conocer el contenido del mismo para evitar cualquier posible filtración o manipulación. (FERNÁNDEZ, F. 2012).

Hacia 1840, en Francia y otros países estaban reemplazando la telegrafía óptica por la eléctrica pero en España no se hizo tal cambio debido a la poca fiabilidad que implicaba un sistema basado en la electricidad y a la actual inestabilidad política y social.

No fue hasta 1844 que se le encargó al coronel de Estado Mayor, José María Mathé Aragua (Fig. 05), la construcción de la primera red de telegrafía óptica en España, utilizando un sistema de señales diseñado por el mismo Mathé. (OLIVÉ, S. 1990).

Las torres de telegrafía fueron construidas por la Dirección general de Caminos y abarcaban únicamente tres trayectos, que eran los que se consideraban primordiales y más importantes política y económicamente (Fig. 06). Estas líneas fueron las siguientes: Madrid-Irún, permitiendo recibir noticias de Europa a través de Francia; Madrid-Cádiz, ya que el puerto de Cádiz era importante económicamente en aquella época y por último la línea Madrid-Cataluña (pasando por Valencia), por la situación inestable de Cataluña y el Bajo Aragón en aquellos años. (OLIVÉ, S. 1990).

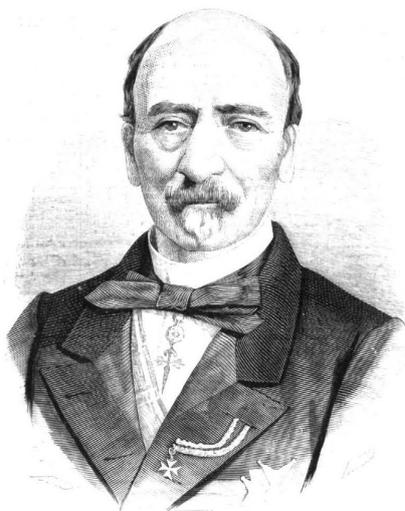


Fig. 05, Jose María Mathé Aragua  
Fuente: Autor desconocido. Extraído de "La Ilustración Española y Americana". (1870)



Fig. 06, Red de telegrafía óptica en España  
Fuente: OLIVÉ, S. (2006)

En 1848 se empezó a construir la línea que iba de Madrid a Valencia, estando operativa en 1849. Este tramo constaba de 30 torres, encontrándose 10 de ellas en la Comunidad Valenciana. La primera estación se situaba en Madrid en el edificio de la Aduana y la número 30 en el convento de San Francisco de Valencia. Dentro de las ciudades se ubicaban en edificios públicos para mayor seguridad y una mejor defensa frente a cualquier intrusión. (OLIVÉ, S. 2006).

El sistema de telegrafía óptica se vio obsoleto en 1856, habiendo tenido muy poca vida útil debido a la aparición de la telegrafía eléctrica, la cual era más práctica y rápida. Los principales problemas con los que contaba la telegrafía óptica es que no podía usarse de noche, dependían de unas condiciones meteorológicas óptimas ya que las torres se situaban de 10 a 17 km de distancia entre sí y los torreros estaban aislados y debían estar alerta constantemente. (OLIVÉ, S. 1990).

## EL TELÉGRAFO ÓPTICO DE MATHÉ

En España se empleó el sistema de telegrafía óptica de Mathé (Fig. 07). El diseño de Mathé consistía en un bastidor que constaba de tres franjas metálicas negras y tres franjas huecas más anchas, alternadas entre sí. Estas franjas se interrumpían en el centro dejando un espacio por el que se desplazaba verticalmente una pieza de igual espesor a las franjas negras. Esta pieza tenía doce posiciones distintas, según estuviese en el centro de la franja hueca, tangente a una de las franjas negras o coincidiendo con las mismas. De esta forma se tenían las posiciones 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, m, x. El movimiento de esta pieza se realizaba a través de una cadena conectada a una manivela en la segunda planta de la torre (Fig. 08). (FERNÁNDEZ, F. 2012).

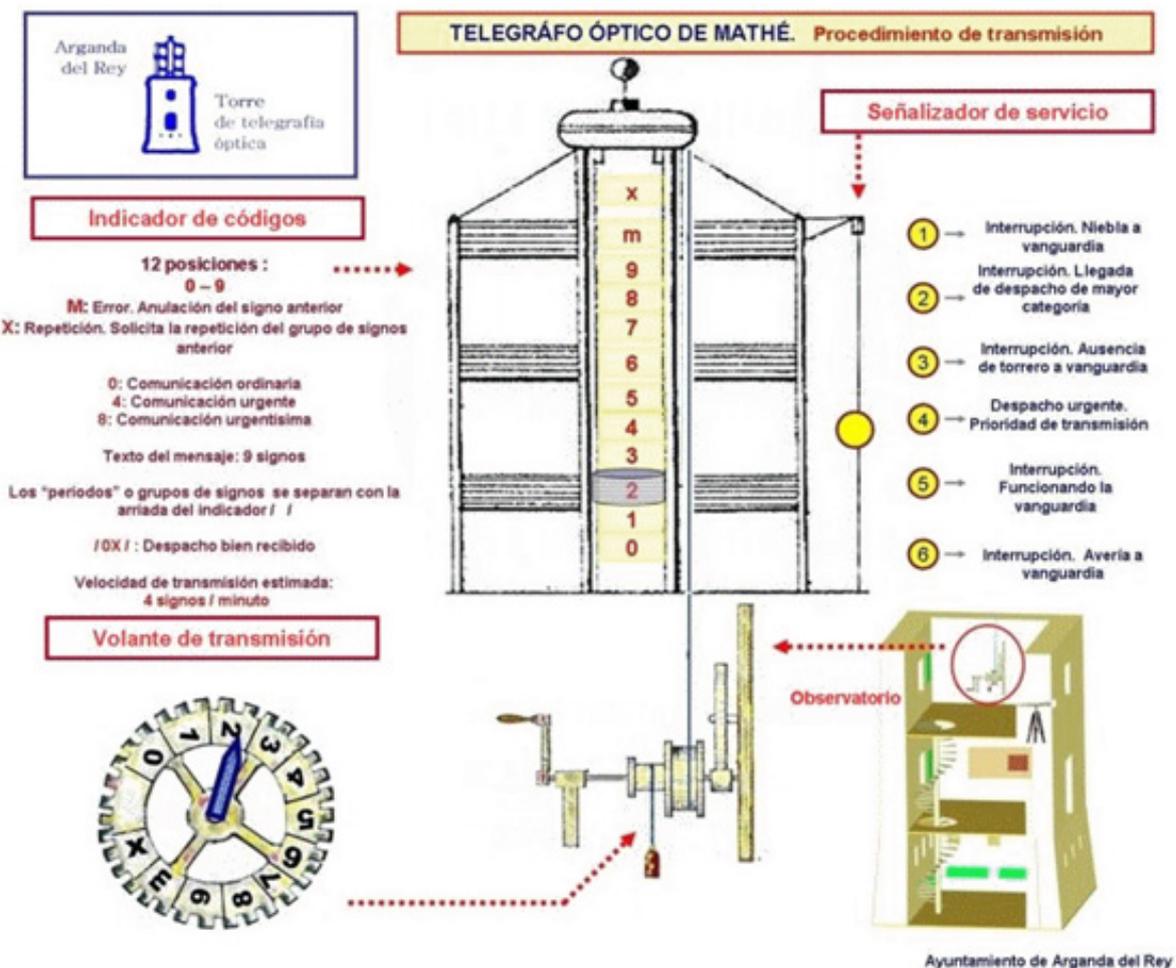


Fig. 07, Procedimiento de transmisión del telégrafo óptico de Mathé  
Fuente: Autor desconocido. Recuperado de <http://archivo.ayto-arganda.es>.

Además de esto disponía de un señalizador de servicio, que constaba de una bola metálica en un extremo del aparato que se desplazaba verticalmente, empleando también las franjas negras y huecas como referencia. Este señalizador tenía 6 posibles posiciones que indicaban mensajes de servicio interno de los torreros, por ejemplo, si la torre estaba fuera de servicio o si el torrero se encontraba ausente. (URRESTARAZU, I. 2014)

La transmisión de la información no se efectuaba palabra a palabra, sino que se empleaban frases completas preestablecidas y codificadas en un diccionario fraseológico (Fig. 09). (MORENO, MA. 2018)

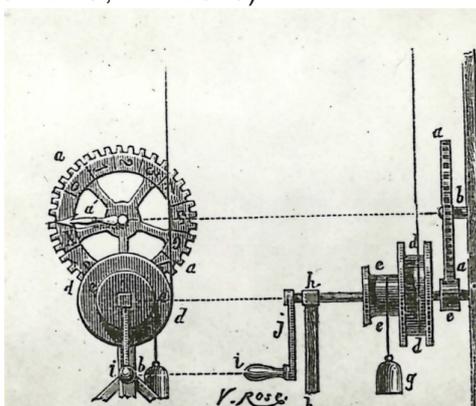


Fig. 08, Poleas que accionan el telegrafo  
Fuente: Autor desconocido. Recuperado de <https://www.catalunyavanguardista.com/en-memoria-del-telegrafo-optico/>

CONMOCIONES POPULARES

INDICACIONES

- m7786 ... De los papeles revisados se desprende que tal o tales personas se hallan gravemente complicadas en este alzamiento que fueron cogidos a fulano.
- 7 ... que fueron cogidos a fulano.
- 8 ... residentes en esa corte.
- 9 ... en esa capital.
- 779C ... en tal parte.
- 1 ... De las declaraciones indagatorias tomadas hasta ahora se desprende etc. etc. (como arriba).
- 2 ... Los presos hasta ahora son tantos.
- 3 ... Entre los cuales se cuenta D.N.
- 4 ... El preso tal ha ofrecido hacer revelaciones importantes.
- 5 ... Si se le salva la vida.

Fig. 09, Diccionario fraseológico  
Fuente: MORENO, MA. (2018)

LA TORRE

Las torres seguían un patrón constructivo diseñado por el coronel de Estado Mayor, José María Mathé, cumpliendo las funciones requeridas para su buen funcionamiento. Todo se encontraba descrito de forma pormenorizada: los planos de construcción (Fig. 10), la maquinaria que accionaba el telegrafo (Fig. 08), el mobiliario (Fig. 11) y cualquier tipo de enseres necesarios. (OLIVÉ, S. 2006).

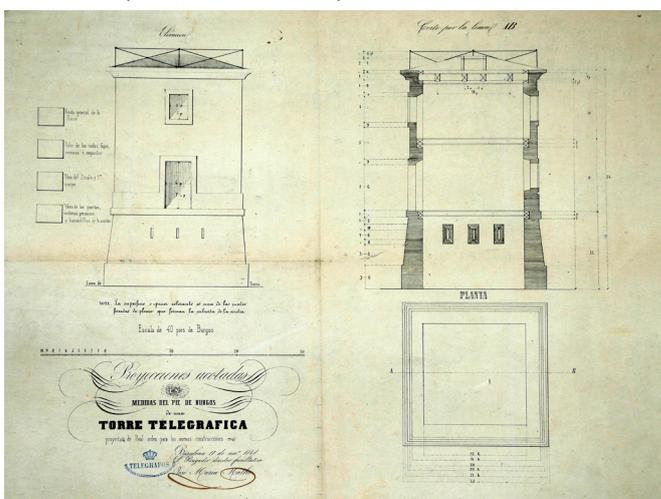


Fig. 10, Plano de torre telegráfica  
Fuente: Museo Postal y Telegráfico

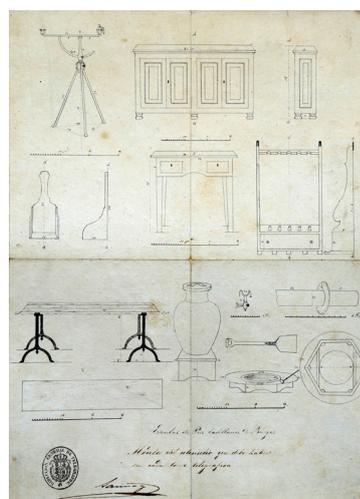


Fig. 11, Plano del mobiliario de las torres  
Fuente: Museo Postal y Telegráfico

En cuanto a los materiales de construcción todas las torres seguían un modelo general, pero este se adaptaba a la accesibilidad de los materiales y las características de la ubicación de cada torre (Fig. 12). De esta forma se encuentran diferencias en determinadas torres. Se usaban sillares de granito, caliza o incluso mampostería y el resto con mayor o menor cantidad de ladrillo según los materiales habituales de la zona. Pero siempre construyendo muros gruesos y robustos atendiendo a su función defensiva. (FERNÁNDEZ, F. 2012).

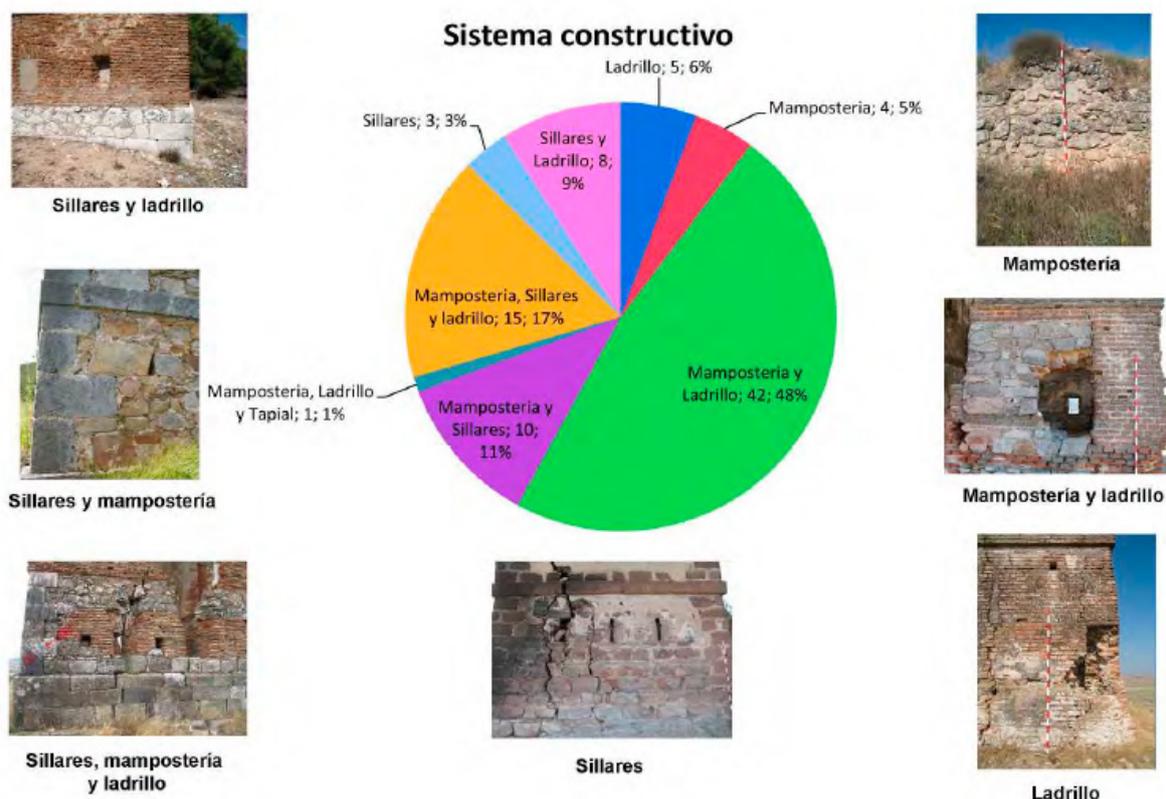


Fig. 12. Diferentes sistemas constructivos de torres de telegrafía en España  
Fuente: CAPDEVILA, E. (2014)

Los forjados eran unidireccionales y estaban contruidos con vigas de madera de aproximadamente 14x21cm, separadas entre sí 58 cm (aproximadamente dos pies de Burgos, o también denominado pie castellano.) y apoyadas directamente sobre los muros, que tenían función estructural. La dirección de las vigas se alternaba en los tres forjados con la finalidad de repartir las cargas en los cuatro muros. De esta forma la dirección de las vigas del segundo forjado era perpendicular a las del primer y tercer forjado. (ARJONA, JM. 2020).

Las aberturas son otro aspecto importante en las torres. En planta baja se ubicaban tres aspilleras defensivas en cada fachada para rechazar o, al menos, resistir ante cualquier posible ataque. La planta primera tiene una ventana y en el lado opuesto la puerta de acceso, por lo tanto se accedía a ella mediante una escalera de mano, lo cual facilitaba la defensa de la torre. Para finalizar en el segundo piso se situaba en dos de las fachadas opuestas una ventana a cada lado, las cuales estaban alineadas con la ubicación de las torres adyacentes. Al lado de estas ventanas se abría un pequeño hueco en el que disponían el catalejo. (OLIVÉ, S. 1990).

ETSA UPV. TFG Septiembre 2021.

Autor: Víctor Bas García

Tutores: Yolanda Hernández Navarro / Pasquale de Dato

En cuanto a la función de cada planta seguían también el mismo esquema en todas las torres. La planta baja tenía la función de almacén, la planta primera iba destinada a la vida doméstica, donde los torreros podían comer o descansar y por último en la segunda planta se llevaban a cabo las labores de observación y es donde se situaban los engranajes que accionaban el telégrafo en la cubierta (Fig. 14 y 15). (OLIVÉ, S, 2012)

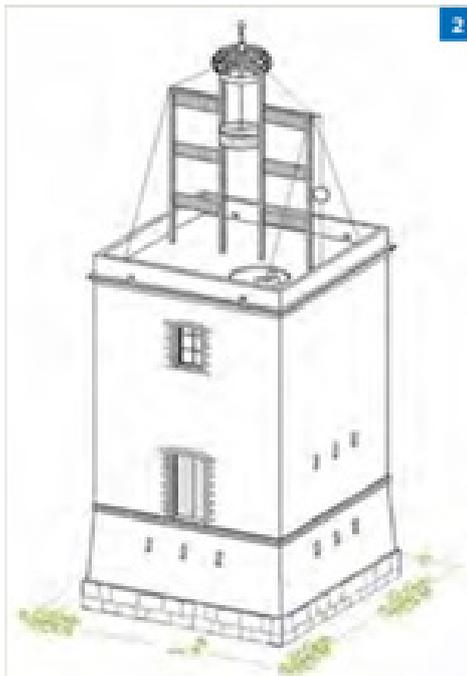


Fig. 13, Torre telegráfica de Mathé  
Fuente: ARJONA, JM. (2020)



Fig. 14, Maqueta de torre telegráfica  
Fuente: Museo Postal y Telegráfico

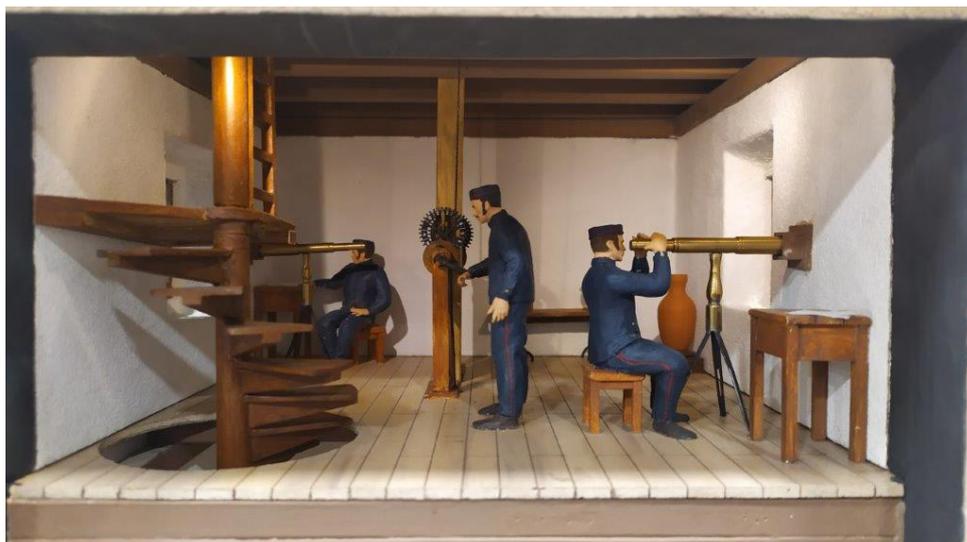


Fig. 15, Maqueta de torre telegráfica  
Fuente: Museo Postal y Telegráfico

## ESTADO ACTUAL DE LAS TORRES

En la actualidad, las torres de telegrafía óptica se encuentran en estado de abandono o completamente derruidas; solo unas pocas se han restaurado y musealizado. En España las últimas torres dejaron de estar en funcionamiento en 1856. Entre las razones de abandono se distinguen las de índole meteorológico, funcional y principalmente de avance tecnológico.

En primer lugar, tenemos las razones meteorológicas. Este sistema de comunicación no servía si la meteorología no era la adecuada, ya que la lluvia intensa, la nieve o la niebla entorpecían la visión a través de los catalejos y, por lo tanto, no permitían la comunicación entre las torres. Del mismo modo tampoco podía usarse de noche por lo que solo podían estar en activo aproximadamente 12 horas al día.

En cuanto a las razones funcionales, destaca el hecho de que los torreros debían estar en constante alerta, en turnos de 12 horas, para recibir y reproducir los mensajes que llegaban de las torres adyacentes, por lo que se encontraban en unas condiciones precarias.

Por último tenemos el avance tecnológico. Esta es la razón principal por la que se dejó de emplear la telegrafía óptica, ya que fue sustituida por la telegrafía eléctrica. Este nuevo sistema de comunicación llevaba años siendo utilizado por algunos países en Europa y permitía recibir y mandar información a mucha más velocidad sin importar las inclemencias meteorológicas ni la ausencia de iluminación.

## 2.2- ANÁLISIS DE LA TORRE DE GODELLETA

### 2.2.1 UBICACIÓN

La torre de telegrafía óptica de Godelleta se encuentra sobre un montículo elevado 380 metros sobre el nivel del mar, con una orientación Sudoeste-Nordeste. Está ubicada a unos 1000 metros al Oeste del núcleo urbano de Godelleta y a 200 metros de la vía CV-424, que conecta Godelleta con Buñol (Fig. 16).

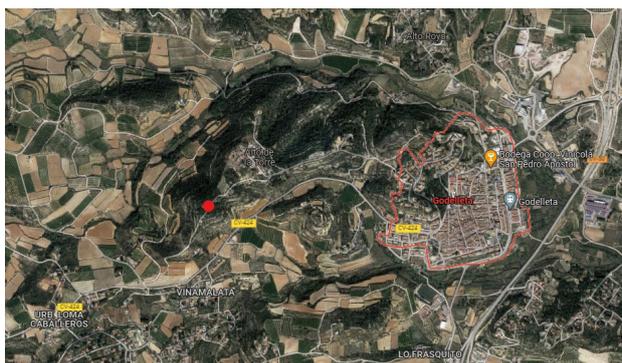


Fig. 16, Ubicación de la torre respecto a Godelleta  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 17, Ubicación de las torres de Villagordo del Cabriel a Valencia  
Fuente: DE DATO, P. (2016)

La torre de Godelleta forma parte de la línea de telegrafía óptica que conectaba Madrid con Barcelona. Es la torre número 27 de este tramo, situada entre la torre de Bunyol (Nº 26) y la de Chiva (Nº 28) (Fig. 17). La cara Oeste de la torre está orientada mirando a la torre de Bunyol (Fig. 18) y la cara Este a la torre de Chiva (Fig. 19). La visual de estas torres es clara, ya que se ubican en terrenos elevados.

### 2.2.2 CARACTERÍSTICAS Y MODIFICACIONES

A diferencia de otras torres en España, donde se encuentran algunas variaciones, la torre de Godelleta está construida siguiendo fielmente los planos originales de Mathé. Es una torre de planta cuadrangular con tres plantas sobre un zócalo exterior. Las fachadas son rectas en la primera y segunda planta y ataludada en la planta baja (Fig. 20). En cuanto a las aperturas se encuentran las tres troneras abocinadas en cada una de las fachadas. En la fachada Oeste hay una ventana en cada planta y en la fachada Este se dispone la entrada original en la primera planta y una ventana en la segunda planta.

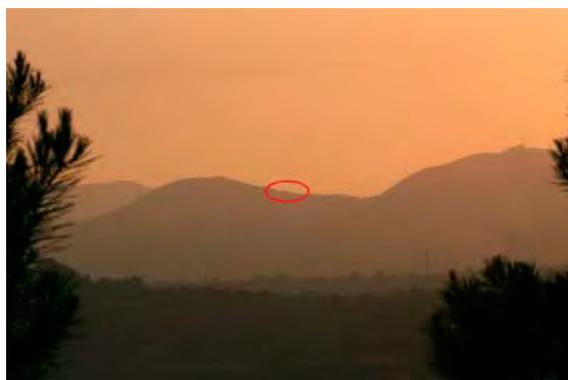


Fig. 18, Torre Nº 26. Vista desde la torre de Godelleta  
Fuente: CAPDEVILA, E. (2014)



Fig. 19, Torre Nº 28. Vista desde la torre de Godelleta  
Fuente: CAPDEVILA, E. (2014)

A lo largo del tiempo, la torre de Godelleta ha sufrido diversas alteraciones. La más importante es la eliminación de los forjados y la cubierta (Fig. 21). Se puede observar en el interior de la torre las marcas que delatan la ubicación y dirección de los forjados (Fig. 25). Se conservan únicamente escasos restos de la cornisa que remataba el segundo piso.

Se ha generado la apertura de una puerta de acceso a nivel de planta baja en la fachada, en cuyo umbral se ha grabado la fecha 2007. También se han abierto dos pequeños huecos rectangulares en la planta baja en cada una de las fachadas, situados a los lados de las troneras abocinadas (Fig. 22).

Además, se ha tapiado parte de la entrada original de la torre situada en la fachada Oeste (Fig. 24). En esta misma fachada se encuentran los restos de lo que posiblemente fue una estructura que se anexionó a la torre posteriormente. Estos restos constan de unos loques de cemento y ladrillo moderno (Fig. 23).

Por último, en el interior se encuentran unos alambres de púa, aproximadamente a un metro y medio de altura cuya funcionalidad se desconoce. Quizás puede atribuirse a su uso como palomar, ya que a muchas de las torres en España se les dio esa función.



Fig. 20, Torre telegráfica de Godelleta. Exterior  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 21, Torre telegráfica de Godelleta. Interior  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 22, Huecos no originales  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 23, Estructura anexa  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 24, Acceso original tapiado  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 25, Huellas de forjado y escalera  
Fuente: Bas, 2021

## 2.2.3 FOTOPLANOS DE FACHADAS E INTERIORES

### Fotoplanos exteriores



FOTOPLANO DE FACHADA SUR E:1/125



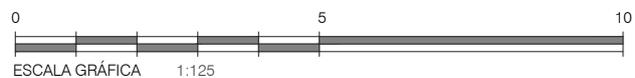
FOTOPLANO DE FACHADA ESTE E:1/125



FOTOPLANO DE FACHADA NORTE E:1/125



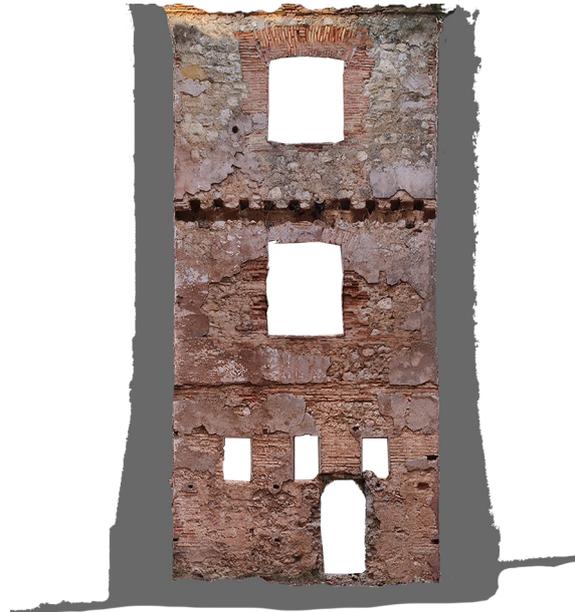
FOTOPLANO DE FACHADA OESTE E:1/125



## FOTOPLANOS EXTERIORES Y SECCIONES Fotoplanos interiores



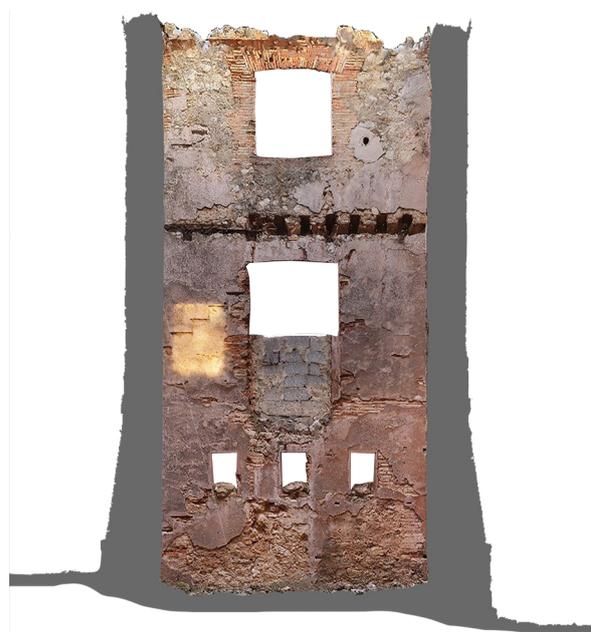
FOTOPLANO DE SECCIÓN SUR E:1/125



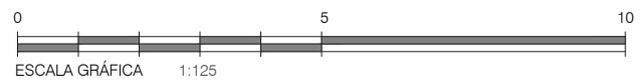
FOTOPLANO DE SECCIÓN ESTE E:1/125



FOTOPLANO DE SECCIÓN NORTE E:1/125



FOTOPLANO DE SECCIÓN OESTE E:1/125



## 2.2.4 ESTUDIO DE MATERIALES

La torre está construida principalmente de ladrillo cerámico macizo y mampostería. La mampostería está trabada con argamasa en aparejo irregular en las plantas superiores y entre verdugadas de ladrillo en la zona de planta baja, el zócalo y la parte inferior del primer piso.

El ladrillo se utiliza principalmente en los límites de las fachadas, en la separación entre la planta baja ataludada y las plantas superiores, la parte central de la planta baja, donde se sitúan las troneras abocinadas y por último en los marcos de las ventanas y la puerta de acceso, donde los remates al exterior están arqueados con ladrillos a sardinel.

Por último, en el interior de la torre se conserva parte del enlucido original.

A continuación, se adjuntan los planos realizados del estudio de materiales.

## ESTUDIO DE MATERIALES

### Fotoplanos exteriores



FOTOPLANO DE FACHADA SUR E:1/125



FOTOPLANO DE FACHADA ESTE E:1/125

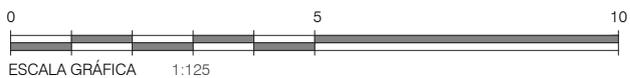


FOTOPLANO DE FACHADA NORTE E:1/125



FOTOPLANO DE FACHADA OESTE E:1/125

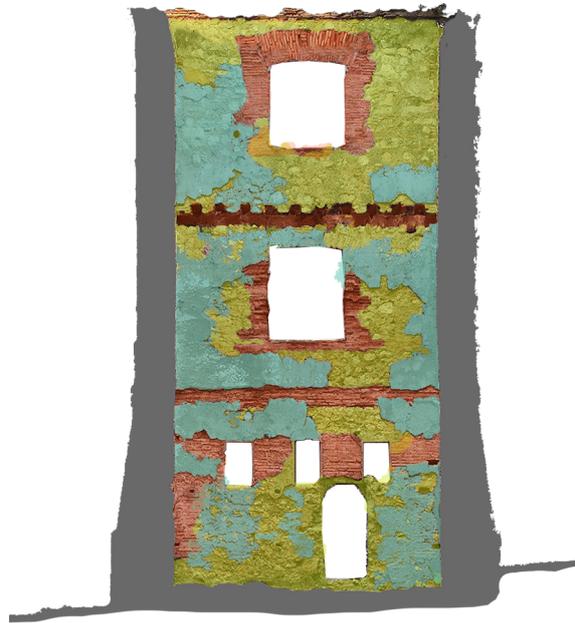
-  Fábrica de mampostería
-  Fábrica de ladrillo macizo a soga
-  Fábrica de bloques de hormigón
-  Enlucido de cal



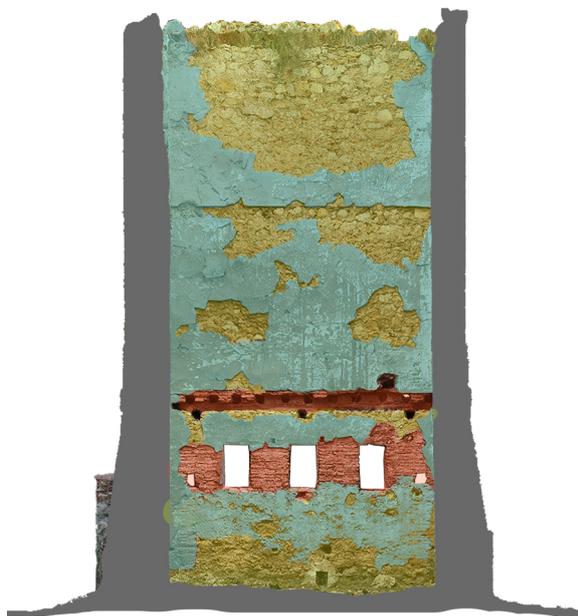
## ESTUDIO DE MATERIALES Fotoplanos interiores



FOTOPLANO DE SECCIÓN SUR E:1/125



FOTOPLANO DE SECCIÓN ESTE E:1/125

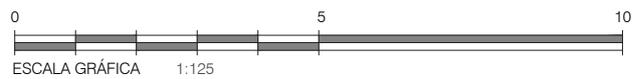


FOTOPLANO DE SECCIÓN NORTE E:1/125



FOTOPLANO DE SECCIÓN OESTE E:1/125

-  Fábrica de mampostería
-  Fábrica de ladrillo macizo a soga
-  Fábrica de bloques de hormigón
-  Enlucido de cal



## 2.2.5 ESTUDIO DE DEGRADACIONES

A continuación, se realiza un estudio de degradaciones de la torre de Godelleta, tanto del interior como del exterior. A parte de lo citado anteriormente, como la ausencia de forjados o los vanos y elementos impropios, se aprecian diferentes degradaciones como son erosión, pérdida de material, ataques biológicos, etc.

Todas estas degradaciones, si siguen aumentando con el tiempo, afectarán a la estabilidad de la torre, debilitando las fachadas y en última instancia se producirá el colapso de la misma.

Degradación	Fotografía	Hipótesis de causa	Consecuencias futuras
Erosión superficial		La causa principal es la producida por la acción física de los agentes atmosféricos. Por lo general se produce en materiales granulosos (enlucidos, revocos, etc.) por la acción combinada del viento y la lluvia.	Puesto que se trata de un agente atmosférico al que va a seguir expuesto esta erosión irá empeorando con el tiempo, debilitando las fachadas, al quedar desprotegidas de la capa de revestimiento
Erosión profunda		Se corresponde con una mayor intensidad de la erosión superficial. Una vez eliminados los revestimientos, los agentes atmosféricos (viento y lluvia) lavan la superficie arrastrando toda materia granulosa.	Este tipo de erosión seguirá aumentando y por lo tanto comprometerá la estabilidad de la torre.
Pérdida de material		La causa principal es el desprendimiento por falta de adhesión entre materiales (mampuestos y/o ladrillos y argamasa) o como fruto de lesiones previas como fisuras.	De nuevo, la pérdida de material, que seguirá aumentando con el paso del tiempo, comprometerá la estabilidad de la torre.
Lagunas		La causa principal son los agentes atmosféricos,	Un aumento de las lagunas comprometerá la estabilidad de los muros.

Patología	Fotografía	Hipótesis de causa	Consecuencias futuras
Sales		La humedad por capilaridad provoca la reacción con las sales solubles contenidas en el interior de los ladrillos o la argamasa, produciéndose la cristalización de las mismas en la superficie.	Por la constante humedad a la que se encuentra sometida la torre, estas sales cristalizadas irán en aumento, pulverizando tanto la masa de los ladrillos como las argamasas y enlucidos, debilitando las propiedades de los materiales.
Ataques biológicos		Crecimiento de mohos por condiciones óptimas de la superficie (humedad, temperatura y falta de ventilación)	Es un agente al que seguirá estando expuesto y por lo tanto aumentará a medida que pase el tiempo.

Seguidamente se adjuntan los planos realizados del estudio de degradaciones.

## ESTUDIO DE DEGRADACIONES Fotoplanos exteriores



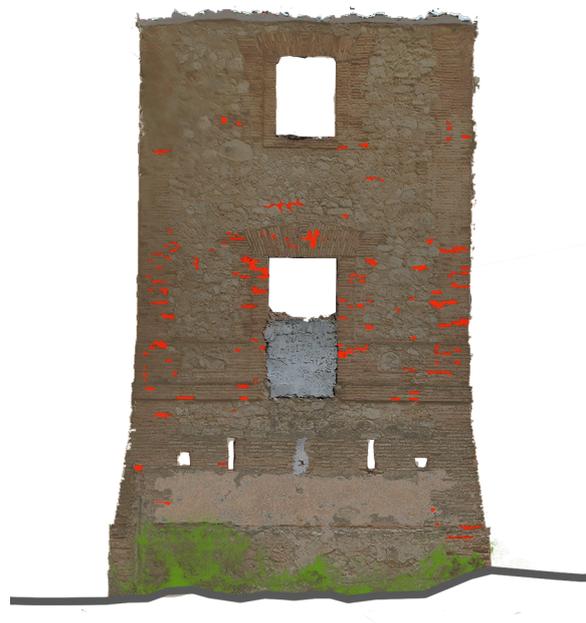
FOTOPLANO DE FACHADA SUR E:1/125



FOTOPLANO DE FACHADA ESTE E:1/125

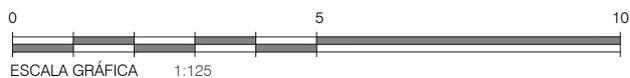


FOTOPLANO DE FACHADA NORTE E:1/125

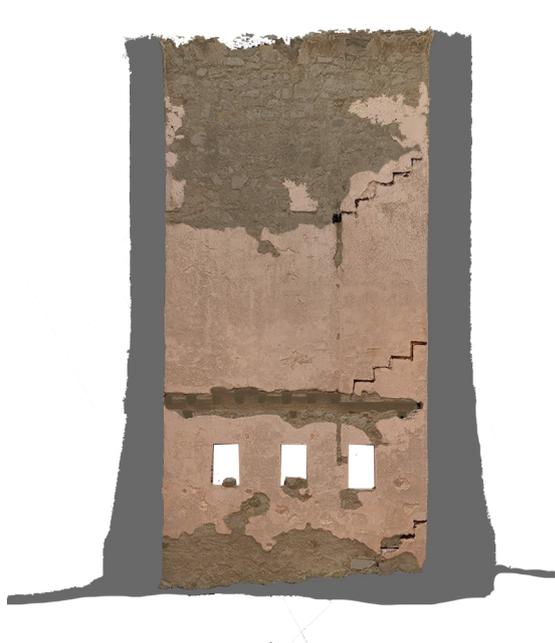


FOTOPLANO DE FACHADA OESTE E:1/125

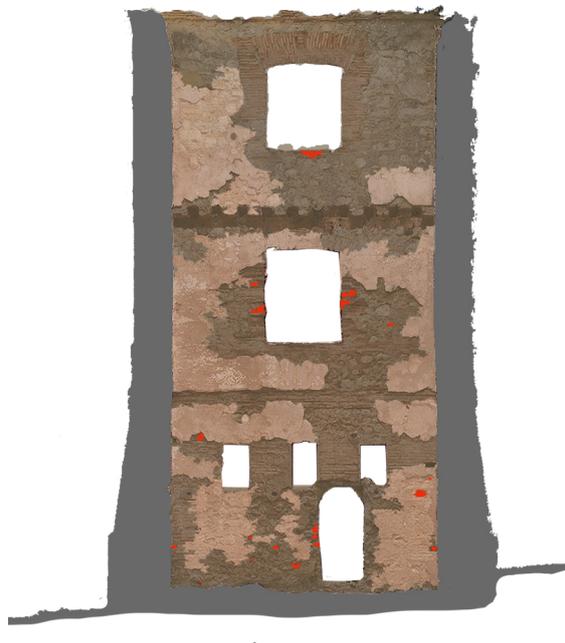
	Erosión superficial		Pérdida de material
	Erosión profunda		Lagunas
	Salas		Ataques biológicos



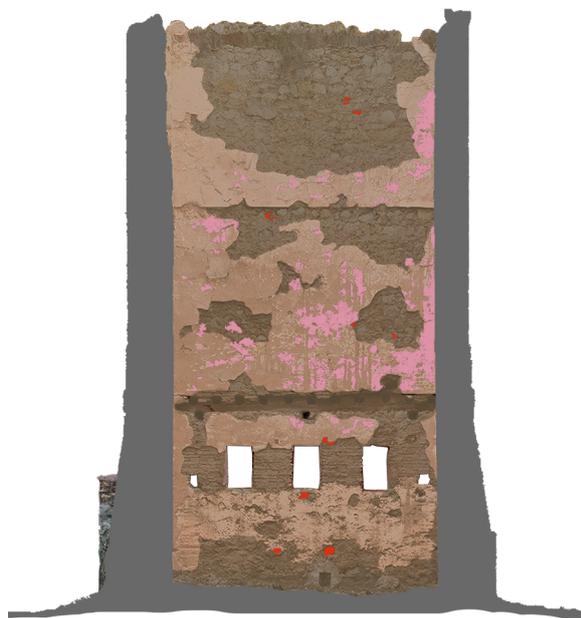
## ESTUDIO DE DEGRADACIONES Fotoplanos interiores



FOTOPLANO DE SECCIÓN SUR E:1/125



FOTOPLANO DE SECCIÓN ESTE E:1/125

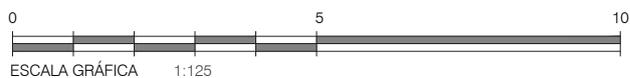


FOTOPLANO DE SECCIÓN NORTE E:1/125



FOTOPLANO DE FACHADA OESTE E:1/125

	Erosión superficial		Pérdida de material
	Erosión profunda		Lagunas
	Sales		Ataques biológicos



## 2.3- RECORRIDO VIRTUAL

El presente TFG pretende testear el uso de tecnología virtual como medio para poner en valor el patrimonio histórico de las torres de telegrafía óptica en España. Para ello, se realiza el estudio y chequeo sobre la torre de telegrafía óptica de Godelleta.

Se propone un recorrido virtual que muestre el estado actual de la torre de telegrafía comparando el mismo con un modelo 3D que muestra la torre acabada de construir. De esta forma se acerca el patrimonio histórico al visitante y se muestra cómo fue la torre originalmente. Así logramos mostrar el funcionamiento de las torres, desaparecido totalmente en la actualidad, evidenciando así la importancia cultural y arquitectónica de este patrimonio histórico.

Al final de este apartado se muestran todas las fases en que se estructura la creación de este recorrido virtual, así como el resultado final del mismo. En síntesis, en primer lugar, se elabora el modelo 3D de la torre en su estado actual mediante Metashape (un programa de modelado mediante fotogrametría). Posteriormente se modelan tanto la torre como el mobiliario siguiendo los planos originales de Mathé y para finalizar se emplea Unreal Engine 4 como motor principal para generar el recorrido virtual.

El resultado se podrá visualizar en Unreal Engine 4, donde se importan los modelos 3D de las dos torres, los cuales estarán solapados en el espacio y, presionando un botón del teclado se podrá intercambiar la visualización de una torre por otra, de forma que podamos comparar las dos torres de forma inmediata. Posteriormente se genera el terreno, vegetación, iluminación, aplicación de materiales en la torre original y la programación de ciertas funciones como son el intercambiar las torres pulsando una tecla, subir escaleras de caracol, subir escaleras de mano, la aparición de texto emergente, etc.

### 2.3.1 FOTOGRAMETRÍA MEDIANTE METASHAPE

La fotogrametría es una tecnología que, partiendo de imágenes digitales, construye geometrías de áreas, superficies u objetos en 2 y 3 dimensiones. Se trata de un método de modelado muy asequible, ya que, con una serie de imágenes y un programa de fotogrametría podemos conseguir modelos de muy alta calidad sin necesidad de tener conocimientos avanzados de modelado 3D.

Los programas fotogramétricos trabajan con imágenes digitales que se le hacen previamente a un objeto desde diferentes ángulos. El programa interpreta, gracias al conjunto de imágenes, la volumetría del objeto en cuestión. Es por esto que es muy importante realizar las fotografías de manera que haya al menos un 75% de superposición de información entre las diferentes imágenes. De esta forma el software es capaz de generar patrones detectando las variaciones de perspectiva y creando una nube de puntos tridimensional.



Fig. 26, Entorno generado con Unreal Engine 4 mediante modelos 3D creados con fotogrametría.  
Fuente: Autor desconocido. Extraído de <https://quixel.com>

La aparición de programas más potentes y las cámaras de mayor calidad han propiciado que la fotogrametría consiga crear cada vez modelos de mayor calidad. Como consecuencia, este método da servicio a campos como la Cartografía, Arquitectura, Arqueología, Urbanismo, Documentación de patrimonio histórico e incluso a la industria de los videojuegos.

Teniendo en cuenta estas características, se ha optado por modelar la actual torre de telegrafía óptica de Godelleta mediante fotogrametría. Esto nos permite un mayor realismo en la representación virtual, poniendo en valor así el patrimonio cultural, ya que un modelado 3D tradicional, mediante 3DMax, Autocad, Rhinoceros, etc. generan modelos tipo pero no modelos reales, con su estado de conservación concreto (materiales y sus imperfecciones, degradaciones y patologías, etc.)

Después de hacer pruebas con varios programas de fotogrametría, como son Meshroom, Alignphotos o Photoscan, se ha optado por realizar el modelado mediante Agisoft Metashape, puesto que es el que mejor resultados ha obtenido a la hora de modelar la torre.

A continuación, se muestran las diferentes fases que conlleva la construcción de la torre de telegrafía mediante fotogrametría.

## FASE 1: TOMA DE FOTOGRAFÍAS

Las fotografías deben realizarse en un entorno lumínico lo más controlado posible. Siendo en este caso la torre de telegrafía un elemento situado en el exterior deben realizarse las fotos en el menor lapso de tiempo posible. Las luces y sombras varían debido a la posición del Sol y esto puede causar problemas en el software a la hora de reconocer la conexión entre las distintas imágenes.

Se realizaron dos tomas de fotografías. La primera sesión se realizó el 13 de Abril de 2021 a medio día con el cielo despejado, lo cual dió problemas debido a la sobreexposición de las fotografías en el interior (Fig. 29) y a las sombras arrojadas en fachada de la vegetación más próxima (Fig. 27). En consecuencia, se opta por realizar una segunda sesión por la madrugada, cuando aún no hay luz directa, realizada el 4 de Julio de 2021. De esta forma se consiguen imágenes con mayor homogeneidad lumínica y evitando sombras arrojadas (Fig. 28 y 30).

La indisponibilidad de trabajar con un dron para realizar las fotografías implica que el punto de mayor conflicto se encuentra en la puerta de acceso, ya que es el único punto a cota cero en el que las fotografías conectan el exterior con el interior de la torre.

## FASE 2: ADJUNTAR FOTOGRAFÍAS EN METASHAPE

Una vez realizadas todas las fotografías de la torre, tanto del interior como del exterior, el siguiente paso es introducirlas en Metashape. Previamente se comprueba cada imagen para eliminar las que puedan generar algún tipo de problema ya sea por desenfoque, sobreexposición o cualquier artefacto que aparezca en la imagen. Tras la criba de imágenes se añaden 942 fotografías a metashape (Fig. 31).

Si la toma de fotografías se ha realizado de forma controlada y metódica este paso no requiere mayor complicación.



Fig. 27, Fotografía exterior con sombras arrojadas.  
Primera sesión.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 28, Fotografía exterior sin sombras arrojadas.  
Segunda sesión  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 29, Fotografía interior sobreexpuesta.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 30, Fotografía interior sin sobreexponer.  
Fuente: Bas, 2021

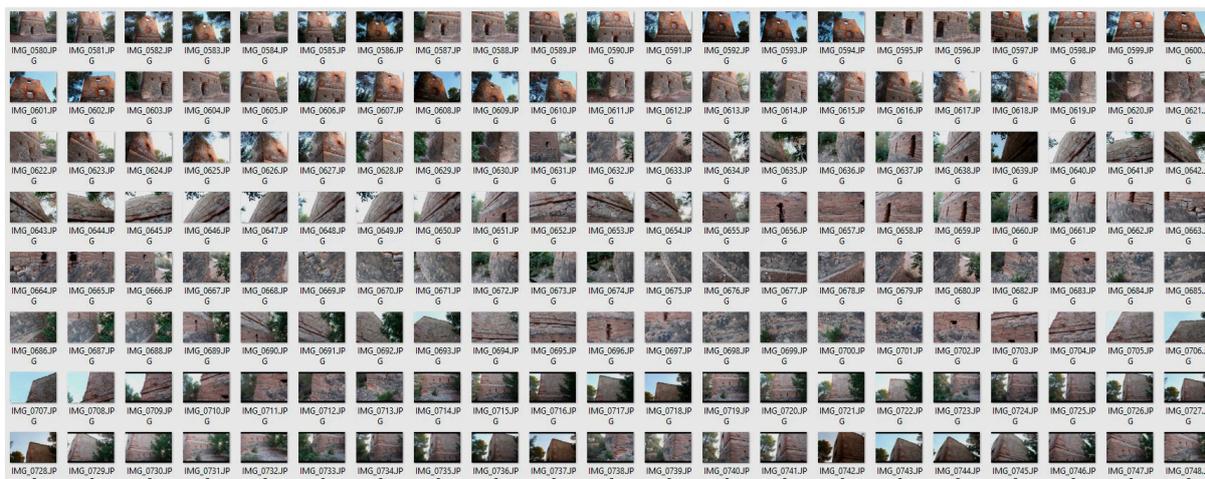


Fig. 31, Fotografías realizadas para la fotogrametría  
Fuente: Bas, 2021

### FASE 3: ALINEAR LAS FOTOGRAFÍAS

Una vez se han cargado las imágenes en Metashape el próximo paso es alinearlas. El software calcula la ubicación desde la que se tomó cada fotografía. Una vez se alinean las fotos Metashape muestra una nube de puntos previa al siguiente paso (Fig. 32). Una vez se tiene el resultado en bruto se elimina parte del entorno para simplificar cálculos en las posteriores fases (Fig. 33).

A su vez, Metashape nos muestra la ubicación de la cámara en cada fotografía que ha alineado (Fig. 34 y 35).

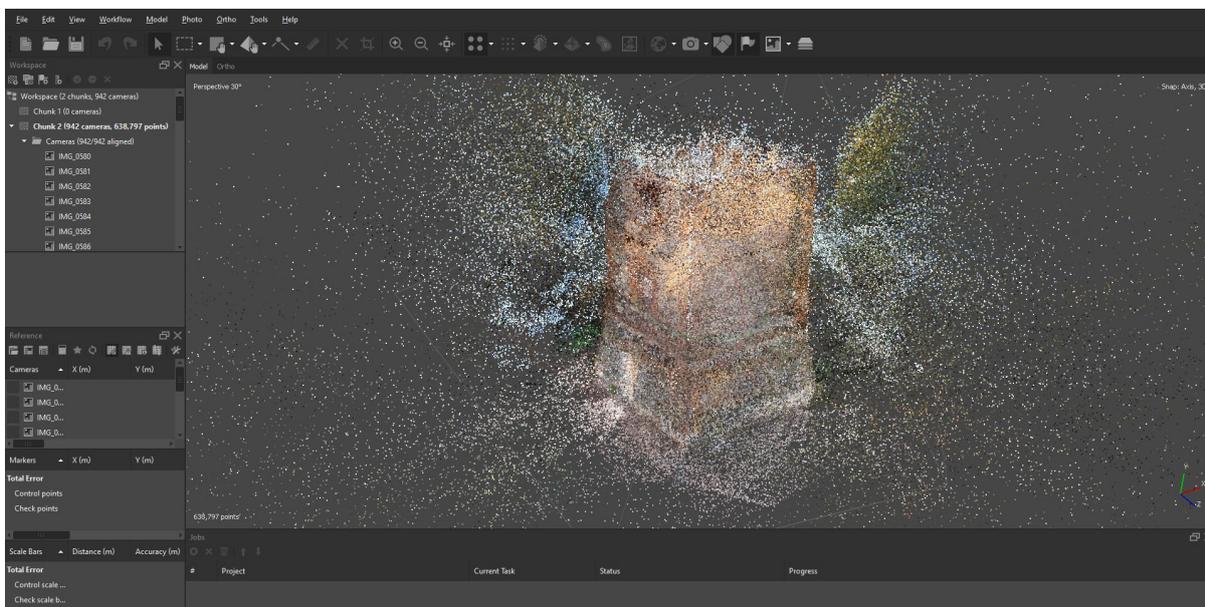


Fig. 32, Fotogrametría. Nube de puntos en bruto.  
Fuente: Bas, 2021

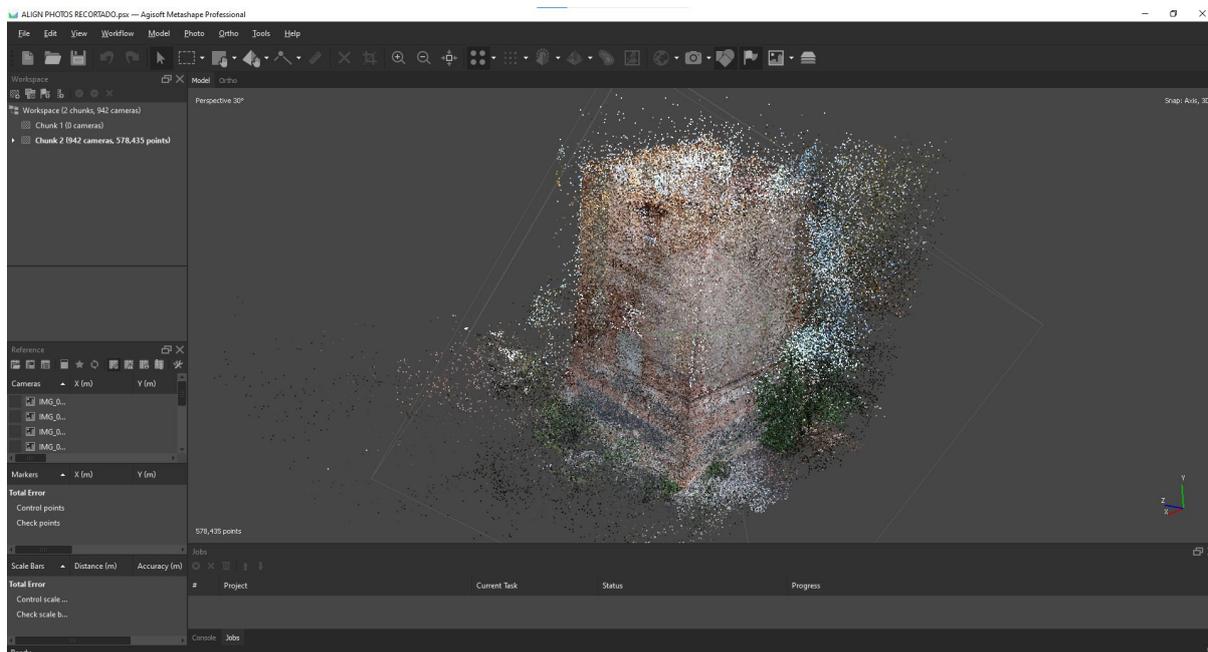


Fig. 33, Fotogrametría. Nube de puntos eliminando el entorno menos próximo.  
Fuente: Bas, 2021

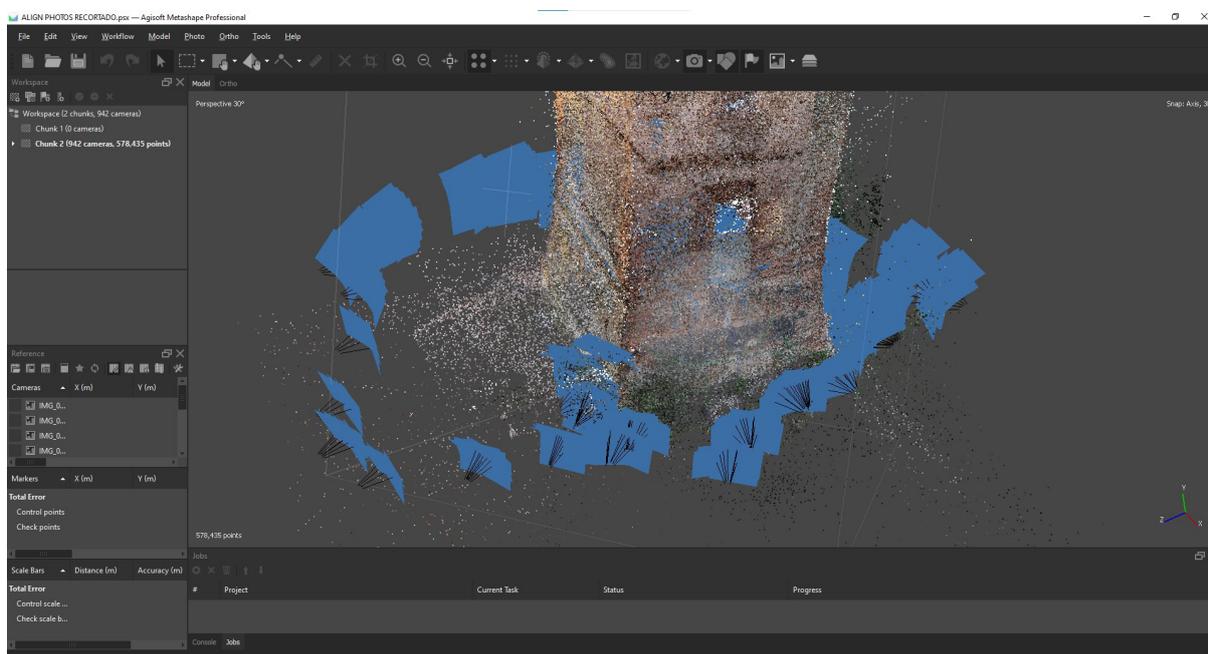


Fig. 34, Fotogrametría. Ubicación de la cámara en cada fotografía exterior.  
Fuente: Bas, 2021

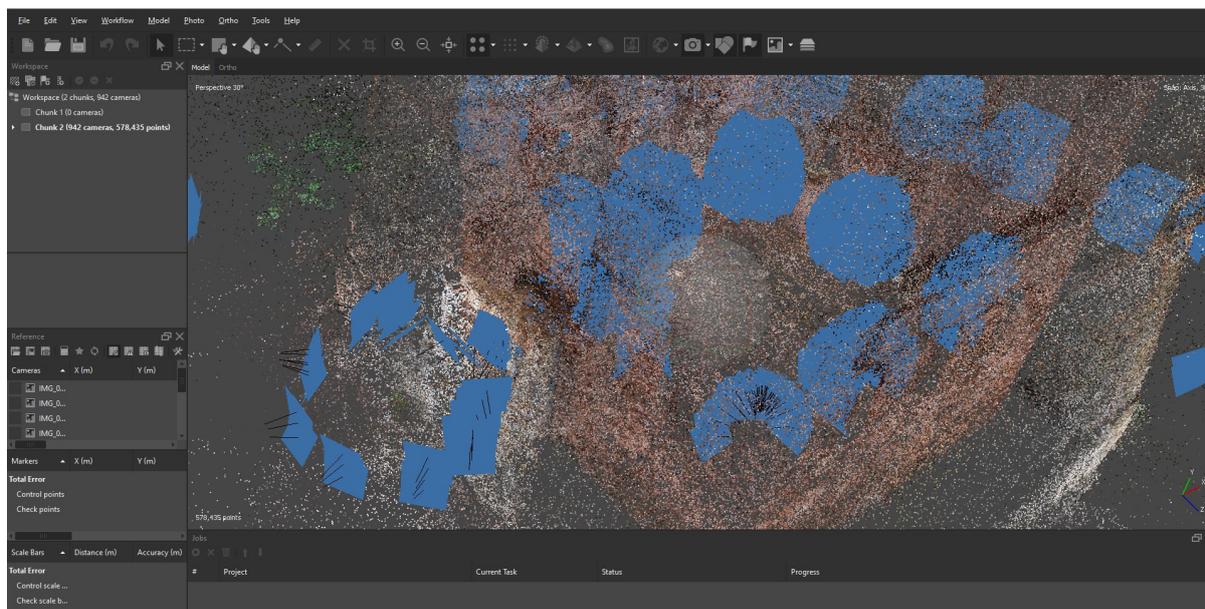


Fig. 35, Fotogrametría. Ubicación de la cámara en cada fotografía interior y en el acceso.  
Fuente: Bas, 2021

#### FASE 4: CONSTRUCCIÓN DE LA NUBE DENSA DE PUNTOS

En esta fase el programa crea una nube de puntos mucho más densa que la anterior, generando millones de puntos (Fig. 36). Estos puntos representan la posición tridimensional de los vertices calculados en la anterior fase. Los puntos no definen todavía una geometría, son únicamente puntos en el espacio. Una vez realizado este paso se hace una limpieza del entorno próximo a la torre (Fig. 37).

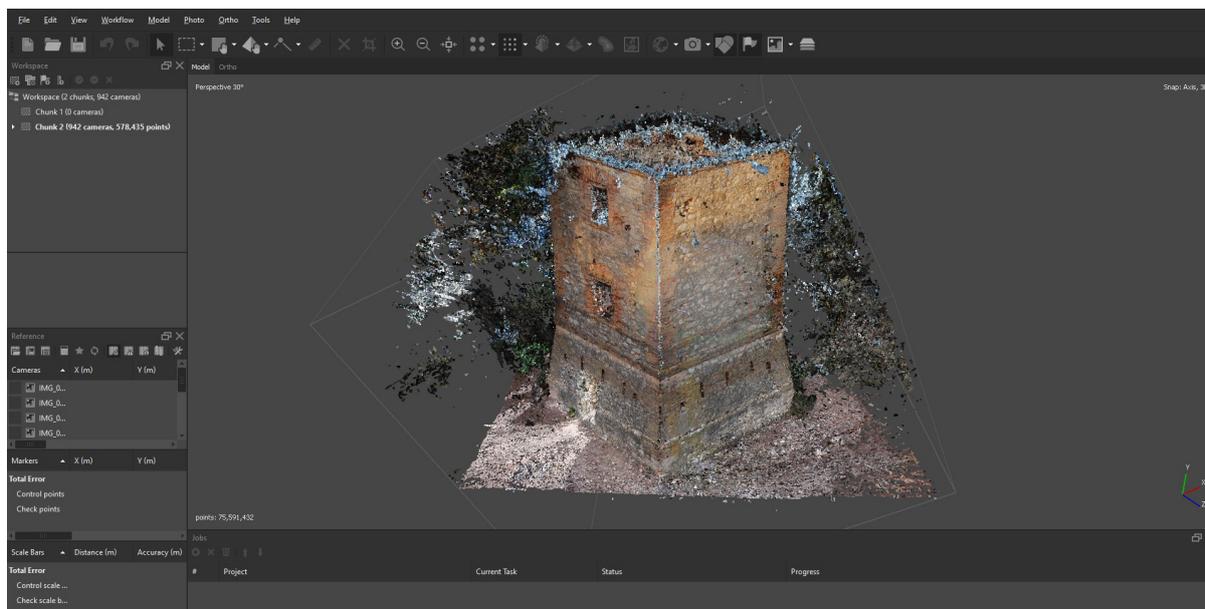


Fig. 36, Fotogrametría. Nube densa de puntos.  
Fuente: Bas, 2021

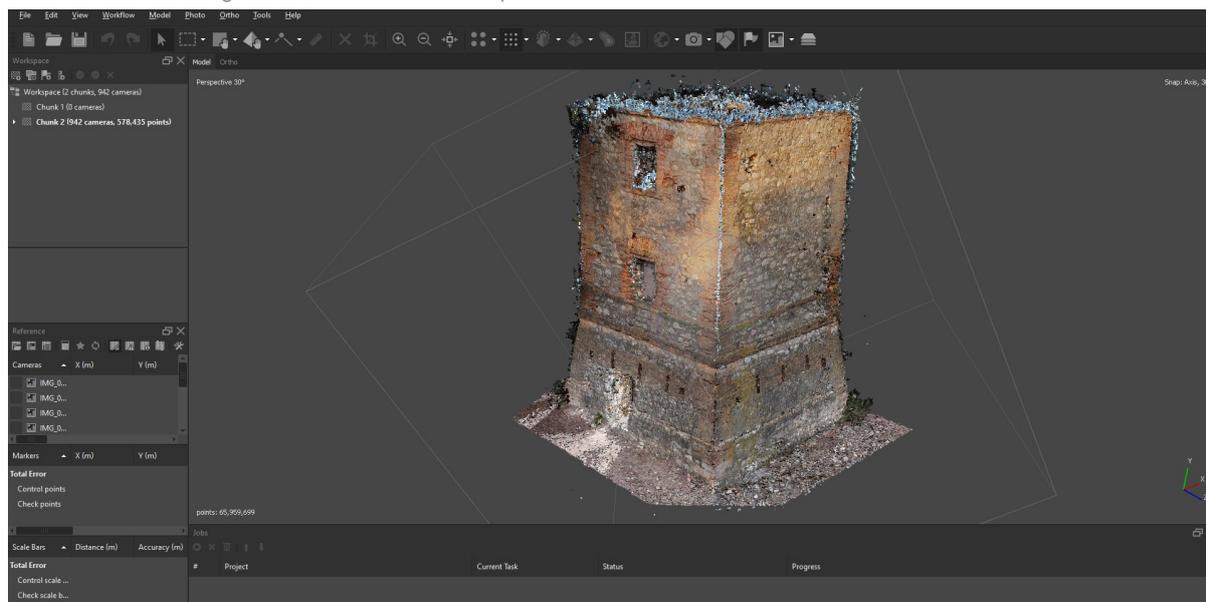


Fig. 37, Fotogrametría. Nube densa de puntos eliminando el entorno próximo.

Fuente: Bas, 2021

Al igual que en el apartado anterior se hace una limpieza del entorno próximo a la torre para reducir tiempos de carga en las posteriores fases.

## FASE 5: CONSTRUCCIÓN DE LA GEOMETRÍA

Una vez realizada la nube densa de puntos y tras su posterior limpieza se procede a la construcción de la geometría. Se indica previamente cuántas caras tendrá dicha geometría. La cantidad de caras que tendrá la geometría depende en gran medida de la capacidad y la potencia de la computadora. En este caso, tras varios intentos fallidos al construir geometrías de mayor densidad, generamos una geometría de 200.000 caras (Fig. 38 y 39).

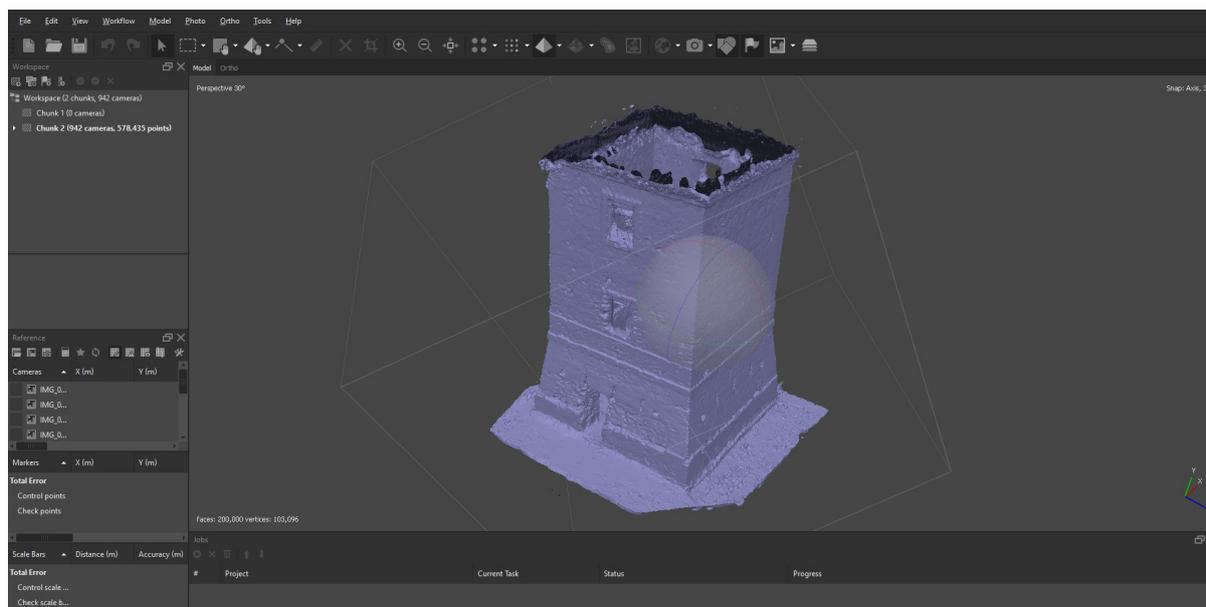


Fig. 38, Fotogrametría. Construcción de la geometría. Exterior.

Fuente: Bas, 2021

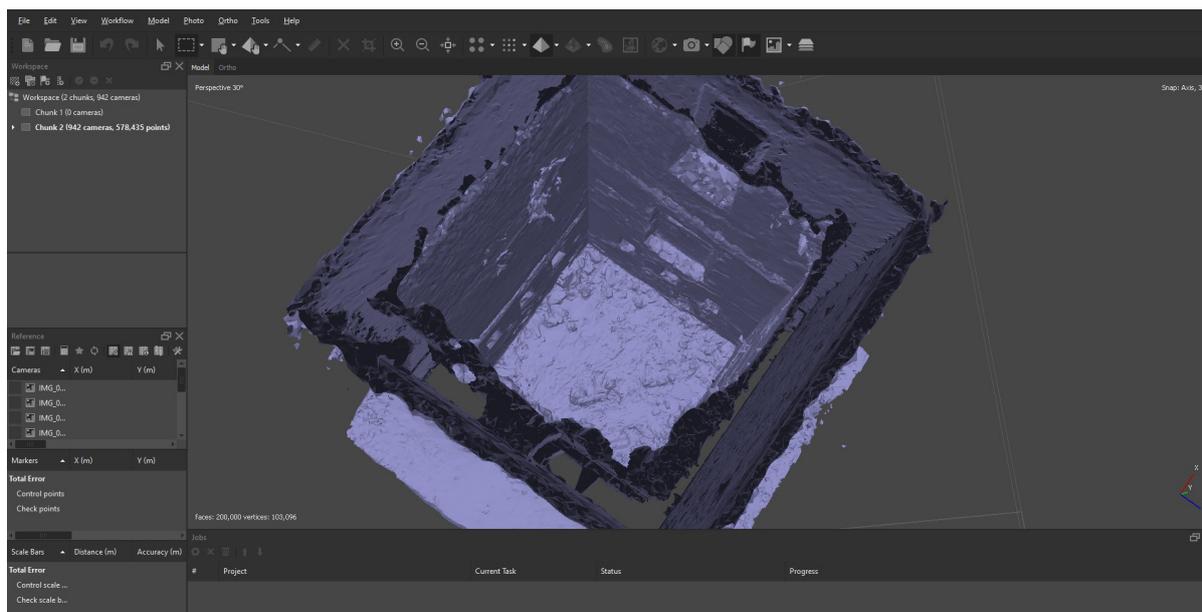


Fig. 39, Fotogrametría. Construcción de la geometría. Interior.  
Fuente: Bas, 2021

## FASE 6: CONSTRUCCIÓN DE LA TEXTURA

Por último Metashape genera la textura del modelo 3D proyectando las fotografías alineadas anteriormente sobre la geometría de la torre (Fig. 40). De nuevo se hace una última limpieza del modelo eliminando todas las caras que no deseamos (Fig. 41).

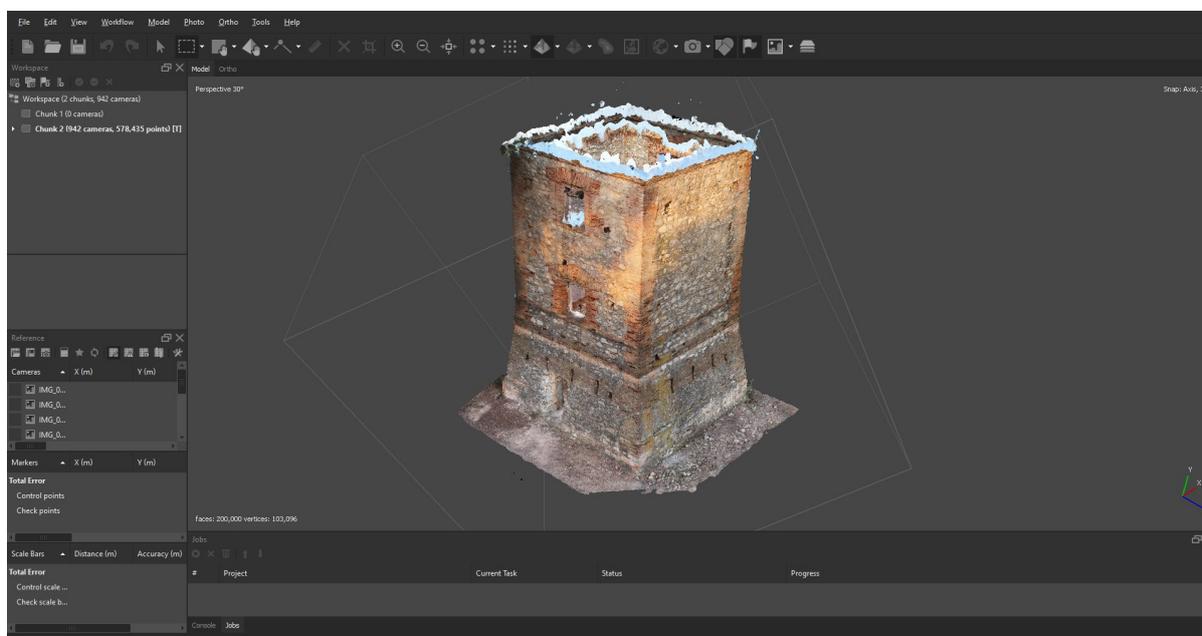


Fig. 40, Fotogrametría. Construcción de la textura.  
Fuente: Bas, 2021

## RESULTADOS

Una vez terminada la construcción de la textura se tiene el modelo fotogramétrico finalizado. El resultado es un modelo 3D con gran nivel de detalle, representando no solo la geometría general, sino también las degradaciones. Además, la textura que genera el programa muestra con fidelidad el estado actual de la torre.

A continuación, se adjuntan vistas generales, tanto del interior como del exterior de la torre (Fig. 42, 43, 44, 45, 46 y 47), así como una vista en detalle del acceso (Fig. 48), donde se aprecia la calidad de la geometría, tanto en el acceso como en la unión de las fachadas.

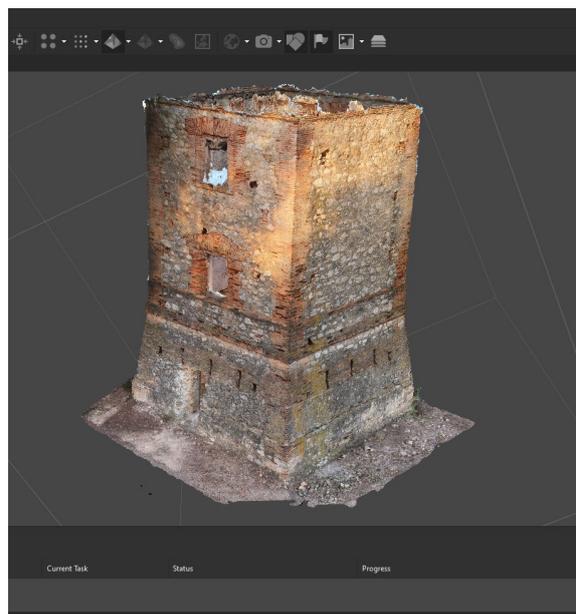


Fig. 41, Fotogrametría. Construcción de la textura. Imperfecciones eliminadas.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 42, Fotogrametría. Resultado final.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 43, Fotogrametría. Resultado final.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 44, Fotogrametría. Resultado final.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 45, Fotogrametría. Resultado final.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 46, Fotogrametría. Resultado final.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 47, Fotogrametría. Resultado final.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 48, Fotogrametría. Resultado final. Detalle del acceso.  
Fuente: Bas, 2021

## INCONVENIENTES

Dada la imposibilidad de trabajar con un dron, aparecen fallos de modelado, ya que al realizarse todas las fotografías a cota cero el software de fotogrametría no dispone de la información suficiente. Este problema se extiende a todas las partes del edificio que no se han podido plasmar en fotografías. Es el caso de los alféizares de los huecos superiores (Fig. 49) o la cara superior de los muros (Fig. 50). Puesto que el recorrido virtual de la torre actual va a realizarse a cota cero, no se verán estos fallos en dicho recorrido.



Fig. 49, Fotogrametría. Problemas de modelado en antepechos.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 50, Fotogrametría. Problemas de modelado en fachadas.  
Fuente: Bas, 2021

### 3.2.2 MODELADO 3D DE LA TORRE ORIGINAL

A continuación, se procede a realizar el modelado 3D de la torre de telegrafía original, mostrando así cómo fueron las torres durante los años en los que se utilizaron entre 1848 y 1856.

Para la realización de los planos en AutoCad, previos al modelado, se han usado principalmente los planos originales de las torres de telegrafía óptica de Mathé y del mobiliario que disponía cada torre (Fig. 10 y 11). Estos planos son propiedad del Museo Postal y Telegráfico de Madrid y han sido facilitados por dicho museo para el presente TFG.

Los planos originales están acotados y emplean el pie de burgos (o pie castellano) como unidad de medida. Se trata de una unidad de longitud tradicional, algo más pequeña que el pie romano (1 pie romano = 0,2957m), midiendo 0,278635 metros. El pie castellano tiene como submúltiplo la pulgada castellana, siendo 12 pulgadas igual a un pie.

Se han comparado las medidas de los planos con medidas realizadas en la Torre de Godelleta para confirmar que se construyó siguiendo los planos originales. Una vez confirmada esta premisa se procede al delineado de los planos para su posterior modelado 3D.

En los planos originales no están detalladas las escaleras. Pero gracias a la estratigrafía, se puede observar la ubicación de algunos de los peldaños en el muro actual de la torre (Fig. 51). Teniendo en cuenta la ubicación de estas huellas y contrahuellas y sabiendo que se empleaban escaleras de caracol se extrapolan las medidas del resto de la escalera. Del mismo modo ocurre con la ubicación, la dirección y la cantidad de vigas que hay en cada forjado. Esta información no está reflejada en los planos pero podemos observar marcas en el muro actual.



Fig. 51, Marcas de los peldaños de la escalera y las vigas de los forjados.  
Fuente: Bas, 2021

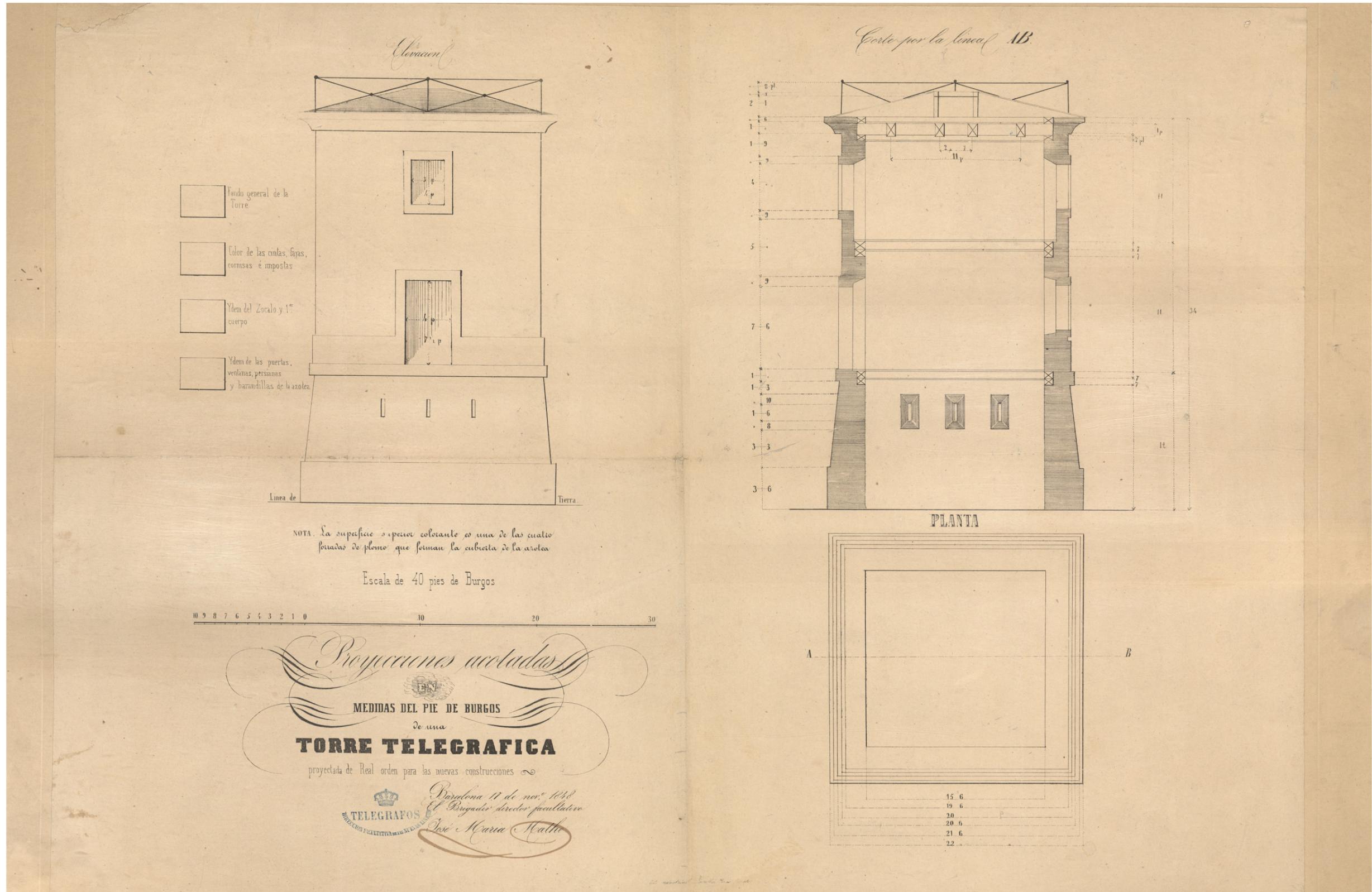
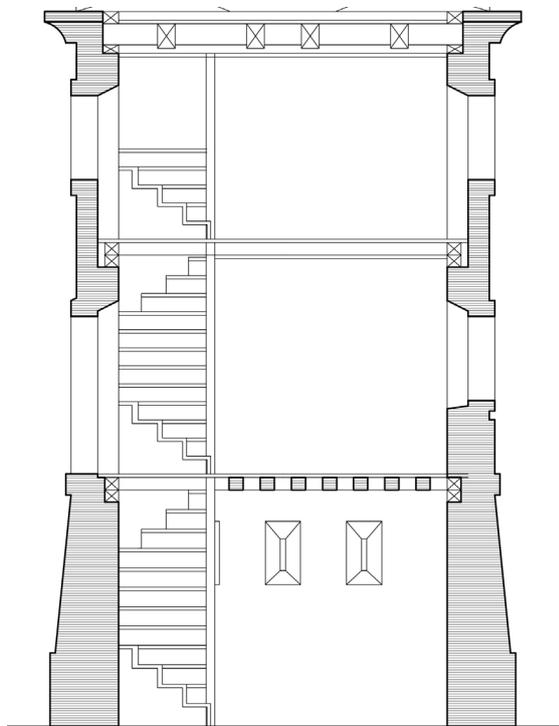


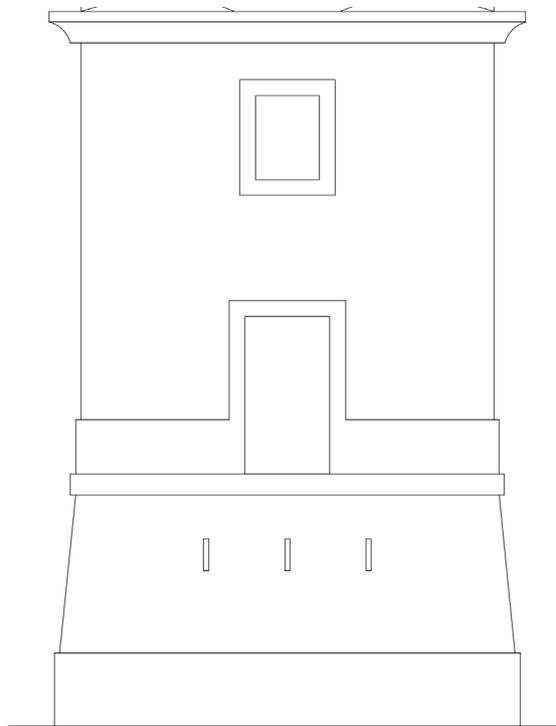
Fig. 10, Planos originales de la torre telegráfica de Mathé.  
Fuente: Museo Postal y Telegráfico. Madrid.



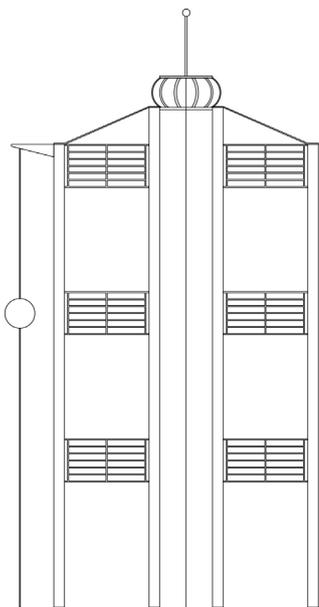
## PLANOS DE LA TORRE Y DEL TELÉGRAFO



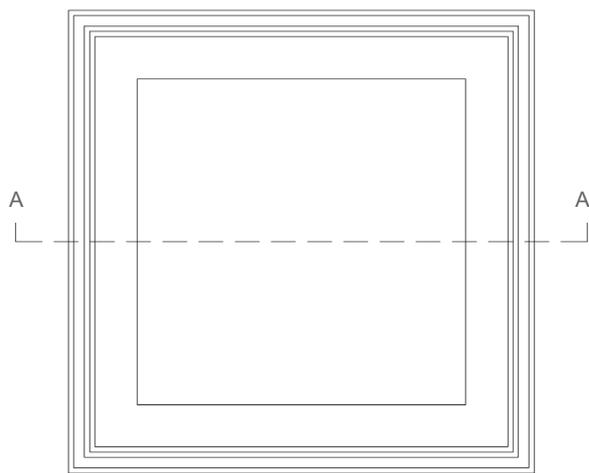
Sección A-A' E:1/100



Planta E:1/100  
Alzado principal E:1/100



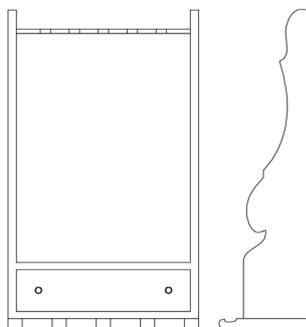
Sección A-A' E:1/100



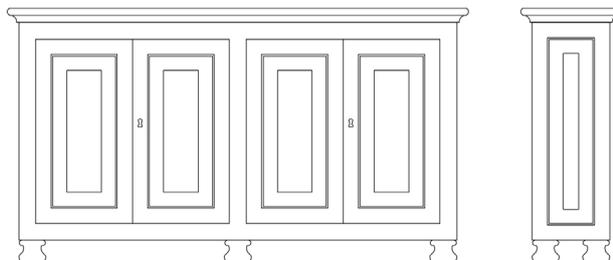
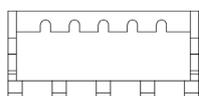
Alzado principal E:1/100

Planta E:1/100

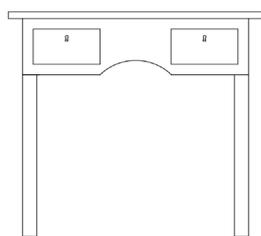
## PLANOS DEL MOBILIARIO



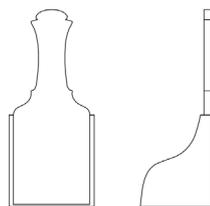
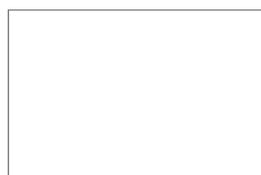
Estante para carabinas E: 1/25



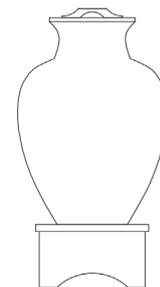
Armario E: 1/25



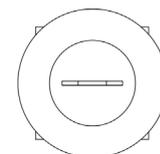
Escritorio E: 1/25



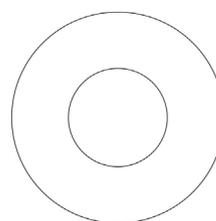
Recogedor E: 1/25



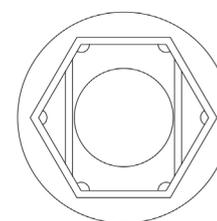
Cántaro E: 1/25



Mesa E: 1/25



Brasero E: 1/25



Una vez delineados los planos se procede al modelado 3D de la torre. Puesto que la mayoría de geometrías son sencillas, se modelan en AutoCad, tanto la torre como el mobiliario.

Se toma de referencia la restauración de la torre de telegrafía de Arganda del Rey para el modelado de determinados elementos que no se encuentran detallados en los planos originales, así como son el engranaje que acciona el telégrafo óptico o el propio telégrafo (Fig. 52, 53 y 54).



Fig. 52, Restauración de la Torre de telegrafía óptica de Arganda del Rey. Planta Baja  
Fuente: Autor desconocido. Recuperado de <http://archivo.ayto-arganda.es>



Fig. 53, Restauración de la Torre de telegrafía óptica de Arganda del Rey. Planta Primera  
Fuente: Autor desconocido. Recuperado de <http://archivo.ayto-arganda.es>



Fig. 54, Restauración de la Torre de telegrafía óptica de Arganda del Rey. Planta Segunda  
Fuente: Autor desconocido. Recuperado de <http://archivo.ayto-arganda.es>

La realidad digital al servicio del patrimonio arquitectónico.  
El caso de la torre telegráfica de Godelleta como experiencia interactiva.

RECORRIDO VIRTUAL  
MODELADO TORRE ORIGINAL

En las dos siguientes imágenes se observan los archivos de AutoCad utilizados para generar los modelos 3D de la torre y del mobiliario. Puede observarse el proceso de trabajo fase a fase hasta alcanzar el modelado final (Fig. 55 y 56).

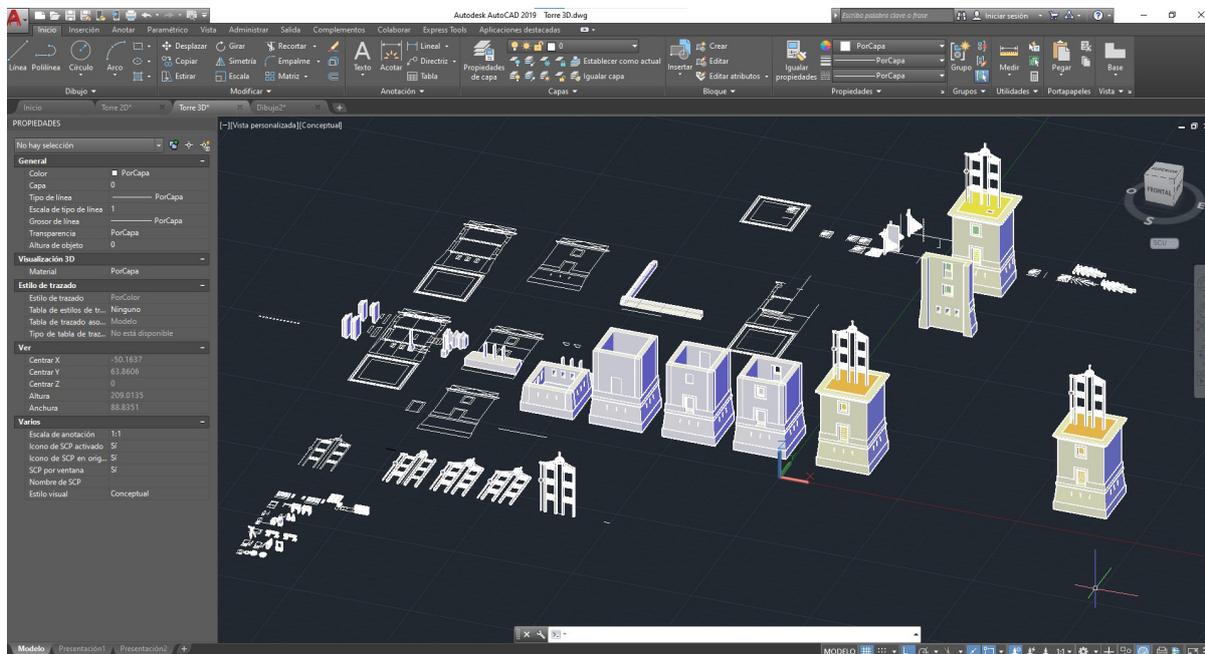


Fig. 55, Archivo de modelado 3D de la torre.

Fuente: Bas, 2021

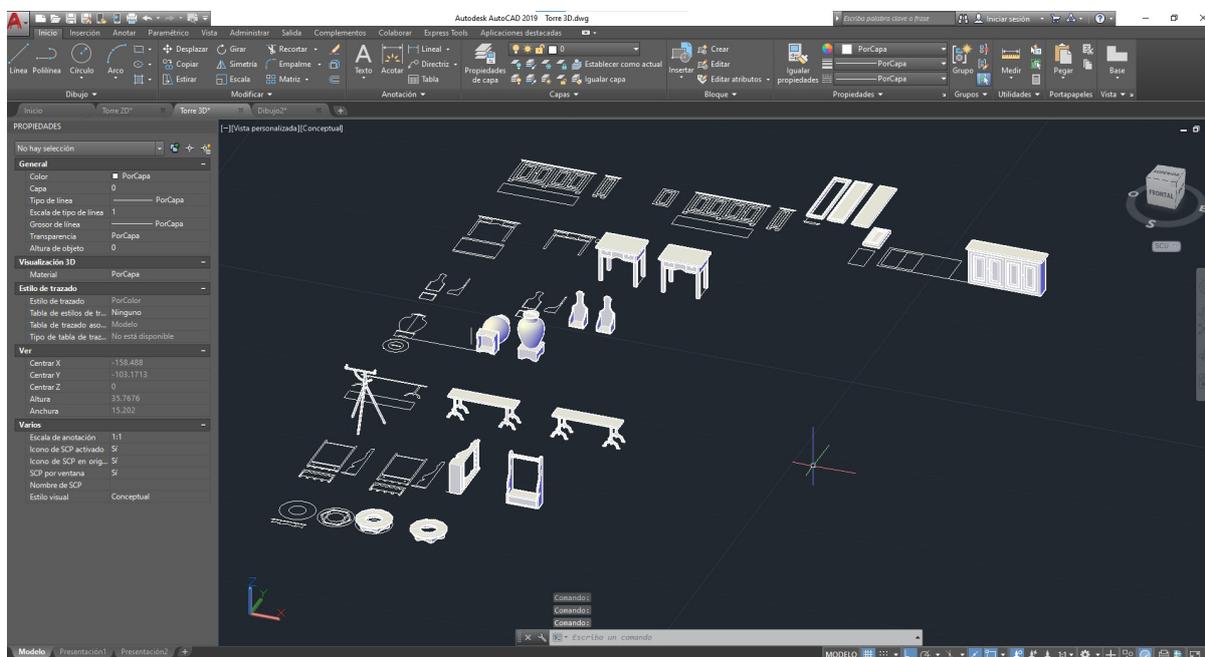


Fig. 56, Archivo de modelado 3D del mobiliario.

Fuente: Bas, 2021

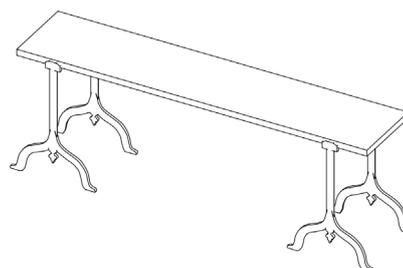
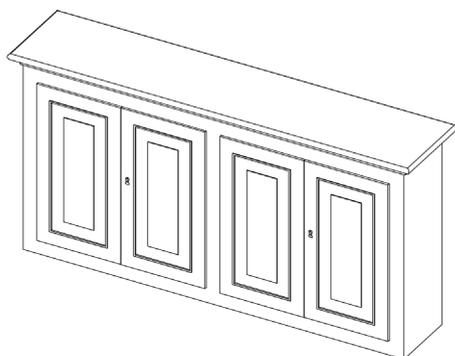
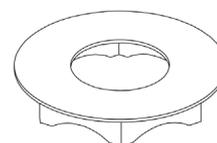
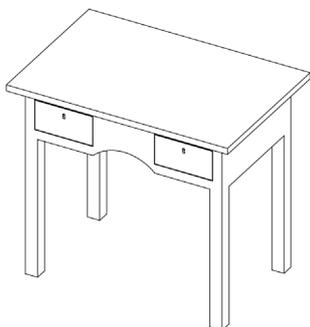
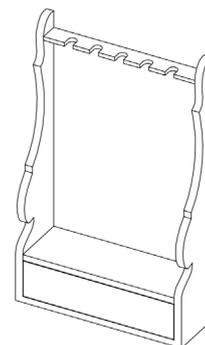
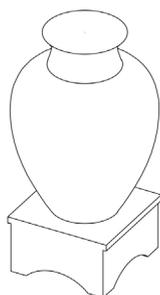
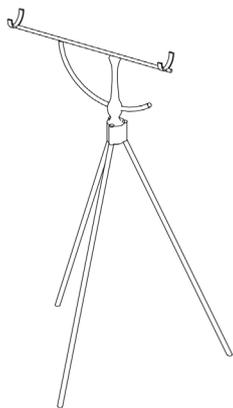
ETSA UPV. TFG Septiembre 2021.

Autor: Víctor Bas García

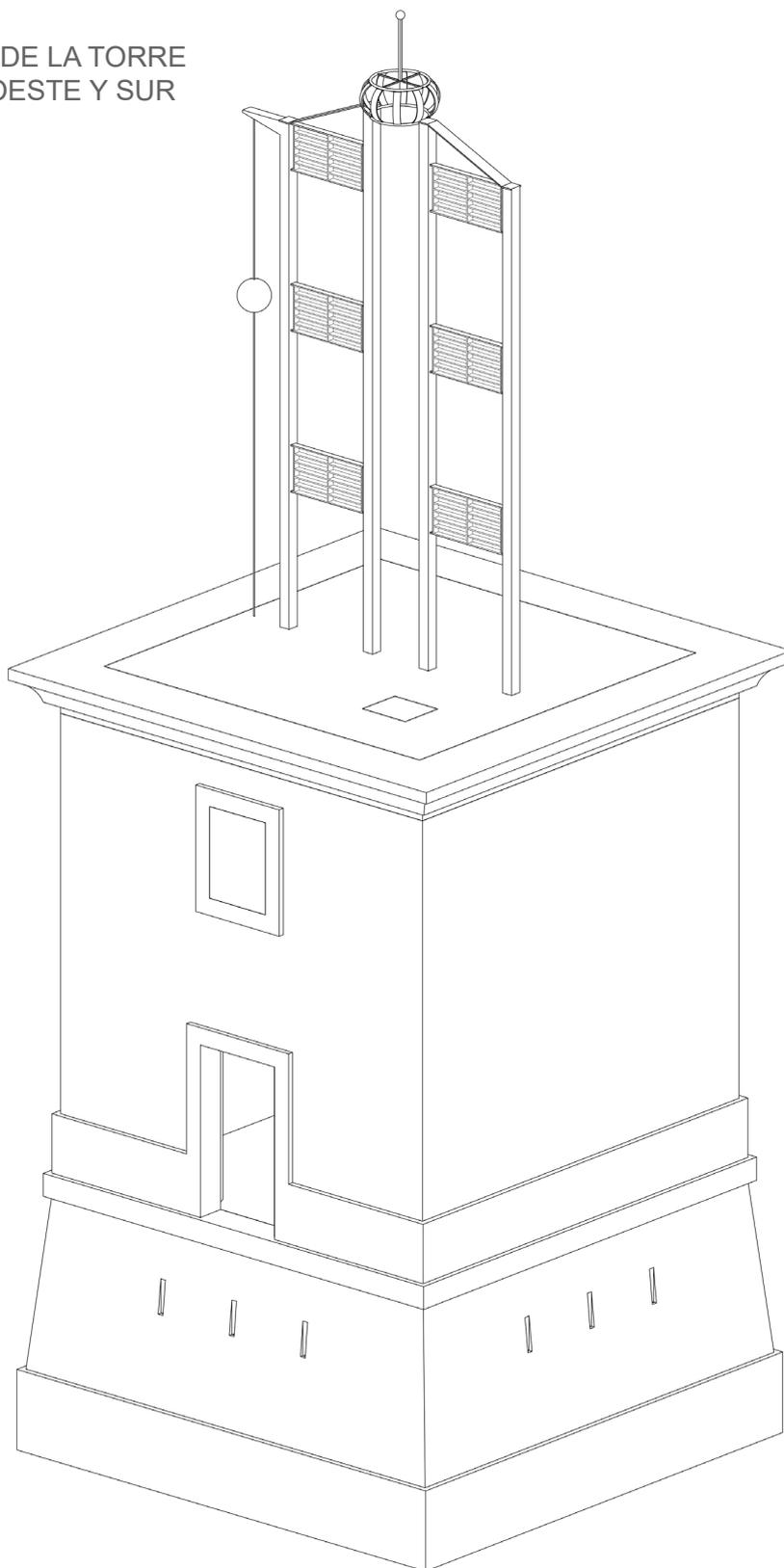
Tutores: Yolanda Hernández Navarro / Pasquale de Dato

A continuación, se muestra el resultado de la modelado 3D del mobiliario y de la torre. Se genera también una sección de la torre que permite ver el interior, mostrando la escalera, pavimento, dirección de los forjados y el mecanismo del telégrafo.

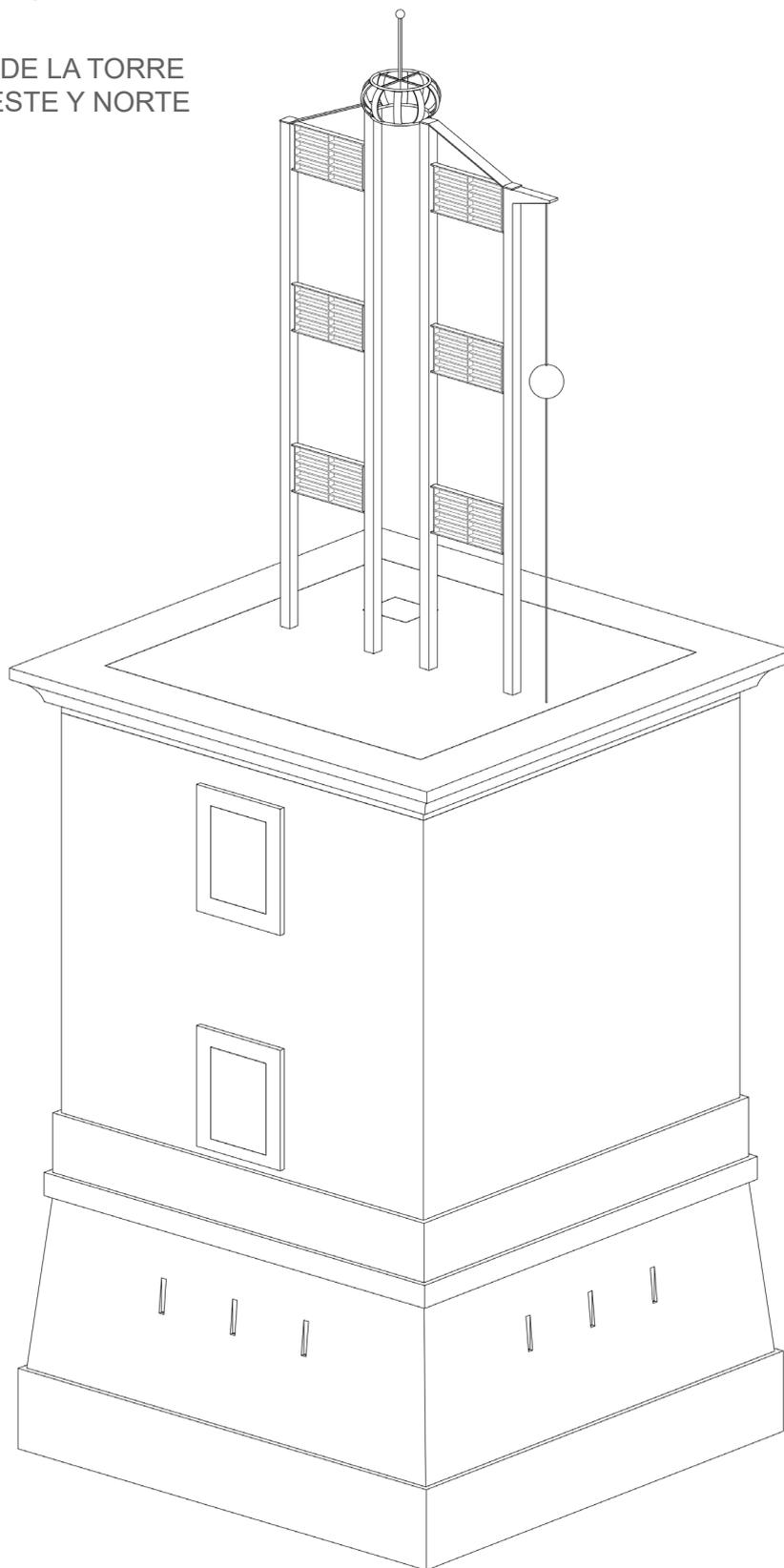
### MODELOS 3D DEL MOBILIARIO DE LA TORRE



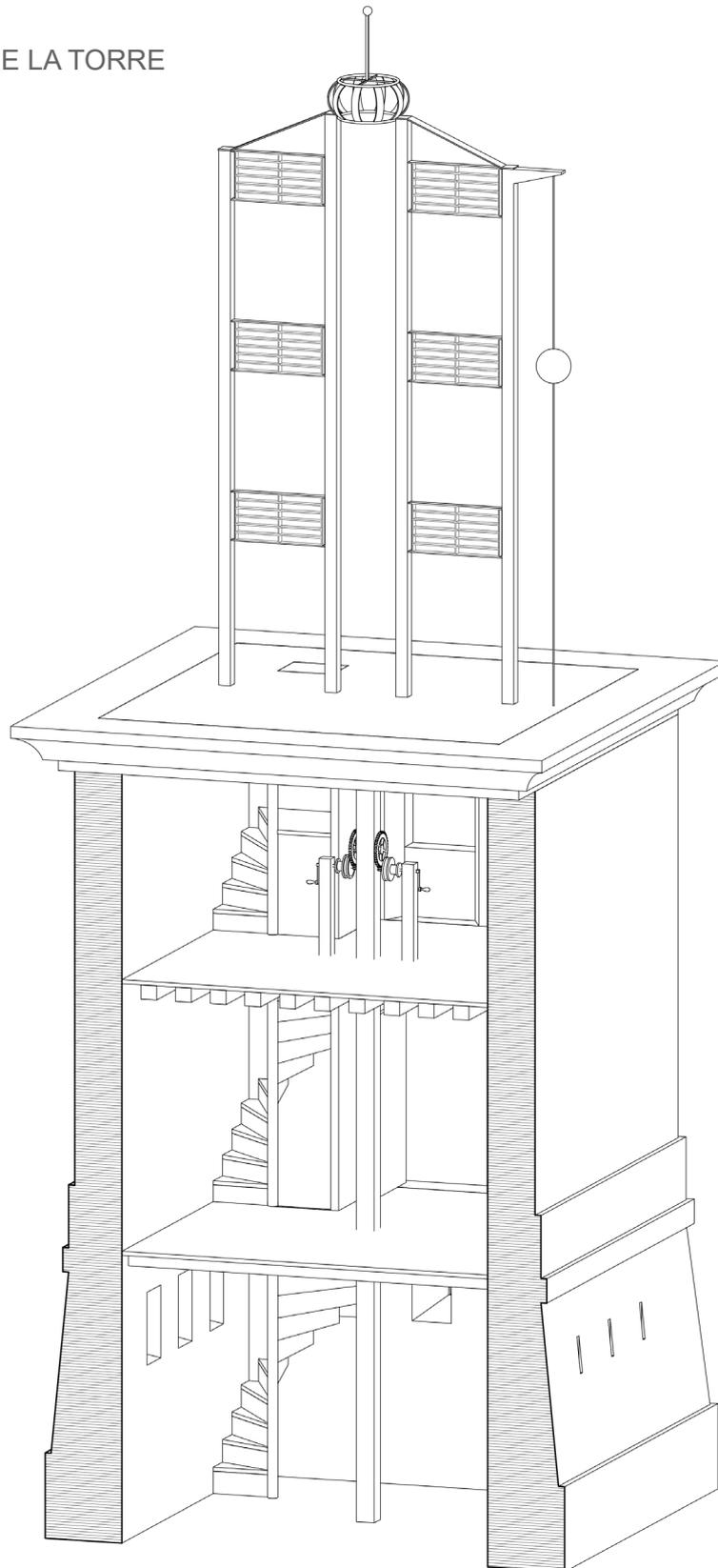
**MODELO 3D DE LA TORRE**  
**FACHADAS OESTE Y SUR**



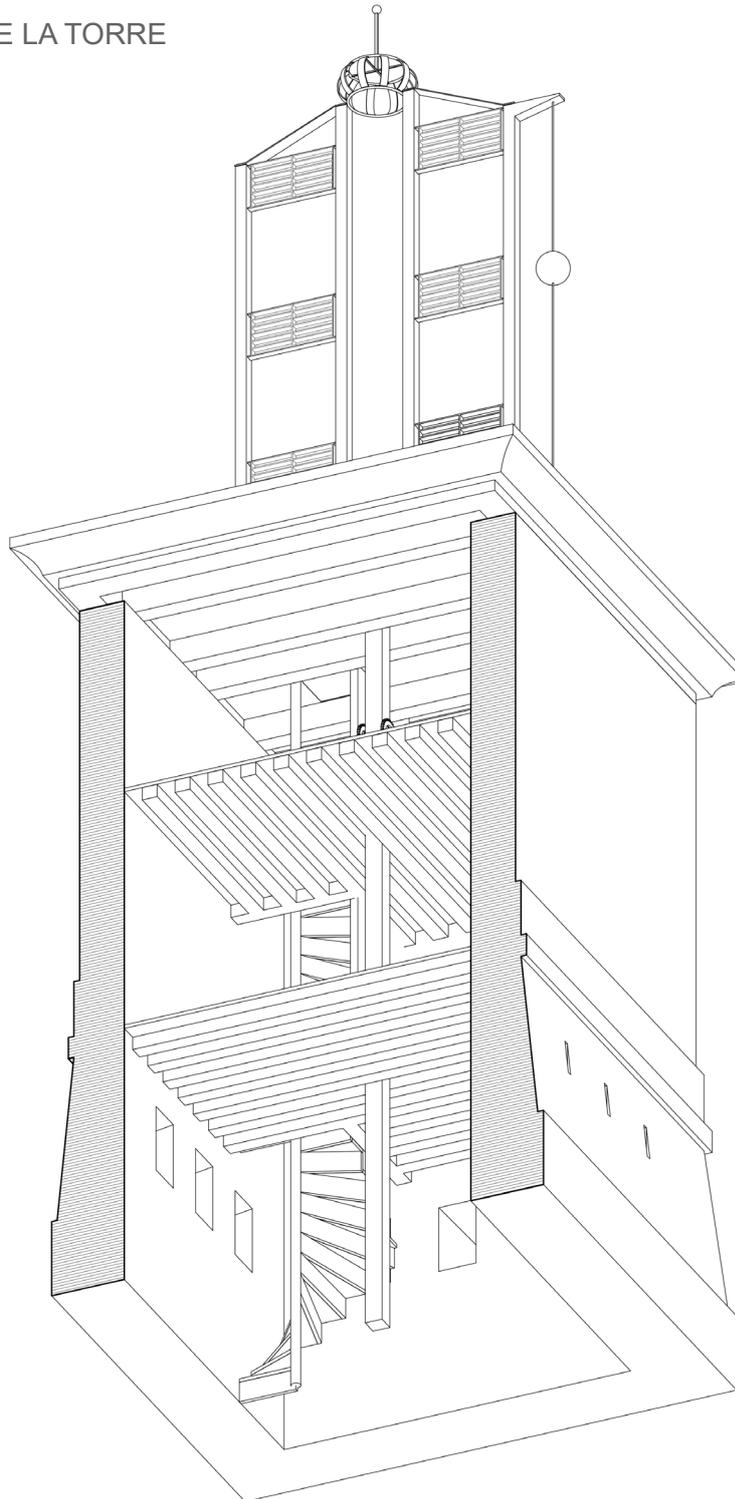
**MODELO 3D DE LA TORRE**  
**FACHADAS ESTE Y NORTE**



**MODELO 3D DE LA TORRE**  
**SECCIÓN**



**MODELO 3D DE LA TORRE  
FORJADOS**



Para finalizar, se ha importado el modelo de la torre en Blender, ya que en AutoCad conseguimos aristas demasiado perfectas y la torre original, hecha principalmente con mampostería y enfocada con una veladura muy fina, tenía más irregularidades que las que muestran las axonometrías anteriores.

Blender es un programa de modelado, iluminación, renderizado y animación que entre sus muchas otras opciones permite esculpir modelos 3D mediante pinceles que estiran, hunden, rellenan, amplían, aplican texturas a una superficie, etc (Fig. 57).



Fig. 57, Técnica de esculpido mediante Blender  
Fuente: Autor desconocido. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=4mu7bH9Oj1s>

Para poder aplicar la textura de enfoscado y dotar de cierta irregularidad a las fachadas se debe aumentar previamente el número de caras del modelo. Esto lo conseguimos mediante un modificador de Blender llamado "Remesh". Este modificador, mediante inteligencia artificial, aumenta el número de polígonos del modelo generando una malla mucho más densa. Se consigue así suavizar los vértices ortogonales dotando de mayor realismo al modelo (Fig. 58 y 59). Se aplica por lo tanto el "Remesh" tanto a la fachada, como a las vigas del forjado, pavimento, etc.

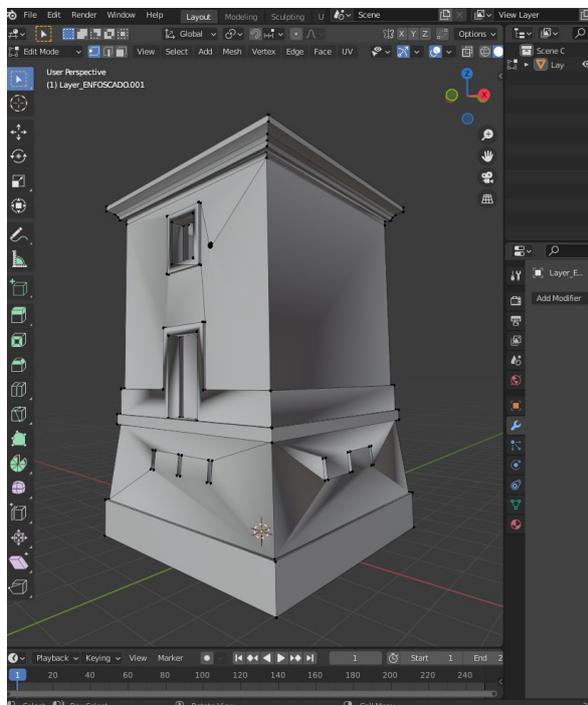


Fig. 58, Polígonos del modelo 3D previo a la aplicación del "Remesh"

Fuente: Bas, 2021

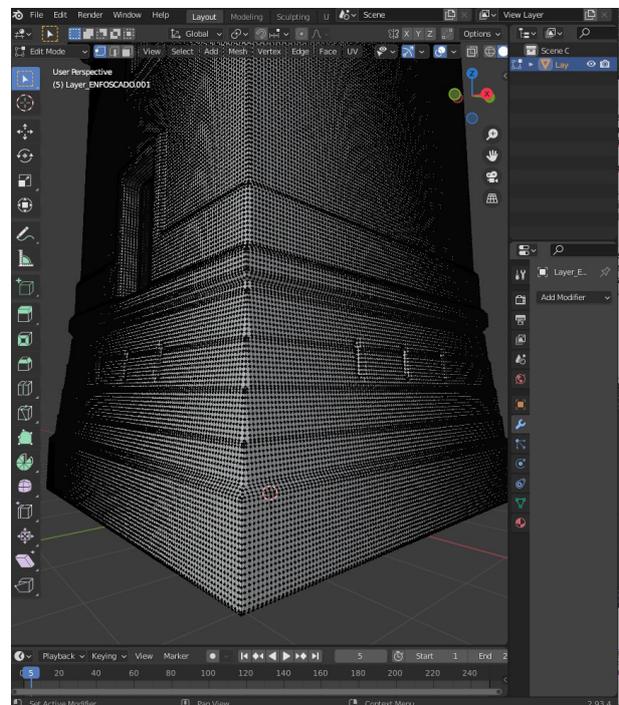


Fig. 59, Polígonos del modelo 3D posterior a la aplicación del "Remesh"

Fuente: Bas, 2021

Una vez disponemos de un modelo con más densidad de polígonos, y por lo tanto, con más calidad, se procede a aplicar la textura de mampostería a los muros de fachada. Esto se realiza aplicándole una textura a los pinceles de esculpido nombrados anteriormente. En este caso se emplea una textura de mampostería (Fig. 60 y 61). Finalizado este proceso, el modelado de la torre original ha concluido y por lo tanto se procede a exportar la torre para su futura aplicación en Unreal Engine.

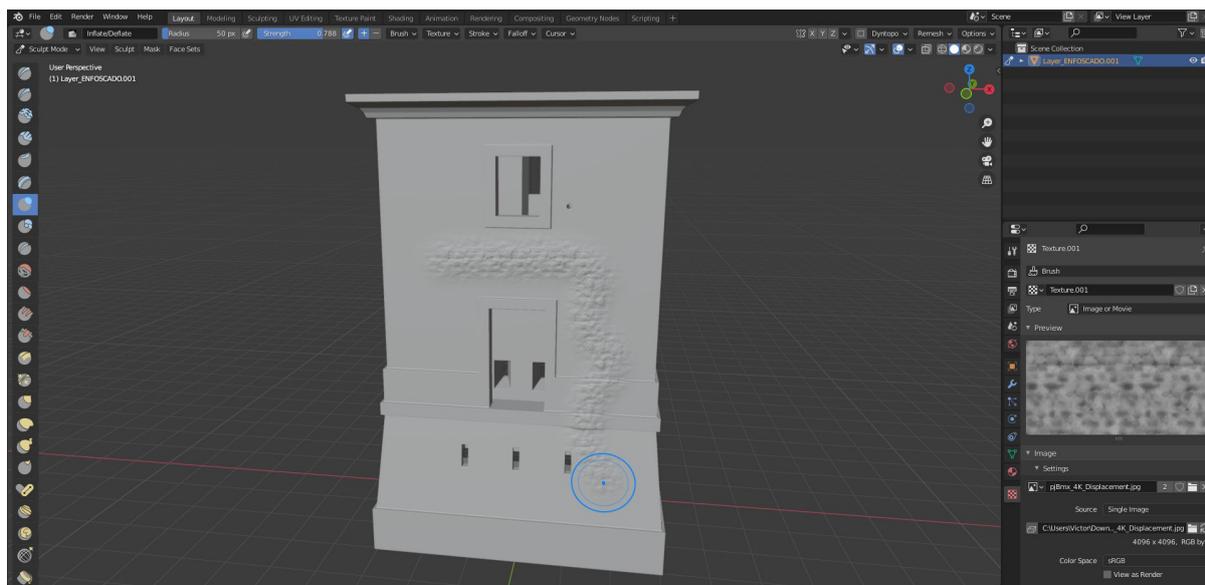


Fig. 60, Texturizado mediante el pincel de esculpido.  
Fuente: Bas, 2021

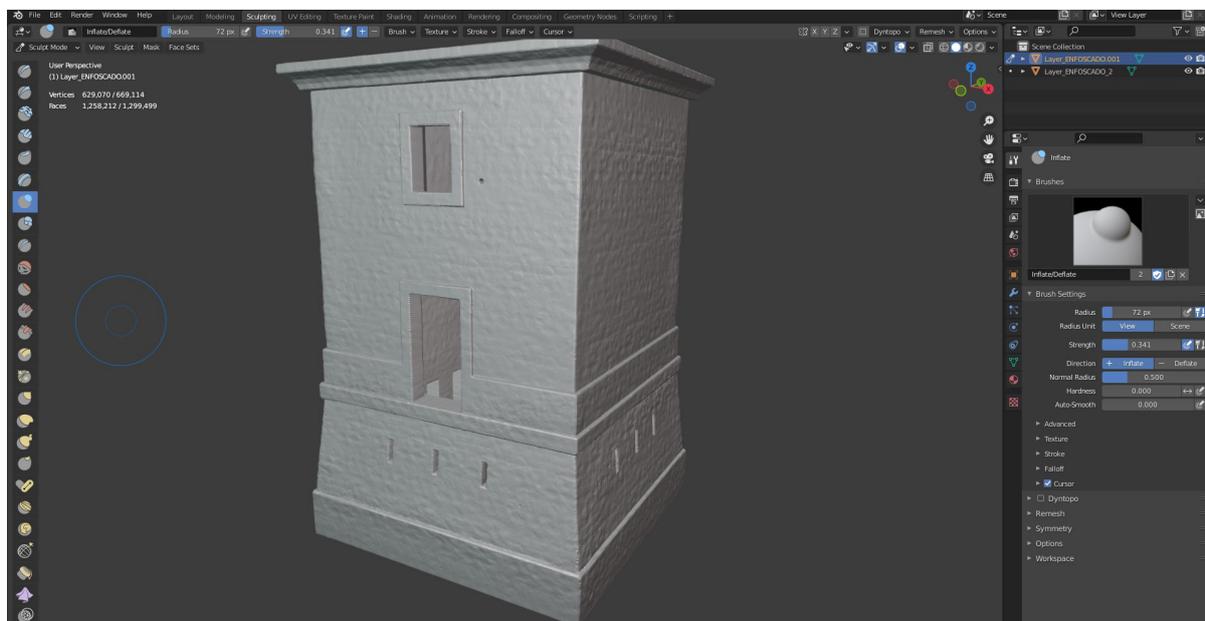


Fig. 61, Modelado 3D definitivo de la torre de telegrafía óptica.  
Fuente: Bas, 2021

### 3.2.2 CREACIÓN DEL RECORRIDO VIRTUAL MEDIANTE UNREAL ENGINE 4.

Unreal Engine es uno de los motores de videojuegos más utilizado en la actualidad. Dispone de todas las herramientas necesarias para crear un juego o simulación, como son la edición de vídeo, estudio de sonido, escritura de código, renderización, etc.

Unreal Engine se creó en 1998 y desde entonces se han creado 4 versiones (actualmente están trabajando en la quinta, de la cual hay ya una fase beta disponible). Se trata de un programa completamente gratuito y sólo si se comercializa un juego diseñado mediante Unreal Engine y supera los 3000\$ debe pagarse un 5% de las ganancias.

Unreal Engine se ha desarrollado a tal nivel que actualmente este programa también es utilizado en ámbitos como la arquitectura, la medicina, la realidad virtual, la aeronáutica o incluso el cine.

Se ha optado por desarrollar el recorrido virtual de la torre de telegrafía óptica de Godelleta con Unreal Engine 4 debido a su gran versatilidad y a las facilidades que este programa aporta para la realización de un recorrido de estas características. Además, siendo un programa tan utilizado en todo el mundo disponemos de mucha información para resolver cualquier duda o contratiempo, ya sea en foros, tutoriales, cursos online, etc.

Además, siendo un programa gratuito, dispone de una tienda oficial en la que encontramos archivos de alta calidad de materiales y modelos 3D de forma completamente gratuita.

En este apartado se muestran todas las fases que han requerido la realización del recorrido virtual, comenzando por la elección del “template”, que nos facilita Unreal Engine 4, con una breve explicación de la interfaz del programa, la importación de los modelos 3D de la torre original y la actual, la programación requerida para el intercambio entre dichas torres, la generación de colisiones, creación del entorno, aplicación de materiales e iluminación.

Para agilizar y evitar confusiones, nos referiremos en adelante como “torre actual” al modelo realizado con fotogrametría y “torre original” al modelo de la torre que muestra su estado original en el momento de su construcción.

## FASE 1: ELECCIÓN Y LIMPIEZA DEL “TEMPLATE”

Unreal Engine 4 dispone de varios “templates” a la hora de comenzar un proyecto. Estos “templates” son sencillamente unas plantillas de trabajo que facilitan el inicio del proyecto dependiendo de cómo vayas a orientarlo y de tus necesidades. UE4 distingue cuatro categorías (Juegos, cine, arquitectura y diseño de productos) y dentro de cada categoría encontramos diferentes “templates”.

Para la realización del recorrido virtual se ha escogido el “template” “First Person”, dentro de la categoría de videojuegos. (Fig. 62)

En este “template” el programa facilita un personaje (representado por dos brazos y un arma) que se ve desde la perspectiva de primera persona. Una vez abierto el template se encuentra un entorno conformado por un suelo, cubos, paredes y en el centro de la escena el personaje (Fig. 63 y 64).



Fig. 62, Selección de “Templates” en Unreal Engine 4.  
Fuente: Bas, 2021

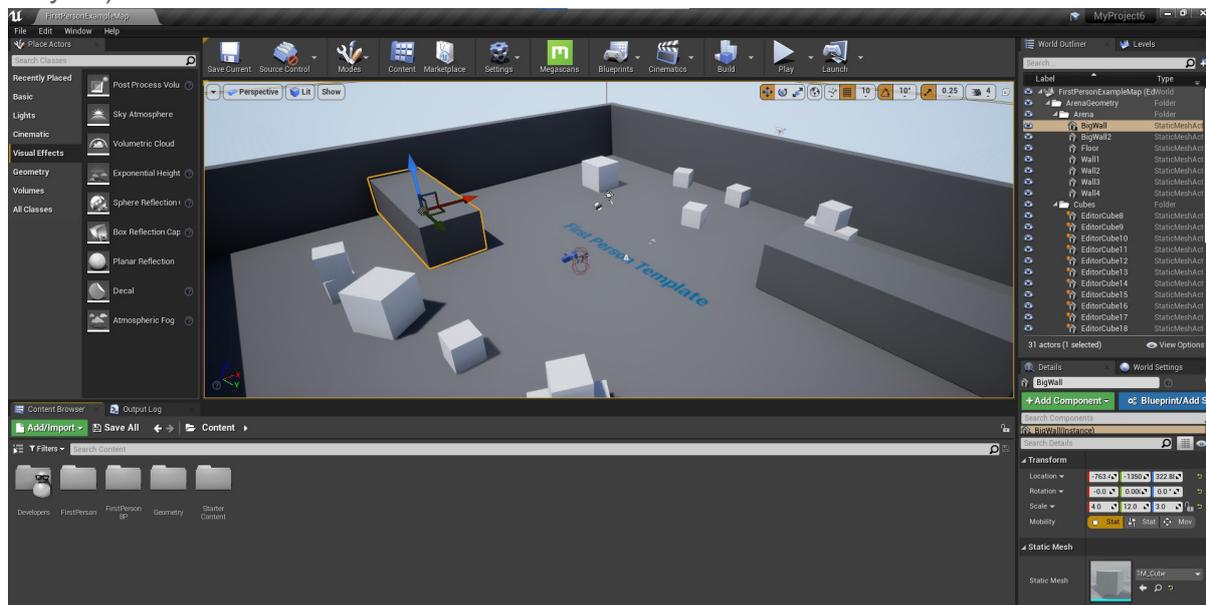


Fig. 63, “Template” “First Person” en Unreal Engine 4.  
Fuente: Bas, 2021

En cuanto a la interfaz se diferencian principalmente seis zonas (Fig. 63). En el panel de la izquierda se encuentran una serie de elementos que podemos incorporar a nuestra escena, como son geometrías básicas, luces, escaleras, etc. En el panel inferior están ubicados todos los archivos que se van cargando e importando en el proyecto, como pueden ser materiales, imágenes, modelos 3D, personajes, etc. Desde este panel se incorporan los elementos a la escena.

El panel inferior derecho muestra las características del objeto que se haya seleccionado, como pueden ser su posición, escala, rotación, ajustes de iluminación, renderizado, etc. A continuación, el panel superior derecho muestra los elementos ubicados en la escena en una lista, pudiendo agrupar diferentes elementos, apagarlos, bloquearlos, etc. Dentro de este mismo panel se encuentran los niveles, los cuales se explicarán brevemente en la “Fase 4: Programación” dentro de este TFG.

La zona central es el área de trabajo principal, desde donde se modifica todo lo necesario dentro de la escena y, por último, en el panel superior hay una serie de herramientas, dentro de las cuales cabe destacar la herramienta “Build”, que es la que calcula las luces en la escena y la herramienta “Play”. Una vez seleccionada esta última herramienta se accede a la vista en primera persona, permitiendo desplazarse dentro de la escena como si de un videojuego se tratara.

Una vez abierta la plantilla de primera persona se procede a la limpieza de la escena, borrando los cubos y las paredes que vienen por defecto. Posteriormente se accede a la configuración del personaje de primera persona para eliminar los brazos, armas y todo aquello que no nos interesa para generar nuestro recorrido virtual (Fig. 65 y 66). Se preserva únicamente la geometría de colisión del personaje (la cual impide que el personaje atravesase objetos) y la cámara, que es el punto de vista al que se accede cuando seleccionamos la herramienta “Play”.

Cabe destacar que el propio personaje de primera persona cuenta con una programación de serie que permite el movimiento del personaje con las teclas “W” (Delante), “A” (Izquierda), “S” (Detrás), “D” (Derecha), y con el desplazamiento del ratón se controla la orientación de la cámara, pudiendo “mirar” en cualquier dirección. Esta programación se ha preservado y de esta forma se utilizan estos controles para el desplazamiento dentro del recorrido virtual (Fig. 67).

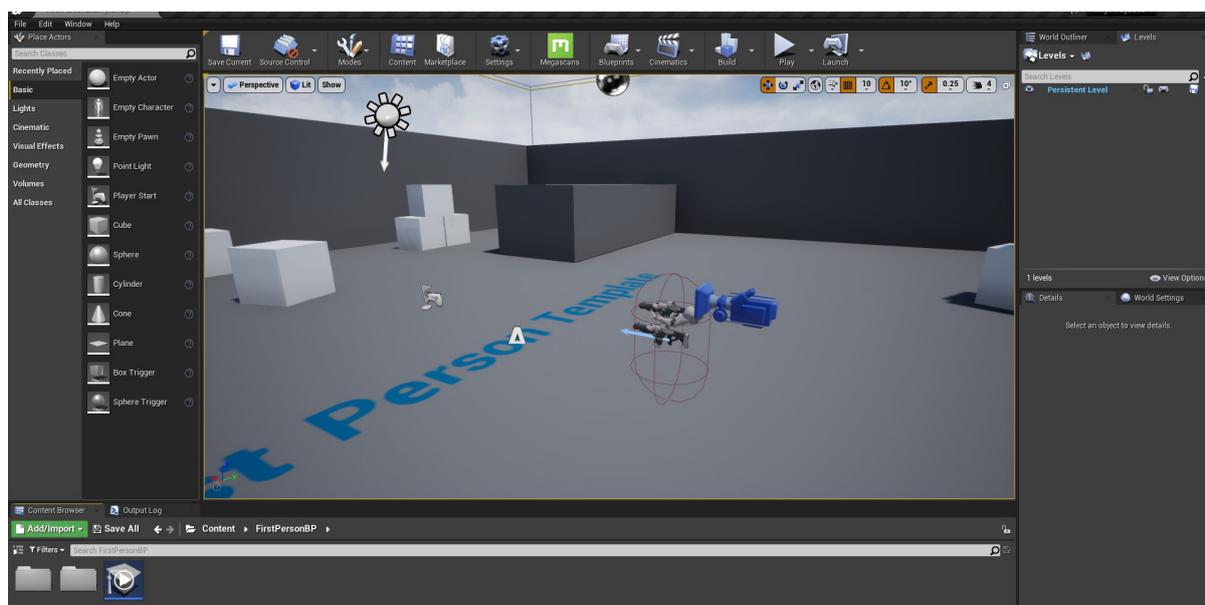


Fig. 64, Personaje en primera persona.

Fuente: Bas, 2021

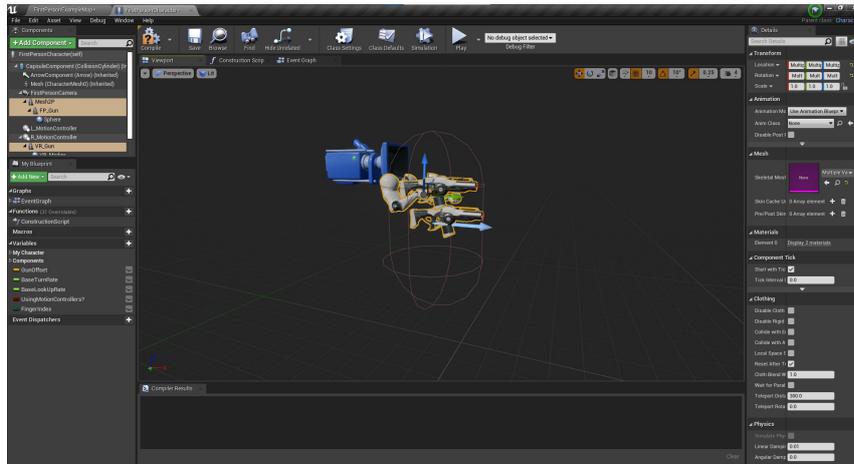


Fig. 65, Personaje de primera persona  
Fuente: Bas, 2021

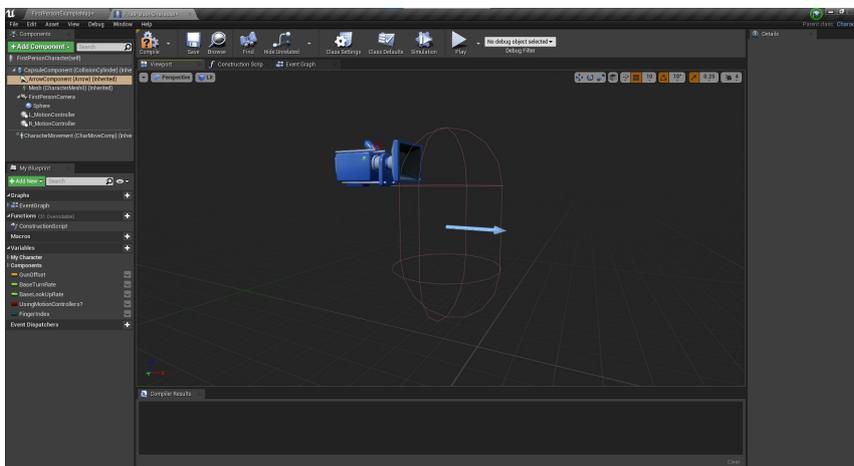


Fig. 66, Personaje de primera persona editado,  
Fuente: Bas, 2021

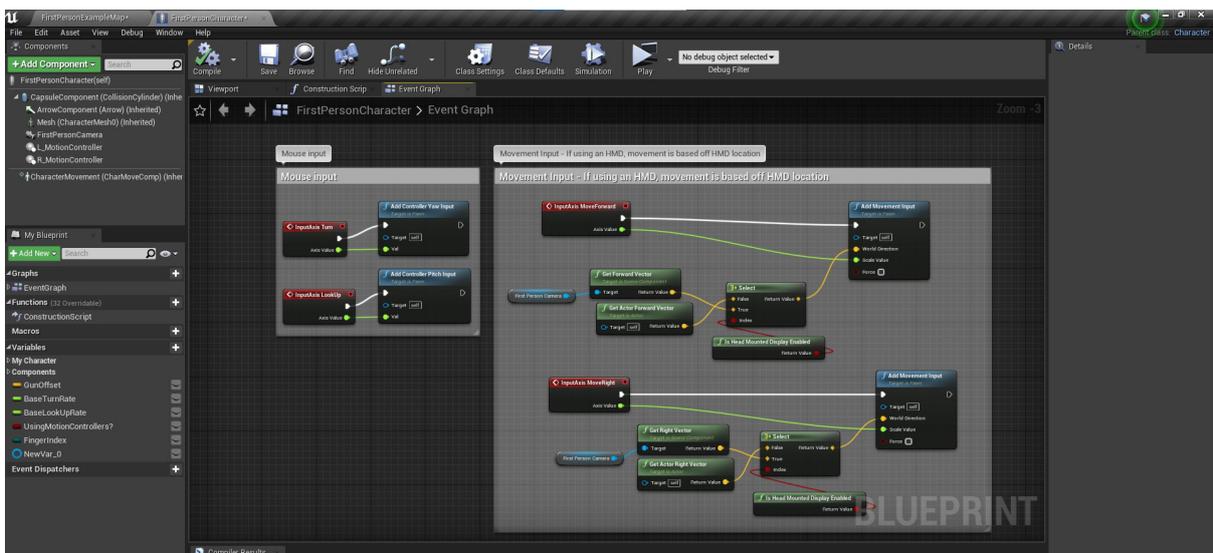


Fig. 67, Programación del personaje en primera persona. El grupo de la izquierda permite el movimiento del ratón y el de la derecha el desplazamiento del personaje mediante las teclas W, A, S, D.  
Fuente: Bas, 2021

A continuación, se muestra la perspectiva en primera persona a la que se accede al activar la herramienta "Play", antes y después de la limpieza del personaje (Fig. 68 y 69).

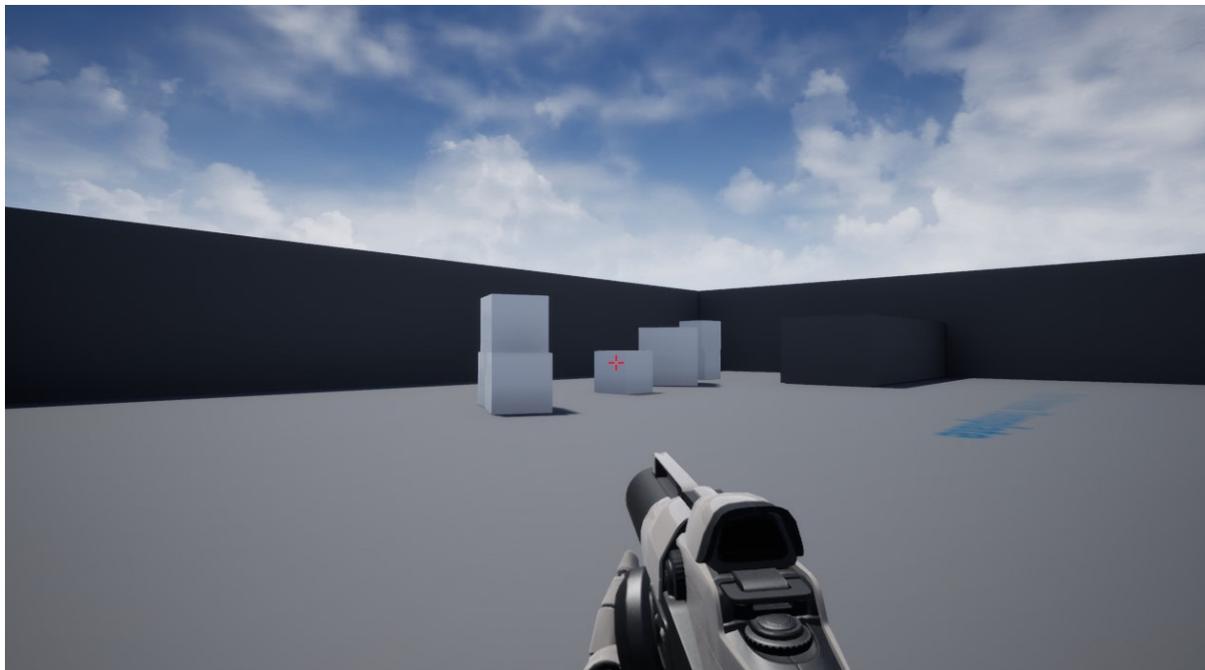


Fig. 68, Visual en primera persona tras seleccionar la herramienta "Play" con los ajustes por defecto del "template"  
Fuente: Bas, 2021

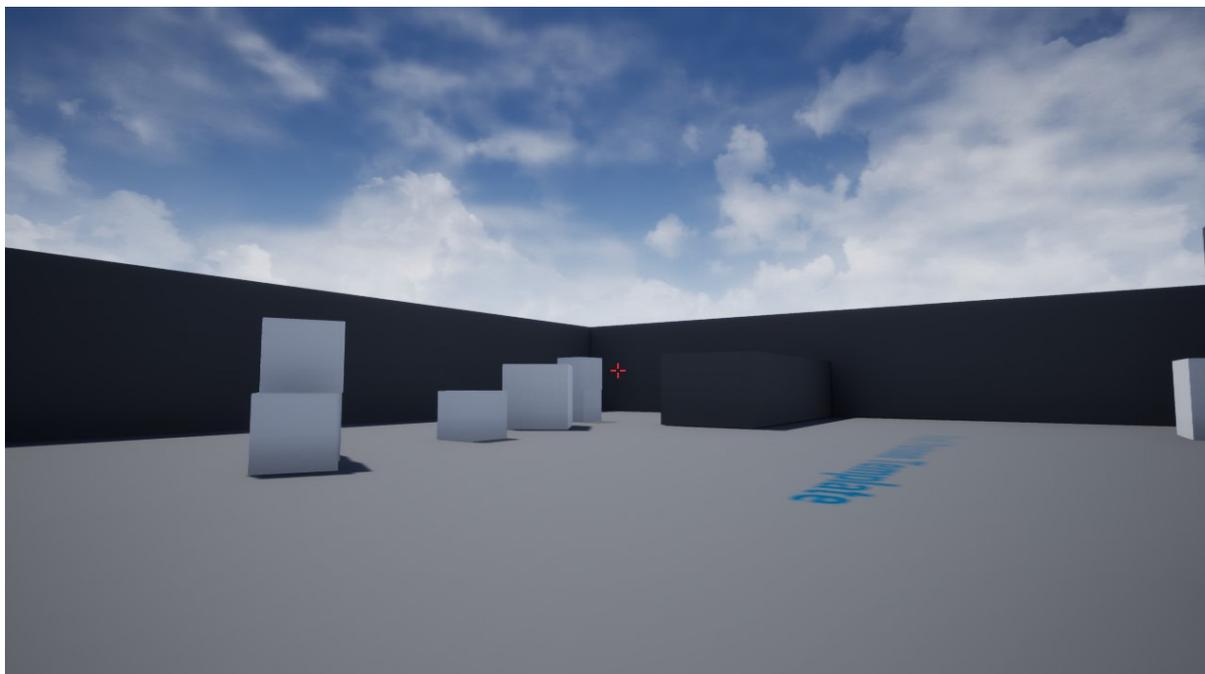


Fig. 69, Visual en primera persona tras haber eliminado el arma y los brazos del personaje  
Fuente: Bas, 2021

## FASE 2: IMPORTACIÓN DE LOS MODELOS 3D

Una vez limpia la plantilla de trabajo, se procede a la importación de los modelos 3D de las torres. Tanto el modelo generado mediante fotogrametría de la torre en su estado actual, como el modificado en Blender de la torre original.

El modelo de la torre actual, generado mediante fotogrametría, no tiene la escala ni la inclinación adecuadas, por lo tanto, se Importa previamente en el programa 3DMax para ajustar la escala, inclinación y la ubicación del modelo, centrándolo en las coordenadas X, Y, Z = 0. Una vez finalizado este proceso se exporta el modelo en un archivo “.fbx”.

Se importa el archivo “.fbx” en UE4, desde el panel inferior de la interfaz, y se ubica en el centro de la escena (Fig. 70). Como podemos observar en la imagen, el modelo cuenta con la textura que ha generado el programa de fotogrametría Metashape. En el panel inferior podemos apreciar que se han importado el “.jpg” de la textura, el material y el modelo 3D.

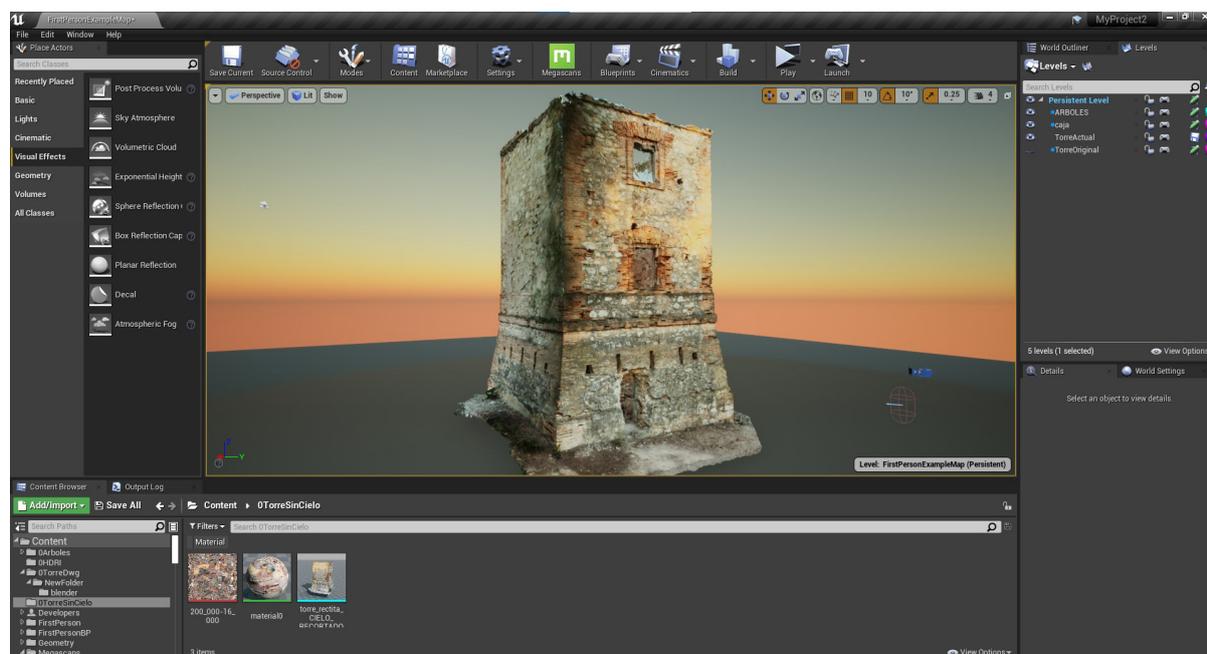


Fig. 70. Importación del modelo de la torre actual  
Fuente: Bas, 2021

A continuación, se importa el modelo 3D de la torre original, el cual se ha exportado desde Blender en un archivo “.fbx”. El modelo se importa dividido en diferentes grupos de modelado, como podemos observar en el panel inferior de la interfaz. Estos grupos se dividen según la capa de AutoCad en la que estuviera. Se ha hecho una capa para cada material, para así poder aplicarlos posteriormente por separado. Una vez importado, seleccionamos todos estos grupos simultáneamente y los arrastramos a la escena para incorporarlos a ella (Fig. 71 y 72).

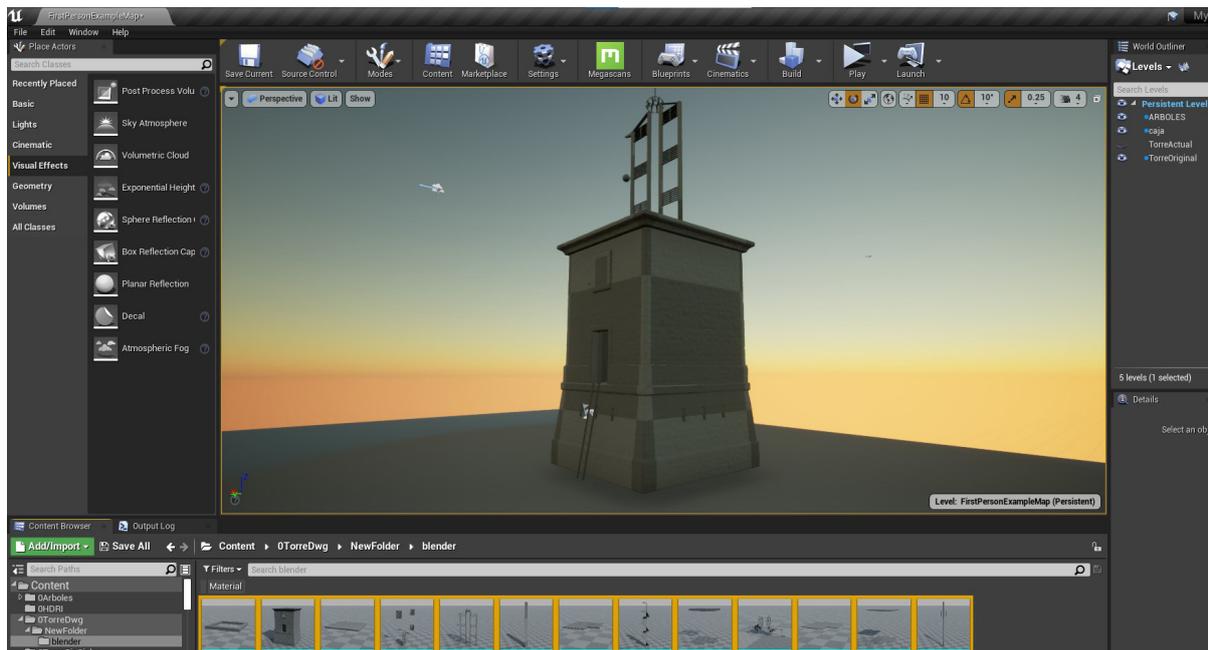


Fig. 71, Importación del modelo de la torre original. Exterior  
Fuente: Bas, 2021

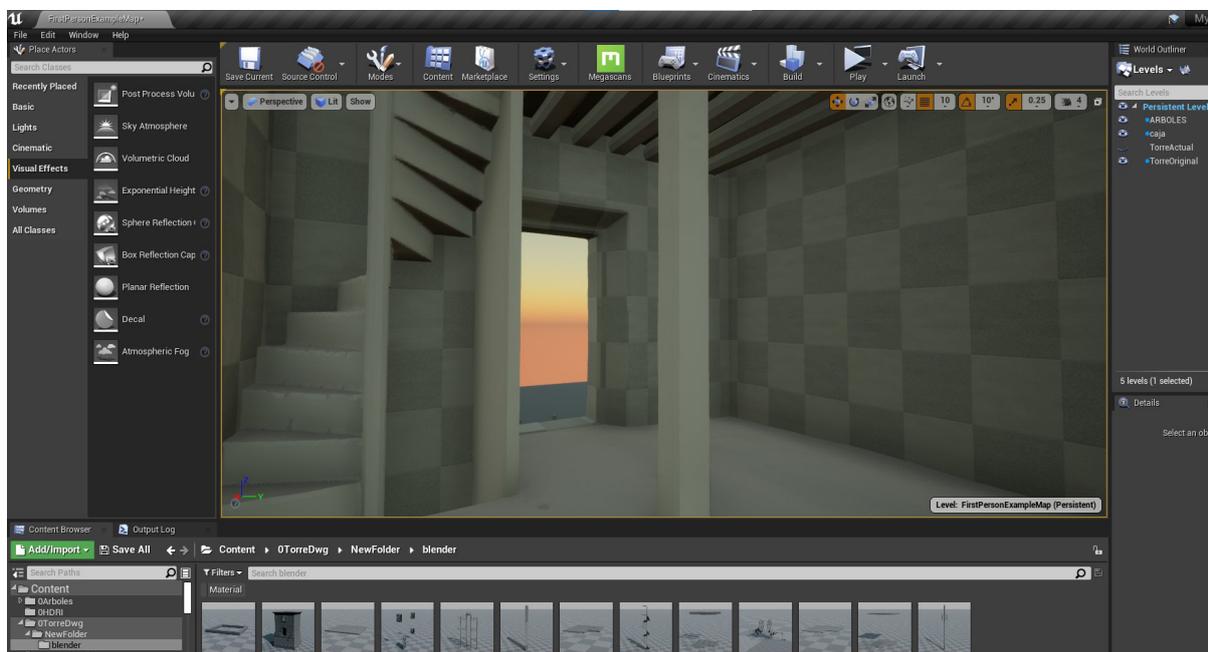


Fig. 72, Importación del modelo de la torre original. Interior  
Fuente: Bas, 2021

El siguiente paso a seguir consiste en solapar la ubicación del modelo de la torre actual con el de la torre original (Fig. 73 y 74). En la próxima fase se programa el intercambio entre estas torres, de forma que se pueda ver únicamente una u otra presionando una tecla.

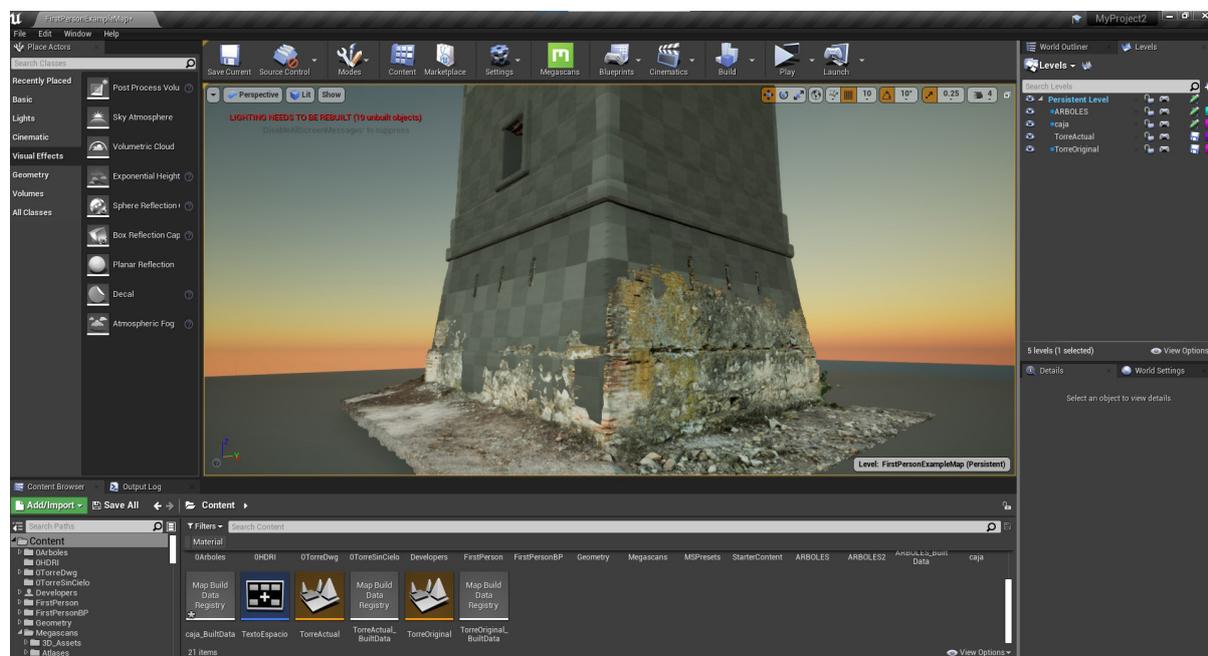


Fig. 73, Solapamiento de los dos modelos. Exterior  
Fuente: Bas, 2021

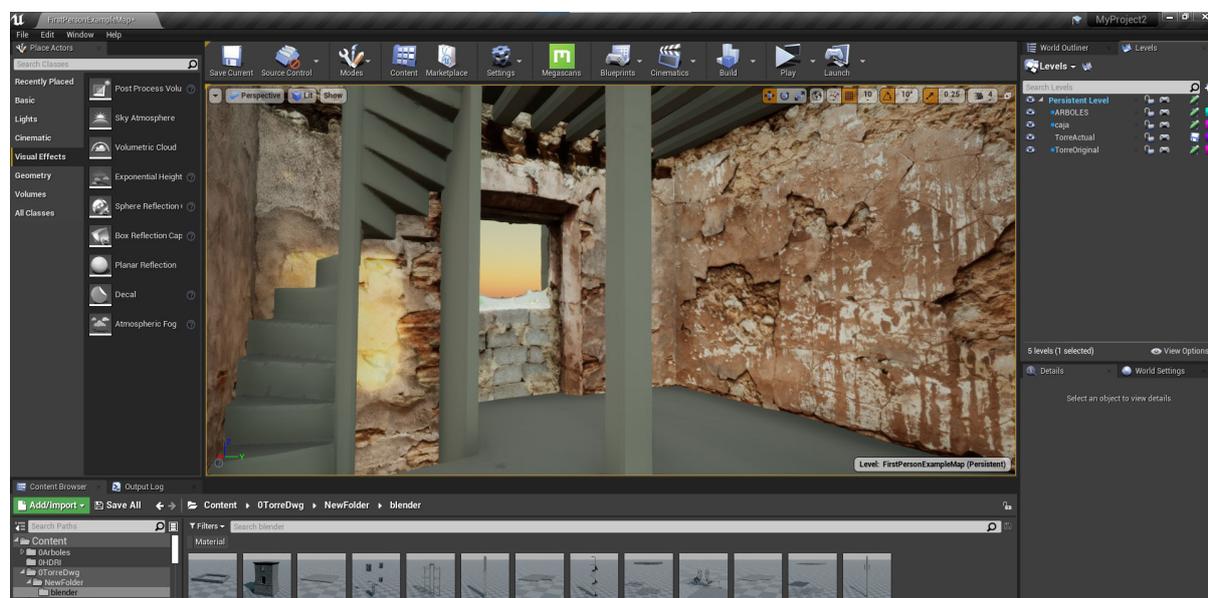


Fig. 74, Solapamiento de los dos modelos. Interior  
Fuente: Bas, 2021

### FASE 3: PROGRAMACIÓN

En Unreal Engine podemos programar mediante programación C++ (Fig. 75), que es la programación mediante código, y programación blueprint (Fig.76). El sistema de blueprints es un modo de programación visual, en el que cualquier usuario sin conocimientos de programación puede crear funciones complejas mediante un sistema de nodos. Los nodos son una serie de herramientas, que conectándolos entre sí generan la programación.

```
#include "AIController.h"
#include "Engine/TargetPoint.h"
#include "Interfaces/PatrolObject.h"
#include "BehaviorTree/BlackboardComponent.h"

EBTNodeResult::Type UGetNextWaypoint::ExecuteTask(UBehaviorTreeComponent & OwnerComp, uint8 * NodeMemory)
{
    AAIController* aiController = Cast(OwnerComp.GetOwner());
    if(!aiController) return EBTNodeResult::Type::Failed;

    IPatrolObject* patrolObject = Cast(IPatrolObject)(aiController->GetPawn());
    if (!patrolObject) return EBTNodeResult::Type::Failed;

    TArray<ATargetPoint*> waypoints = patrolObject->GetWaypoints();
    ATargetPoint* currentWaypoint = waypoints[0];
    UBlackboardComponent* Blackboard = OwnerComp.GetBlackboardComponent();
    Blackboard->SetValueAsVector(bbTarget.SelectedKeyName, currentWaypoint->GetActorLocation());

    return EBTNodeResult::Type::Succeeded;
}

uint16 UGetNextWaypoint::GetInstanceMemorySize() const
{
    return sizeof(FNextWaypointData);
}
```

Fig. 75, Programación C++ en UE4  
Fuente: Autor desconocido. Recuperado de <https://borromeuslog.wordpress.com>

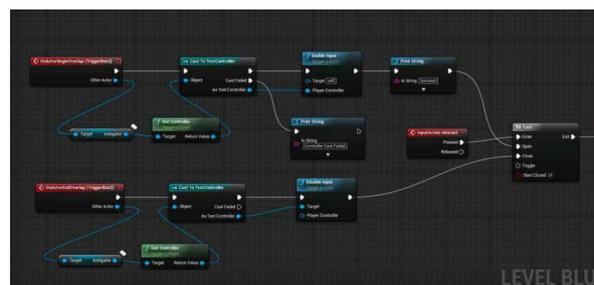


Fig. 76, Programación Blueprint en UE4  
Fuente: Autor desconocido. Recuperado de <https://borromeuslog.wordpress.com>

Teniendo en cuenta estas características, se opta por la programación blueprint para la realización del recorrido virtual. En el presente TFG, se necesitan programar dos cuestiones. Una de ellas es el intercambio de las torres pulsando una tecla y la otra es la aparición en pantalla de un texto explicativo que le muestre al observador cómo intercambiar las torres.

### INTERCAMBIO DE TORRES

Como ya se ha explicado anteriormente, el objetivo del recorrido virtual es mostrar la torre de telegrafía óptica en su estado actual y poder comparar esta torre con una representación de su estado original.

Teniendo en cuenta esta premisa, lo que se busca es, que al presionar un botón del teclado, el observador pueda intercambiar la torre actual por la representación virtual de la torre en su estado original y viceversa.

Además de esto, debe restringirse la opción de intercambiar las torres cuando estemos dentro de las mismas. Esto se debe a que la torre actual no tiene ninguno de sus forjados y, por lo tanto, cuando se caminara por la primera o segunda planta de la torre original, al cambiar a la torre actual, se caería a la planta baja. Por lo tanto, se busca poder intercambiar las torres únicamente cuando el visitante se encuentre en el exterior.

Antes de explicar cómo se ha realizado esta programación, deben aclararse los conceptos de BoxTrigger y los Subniveles. Los BoxTrigger son unas cajas invisibles que se ubican en la escena y se utilizan para hacer que ocurra una acción cuando se interactúa con esta caja. Es decir, se puede programar que suceda una acción concreta al entrar y/o al salir del BoxTrigger.

ETSA UPV. TFG Septiembre 2021.

Autor: Víctor Bas García

Tutores: Yolanda Hernández Navarro / Pasquale de Dato



Fig. 77, BoxTrigger alineada con la torre  
Fuente: Bas, 2021

Los Subniveles permiten agrupar distintos objetos de la escena. Esto se hace con el fin de poder cargarlos y descargarlos en cualquier momento.

Aclarados estos conceptos, se ubica una TriggerBox alineada con las fachadas de las torres (Fig. 77) y se crean dos subniveles, situando la torre actual en el subnivel "TorreActual" y la torre original en el subnivel "TorreOriginal"

Lo que se busca con la programación es que cuando el personaje se encuentre fuera de la TriggerBox, se habilite el intercambio de las torres pulsando la tecla "E", y cuando se encuentre dentro de la TriggerBox, es decir, dentro de la torre, se deshabilite esta función (Fig. 78, 79 y 80).

A continuación, se explica brevemente el funcionamiento de la programación.

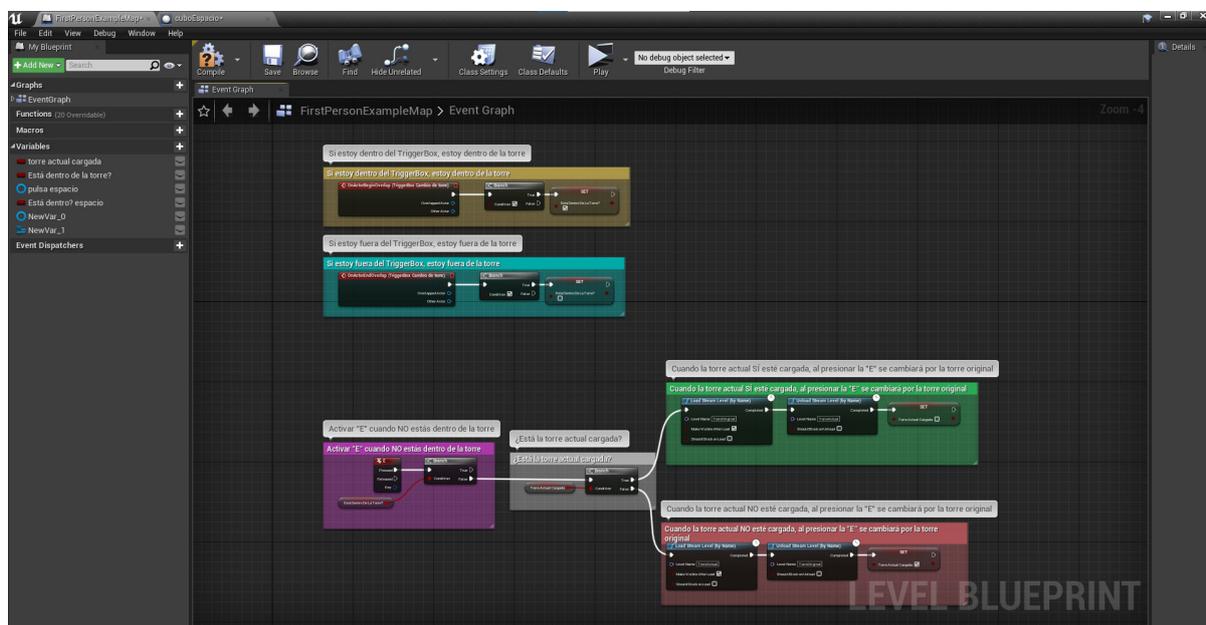


Fig. 78, Programación completa para el intercambio de torres  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 79, Detalle 1. Programación para el intercambio de torres  
Fuente: Bas, 2021

Para comenzar, se crea la variable "¿Está dentro de la torre?".

**-Grupo amarillo:** Le estamos diciendo al programa que al entrar en la BoxTrigger esta variable es correcta.

**-Grupo azul:** Al salir de la BoxTrigger la variable NO es correcta.

Por lo tanto, si entro en la Trigger-Box estoy dentro de la torre, y si salgo estoy fuera

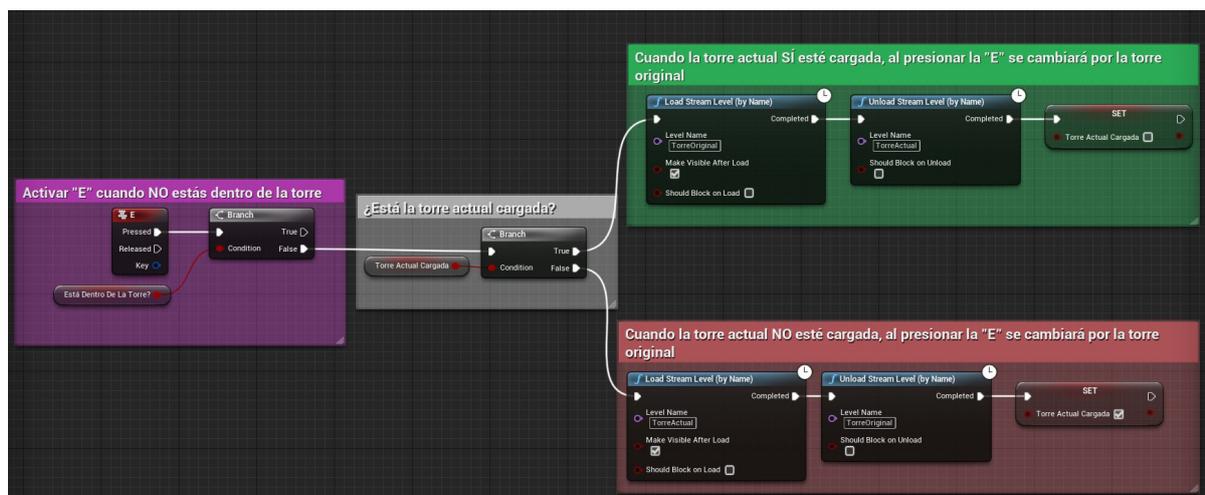


Fig. 80, Detalle 2. Programación para el intercambio de torres  
Fuente: Bas, 2021

**Grupo rosa:** Se habilita el intercambio de las torres (pulsando la tecla "E") siempre y cuando el personaje se encuentre fuera de la torre (Aquí se utiliza la variable que creada anteriormente). Esta condición se conecta al grupo gris.

**Grupo gris:** Si la torre actual está cargada en ese momento, redirige al grupo verde, si es la torre original la que está cargada, redirige al grupo rojo.

**Grupo verde:** Estando cargada la torre actual, al presionar la tecla "E", se cargará el subnivel "TorreOriginal" y se descargará el subnivel "TorreActual".

**Grupo rojo:** Estando cargada la torre original, al presionar la tecla "E", se cargará el subnivel "TorreActual" y se descargará el subnivel "TorreOriginal".

## TEXTO EXPLICATIVO

A continuación, se programa un texto explicativo (Fig. 81). Este texto informa al visitante que debe pulsar la tecla “E” para realizar el intercambio de las torres. Puesto que este intercambio únicamente está habilitado cuando nos encontramos en el exterior de la torre, el texto debe desaparecer cuando se esté en el interior para evitar confusiones. Se utiliza de nuevo un BoxTrigger para que el programa detecte si estamos fuera o dentro. El texto será visible únicamente cuando se active la herramienta “Play” y se acceda a la vista en primera persona.

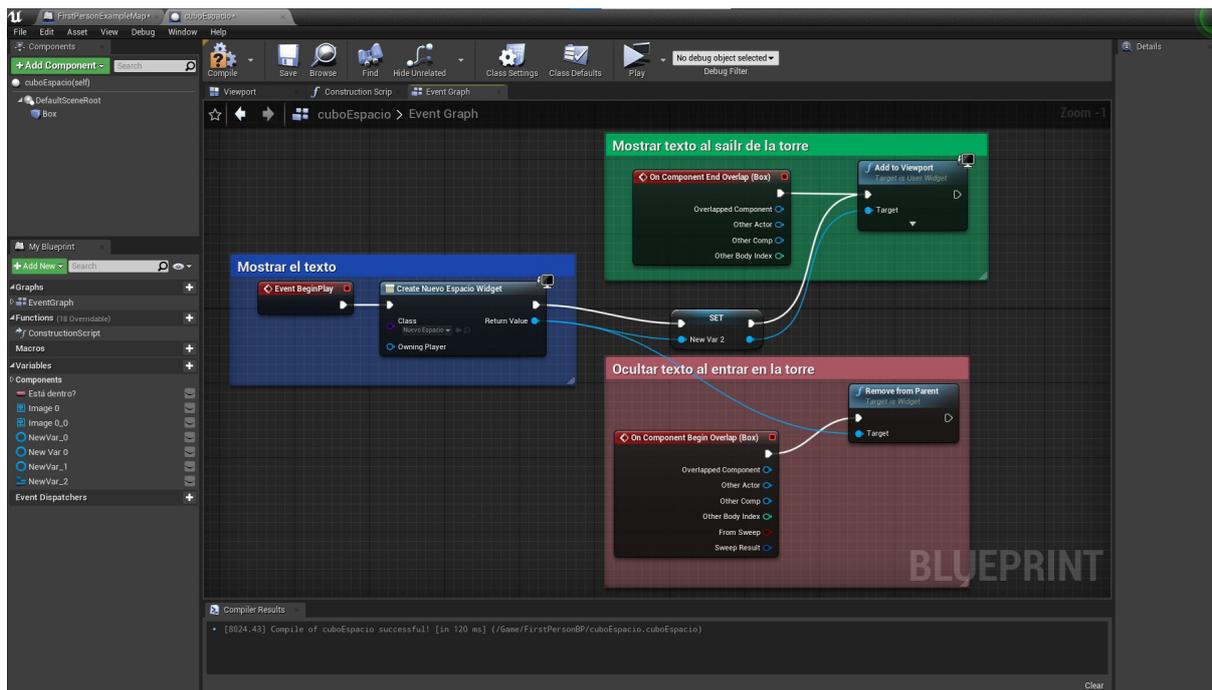


Fig. 81, Programación del texto explicativo  
Fuente: Bas, 2021

**Grupo azul:** Cuando seleccionamos la herramienta “Play” el texto se comenzará a ver por defecto

**Grupo rojo:** Cuando el personaje entre en el BoxTrigger, el texto se quitará de la pantalla.

**Grupo verde:** Cuando el personaje salga del BoxTrigger, el texto volverá a aparecer en pantalla.

A continuación, se muestra la perspectiva en primera persona, antes y después de intercambiar las torres, viendo además cómo el texto explicativo se desactiva al entrar en la torre (Fig.82, 83 y 84).

La realidad digital al servicio del patrimonio arquitectónico.  
El caso de la torre telegráfica de Godelleta como experiencia interactiva.

**RECORRIDO VIRTUAL**  
UNREAL ENGINE 4



Fig. 82, Torre actual con texto explicativo  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 83, Intercambio de la torre original con texto explicativo.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 84, Interior sin el texto explicativo  
Fuente: Bas, 2021

## FASE 4: GENERACIÓN DE COLISIONES

Las colisiones son las que permiten que un objeto tenga físicas y por tanto no podamos atravesarlo. Cuando se importan las torres, tanto la actual como la original, vienen con unas colisiones simplificadas que no reconocen los huecos de las puertas o los suelos, por lo tanto, no permiten el acceso a la torre. Es por ello que se borran las colisiones que vienen por defecto y las creamos de cero.

Para ello se utilizan cajas de colisión. Estas cajas son invisibles y nos permiten restringir el movimiento del personaje no pudiendo atravesarlas como si de muros o suelos invisibles se tratara. Se ubican cajas de colisión en las fachadas y en los forjados. (Fig. 85, 86, 87 y 88)

Para poder subir o bajar la escalera de mano y la escalera de caracol se necesitan también unas colisiones que reconozca el programa para que el personaje pueda subir o bajar. En vez de aplicar una caja de colisión a cada peldaño se han usado escaleras que tiene UE4 por defecto. Estas escaleras tienen sus colisiones por defecto, así pues, se solapa esta escalera con la escalera modelada previamente en AutoCad y le aplicamos un material invisible. De esta forma, se evita situar una caja de colisiones en cada escalón. (Fig. 89 y 90)

Cada una de las torres tendrá sus cajas de colisión independientes, por lo tanto, deben ubicarse en el subnivel correspondiente. Así, al intercambiar las torres se intercambiarán también las colisiones.

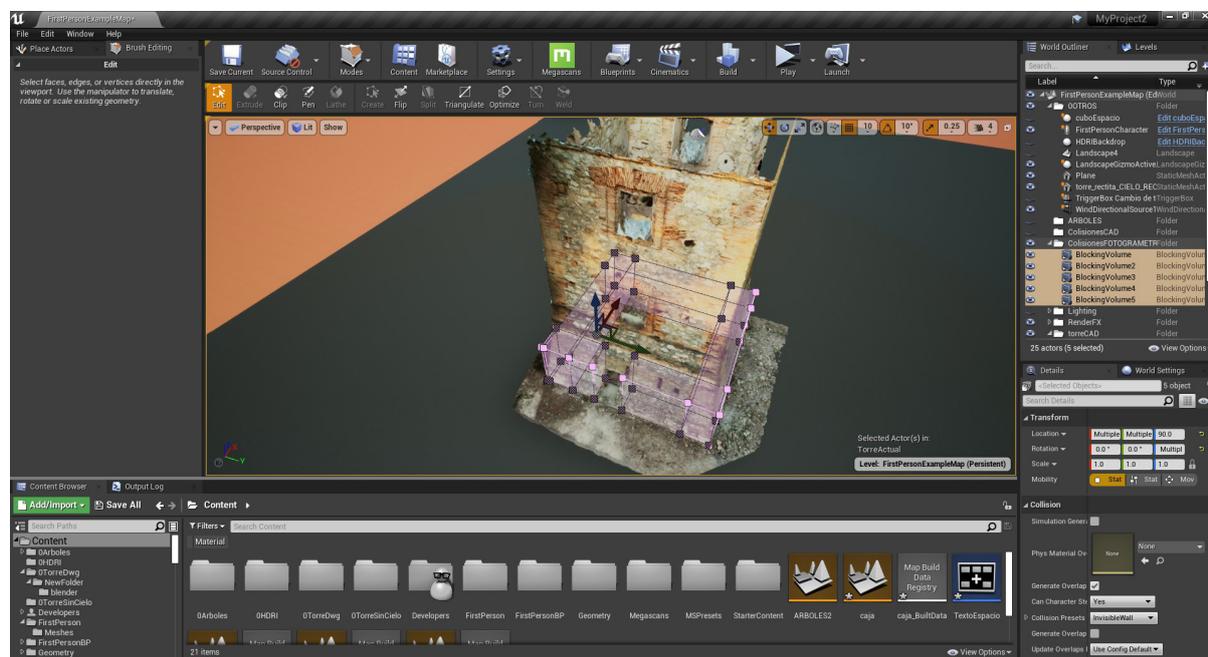


Fig. 85. Torre actual. Cajas de colisión.

Fuente: Bas, 2021

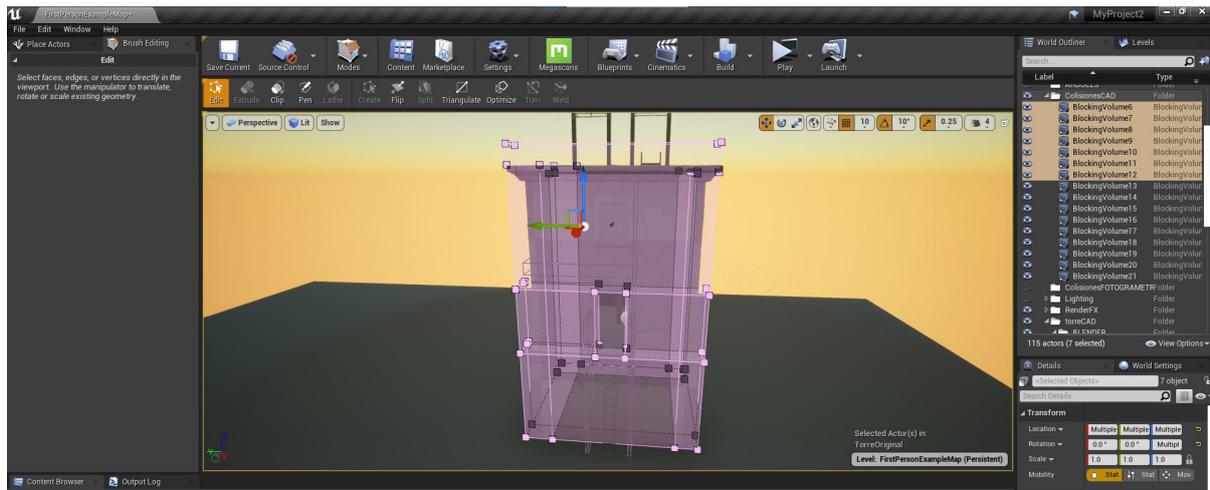


Fig. 86, Torre original. Cajas de colisión en el acceso.  
Fuente: Bas, 2021

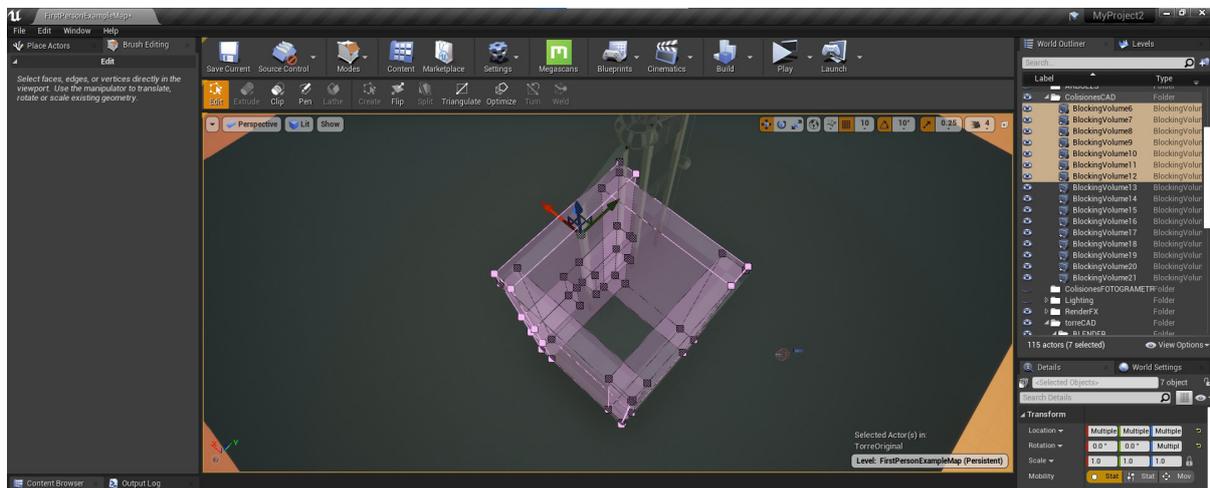


Fig. 87, Torre original. Cajas de colisión en fachadas  
Fuente: Bas, 2021

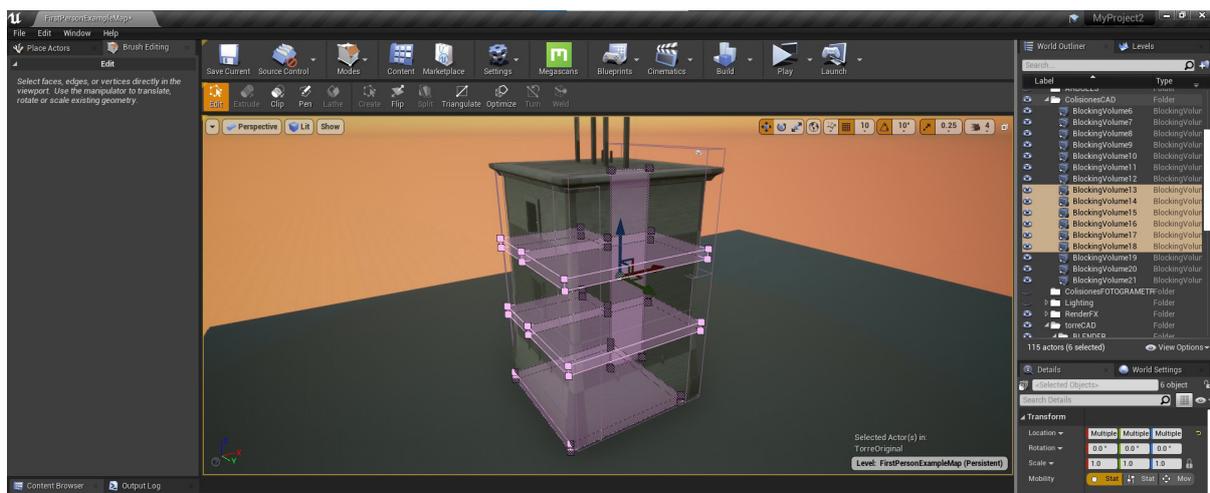


Fig. 88, Torre original. Cajas de colisión interiores  
Fuente: Bas, 2021

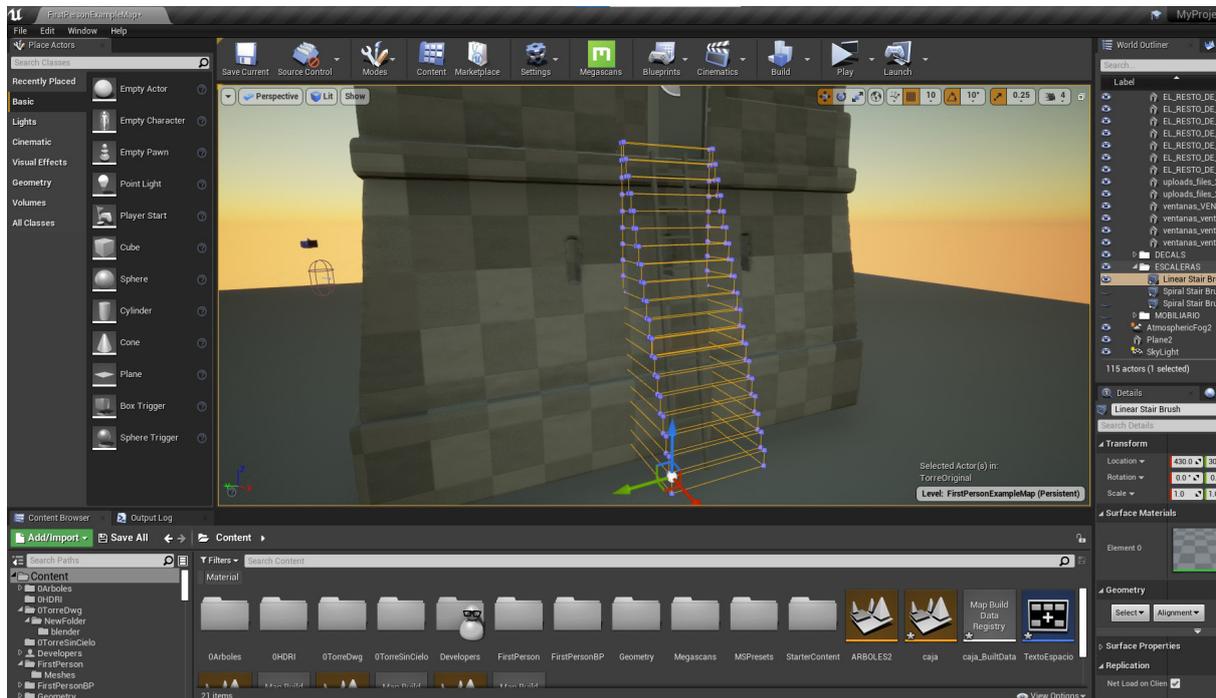


Fig. 89. Torre original. Escalera de acceso invisible solapada con la escalera de mano  
Fuente: Bas, 2021

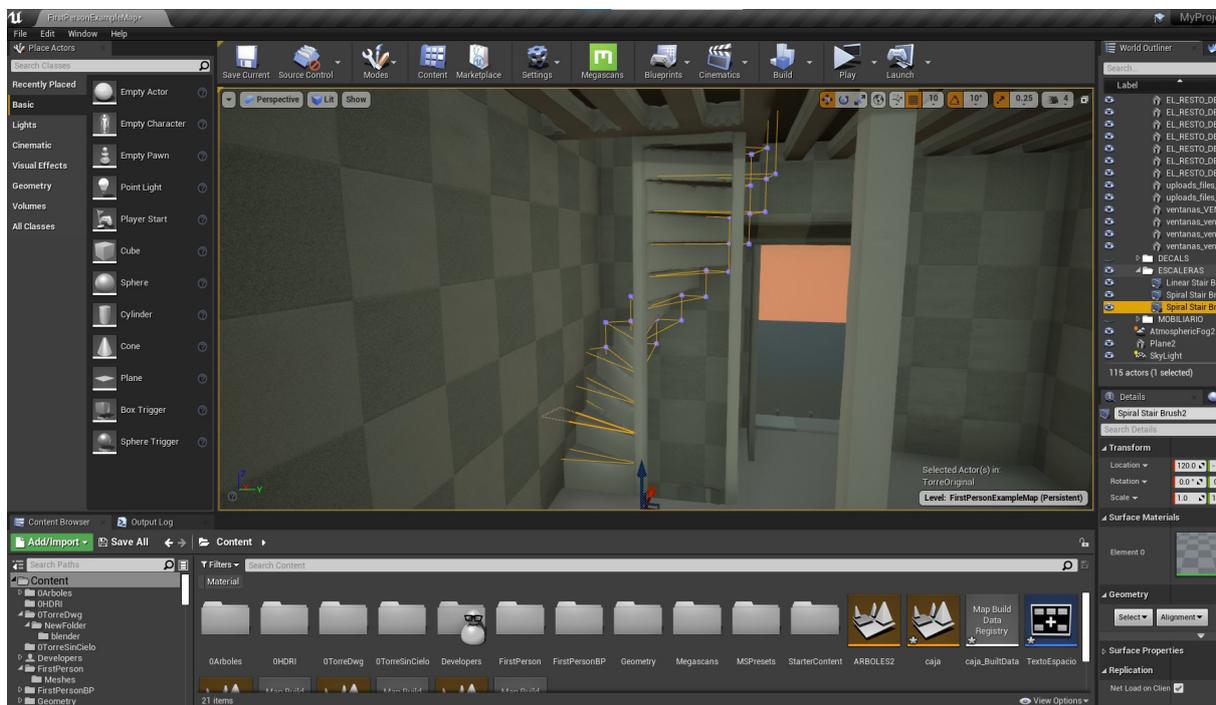


Fig. 90. Torre original. Escalera en espiral invisible solapada con la escalera modelada en AutoCad  
Fuente: Bas, 2021

## FASE 5: CREACIÓN DEL ENTORNO

En esta fase se genera el entorno próximo a la torre. Se modela el terreno para acoplarlo a la fotogrametría de la torre actual y dotar de mayor realismo al exterior, posteriormente se ubica un HDRI y por último se añade la vegetación.

### TERRENO

El terreno se modela mediante la herramienta “landscape”, la cual genera un plano de grandes dimensiones (Fig. 91 y 92) que posteriormente se esculpe con herramientas que modifican la planeidad inicial del terreno (Fig. 93 y 94).

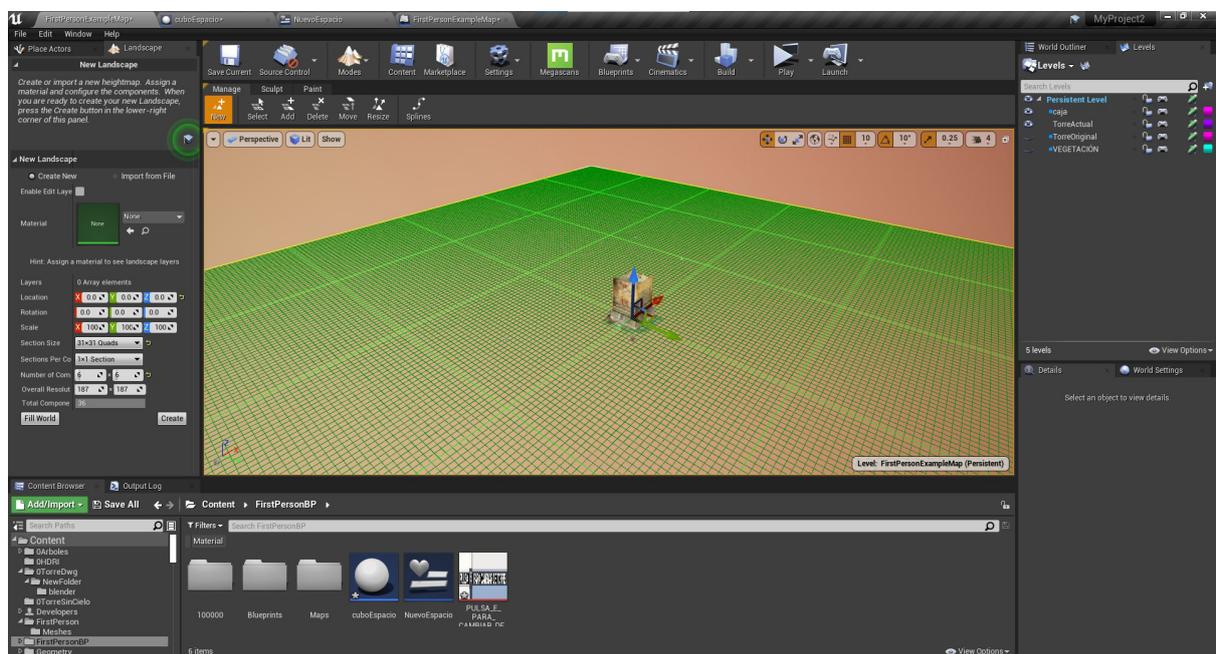


Fig. 91, Herramienta “Landscape” para generar el terreno  
Fuente: Bas, 2021

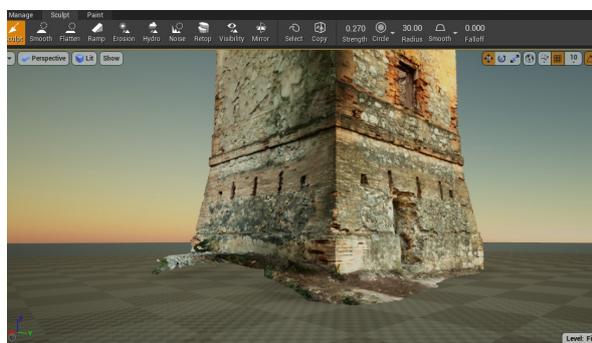


Fig. 92, Terreno antes de ser esculpido  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 93, Terreno tras ser esculpido  
Fuente: Bas, 2021

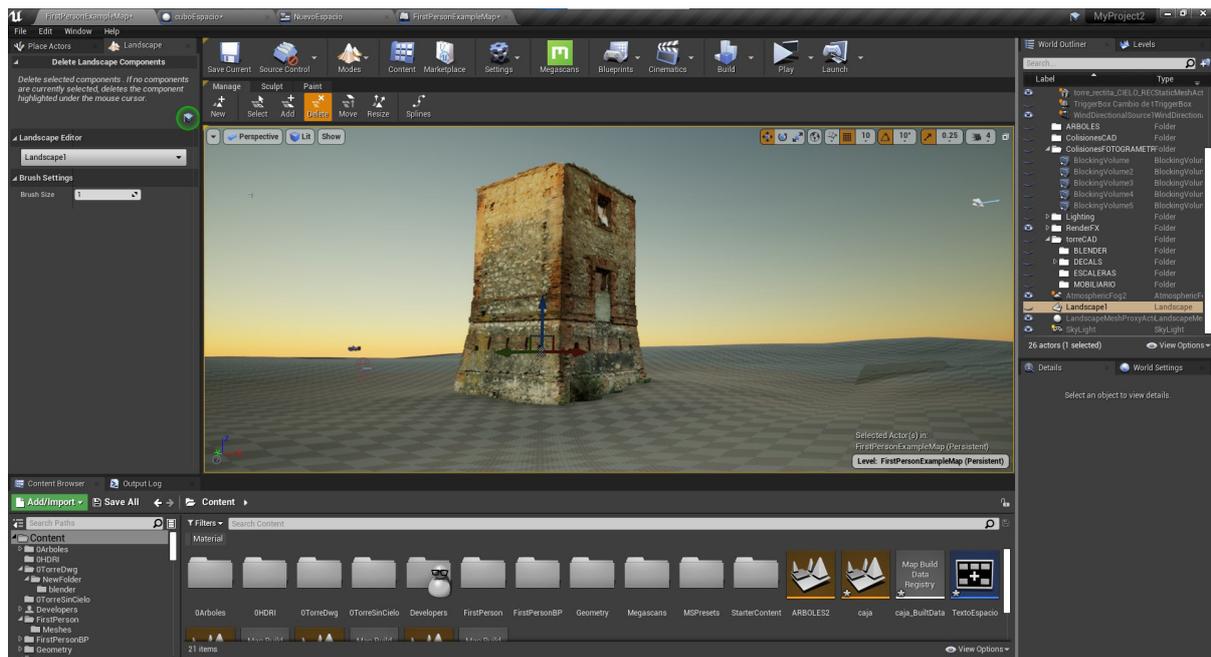


Fig. 94, Terreno. Resultado final  
Fuente: Bas, 2021

## HDRI

Seguidamente, se incorpora un HDRI a la escena. Un HDRI es una imagen en 360° con un rango dinámico superior al de una imagen estándar. Esta imagen se usa para proporcionar un fondo a la escena y a su vez el programa emplea el HDRI para iluminar dicha escena acorde a la imagen. En UE4 se encuentra la herramienta “HDRI Backdrop”, la cual genera una geometría en la que podremos aplicar nuestro HDRI (Fig. 95 y 96).



Fig. 95, Aplicación de la herramienta “HDRI Backdrop”  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 96, HDRi y terreno vistos desde la herramienta "Play"  
Fuente: Bas, 2021

## VEGETACIÓN

Para finalizar con la creación del entorno se añade la vegetación del entorno próximo a la torre. Principalmente árboles y arbustos. Utilizamos el programa SpeedTree para la creación de diferentes árboles (Fig. 97). Este programa nos permite randomizar un mismo tipo de árbol para así generar un entorno lo más diverso posible (Fig. 98). Además, con este programa conseguimos árboles que simulan en tiempo real el movimiento de las hojas y las ramas debidas al viento.

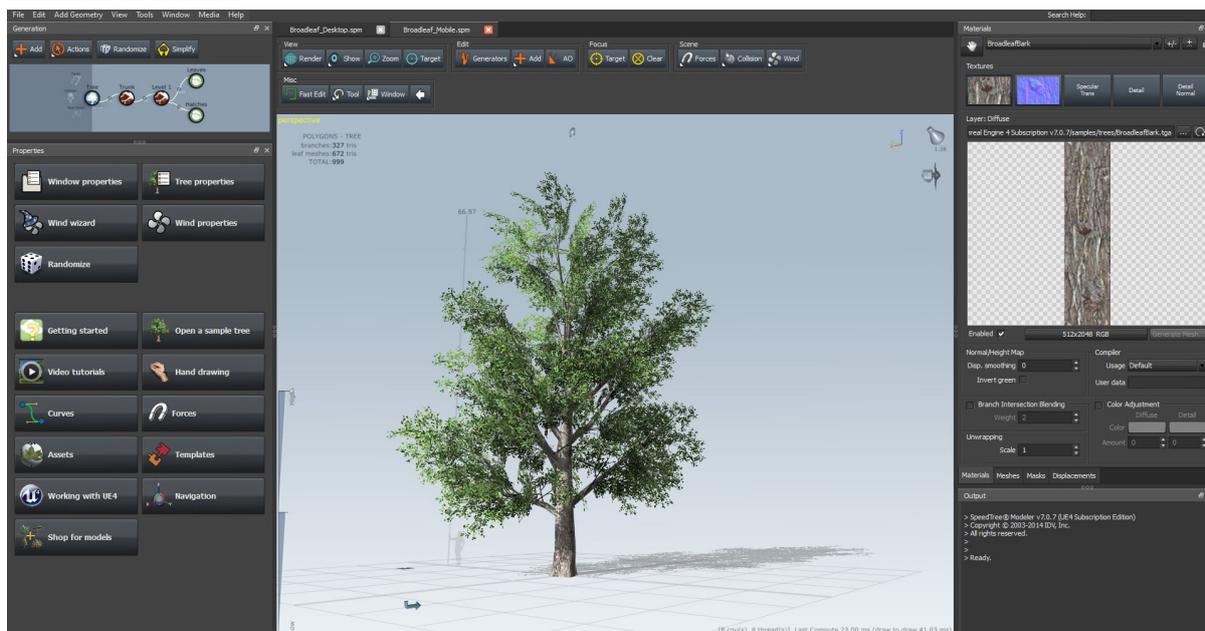


Fig. 97, HDRi y terreno vistos desde la herramienta "Play"  
Fuente: Bas, 2021

ETSA UPV. TFG Septiembre 2021.

**Autor:** Víctor Bas García

**Tutores:** Yolanda Hernández Navarro / Pasquale de Dato



Fig. 98, Variantes de un mismo tipo de árbol generadas automáticamente mediante SpeedTree  
Fuente: Bas, 2021

Se muestra a continuación el resultado tras ubicar toda la vegetación en la escena (Fig. 99) y al acceder a la vista en primera persona mediante la herramienta “Play” (Fig. 100 y 101).

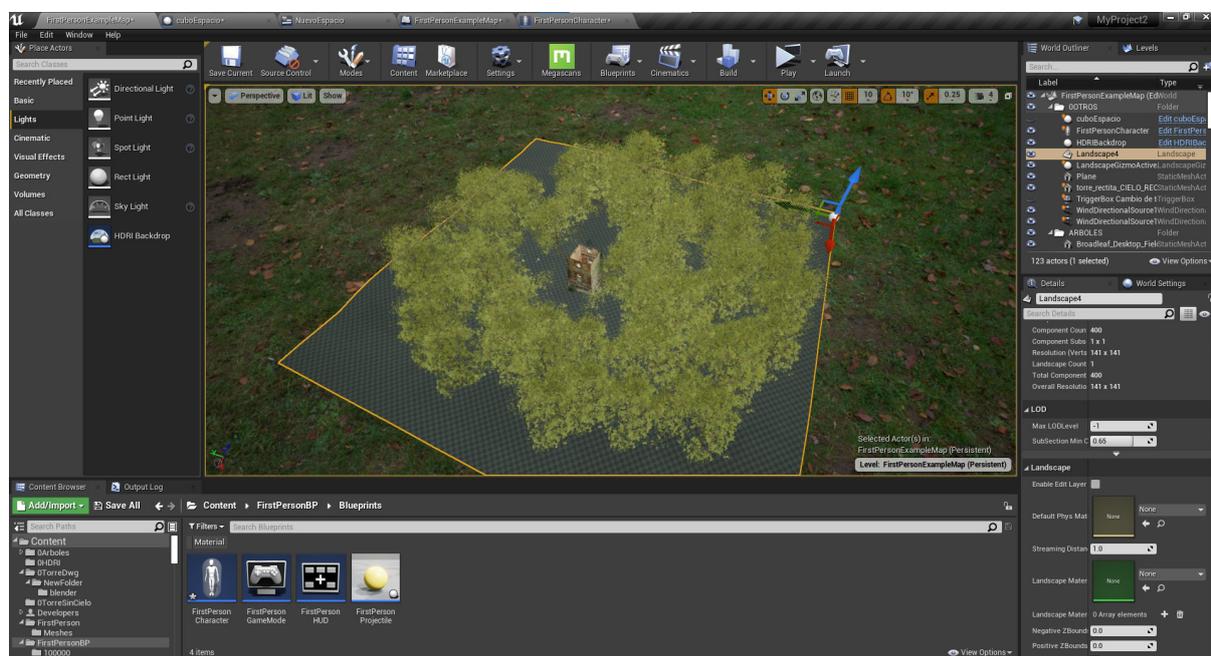


Fig. 99, Aplicación de la vegetación en la escena  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 100, Construcción del entorno finalizada. Torre actual.  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 101, Construcción del entorno finalizada. Torre original.  
Fuente: Bas, 2021

## FASE 6: INCORPORACIÓN DEL MOBILIARIO DE LA TORRE ORIGINAL

En esta fase se incorpora dentro de la torre original el mobiliario modelado anteriormente. Además del mobiliario que aparece en los planos originales, importamos sillas, taburetes, sacos, cajas, etc.

Estos modelos se extraen principalmente de Quixel Bridge (Fig. 102 y 103). Esta es una aplicación original de Epic Games (Empresa dueña de UE4). Esta aplicación permite descargar gratuitamente modelos 3D, texturas, decals, mapas de suciedad, etc. Una vez descargados, desde la propia aplicación se exportan las descargas al proyecto del recorrido virtual. Además, los modelos 3D descargados en Quixel Bridge vienen ya con el material aplicado, por lo que facilita la aplicación de estos modelos.

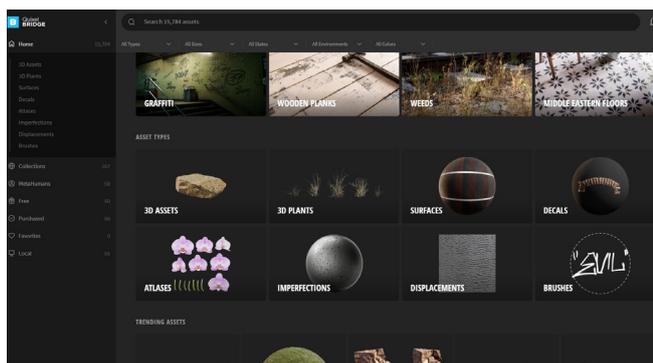


Fig. 102, Interfaz de Quixel Bridge  
Fuente: Bas, 2021

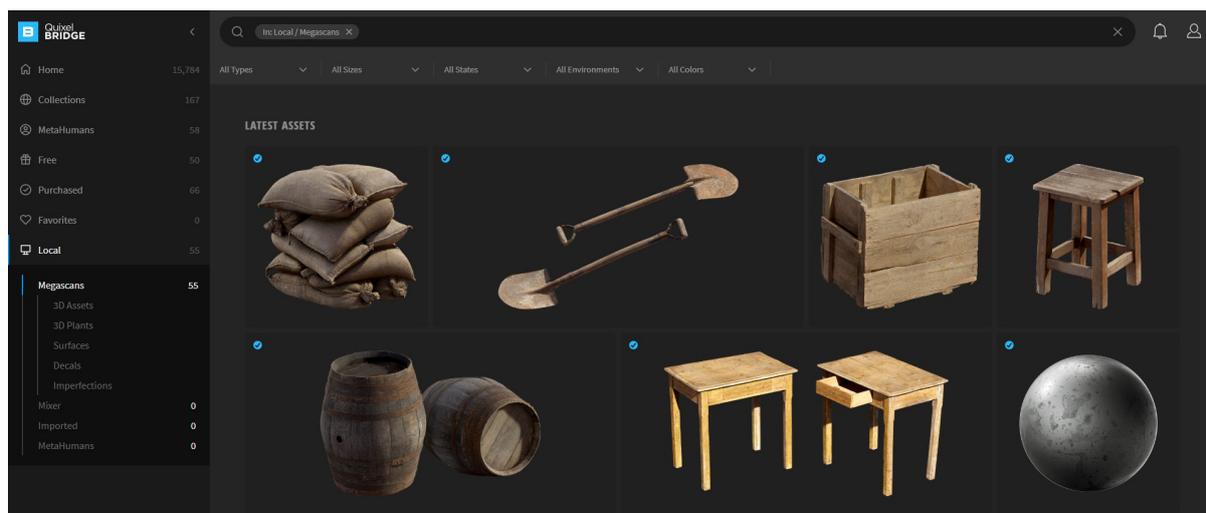


Fig. 103, Modelos 3D descargados de Quixel Bridge  
Fuente: Bas, 2021

Como ya se explicó en apartados anteriores, la planta baja servía de almacén, la primera planta era donde comían o descansaban los torreros y la segunda planta era donde trabajaban, utilizando los catalejos y el mecanismo del telégrafo óptico para transmitir los mensajes entre torres.

En consecuencia, conociendo la función que tenía cada planta, se ubican los muebles en su lugar correspondiente. Se corrobora esta distribución con la restauración de la torre de Arganda del Rey (Fig. 52, 53 y 54) y la maqueta del Museo Postal y Telegráfico de Madrid (Fig. 14 y 15).

## PLANTA BAJA



Fig. 104, Mobiliario Planta Baja  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 105, Mobiliario Planta Baja  
Fuente: Bas, 2021

## PRIMERA PLANTA



Fig. 106, Mobiliario Primera Planta  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 107, Mobiliario Primera Planta  
Fuente: Bas, 2021

## SEGUNDA PLANTA



Fig. 108, Mobiliario Segunda Planta  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 109, Mobiliario Segunda Planta  
Fuente: Bas, 2021

## FASE 7: APLICACIÓN DE MATERIALES

A continuación, se aplican los materiales de la torre original, del mobiliario y del terreno exterior. Vuelve a utilizarse Quixel Bridge para descargar la mayor parte de los materiales.

### FACHADAS



Fig. 110, Texturizado fachadas  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 111, Texturizado fachadas  
Fuente: Bas, 2021  
ETSA UPV. TFG Septiembre 2021.

**Autor:** Víctor Bas García

**Tutores:** Yolanda Hernández Navarro / Pasquale de Dato

## PLANTA BAJA



Fig. 112, Texturizado Planta Baja  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 113, Texturizado Planta Baja  
Fuente: Bas, 2021

## PRIMERA PLANTA



Fig. 114, Texturizado Primera Planta  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 115, Texturizado Primera Planta  
Fuente: Bas, 2021

## SEGUNDA PLANTA



Fig. 116, Texturizado Segunda Planta  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 117, Texturizado Segunda Planta  
Fuente: Bas, 2021

## FASE 8: ILUMINACIÓN

Para finalizar, se genera una luz ambiente y una “Directional Light” (Luz direccional). Este tipo de luz simula la luz proyectada por el Sol. Posteriormente, con la herramienta “Build”, UE4 calcula la luz en la escena.

### FACHADAS TORRE ACTUAL



Fig. 118, Resultado final. Exterior de la torre actual  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 119, Resultado final. Exterior de la torre actual  
Fuente: Bas, 2021

ETSA UPV. TFG Septiembre 2021.

**Autor:** Víctor Bas García

**Tutores:** Yolanda Hernández Navarro / Pasquale de Dato

## INTERIOR TORRE ACTUAL



Fig. 120, Resultado final. Interior de la torre actual  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 121, Resultado final. Interior de la torre actual  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 122, Resultado final. Interior de la torre actual  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 123, Resultado final. Interior de la torre actual  
Fuente: Bas, 2021

## FACHADAS TORRE ORIGINAL



Fig. 124, Resultado final. Exterior de la torre original  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 125, Resultado final. Exterior de la torre original  
Fuente: Bas, 2021

## PLANTA BAJA



Fig. 126, Resultado final. Planta Baja de la torre original  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 127, Resultado final. Planta Baja de la torre original  
Fuente: Bas, 2021

## PLANTA BAJA



Fig. 128, Resultado final. Primera Planta de la torre original  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 129, Resultado final. Primera Planta de la torre original  
Fuente: Bas, 2021

## PLANTA BAJA



Fig. 130, Resultado final. Segunda Planta de la torre original  
Fuente: Bas, 2021



Fig. 131, Resultado final. Segunda Planta de la torre original  
Fuente: Bas, 2021

## FASE 9: COMPILACIÓN DEL PROYECTO Y CÓDIGO QR DE DESCARGA

Una vez finalizado el recorrido virtual, se compila en un archivo ejecutable “.exe”. Unreal Engine 4 da la opción de compilar para Windows, Android, HoloLens, iOS, Linux, Lumin y tvOS. En este caso se compila para Windows por ser el más común y el más accesible al visitante.

Una vez compilado, UE4 genera una carpeta en la que se encuentra el ejecutable, junto a dos carpetas con toda la información necesaria para ejecutar el “.exe”.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Engine	10/09/2021 2:57	Carpeta de archivos	
MyProject2	10/09/2021 2:57	Carpeta de archivos	
Manifest_NonUFSFiles_Win64.txt	10/09/2021 2:54	Documento de tex...	2 KB
MyProject2.exe	10/09/2021 2:53	Aplicación	186 KB

Archivo compilado  
Fuente: Bas, 2021

Para poder acceder al recorrido virtual se ha cargado el ejecutable en un drive. Por lo tanto, se facilita, en el apartado de conclusiones, un enlace de descarga y un código QR.

### 3- RESULTADO Y CONCLUSIONES

Tras la investigación realizada de las torres de telegrafía óptica en España observamos un patrimonio frágil, susceptible de ser borrado con el tiempo si no se interviene o se potencia su puesta en valor. En el estudio de la torre de Godelleta, aunque las patologías son menores que la media del resto de torres, el riesgo de degradación y consecuente pérdida sigue siendo importante.

Podemos determinar que, a pesar de tener un gran valor patrimonial, recordamos que son Bienes de Interés Cultural, el estado de abandono de la mayoría de torres en España es prácticamente total. A su vez, una intervención de restauración de las torres impediría la apreciación de su estado actual, es decir, contar su historia (tanto su origen como lo vivido a lo largo de los años). Por lo tanto, la propuesta de visita virtual del presente TFG consigue poner en valor el patrimonio sin tener que intervenir en él más que de una forma conservativa que evite la pérdida del elemento, permitiendo a su vez crear una intervención digital en el mismo.

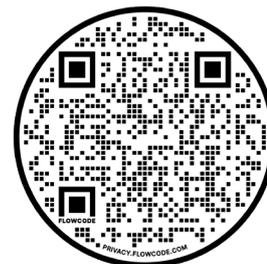
Sería interesante, además del recorrido generado, crear un menú previo antes de acceder al recorrido, donde encontremos un apartado en el que nos muestre brevemente la historia de la telegrafía óptica en España y otro apartado de controles, que explique cómo desplazarnos por la visita virtual. De esta forma, el mismo recorrido virtual aunaría toda la información necesaria para comprender el patrimonio que se está visitando y cómo poder recorrerlo. Este menú no se ha realizado principalmente por falta de tiempo, pero sería interesante desarrollarlo en un futuro para una aplicación más completa de la visita virtual. A su vez, se podría implementar la visita para realizarse utilizando gafas de realidad virtual pudiendo ver el estado actual de la torre y su estado original alcanzando una experiencia arquitectura-usuario inmersiva.

En cuanto a las posibles aplicaciones de este recorrido virtual, la opción principal es la de acceder a él mediante Internet. Una posibilidad sería adjuntar el recorrido en la página web del ayuntamiento de Godelleta, donde se encuentra actualmente un apartado destinado a la torre de Godelleta en el que únicamente hay dos fotografías de la torre, por lo que enriquecería en gran medida la información de la que disponen.

Además, en el transcurso del TFG se ha establecido contacto con M<sup>a</sup> Victoria Crespo, presidenta del Museo Postal y Telegráfico de Madrid, que ha solicitado un ejemplar del TFG para el Museo. Por tanto, otra opción que surge es proyectar el recorrido virtual en el propio Museo, ya sea mediante un vídeo con el que no se pueda interactuar o disponiendo de un control para que el visitante pueda desplazarse libremente por la torre. También podría incorporarse el recorrido en la página web del Museo.

A continuación, se añade un enlace y un código QR con el ejecutable del recorrido virtual.

<https://drive.google.com/drive/folders/1MaX8YET9rXWldZkWarHu4u4ZCTVEdFQt?usp=sharing>



## 4- BIBLIOGRAFÍA

### 4.1 ARTÍCULOS Y PUBLICACIONES

BOLUFER MARQUÉS, Joaquín, “Las torres de telegrafía óptica del País Valenciano”, Castillos de España, 2009-2010: Fortificaciones de la Comunidad Valenciana, Madrid, Editorial AEAC, 2010, pp. 105-116.

DE DATO, Pasquale., HERNÁNDEZ, Yolanda. (2016). De torre en torre. Mensajes codificados en los cielos de la Meseta.

DÍAZ BUENESTADO, Francisco: El telégrafo óptico Madrid Cádiz, [http://www.fuencaliente.net/telegrafo\\_archivos/telegrafo3.htm](http://www.fuencaliente.net/telegrafo_archivos/telegrafo3.htm). (Consulta 21-IX-2015).

GARCÉS DESMAISON, Marco Antonio, “Las torres de telegrafía óptica. Un hito en el paisaje”, Restauración & Rehabilitación , nº 47, 2000, pp. 50–55.

MONTOYA BELEÑA, Santiago, “Las torres del telégrafo óptico en la Comunidad Valenciana: una realidad olvidada en el patrimonio de las obras públicas”, en Archivo de Arte Valenciano, año LXXXVI, nº único (2005), Valencia, Editorial Real Academia de Bellas Artes de San Carlos, 2005, pp.53-65.

OLIVÉ ROIG, Sebastián, Historia de la telegrafía óptica en España, Secretaría General de Comunicaciones, Ministerio de Transporte, Turismo y Comunicaciones, Madrid, 1990.

OLIVÉ ROIG, Sebastián, “150 años: vista panorámica del telégrafo en España”, BIT, Nº 150, Madrid, 1990, pp. 46-50.

OLIVÉ ROIG, Sebastián, “Distintas etapas de la telegrafía óptica en España”, Cuadernos de Historia Contemporánea, Vol. 29, pp. 19-34.

RODRÍGUEZ MAROTO, Estanislao, Pequeña historia de la telecomunicación española, Madrid, 1955.

SCHNELL QUIERTANT, Pablo, “Torres fortificadas del telégrafo óptico en la Comunidad de Madrid”, Castillos de España, nº 137-139, Madrid, Editorial AEAC, 2005 pp. 63-80.

## 4.2 WEBGRAFÍA

Archivo Arganda. (2009, 18 octubre). Telegrafía Óptica - Telégrafo de Mathé - Arganda del Rey [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=sk9f43Fszto>> [Consulta: 26 de Febrero de 2021]

CG AURA. (2019, 9 noviembre). Creating Realistic PBR Materials In Unreal Engine | UE4 | Quick guide [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=FXVnE1OyM6E>> [Consulta: 15 de Agosto de 2021]

CodeLikeMe. (2020, 13 febrero). Unreal Static Mesh Collision Editing - UE4 Tutorials #364 [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=H0lrfhYrDAM>> [Consulta: 3 de Junio de 2021]

DevAddict. (2020, 29 junio). Unreal Engine 4 Beginner Tutorial: Getting Started [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=qeKDRqWtGV0>> [Consulta: 17 de Mayo de 2021]

DevAddict. (2020, 12 diciembre). Unreal Engine 4 Tutorial for Beginners - Lets Make a 3D Platformer [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=rAVPEGnyatk>> [Consulta: 17 de Mayo de 2021]

Estudio V. (2017, 31 julio). Colisiones - Unreal Engine 2017 [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=9jKhbq-jn4M>> [Consulta: 3 de Junio de 2021]

Factoria 5 Training Hub. (2018, 19 febrero). Introducción a Unreal Engine 4 para arquitectura [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=7dGG3hRLSEM>> [Consulta: 19 de Mayo de 2021]

GomVo Tutoriales. (2017, 29 junio). Unreal Engine 4: Escaleras / Subir escaleras (español) [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=q24aFO0Zrso>> [Consulta: 25 de Agosto de 2021]

GomVo Tutoriales. (2017, 23 enero). Unreal Engine 4: Movimiento Camara First Person desde cero (español) [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=JZHry7MR22Y>> [Consulta: 20 de Mayo de 2021]

Horacio Meza. (2017, 23 mayo). Curso Unreal Engine 4 | #11 Las Colisiones | Español [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=jv0-kApskXo>> [Consulta: 5 de Junio de 2021]

Juanjo Fernandez. (2020, 22 abril). Iniciación a la Fotogrametría con Metashape - (Session en directo con Zoom 20/04/2020). [Vídeo]. YouTube. <[https://www.youtube.com/watch?v=XEq\\_n4LZUTo](https://www.youtube.com/watch?v=XEq_n4LZUTo)> [Consulta: 13 de Abril de 2021]

Just An Idea Studio. (2021, 25 enero). Como hacer terrenos PROFESIONALES | Esculpir, texturas y materiales | Unreal Engine Tutorial [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=ayukuNF4Ihk>> [Consulta: 15 de Agosto de 2021]

Just An Idea Studio. (2020, 24 septiembre). Como TRASPASAR MUNDOS de forma instantánea con nuestro personaje | Unreal Engine Tutorial [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=BcLjiwg82l0>> [Consulta: 27 de Mayo de 2021]

Lusiogenic. (2018, 12 junio). UE4 How to Scale UV Coordinates through Parameters with Blueprints in Unreal Engine 4 Tutorial [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=y7yWSlzXu-4>> [Consulta: 1 de Septiembre de 2021]

Matt Aspland. (2020, 7 noviembre). Press E To Interact | On Screen Prompt - Unreal Engine 4 Tutorial [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=Os7uf-wiU8o>> [Consulta: 8 de Junio de 2021]

Matt Aspland. (2020, 7 septiembre). How To Climb A Ladder With Animations | Upgraded & Extra Features - Part 1- Unreal Engine 4 Tutorial [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=nTIsrIDclMI>> [Consulta: 25 de Agosto de 2021]

MattsCreative. (2020, 25 abril). How to make Custom collision For objects Unreal Engine 4 Tutorial [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=SbhmpZF5obE>> [Consulta: 3 de Junio de 2021]

MireDev. (2018, 25 julio). Geometry Tools - Hollowed Brushes And Stairs - #7 Unreal Engine 4: Level Design For Beginners [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=PzW5haj-TjYM>> [Consulta: 25 de Agosto de 2021]

MR3D-Dev. (2020a, julio 23). Quixel Tutorial Beginner: Surface Megascans as Landscape in Unreal Engine [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=MsU0-4btX0A>> [Consulta: 3 de Septiembre de 2021]

MR3D-Dev. (2020, 14 agosto). Quixel Tutorial: Landscape Blend Material with Megascans in Unreal Engine 4 [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=ozLevdUjr00>> [Consulta: 15 de Agosto de 2021]

ProduccionesCarrera. (2017, 3 noviembre). Telégrafo Óptico La Línea Madrid-Irún [Vídeo]. YouTube. <[https://www.youtube.com/watch?v=ue4DmW\\_LtSk](https://www.youtube.com/watch?v=ue4DmW_LtSk)> [Consulta: 26 de Febrero de 2021]

Quixel. (2017, 20 julio). Create a Photorealistic World in UE4 [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=ATX7kmET4zE>> [Consulta: 15 de Agosto de 2021]

Underscore. (2018, 16 diciembre). UE4 Tutorial: PBR Materials (Shader Masterclass) [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=AeOQZWEi1gU>> [Consulta: 19 de Agosto de 2021]

Universidad de Burgos. (2018, 9 julio). El telégrafo óptico. Universidad de Burgos [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=qJKsqZV5upM>> [Consulta: 28 de Febrero de 2021]

UOD Studio. (2021, 25 abril). 2\_2. Materiales en Unreal Engine 4 / Normal Map y Displacement map [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=jElRZ8ZbLzE>> [Consulta: 19 de Agosto de 2021]

Unreal Sensei. (2020, 7 agosto). How to HIDE Texture REPETITION in Unreal Engine - UE4 Tutorial [Vídeo]. YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=yCRzOdo4b68>> [Consulta: 28 de Agosto de 2021]

<https://docplayer.es/69934441-Asociacion-de-amigos-del-telegrafo-de-espana.html>

<https://www.inget.es/tech/del-telegrafo-optico-de-chappe-a-las-redes-de-telecomunicaciones-globales-por-fibra/>

<https://lacabezallena.com/tecnologia/telegrafo-optico/>

<https://docplayer.es/69934441-Asociacion-de-amigos-del-telegrafo-de-espana.html>

<http://donostiando.blogspot.com/2014/01/jose-maria-mathe-aragua-el-inventor-del.html>

<https://www.ubu.es/noticias/en-memoria-del-telegrafo-optico>

<https://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:acb2cbc4-d388-4f43-86c7-353b0aa89a45/telegrafia-optica-esp.pdf>

[http://www.ea1uro.com/eb3emd/Telegrafia\\_hist/Telegrafia\\_hist.htm#03.2](http://www.ea1uro.com/eb3emd/Telegrafia_hist/Telegrafia_hist.htm#03.2)

<http://hemerotecadigital.bne.es/issue.vm?id=0001086117&page=4&search=&lang=es>

<http://www.uco.es/patricia/index.php/es/servicios/fotogrametria-de-objetos-cercanos>

<https://3dcollective.es/fotogrametria/>

<https://borromeuslog.wordpress.com/2018/05/10/nuevos-videos-en-el-curso-de-unreal-engine-ia-en-c/>

<https://www.akademus.es/blog/emprendedores/unreal-engine-que-es-y-para-que-sirve/>

<https://gaz.wiki/wiki/es/SpeedTree>

Fuente: Autor desconocido. Extraído de [http://www.ea1uro.com/eb3emb/Telegrafía\\_hist](http://www.ea1uro.com/eb3emb/Telegrafía_hist)

### 4.3 CRÉDITOS DE IMAGEN

Las imágenes que aparecen en el TFG no referenciadas en este apartado son de autoría del autor del presente trabajo.

**Figura 01**  
Red de telegrafía óptica en Francia



AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de [http://www.ea1uro.com/eb3emb/Telegrafía\\_hist](http://www.ea1uro.com/eb3emb/Telegrafía_hist)

**Figura 02**  
Telégrafo óptico de Chappe

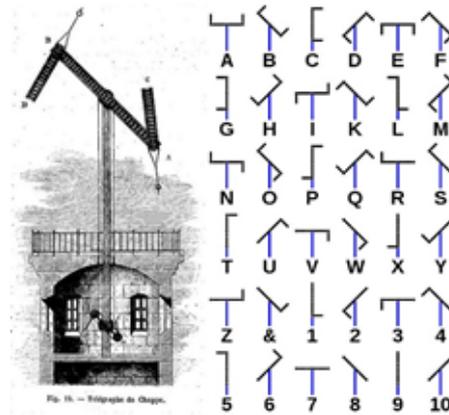
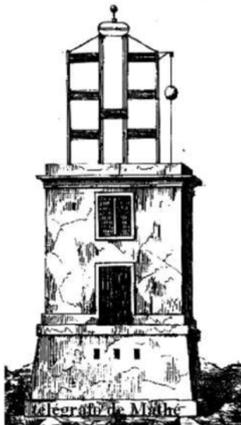


Fig. 18. — Télégraphe de Chappe.

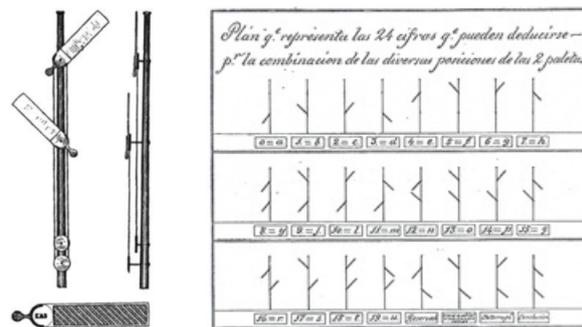
AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de <http://go.gl/UYm2O5>

**Figura 03**  
Telégrafo óptico de Mathé



AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de <http://go.gl/yvMQ4c>

**Figura 04**  
Telégrafo óptico de Hurtado



DIVERSOS AUTORES. Recuperado de "Estudio histórico del cuerpo de ingenieros del Ejército. Establecimiento tipográfico «Sucesores de RIVADENEYRA»", Madrid, 1911.

**Figura 05**  
Jose María Mathé Aragua



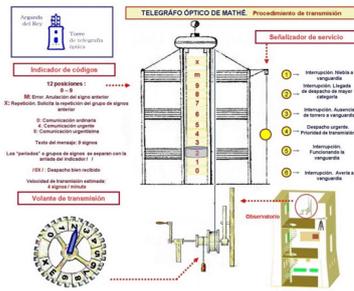
AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de "La Ilustración Española y Americana". (1870)

**Figura 06**  
Red de telegrafía óptica en España



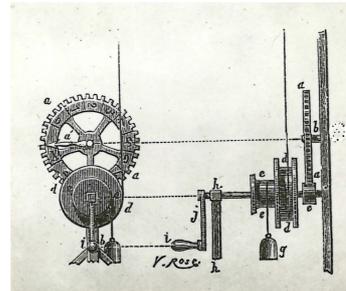
OLIVÉ ROIG, Sebastián, "150 años: vista panorámica del telégrafo en España", BIT, N° 150, Madrid, 1990

**Figura 07**  
Procedimiento de transmisión del telégrafo óptico de Mathé



AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de <http://archivo.ayto-arganda.es>.

**Figura 08**  
Poleas que accionan el telégrafo



AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de <https://www.catalunyavanguardista.com/en-memoria-del-telgrafo-optico/>

**Figura 09**  
Diccionario fraseológico

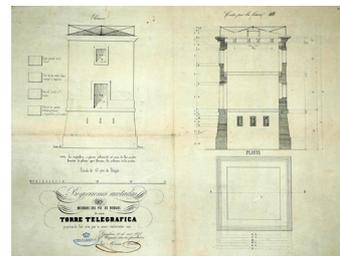
CONMOCIONES POPULARES

INDICACIONES

m7786	...	De los papeles revisados se desprende que tal o tales personas se hallan gravemente complicadas en este alzamiento que fueron cogidos a falano.	}
7	...	que fueron cogidos a falano.	
8	...	residentes en esa corte.	
9	...	en esa capital.	
7790	...	en tal parte.	
1	...	De las declaraciones indagatorias tomadas hasta ahora se desprende etc. etc. (como arriba).	}
2	...	Los presos hasta ahora son tantos.	
3	...	Entre los cuales se cuenta D.N.	
4	...	El preso tal ha ofrecido hacer revelaciones importantes.	
5	...	Si se le salva la vida.	

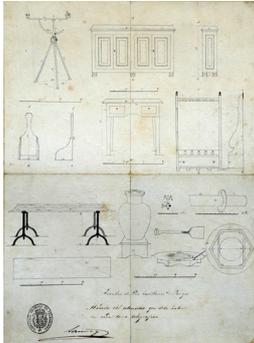
Fig. 09, Diccionario fraseológico  
Fuente: MORENO, MA. (2018). El telégrafo óptico. Universidad de Burgos. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=qJKsqZV5upM>

**Figura 10**  
Plano de torre telegráfica



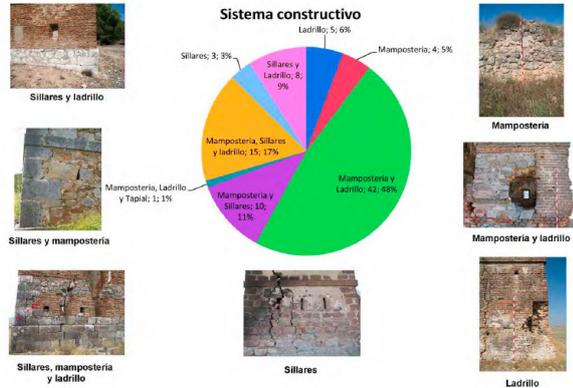
Museo Postal y Telegráfico, Madrid

**Figura 11**  
Plano del mobiliario de las torres



Museo Postal y Telegráfico, Madrid

**Figura 12**  
Diferentes sistemas constructivos de torres de telegrafía en España



CAPDEVILA, E. (2014) "Estudio de la red de telegrafía óptica en España"

**Figura 13**  
Torre telegráfica de Mathé



ARJONA, JM. (2020) "Les torres de telegrafia òptica. Les terres gironines connectades a Europa abans d'internet". La Punxa N°59.

**Figura 14**  
Maqueta de torre telegráfica



Museo Postal y Telegráfico, Madrid

**Figura 15**  
Maqueta de torre telegráfica



Museo Postal y Telegráfico, Madrid

**Figura 17**  
Ubicación de las torres de Villagordo del Cabriel a Valencia



DE DATO, P (2016)

**Figura 18**  
Torre Nº 26. Vista desde la torre de Godelleta



CAPDEVILA, E. (2014) "Estudio de la red de telegrafía óptica en España"

**Figura 19**  
Torre Nº 28. Vista desde la torre de Godelleta



CAPDEVILA, E. (2014) "Estudio de la red de telegrafía óptica en España"

**Figura 26**  
Entorno generado con Unreal Engine 4 mediante modelos 3D creados con fotogrametría.



AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de <https://quixel.com>

**Figura 52**  
Restauración de la Torre de telegrafía óptica de Arganda del Rey. Planta Baja



AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de <http://archivo.ayto-arganda.es/>

**Figura 53**  
Restauración de la Torre de telegrafía óptica de Arganda del Rey. Planta Primera



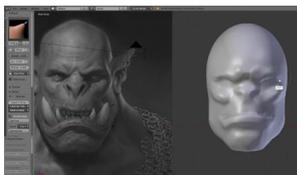
AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de <http://archivo.ayto-arganda.es/>

**Figura 54**  
Restauración de la Torre de telegrafía óptica de Arganda del Rey. Planta Segunda



AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de <http://archivo.ayto-arganda.es/>

**Figura 57**  
Técnica de esculpido mediante Blender



AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=4mu7bH9Oj1s>

**Figura 75**  
Programación C++ en UE4



AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de <https://borromeuslog.wordpress.com>

**Figura 76**  
Programación Blueprint en UE4



AUTOR DESCONOCIDO. Recuperado de <https://borromeuslog.wordpress.com>