

# LA REALIDAD VIRTUAL COMO HERRAMIENTA DE VISUALIZACIÓN ARQUITECTÓNICA

*El caso de 'La Ciudad Ideal de Urbino'*

Jaime Mouze\_Trabajo fin de grado\_2019



# LA REALIDAD VIRTUAL COMO HERRAMIENTA DE VISUALIZACIÓN ARQUITECTÓNICA

*EL CASO DE 'LA CIUDAD IDEAL DE URBINO'*

## ESTUDIANTE

Jaime Justo Mouze Alandete

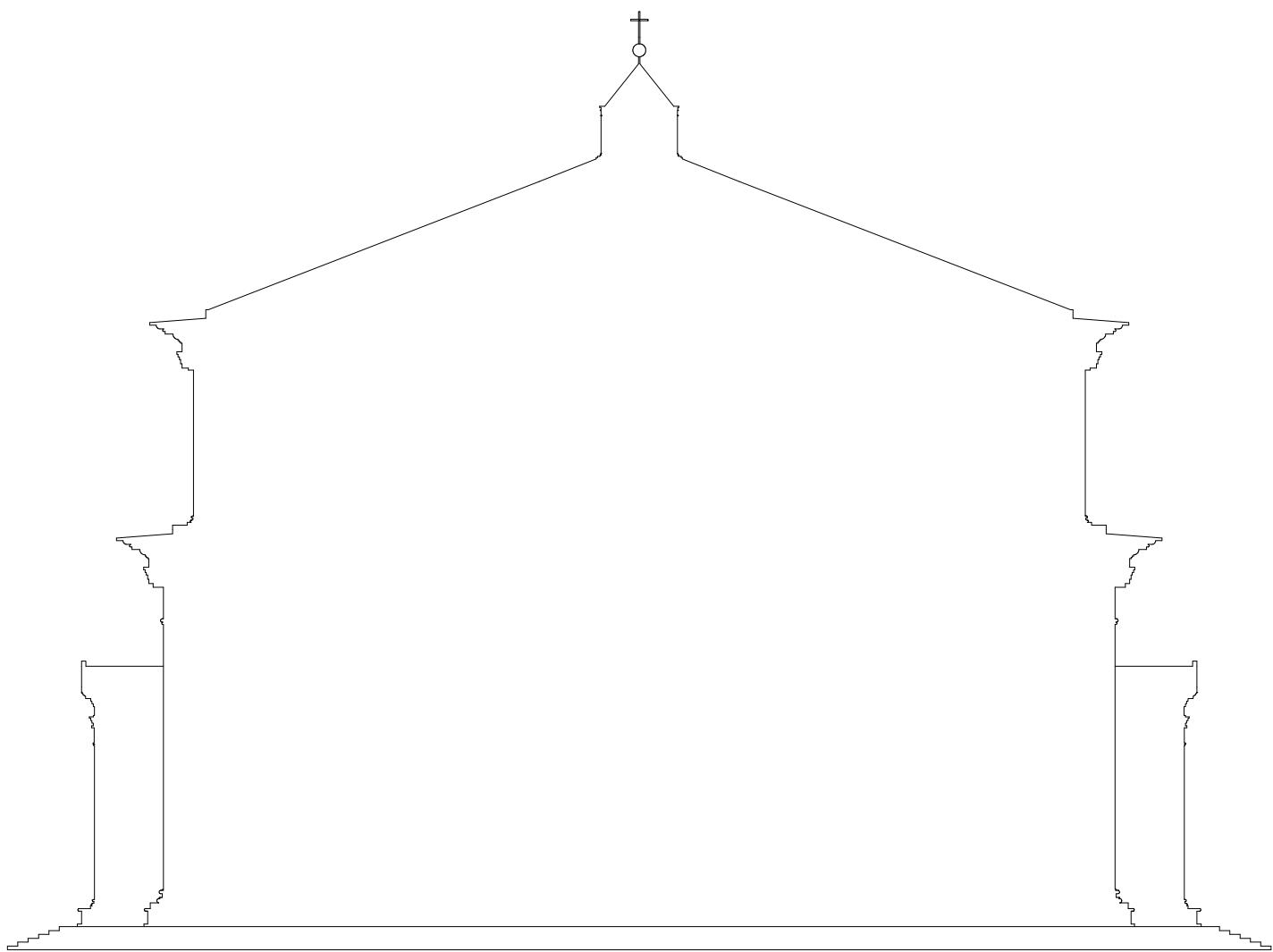
## TUTOR

Federico del Blanco García  
Departamento de Ideación Gráfica Arquitectónica

## AULA TFG 7

Antonio Manuel Ruiz Barbarán, coordinador  
Francisco Javier Sardiza Asensio, adjunto

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid  
Universidad Politécnica de Madrid



# Índice

Resumen.....	7
--------------	---

1. Objetivos.....	9
2. Estado de la Cuestión.....	11
3. Metodología.....	13
4. Introducción.....	15
4.1 El espacio virtual: La concepción del espacio.....	16
4.2 Herramientas de realidad virtual.....	17
4.2.1 Modelos 3D.....	17
4.2.2 Gafas de RV.....	18
4.2.3 Motores de videojuegos.....	18
4.2.4 Modelado en RV.....	18
4.3 Realidad Virtual frente a Realidad Aumentada.....	19
4.4 Inmersiones virtuales.....	20
4.5 Aplicaciones prácticas y ventajas.....	21

## *El caso de la Città Ideale de Urbino:*

5. Análisis del Cuadro.....	25
5.1 Autor y contexto histórico.....	25
5.2 La ciudad ideal.....	27
5.3 Elementos del Cuadro.....	29
6. Restitución de la Perspectiva.....	31
6.1 Obtención del punto de fuga.....	31
6.2 Obtención de los puntos de distancia.....	33
6.3 Regularización retícula del suelo.....	33
6.4 Restitución de la planta.....	37
6.5 Dibujo de las fachadas.....	39
6.6 Obtención de las alturas.....	43
6.7 Documento en conjunto para el 3D.....	45
6.8 Observaciones vista al 3D.....	45

7. Modelado en 3D.....	47
7.1 Volumetría de las fachadas.....	47
7.2 Volumetría de los edificios.....	47
7.3 Volumetría conjunta.....	51
7.4 Observaciones vista a la experiencia inmersiva.....	57
8. Realización de la Experiencia Inmersiva en RV.....	59
8.1 Herramienta de realidad virtual Unreal Engine 4.....	59
8.1.1 Unreal Studio.....	59
8.1.2 Importación del documento CAD (Data Smith).....	59
8.2 Luces.....	61
8.3 Texturas.....	61
8.4 Diseño de un lugar.....	63
8.4.1 Hipótesis de un entorno 3D.....	63
8.4.2 Volúmenes de entorno.....	63
8.5 Experiencia de inmersión virtual y la visualización arquitectónica.....	65
8.5.1 Visualización (Android + Riftcat).....	65
8.5.2 Movilidad en el entorno virtual.....	65
8.6 Observaciones de la inmersión.....	67
9. Conclusiones.....	69
10. Bibliografía.....	72
11. Anexos.....	74



# **Resumen**

Este trabajo de centra en realizar una experiencia inmersiva de realidad virtual a partir de un documento arquitectónico como es el cuadro de *La ciudad ideal de Urbino*. Comenzamos introduciendo conceptos de visualización en realidad virtual y su aplicación al campo de la arquitectura.

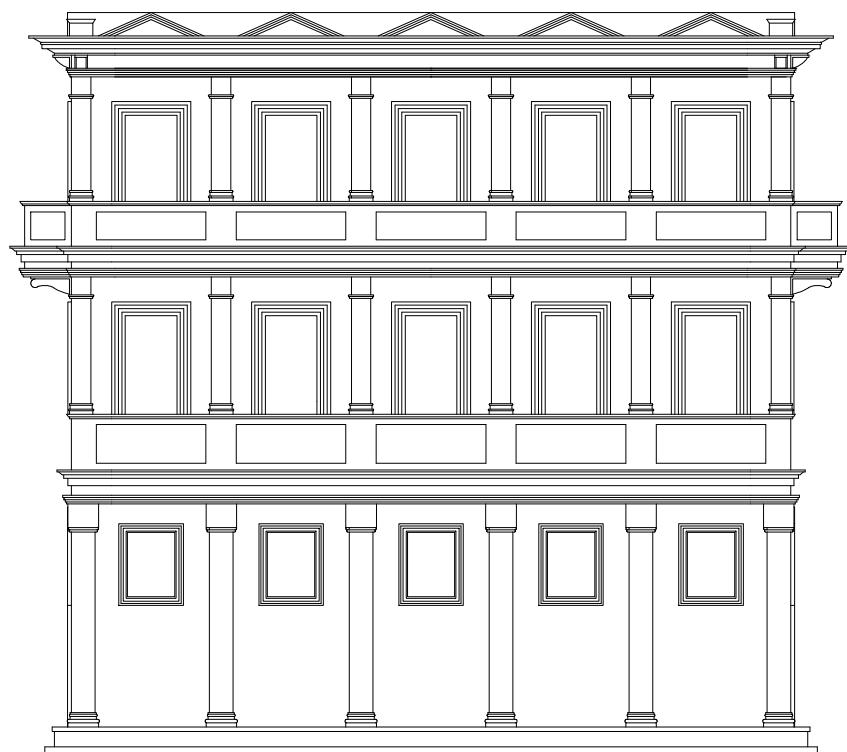
Un análisis del cuadro de *La Città Ideale* da paso a la descripción del proceso de restitución de la perspectiva representada. Planteando hipótesis, se obtienen unos documentos de referencia para el posterior modelado tridimensional del espacio concebido en la obra. Como resultado de este paso se han obtenido documentos de la planta, los alzados, la volumetría e incluso una reconstrucción del punto de vista en perspectiva de la obra. Se introduce en este punto del desarrollo la hipótesis, y un diseño, de la existencia de un entorno que no está representado. Finalmente se ha empleado un programa de desarrollo de videojuegos para la elaboración de la experiencia inmersiva, que permite sumergirnos y desplazarnos dentro del espacio representado en la obra.

Las conclusiones a las que se llegan en este trabajo son las resultantes de la comparación de los documentos producidos con el cuadro original. Estas atañen a la perspectiva del dibujo y al funcionamiento del espacio, ligadas a unas reflexiones de este tipo de visualización.

## **Palabras clave:**

Realidad Virtual - Visualización - Experiencia Inmersiva

Città Ideale - Perspectiva - Renacimiento



# 1. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo de investigación consiste en conseguir realizar una experiencia inmersiva de realidad partiendo de un documento de arquitectura conocido como es el cuadro de *La Cittá Ideale de Urbino* de manera a que podamos sumergirnos en el espacio representado.

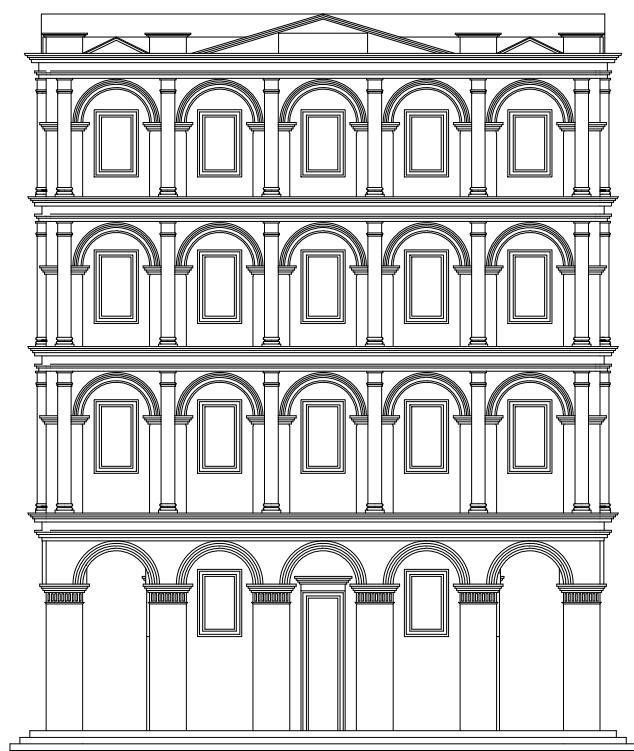
Mediante el proceso planteado se presenta la oportunidad de comprender como funciona el espacio representado en el cuadro, sus dimensiones y como se relacionan sus elementos.

Otro objetivo es el de descubrir la manera de visualizar a escala real un espacio utópico renacentista, que ni siquiera se construyó, y además, averiguar qué pasaría si decidieramos observar dicho espacio desde otros puntos de vista que el que nos presenta una única imagen.

Como objetivo secundario se plantea buscar las relaciones entre funcionamiento del espacio virtual, su relación con el espacio real y como vivimos este espacio en lo que respecta al uso herramientas de visualización de RV y concretamente en el ámbito de la arquitectura.

Además de ello se pretenden adquirir conocimientos sobre la realización de experiencias inmersivas y el manejo de programas de Realidad Virtual, concretamente el de Unreal Engine 4 de manera a combinarlos con los conocimientos adquiridas en la carrera de arquitectura.

Finalmente, el objetivo es el de experimentar este espacio y aportar documentos arquitectónicos que complementen los que ya existen sobre este cuadro.



## 2. Estado de la cuestión

La Realidad Virtual es una tecnología en auge para la que no dejan de surgir nuevas aplicaciones de todo tipo basadas en la visualización y simulación de espacios y situaciones diversas.

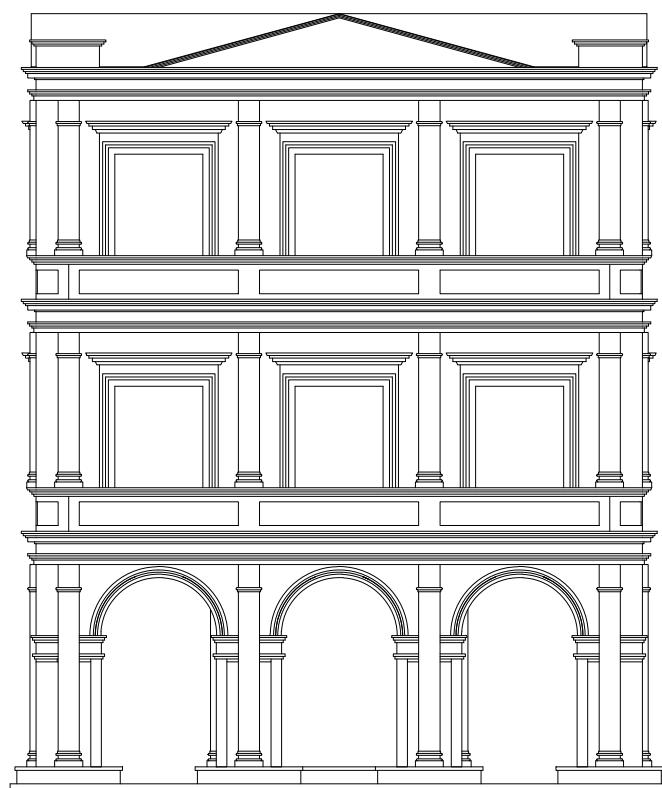
Últimamente es un tema que ha interesado a los arquitectos debido en gran parte a la revolución del mercado y disponibilidad de la tecnología. De hecho, muchos estudios de arquitectura comienzan cada vez más a presentar los proyectos en RV de cara los clientes. Es una forma alternativa de presentar los proyectos y muy atractiva para el usuario ya que puede visualizar el espacio a escala real y olvidarse de complejos documentos arquitectónicos.

También se hacen eventos en los que participan arquitectos para discutir sobre esta tecnología como el de Visualiza VR que tuvo lugar el año pasado. Muchas empresas se dedican exclusivamente al desarrollo de proyectos de este estilo y cada vez más aparecen cursos con formato de máster en visualización y desarrollo de proyectos en RV.

Los museos como el Thyssen-Bornemisza ya presentan experiencias inmersivas dentro de sus cuadros como la exposición de Vincent Van Gogh's y la experiencia del cuadro *Les Vessenots en Auvers* en colaboración con Entropy Studio. O bien el video que podemos encontrar en la web sobre una inmersión en un universo basado en los cuadros del pintor Dalí titulada *Dreams of Dalí*

Muchos diseñadores independientes y arquitectos se han dedicado a analizar y representar el cuadro de *La Cittá Ideale de Urbino* desde diferentes perspectivas, en maqueta, en volumetría con métodos de renderizado y hasta con técnicas de mapeado 3D

En la Galleria Nazionale delle Marche en colaboración con la Università Politecnica delle Marche se ha desarrollado una app de visualización en realidad aumentada del cuadro en cuestión, sobre el que enfocando con la cámara del dispositivo explica detalles sobre los elementos dibujados y la composición del cuadro.



### 3. Metodología

Comenzamos con una investigación sobre la percepción de espacio y visualización arquitectónica en realidad virtual, las formas en que se emplean, los elementos necesarios para la realización de una experiencia y las ventajas de visualización que esta herramienta posee.

A continuación, se elige la obra de *La Cittá Ideale de Urbino* como documento de base para realizar un proyecto en realidad virtual. Después de un breve análisis la composición y la obra, se han elaborado una serie de hipótesis para poner en marcha el proceso del proyecto.

Mediante un proceso de restitución de perspectiva, se ha obtenido primero una planta y después de ello pasaremos al trabajo de las fachadas de los edificios aproximando los resultados comparándolos con otros documentos arquitectónicos.

El siguiente paso consiste en modelar los edificios tridimensionalmente, comenzando por las fachadas y completando los detalles. Seguidamente se ha compuesto la volumetría completa de los edificios y finalmente se han dispuesto los edificios sobre la planta, obteniendo un modelo virtual del espacio representado en el cuadro.

Como complemento al trabajo realizado, se han obtenido el dibujo de los alzados completos de la plaza, la planta y ,colocando la cámara adecuadamente, un dibujo en perspectiva igual al documento original.

EL último y más complejo paso es el de generar una experiencia inmersiva de visualización en realidad virtual. Para ello hemos trabajado con la herramienta de videojuegos Unreal Engine 4 importando el modelo tridimensional agregando le texturas e iluminación. En el proceso se han definido unos límites, un sistema de navegación y un entorno de visualización para el espacio representado. Finalmente se ha producido un archivo ejecutable y un método de visualización para la presentación.

Con todo esto se pretende llegar a unas conclusiones sobre el proceso de realización, las posibilidades que ofrecen este tipo de visualizaciones y las impresiones del resultado final.



## 4. Introducción

La Realidad Virtual (RV) es una tecnología en desarrollo que, paulatinamente, va cobrando fuerza en la sociedad actual. La reciente popularización de los dispositivos de visualización como las HTC Vibe o las Google Cardboard han implicado a muchos nuevos usuarios y han abierto un mundo de posibilidades.

Hablamos de una forma de representación de un espacio generado por ordenador e interactuación directa con el mismo. Los arquitectos llevan siglos trabajando con la concepción de espacio, su entendimiento, su manipulación y su diseño. ¿Por qué entonces no iban a diseñar espacios virtuales? Es un concepto que inevitablemente iba a relacionarse con el mundo de la arquitectura. Presentación de proyectos, pruebas de diseño, trabajos con la espacialidad, los colores, luces y las dimensiones son algunas de las aplicaciones que presenta esta tecnología.

La representación de los documentos arquitectónicos tradicionales se ve ahora absorbida por la corriente virtual. Es casi obligatorio el uso del dibujo computarizado para el desarrollo de proyectos arquitectónicos y cada vez más la tecnología facilita la representación de las imágenes de arquitectura.



Fig 1: Gafas de Realidad Virtual HTC-Vibe con los dispositivos sensores y mandos. Fuente: [htc.com](http://htc.com)

#### 4.1 El espacio virtual: La concepción del espacio

El concepto de espacio virtual no es nuevo ni algo limitado al generado por ordenador. En lo que define como su *Teoría del espacio virtual*, Or Ettlinger entiende el espacio virtual como toda creación visual que es capaz de definir un espacio aparte del espacio físico real. Para él, todas las imágenes son espaciales y cada una de ellas forman un lugar virtual. Con ello argumenta que los arquitectos han estado diseñando espacios virtuales desde las fases de proyecto, hasta su desembocadura en el espacio real.

Es cierto que el espacio virtual puede replicar el entorno físico de una forma hiperrealista. No debemos caer en la trampa de que el espacio virtual sigue las mismas leyes de la física que el mundo real. Hasta el momento, el espacio de realidad virtual parece un mundo lleno de oportunidades. Se trata de un soporte tridimensional que lo aguanta todo. Es el equivalente a un folio de papel sobre el que podemos crear sin prejuicios, y obviamente, a la hora de llevar nuestra creación a la realidad no siempre es posible ser fieles a la representación del diseño original. En pocas palabras, factores como: la gravedad, la materialidad y la percepción ambiental no nos afectan de igual forma en ambos mundos.

Por lo tanto, en un lugar en donde las acciones físicas ya no delimitan la forma y la calidad de los espacios, donde las propiedades de los materiales pueden ser transformadas y donde la luz se puede manifestar de cualquier forma, abre un abanico de infinitas posibilidades a los diseñadores.

A pesar de todo, este no es un motivo para tirar por tierra todas las convenciones del mundo físico. La semejanza entre ambos espacios ayuda al usuario a su comprensión. El diseño del espacio virtual no debe replicar necesariamente todos los detalles del espacio físico, de hecho, muchos diseñadores recurren a formas generales que nos son familiares como, por ejemplo, los arquetipos, las iconografías, etc... Las formas y los materiales representados de espacio físico no tienen por qué tener la misma funcionalidad en el espacio virtual pero todavía pueden reflejar comportamientos y cualidades de su gemelo físico.



Fig 2: Imagen de visualización de un espacio virtual. Fuente: Blog Dsigno

La percepción de espacialidad sin embargo sí que se puede replicar en ambos mundos. La utilización de gafas para percibir el mundo virtual hace que el sentido que más interactúa con ambos mundos sea la vista. Por lo tanto, las luces, los colores, los volúmenes y las texturas son igualmente perceptibles y nos generan las mismas sensaciones. El oído también es un sentido de gran presencia común en ambos mundos y por lo contrario, el tacto, el olfato y el gusto no se conciben por el momento en el mundo virtual.

El espacio virtual también cuenta con sus propias limitaciones, dejando de lado las limitaciones de software y hardware de dispositivos de RV de los usuarios. Existen limitaciones humanas como la fatiga ocular, los dolores de cabeza debido a la conexión ojo cerebro y también, al no estar conectado con nuestro oído interno, los mareos son frecuentes.

## 4.2 Herramientas de realidad virtual

### 4.2.1 Modelos 3D

Los modelos digitales en tres dimensiones son la base de las experiencias en realidad virtual. En su estado más simple, la realidad virtual una nada existente en un entorno digital que rellenamos de información tridimensional para poder disfrutar de ella, partiendo de dibujos modelados en tres dimensiones, ya sea por el propio programa de realidad virtual o de un programa de dibujo externo.

VRML son las siglas en inglés de Virtual Reality Modeling Language, y denomiña al tipo de lenguaje que utiliza el ordenador para trabajar con el modelado de elementos tridimensionales y espacios virtuales. El espacio representado en el modelo 3D puede estar basado en el escenario real o en uno inventado. El diseño del espacio virtual no debe replicar necesariamente todos los detalles del espacio físico. De hecho, muchos diseñadores recurren a formas generales que nos son familiares como, por ejemplo, los arquetipos.

La alternativa más empleada por las empresas de arquitectura es la de utilizar el modelo BIM (Building Information Model) debido a que ya posees las características necesarias para funcionar como base para la realización de experiencias en realidad virtual.



Fig 3: Imagen de un modelo BIM y su información de un proyecto. Fuente: Veteo Ifema

#### 4.2.2 Gafas de RV

Unas gafas de realidad virtual son la herramienta básica para la visualización de esta. Existen diferentes tipos de gafas:

- Las conectadas a un ordenador de alto rendimiento común (pueden ser las Oculus Rift o las HTC-Vibe).
- Las gafas que funcionan gracias a la pantalla de un dispositivo Smartphone (como pueden ser las Cardboard de Google o las Samsung Gear VR).

Esta visualización se basa en el principio del funcionamiento del Esteroscopio: está formado por cuatro espejos (dos imágenes con dos lentes) colocados de tal manera que desvían las imágenes de cada ojo, que superpuestas crean una nueva imagen en relieve. Dichas imágenes se unen en el cerebro y crean una falsa sensación de profundidad tridimensional.



Fig 4: Imagen demostrativa del funcionamiento de las Google Cardboard. Fuente: Google

#### 4.2.3 Motores de Videojuegos

Los motores de videojuegos tales como: Unreal Engine y Unity (los más destacados actualmente) son los que hacen posible la realización de estas inmersiones.

Unreal Engine está desarrollando la herramienta de Unreal Studio o para la visualización arquitectónica e industrial. Unity Cuenta con una herramienta llamada ArchViz con la misma finalidad, la de experimentar visualmente un entorno arquitectónico de forma realista sin que exista en el mundo físico. También cabe destacar el motor gráfico Lumion, adaptado especialmente para los modelos de arquitectura.

#### 4.2.4 Modelado en RV

Las dos herramientas más destacadas actualmente son una herramienta *Blocks* de Google que te permite crear y manipular sólidos tridimensionales, y la herramienta *Tilt Brush* de Google, cuya principal función es la de dibujar mediante un sistema de pinceles en un espacio virtual tridimensional.

La empresa de Epic Games posee un *VR Editor*. Se trata de una modalidad del motor que te permite diseñar y construir mundos en un entorno de realidad virtual con las herramientas de Unreal Editor. Es decir, que te permite construir y editar el espacio virtual estando en inmersión dentro de este.

En su web oficial afirman que: “Trabajar directamente en VR proporciona el sentido adecuado de la escala necesaria para crear mundos realistas y creíbles, mientras que el uso de controladores de movimiento significa que puede construir entornos con movimientos e interacciones naturales.”

### 4.3 Realidad Virtual frente a Realidad Aumentada

Es habitual mezclar los conceptos de realidad aumentada y realidad virtual y por ello se merecen una distinción para la explicación de este trabajo:

- La realidad aumentada consiste en una superposición de datos virtuales sobre una realidad ya existente. Puede ser: mediante el uso de gafas de realidad aumentada o bien de un dispositivo equipado de una cámara, una pantalla y un giroscopio como puede ser un Smartphone o una Tablet
- La realidad virtual en cambio consiste en una inmersión total dentro de un mundo inexistente virtual completamente generado por ordenador. Siempre se emplearán un sistema de gafas ya sean autónomas o con ayudas de un dispositivo móvil dentro de dichas gafas.

En pocas palabras, la realidad aumentada se encuentra a caballo entre el mundo real y el mundo virtual. En cambio, la realidad virtual no interactúa directamente con el mundo real, sino que permanece en un plano completamente digital.

Si aplicamos estos conceptos al campo de la arquitectura, el estado del proyecto se situaría en el mundo virtual generado por ordenador. El estado de obra de un proyecto coincidiría con el estado de realidad aumentada, puesto que ya tenemos parte de la construcción del edificio realizada, y una parte se vería en nuestras mentes u ordenadores, y finalmente, una vez el edificio construido, nos situaremos completamente en el mundo real.

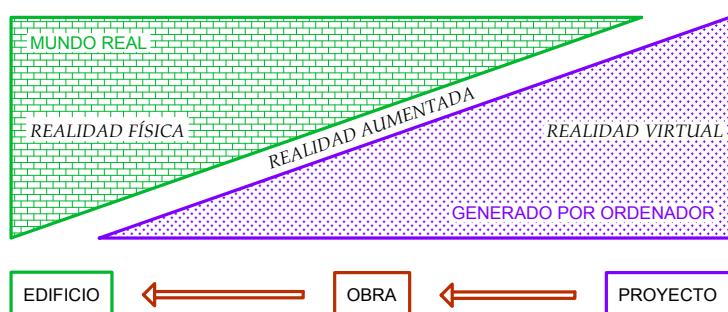


Fig 5: Diagrama sobre la relación entre el mundo físico y el virtual, inspirado en las ponencias del evento VVR18. Producción propia.

#### 4.4 Inmersiones Virtuales

Vamos a distinguir entre dos tipos de inmersiones virtuales:

- La primera consistiría en tener tres grados de libertad es decir que el usuario simplemente se posiciona en un lugar y visualiza todo su entorno en 360º. También conocida como 3DoF.  
Un ejemplo sería renderizado 360º o bien algún video 360º.

- La segunda, consistiría en tener 6 grados de libertad, es decir, que no sólo nos permite apreciar una imagen, sino que también nos permite el movimiento dentro de ese 3D en tiempo real. Así pues, el usuario podría apreciar desde diferentes ángulos su entorno virtual a voluntad propia. Los ejemplos a los que se aplica hoy en día son mayormente videojuegos de realidad virtual en los que además de visualizar tu entorno e interactuar con él, puedes también desplazarte libremente con la ayuda de un mando o joystick o bien, por un sistema de tele transportación. También conocida como 6DoF.

Las inmersiones en el espacio de la realidad virtual siempre requieren un espacio físico. Dependiendo del grado de inmersión este espacio físico, puede reducirse al espacio de una silla hasta ampliarse al espacio que ocuparía en el mundo virtual. Si nos queremos desplazar con nuestros propios pies dentro del mundo virtual nos desplazamos también en el mundo real y por lo tanto, hemos de ser conscientes del entorno físico que nos rodea.

Las aplicaciones más comunes requieren disponer de un espacio vacío de 3x3x3m en el que nos podamos mover libremente sin obstáculos, para interactuar de forma correcta dentro del espacio virtual.

Las inmersiones son cada vez más ‘realistas’ debido al desarrollo de la tecnología que evoluciona a pasos agigantados. La optimización de los polígonos, los cálculos de iluminación cada vez más complejos, la alta variedad y complejidad de las texturas y la evolución del hardware, son algunos de los elementos que nos permiten disfrutar cada vez más de estas experiencias.

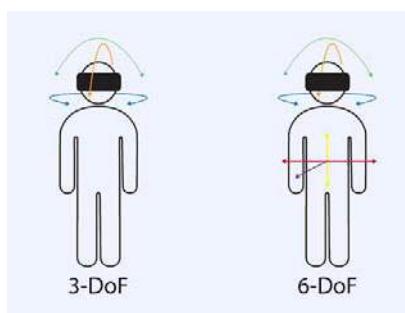


Fig 6: (izquierda) Diagrama grados de libertad en las inmersiones virtuales. Fuente: Virtualspeech

Fig 7: (derecha) Persona sumergida en una experiencia virtual en un espacio físico preparado. Fuente: El País

## 4.5 Aplicaciones prácticas y ventajas

Actualmente, entre las aplicaciones prácticas más comunes de la realidad virtual podemos destacar:

- La visualización: la arquitectura como una visualización artística tridimensional cuyo propósito es ser percibida espacialmente, es decir tener una presencia. La realidad virtual nos ayuda a concebir mejor el espacio. Es como si la estructura de un edificio la transportáramos del plano del papel a la realidad. Estás dentro del entorno que has diseñado.

Es mucho más fácil de presentar un proyecto a un cliente que no tenga mucha visión espacial, porque desde el principio, ve un resultado final y no tiene que imaginárselo, como cuando se le presentaba en un plano. Por lo tanto, facilitará muchísimo su presentación y futura comercialización.

- La ayuda al diseño: gracias a la RV, estás dentro del entorno que has diseñado, con lo cual, eres capaz de ver cosas que no podías ver sobre un papel. Ayuda a imaginar muchísimo mejor el resultado final de un proyecto, ya que estamos dentro de él. Ves mejor los problemas y carencias desde el principio, trabajando con esta herramienta.

- Iluminación y materiales: en la arquitectura la luz lo es todo. “Es el elemento clave y fundamental de cualquier proyecto de arquitectura” como diría Le Corbusier. Usar un motor de iluminación natural y artificial permite una mejor elección de los materiales teniendo en cuenta sus propiedades físicas.

La RV nos permite probar diferentes tipos de iluminación, diferentes materiales y decorar cada espacio de diferente manera. Puedes hacer todas las modificaciones que quieras, antes de construirlo.

- La participación ciudadana: cuando un proyecto se realiza para un gran espacio público o una gran infraestructura un desarrollo urbanístico se puede emplear la realidad virtual para obtener simulaciones y opiniones del público.

Por ejemplo, para mejorar los espacios urbanos, ver con qué dificultades se encuentran las personas en su día a día cuando pasean por su ciudad y mejorarlas.



Fig 8: Persona trabajando con la realidad virtual . Fuente: arquitecturayempresa

Entre las ventajas que ofrece la visualización arquitectónica en RV, las que afectan directamente en desarrollo de este trabajo son:

- La posibilidad de realizar un tour visual en un espacio arquitectónico no construido.
- Al contrario que un documento bidimensional, este nos ofrece múltiples puntos de vista de un elemento en cuestión de segundos.
- El proceso de realización admite la utilización de múltiples softwares y la interoperabilidad entre estos.
- La percepción inmediata de la escala real del proyecto que se está desarrollando una vez empleamos las gafas





## 5. Análisis del cuadro

### 5.1 Autor y contexto histórico

El documento elegido para este proyecto es conocido bajo el nombre de *El Città Ideale* llamada de Urbino por su localización en Galleria Nazionale delle Marche. Es una de las imágenes más representativas y simbólicas del Renacimiento Italiano. Se trata de una obra realizada con la técnica de témpera sobre madera de dimensiones 239,5 cm × 67,5 cm. El autor es desconocido, pero se le atribuye a algún artista de en la corte de Federico de Montefeltro. Se estima su fecha de creación entre los años 1480-1490, a finales del Quattrocento, periodo muy importante del panorama artístico europeo y con origen en Italia, se considera la primera fase del movimiento Renacentista.

La obra representa un vasto espacio urbano en perspectiva cónica de un punto de fuga y es un claro ejemplo de la representación de profundidad de la época. La arquitectura es el elemento principal de la composición y llama la atención la ausencia de personas que representen la escala humana en la composición.



Fig 9: *La ciudad ideal llamada "de Urbino"*. Fuente: [gereativism.com](http://gereativism.com)



Fig 10: *La ciudad ideal llamada “de Urbino”*, atribuida a alguno de los pintores de la corte urbinesa de Federico de Montefeltro ca. 1480-1490 (Galleria Nazionale delle Marche, Urbino). Fuente: [gereativism.com](http://gereativism.com)



Fig 11: *La ciudad ideal llamada “de Berlín”*, sin atribución, ca. 1477 (Gemäldegalerie, Berlín). Fuente: [gereativism.com](http://gereativism.com)

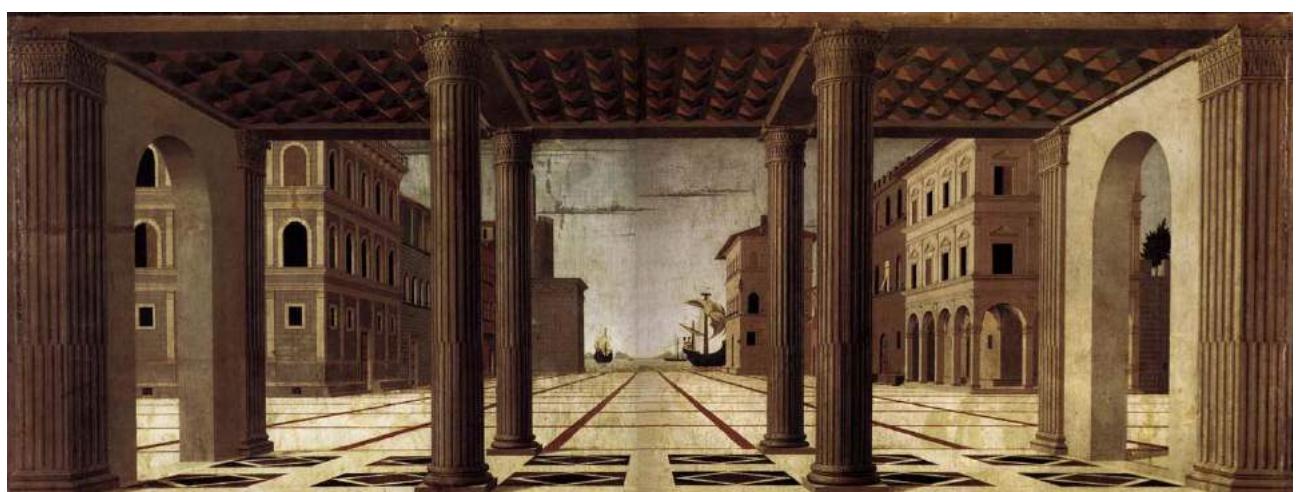


Fig 12: *La ciudad ideal llamada “de Baltimore”*, atribuida a Fra Carnevale, ca. 1480-1484 (Walters Art Museum, Baltimore). Fuente: [gereativism.com](http://gereativism.com)

Como documentos complementarios al cuadro de Urbino tomaremos los de las obras de la ciudad de Berlín y la ciudad de Baltimore cuyas imágenes encontramos en la página contigua. Las tres obras tienen una estética similar y elementos comunes debido a que datan de la misma época.

## 5.2 La ciudad ideal

El concepto de ‘ciudad ideal’ nace ligado al redescubrimiento de las proporciones geométricas en la arquitectura y el consecuente avance de la representación en perspectiva del arte. Este concepto renacentista se basaba en un trazado geométrico.

Dejaremos a un lado a un lado los ejemplos de las plantas de la *Ciudad ideal de Sforzinda* de Filarete y el posterior *Trazado de la ciudad de Palmanova* de Scamozzi, y entraremos el trabajo en el ideal descrito por Alberti en su tratado *De Re Aedificatoria*, que a su vez se basa en las ideas Vitrubianas del tratado *De Architectura*. Dicha ciudad debía ser un espacio donde el hombre sea capaz de vivir en armonía, rodeado de conocimientos y que fuera un reflejo de la relación entre el hombre y el universo.

En ese tratado, se establece una jerarquía de calles que se dividen en principales, secundarias y calles como plazas. A su vez, los edificios también se dividían en tres categorías; los edificios públicos, las casas de ciudadanos influyentes y las casas populares.

Como documentos complementarios al cuadro de Urbino tomaremos los de las obras de la ciudad de Berlín y la ciudad de Baltimore cuyas imágenes encontramos en la página contigua. Las tres obras tienen una estética similar y elementos comunes debido a que datan de la misma época.

La deseada ciudad era representada por los artistas mediante las leyes de la perspectiva cónica que siguen el método matemático que descubrió Filippo Brunelleschi. Estos tópicos renacentistas se basaban en trazado geométrico de una ciudad que era capaz de cobijar sistemas sociales utópicos de la época. La mayoría de las representaciones trazan grandes espacios abiertos flankeados por edificios que se alinean a sus bordes generando plazas cerradas colmatadas por un hito central, un elemento urbano, generalmente un edificio de planta central con cubierta con de geometría cónica o con forma de cúpula.

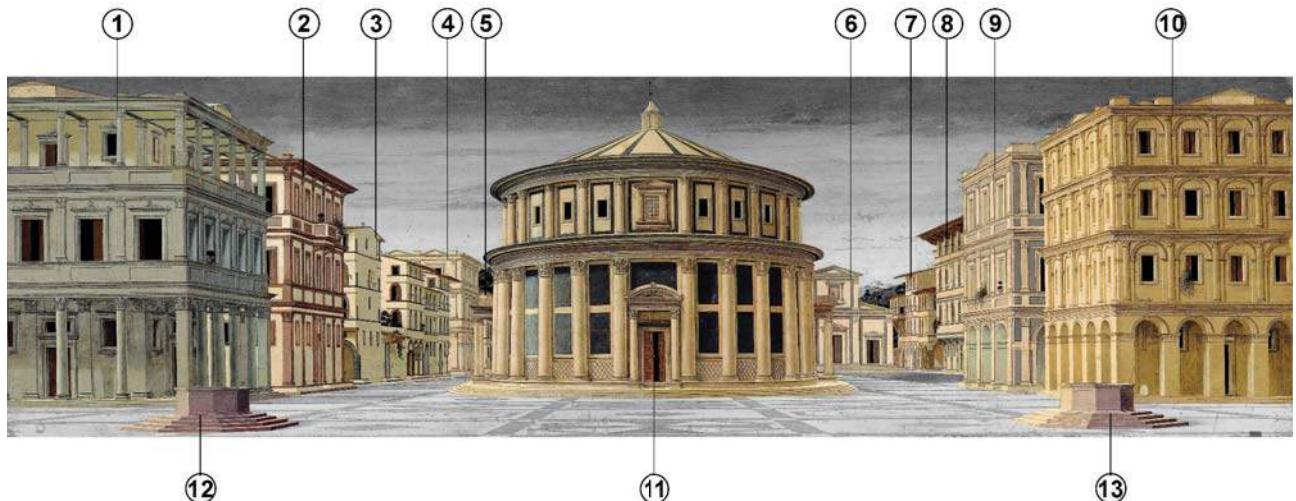


Fig 13: Numeración de los elementos de la composición. Producción propia.

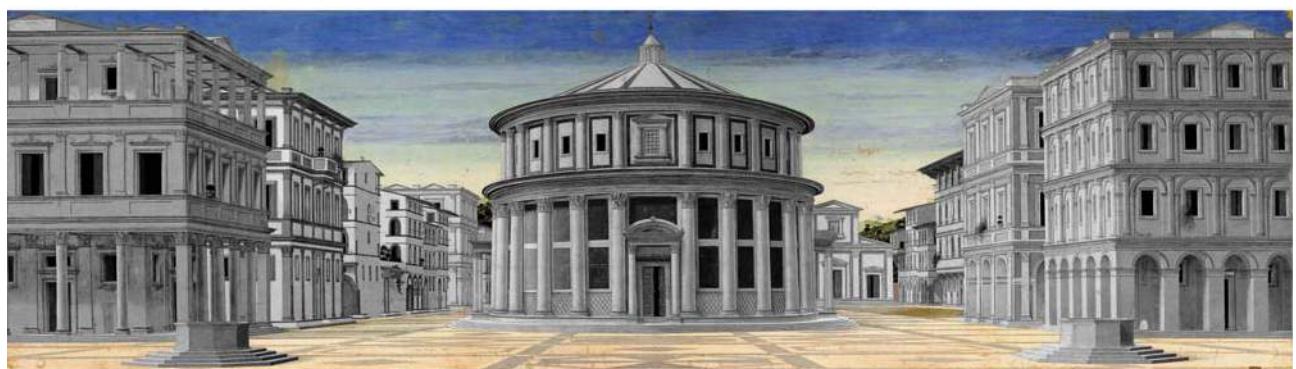


Fig 14: Marcaje de los elementos destacados en la composición. Producción propia.



Fig 15: (izquierda) *Entrega de las llaves a San Pedro*, fresco de la Capilla Sixtina, de Perugino, 1481-82.

Fig 16: (derecha) *Los desposorios de la Virgen*, de Rafael, 1504.

### 5.3 Elementos del Cuadro

Para comenzar a analizar el cuadro, numeraremos los edificios, o conjuntos de estos, para poder ser más concretos en los comentarios posteriores. De izquierda a derecha identificamos 10 conjuntos de edificios dejando el número 11 para el central, y el 12 y el 13 para las fuentes. Los números 3 y 7 son agrupaciones de edificios en medianeras nombrados como un conjunto debido a que presentan una huella única en planta. En el particular caso del número 5, factores de falta de información y lejanía del elemento no lo hacen relevante para este trabajo en particular. Se representará como parte del entorno tal y como se explica más adelante en el trabajo.

Existen fuertes similitudes entre edificios en la composición y también una gran predisposición a la simetría. Empezando por la colocación de las fuentes de base octogonal simétricamente colocadas el dibujo complementario del pavimento con un claro eje de simetría que se dispone hasta el edificio central y a cada lado del cual se disponen cinco edificios. Las similitudes más potentes se observan entre el edificio 4 y el 9, que presentan las mismas plantas primera y segunda con variaciones en la planta baja y la cubierta. Los conjuntos 3 y 7 también presentan elementos comunes y de proporciones similares por lo que se modelarán de forma similar.

El suelo de la composición presenta una forma de ‘tablero de ajedrez’ sobre el que se disponen los edificios. Este elemento es recurrente en obras de la misma época como podemos observar en la obra del museo de Baltimore o en el fresco de Perugino titulado como *La entrega de llaves a San Pedro* que data de la mismo periodo y estilo.

La luz de la obra es muy clara, no presenta fuertes reflejos ni genera grandes sombras. El cielo está despejado y sin embargo el sol no incide fuertemente en los edificios y estos no producen sombra en el pavimento. Observando la obra, se nota el trabajo de luces y sombras, siendo el lado izquierdo más claro y el derecho más oscuro.

Al fondo del cuadro, podemos observar unas colinas, esto se debe a que también era recurrente la representación del paisaje con elevada orografía italiana como elemento de cierre.

Existen multitud de pequeños elementos en la obra como pequeñas macetas con vegetación, y otros elementos estéticos que no se van a analizar en este trabajo. Se busca una percepción global del espacio arquitectónico y la atención a ese tipo de detalles no es relevante.

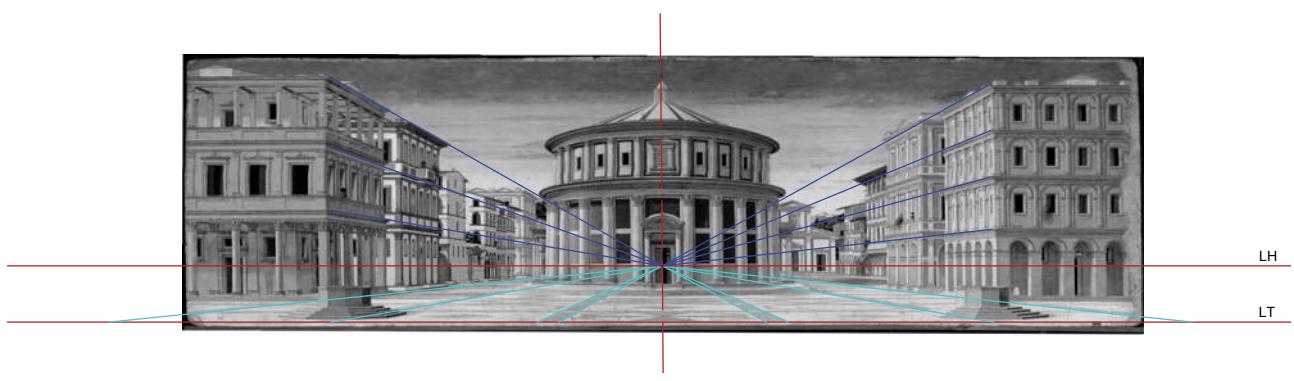


Fig 17: Obtención del punto de fuga, línea de tierra y línea de horizonte. Producción propia.

# 6. Restitución de la perspectiva

Para este paso emplearemos la herramienta de dibujo de ordenador *AutoCAD*. La alta precisión del programa, la manejabilidad que he adquirido con el dibujo 2D y la disponibilidad del software gracias a una licencia de estudiantes son los factores que me han llevado a usarlo para este trabajo fin de grado. Importando una imagen a alta resolución, podemos trazar líneas aumentando y reduciendo la imagen para adquirir más precisión.

## 6.1 Obtención del Punto de Fuga

El punto de fuga (F) es el lugar donde concurren las perspectivas de todas las rectas imaginarias que en el espacio son paralelas a una dirección.

Tomando elementos arquitectónicos rectos como las cornisas de los edificios y los elementos del pavimento de la plaza, obtenemos en punto de fuga mediante intersección en la prolongación de las rectas que forman dichos elementos. Este se sitúa, visualmente, a media altura en la puerta del edificio central y coincide con el eje de simetría de este.

La línea de horizonte (LH) se sitúa a la altura de la vista del observador. La altura de los ojos de una persona media se estima a 1,75m fuente. Esta distancia se conoce como altura del horizonte, se mide desde la LH a la LT y nos permitirá obtener las medidas de los elementos del cuadro.

Como línea de tierra (LT) tomaremos la última línea del trazado del suelo que aparece en el cuadro, paralela a la LH y perpendicular al plano principal.

El Plano Geometral es el plano perpendicular al cuadro, que equivale al suelo, y sobre el que se apoyan los objetos que se representan.

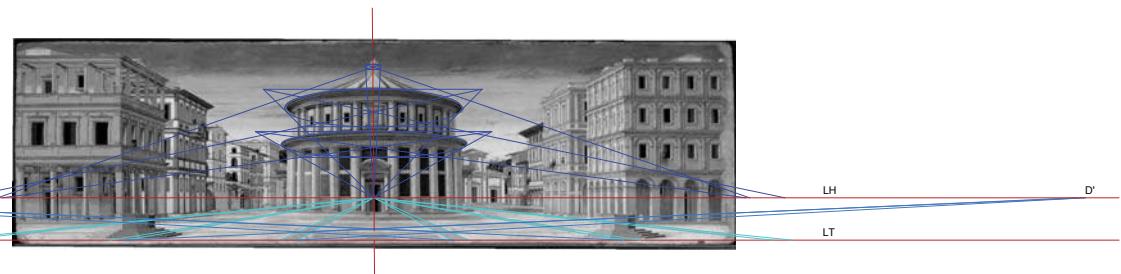


Fig 18: Obtención de los puntos de distancia mediante el dibujo del pavimento. Producción propia.

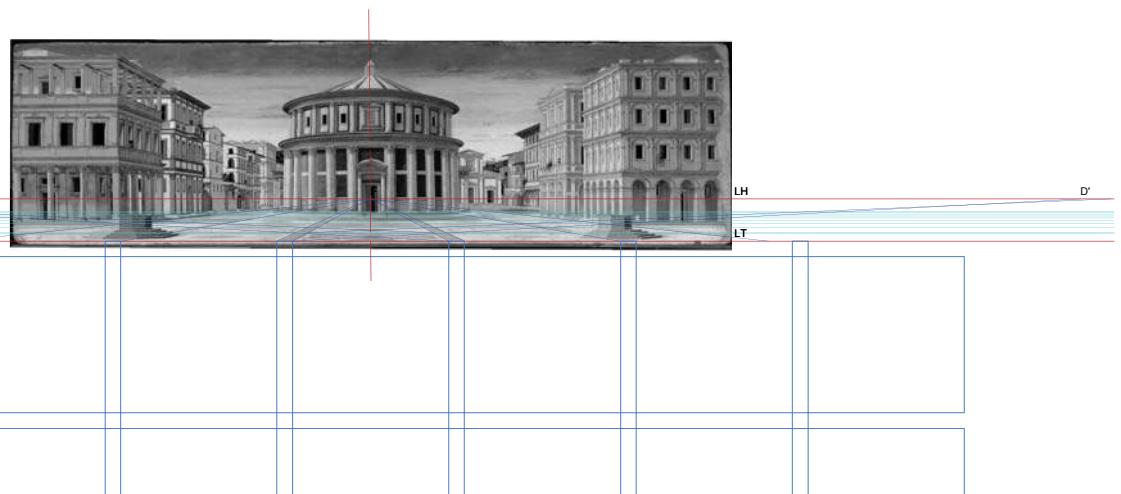
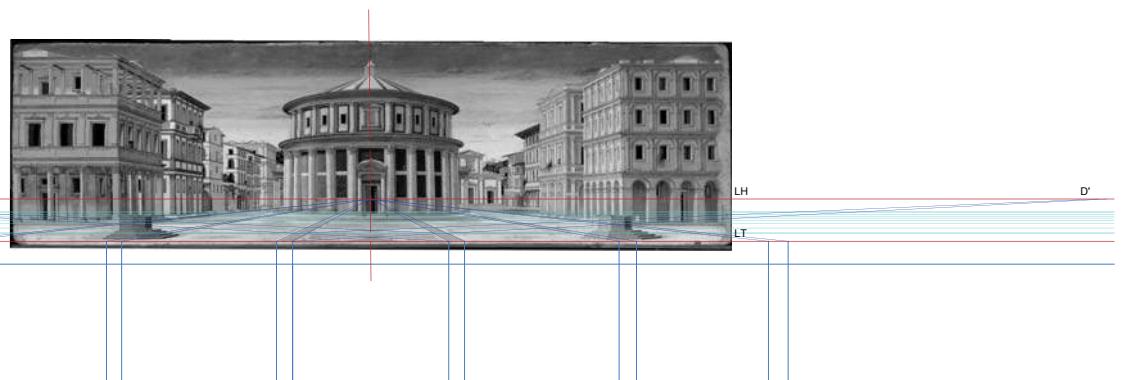


Fig 19 y 20: Restitución de la retícula del suelo (arriba) y regularización de las mismas (abajo). Producción propia.

## 6.2 Obtención de los Puntos de Distancia

Los puntos de distancia (D) se encuentran a la misma distancia del punto de fuga (F) que la distancia del visor (V) y dispuestos simétricamente a F sobre la línea de horizonte (LH).

El suelo de la plaza representada en el cuadro es reticular con forma de tablero de ajedrez, es decir que está compuesta por una sucesión de cuadrados perfectos. Dichos cuadrados tienen una dirección hacia el punto de fuga y la otra paralela a la LT. Las diagonales de dicho patrón nos permiten obtener los puntos de distancia D y D' en la intersección de estas diagonales con la línea de horizonte.

Otro método consiste en obtener los puntos de distancia a través de las elipses que forman los anillos de las cornisas del edificio central: obteniendo el centro de la elipse y tazando tangentes a la elipse que pasan por F y tangentes paralelas a la LH, con el propósito inscribirlas en un cuadrado cuyas diagonales proyectadas hacia la LH darían el mismo resultado.

Dicho método no parece del todo fiable debido a la diferencia entre estos y resultados del método anterior. Las inclinaciones en las elipses parecen ser exageradas por el artista y no son tan fiables como los regulares trazos del suelo.

Por tanto, nos decantamos por los puntos de distancia obtenidos con el procedimiento del pavimento, obteniendo a su vez el punto V. Los puntos de distancia se encuentran fuera del documento, curiosamente la distancia de F a V es aproximadamente la misma que el tamaño de la obra. Lo que a su vez nos indica que el observador se sitúa a esa misma distancia.

## 6.3 Regularización retícula del suelo

El dibujo regular del suelo es el que no aporta más información de la disposición de los edificios en la composición. El problema es que, por leves variaciones, las distancias en la LT no son regulares. Por tanto, tomamos la distancia central como base para la regularización de la trama y suponemos todos los elementos geométricos regulares perfectos.

La hipótesis principal es que variaciones como esta y otras son causadas debido a que el documento de trabajo es una fotografía de alta calidad de un cuadro dibujado a óleo. Son probables las deformaciones producidas por objetivo de la cámara, el trazado del pincel y la pérdida de precisión y calidad en elementos pequeños.

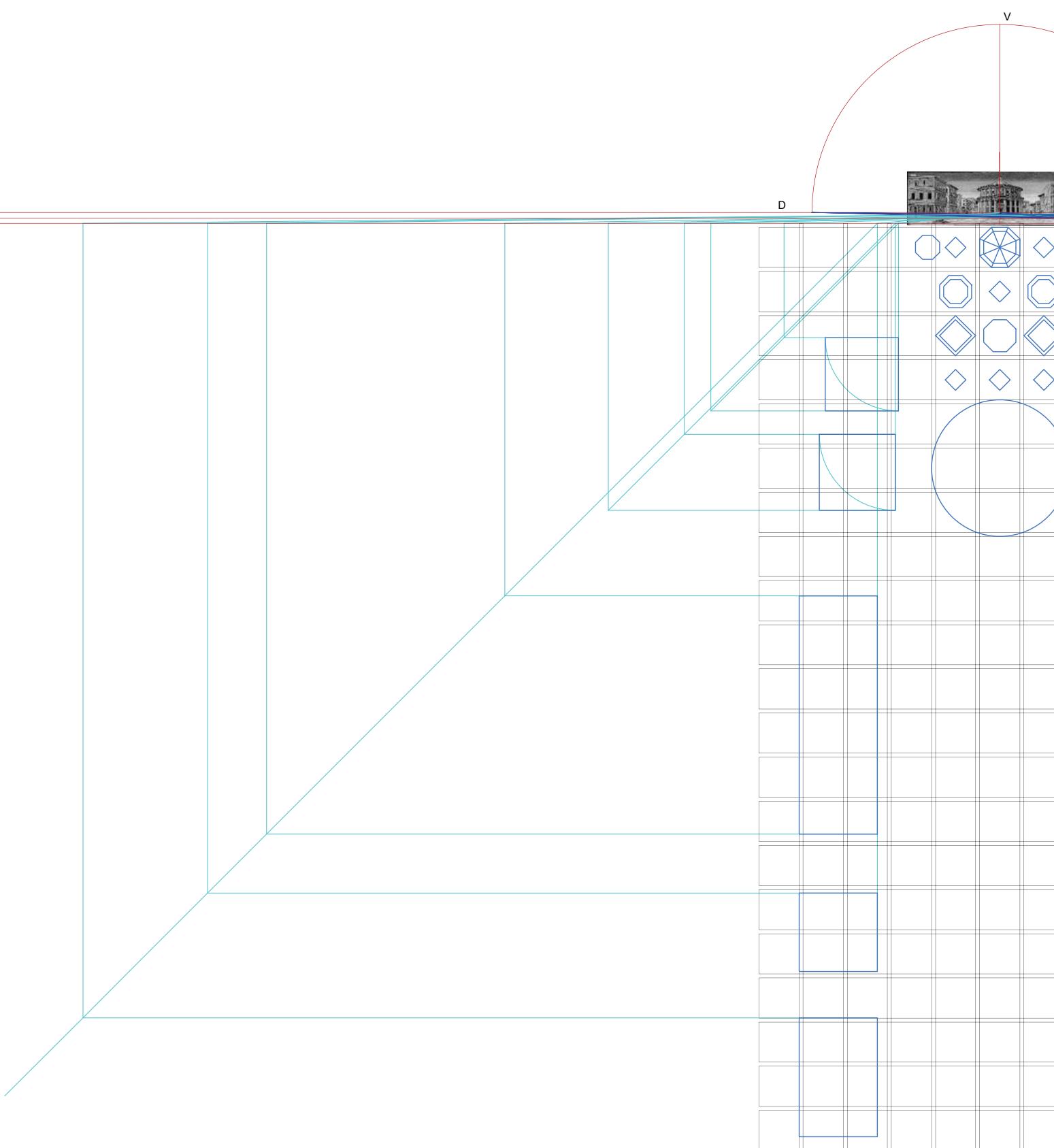
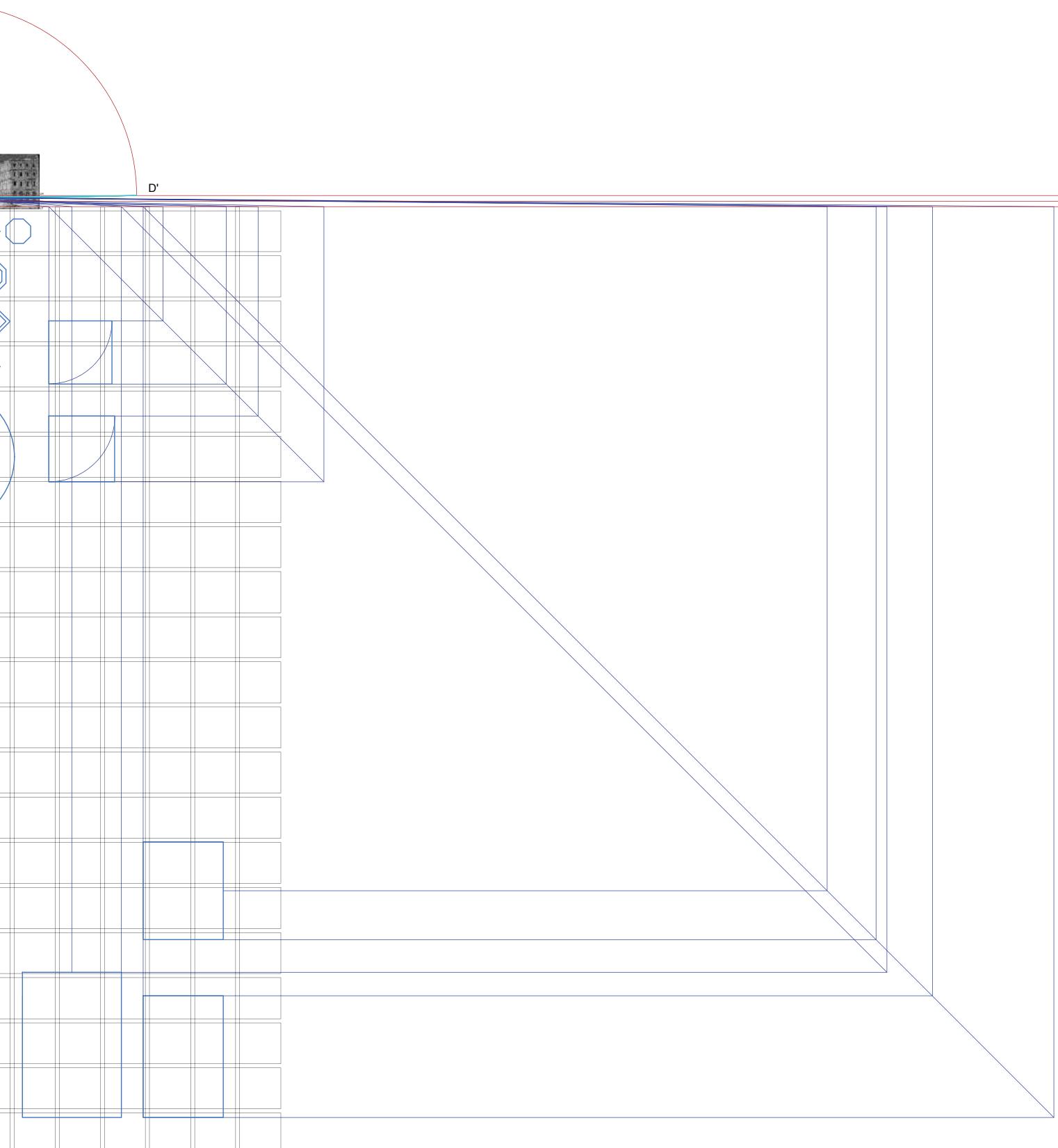


Fig 21: Proceso de restitución de la planta del cuadro de La Ciudad Ideal de Urbino. Producción propia.



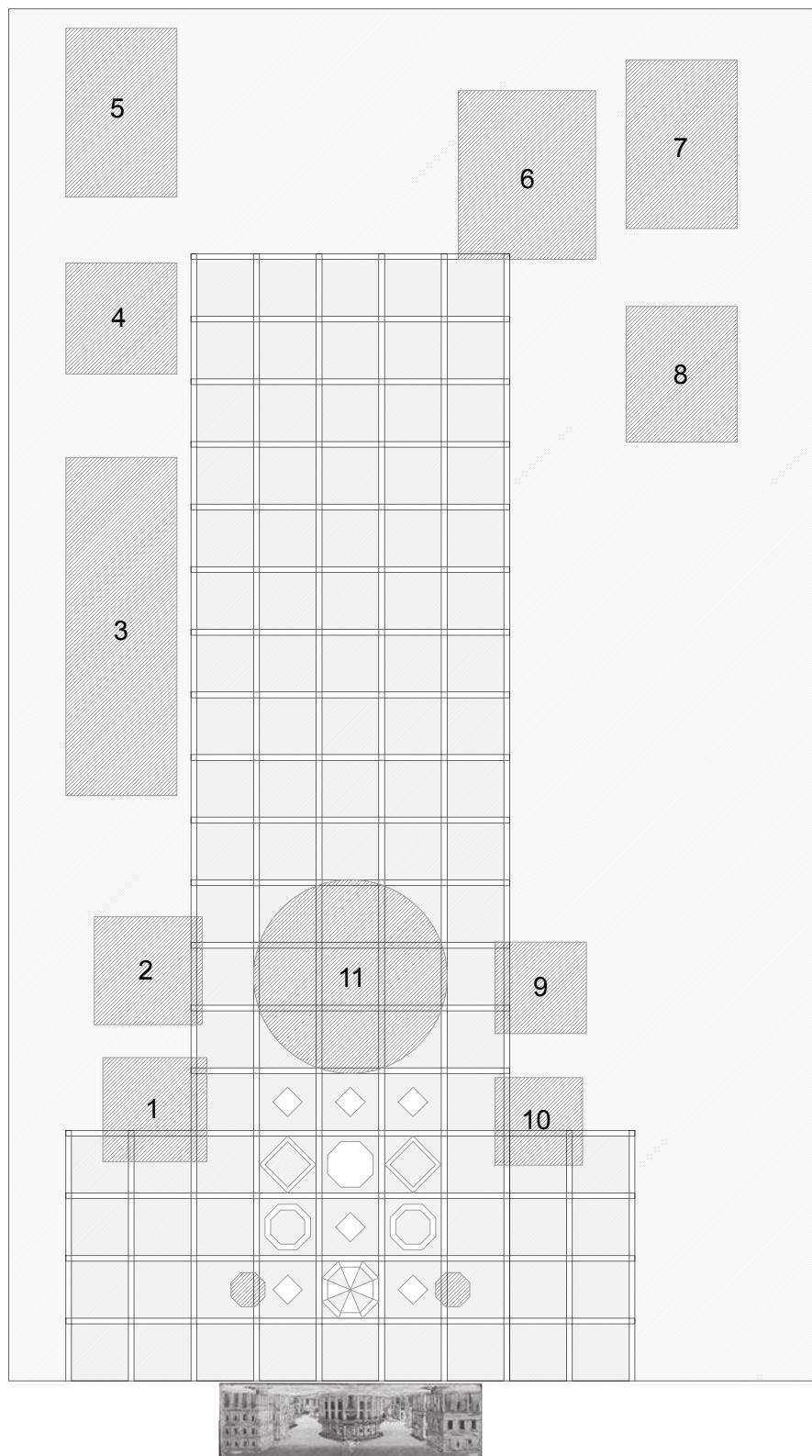


Fig 22: Resultado de la restitución de la planta del cuadro de La Ciudad Ideal de Urbino. Producción propia.

## 6.4 Restitución de la planta

Desmontando la perspectiva con los elementos descritos anteriormente, obtenemos la planta aproximada de los edificios que aparecen en la vista de la obra. A primera vista los edificios parecían estar repartidos sobre la plaza como fichas sobre un tablero alineados con el patrón regular del suelo. Lejos de esa idea de ciudad ideal, si observamos en el cuadro atentamente no lo están.

En general el resultado obtenido de la restitución corresponde con lo representado en el cuadro, los edificios están levemente desalineados uno de otros y la trama del suelo desaparece de los laterales según profundizamos en la perspectiva. La trama del suelo adopta más bien una forma de 'T' invertida en lugar de un simple tablero.

En planta podemos distinguir cómo interactúan el conjunto de los 5 edificios y las 2 fuentes del primer plano del cuadro y el plano del fondo que incluye al resto de edificios. La disposición de los primeros es mucho más cercana. Los tres del lado derecho se separan del resto creando su pequeña atmósfera y el cambio los del lado izquierdo están alineados y repartidos de forma más regular con algún leve retranqueo.

Observamos cómo el grupo de los tres edificios 6, 7 y 8, se encuentra a una gran distancia del edificio central y de los dos edificios de la derecha anteriores a estos. Además, presentan un fuerte retranqueo con respecto al claro alineamiento del resto de edificios a lo que, en un principio, se asemejaba a una plaza claramente rectangular.

Tomando como referencia visual la pintura, planteo la hipótesis de que los edificios 1, 2, 4, 9, 10 presentan una planta cuadrada debido a lo que podemos apreciar de sus fachadas. En cambio, el edificio 6 del que solo vemos la fachada frontal, supongo una planta rectangular de profundidad indefinida. Ello se basa en que el aspecto de su fachada es similar al de una iglesia de planta rectangular con nave principal y dos naves laterales, lo a su vez explicaría el tamaño y la ubicación de las puertas. La idea de que sea un edificio religioso se ve reforzada por el hecho de que presente un adorno de fachada similar al del edificio central.

En lo que concierne al edificio 8, se parte de un cuerpo central cuadrado pero que se ve truncado por el voladizo que le confiere una planta rectangular. Los grupos 3, 5 y 7 son conjuntos de edificios medianeros del que desconocemos su profundidad y por su aspecto se toma como primera hipótesis una planta rectangular como la adecuada para estos.

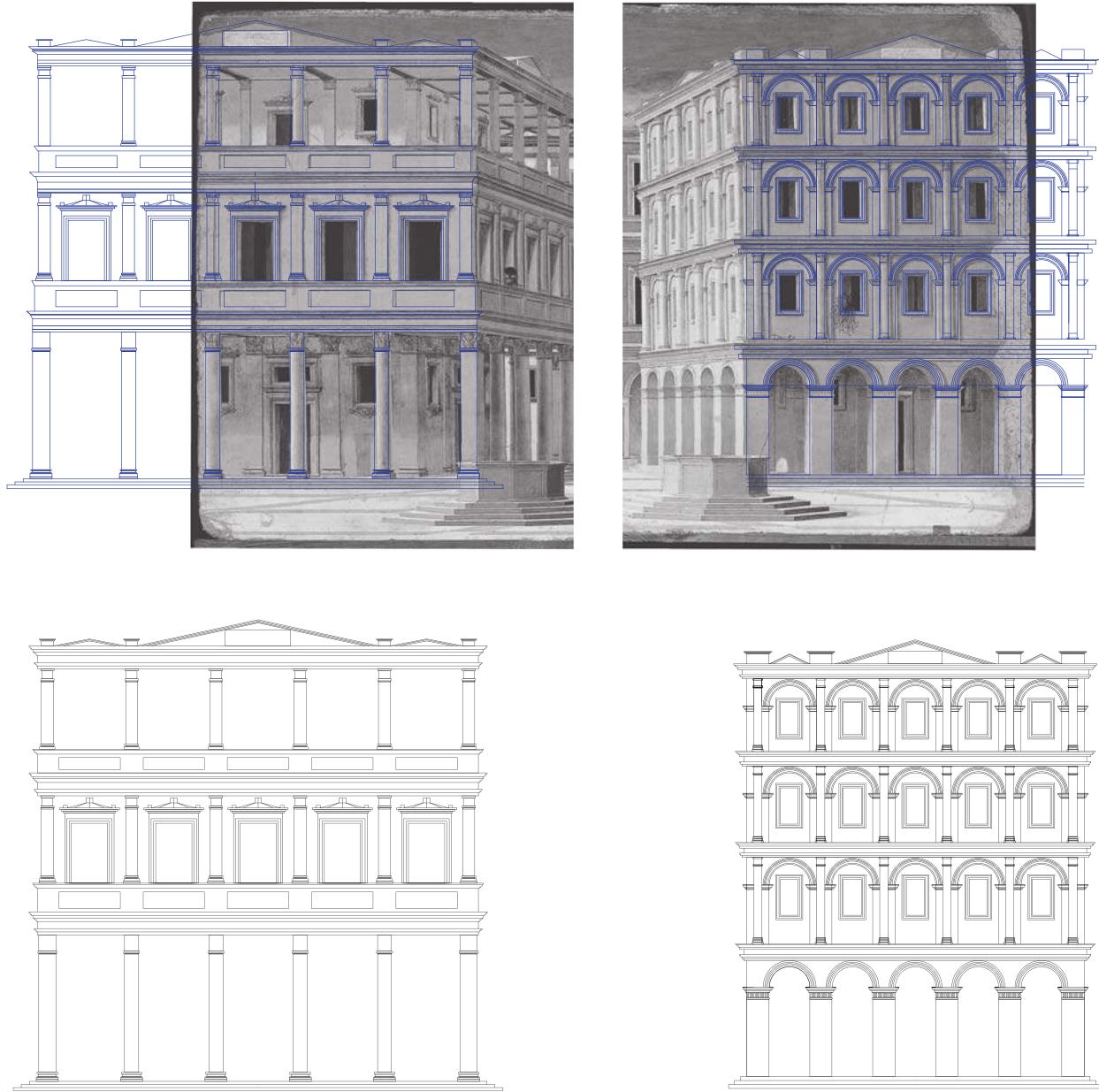


Fig 23: Restitución de fachada de edificios 1 y 10 proceso de calco (arriba) y aproximación para el 3D (abajo). Producción propia.

## 6.5 Dibujo de las fachadas

La ventaja que juega a nuestro favor de la perspectiva frontal es que las proporciones de los elementos que se sitúan en planos paralelos al plano del cuadro no se deforman. Por lo tanto, podríamos simplemente comenzar un proceso de calco sobre las fachadas que se encuentran en estos planos.

Tras el primer proceso de calco observamos deformaciones en el documento entre las que destacan: líneas curvas en fachadas rectas, cornisas con difuminados relieves, variaciones irregulares en las alturas de planta y diferentes tamaños en elementos arquitectónicos semejantes entre otros.

Una decisión de proyecto para este trabajo es la de regularizar de alguna forma el dibujo de en general y particularmente en las fachadas de los edificios simplificando en algunas ocasiones ciertos detalles del cuadro. Los objetivos de esta decisión son facilitar la restitución, dar algo más de autenticidad arquitectónica al documento, producir documentos propios del campo de la arquitectura y acercarse a las decisiones proyectuales de la época del renacimiento. Para ello, se ha de ser crítico y contrastar los resultados obtenidos en cada etapa, y apoyarse en otros documentos arquitectónicos basados en edificaciones y entornos reales. Un ejemplo claro de ello es la decisión previamente tomada con el trazado del pavimento.

Las imágenes empleadas en esta etapa han sido principalmente dibujos de los cinco ordenes de la arquitectura además de las imágenes de publicación de Palladio para la visión global de las fachadas y sus proporciones.

Al contrario que en las fachadas frontales, todas las demás fachadas presentan deformaciones de perspectiva y por suerte muchas se encuentran en planos perpendiculares al plano del cuadro y por tanto se pueden averiguar las medidas aproximadas y regularizarlas apoyándose en elementos de los edificios que se encuentran en las caras frontales como referencia.

Las claras similitudes entre el grupo de edificios 3 y 7 así como los edificios 4 y 9, ayudan a las suposiciones entre las proporciones de elementos arquitectónicos y la perdida de precisión de los detalles de los edificios 4 y 7.

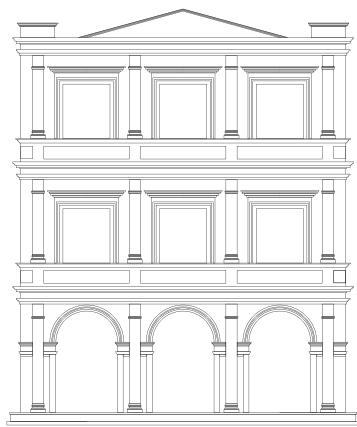
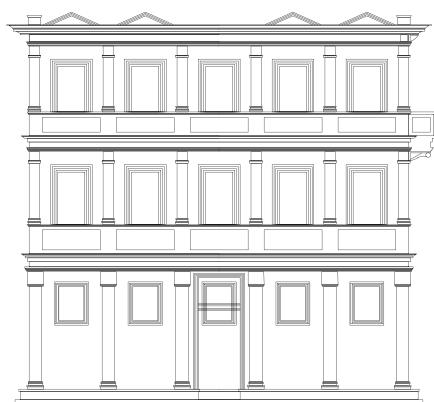


Fig 24: Restitución de fachada de edificios 2 y 9. Proceso de calco (arriba) y aproximación para el 3D (abajo). Producción propia.

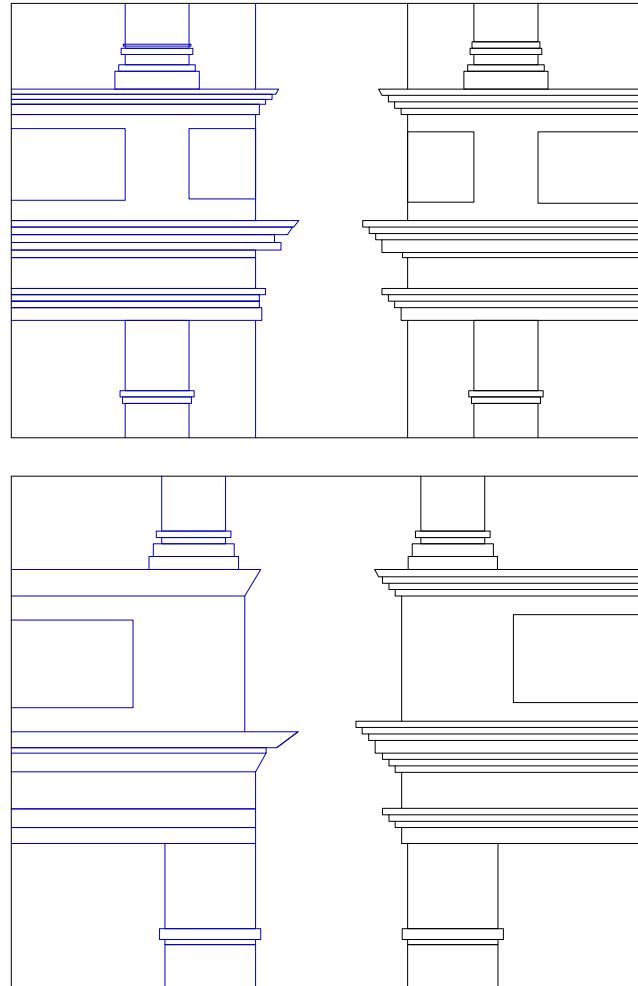


Fig 25 y 26: Detalles de restauración de edificios 1(abajo) y 2(arriba). Proceso de calco (izquierda) y aproximación para el 3D (derecha). Producción propia.

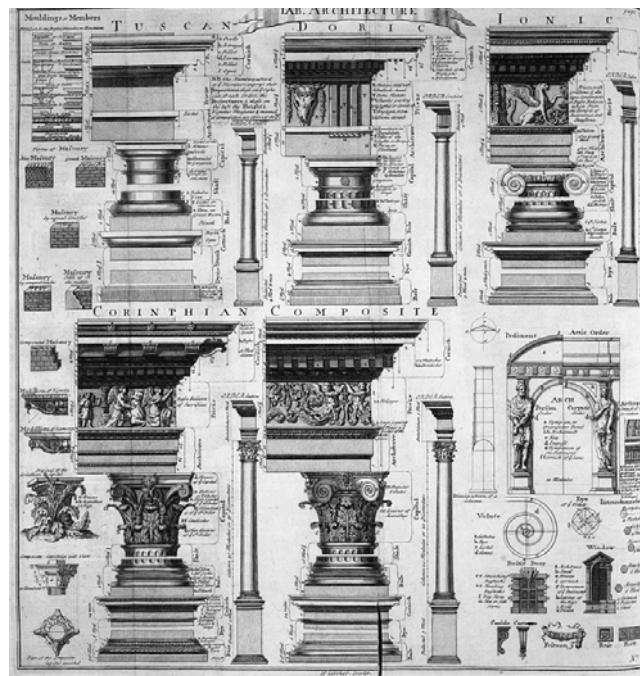


Fig 27: Cyclopædia, or an Universal Dictionary of Arts and Sciences. James and John Knapton. Fuente: Wikimedia Commons.  
Tomado como referencia para la aproximación de las fachadas.

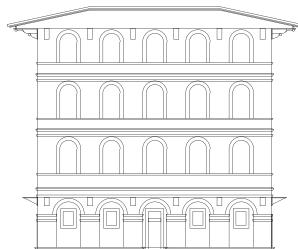
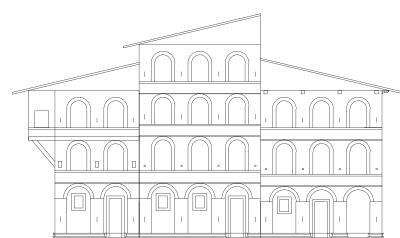
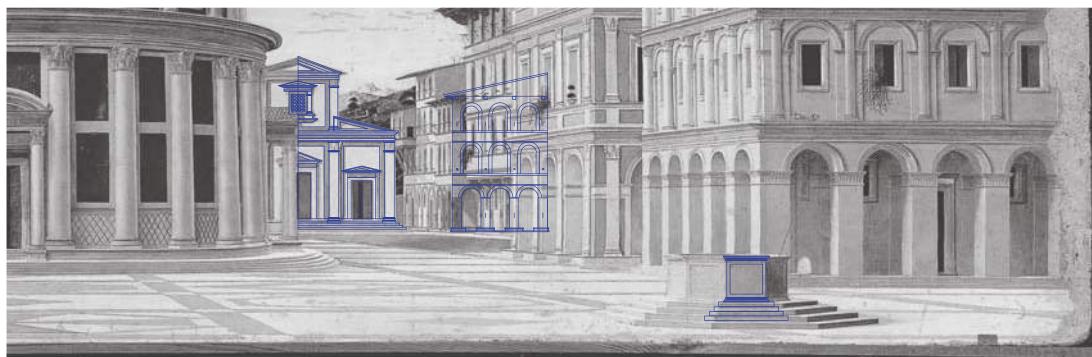
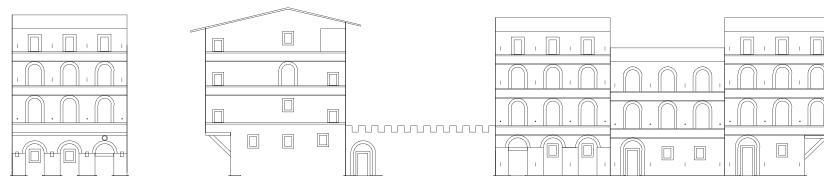
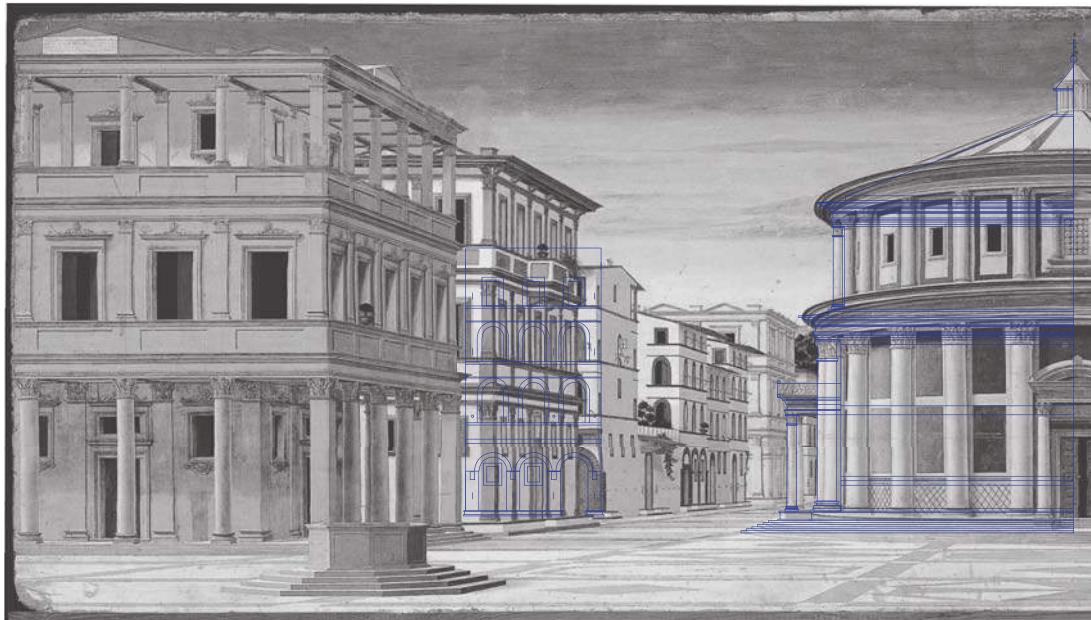


Fig 28 y 29: Restitución de fachada de edificios 3, 6, 7, 8, 11 y 12 proceso de calco (arriba) y aproximación para el 3D (abajo). Producción propia.

## 6.6 Obtención de las alturas

Las alturas pueden ser definidas por rectas perpendiculares a la LT que recorren los elementos desde el suelo o plano geométral hasta la altura que deseamos obtener. La magnitud real se mediará en el plano del cuadro, perpendicular al plano geométral y cuya intersección es la LT.

Por tanto, trazando unas rectas dese el punto F que pasen por los extremos de las alturas deseadas, y proyectando estas mismas hasta cuando se intersecan con la LT, podemos obtener las alturas reales.

El edificio más alto es claramente el de apariencia religiosa, el edificio de planta central rematado con una cruz. Y en general los edificios del fondo son ligeramente más altos que los más cercanos. Una hipótesis viable podría ser que el artista exageró la profundidad de la composición y decidió aumentar la altura de los edificios más alejados para que no perdiesen presencia global en el resultado final.

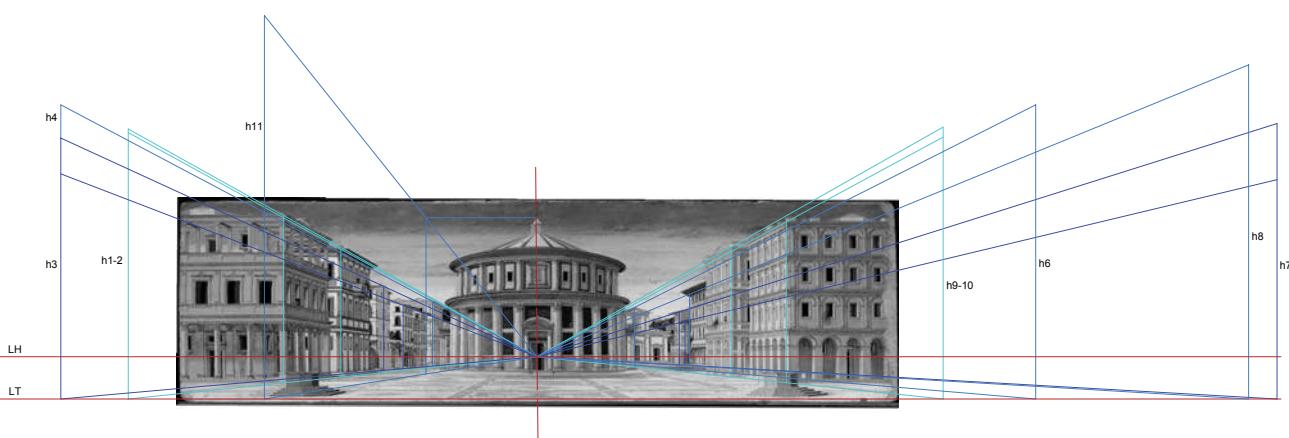


Fig 30: Restitución de las alturas de los edificios. Producción propia.

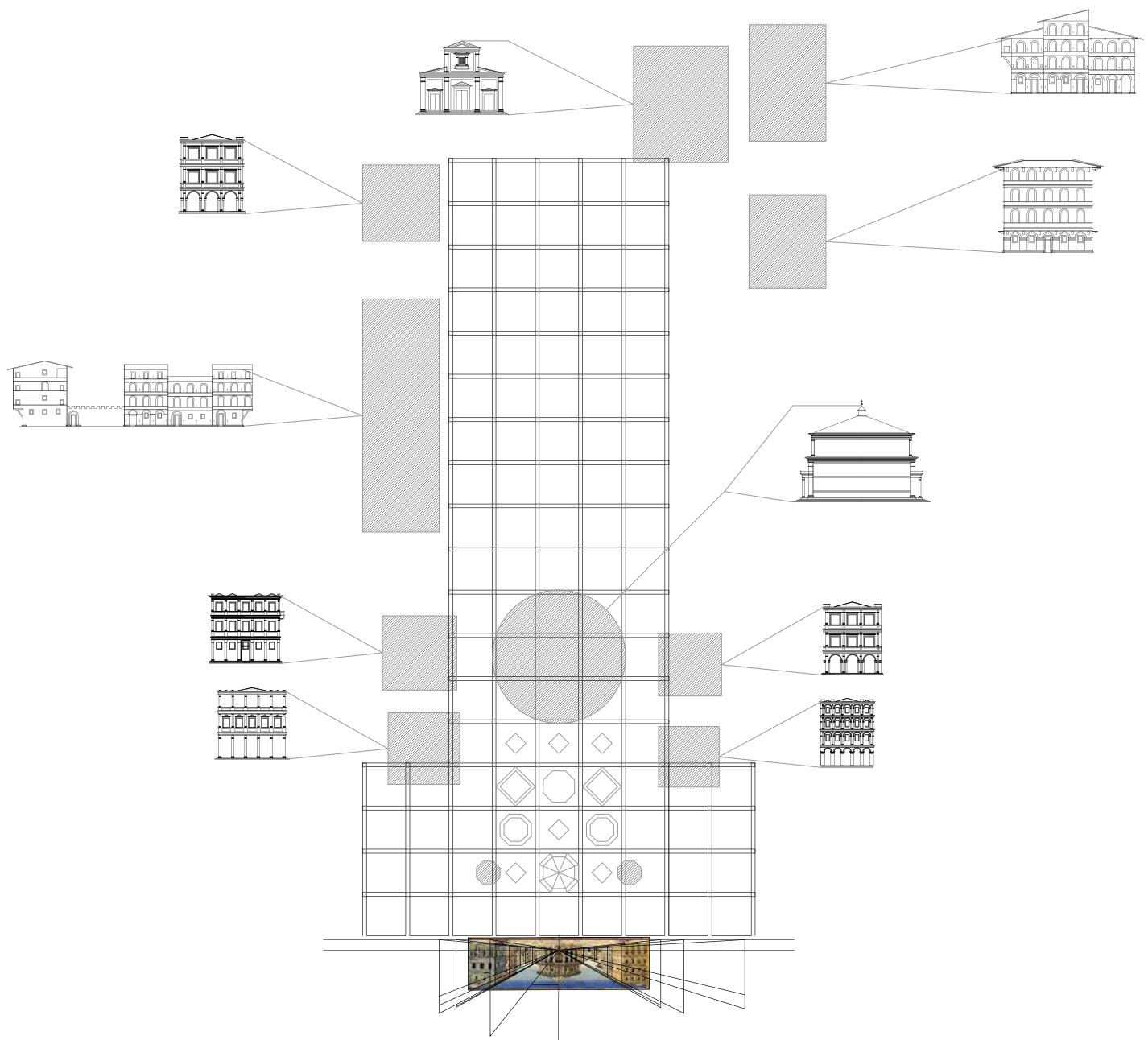


Fig 31: Imagen que relaciona la planta con las fachadas de referencia con la altura y la aporfundidad de la perspetiva. Producción propia.

## 6.7 Documento en conjunto para el 3D

Se trata de un documento de trabajo para el posterior modelado 3D en el que ya se relacionan la forma de la planta con las fachadas en verdadera magnitud y su distribución en la composición. Se empleará como hoja de ruta para el siguiente paso. Es interesante la gran diferencia del tamaño de la plaza restituida en relación con el tamaño de la imagen de la que se origina. Dadas las medidas del cuadro original, difícilmente se habría podido realizar este proceso usando métodos analógicos.

## 6.8 Observaciones vista al 3D

La distancia del observador y distancia focal nos serán útiles más tarde para colocar la cámara del observador y así obtener el dibujo en perspectiva a línea del cuadro ejecutado por el programa y resultante del proceso de restitución modelado tridimensional.

La planta no da una idea clara de cómo podría funcionar la porción de ciudad representada y presenta enormes vacíos.

La profundidad de los edificios no se puede averiguar con este documento de perspectiva y por tanto para el desarrollo de este trabajo se estima el ancho de una fachada como profundidad para edificios como los del grupo 3 y 7. La planta del edificio 8 es un caso ambiguo con poca información que se retomará más adelante.

A pesar de que el resultado final no presente exactamente la misma proporción y decoro que el representado en el cuadro, se conservará la estética general y la percepción global del documento para conservar las impresiones y sensaciones en la inmersión resultante.

Los detalles que no se han definido aún en esta primera etapa se van a ir profundizando a la hora de la realización del modelo virtual tridimensional con su consiguiente argumentación.

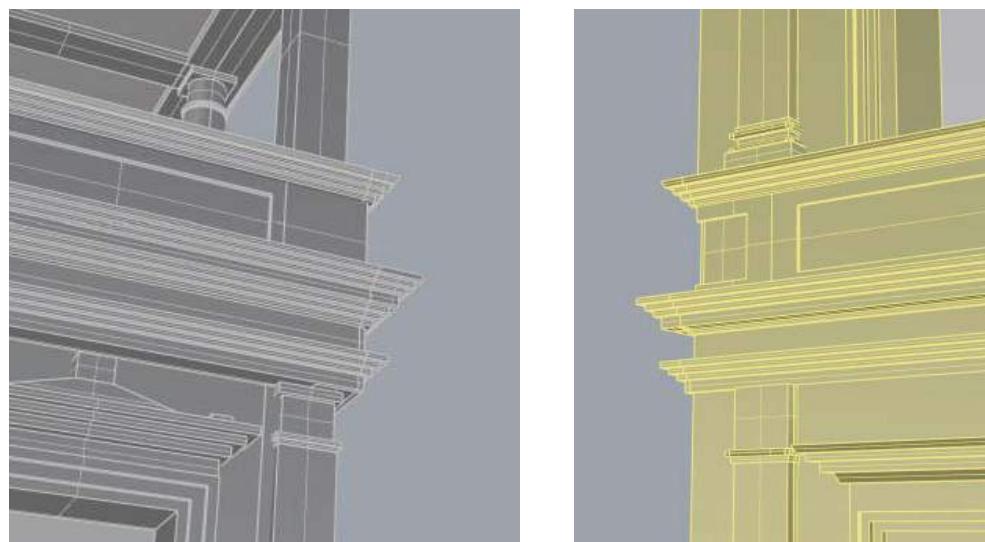


Fig 32 y 33: Detalles del modelado de los edificios. Edificio 1 (izquierda) edificio 4 (derecha) .  
Producción propia.

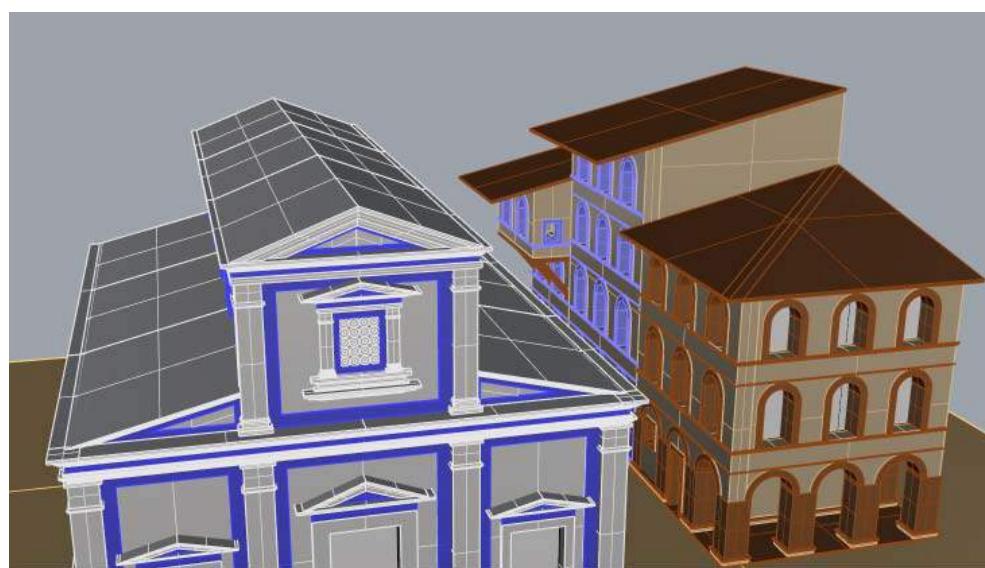


Fig 34: Detalles del modelado de los edificios en Rhinoceros. Edificios 6 y 7 . Producción propia.

# 7. Modelado en 3D

La herramienta de dibujo 3D *Rhinoceros* es la elegida para el modelado tridimensional por ordenador de este proyecto. La gran variedad de formatos con los que puede operar ese programa lo hacen compatible con la primera y la tercera etapa de este proyecto. Con este software se moldearán sólidos o polisuperficies cerradas en 3D partiendo de los dibujos 2D anteriores, y que posteriormente se exportarán para configurar la siguiente etapa.

## 7.1 Volumetría de las fachadas

Al igual que el conjunto de la composición, todas las fachadas presentan claros ejes de simetría que nos han ayudado al dibujo previo de estas. Con la base estos dibujos bidimensionales, comienza el proceso de modelado, dando relieve a los elementos representados y haciendo estimaciones de volumetría.

En muchas ocasiones me he basado en proporciones del dibujo para deducir la profundidad o volumen de algunos elementos con el fin de asemejar la apariencia que tienen en el cuadro, otras veces he recurrido a dibujos de referencia como *Los cuatro libros de la arquitectura*, del arquitecto Andrea Palladio, y, finalmente, añadido algo de pericia e intuiciones de dibujo arquitectónico adquiridas a lo largo de mis estudios.

## 7.2 Volumetría de los edificios

Partiendo de las fachadas visibles, dibujadas previamente a línea y modeladas tridimensionalmente, debemos ahora hacer hipótesis de cómo funciona cada edificio por separada y sobre todo suponer lo que no vemos.

En los edificios anteriormente numerados como el 1 y el 10, las dos fachadas que tenemos a la vista son iguales, suponemos entonces que la potente simetría que predomina en la composición hace posible que las cuatro fachadas del edificio sean iguales. Y lo mismo ocurre en los edificios 4 y 9, a pesar de que el fragmento de fachada frontal visible sea reducido suponemos las cuatro fachadas iguales

El edificio número 2 presenta variaciones en el decorado de la moldura de la fachada que indican que probablemente su fachada principal posea también el balcón y la entrada y la fachada que se oculta tras el edificio 1 no posea estos dos elementos y sea más regular.

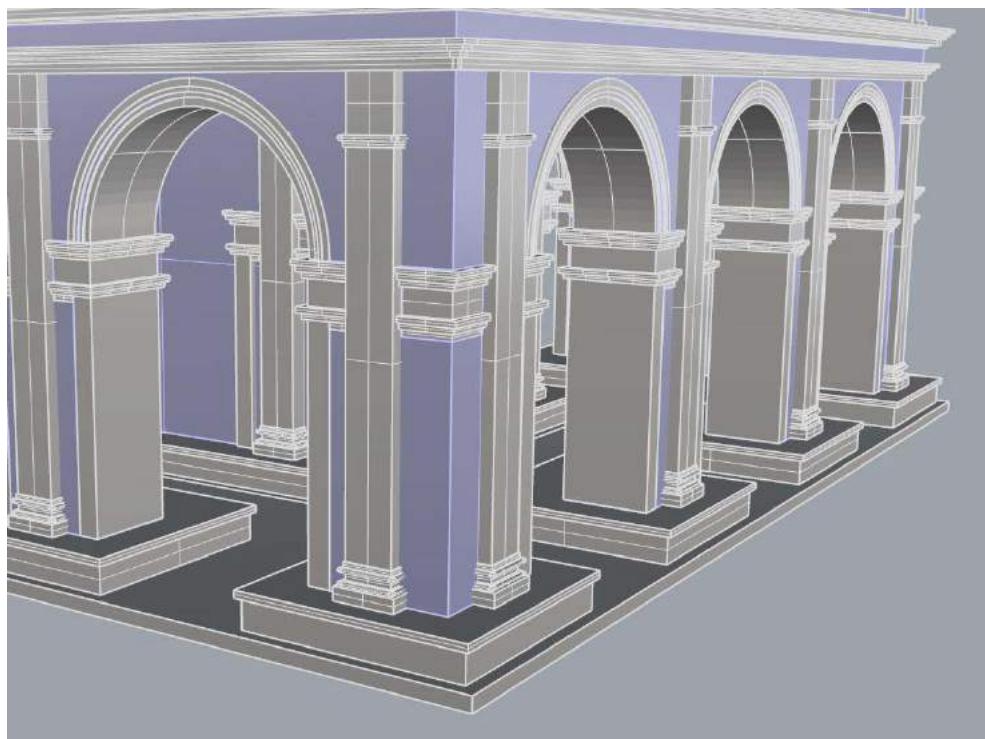
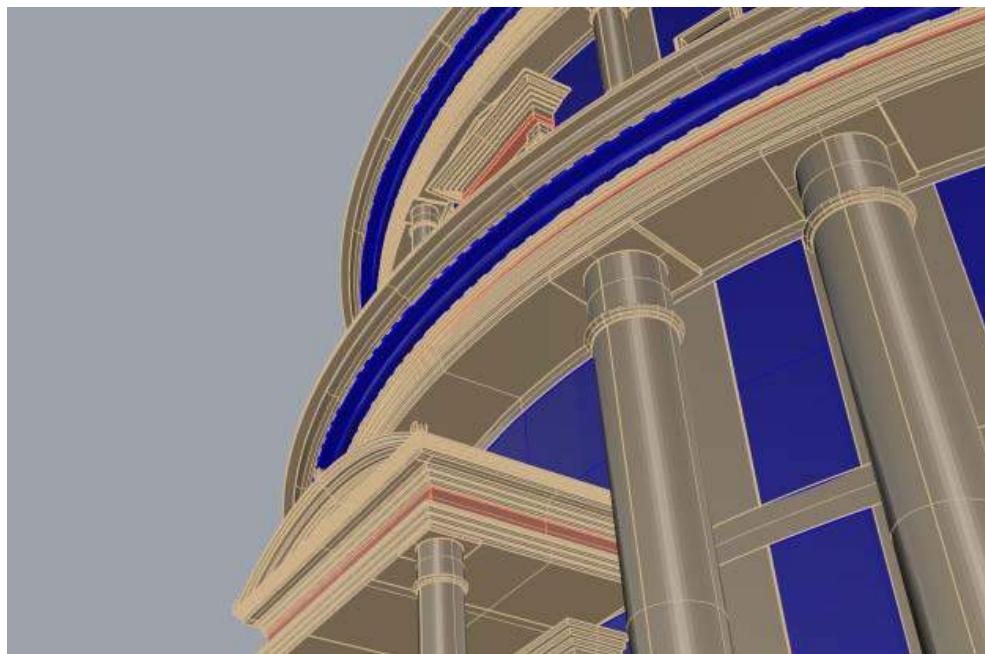


Fig 35 y 36 Detalles del modelado de los edificios en Rhinoceros. Edificio 11 (arriba) edificio 9 (abajo). Producción propia.

En los edificios 1, 9 y 10 la planta baja presenta una estructura porticada. Si comparamos a otras obras renacentistas tales como *El hospital de los Inocentes* de Brunelleschi o el claustro de la *Iglesia de Santa María della Pace* de Bramante, la profundidad es la misma que la distancia entre las columnas exteriores.

El caso del edificio 8, la fachada principal, la que observamos presenta un retranqueo en planta baja. Siendo esta fachada tan extensa, cuesta de imaginar que posea una planta cuadrada y más si lo comparamos por ejemplo con los edificios de la *Plaza del Palacio Piccolomini* en Siena de Bernardo Rossellino. Por lo tanto, se ha modelado en este trabajo tomando como hipótesis una planta rectangular, cuyo ancho es igual a la distancia de tres de los cinco pórticos de la fachada principal.

El edificio central de la composición se supone de planta central, cilíndrico y compuesto por dos envolturas de 24 columnas y cuatro accesos porticados.

En cuanto a las cubiertas de los edificios 1, 2, 4, 9 y 10 se plantea como hipótesis la existencia de cubiertas a dos aguas que se prolongan desde los frontones.

Las fachadas posteriores a los edificios 3, 5 y 7 no se han modelado por dos factores claves: la falta de información en el documento y que no van a intervenir en los documentos planeados para este trabajo.

En general no se han modelado los capiteles corintios de las columnas por dos motivos, el primero es una relación entre el tiempo invertido y el resultado deseado, y el segundo y más importante es la sobrecarga del archivo que era demasiado pesado para trabajar con él debido a la cantidad de polígonos que traza el programa.

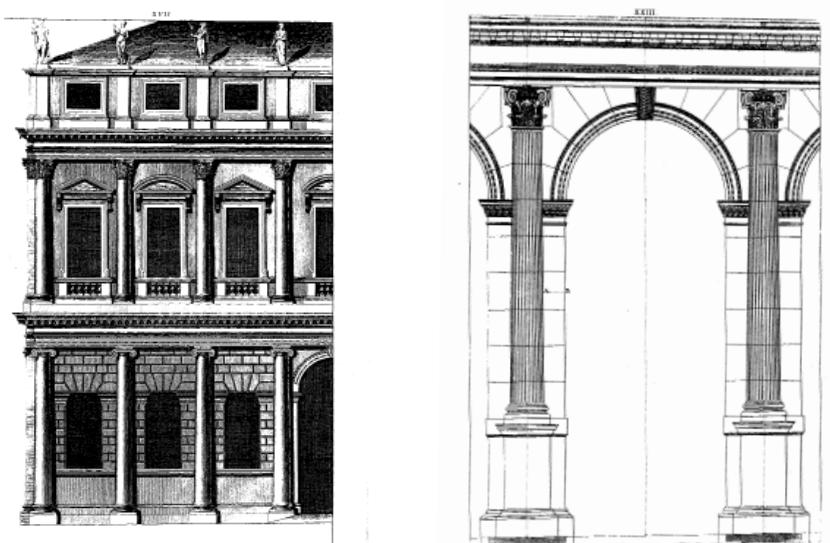


Fig 37 y 38: Dibujos XVI y XXIII extraídos de los *Los cuatro libros de la arquitectura*, Andrea Palladio

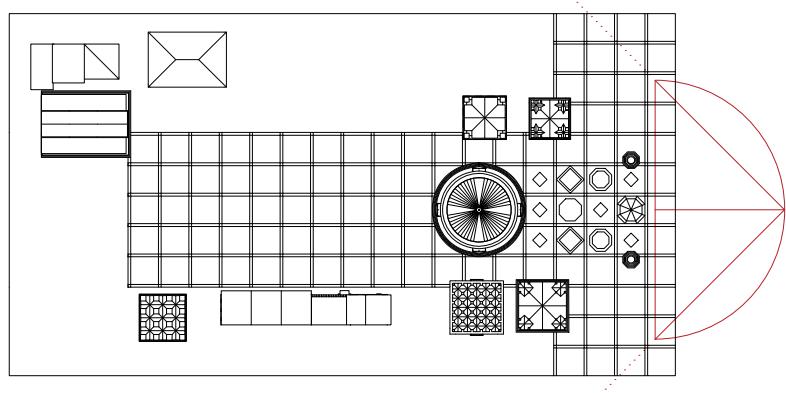


Fig 39: Imagen que muestra la colocación en planta de la cámara dentro del porgrama. Producción propia.

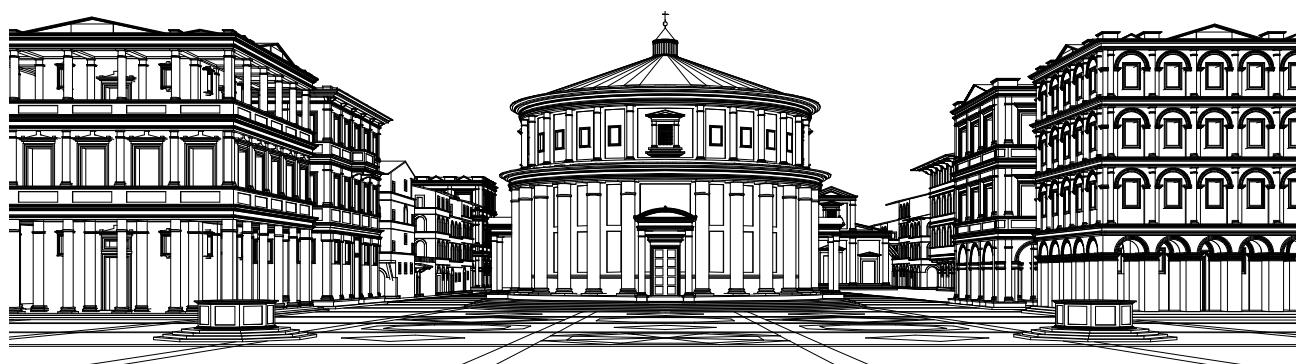
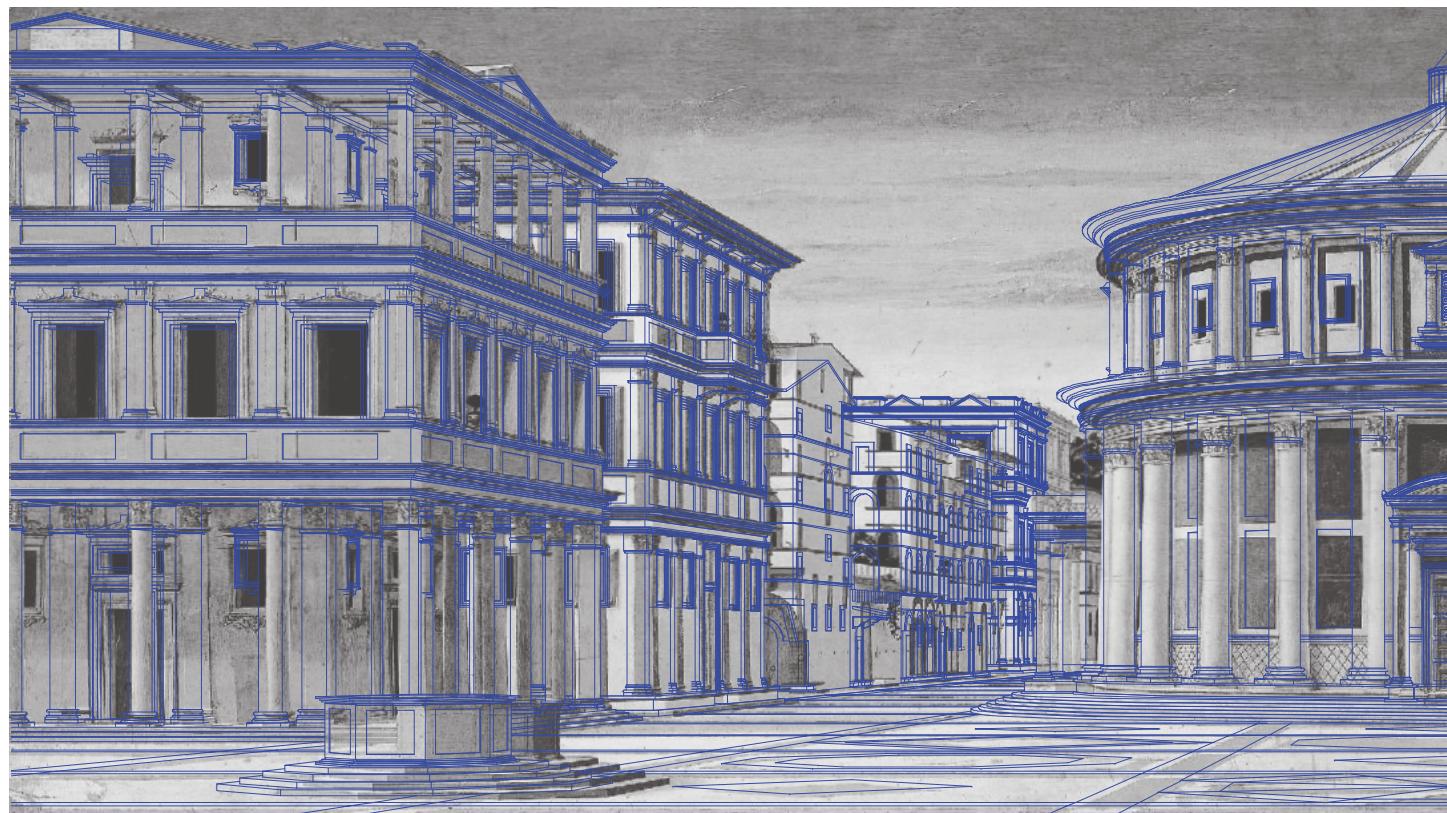


Fig 40: Documento que imita la perspectiva del cuadro a partir del modelo tridimensional creado. Producción propia.



### 7.3 Volumetría conjunta

Las imágenes adjuntas muestran el resultado del modelado 3D y reajuste después de todas las pequeñas modificaciones que he han ido comentando en los pasos previos del trabajo.

Colocando la cámara con el visor en perspectiva del programa podemos recrear las condiciones de perspectiva del cuadro y comparar el resultado con el documento original. Para ello retomaremos la distancia del observador y distancia focal obtenidas previamente y colocaremos la cámara del observador en su posición, a 1,75 m, y regularemos la distancia focal.

El resultado es asombrosamente parecido salvo por algunas excepciones, tal vez debidas a errores en la restitución o a las decisiones tomadas durante el modelado. Sin embargo, se reconoce la estética de la obra, y las sensaciones de volumetría, profundidad y espacialidad son las mismas. Comparando la Imagen original con el dibujo final, las mayores diferencias se marcan en la inclinación de la primera cubierta del edificio 3 y en que la fachada del edificio 6 se encuentra oculta en mayor proporción tras el edificio central. En la imagen superpuesta encontramos muchas pequeñas variaciones. Por ejemplo, se observa como se ha sobreestimado el diámetro del edificio central, y lo mismo ocurre con las dos fuentes que son algo más esbeltas en el cuadro.

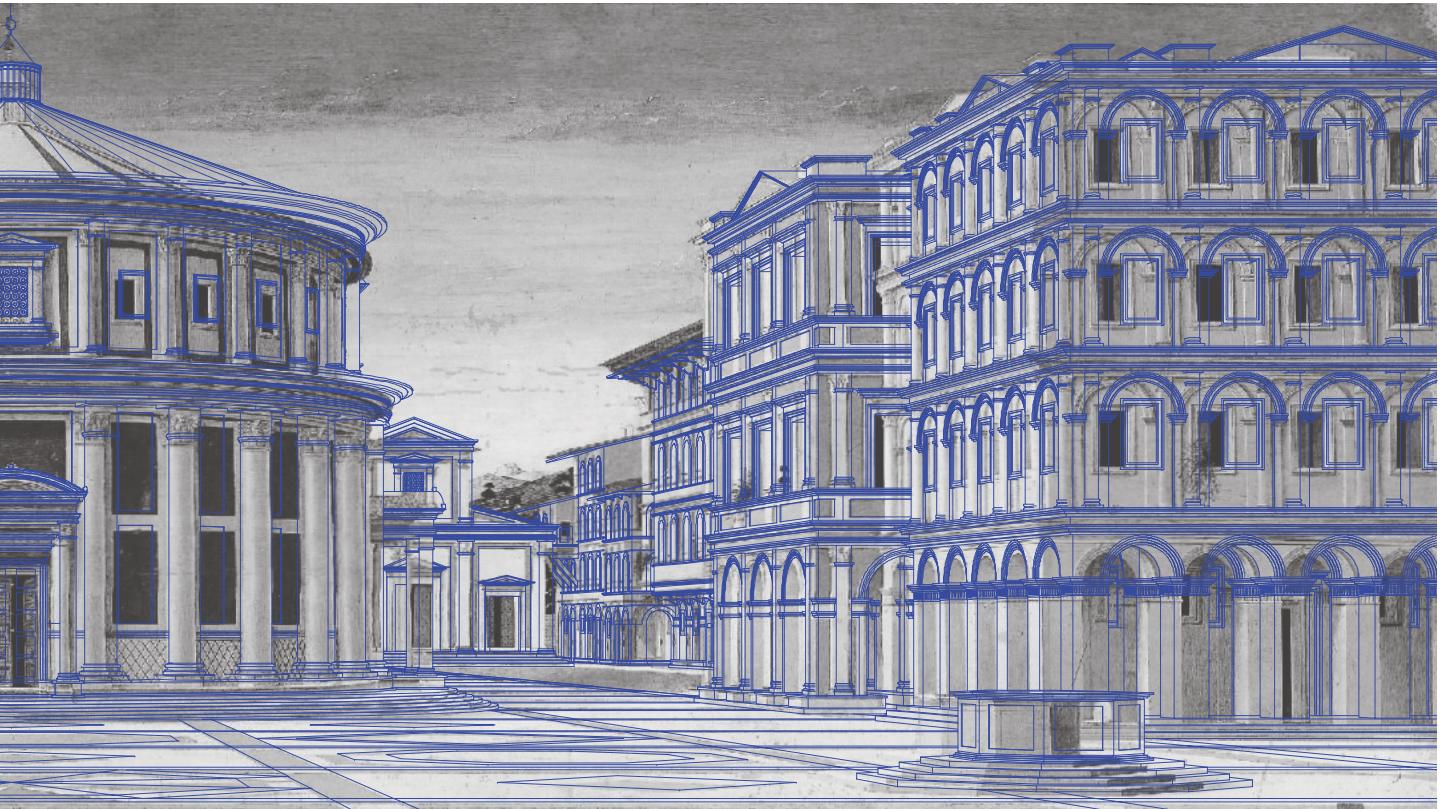
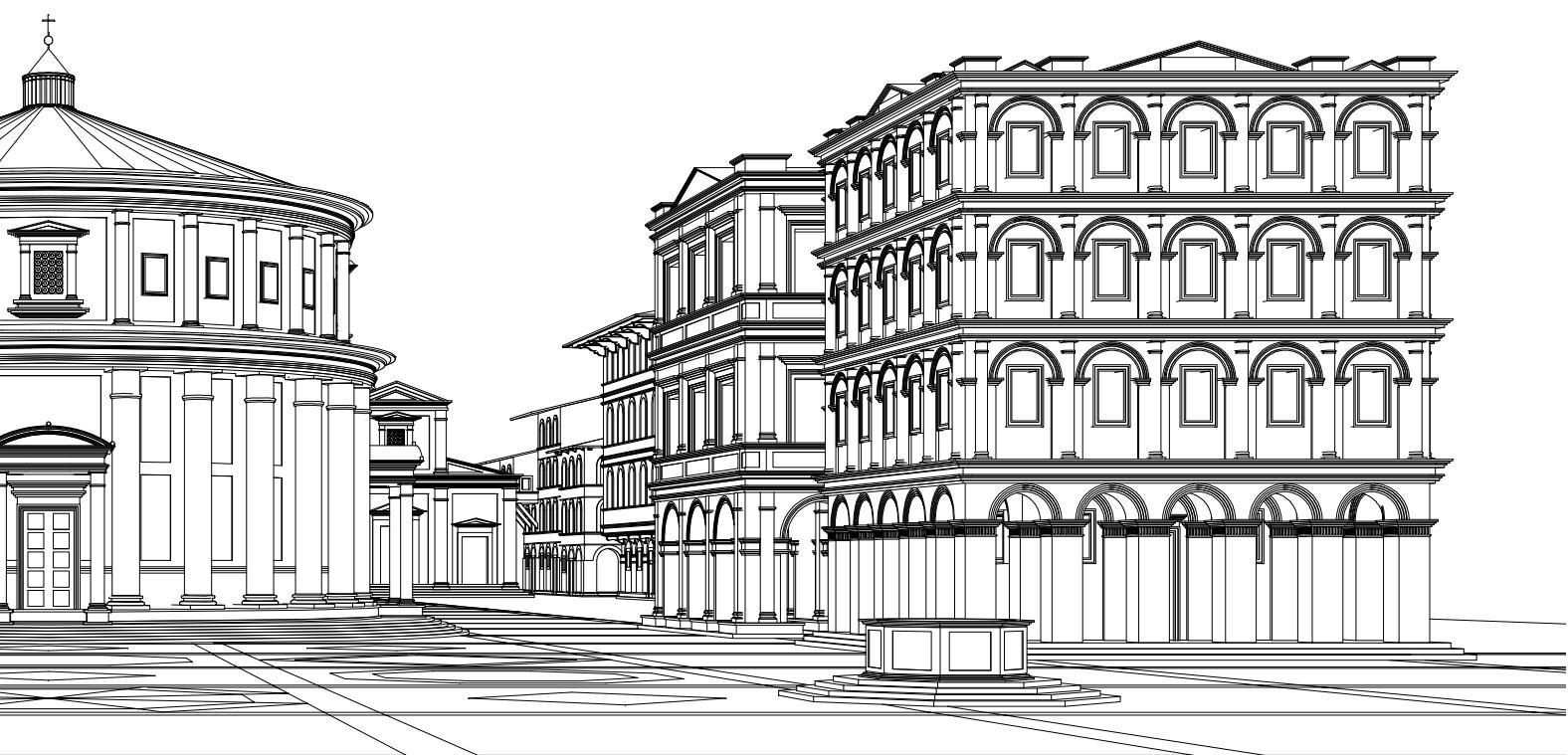


Fig 41: Superposición de la perspectiva recreada sobre el cuadro original. Producción propia.



Fig 42: Documento que imita la perspectiva del cuadro a partir del modelo tridimensional creado. Producción propia.



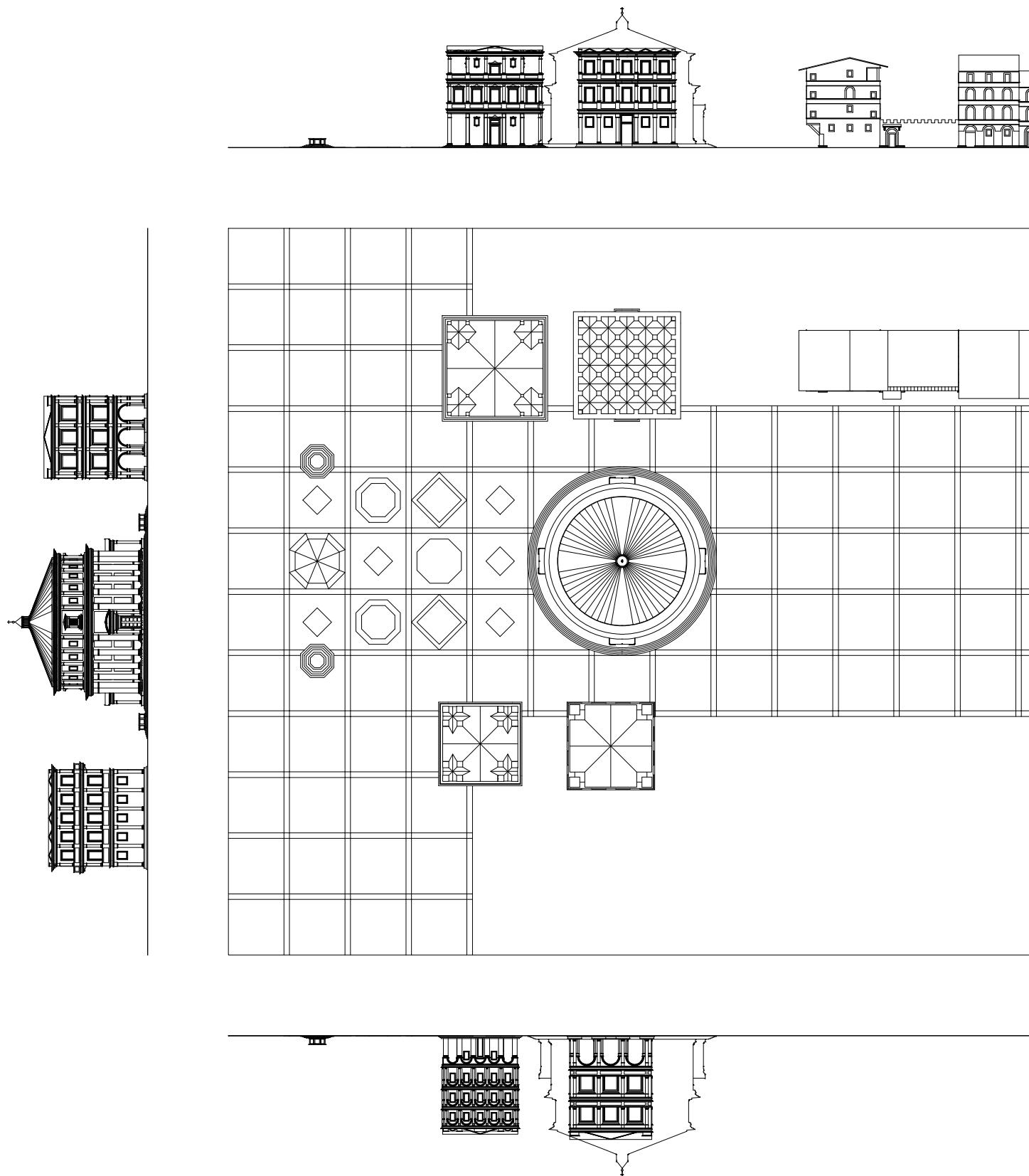
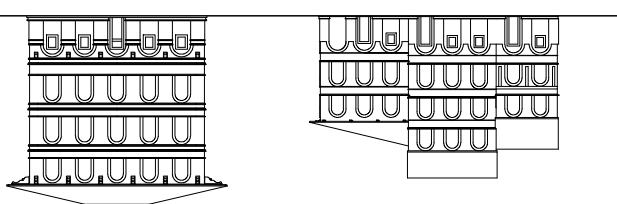
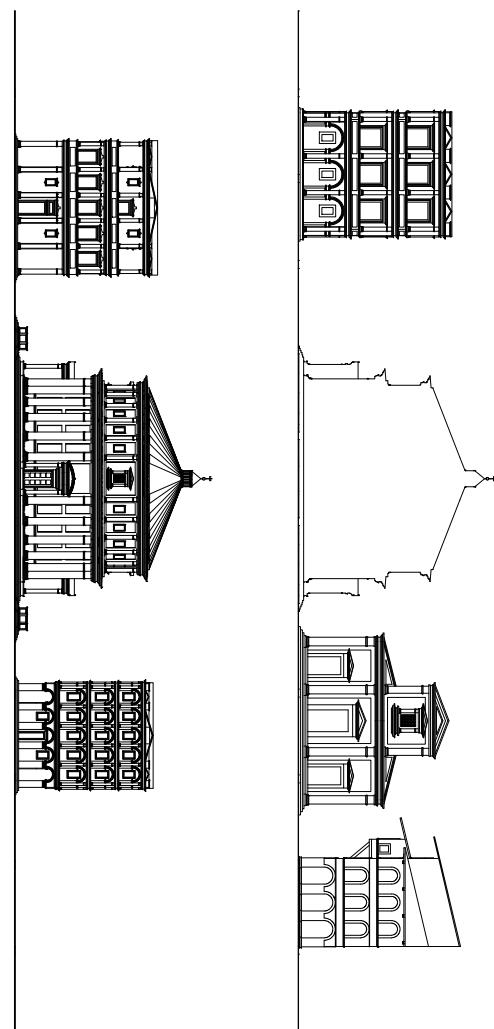
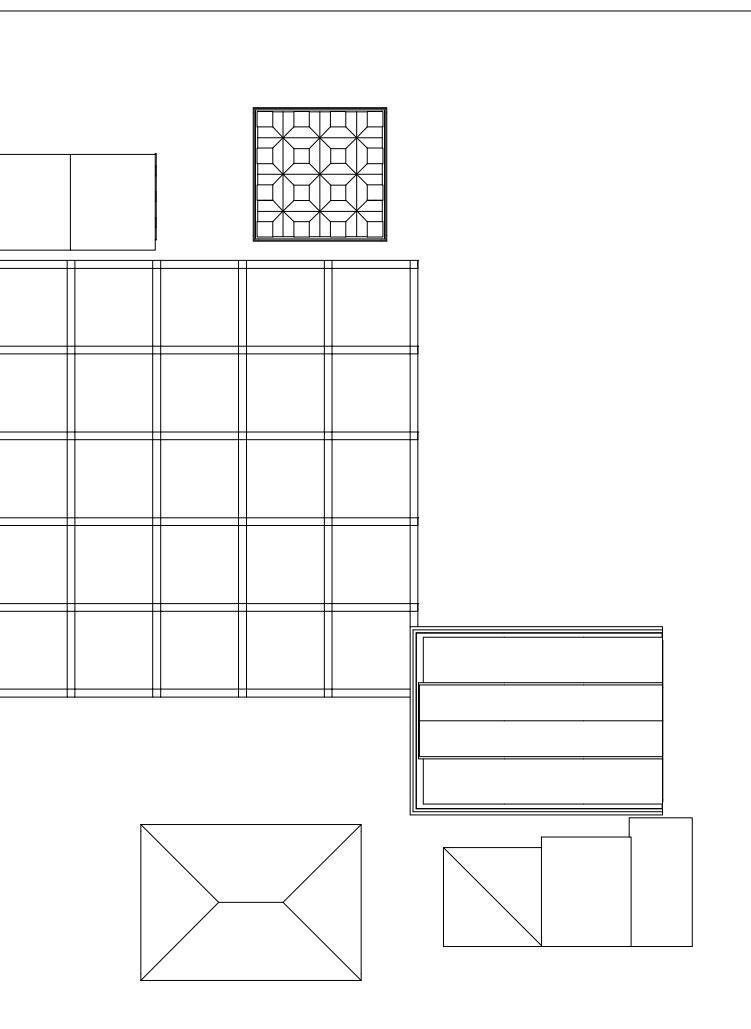
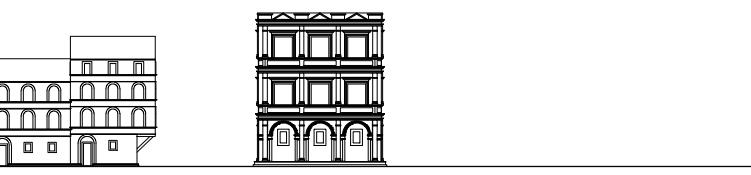


Fig 43: Alzados y planta del espacio del cuadro resultantes del modelado 3D. Producción propia.



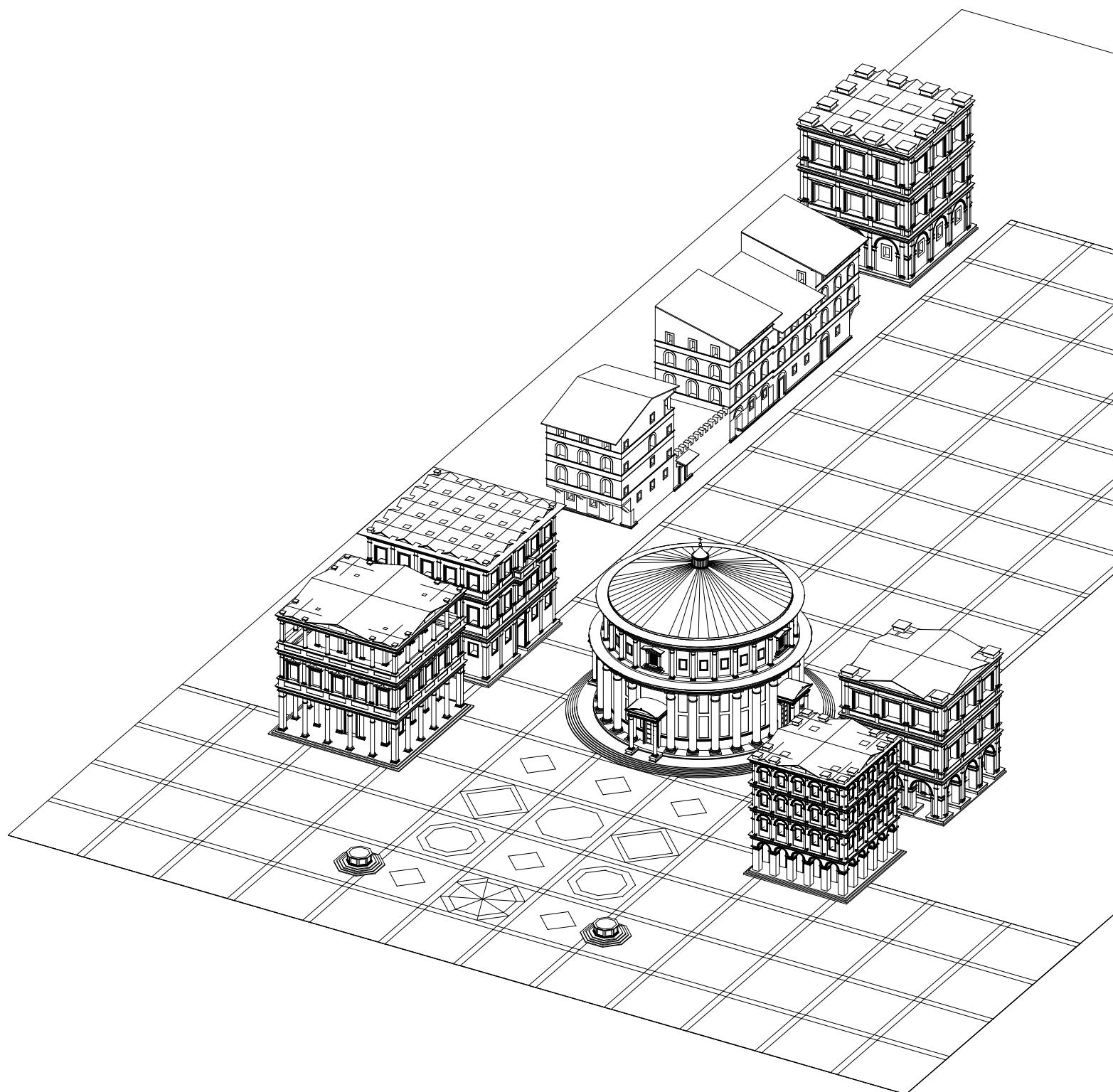
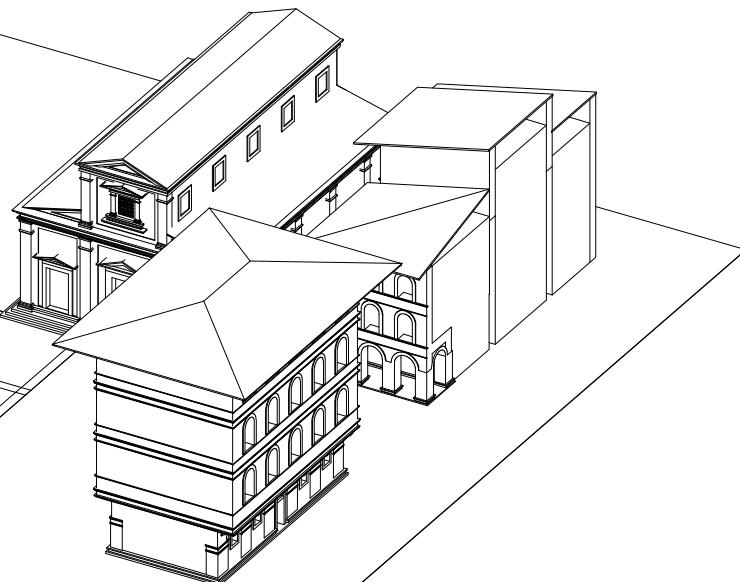


Fig 44: Vista en perspectiva axonométrica del resultado del modelado 3D. Producción propia.

En la imagen de la perspectiva caballera podemos observar cómo algunas fachadas traseras no han sido modeladas y las que, siguiendo la línea de las hipótesis planteadas, se han considerado un reflejo de las que podemos apreciar en el cuadro, si que se encuentran representadas.



#### 7.4 Observaciones vista a la experiencia inmersiva

El modelado de detalles como los capiteles de las columnas supone una sobrecarga para el archivo, lo hace poco trabajable y a su vez lo hace más difícilmente exportable para la siguiente etapa del proceso. Por lo tanto, tras algunas pruebas se han descartado en favor de la continuidad del desarrollo de este trabajo.

Del mismo modo no se han representado elementos como puertas, a excepción de las de los edificios 11 y 6 que son relevantes en la composición, y contraventanas que parecen tener una disposición aleatoria.

En el interior de los edificios se ha colocado un volumen que ejercerá de fondo oscuro para la visualización. Los motivos son que en el cuadro aparecen los huecos muy oscurecidos y no permiten visualizar los aspectos de interiorismo, que el trabajo consiste en reproducir un espacio exterior para visualizarlo y, finalmente, que no se ha tenido en cuenta el aspecto del interior de los edificios a la hora del modelado de estos.

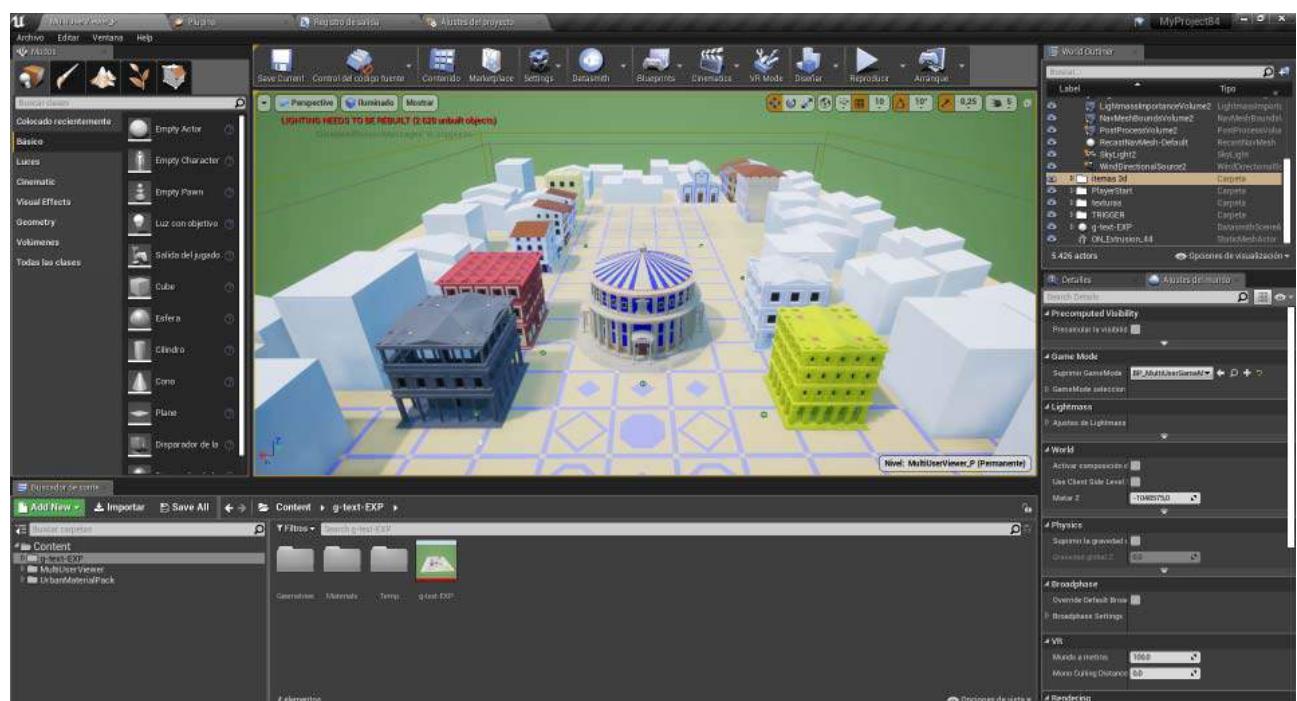


Fig 45: Captura de Pantalla de la interfaz de trabajo del programa de Unreal Engine tras insertar el modelo 3D. Producción propia.

# **8. Realización de la Experiencia Inmersiva en RV**

## **8.1 Herramienta de realidad virtual Unreal Engine 4**

*Unreal Engine 4* es un motor de videojuegos creado por la compañía Epic Games a finales del año 2005. Es el resultado de progresivo desarrollo de versiones anteriores que aparecieron por primera vez en 1998. Desde mediados de 2015 se trata de una herramienta gratuita abierta al público que se puede emplear el desarrollo diferentes campos como la educación, la arquitectura, la visualización de realidad virtual y el cine entre otros.

Las características principales por las que se ha elegido este programa para desarrollo de este proyecto son: la capacidad de renderizado foto realista en tiempo real, la capacidad de inmersión en realidad virtual, la disponibilidad del software y, sobre todo, que se encuentra la vanguardia del desarrollo de la visualización virtual arquitectónica.

### **8.1.1 Unreal Studio**

Unreal Studio es una herramienta que deriva del motor principal Unreal Engine, centrada en la visualización arquitectónica y el diseño de productos. Nos permite generar imágenes hiperrealistas en tiempo real partiendo de una base de datos CAD y archivos 3ds Max. Este programa presenta una plantilla de visualización arquitectónica que voy a usar de plantilla para el modelo de este trabajo.

### **8.1.2 Importación del documento CAD (Data Smith)**

Data Smith es un plugin en fase Beta de desarrollo que nos proporciona el kit herramientas necesario para importar fácilmente los datos CAD el motor gráfico. No importa con que programa de dibujo trabajes que facilita el sistema de importado de geometrías texturas luces y cámaras con los que has trabajado en tu programa diseño.

En este caso, va a facilitar la importación de los volúmenes geométricos del archivo .3ds original de Rhinoceros, ejerciendo como puente de compatibilidad y los incluirá directamente en nuestro archivo de Unreal.



Fig 46, 47, 48 y 59: Acercamientos a la proyección de las sombras en el cuadro.

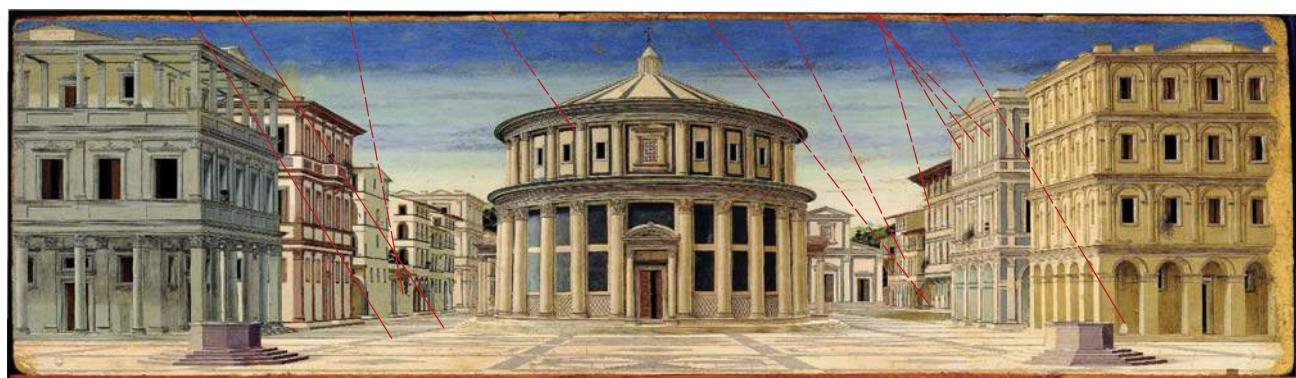


Fig 50: Imagen en la que se busca la dirección del haz de luz que ha generado cada sombra. Producción propia.



Fig 51: Captura de pantalla del punto de partida de la experiencia. Producción propia.

## 8.2 Luces

El programa ofrece múltiples combinaciones de luces y podría ser interesante por ejemplo probar como incide la luz del sol a distintas horas del día y en distintas épocas del año. Se podría incluso experimentar con la luz en tiempo real.

Tratando de reproducir las luces tenues del cuadro se han considerado una variedad de opciones como trabajar con luces artificiales y con elementos refractivos para una mejor iluminación. Sin embargo, al final se ha optado por una luz de cielo a que imita la luz que observamos en el cuadro original.

Para configurar dicha luz hemos de fijarnos como incide en el cuadro en el que como se ha analizado previamente la luz incide cenitalmente con un leve ángulo que ilumina más la cara izquierda de los edificios. Empleando un bajo índice de refracción y de creación de sombras nos vamos aproximando. A continuación, se ha difuminado una niebla que sí que refleja la luz para iluminar todas las fachadas de los edificios representados.

## 8.3 Texturas

Siguiendo la forma de trabajar del programa en cuestión, se ha asignado a cada volumen un material. Los materiales se componen básicamente composiciones de texturas, con o sin volumen, y colores, ya sean compuestos o simples.

Estos materiales pueden estar compuestos por formas que se adaptan a las superficies, por ejemplo, podrían cubrir un capitel cilíndrico de una columna y darle volumen y apariencia corintia. También ofrecen opciones foto realistas para materiales de colores complejos como el mármol o los relieves de una superficie de madera. Cada material se puede definir, escalar y adaptar en función de la superficie sobre la que se va a aplicar.

Para el desarrollo de este proyecto se ha optado por reproducir los colores del documento original. Para ello se ha partido del color aproximado de los elementos y se ha trabajado sobre un material con volumen, y una textura similar a la arenisca con el fin de que las superficies planas modeladas previamente adquieran presencia y pierdan parte de su condición de superficie perfectamente lisa.



Fig 52: Captura de pantalla de la experiencia en la que se aprecian los volúmenes de entorno. Producción propia.

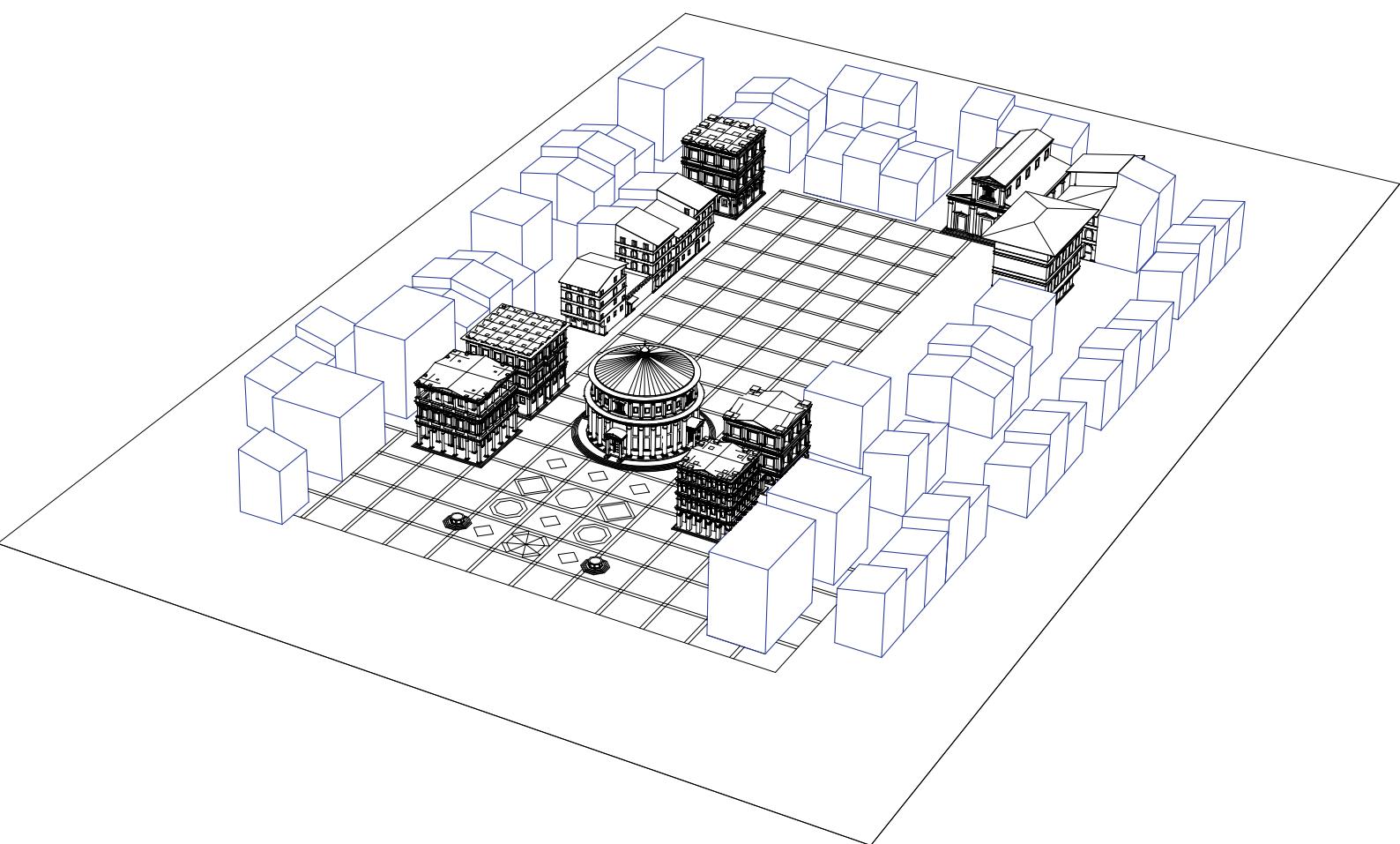


Fig 53: Vista en perspectiva axonométrica del conjunto con los volúmenes de entorno. Producción propia.

## 8.4 Diseño de un Lugar

### 8.4.1 Hipótesis de un entorno 3D

El cuadro se titula la ciudad ideal, pero solo nos ofrece una única vista de esta ciudad, una perspectiva de una vista orientada hacia un número concreto de edificios. Por ejemplo, desconocemos lo que hay detrás del edificio central que ocupa un gran espacio en la composición, ni somos conscientes lo que ocurre en las calles que desembocan a esta plaza.

Sabemos por definición que las ciudades no están vacías, ni se componen de tan reducido número de edificios. Por ello es de suponer que, en torno a los edificios representados, se agrupan muchos más, y que los vacíos son más reducidos que los que aparecen en los documentos previos.

Considerando que el edificio central es un edificio religioso debido a la cruz que lo remata, y observando el trazado del suelo junto con el gran espacio vacío decorado con dos fuentes cumple las características comunes de una plaza, deducimos que a su alrededor podríamos encontrarnos un conjunto de edificios no representados en la obra.

Un factor importante independientemente de los citados son las impresiones de vacío que se van visualizar durante la inmersión. Si somos fieles al documento y representamos únicamente los edificios y el suelo que vemos, al asomar la mirada entre estos únicamente apreciaríamos el vacío de la nada, con suerte el horizonte. Además, la distancia entre los edificios 8 y 9 es lo suficientemente amplia para que el espectador pierda el interés de recorrerlo.

Debido a ello se toma la decisión de representar de alguna forma, un entorno de visualización que nos aporte más datos del lugar tomando como referencia las características que apreciamos en el cuadro.

### 8.4.2 Volúmenes de entorno

No hay que olvidar que estamos hablando de una utopía urbanística que se llevó a cabo en contadas ocasiones durante el renacimiento y en espacios reducidos entre los que destacan la *Piazza del Campidoglio*, la *Piazza de Pienz* y la *Piazza de San Giovanni*. Si nos centramos en los escasos elementos que nos presenta el autor podríamos emplear estos mismos para generar un entorno y de alguna forma llenar los vacíos que presenta la planta y el conjunto en sí mismo.

Una de las condiciones impuesta, es que los volúmenes que vamos a llamar de entorno, no interfieran en la perspectiva del documento inicial. Otra de las condiciones es evitar lo máximo posible que se vea el ‘infinito’, por lo tanto, no se prolongarán las calles tanto como en una ciudad.

La decisión tomada para este proyecto es el de representar una serie de volúmenes, semejantes en proporciones a los existentes, pero simplificados: exentos de detalles y con un color único de tono blanco. Existen muchas combinaciones posibles, esta es una aproximación realizada para este trabajo.

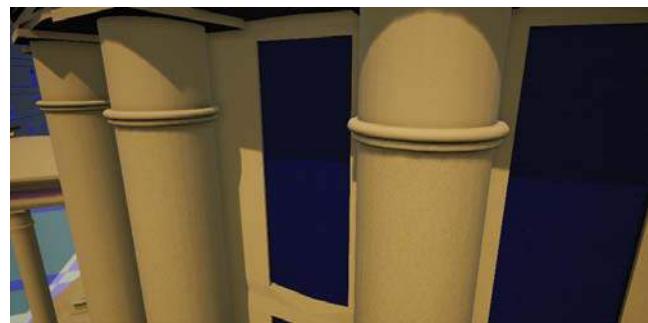


Fig 54 y 55: Detalles de texturas color y sombras de la experiencia. Producción propia.

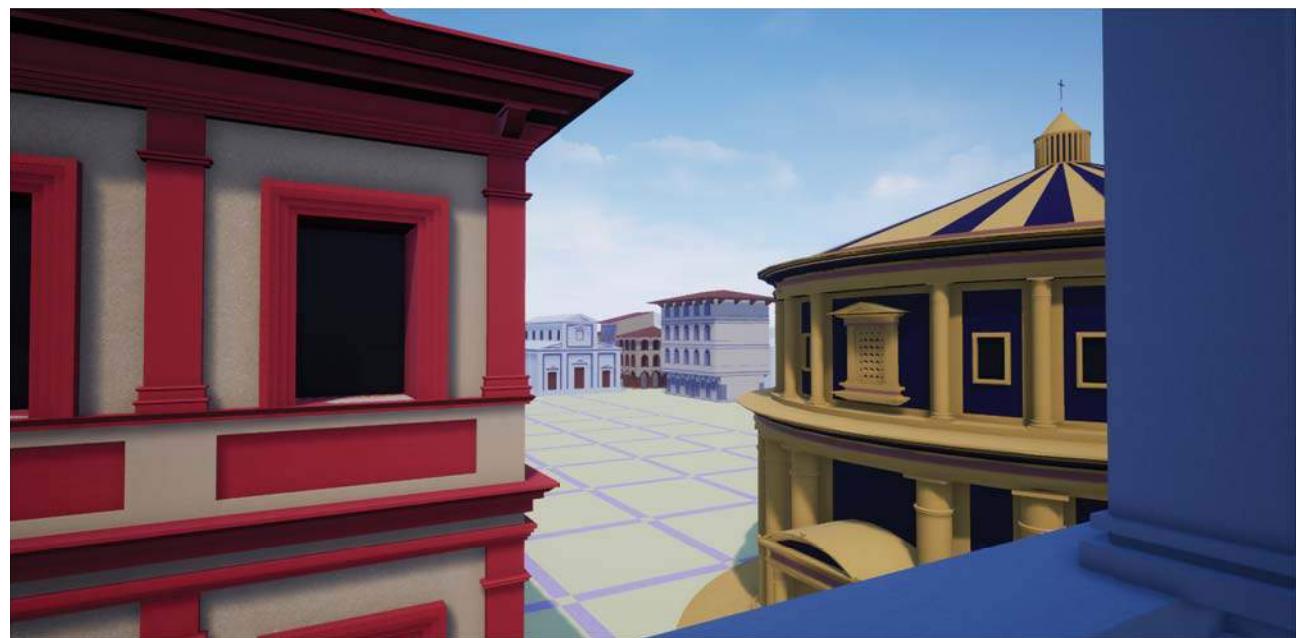


Fig 56: Captura de pantalla desde el segundo piso del edificio 1. Tras un vuelo hasta allí en la experiencia. Producción propia.

## 8.5 Experiencia de inmersión virtual y la visualización arquitectónica

### 8.5.1 Visualización (Android + Riftcat)

Por motivos de disponibilidad, el objetivo de este proyecto es el poder reproducir el programa mediante un dispositivo Android.

El mayor problema es que estamos tratando con un espacio exterior de gran amplitud. La mayoría de los entornos preparados para un dispositivo móvil son entornos interiores o espacios reducidos acotados. El archivo pesa más de lo habitual y los sistemas Android no pueden reproducirlo de una forma fluida con toda la información que contiene.

Para este proyecto, se utilizará un dispositivo Android conectado por un cable USB a un PC en el que se ejecutará el archivo con el programa de videojuegos Steam VR y con ayuda de la aplicación VRidge del desarrollador Riftcat. Dicha aplicación permite usar los dispositivos Smartphone con el apoyo de un soporte tipo Google Cardboard imitando el funcionamiento de las gafas HTC Vibe o similar.

### 8.5.2 Movilidad en el entorno virtual

Una vez solucionado la forma de Visualización en tema que nos incumbe es el desplazamiento dentro del espacio virtual de la ciudad. El programa ofrece distintos modos de movilidad: usando el teclado, usando un mando, o mediante teletransportación a ciertos puntos del espacio.

El primer punto a tener en cuenta es el tipo de desplazamiento que deseamos realizar. Definiremos un personaje, de acuerdo con la escala humana, que podrá desplazarse al nivel del suelo o en estado de flotación para decidir si queremos volar o si queremos caminar.

Caminar es la opción más adecuada para la visualización arquitectónica ya que al nivel del suelo es como visualizamos habitualmente y de forma natural la arquitectura los seres humanos. Volar nos permite llegar a visualizar detalles que no alcanzaríamos normalmente, por ejemplo, si quisieramos aproximarnos a la cornisa de un tercer piso, y también nos permite a tener una vista de conjunto desde un punto más elevado como, por ejemplo, alcanzar una altura de vista de pájaro.

Para esta experiencia, se ha definido un suelo que no se puede atravesar y una serie de muros invisibles impenetrables para que el espectador no pueda salir del entorno diseñado. La situación ideal sería conllevaría que el espectador no pudiera atravesar los elementos sólidos de la composición, pero debido a que no existen en el mundo real siempre puedes desplazar tu cuerpo y atravesarlos.

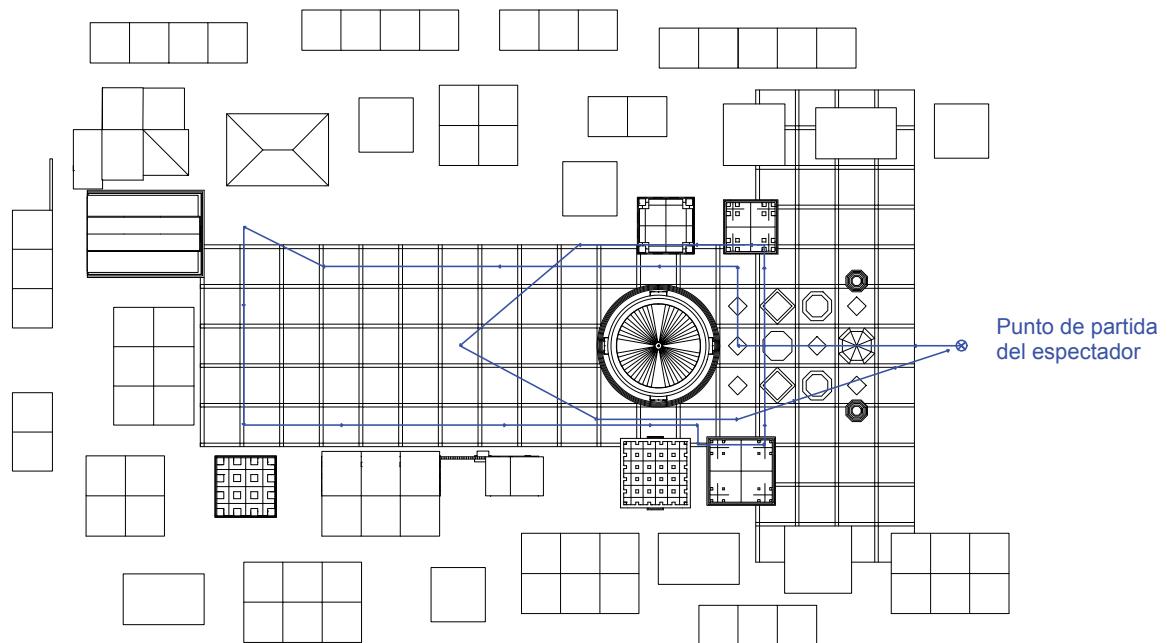


Fig 57: Diagrama que representa el esquema en planta del recorrido diseñado para la presentación. Producción propia.



Fig 58: Captura de pantalla de una escena visualizada durante el recorrido de la experiencia Producción propia.

Entre las opciones disponibles, se ha configurado en el archivo un recorrido de una duración aproximada de dos minutos, que desplaza automáticamente al espectador desde la posición inicial de visualización, y lo guía a lo largo de una travesía establecida que discurre linealmente de un edificio a otro hasta recorrer el conjunto del entorno completo y regresar el punto de inicio. Este recorrido de realiza con la cámara del espectador configurada a 1,70 m del suelo para dar la sensación de que recorremos el entorno a pie.

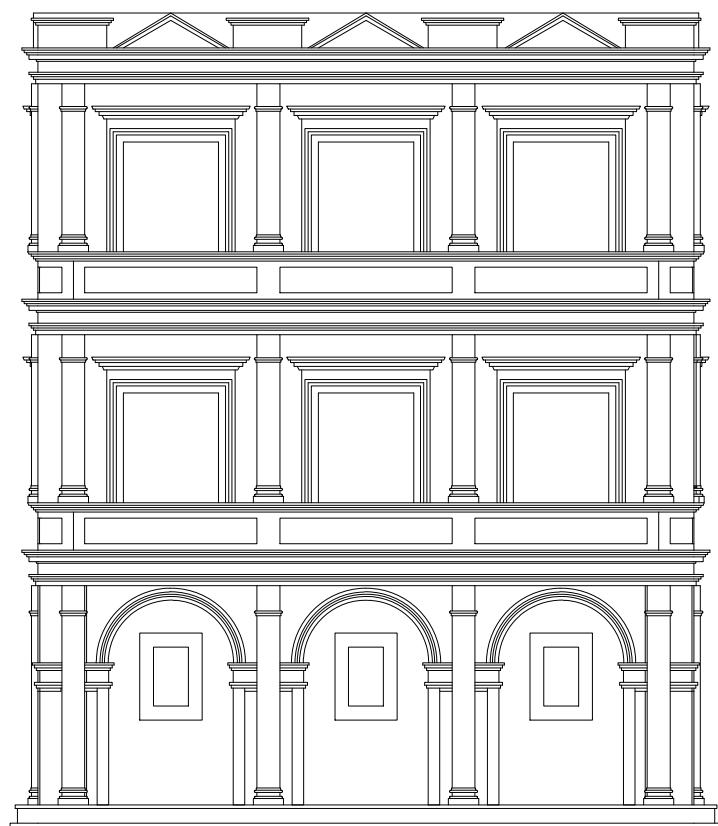
La gran ventaja de este sistema es que para un visualizador primerizo es muy simple de comprender ya que simplemente necesita desplazar la mirada, moviendo la cabeza, para observar el espacio representado. Para la disposición de la presentación de este trabajo, esta opción es la que he considerado más óptima. De este modo, espectador no necesita conocer como desplazarse usando un mando o el teclado del ordenador, simplemente estar en una silla o en pie disfrutando de la experiencia. El inconveniente es que puede marear, o descolocar, levemente al espectador dependiendo de cada individuo.

Evidentemente, la otra opción es que el espectador emplee uno de los sistemas de libre movimiento como el teclado o el joystick y recorra a su gusto el espacio virtual representado.

## 8.6 Observaciones de la Inmersión

Debido a la duración del desarrollo de este trabajo de investigación, el archivo definitivo aún presenta mucho potencial de mejoría. El autoaprendizaje online mediante cursos de Unreal Engine realizado durante este trabajo no ha sido suficiente para exprimir al máximo la herramienta. En cambio, ha sido suficiente para dar unos primeros pasos y aprender desde cero.

El espacio es muy grande y el recorrido de un punto a otro en ocasiones se hace pesado. Se pueden apreciar algunos errores de dimensionado de texturas y de reflejos entre otras apreciaciones.



## 9. Conclusiones

De todo el proceso de investigación desarrollado para la realización de la experiencia inmersiva en realidad virtual del cuadro de *La Città Ideale de Urbino*, podemos destacar las siguientes conclusiones:

Lo que en el cuadro parece una plaza cerrada finalmente no lo es, la disposición real de los edificios difiere de la impresión que produce.

Podemos observar en planta como los cinco edificios del primer plano junto con las fuentes, interactúan entre sí de forma muy cercana y forman un espacio más recogido. Los tres edificios del fondo a la derecha de la composición se sitúan realmente apartados del resto creando su propia atmósfera. En cambio, los edificios del lado izquierdo se encuentran perfectamente alineados y distribuidos a grandes intervalos unos de otros hasta alcanzar el plano del fondo de la composición.

El patrón dibujado en el suelo con forma de tablero de ajedrez que refuerza la sensación de perspectiva, y sobre el que reposan los edificios, hace caer al espectador en una falsa sensación de orden.

Una atención al detalle en el documento original y la restitución de la planta, muestran claramente que los edificios se distribuyen respetando el paralelismo, pero sin tener en cuenta las alineaciones ni los rasgos de la modulación de este. Los únicos elementos que sí que respetan rigurosamente dicha retícula son las fuentes, los dibujos del suelo y el edificio central que, aunque en el dibujo su colocación sea un poco ambigua, en la planta toma una posición central ajustada a la retícula.

Tras la superposición de los resultados de la imagen de perspectiva, apreciamos que no todas las hipótesis planteadas durante el proceso han sido correctas.

Se ha sobreestimado las dimensiones del edificio central y este cubre una mayor parte del edificio situado en el plano del fondo a la derecha que en el cuadro original. También se sobreestimó las dimensiones de las fuentes. En el caso de la cubierta del tercer edificio del lado izquierdo, la inclinación ha sido mucho mayor que la del documento original de escasa pendiente.

La perspectiva se encuentra deformada en el cuadro en ciertos puntos.

En las molduras del edificio central, las elipses resultantes de la deformación provocada por la perspectiva dan como resultado unos puntos de distancia distintos del resto de la composición y resultan de una exageración de la perspectiva.

El artista debió de exagerar la altura de los edificios del plano del fondo, seguramente con la intención de que, al colocar los edificios del fondo a una distancia

tan lejana, estos no perdieran presencia en la composición. La restitución de las alturas muestra que los edificios del plano del fondo son proporcionalmente más altos que los de los planos más cercanos y la planta indica que los edificios se encuentran muy alejados del resto.

Los documentos resultantes no muestran una idea clara de cómo funciona la ciudad ni la plaza representada.

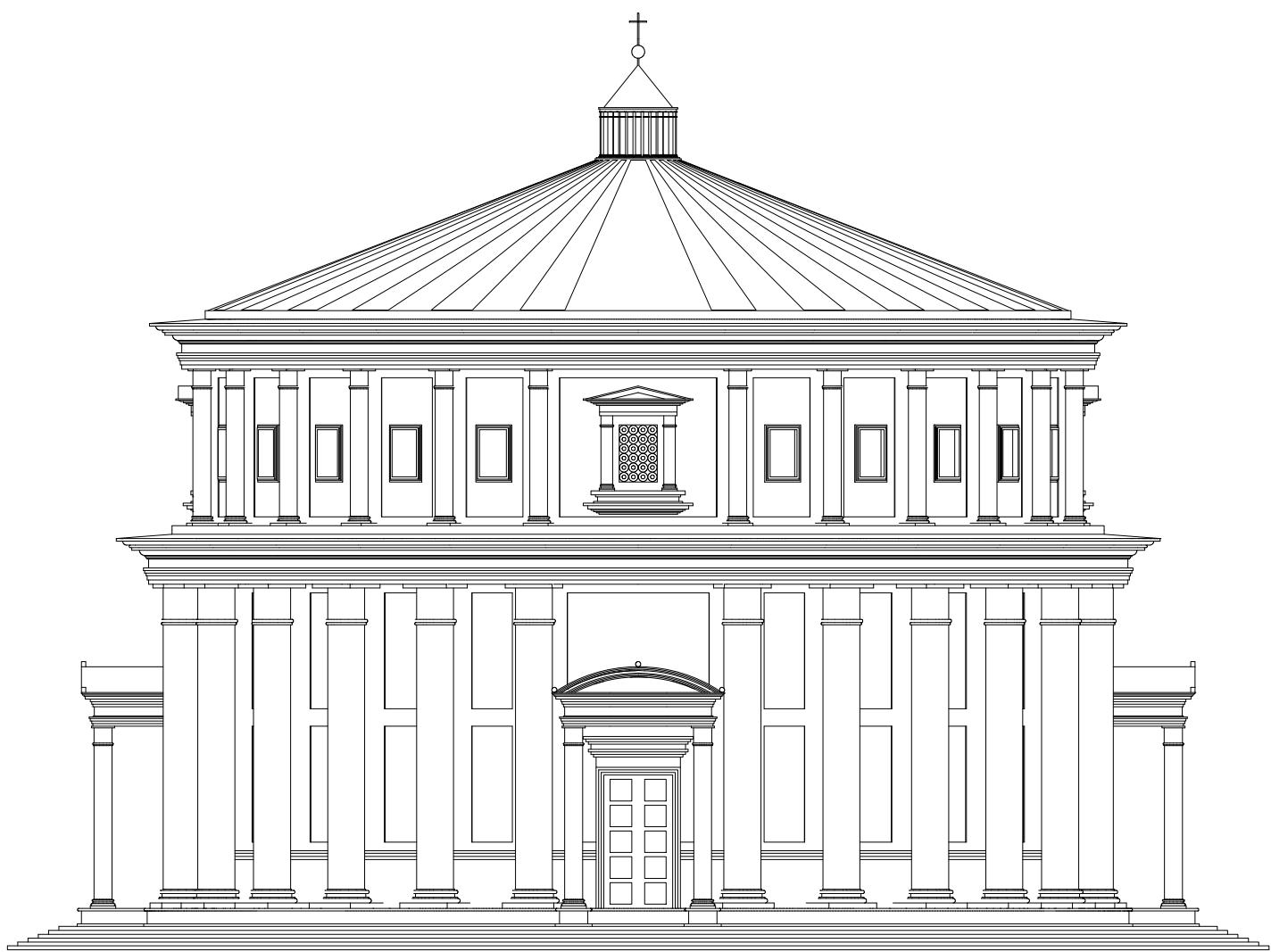
En la perspectiva del documento original solo se ven representados once edificios cuya distribución en planta no forma un espacio urbano de plaza cerrada. No tenemos información sobre los posibles elementos ocultos por el punto de vista original. Sabemos que existe un entorno no representado del que se ha diseñado una aproximación para este trabajo.

Tecnologías como las del diseño de videojuegos son compatibles con las técnicas propias de la arquitectura.

La restitución y el dibujo tridimensional pueden emplearse como paso previo a la aplicación de técnicas de la industria de los videojuegos para realizar visualizaciones virtuales. Las inmersiones virtuales no son un documento que se pueda representar fácilmente sobre el papel, pero se pueden extraer muchos documentos del modelo.

La palabra ‘inmersión’ es realmente adecuada para la descripción de una experiencia como la que se ha realizado.

Nos sumergimos dentro de espacio arquitectónico histórico, de una época pasada, marcada por importantes cambios en la arquitectura. Podría llevarse a cabo un archivo de memoria histórica para visualizar con estas técnicas arquitecturas que han desaparecido o que nunca se han llegado a construir.



## 10. Bibliografía

### Libros

Arquitectura y realidad virtual : teoría, técnica, debate  
DE LA PUENTE, José María. Barcelona J.M.P. Martorell. 1996

La perspective "pas á pas" : manuel de construction graphique de l'espace  
LUDI, Jean Claude Ludi. Paris Demurd. 1986

Fundamentos de perspectiva.  
NAVARRO DE ZUVILLAGA, Javier. Barcelona Parramón. 1986

Perspectiva cónica  
HERRERO, Sofía; Gómez-Pompa, Mónica. Madrid s.n D.L.1998

Atlante del Rinascimento: il disegno dell'architettura da Brunelleschi a Palladio  
FURNARI, Michele. Napoli Electa. cop. 1993

Los Cuatro libros de la arquitectura  
PALLADIO, Andrea 1508-1580; PÉREZ INFANTE, Carlos. México D.F. Limusa. 2005

### Artículos

La percepción del espacio en la visualización de arquitectura mediante realidad virtual inmersiva.

Luis A. HERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, Antonio SEOANE, Alberto JASPE VILLA-NUEVA, EGA: revista de expresión gráfica arquitectónica, , Nº. 18, 2011, págs. 252-261

Construcción virtual y realidad aumentada, Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica.

Beatriz PIEDECAUSA-GARCÍA, Juan Carlos PÉREZ-SÁNCHEZ, José Manuel MATEO VICENTE

XIV Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria: investigación, innovación y enseñanza universitaria: enfoques pluridisciplinares, 2016, págs. 263-274

Arquitectura, Ciudad y Realidad Virtual  
GARCÍA ALMIRALL, Pilar Autocad magazine, Nº 110, 2007, págs. 10-15

## Trabajos

The Measure of the Ideal: The Painted Architecture of the Città Ideali  
DI BERNARDINO, Irene. University Sapienza, Italy, 2015.

Virtual Reality – Improving the fidelity of architectural visualization  
WU, Hao. Submitted to the Graduate Faculty of Texas Tech University, May, 2006.

Modelling for Virtual Reality in Architecture. State of the Art versus State of Practice in Computing for the Design and Planning Process pp. 209-213  
AF KLERCKER, Jonas. Weimar (Germany) 22-24 June 2000,

## Webs

Ponencias del Evento de Realidad Virtual VisualizaVR18, Editeca, 2018.  
<https://editeca.com/ponencias-visualizavr18>

Plataforma Arquitectura. Artículos sobre realidad Virtual.  
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/realidad-virtual>

Cursos de Unreal Engine Academy  
<https://academy.unrealengine.com>

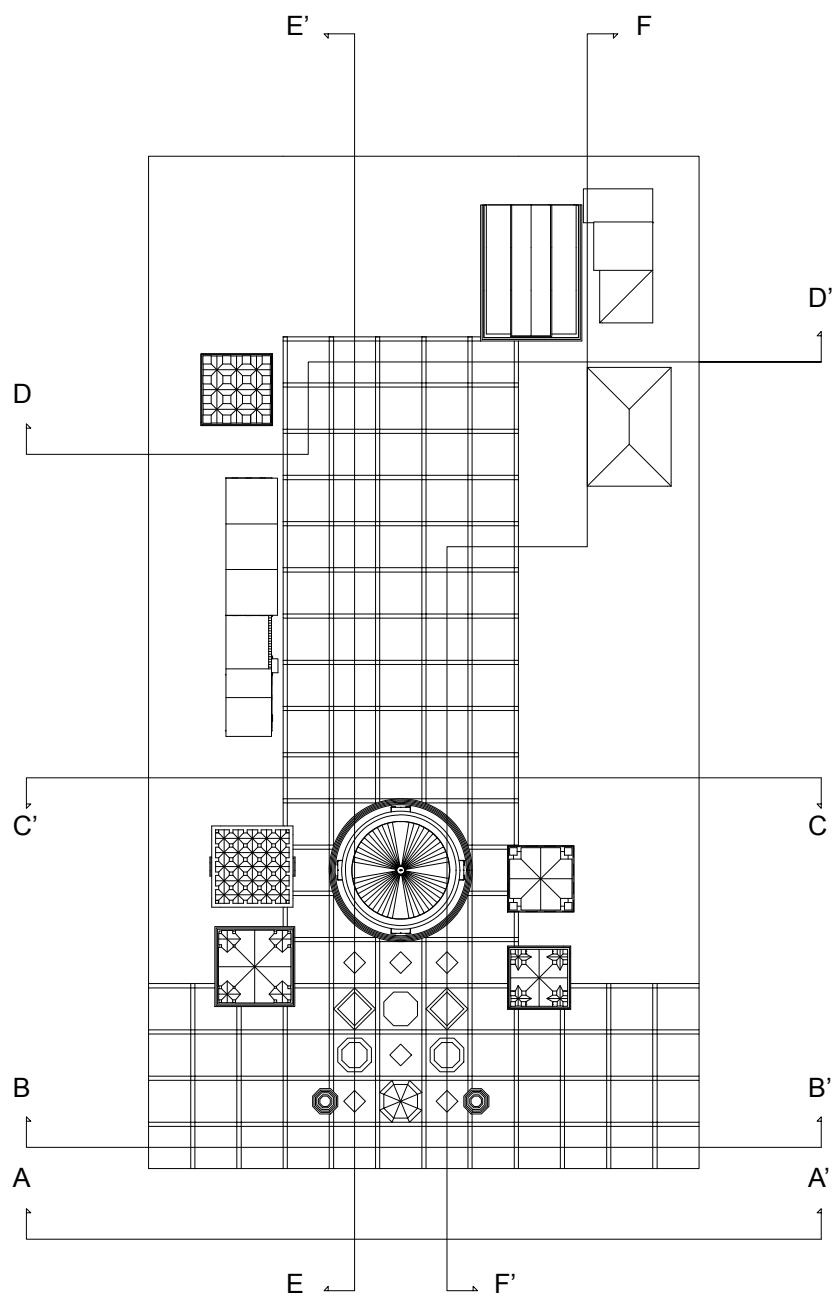
ETTLINGER, Or. Página web investigación Visual space theory.  
<http://virtualspacetheory.com/>

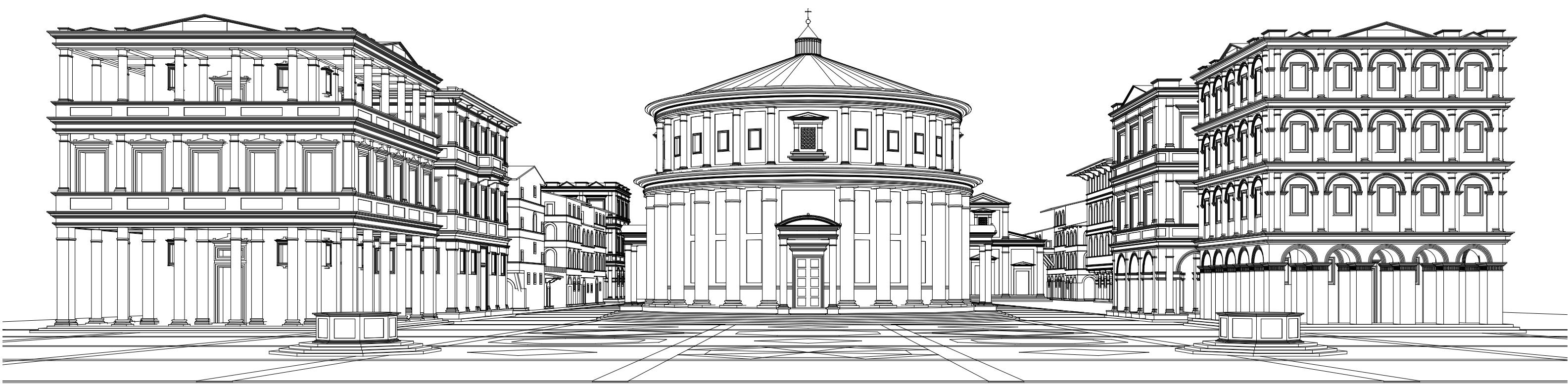
SIMONETTI Fabrizio; FACONDINI, Cristian. Página web investigación cuadro de La Città Ideale di Urbino, Il disegno nascosto, 2016.  
<http://www.lacittaideale.info/>

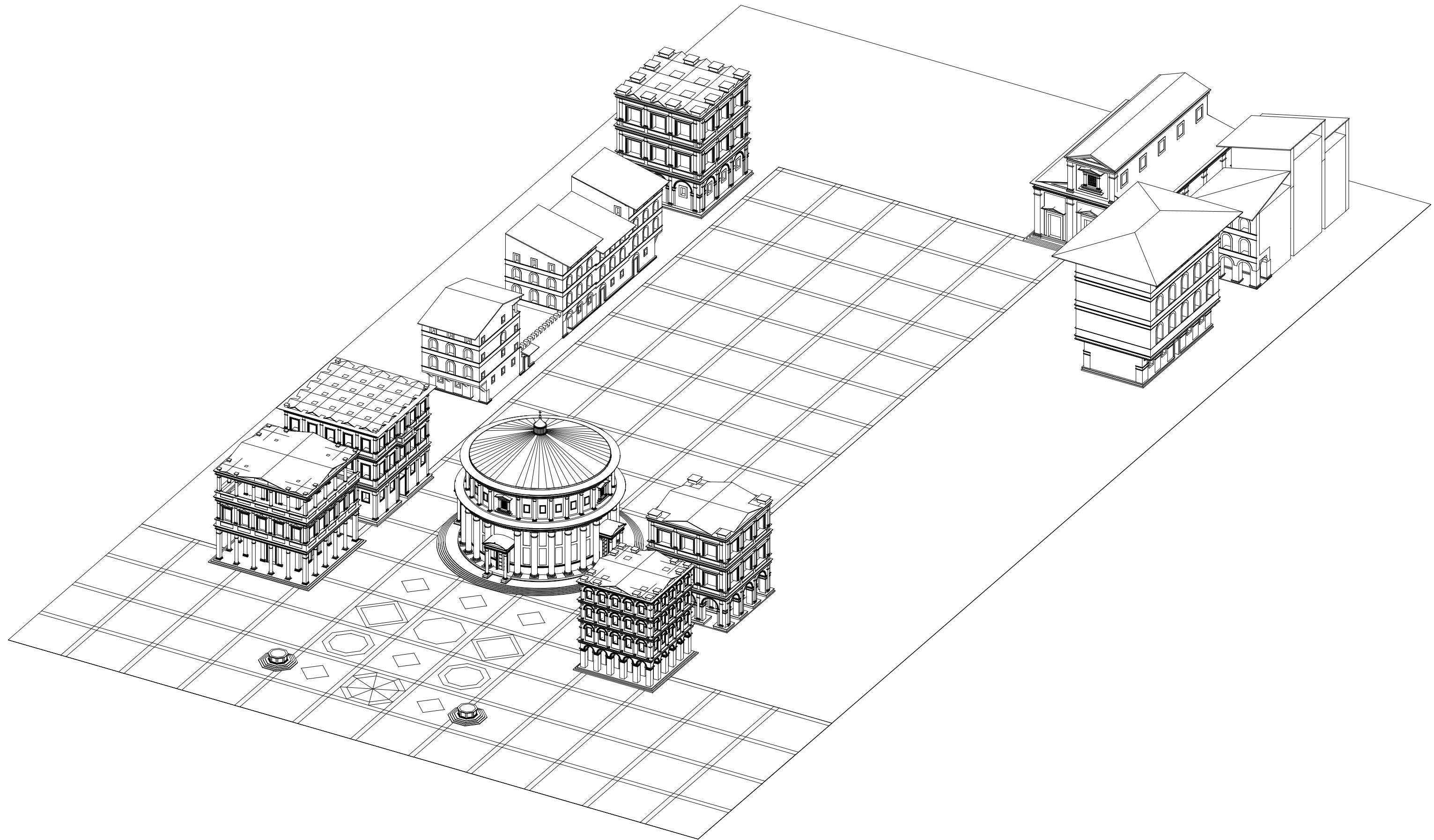
MONTILLA DUQUE, Ana. Artículo online Realidad Virtual en Arquitectura: Más que una experiencia  
<https://revistadigital.inesem.es/diseno-y-artes-graficas/realidad-virtual-arquitectura/>

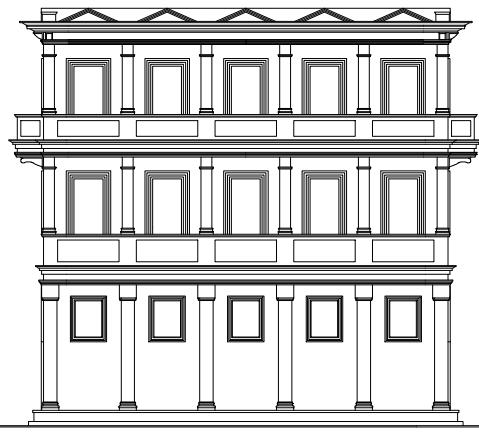
ARREVOL arquitectos ,Artículo sobre arquitectura virtual. February 22, 2016  
<https://www.arrevol.com/blog/arquitectura-virtual-inmersiva-vr>

## 11. Anexos

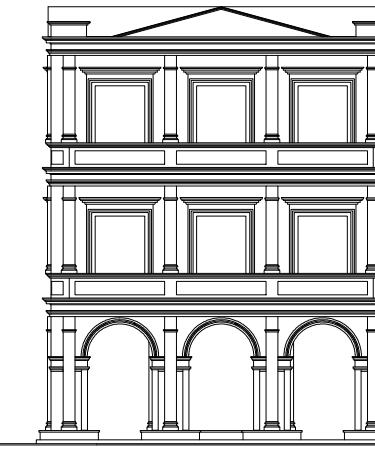
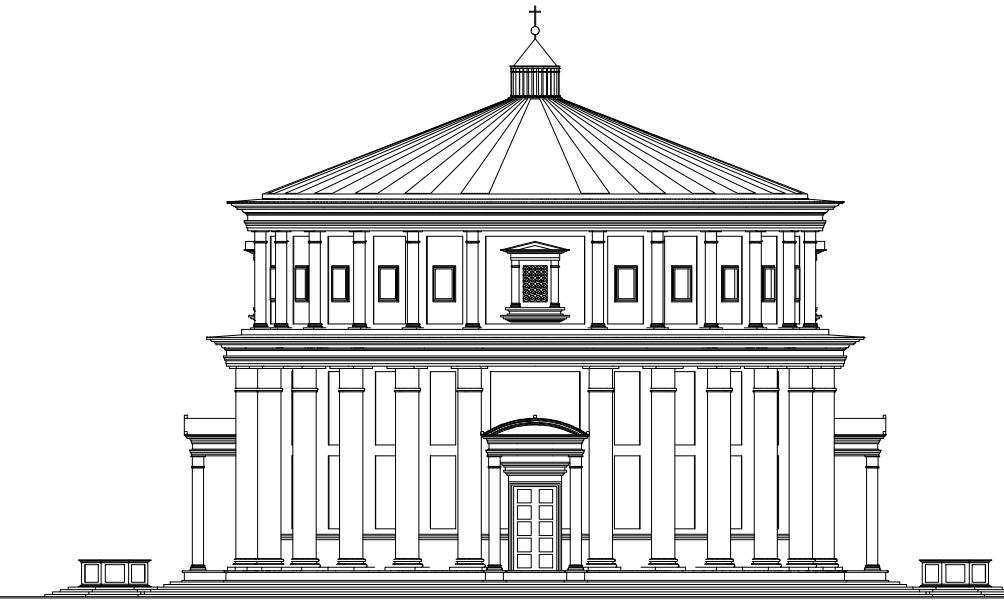








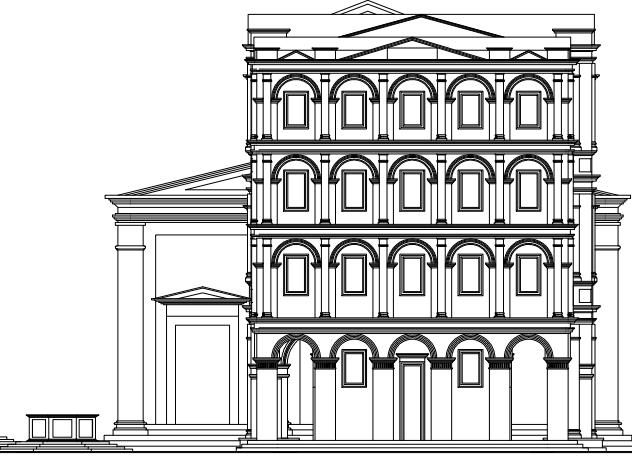
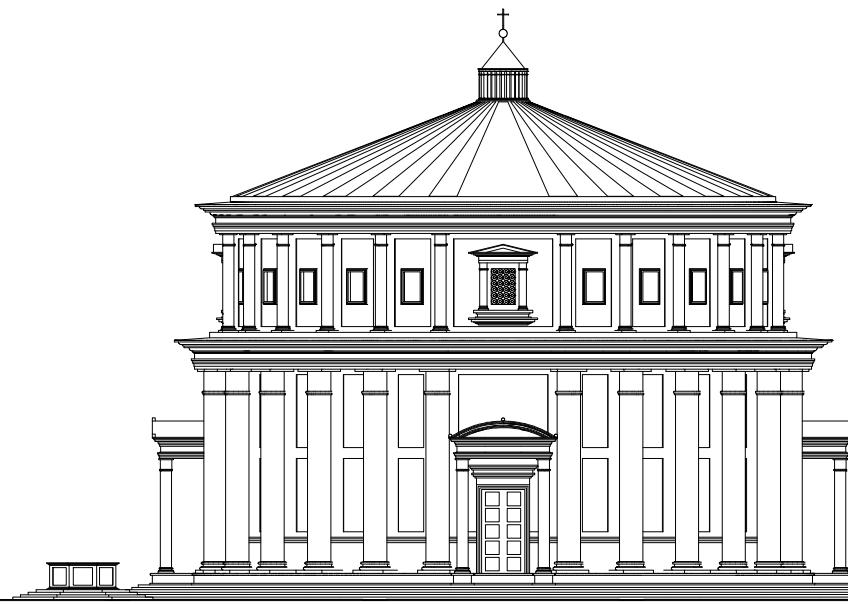
B



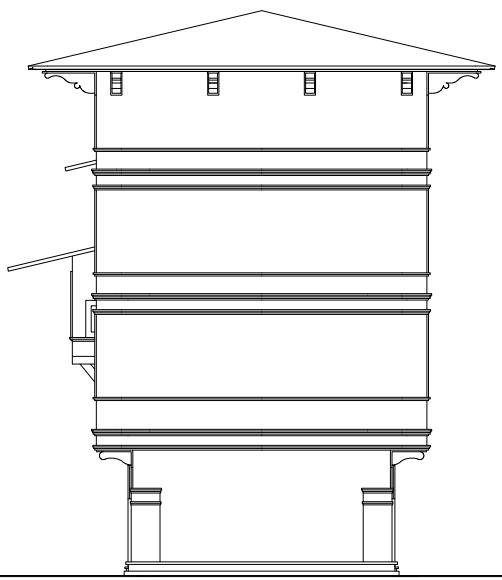
B'

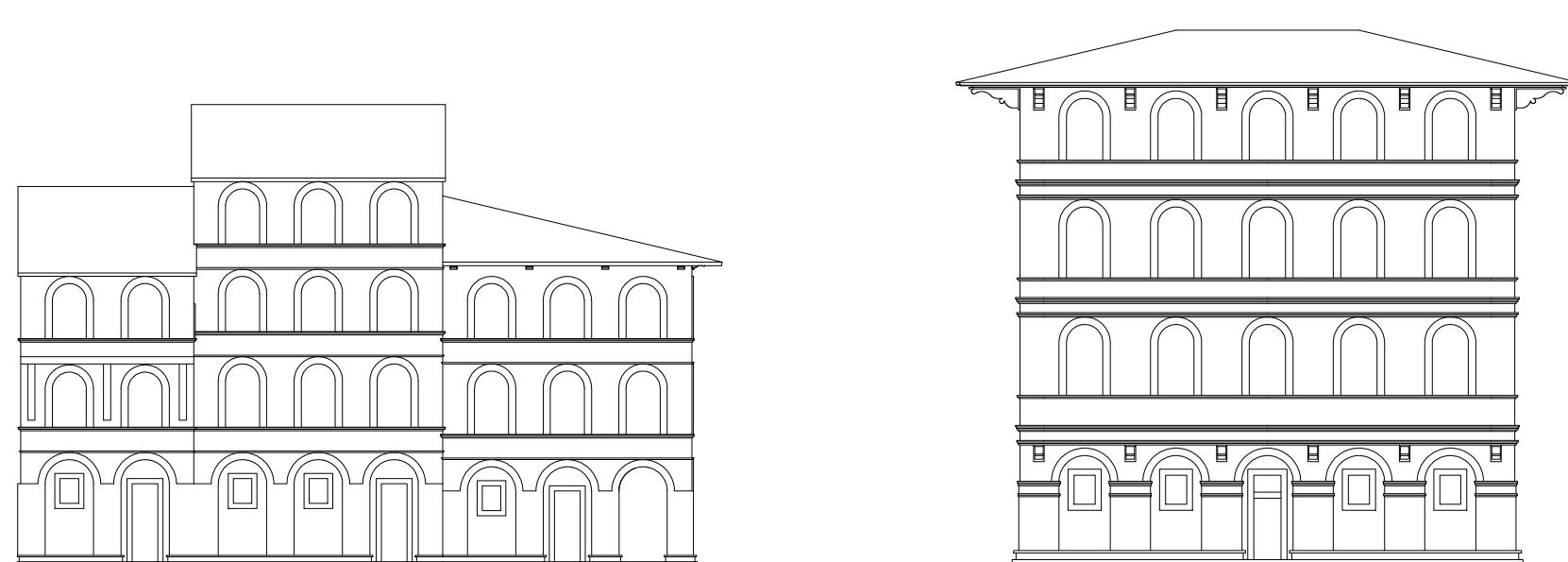


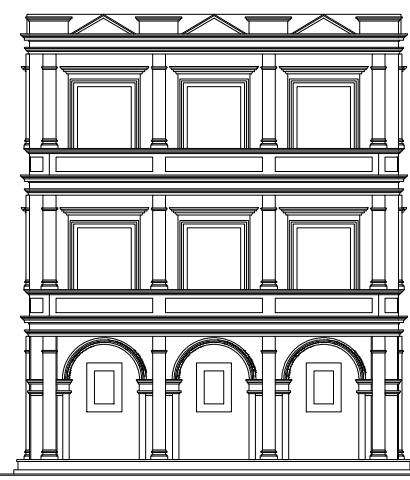
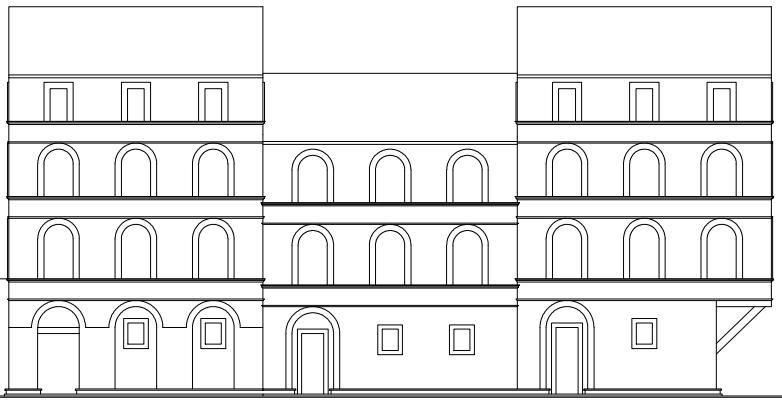
A



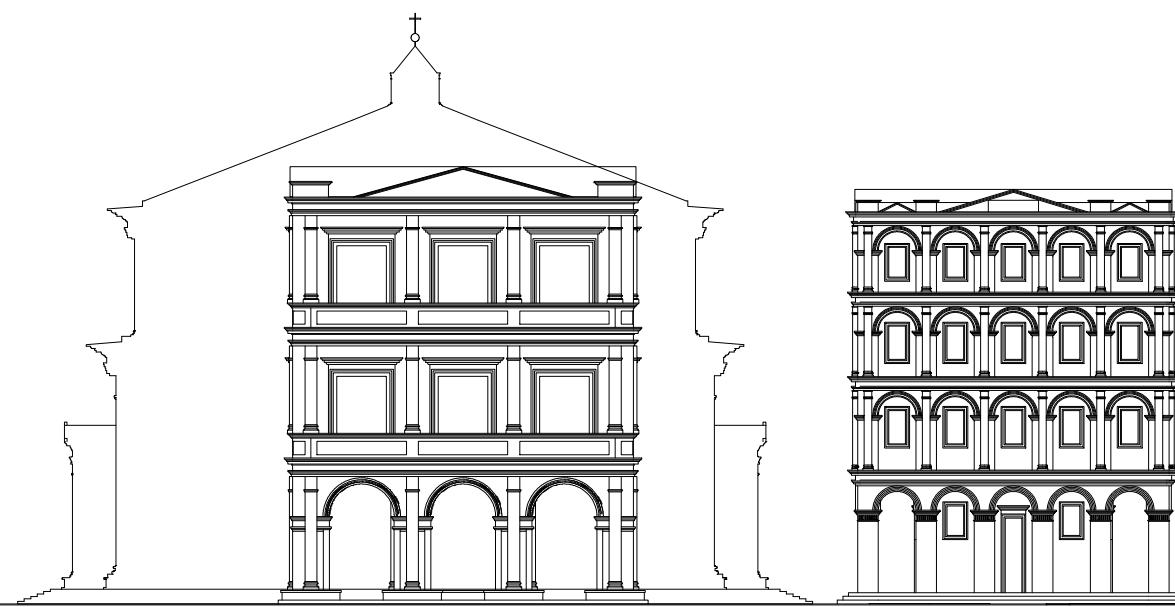
A'







E'



F'

