



Entre el Olvido y la Reconstrucción Intangible
Nuevas tecnologías para redescubrir las Ruinas de San Isidoro

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



TRABAJO FIN DE GRADO

SILVIA LUQUE PARDO

*Entre el Olvido y la Reconstrucción Intangible:
Nuevas tecnologías para redescubrir las Ruinas de San Isidoro*

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi tutor Luis por confiar en mí y guiarme durante este proceso, y a David Sanz, por compartir información crucial sobre el estado de degradación del caso de estudio.

Agradezco también a mi familia y amigos, pilares de paciencia y aliento.

A Gonzalo, cuyo apoyo incondicional y compañía en los momentos más difíciles han sido un refugio en medio del estrés.

ENTRE EL OLVIDO Y LA RECONSTRUCCIÓN INTANGIBLE:
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA REDESCUBRIR LAS RUINAS DE SAN ISIDORO

Estudiante

Silvia Luque Pardo

Tutor

Luis Javier Sánchez Aparicio

Departamento de Construcción y Tenologías Arquitectónicas

Aula TFG 8

Luis Javier Sánchez Aparicio, *coordinador/a*

Enrique Moreno Pérez, *adjunto/a*

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

Universidad Politécnica de Madrid

Índice

RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Motivación	13
1.2. Estado del Arte	14
2. OBJETIVOS	23
3. CASO DE ESTUDIO	25
3.1. Historia	26
3.2. Estado de degradación	28
3.3. Fotogrametría	30
4. PROPUESTA METODOLÓGICA Y APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA	33
4.1. Elaboración del modelo 3D y planos	34
4.2. Experiencia de Realidad Aumentada	54
5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS	65
FUENTES	69
Bibliografía y recursos digitales	69
Procedencia de las ilustraciones	75
Procedencia de las tablas	83
ANEXO I: PLANOS	85
ANEXO II: FICHAS DE INFORMACIÓN	93

Resumen

Este Trabajo Fin de Grado explora el potencial de las tecnologías inmersivas, en particular la realidad aumentada, para la puesta en valor y conservación del patrimonio cultural. El caso de estudio escogido son las ruinas de San Isidoro, un enclave histórico que, a pesar de su valor, pasa desapercibido debido a su escasa visibilidad y se enfrenta a un preocupante problema de degradación, que conducirá, en un futuro no demasiado lejano, a la desaparición de las mismas.

Mediante el uso de herramientas de realidad aumentada, existe la oportunidad de contribuir a su preservación de un modo digital y a la generación de una experiencia inmersiva que pueda captar la atención de quienes pasen por el lugar, ayudándoles a descubrir el legado y la historia que representan. Este proyecto trata de revitalizar y potenciar el interés de los bienes patrimoniales, concretamente en el caso de las ruinas de San Isidoro, dándoles una nueva perspectiva y, a su vez, promoviendo una mayor concienciación sobre la importancia de conservar y proteger nuestro entorno patrimonial. El caso de estudio servirá de modelo para este tipo de actuaciones en otros elementos culturales que precisen ser preservados ya que, de no ser archivados, caerían en el olvido.

PALABRAS CLAVE

Reconstrucción 3D · Realidad Aumentada · Patrimonio Digital · Turismo · Museos Virtuales · Conservación

Abstract

This degree dissertation explores the potential of immersive technologies, in particular augmented reality, for the enhancement and conservation of cultural heritage. The chosen case study is the ruins of San Isidoro, a historical enclave that, despite its value, goes unnoticed due to its low visibility and faces a worrying problem of degradation, which will lead, in the not too distant future, to its disappearance.

Through the use of augmented reality tools, there is an opportunity to contribute to their preservation in a digital way and to the generation of an immersive experience that can capture the attention of those who pass by the site, helping them to discover the legacy and history they represent. This project seeks to revitalize and enhance the interest of heritage assets, specifically in the case of the ruins of San Isidoro, giving them a new perspective and, in turn, promoting greater awareness of the importance of preserving and protecting our heritage environment. The case study will serve as a model for this type of actions in other cultural elements that need to be preserved since, if not archived, they would fall into oblivion.

PALABRAS CLAVE

3D Reconstruction · Augmented Reality · Digital Heritage · Tourism · Virtual Museums · Conservation

«La digitalización es la oportunidad para el Patrimonio Cultural de sobrevivir a eventos naturales que puedan deteriorarlo y a los efectos devastadores de la humanidad.»
(Boboc et al., 2022)

1 Introducción

Imagen de la portada:

Figura 1.1: Axonometría con base de la fotogrametría de las Ruinas de San Isidoro y Reconstrucción 3D.

Fuente: *Elaboración propia*

1. Memory of the World | UNESCO. (s. f.). Recuperado 3 de octubre de 2024, de <https://www.unesco.org/en/memory-world>

A día de hoy, el 90% del Patrimonio Cultural de toda la humanidad se ha perdido. El denominado Patrimonio Digital por la UNESCO, recoge el legado con materiales informáticos con la función de preservarlo para futuras generaciones. El Patrimonio Digital concierne a diferentes industrias, y requiere de la participación de todos ellos para la continuación de este trabajo de preservación ¹.

1.1. Motivación

La motivación para realizar este trabajo surge de mi interés por las tecnologías inmersivas, como la realidad aumentada y virtual, y mi convicción de que pueden ser herramientas útiles para revalorizar y conservar nuestro patrimonio cultural. A lo largo del tiempo, he observado cómo estas tecnologías no solo enriquecen la experiencia del usuario, sino que también permiten acercar el pasado al presente, haciéndolo accesible y atractivo para un público más amplio. Las ruinas de San Isidoro, a pesar de su valor histórico y antigüedad, permanecen casi desapercibidas en su ubicación actual, ya que muchos desconocen la importancia que encierran.

2. Patrimonio cultural—Culture and Creativity. (s. f.). Recuperado 7 de diciembre de 2024, de <https://culture.ec.europa.eu/es/policies/selected-themes/cultural-heritage>.

El patrimonio cultural enriquece la vida de los ciudadanos, impulsa los sectores cultural y creativo y desempeña un papel importante en la creación y el incremento del capital social europeo. También es un recurso importante para el crecimiento económico, el empleo y la cohesión social, ya que ofrece todo un potencial para revitalizar zonas urbanas y rurales y fomentar el turismo sostenible ².

Corresponde a los profesionales del ámbito de la arquitectura contribuir con sus conocimientos a la preservación de los elementos arquitectónicos que integran el patrimonio cultural, que de otra manera no tendrían posibilidad de permanecer en el tiempo. Hay numerosos espacios como estas ruinas, que están cerca de desaparecer y que necesitan ser documentados y archivados para evitar que caigan en el olvido.

1.2. Estado del Arte

Reconstrucciones 3D

Con las reconstrucciones virtuales ya sean de objetos, yacimientos arqueológicos, o edificios en ruinas, se obtiene una réplica digital realista de cómo era el elemento antes de perder algunas de sus partes. Lo cual reduce los costes y acelera el proceso de restauración ³. Además permite hacer todas estas actuaciones de manera no invasiva, sin comprometer las normas de conservación del Patrimonio Cultural ⁴. Por lo que notamos ciertas ventajas frente a las reconstrucciones de rehabilitaciones físicas.

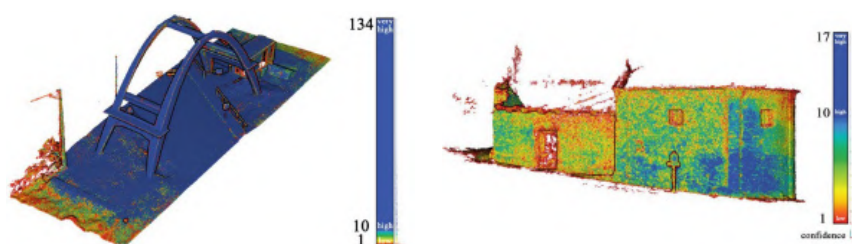
Estas reconstrucciones requieren de una investigación detallada que permita la recopilación de la máxima información posible para conseguir el resultado más parecido a la realidad de cómo eran esas ruinas tiempo atrás. Muchas veces la información disponible no nos proporcionará una imagen completa de cómo era anteriormente, por lo que es importante contrastar información de las técnicas constructivas de la época y, sobre todo, tratar de inspirar una sensación de veracidad al receptor de la información ⁵.

Existen múltiples propósitos con los que se fabrican este tipo de reconstrucciones dirigidas a la conservación del Patrimonio Histórico. En este proceso distinguimos tres fases principales en las que se emplea el uso de los Modelos de Reconstrucciones 3D:

-Diagnóstico (Diagnosis)-

Esta parte del proceso técnico hace referencia a la fase en la que se analiza el estado de conservación de un edificio. En una reconstrucción 3D con esta intención se mostrará una evaluación completa de los desperfectos que pueda tener el elemento analizado.

Por ejemplo, en el caso del Arco Parabólico de Morano y La Capilla Rural en Molini Allioni (Elva, Cuneo) ⁶, se hace un levantamiento partiendo de una base fotogramétrica. Gracias a esa base se detectan las diferentes degradaciones. En el caso del Arco se identifican hierros descubiertos, eflorescencia, ennegrecimiento por contaminación, etcétera. Los modelos permiten ver los mapas de temperatura en tres dimensiones, y de este modo detectar posibles puntos de defectos por humedades o fisuras ocultas que se descubren por puntos de puentes térmicos (Figura 1.2).



3. Boboc, R. G., Băutu, E., Gîrbacia, F., Popovici, N., & Popovici, D.-M. (2022). *Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications*. *Applied Sciences*, 12(19), Article 19, p. 17.

<https://doi.org/10.3390/app12199859>

4. Anay, H., Özten, Ü., Ünal, M., & Öztepe, E. (2022). *Augmented experiences in archeological sites: Presentation of Alexandria Troas Podium Temple to visitor experience*. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 3(1).

<https://doi.org/10.47818/drarch.2022.v3i042>

5. Martín Sánchez, G. (2012). *La reconstrucción virtual de monumentos: El ejemplo de la iglesia románica de San Pelayo en Ávila*. *Institución Gran Duque de Alba 1962-2012: 50 años de cultura abulense*, Vol. 2, 2012, ISBN 978-84-15038-38-2, págs. 97-106, 97-106.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7235386>

6. Patrucco, G., Giulio Tonolo, F., Sammartano, G., & Spanò, A. (2022). *SFM-BASED 3D RECONSTRUCTION OF HERITAGE ASSETS USING UAV THERMAL IMAGES*. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B1-2022, 399-406. XXIV ISPRS Congress "Imaging today, foreseeing tomorrow", Commission I - 2022 edition, 6–11 June 2022, Nice, France.

<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-399-2022>

Figura 1.2: Conjunto de datos térmicos del Arco Parabólico de Morano y La Capilla Rural en Molini Allioni (Elva, Cuneo)

Fuente:
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-399-2022>

-Planificar una intervención-

7. Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., Barazzetti, L., & Previtali, M. (2014). *Survey turned into HBIM: The restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)*. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-5, 267-273.

<https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-267-2014>

La aplicación de modelos 3D para planificar intervenciones es también muy común en el campo de la rehabilitación y conservación de edificios. En el caso de la Basílica de Collemaggio tras el terremoto de L'Aquila 7, tomando de referencia la base fotogramétrica, se creó mediante Revit un modelo tridimensional reconstruido con los materiales y las técnicas constructivas originales, de esta manera, con el modelo HBIM (Heritage Building Information Modelling) se han podido realizar simulaciones y pruebas estructurales para plantear las intervenciones de refuerzo necesarias (Figura 1.3).

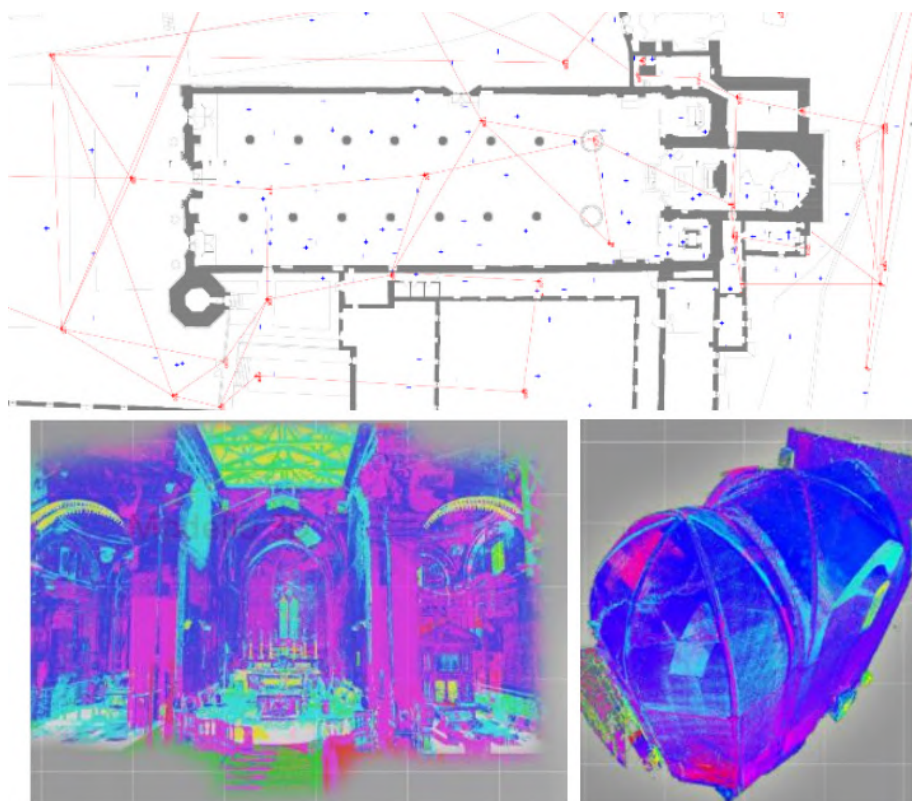


Figura 1.3: La red geodésica y algunas imágenes de los escaneos láser adquiridos en la Basílica de Collemaggio tras el terremoto de L'Aquila.

Fuente:

<https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-267-2014>

8. Portalés, C., Alonso-Monasterio, P., & Viñals, M. J. (2017). *3D virtual reconstruction and visualisation of the archaeological site Castellet de Bernabé (Lliria, Spain)*. *Virtual Archaeology Review*, 8(16), 72-85.

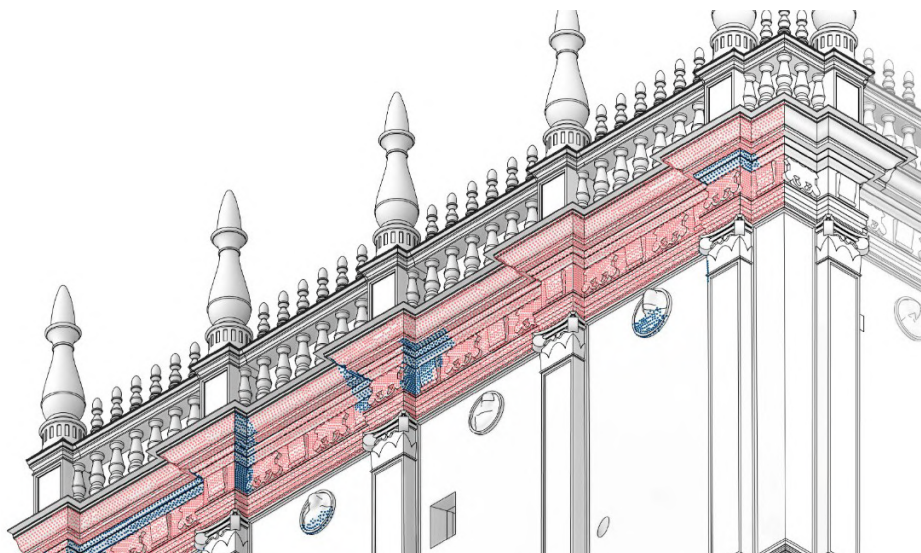
<https://doi.org/10.4995/var.2017.5890>

Es una actuación similar a la que se llevó a cabo en el Castellet de Bernabé (Lliria)⁸. El objetivo principal es proporcionar una herramienta que facilite la documentación precisa del patrimonio cultural, ayude en la identificación de alteraciones mecánicas y sirva como base para futuras labores de restauración o reconstrucción.

-Conservación preventiva (Preventive conservation)-

Otras aplicaciones de cara a la evolución de las construcciones y su estado en el futuro se dedican a calcular un programa de mantenimiento periódico del edificio para que no vuelva a tener enfermedades que aceleren su degradación.

Es el caso de la Catedral de Sevilla ⁹. Además de la detección de problemas en la actualidad, se realiza un análisis predictivo para identificar posibles defectos antes de que estos aparezcan, como problemas de humedades, movimientos estructurales o exposición a agentes externos. Los modelos obtenidos también permiten un monitoreo constante mediante sensores con datos a tiempo real para detectar los daños cuanto antes y prevenir que se desarrollen (Figura 1.4).



9. HBIM as Support of Preventive Conservation Actions in Heritage Architecture. Experience of the Renaissance Quadrant Façade of the Cathedral of Seville. (s. f.). Recuperado 24 de diciembre de 2024, de <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/7/2428>

Figura 1.4. : Vista del modelo de detalle medio incluyendo la visualización temática de los SIP mediante el filtrado de los parámetros correspondientes a "suciedad" (rojo) y "costra negra" (azul), del grupo de aportación material del producto de alteración, en relación al estado de conservación previo a la intervención.

Fuente: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/7/2428>

También se utilizaron este tipo de sensores y herramientas en el caso del Templo de Angkor Wat ¹⁰. Mediante la recopilación de imágenes SAR satelitales sometidas a procesos de calibración se obtienen las tasas de deformación. Así se detectan posibles inestabilidades estructurales con simulaciones y la predicción de distintos escenarios (Figura 1.5).

10. Chen, F., Xu, H., Zhou, W., Zheng, W., Deng, Y., & Parcharidis, I. (2021). Three-dimensional deformation monitoring and simulations for the preventive conservation of architectural heritage: A case study of the Angkor Wat Temple, Cambodia. *GIScience & Remote Sensing*, 58(2), 217-234. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1871188>

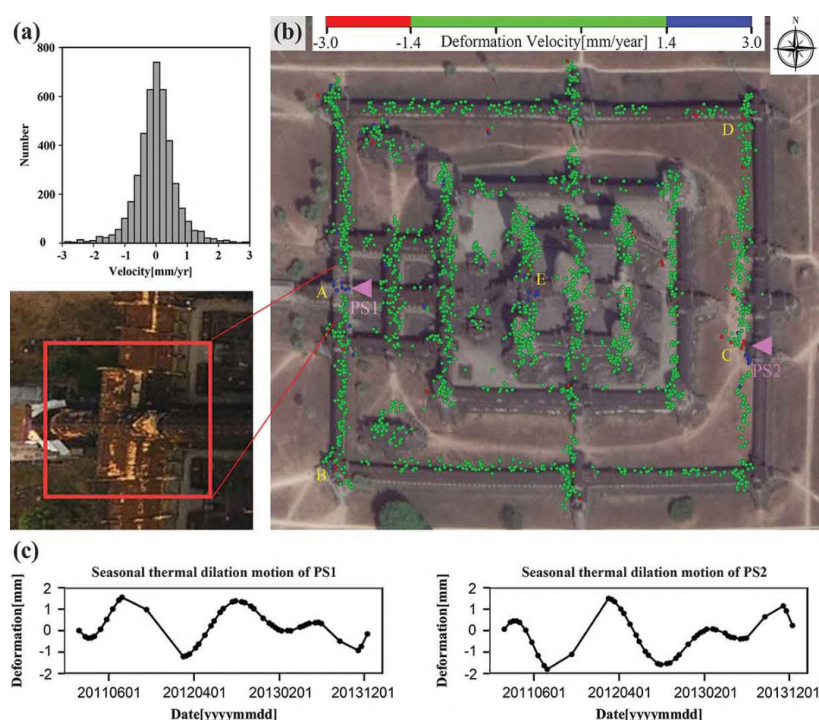


Figura 1.5: Estimaciones de deformación D-TomoSAR superpuestas sobre las imágenes ópticas de teledetección de Google Earth.

(a) Distribución de la velocidad de las mediciones PS.

(b) Puntos PS estables (verde) e inestables (azul o rojo) clasificados utilizando el umbral de dos desviaciones estándar (1,4 mm/año); «A-E» marca las inestabilidades estructurales detectadas.

(c) Dilataciones térmicas estacionales del monumento presentadas por PS1 y PS2.

Fuente: <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1871188>

Tipos de Realidades

Para comenzar se introduce el término de Realidad Extendida. Este término se emplea para hacer referencia a entornos que mezclan lo real y virtual. Existen tres tipos de realidad extendida:

-Realidad Virtual (VR)-

La más común actualmente es la Realidad Virtual. En ella no apreciamos nada de la realidad, el entorno que percibimos es completamente digital, por lo que experimentamos un aislamiento completo del mundo real y cualquier tipo de interacción con otros seres humanos. Muchas de estas experiencias las encontramos actualmente en los videojuegos que permiten o precisan del uso de gafas de realidad virtual o en espacios habilitados para inmersiones virtuales, esto lo podemos ver en muchos museos alrededor de todo el mundo.

La experiencia del Louvre Mona Lisa: Beyond the Glass ¹¹ proporciona la posibilidad de recorrer el museo y acercarse a los cuadros moviéndose virtualmente por los pasillos, cuando en realidad se está quieto en un mismo sitio. Este tipo de aplicaciones permite a gente de todo el mundo visitar este espacio desde cualquier lugar en el que se encuentren, salvando así la barrera de la distancia (Figuras 1.6 y 1.7).

11. *Mona Lisa: Beyond The Glass en Steam. (s. f.). Recuperado 4 de enero de 2025, de https://store.steampowered.com/app/1172310/Mona_Lisa_Beyond_The_Glass/*

Figura 1.6: Portada de Mona Lisa: Beyond the Glass

Fuente: https://store.steampowered.com/app/1172310/Mona_Lisa_Beyond_The_Glass/

Figura 1.7: Captura dentro del videojuego Mona Lisa: Beyond the Glass

Fuente: https://store.steampowered.com/app/1172310/Mona_Lisa_Beyond_The_Glass/

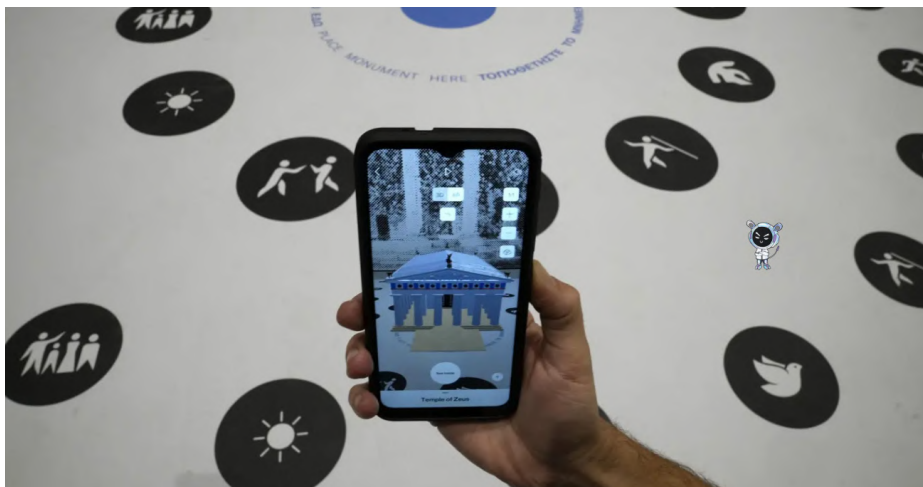


-Realidad Aumentada (AR)-

En este tipo de realidad se mantiene el entorno real al completo y se superponen elementos digitales a ella. En este caso no experimentamos el aislamiento de la Realidad Virtual, ya que podemos ver en todo momento el espacio que nos rodea e interactuar con las personas, a la vez que añadimos elementos digitales que aportarán información sobre aquello que estamos explorando.

Algunos ejemplos de este tipo de aplicaciones se pueden encontrar en turismo, donde se emplean frecuentemente experiencias de este tipo para

mostrar reconstrucciones de ruinas. En la aplicación de Realidad Aumentada de templos en Grecia ¹² vemos la reconstrucción (información digital) superpuesta a la realidad (la imagen de la cámara) (Figura 1.8).



12. *Augmented reality project brings Olympics birthplace to life.* (2021, noviembre 10). AP News.

<https://apnews.com/article/sports-technology-science-lifestyle-business-79cbb-21f40065d845b79b3de2ecd3139>

Figura 1.8: Aplicación en el Museo Olímpico de Atenas, Grecia, el martes 9 de noviembre de 2021. La instalación forma parte de un proyecto de restauración digital de Microsoft y el Ministerio de Cultura y Deporte griego en la Antigua Olimpia, cuna de los Juegos Olímpicos. (AP Photo/Thanassis Stavrakis)

Fuente: <https://apnews.com/article/sports-technology-science-lifestyle-business-79cbb-21f40065d845b79b3de2ecd3139>

-Realidad Mixta (MR)-

Ésta mezcla el mundo real y virtual y permite interacciones entre ellos. Sus aplicaciones son muy útiles en arquitectura, por ejemplo usando experiencias de este tipo para ver maquetas seccionadas donde podemos ir cambiando de posición el plano de sección para ver los diferentes espacios interiores ¹³(Figura 1.9).



13. *Lighthood SLU (Director).* (2021, abril 5). *Realidad Mixta—Arquitectura e Ingeniería [Lighthood] [Video recording].*

<https://www.youtube.com/watch?v=jHsE8PbkzwQ>

Figura 1.9: Vista de un modelo 3D en Realidad Mixta con interacción de sección.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=jHsE8PbkzwQ>

Por lo tanto la idónea para este caso es la RA, ya que la intención no es separar completamente a los seres humanos del mundo real, sino establecer un conjunto de relaciones con él, para un mejor entendimiento del entorno que nos rodea.

14. Porncharoen, R., Ratchataruj, S., & Wichiranon, S. (2021). Using Augmented Reality Technology in Learning Archeological Places. 2021 6th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed), 1-4.

<https://doi.org/10.1109/iSTEM-Ed52129.2021.9625107>

Tabla 1.1: Estudio comparativo de casos de usos de RA en Patrimonio Cultural.

Fuente: *Elaboración propia.*

15. Paliokas, I., Patenidis, A. T., Mitsopoulou, E. E., Tsita, C., Pehlivanides, G., Karyati, E., Tsafaras, S., Stathopoulos, E. A., Kokkalas, A., Diplaris, S., Meditskos, G., Vrochidis, S., Tasiopoulou, E., Riggas, C., Votis, K., Kompatsiaris, I., & Tzovarar, D. (2020). A Gamified Augmented Reality Application for Digital Heritage and Tourism. *Applied Sciences*, 10(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/app10217868>

16. Bellido Gant, M. L., & Ruiz Torres, D. (2013). Los museos de los nuevos medios: Virtualidad e interacción como nuevos paradigmas del conocimiento y la difusión. *ArTecnología: arte, tecnología e linguagens midiáticas* - <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5726701>

17. Canciani, M., Conigliaro, E., Del Grasso, M., Papalini, P., & Saccone, M. (2016). 3D SURVEY AND AUGMENTED REALITY FOR CULTURAL HERITAGE. THE CASE STUDY OF AURELIAN WALL AT CASTRA PRAETORIA IN ROME. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-931-2016>

18. Anay, H., Özten, Ü., Ünal, M., & Öztepe, E. (2022). Augmented experiences in archeological sites: Presentation of Alexandria Troas Podium Temple to visitor experience. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 3(1). <https://doi.org/10.47818/drarch.2022.v3i1042>

19. *Mona Lisa: Beyond The Glass en Steam.* (s. f.). Recuperado 1 de enero de 2025, de https://store.steampowered.com/app/1172310/Mona_Lisa_Beyond_The_Glass/

20. *Yorescape. Rome Reborn.* (s. f.). Recuperado 1 de enero de 2025, de <https://yorescape.com/>

Uso de Realidad Aumentada (RA) en la actualidad

Las tecnologías de Realidades Mixtas están suficientemente avanzadas como para ser estandarizadas en sitios de interés cultural. Las apps de Realidad Aumentada, reconstruyendo el patrimonio arquitectónico y arqueológico, se están volviendo cada vez más comunes ¹⁴.

Para tener una idea más global de las intervenciones de experiencias turísticas que se están llevando a cabo en la actualidad, se ha realizado una tabla (Tabla 1.1) que recoge varias de estas intervenciones en distintos ámbitos, pero centrados en el turismo.

Aplicación/Experiencia	Realidad	Museo/Lugar turístico	Motor o Programa	Descripción y Contexto
E-Tracer AR ¹⁵	Aumentada	Museo de la Platería en Ioannina, Grecia	Unity/Sketchup	Aplicación educativa para guiar a los visitantes en un museo mediante objetos 3D y quizzes.
Guía de Realidad Aumentada Móvil para las Visitas al Museo. ¹⁶	Aumentada	Museo de Bellas Artes de Rennes, Francia	MAGIC Engine	Prototipo funcional de una guía de museo multimedia móvil habilitada para RA.
LifePlus Project ¹⁵	Aumentada	Pompeya	VHD++	Reconstrucción 3D de frescos antiguos con avatares animados como narración dramática en un entorno inmersivo de realidad aumentada
Aprendizaje de sitios arqueológicos ¹⁴	Aumentada	Tailandia	Vuforia, Unity	Facilitar el aprendizaje de estudiantes y fomentar el turismo en sitios arqueológicos tailandeses.
Proyecto AR ¹⁷	Aumentada	Muralla Aureliana en Castra Praetoria en Roma	Unity, Vuforia	Difusión de conocimiento sobre los modelos 3D superpuestos mediante RA
Experiencias aumentadas en sitios arqueológicos ¹⁸	Aumentada	Templo del podio de Alexandria Troas	Vuforia, Unity, ARFoundation	Aplicación de RA a través del móvil para ver la reconstrucción del templo virtual.
Mona Lisa: Beyond the Glass ¹⁹	Virtual	Louvre París	-	A través del diseño interactivo, los usuarios descubren detalles sobre la pintura, como la textura del panel de madera, y perciben cómo el paso del tiempo ha cambiado su apariencia
Rome Reborn ²⁰	Virtual	Antigua Roma	Unity	Aplicación para viajar en el tiempo y experimentar un recorrido aéreo único por toda la ciudad de la antigua Roma tal y como era en el siglo IV de nuestra era. Permite contemplar los grandes monumentos, como el Coliseo, el Foro Romano, el Palacio Imperial y las Termas de Caracalla.

Un estudio bibliométrico en el campo del Patrimonio Cultural ²¹ determina que las palabras clave que más aparecen en textos académicos que hablan sobre el tema, son normalmente relacionados con las tecnologías usadas para desarrollar las aplicaciones en este ámbito, lo que demuestra que cada vez se está implementando más el uso de este tipo de tecnologías.

Según otro estudio de 2019 las entidades que más aplicaciones de Realidad Aumentada en Patrimonio desarrollan son los Museos con un 42,9%. Seguido por compañías privadas (20%), administraciones públicas (14,3%), colaboraciones entre museos y universidades o administración pública y museos (11,4%), universidades o grupos de investigación (8,6%) y por último, por particulares (2,9%).

Los resultados del estudio ²² sobre estas aplicaciones demostraban que éstas no se ajustaban a los diferentes niveles posibles de conocimiento de los usuarios, el tono de comunicación es exclusivamente académico, y las aplicaciones se suelen activar con códigos que se escanean. Además, la mayoría requieren que el usuario se encuentre en la localización.

Las experiencias en el campo de la Realidad Aumentada proporcionan una visión de las partes “perdidas”, contextualizando los restos como eran antiguamente formando parte de un conjunto y ofreciendo una mirada más comprensiva al turista. Por ejemplo, estas herramientas resultan ser útiles en situaciones arqueológicas en las que apenas visualizamos parte de lo que un día fueron, ya que a menudo la única parte conservada son los cimientos y, a través de nuestra vista, solo percibimos una imagen en dos dimensiones ²³.

Los principales propósitos de estas aplicaciones son mejorar la experiencia del visitante, la reconstrucción de los elementos, la conservación y preservación, y traer a la actualidad eventos del pasado.

En esta otra tabla (Tabla 1.2) podemos ver que los monumentos y los edificios son los objetos más comunes que aparecen en estas aplicaciones, con un 65,7% de aparición. Pero también se incluyen otra serie de elementos como pueden ser guías virtuales, que dirigen a los turistas y proporcio-

21. Salleh, S. Z., & Bushroa, A. R. (2022). *Bibliometric and content analysis on publications in digitization technology implementation in cultural heritage for recent five years (2016–2021)*. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 25, e00225. <https://doi.org/10.1016/j.da-ach.2022.e00225>

22. Luna, U., Rivero, P., & Vicent, N. (2019). *Augmented Reality in Heritage Apps: Current Trends in Europe*. *Applied Sciences*, 9(13), Article 13, p. 17. <https://doi.org/10.3390/app9132756>

23. Anay, H., Özten, Ü., Ünal, M., & Öztepe, E. (2022). *Augmented experiences in archeological sites: Presentation of Alexandria Troas Podium Temple to visitor experience*. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 3(1). <https://doi.org/10.47818/drarch.2022.v3i1042>

Tabla 1.2: Usos de RA en aplicaciones de patrimonio.

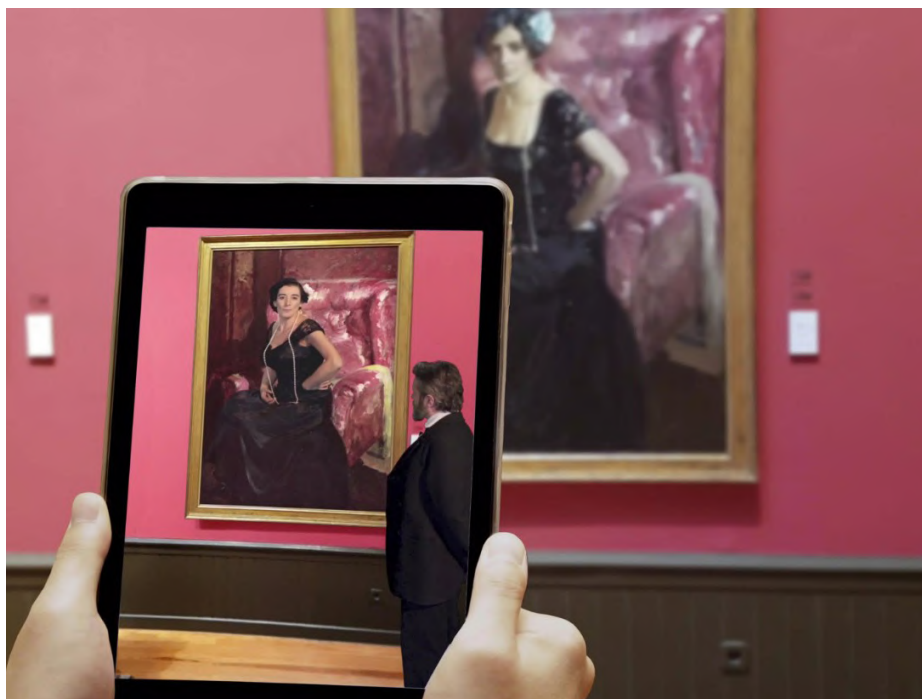
Fuente: <https://doi.org/10.47818/drarch.2022.v3i1042>

Uso de Realidad Aumentada	Frecuencia			Porcentaje		
	Sí	No	Total	Sí	No	Total
Objeto	14	21	35	40,0%	60,0%	100,0%
Constucción/Monumento	23	12	35	65,7%	34,3%	100,0%
Acciones	7	28	35	20,0%	80,0%	100,0%
Fantasia	1	34	35	2,9%	97,1%	100,0%
Guía	7	28	35	20,0%	80,0%	100,0%
Persona adicional	4	31	35	11,4%	88,6%	100,0%
Información escrita	10	25	35	28,6%	71,4%	100,0%

nan información. Es por ejemplo el caso de la aplicación en el Museo Sorolla, en Madrid, en la que se ve a través de Realidad Aumentada una persona que va haciendo de guía en el museo (Figura 1.10).

Figura 1.10: Aplicación de Guía de Realidad Aumentada en el Museo Sorolla

Fuente: <https://apkpure.com/sorolla-museum-ar/com.six-dimensionsLab.MuseoSorolla>



24. Boboc, R. G., Băutu, E., Gîrbacia, F., Popovici, N., & Popovici, D.-M. (2022). *Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications*. *Applied Sciences*, 12(19), Article 19, p. 17.

<https://doi.org/10.3390/app12199859>

Cabe destacar la importancia de la mejora de accesibilidad en museos y exhibiciones. Es frecuente que las guías actuales en estos espacios no incluyan opciones facilitadas para personas con pérdida de audición u otras discapacidades. Existen ya guías de Realidad Aumentada que incorporan personas virtuales que transmiten la información con lenguaje de signos, y que acercan esta información a personas con diferentes capacidades ²⁴.



2 Objetivos

Página anterior:

Figura 2.1: Fotografía del ábside de las Ruinas de San Isidoro en su emplazamiento actual en el Retiro, 2024.

Fuente: Elaboración propia

El objetivo principal de este trabajo será:

Explorar el uso de la Realidad Aumentada para redescubrir y revitalizar las ruinas de San Isidoro en el ámbito del turismo cultural.

Para cumplir este objetivo principal, planteo una serie de objetivos específicos los cuales serán:

- La Reconstrucción de San Isidoro en 3D de manera Virtual.
- El estudio de diferentes formas de mostrar la información al visitante.
- La propuesta de una experiencia de Realidad Aumentada que dé a conocer la historia de las ruinas e incorpore toda la información recopilada a modo de archivo.

La reconstrucción virtual en 3D de las ruinas de la Ermita de San Isidoro es una iniciativa de gran relevancia para la preservación digital de este patrimonio en peligro. Este tipo de registro permite documentar y analizar el estado actual del monumento, y generar un recurso que facilite su estudio y valoración en el futuro, especialmente considerando su importancia histórica y el avanzado estado de deterioro de sus materiales constructivos. Dentro de poco, lo que queda de la Ermita desaparecerá físicamente. Así, la reconstrucción digital constituye una herramienta valiosa para la divulgación educativa y la sensibilización social sobre la importancia de proteger y conservar el patrimonio cultural.

De esta manera se pretende que las ruinas de la Ermita sean relevantes para el ciudadano, dando más relevancia al edificio, su historia y su importancia, consiguiendo así mejorar su conservación.

La elección del caso de estudio, además de por su inminente desaparición, se debe a la relevancia que tiene el templo dentro del Románico Abulense. En esta ermita es en la que más concentrada se ve la corriente leonesa de escultura abulense. San Isidoro recogía una gran variedad de diseños de capiteles y decoraciones escultóricas que se tomarán más adelante de referencia en muchas iglesias de la zona, por lo que es una construcción clave en lo que se refiere a la construcción de elementos románicos en la ciudad de Ávila.



3 Caso de Estudio

Las Ruinas de San Isidoro actualmente se sitúan en una de las esquinas del Retiro, en la que se cruzan las calles O'Donnell y Menéndez Pelayo. A pesar de estar tan cerca de una de las entradas al parque en esa misma esquina, como se ha mencionado anteriormente, la gran mayoría de los transeúntes que pasan por esta zona no se dan cuenta de que las Ruinas están ahí al situarse en la parte posterior de la montaña (Figura 3.2).

Página anterior:

Figura 3.1: Fotografía de las Ruinas de San Isidoro en su emplazamiento actual en el Retiro, 2024.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.2: Localización de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro.

Fuente: Elaboración propia

Al entrar, lo que más llama la atención es este montículo, haciendo pasar a las ruinas a un segundo plano por estar prácticamente escondidas entre árboles.

Hoy en día se encuentran colocadas a una considerable distancia de su emplazamiento original en Ávila. Además de desubicadas, también se encuentran desorientadas ya que, en el lugar en el que se situaban, el ábside miraba al este, y actualmente ha sido rotada 90° en sentido horario, haciendo que mire hacia el sur.

3.1. Historia

Fernández Valencia ²⁵ afirma que, en una inscripción de 1135 en una de las campanas que pertenecían a la iglesia, se mencionaba el inicio de la construcción de la ermita de San Pelayo. Sin embargo, según los motivos ornamentales no parece que ésta pudiera haber sido construida antes de esa fecha. Por lo demás no existen datos anteriores, de modo que la falta de evidencias relativiza esta información.

Se fundó con el nombre de San Pelayo y se dice que, en el 1063, albergó los restos de San Isidoro en su paso por Ávila hacia León y que, debido a este suceso, fue que la Ermita pasó a portar el nombre del Santo.

Unos ocho siglos más tarde, en 1854, el Ayuntamiento comunica una orden de derribo a la Asociación de labradores, que era la propietaria de la Ermita en ese momento, por el estado ruinoso de la misma. En 1866 el Estado la desamortiza, cuando todavía no había sido derribada, y una década después en 1877, el Estado procederá a la demolición y venta de sus restos. Algunos sillares se usaron para levantar un muro cercano, mientras que otros restos más representativos se vendieron a Emilio Rotondo Nicolau, un aficionado a las antigüedades.

En 1893 Nicolau ofrece los restos a la Real Academia de la Historia, la cual los adquiere y se los ofrece al Museo Arqueológico Nacional. En 1896 el Museo cede los restos al Ayuntamiento de Madrid y es entonces cuando se inicia el primer proyecto de reconstrucción en el parque del Retiro, con el apoyo político de Cánovas del Castillo. Este proyecto se verá paralizado con la muerte del mismo en 1915. Al año siguiente se iniciará otro proyecto de restauración por el arquitecto Fernández Casanova. El proyecto fue desestimado por el Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes debido a un informe desfavorable de la Junta Facultativa de Construcciones Civiles, pero éste no fue el último proyecto ya que, en 1958, hubo un último intento fracasado de reconstruir la iglesia en la Ciudad Universitaria. Después de este incidente, las ruinas acabaron colocadas en su localización actual en el centro de la capital (Figura 3.3).

En el plano de Gutierrez Robledo (Figura 3.4) apreciamos la distribución de las Iglesias románicas en la ciudad de Ávila. La situación de la Ermita de San Pelayo correspondía a las afueras de la muralla, en la puerta de la Malaventura, o de San Isidoro, recibiendo también este nombre tras el cambio de nombre en la Ermita (Figura 3.5).

²⁵: Bartolomé Fernández Valencia fue un historiador que, en 1857, escribió el manuscrito titulado «Historia de San Vicente y Grandezas de Ávila».



Figura 3.3: Línea temporal de la historia de la ermita de San Pelayo y San Isidoro.

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionaba anteriormente, la orientación de San Isidoro cambió con su traslado.

En Ávila, al igual que todas las iglesias de la ciudad como se puede comprobar en la imagen anterior, el ábside se orienta hacia el este, la orientación litúrgica característica del cristianismo y que mantienen las iglesias de este período. En el retiro se giran quedando éste orientado hacia el Sur.

3.2. Estado de degradación

Las piezas que se mantienen en pie hoy en día, se encuentran en un avanzado estado de deterioro, en pocos años se han perdido muchos detalles que hoy en día no podemos distinguir. Han desaparecido matices de las decoraciones de los últimos capiteles que quedaban en pie, a la vez que los motivos de los arcos de las portadas, permaneciendo esta información únicamente ilustrada en algunos planos y capturado en algunas fotografías de hace años (Figuras 3.6 y 3.7).

Figura 3.6: Fotografía de la Portada Sur de San Isidoro en el Retiro de Augusto Arcimís, 1920.

Fuente: Sanz Arauz, D. (2016). *Informe sobre la piedra de las ruinas de la ermita de San Isidoro en el Retiro (Madrid). Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.*

Figura 3.7: Fotografía del ábside de San Isidoro en el Retiro de Augusto Arcimís, 1920.

Fuente: Sanz Arauz, D. (2016). *Informe sobre la piedra de las ruinas de la ermita de San Isidoro en el Retiro (Madrid). Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.*



Figura 3.8: Recorte de Fotografía de la Portada Sur de San Isidoro en el Retiro, 1920.

Fuente: Informe de degradación proporcionado por David Sanz Arauz. Profesor de la ETS. Arquitectura de la UPM.



Figura 3.9: Fotografía de la Portada Sur de San Isidoro en el Retiro, 2024.

Fuente: Elaboración propia.



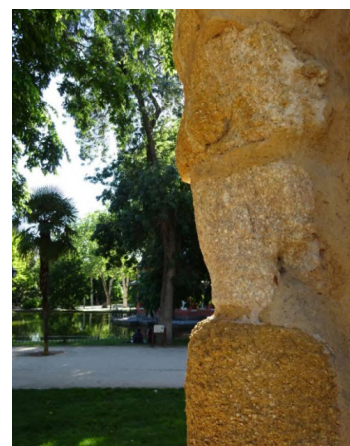
Si comparamos la primera fotografía de la que disponemos y una fotografía actual, podemos comprobar el gran cambio y deterioro de los detalles que se podían observar en la portada Sur con una diferencia de 100 años. (Figuras 3.8 y 3.9).

26. Sanz Arauz, D. (2016). Informe sobre la piedra de las ruinas de la ermita de San Isidoro en el Retiro (Madrid). Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.

Este deterioro se debe a la piedra caleño ²⁶, de la que se constituye la mayor parte de la Ermita. Esta piedra provenía de La Colilla, Ávila, y es el resultado de la alteración de granito en procesos geológicos. Se identifican tres variedades cromáticas: blanca, ocre y roja; con predominancia de la ocre. La variedad blanca es la que muestra más deterioro (Figura 3.10).

Figura 3.10: Fotografías de la piedra exterior actual en las Ruinas. (Piedra Caleño)

Fuente: Informe de degradación proporcionado por David Sanz Arauz. Profesor de la ETS. Arquitectura de la UPM.



Los análisis muestran que la piedra presenta alta porosidad, baja cohesión y vulnerabilidad al agua. Estas características aceleran su degradación y justifican la pérdida de muchos detalles en el último siglo. Las principales patologías que afectan a las Ruinas son: la pérdida del material, costras oscuras, presencia de hongos y líquenes, fisuración y crecimiento de vegetación en zonas húmedas.

La acción del agua, la formación de minerales secundarios como el yeso, la barita y el ópalo debido a la contaminación, la exposición a humedad, riego de jardines y acciones antrópicas son las principales causas de este deterioro.

Estos efectos de deterioro se ven multiplicados también por la proximidad a la circulación de vehículos motorizados, que contaminan el ambiente próximo a las ruinas (Figura 3.11). Además de numerosos actos de vandalismo que han sufrido las superficies de piedra al ser pintadas.

Figura 3.11: Foto panorámica de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro, en la que se ve la proximidad a la calle cercana por donde pasan los coches.

Fuente: *Elaboración propia.*



Tanto la nueva ubicación, como la poca distinción que tienen las ruinas dentro del parque, además de su deterioro extremo, hacen que el recuerdo de esta Ermita esté cayendo en el olvido, sin oportunidad de darse a conocer o permanecer en el tiempo.

En las múltiples propuestas para rehabilitación física de la Ermita, el proyecto se desestimó debido a los altos costes y la magnitud de elementos nuevos que habría que añadir a las ruinas. El planteamiento más lógico parece ser hacer una rehabilitación digital, que no invada los restos que quedan actualmente. De esta manera se minimizan los daños y se obtiene la reconstrucción sin tener contacto con las Ruinas.

3.3. Fotogrametría base de las Ruinas

La incorporación de una fotogrametría como base para esta reconstrucción es clave para la exactitud de las medidas en la reconstrucción (Figura 3.12).

Tomamos de referencia las ruinas que se encuentran actualmente en el Retiro y su escaneo mediante las capturas realizadas con una cámara Nikon D 5600 con objetivo de 20 mm, obteniendo de una forma fiable las medidas exactas de los elementos que sobreviven en la actualidad.

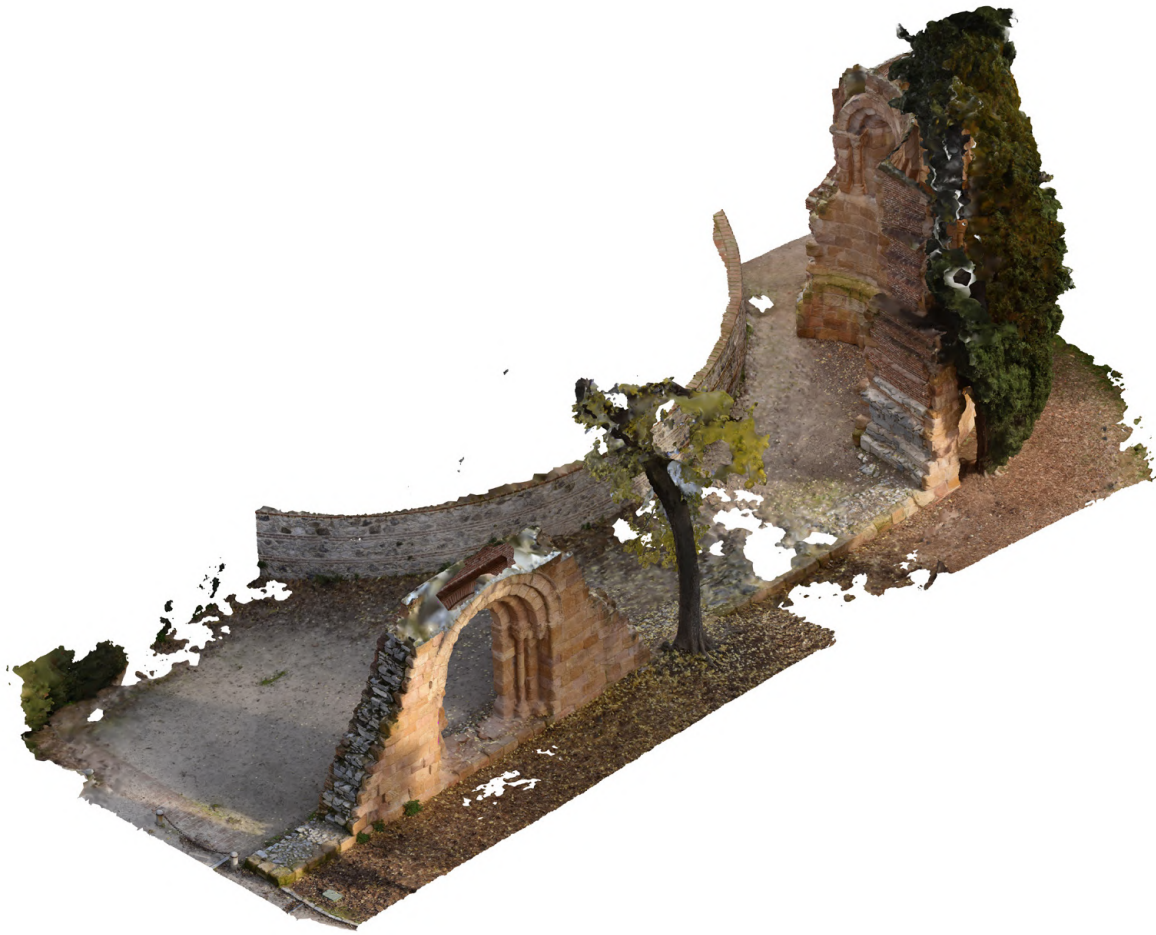


Figura 3.12: Modelo 3D fotogramétrico de las Ruinas de San Isidoro en su estado actual en el parque del Retiro, Madrid.

Fuente: Proporcionado por el departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ET-SAM.



4 Propuesta metodológica y aplicación de Realidad Aumentada

En la presente sección se muestra una propuesta metodológica que tiene por objeto la reconstrucción 3D de un edificio o enclave histórico relacionado y su posterior integración en Realidad Aumentada (Figura 4.2).

Página anterior:

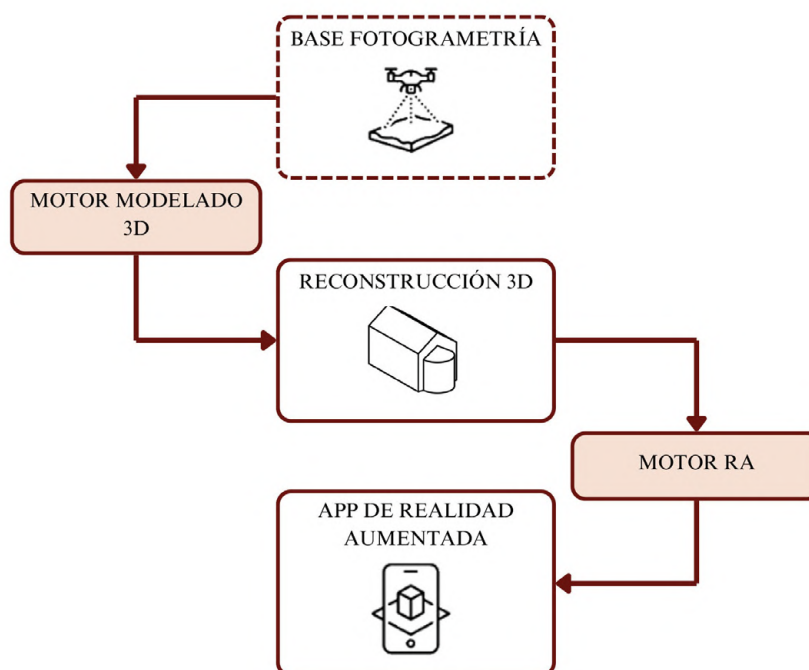
Figura 4.1: Fotografía de la Portada Sur de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro.

Fuente: Elaboración Propia

En las siguientes secciones se describirán cada una de las etapas:

Figura 4.2: Esquema de la metodología para Reconstrucción 3D y experiencia de Realidad Aumentada.

Fuente: Elaboración propia.



Partiendo de la base de la fotogrametría de la que disponemos de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro, mencionada en el capítulo anterior, el siguiente paso será crear la reconstrucción de la parte que se ha perdido a través de programas de modelado 3D para, más tarde, poder incorporar estos modelos resultantes a experiencias de Realidad Aumentada mediante motores específicos.

4.1. Elaboración del modelo 3D y planos

Caso anterior de reconstrucción

Existe una reconstrucción de la Ermita hecha en el 2013 en 3D ²⁷ (Figura 4.3). Esta reconstrucción no parte de una base fotogramétrica como se propone en esta nueva digitalización, por lo que la reconstrucción que se llevará a cabo pretende ser más fidedigna y encajarse perfectamente con los restos de la Ermita, los cuales nos darán información específica como el grosor de los muros, el tamaño del ábside, etcétera.

Encontramos múltiples reconstrucciones de iglesias románicas. Éstas incluso incorporan distintas etapas de su reconstrucción, además de la posibilidad que incluyen de poder añadir textos, audio, imágenes y video a las reconstrucciones.



27. Martín Sánchez, G. (2012). *La reconstrucción virtual de monumentos.: El ejemplo de la iglesia románica de San Pelayo en Ávila. Institución Gran Duque de Alba 1962-2012:: 50 años de cultura abulense, Vol. 2, 2012, ISBN 978-84-15038-38-2, págs. 97-106, 97-106.*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7235386>

Figura 4.3: Reconstrucción virtual de la iglesia de San Isidoro en su ubicación original junto a la puerta de la Malaventura en el lienzo sur de la muralla de Ávila, 2013.

En esta reconstrucción, el autor para el trabajo de texturizado, utilizó fotografías de los materiales actuales de las Ruinas o de elementos de la estructura que están presentes en otras construcciones, como es el caso de la cubierta de madera o las tejas.

Fuente: Martín Sánchez, G. (2012). *La reconstrucción virtual de monumentos.: El ejemplo de la iglesia románica de San Pelayo en Ávila. Institución Gran Duque de Alba 1962-2012:: 50 años de cultura abulense, Vol. 2, 2012, ISBN 978-84-15038-38-2, págs. 97-106, 97-106.*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7235386>

Fuentes gráficas y reglas constructivas

Para obtener una planta y alzado digitalizados que nos sirvan para la reconstrucción 3D, necesitamos comparar las plantas de las que disponemos y superponerlas en el escaneo que representan las ruinas tal y como están colocadas en su localización actual. Es necesario que las medidas de la planta y los grosores de los muros de las representaciones coincidan con los de las partes que se conservan hoy.

Los primeros datos gráficos de los que se disponen de esta ermita datan del 1570, obtenidos de una representación de una Vista de Ávila (Figura 4.4 y 4.5) que Anton Van den Wyngaerde ²⁸ realizó en ese año.

28. Anton Van den Wyngaerde, artista flamenco del siglo XVI (1525-1571).

Si observamos con detalle la zona en la que se encontraba San Isidoro en la vista que plasmó Wyngaerde (Figura 4.4) se identifica una espadaña en la cara oeste de la Ermita.

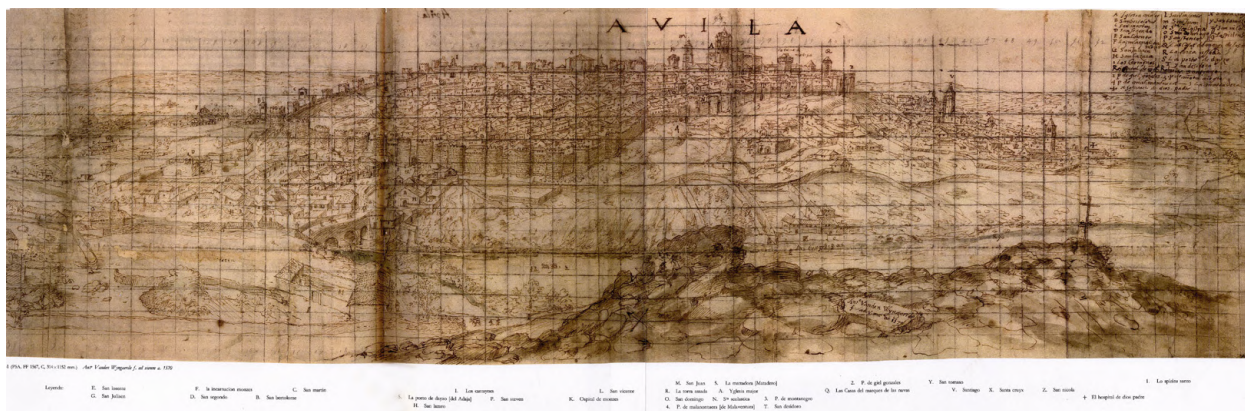


Figura 4.4: Vista de Ávila en 1570 por Anton Van den Wyngaerde.

Fuente: Kagan, R. L. (1986). *Ciudades del Siglo de Oro: Las vistas españolas de Anton Van den Wyngaerde*. Ed. El Viso.

Figura 4.5: Recorte y ampliación de la Ermita de San Isidoro en la vista de Ávila en 1570 por Anton Van den Wyngaerde.

Fuente: Kagan, R. L. (1986). *Ciudades del Siglo de Oro: Las vistas españolas de Anton Van den Wyngaerde*. Ed. El Viso.



Vemos que la única puerta que existe es la de ésta misma fachada y su forma se constituye por un único volumen.

Se sitúa a las afueras de la muralla como se había mencionado anteriormente, cerca de la Puerta de la Malaventura.

La representación más completa que existe de la Ermita de nuestro caso de estudio se encuentra en la obra de Monumentos Arquitectónicos de España²⁹. La lámina contiene una parte de la sección longitudinal, una planta y varios detalles decorativos de los capiteles, las rosetas y la portada oeste (Figura 4.6).

También existe un croquis de los restos en 1869, realizado por Repullés³⁰ (Figura 4.7). En él podemos ver una representación en volumen de lo que era la Ermita antes de que se llevara a cabo su traslado a Madrid, ya en estado ruinoso. En este momento vemos cómo ha desaparecido una parte de su ábside aunque se sigue manteniendo parte de la nave principal, la cual se sigue conservando actualmente, y su cara norte, desaparecida en la actualidad.

Observamos así que en 1570, cuando Wyngaerde visitó Ávila, San Isidoro tenía un aspecto distinto que en 1864 cuando se hizo la representación de sección y alzado para *Monumentos de España*.

Es de esta manera en la que vemos los efectos de una reforma que tuvo lugar entre 1656 y 1662. Antes de la reforma existía una espadaña que más adelante desapareció y, en el dibujo de Wyngaerde, observamos que aún no se habían incluido la sacristía lateral ni la sur.

29. Fernando, R. A. de B. de S. (s. f.). *Monumentos Arquitectónicos de España (1852-1881)*. Academia Colecciones. Recuperado 20 de diciembre de 2024, de <https://www.academiacolectaciones.com/estampas/monumentos-arquitectonicos-espana.php>

30. Enrique María Repullés y Vargas. Arquitecto y restaurador. Máximo exponente del del eclecticismo madrileño.

Página siguiente:

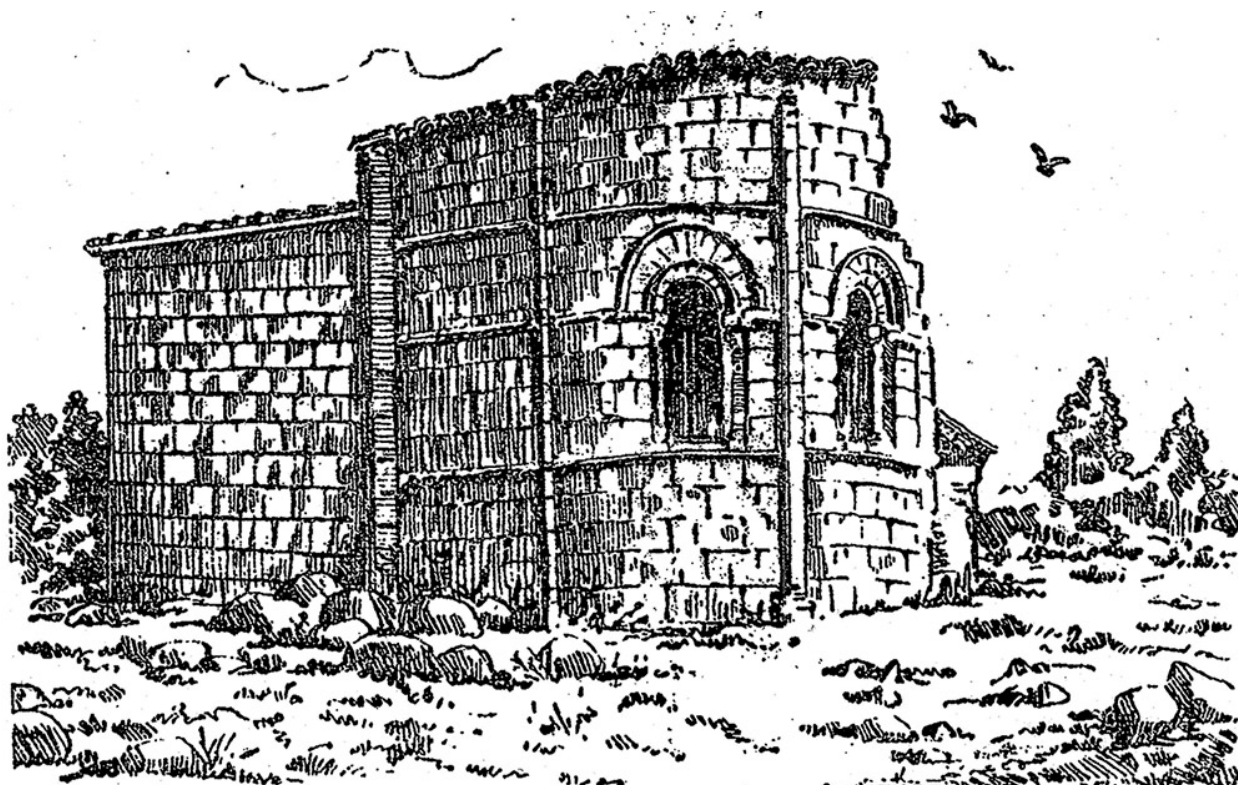
Figura 4.6: Lámina de planos de la Ermita de San Isidoro en Monumentos de España por Fernando, R. A. de B. de S.

Fuente:

<https://www.academiacolectaciones.com/estampas/monumentos-arquitectonicos-espana.php>

Figura 4.7: Croquis de la ermita de San Isidoro en Ávila en estado ruinoso, 1869. Por Enrique María Repullés y Vargas.

Fuente: https://cvc.cervantes.es/el_rinconete/anteriores/abril_16/27042016_01.html





Motores de modelado 3D

Hay diversos programas disponibles que permiten la elaboración de modelos en tres dimensiones. El uso de este tipo de programas es muy común en la elaboración de elementos arquitectónicos, por lo que proporcionan considerables ventajas a la hora de elaborar reconstrucciones de este tipo.

Para elegir el programa con el que llevar a cabo el modelo 3D, se elabora una tabla comparativa con parámetros de evaluación constantes para obtener una evaluación más objetiva (Tabla 4.1).

Tabla 4.1: Estudio comparativo de software 3D para modelado.

Fuente: Elaboración propia.

	Rhinceros	Blender	Maya	Sketchup
Precisión en Modelado	Muy alta	Moderada, permite detalles pero es más usado para modelado artístico y animación	Alta, buena para detalles complejos pero enfocado en animación	Moderada, menos preciso para detalles finos
Interfaz de Usuario	Intuitiva para usuarios técnicos	Compleja	Compleja	Muy intuitiva
Herramientas de Escultura	Limitadas, pero buenas para detalles arquitectónicos	Avanzadas, permite esculpir detalles complejos	Avanzadas, pero más orientadas a personajes	Muy limitadas, no está pensado para escultura
Renderizado	Integrado (V-Ray), alta calidad	Integrado (Eevee y Cycles), muy versátil	Integrado (Arnold), calidad profesional	Limitado, requiere plugins para renderizado avanzado
Herramientas de Texturizado	Buenas, admite plugins para texturizado avanzado	Avanzadas, permite texturizado PBR y UV Mapping completo	Muy avanzadas, pensadas para animación y videojuegos	Básicas, texturizado sencillo, requiere plugins para más detalles
Importación y Exportación	Compatible con múltiples formatos CAD y de modelado	Compatible con muchos formatos 3D	Compatible con formatos estándar de animación y videojuegos	Compatible con formatos básicos, limitado en opciones avanzadas
Soporte para Modelos Topográficos	Permite importar topografía en formatos CAD	Moderado, pero admite plugins para mejorar precisión	Moderado, es posible, pero con menor precisión que Rhinceros	Limitado, orientado a modelado arquitectónico sin precisión en topografía
Importación de Modelos Fotogramétricos	Permite modelos fotogramétricos con forma detallada y textura. Rendimiento medio	Permite modelos fotogramétricos con forma detallada y textura. Rendimiento muy alto	Permite modelos fotogramétricos con forma detallada y textura. Rendimiento alto	Permite parcialmente modelos fotogramétricos con forma detallada y textura. Rendimiento bajo
Formatos de Archivo Fotogramétrico o Soportados	OBJ, FBX y STL	OBJ, FBX y glTF	FBX y OBJ	OBJ

Según los artículos consultados que describen los procesos de modelado de reconstrucciones en 3D de elementos arquitectónicos, los más usados suelen ser Maya y Blender. Para este caso se usará Rhinceros por preferencia personal y un manejo más cómodo, además de su facilidad para elaborar detalles de arquitectura. Se reservará también Blender para el detalle de texturizado.

Para ir definiendo los diferentes elementos constructivos de la Ermita, consultaremos las representaciones ya mencionadas además de información en textos. Las partes que no queden determinadas de forma exacta mediante los documentos de los que disponemos, se modelarán a partir de las re-

glas constructivas del románico, teniendo en cuenta las características que se daban en el territorio abulense durante esa época.

Veremos que algunas ermitas cercanas mantienen relaciones formales con San Isidoro. Se tendrá en cuenta que, debido al estado fronterizo de la ciudad de Ávila, las ermitas y el estilo arquitectónico de la ciudad incorporan elementos característicos del estilo mudéjar, como serán la cubierta de madera y el uso del ladrillo, también por la proximidad de los materiales en la zona.

31. García Guinea, M. Á., González, J. M. P., & Robledo, J. L. G. (2002). *Ávila: Enciclopedia del Románico en Castilla y León*. Centro de Estudios del Románico. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=696203>

32. Martín Sánchez, G. (2012). *La reconstrucción virtual de monumentos: El ejemplo de la iglesia románica de San Pelayo en Ávila*. Institución Gran Duque de Alba 1962-2012: 50 años de cultura abulense, Vol. 2, 2012, ISBN 978-84-15038-38-2, págs. 97-106, 97-106. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7235386>

El estilo de San Isidoro pertenece a una corriente del románico abulense, denominada corriente Leonesa. Este estilo se da en otras ermitas e iglesias de fábrica más antigua, concretamente dentro de Ávila podemos encontrarlo en San Vicente, San Pedro y San Andrés ³¹.

Con la intención de provocar una sensación de veracidad al espectador, además de hacer la reconstrucción de la forma más certera posible, ésta deberá ser elaborada de forma que se perciba como verídica. Para ello se tendrán en cuenta, como ya se ha mencionado, las representaciones y las reglas constructivas del período ³².

La elaboración 3D tendrá de referencia la base fotogramétrica, la cual, al importarla en Rhinoceros, se ajusta automáticamente con las medidas reales de la fotogrametría, usando en todo momento esta base para los primeros bocetos de plantas alzados y secciones.

Se irán modelando los detalles constructivos, separándolos por capas para más tarde permitir hacer acciones por separado a cada una de las partes en el siguiente paso, la aplicación de Realidad Aumentada.

Reconstrucción geométrica: Las Ruinas de San Isidoro

Con la intención de aplicar este tipo de proyectos en otros emplazamientos y edificios históricos, se elaborará una metodología para ser implementada en todos ellos. Para validar la propuesta metodológica se aplicará en el caso de estudio de Las Ruinas de San Isidoro.

La reconstrucción de estas ruinas, como la de muchas otras, presenta un desafío considerable debido a la gran cantidad de elementos arquitectónicos que se han perdido con el paso del tiempo. Este esfuerzo se complica aún más por la notable antigüedad de la ermita y su avanzado estado de deterioro, factores que han dificultado la conservación de registros históricos detallados.

Por ello, las fuentes de información disponibles sobre el diseño y las características originales de la estructura son escasas, lo que limita significativamente las posibilidades de realizar una recreación precisa y fiel a su estado original. Aún así disponemos de algunas representaciones de su planta y sección (Figura 4.6), a la vez que algunas fotografías de detalles decorativos que se han perdido en pocos años, y que ahora no podemos apreciar.

-Planta y Sección-

En las construcciones abulenses del período románico encontramos proporcionalidad entre las formas de las plantas y, en ocasiones, los grosores de los muros.

Las proporciones se basan en el Rectángulo Áureo, obtenido de la siguiente manera (Figura 4.8):

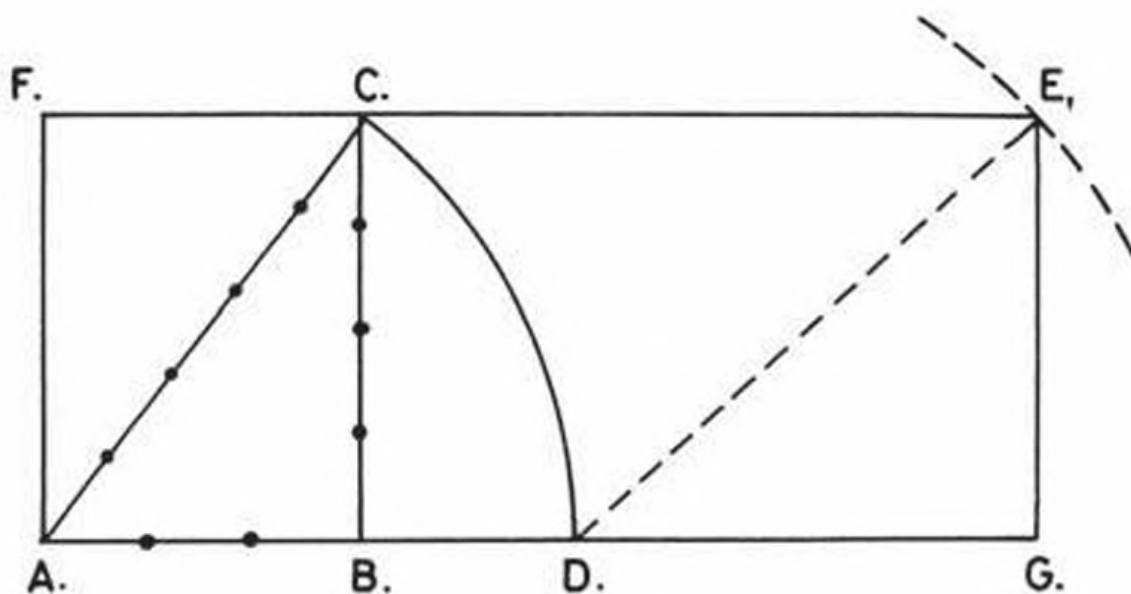


Figura 4.8: Formación del Rectángulo Áureo.

Fuente: Benedicto Salas, R. (2015). *La construcción de la arquitectura románica. Institución «Fernando el Católico» Excma. Diputación de Zaragoza*, p.27-28.

«Configurando con la cuerda de doce nudos un triángulo rectángulo ABC, de modo que sus catetos tengan 3 y 4 partes, la hipotenusa tendrá 5. Señalar los puntos A,B y C en el terreno. Abatir C desde A sobre la prolongación de AB en D. Trazar el rectángulo AFC con la cuerda, de forma que su hipotenusa coincida con la del triángulo anteriormente trazado. Prolongar la línea FC, que es paralela a la AB. Con centro en D y radio de seis nudos de la cuerda, cortar en E la prolongación de FC. El rectángulo BCEG, es un rectángulo áureo»³³.

33. Benedicto Salas, R. (2015). *La construcción de la arquitectura románica. Institución «Fernando el Católico» Excma. Diputación de Zaragoza*, p.27-28.

34. Vila da Vila, M. M. (1999). *Ávila románica: Talleres escultóricos de filiación hispano-languedociana*. Institución Gran Duque de Alba de la Excm. Diputación Provincial de Ávila.

Se trata del único templo con esta tipología formal, aunque la de San Esteban, ubicada también en Ávila, se le acerca bastante. Su forma destaca por una cabecera con un profundo ábside y cuerpo con escasas dimensiones en proporción ³⁴. Podríamos dividir sus espacios interiores en la nave principal, el presbiterio y el ábside (Figura 4.9).

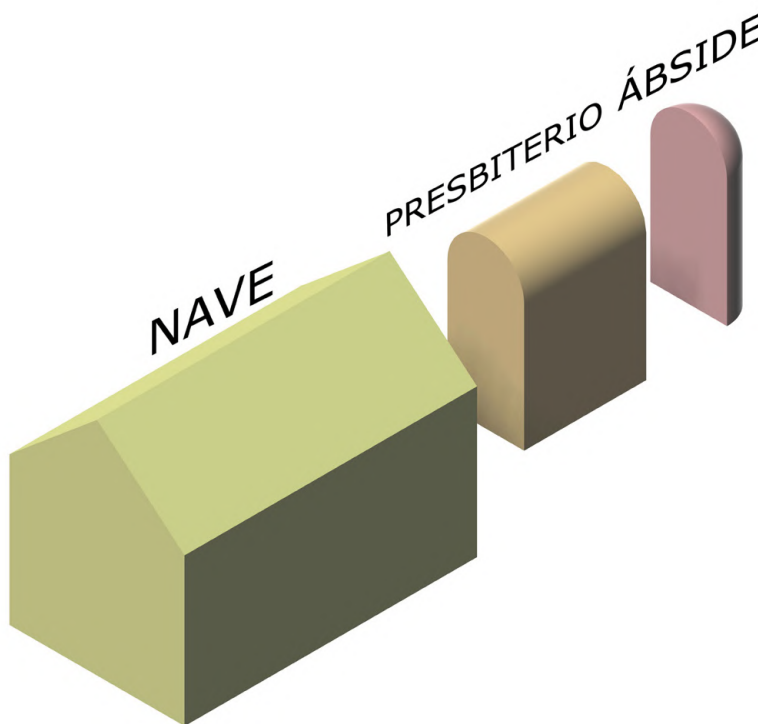


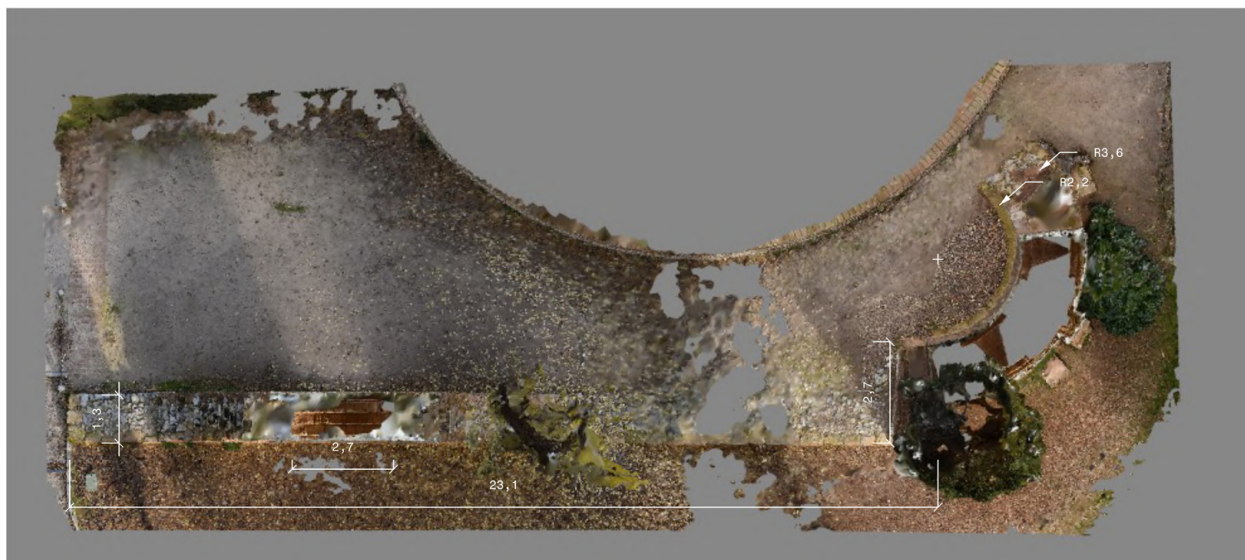
Figura 4.9 : Esquema de espacios interiores de la Ermita de San Isidoro.

Fuente: *Elaboración propia*.

Figura 4.10: Captura del modelo 3D fotogramétrico de las Ruinas de San Isidoro en su estado actual en el parque del Retiro, Madrid, visto en planta con medidas.

Fuente: *Elaboración propia con base fotogramétrica proporcionado por el departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ETSAM.*

Para obtener las proporciones y medidas reales comenzamos midiendo la planta obtenida de la fotogrametría (Figura 4.10). A partir de ésta podemos sacar un esquema de formas en las que obtenemos esta proporcionalidad característica de la corriente románica (Figura 4.11).



La planta incluye la sacristía, que probablemente se añadió durante las reformas del siglo XVII. Aunque esta sacristía no pertenece al diseño original, también sigue las proporciones del rectángulo áureo. (Figura 4.12)

Por medio de este análisis, se confirma que las proporciones geométricas no sólo fueron fundamentales en el diseño inicial, sino que también guiaron las modificaciones posteriores.

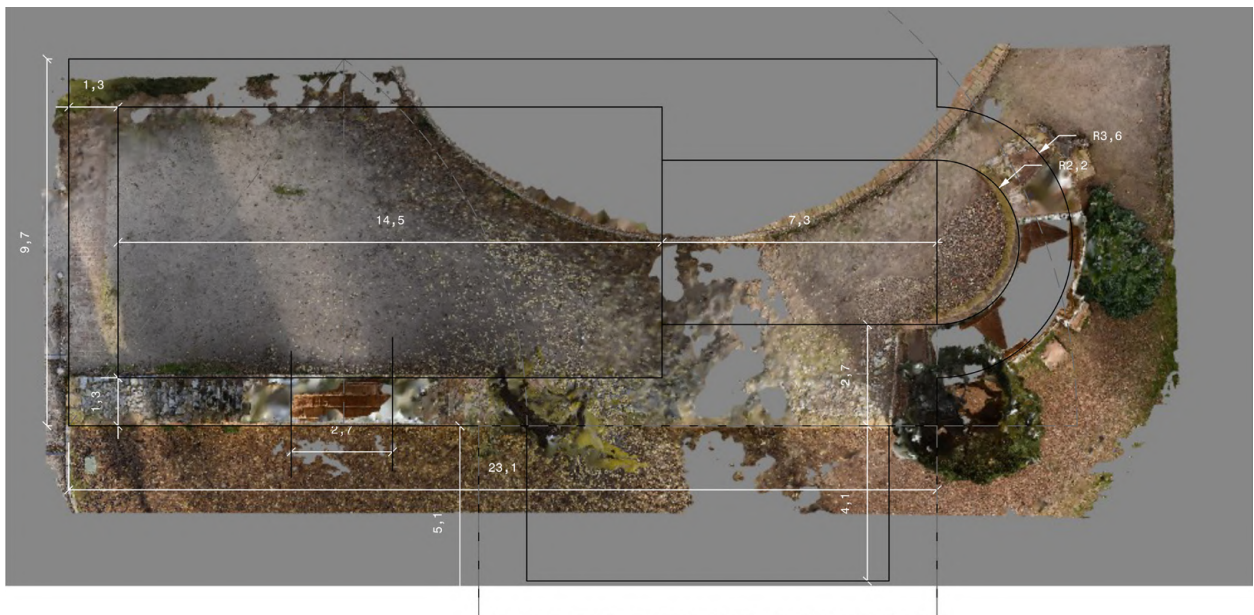
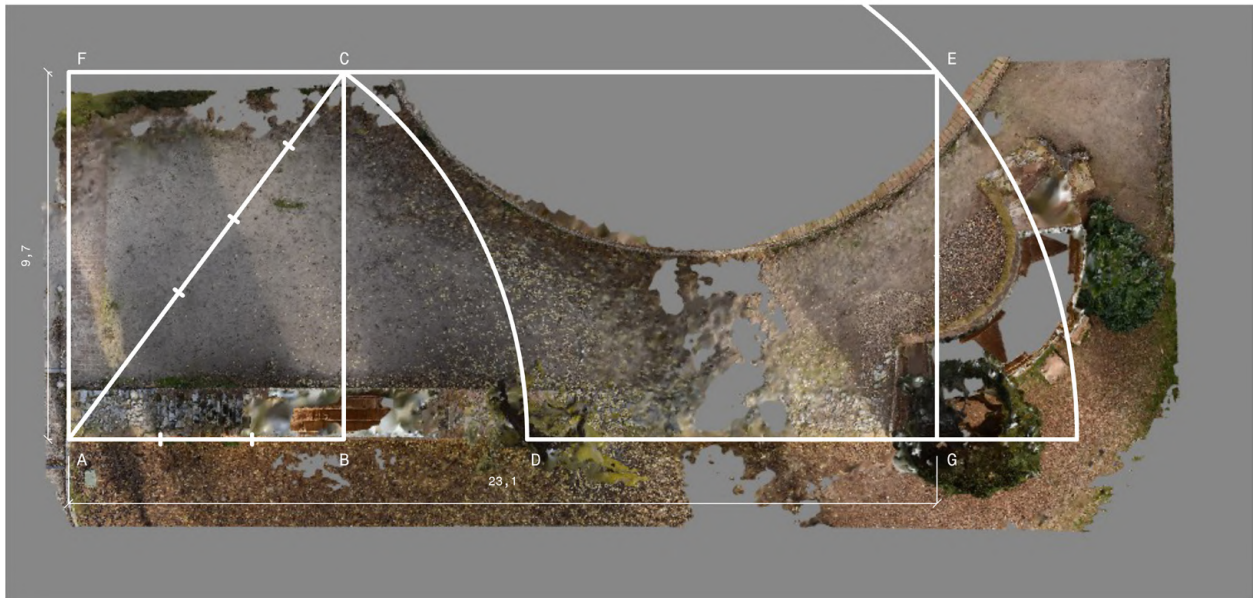
El levantamiento en altura se obtiene de las medidas de la sección de Monumentos de España ³⁵ (Figura 4.5).

Figura 4.11: Captura del modelo 3D fotogramétrico de las Ruinas de San Isidoro en su estado actual en el parque del Retiro, Madrid, visto en planta con proporciones.

Fuente: Elaboración propia con base fotogramétrica proporcionado por el departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ETSAM.

Figura 4.12: Planta reconstruida de la Ermita de San Isidoro dibujada con medidas.

Fuente: Elaboración propia con base fotogramétrica proporcionado por el departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ETSAM.



35. Fernando, R. A. de B. de S. (s. f.). *Monumentos Arquitectónicos de España (1852-1881)*. Academia Colecciones. Recuperado 20 de diciembre de 2024, de <https://www.academiacolectaciones.com/estampas/monumentos-arquitectonicos-espana.php>

La cabecera se encontraba elevada respecto a la nave y se accedía al presbiterio mediante unas escaleras. La zona del ábside se cubría con una bóveda de cañón y otra de horno. Los arcos fajones que la reforzaban se apoyan en semicolumnas que acaban en plintos. En las paredes entre ellos se encontraban arcos ciegos. Las ventanas del ábside contaban con columnillas apoyadas en basas y con capiteles. Este mismo esquema se refleja a su vez en el exterior del ábside. Las semicolumnas que se situaban entre las ventanas se colocan sobre un plinto elevado considerablemente, y los capiteles de éstas doblan el tamaño de los de las ventanas.

Se obtienen así los planos finales tanto de la planta como de las secciones longitudinal y transversal (ANEXO I. Planimetría).

-Cimientos y Construcción de los muros-

La constitución por tres capas característica del románico se da también en esta ermita. Los muros, característicos de este período, se componían de varias capas y su construcción seguía un proceso cuidadoso para garantizar su solidez y funcionalidad.

La estructura seguía el siguiente esquema:

Capa exterior - Núcleo o relleno - Capa interior

La capa exterior o paramento se constituía de sillares de piedra labrados de forma más refinada, ya que su función era estética además de estructural. De esta forma se obtenía una superficie exterior uniforme y resistente.

El núcleo interior solía constituirse de fragmentos de piedra o ladrillos. Su función era rellenar el espacio entre los paramentos y repartir las cargas uniformemente.

La capa interior es similar a la exterior, pero en algunos casos se utilizan piedras menos elaboradas. Normalmente están menos trabajadas que las del exterior.

En el caso de San Isidoro, según los restos de los que disponemos, encontramos diferentes constituciones materiales en los muros. En la parte del ábside, tanto la capa exterior como la interior están compuestas por sillería, mientras que el núcleo comienza siendo de fragmentos de piedras irregulares y, conforme avanza en altura se constituye de ladrillo. En la parte de la portada observamos un esquema distinto. En esta ocasión la capa exterior se mantiene de sillería, pero la interior está formada de ladrillo, y el núcleo de piedras irregulares.



El uso del ladrillo es característica mudéjar, por la ubicación en Ávila y la proximidad del material, aunque no era muy corriente usarlo durante este período, por lo que su presencia en la ermita de San Isidoro resulta ser una excepción entre las construcciones de este período (Figuras 4.13 y 4.14).

En el románico eran frecuentes los cimientos escalonados, aunque éstos eran usados en construcciones más grandes. Es más probable, ya que era más común, que los cimientos fueran lineales alojados en zanjas abiertas en el terreno, que se adaptaban a la planta del edificio y recogían los empujes y pesos transmitidos por torres, muros, columnas, pilares, contrafuertes y otros estribos de la estructura del edificio (Figura 4.15 y 4.16).

Figura 4.13: Fotografía de las capas del muro de la Portada Sur de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro, 2024.

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 4.14: Fotografía de las capas del muro del muro del ábside de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro, 2024.

Fuente: *Elaboración propia*



Figura 4.15: Fotografía de las capas de los muros y los cimientos de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro, 2024.

Fuente: *Elaboración propia*

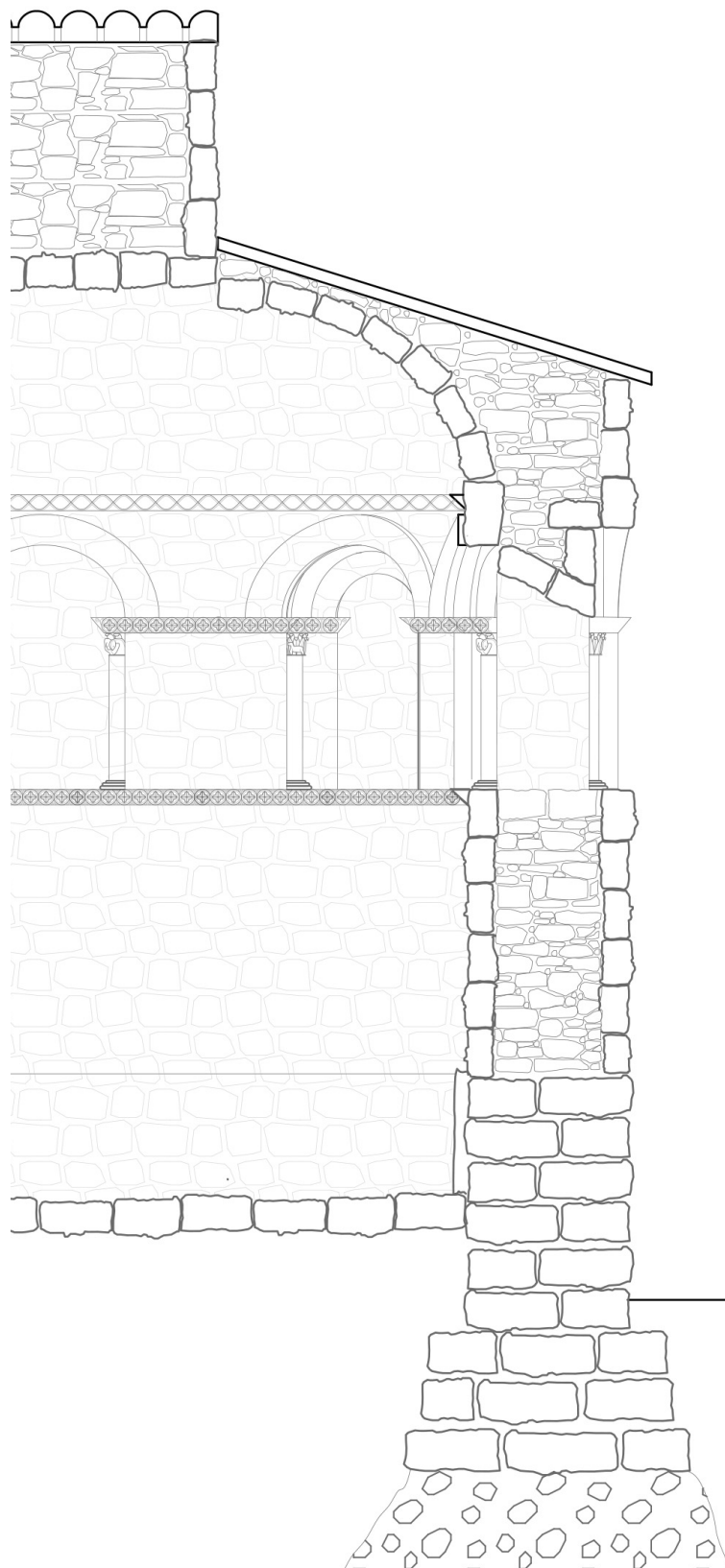


Figura 4.16: Sección de los muros y cimientos del ábside en la ermita de San Isidoro de Ávila.

Fuente: *Elaboración propia*

-Armazón de la cubierta-

La estructura consistía en un sistema de tirantes de madera diseñados para proporcionar soporte y estabilidad a dos laterales inclinados, cuya inclinación en el románico variaba entre 30° y 45° , dependiendo de las necesidades estructurales. Estos laterales inclinados estaban destinados a formar una base resistente, capaz de soportar las cargas de la cubierta de teja y mantener la integridad estructural a lo largo del tiempo.

Por lo general, las armaduras se disponían de manera regular, separadas a distancias que oscilaban entre 0,6 y 0,9 metros. Este espaciamiento uniforme permitía distribuir las cargas de manera eficiente. Las armaduras se colocaban de forma paralela, creando un entramado que servía como soporte directo para el tablazón ³⁶ (Figura 4.20).

Los ensamblajes se hacían tradicionalmente con encajes, sin el uso de clavos metálicos. En su intersección con los muros, el armazón quedaba encajado en huecos dentro de la piedra del muro (Figura 4.17).

Para modelar la estructura, tomando de referencia las medidas de los planos de Monumentos de España ³⁷, se separarán las armaduras a una medida de 0,7 metros. La cubierta de madera de la ermita de San Isidoro mantiene comparaciones formales con la de San Andrés (Figura 4.18), por lo que se tomará de referencia al elaborar el modelo (Figura 4.19).

36. Benedicto Salas, R. (2015). La construcción de la arquitectura románica. Institución «Fernando el Católico,» Exema. Diputación de Zaragoza.

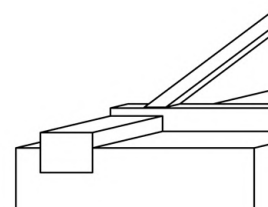


Figura 4.17: Unión del armazón de la cubierta de madera con el muro en la Ermita de San Isidoro.

Fuente: Elaboración propia.



37. Lámina de planos de la Ermita de San Isidoro en Monumentos de España por Fernando, R. A. de B. de S (Figura 4.6).

Fuente:

<https://www.academiacolectio-nes.com/estampas/monumentos-arquitectonicos-espana.php>

Figura 4.18: Cubierta de madera de San Andrés de Ávila.

Fuente: García Guinea, M. Á., González, J. M. P., & Robledo, J. L. G. (2002). Ávila: Enciclopedia del Románico en Castilla y León. Centro de Estudios del Románico. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=696203>

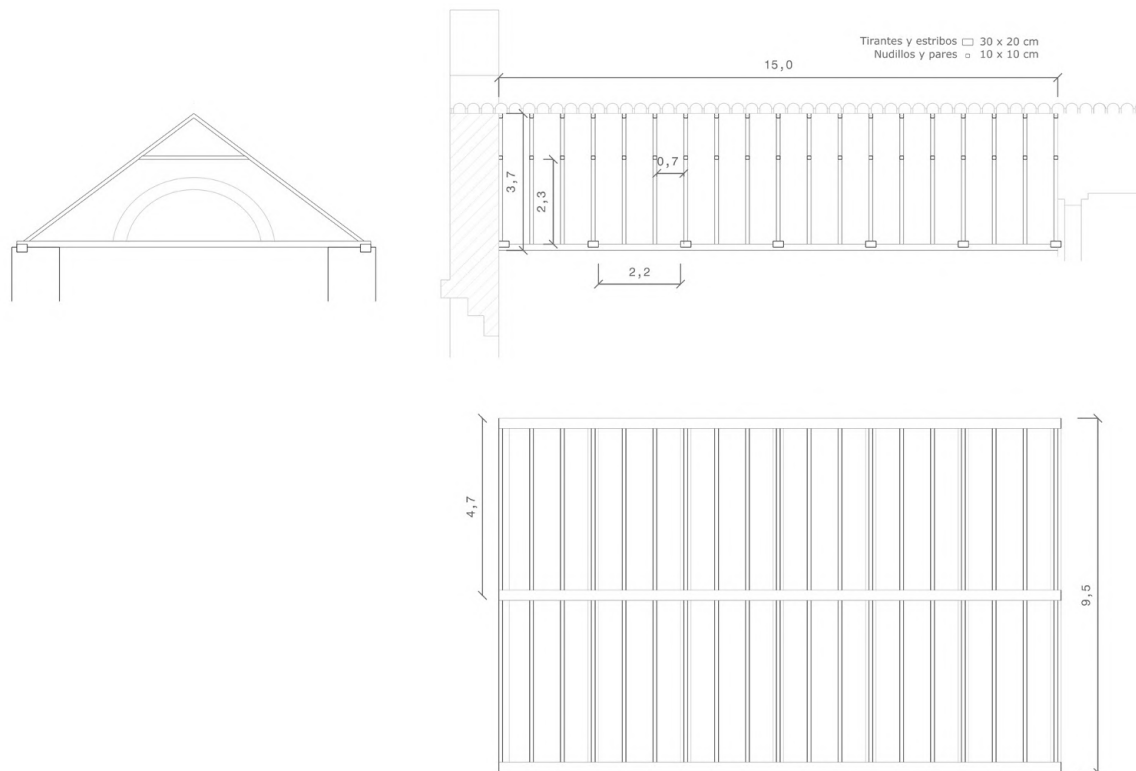


Figura 4.19: Planimetría detallada de la cubierta de madera de San Isidoro de Ávila con medidas.

Fuente: *Elaboración propia.*

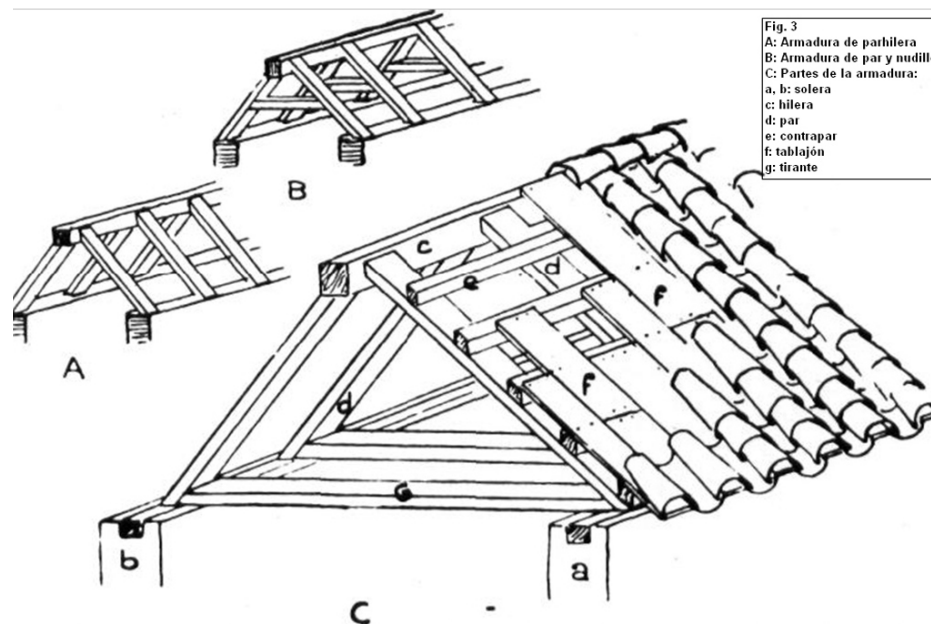


Figura 4.20: Esquema de la armadura de parhilara y cubierta de teja.

Fuente: <https://documentomudejares.blogspot.com/2012/03/armadura-de-par-e-hilera-y-de-nudillo.html>

-Decoraciones-

Las impostas del interior de la edificación están decoradas con elaborados motivos de lacería, propios del estilo románico (Figura 4.21). En los capiteles se observan representaciones escultóricas que incluyen cuadrúpedos, leones, aves y hojas, reflejando tanto la inspiración en la naturaleza como el carácter alegórico común en el arte románico (Figura 4.22).

En el exterior, las impostas también presentan elementos decorativos detallados. Se destacan tres impostas ornamentadas: una superior y dos inferiores. La imposta superior incorpora rosetones que aportan una textura ornamental que se repite (Figura 4.23). Los capiteles exteriores replican en gran medida los motivos del interior, con imágenes de animales, hojas y aves (Figura 4.22).

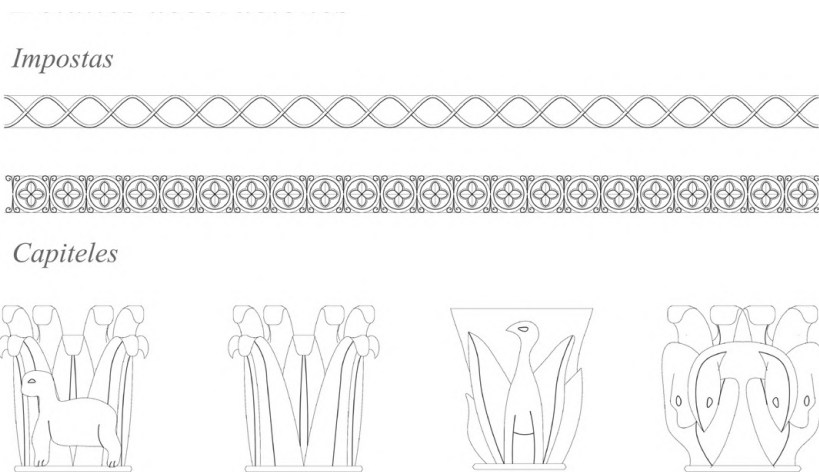


Figura 4.21: Detalles de motivos decorativos en la Ermita de San Isidoro. Impostas de lacería y rosetones.

Fuente: Elaboración propia.

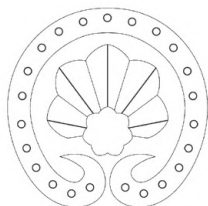
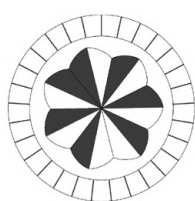
Figura 4.22: Detalles de motivos decorativos en la Ermita de San Isidoro. Capiteles.

Fuente: Elaboración propia.

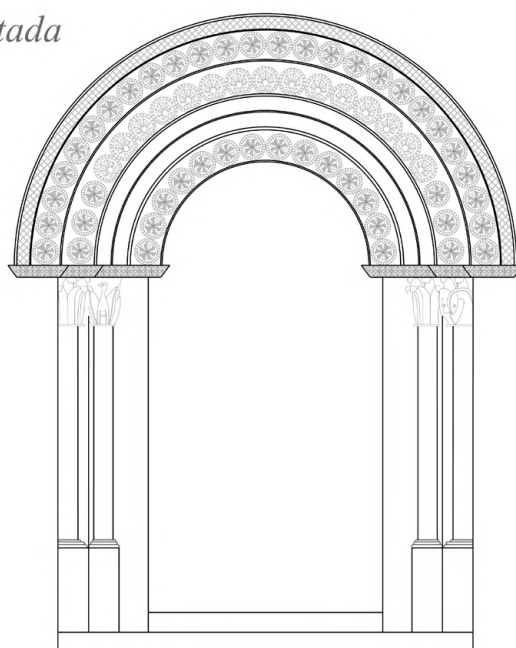
Figura 4.23: Detalles de la Portada Sur en la Ermita de San Isidoro.

Fuente: Elaboración propia.

Rosetas



Portada



38. Vila da Vila, M. M. (1999). *Ávila románica: Talleres escultóricos de filiación hispano-languedociana. Institución Gran Duque de Alba de la Excm. Diputación Provincial de Ávila.*

Ya que muchos de los capiteles y motivos decorativos de San Isidoro están también presentes en San Andrés ³⁸, podemos tener una imagen de cómo serían los capiteles (Figura 4.24) y los motivos de las impostas. Los motivos de las impostas aún se pueden ver en los restos que quedan de la Ermita en el Retiro (Figura 4.25).

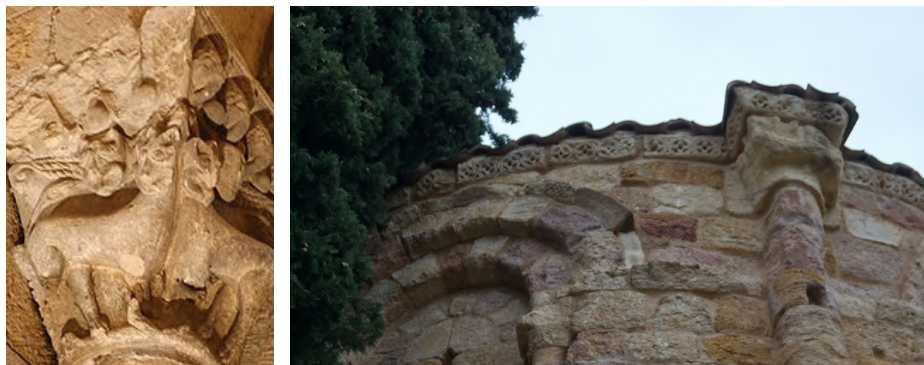
Figura 4.24: Fotografía de un capitel con cuadrúpedos en San Andrés de Ávila.

Fuente:

<https://arteguias.com/iglesia/sanandresavila.html>

Figura 4.25: Fotografía de imposta de rosetas en las Ruinas de San Isidoro en el Retiro

Fuente: *Elaboración propia.*



La portada sur, que es la única que se conserva actualmente, aunque muestra un notable deterioro, tiene una decoración que resalta por su composición escultórica, que podría ser como la de San Andrés (Figura 4.26). Una imposta adornada con rosetas y flores de cuatro pétalos se sitúa como base para los arcos de medio punto que se elevan por encima. Estos arcos están decorados con motivos florales que refuerzan el lenguaje naturalista de la ornamentación. Los capiteles de esta portada destacan por sus representaciones de hojas de acanto, animales y grifos que voltean la cabeza, similares a los de San Andrés (Figura 4.27).

Estos elementos decorativos no sólo realzan la riqueza estética de la construcción, sino que también encapsulan simbolismos religiosos y naturales, típicos del arte románico.

Figura 4.26: Portada sur de San Andrés.

Fuente: García Guinea, M. Á., González, J. M. P., & Robledo, J. L. G. (2002). *Ávila: Enciclopedia del Románico en Castilla y León. Centro de Estudios del Románico.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=696203>

Figura 4.27: Capiteles de la portada occidental de San Andrés.

Fuente: García Guinea, M. Á., González, J. M. P., & Robledo, J. L. G. (2002). *Ávila: Enciclopedia del Románico en Castilla y León. Centro de Estudios del Románico.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=696203>

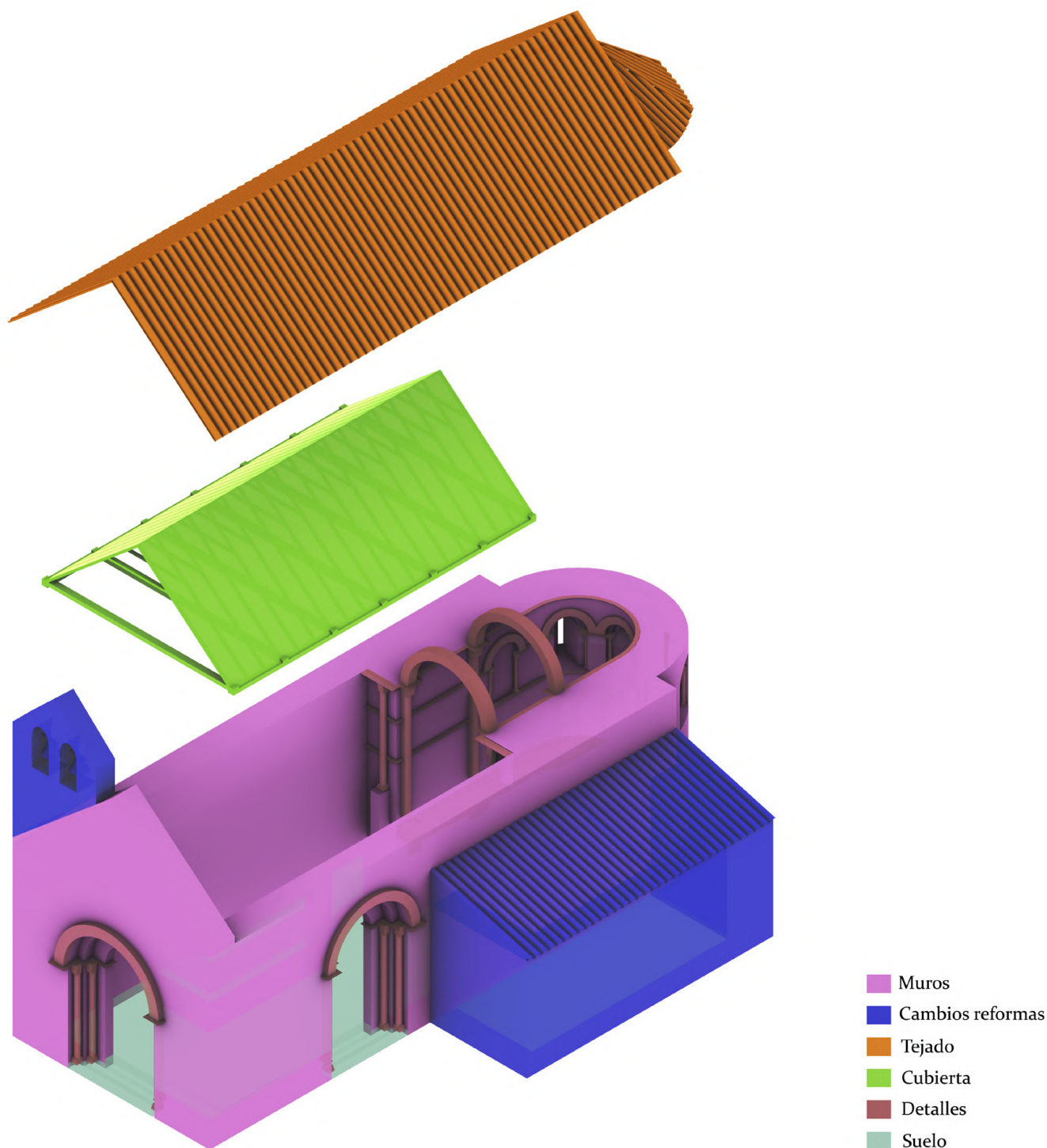


Con estos detalles se elaboran los planos detallados a escala 1:75 de alzados y sección (ANEXO I. Secciones de detalle)

De esta forma obtenemos el modelo 3D en Rhinoceros, separado por capas (Figura 4.28). Esta estructura facilitará la división de diferentes grupos constructivos.

Figura 4.28: Modelo de la reconstrucción en Rhinoceros en la que el rosa marca los muros, azul los elementos que varían con la reforma, en verde el armazón de la estructura de madera de la cubierta, el naranja la cubierta de tejas y en rojo los detalles.

Fuente: Elaboración propia.



Ajuste de texturas en Blender

Para determinar las texturas deseadas se ha usado Blender. Se asignan texturas a cada parte del modelo por separado:

- El muro de piedra.
- La piedra del suelo
- Las tejas de la cubierta
- La madera de la estructura de la cubierta
- El metal para las campanas de la espadaña.

Para ello se editarán los parámetros dentro del programa.

Se usarán materiales de texturas PBR (Physically Based Rendering). PBR es una técnica de renderizado 3D que interpreta los colores y las texturas de los materiales aplicados en la escena de la misma manera que en la realidad según las leyes físicas ³⁹.

Con la intención de obtener estos detalles se tendrán en cuenta diferentes aspectos. Uno de los más importantes para obtener este efecto realista es el mapa de normales y desplazamiento. Esta característica servirá para tener en cuenta el relieve que tiene la textura, y se reflejará en el material a través de la conexión de nodos de normales.

Cuanta más diferencia haya entre los colores RGB del mapa de normales (Figura 4.29), más diferencia de altura tendrá cada uno de sus puntos. El color de cada pixel corresponde a un vector que determina su altura. Estas imágenes JPG le servirán al programa para interpretar los colores como vectores y asignar las alturas de cada uno de los puntos.

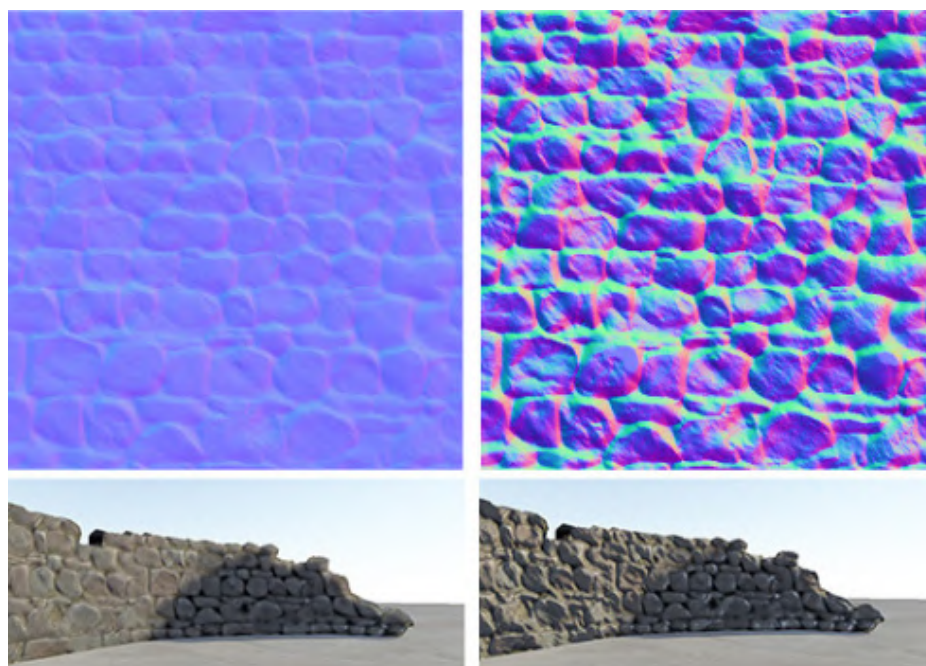


Figura 4.29: Comparación de dos mapas de normales. Izquierda: menos diferencia de colores RGB, menos relieve. Derecha: más diferencia de colores RGB, más relieve.

Fuente: Technologies, U. (s. f.). *Normal map (Bump mapping)*—Unity Manual. Recuperado 5 de enero de 2025, de

<https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/StandardShader-MaterialParameterNormalMap.html>

Tras establecer un mapa UV que define cómo se proyectará la textura sobre su superficie, el esquema principal para establecer un material en Blender constará de las imágenes de color de base y mapa de normales, que serán los nodos de la textura base, a la que se le pueden añadir otro tipo de aspectos. Estos nodos se conectarán al núcleo del material, que será un nodo de Principled BSDF, el cual determinará cómo se ve finalmente el material.

Por último quedaría unirlo al nodo de salida del material (Material Output). De esta manera quedaría definido cómo se aplica el material a la superficie del objeto en la escena (Figura 4.30).

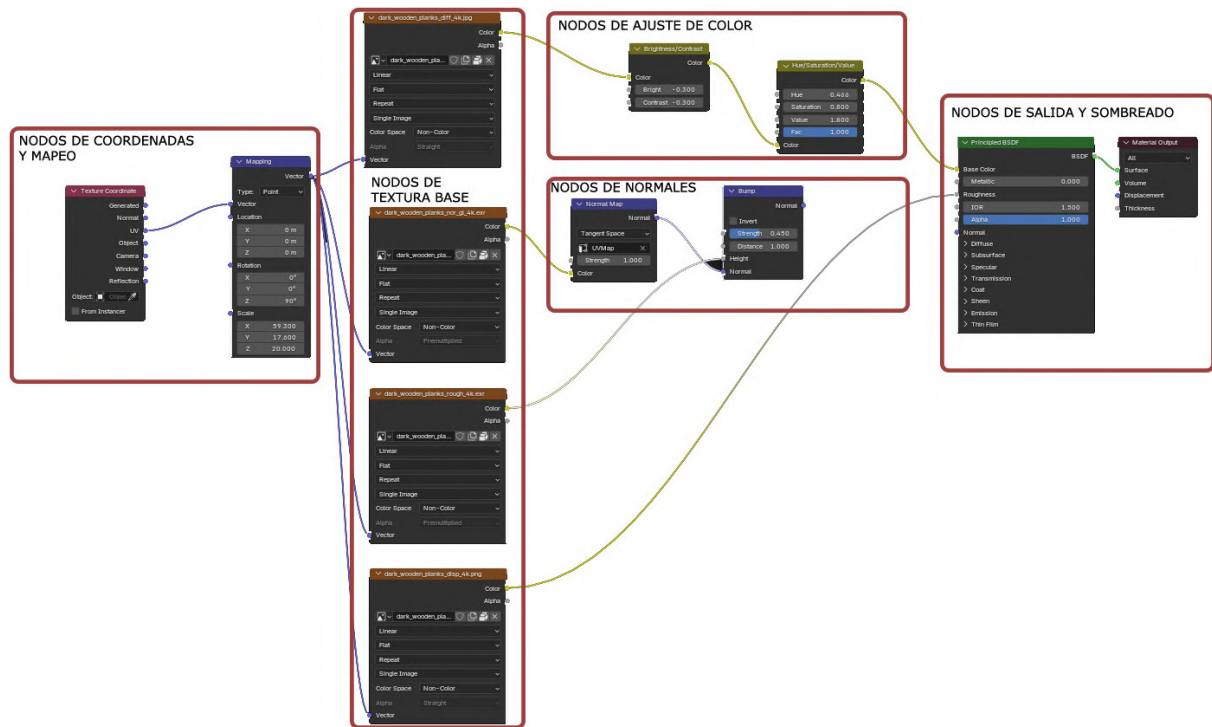


Figura 4.30: Nodos y uniones que configuran el material y su comportamiento en Blender.

Fuente: Elaboración propia

Para obtener las texturas que hemos editado en un formato que sea detectado en otros programas, debemos cocinar (o *bake* en inglés) las texturas. Para que la textura se adapte de la manera concreta que necesitamos en cada una de las caras del modelo habrá que editar las necesarias para ajustar detalles (Figuras 4.33 y 4.34).

Por ejemplo, en los arcos, las piedras se colocan de manera ortogonal, cuando en realidad estarían configuradas conformando un arco. Esto se puede editar desde el mapa UV (Figuras 4.31 y 4.32).

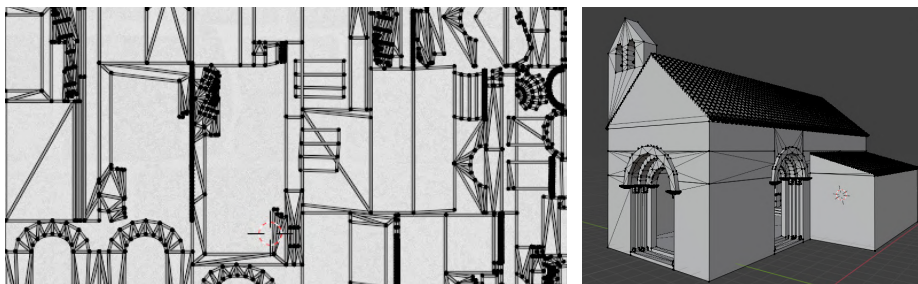


Figura 4.31: Fragmento del mapa UV del modelo de San Isidoro en el que se ven las caras del modelo en Blender.

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Modelo de San Isidoro en el que se ven las caras del modelo que corresponden al mapa de UV en Blender.

Fuente: Elaboración propia

Figuras 4.33 y 4.34: Comparación de la Portada Sur de San Isidoro en Blender antes y después de modificar el mapa UV.



Fuente: Elaboración propia

El esquema final de los nodos quedaría del siguiente modo (Figura 4.35):

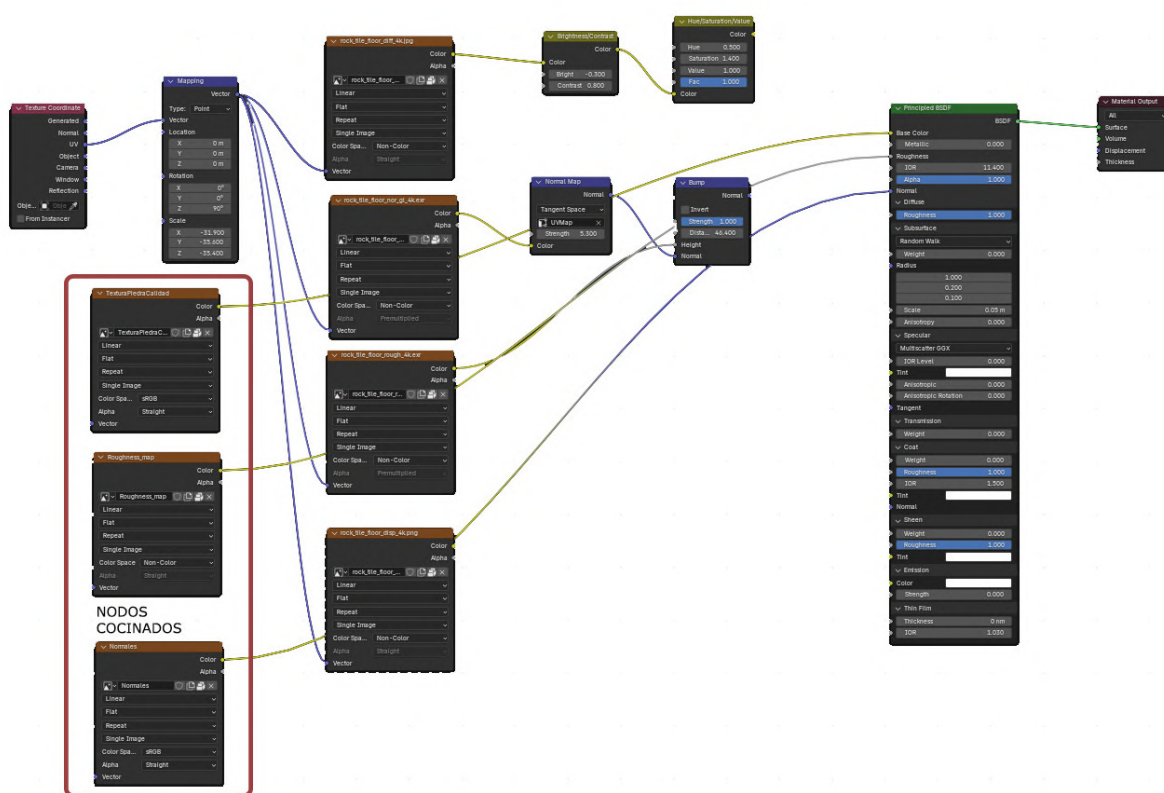


Figura 4.35: Nodos y uniones que configuran el material y su comportamiento en Blender tras ser cocinados.

Fuente: Elaboración propia

Tras este proceso, se debe señalar a Blender que agrupe las texturas y el modelo en el mismo archivo GLB. De esta manera ya estaría en un formato apto para su importación en el programa para hacer la experiencia de RA.

4.2. Experiencia de Realidad Aumentada.

Motores de creación de experiencias de Realidad Aumentada

Para esta fase se ha elaborado, al igual que en la fase de modelado 3D, una tabla comparativa de las plataformas que existen. En esta ocasión, centrada en las que permiten la creación de entornos en Realidad Aumentada. (Tabla 4.2)

Aspectos	Unity	Unreal	Adobe Aero	MyWebAR
Nivel de programación visual	Avanzada	Avanzada	Básica	Muy básica
Punto de anclaje	Elección	Elección	Geolocalización	QR/Manual
Plataformas	Elección	Elección	iOS y pocas versiones en Samsung	iOS/Android
Descarga de app requerida	✓	✓	✓	x
Acciones interactivas	✓	✓	✓	✓
Requerimientos	Windows, Linux, macOS. PC gama media-alta	Windows, Linux, macOS. PC gama media-alta	Windows, Linux, macOS	Windows, Linux, macOS, iOS, Android. PC, tablet, móvil.
Editor	Programa	Programa	Programa	En línea
Formatos de archivo soportados	FBX, OBJ, 3DS, STL, DAE (Collada), entre otros	FBX, OBJ, Alembic, entre otros	GLB, OBJ, Collada (DAE), 3DS, FBX (Preparado según directrices)	GLB, GLTF, FBX, OBJ
Tamaño máximo de archivo soportado	Sin límite	Sin límite	50 MB	10MB

A pesar de que Unity y Unreal Engine sean los más usados y permitan una mayor libertad a la hora de programar, otras plataformas como Adobe Aero y MyWebAR proporcionan una forma mucho más intuitiva de programar la experiencia, ya que no necesitamos un gran nivel de tecnicismo, se usará la plataforma de Adobe Aero.

De la tabla sacamos en conclusión que Adobe Aero es la plataforma que mejor se adapta a las necesidades del proyecto. Principalmente destaca que pueda admitir archivos pesados, también que permita hacer el anclaje por geolocalización y la compatibilidad con los archivos desde Blender.

Tabla 4.2: Estudio comparativo de software para creación de experiencias de RA.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de información a mostrar según el usuario

Para que la experiencia se ajuste tanto a un público turista como a personas más especializadas cuyos intereses se centran más en la conservación de las Ruinas, se llevará a cabo una investigación con el fin de proporcionar una aplicación final que se adapte a estas necesidades.

Podemos categorizar estas necesidades teniendo en cuenta el tiempo de información que requiere cada perfil de visitante a las Ruinas (Figura 4.36).

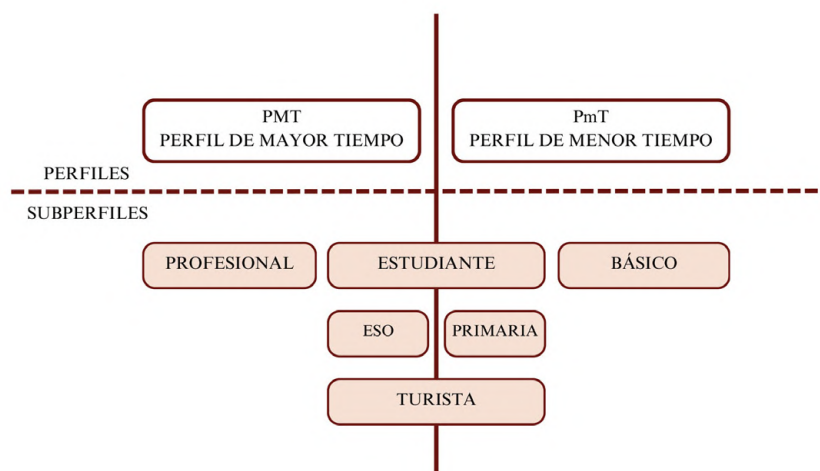


Figura 4.36: Esquema de categorización de perfiles y sub-perfiles.

Fuente: Elaboración propia, con base de: Camiña, J. (2023). Nuevas oportunidades digitales en el patrimonio enterrado [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Complutense de Madrid]

40. Camiña, J. (2023). Nuevas oportunidades digitales en el patrimonio enterrado [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Complutense de Madrid]

Teniendo en cuenta que la cantidad de información que se requiere no tiene que ver con el tiempo que se necesite para manejar la información se considerarán dos categorías de visitante ⁴⁰.

- PMT

El primero será el visitante de un perfil de mayor tiempo (PMT), profesionales que buscan información técnica o estudiantes/turistas interesados que quieran ir más allá de la información básica.

- PmT

El segundo será de un perfil de menor tiempo (PmT), que serán estudiantes menos avanzados, o el turista medio, que requerirá información básica.

El análisis y la división en un mayor número de subcategorías no constituye el objeto de estudio principal de este TFG. Por este motivo, se ha optado por simplificar la clasificación en estas dos categorías generales. Esta decisión busca facilitar el análisis y la interpretación de los resultados, asegurando que las categorías sean lo suficientemente flexibles como para ajustarse a las características y necesidades de cualquier perfil.

Fichas complementarias

La forma de mostrar la información dentro de la aplicación de Realidad Aumentada será en forma de fichas. Para ello se han realizado 10 fichas (ANEXO II) en las que se han recopilado los datos necesarios para cada uno de los perfiles escogidos, PmT y PMT.

-PmT-

En el perfil de menor tiempo, que será enfocado a estudiantes menos avanzados, o el turista medio, se incluirá información básica. Las fichas se estructuran en 6 apartados que son Historia, Estructura, Cubierta, Muros y cimientos, Decoraciones y Reforma. En éstas tendrán una gran presencia los elementos gráficos que aportan información de manera rápida. Se incluirán textos concisos con la información necesaria y se aportarán datos históricos y curiosidades (Figura 4.37).

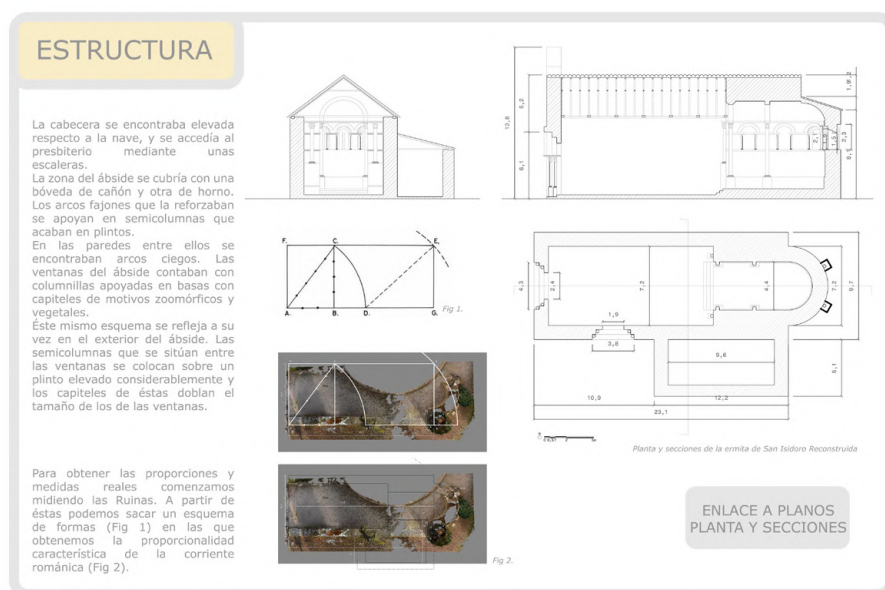


Figura 4.37: Ficha: Cubierta/PmT. (Anexo II)

Fuente: Elaboración propia.

-PMT-

Para el perfil de mayor tiempo, orientado a profesionales que buscan información técnica o estudiantes/turistas interesados más allá de la información básica se incorporan gráficos con más información, y el texto cobra un mayor protagonismo. Se incorpora información sobre los materiales y su estado de degradación, y también medidas sobre planos.

Se incluyen también links a través de botones que conducen a documentos de planimetrías y detalles constructivos (Figura 4.38).

Figura 4.38: Ficha: Cubierta/PmT. (Anexo II)

Fuente: *Elaboración propia.*

ESTRUCTURA

La distribución de la planta de la ermita se puede dividir en varias partes.

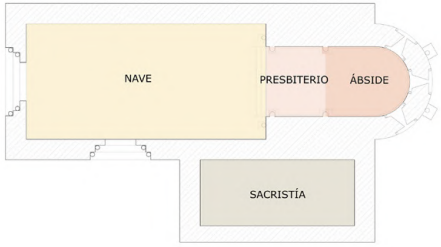
Esta tipología es muy poco común en el románico aunque San Esteban, otra ermita que se encuentra en Ávila, se le acerca bastante.

Su forma destaca por una cabecera con un profundo ábside y presbiterio, y un cuerpo o nave con escasas dimensiones en proporción.

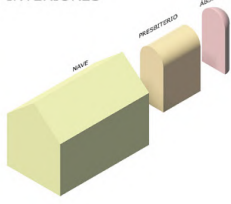
Durante un tiempo tuvo una sacristía adosada en uno de sus laterales.

La cabecera estaba elevada y se accedía al presbiterio por escaleras.

El ábside tenía bóveda de cañón y horno, con arcos fajones sobre semicolumnas en plintos.



ESPACIOS INTERIORES



Diseño de la interfaz

El funcionamiento principal de la experiencia de Realidad Aumentada consistirá en la presencia de una barra con botones que será lo primero que se vea al iniciar la aplicación (Figura 4.39).

Figura 4.39: Barra de navegación dentro de la experiencia de Realidad Aumentada para la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro.

Fuente: *Elaboración propia.*



Figura 4.40: Vista desde un dispositivo móvil de la experiencia de Realidad Aumentada para la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro.

Fuente: *Elaboración propia.*

- 1 Fichas de información
- 2 Barra con botones
- 3 Modelo a escala real
- 4 Modelo a una escala más pequeña a modo de maqueta



Estos botones corresponderán a cada una de las categorías de las fichas. En las Ruinas de San Isidoro en el Retiro, esta barra se sitúa de manera horizontal en la zona en la que actualmente encontramos un cartel informativo (Figura 4.40). La situación ideal del usuario sería dentro del círculo (2) (Figura 4.41), para obtener una visión correcta y completa del modelo y las fichas.



Figura 4.41: Esquema de situación de los elementos de la experiencia de Realidad Aumentada para la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro. En la que:

- 1 Vías de paso
- 2 Situación óptima del usuario
- 3 Barra de navegación con botones
- 4 Modelo a una escala más pequeña de maqueta para poder andar alrededor y verla completa desde arriba
- 5 Modelo a escala real

Fuente: *Elaboración propia.*

Experiencia en Adobe Aero

Para introducir el modelo en el programa de creación de experiencias de Realidad Aumentada Adobe Aero, importamos el objeto simplificado que hemos diseñado. Adobe Aero permite la importación de objetos GLB, OBJ, Collada (DAE), 3DS, FBX. El formato que permite un paso más sencillo desde Blender o Rhinoceros a Aero es GLB.

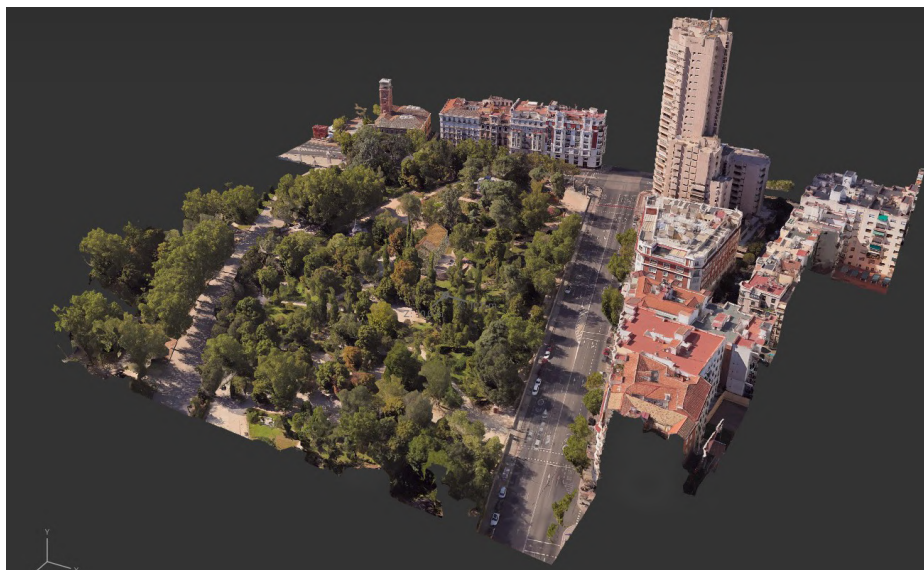
Al iniciar un nuevo proyecto seleccionamos el tipo de anclaje que queremos para nuestro modelo. El anclaje determinará el punto de referencia que seleccionemos para situar nuestro modelo 3D. Las opciones son anclaje a una superficie, a una imagen, o geolocalizado. El modo elegido en esta plataforma para el anclaje del modelo 3D es de Geolocalización por las ventajas que ofrece. El modelo aparecerá a la escala correcta y en su lugar cuando abrimos el programa de RA.

Una vez seleccionada la forma de referencia, aparece el mapa en 3D del mundo para seleccionamos el lugar en el que se quiere situar la experiencia. Dentro del programa nos permite elegir el punto del Retiro en el que se

encuentran las ruinas (Figura 4.42). A partir de aquí lo importaremos para que se sitúe en el escenario real, y que cuando en la localización apuntemos con nuestra cámara podamos ver el modelo 3D.

Figura 4.42: Emplazamiento en tres dimensiones en Adobe Aero para la creación de la experiencia de Realidad Aumentada para la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro.

Fuente: *Elaboración propia.*

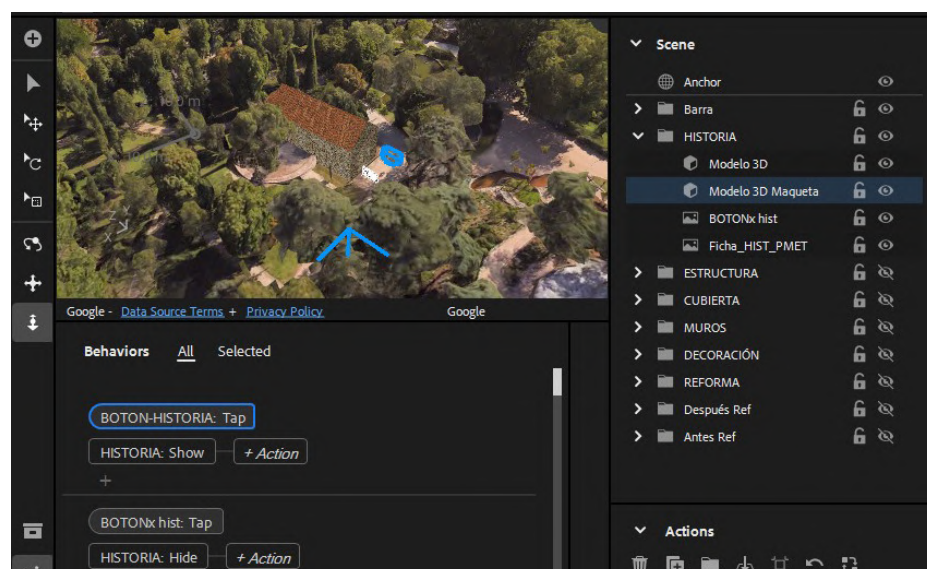


Adobe Aero incorpora una amplia gama de posibilidades en cuanto a acciones. La interfaz para programar estas acciones es bastante intuitiva con un diseño de programación básica que permite determinar disparadores mediante acciones que se realicen sobre objetos.

El esquema básico para la programación de las fichas será agrupar los elementos en carpetas por categoría y asignar al botón de categoría un disparador para que al tocarlo se muestre la capa entera con todos los elementos. Cada carpeta de cada categoría incluirá un botón en forma de X para que al tocarlo se oculte la carpeta. Se añaden más acciones para abrir links a los planos y para mostrar diferentes modelos dentro de una categoría. (Figura 4.43)

Figura 4.43: Acciones programadas en Adobe Aero (Abajo izquierda) y carpetas de capas (Arriba derecha) para la creación de la experiencia de Realidad Aumentada para la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro.

Fuente: *Elaboración propia.*



Cada uno de los apartados de la aplicación estará diseñado para ofrecer distinta información dentro del espacio de realidad aumentada. Tal como se ha mencionado anteriormente, cada apartado contará con su propia escena específica.

Estas escenas estarán diseñadas para presentar diferentes recursos, como información visual, interactiva y multimedia, que enriquecerán la experiencia del usuario y facilitarán la comprensión del contenido.

Con la intención de ajustarse lo máximo posible a las necesidades de cada usuario se realizarán dos aplicaciones, una para cada perfil de usuario explicado anteriormente. Habrá así una aplicación para los visitantes de PmT y otra para los de PMT. En ambos casos aparecerá la misma configuración de escena pero cambiarán los recursos y la información de la ficha para adaptarse.

La escena, como se describe en el apartado de *Diseño de la interfaz* consiste en un modelo 3D a escala 1:1 que se sitúa en el sitio en el que actualmente están las ruinas. Se añade otro modelo en una escala menor para poder andar alrededor y observarlo a forma de maqueta. Además aparecerán las fichas de información.

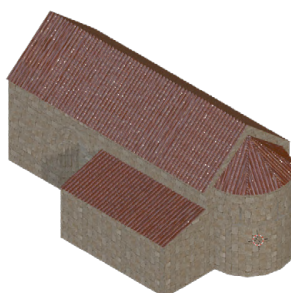
Escenas

En los siguientes apartados se irán describiendo los modelos que aparecen en cada escena:

-Historia-

En el apartado de Historia las fichas de información que aparecerán serán *Ficha: Historia/ PMT* y *Ficha: Historia/ PMT* en cada uno de los perfiles ⁴¹.

El modelo 3D representará el exterior de la ermita con texturas para ver su forma completa.



41. Anexo II. Fichas de información, página 93.

Figura 4.44: Vista desde la aplicación de RA en la escena de Historia.

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 4.45: Modelo 3D reconstruido Después de la reforma.

Fuente: *Elaboración propia.*

-Planta y sección-

En este apartado las fichas de información que aparecerán serán *Ficha: Estructura/ PMT* y *Ficha: Estructura/ PMT* en cada uno de los perfiles ⁴². Incluirán un link a la Planimetría (Anexo I) en el caso del PMT.

El modelo 3D representará una sección de la ermita con texturas para ver el interior y su estructura.

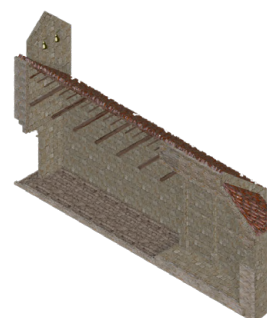
42. Anexo II. Fichas de información, página 95.

Figura 4.46: Vista desde la aplicación de RA en la escena de estructura.

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 4.47: Modelo 3D reconstruido Seccionado.

Fuente: *Elaboración propia.*



-Cubierta de madera-

En el siguiente apartado las fichas de información que aparecerán serán *Ficha: Cubierta/ PMT* y *Ficha: Cubierta/ PMT* en cada uno de los perfiles ⁴³.

El modelo 3D representará la cubierta de madera apoyada sobre dos de los muros de la Ermita.

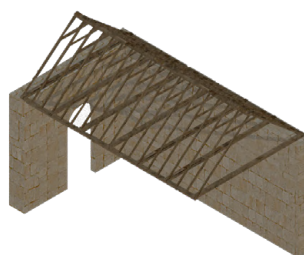
43. Anexo II. Fichas de información, página 97.

Figura 4.48: Vista desde la aplicación de RA en la escena de Cubierta.

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 4.49: Modelo 3D reconstruido Cubierta.

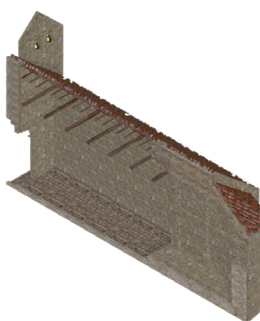
Fuente: *Elaboración propia.*



-Muros y cimientos-

Las fichas de información que aparecerán en este apartado serán *Ficha: Muros/ PMT* y *Ficha: Muros/ PMT* en cada uno de los perfiles ⁴⁴. Incluirán un link al *Informe de degradación* ⁴⁵ en el caso del PMT.

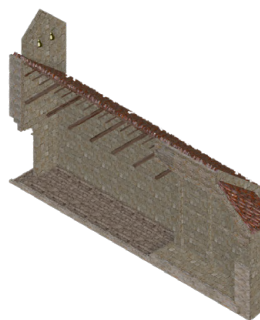
El modelo 3D representará también una sección de la ermita con texturas para ver la estructura y grosor de los muros.



-Decoración-

En el apartado de Historia las fichas de información que aparecerán *Ficha: Decoración/ PMT* y *Ficha: Decoración/ PMT* en cada uno de los perfiles⁴⁶. Incluirán un link a los Planos de Detalle (Anexo I) en el caso del PMT.

El modelo 3D representará también una sección de la ermita con texturas para ver El interior. En este caso el modelo a tamaño de maqueta representa el volumen sin texturas para percibir mejor los detalles de volumetría de las decoraciones.



44. Anexo II. Fichas de información, página 99.

Figura 4.50: Vista desde la aplicación de RA en la escena de Muros.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.51: Modelo 3D reconstruido Seccionado.

Fuente: Elaboración propia.

45. Sanz Arauz, D. (2016). *Informe sobre la piedra de las ruinas de la ermita de San Isidoro en el Retiro (Madrid)*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.

46. Anexo II. Fichas de información, página 101.

Figura 4.52: Vista desde la aplicación de RA en la escena de Decoración.

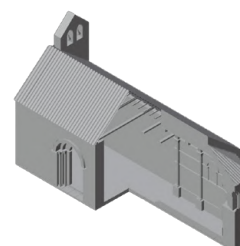
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.53: Modelo 3D reconstruido Seccionado.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.54: Modelo 3D reconstruido Sección sin textura.

Fuente: Elaboración propia.



-Reforma-

47. Anexo II. Fichas de información, página -

En este último apartado la ficha de información que aparecerá será la misma en los dos perfiles: *Ficha: Reforma/ PMT y PmT* 47.

El modelo 3D representará el exterior de la ermita con texturas para ver su forma completa. Habrá un botón disparador para ver cómo era la Ermita antes de la reconstrucción y otro para después.

Figura 4.55: Vista desde la aplicación de RA en la escena de Reforma.

Fuente: *Elaboración propia.*

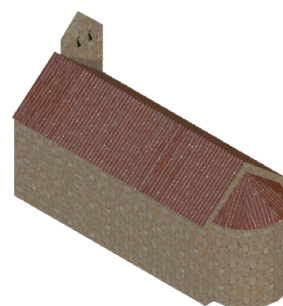


Figura 4.56: Modelo 3D reconstruido Antes de la reforma.

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 4.57: Vista 2 desde la aplicación de RA en la escena de Reforma.

Fuente: *Elaboración propia.*

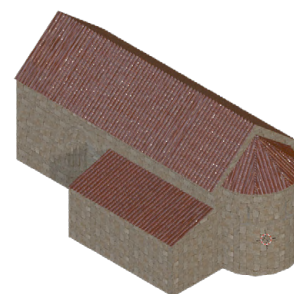


Figura 4.58: Modelo 3D reconstruido Después de la reforma.

Fuente: *Elaboración propia.*



Figura 4.59, 4.60 y 4.61: Fotografías de la experiencia de usuario utilizando la app de Realidad Aumentada para ver la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro.

Fuente: Elaboración propia

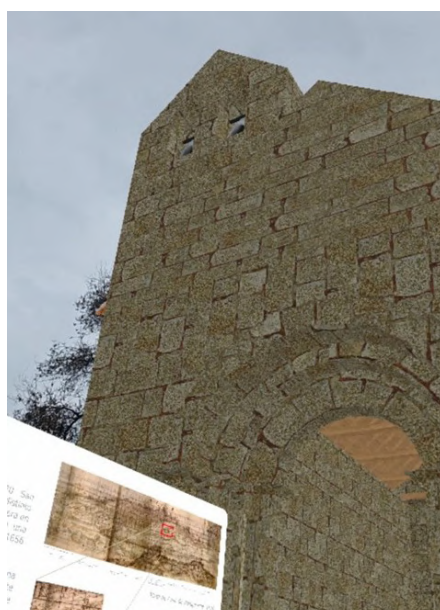
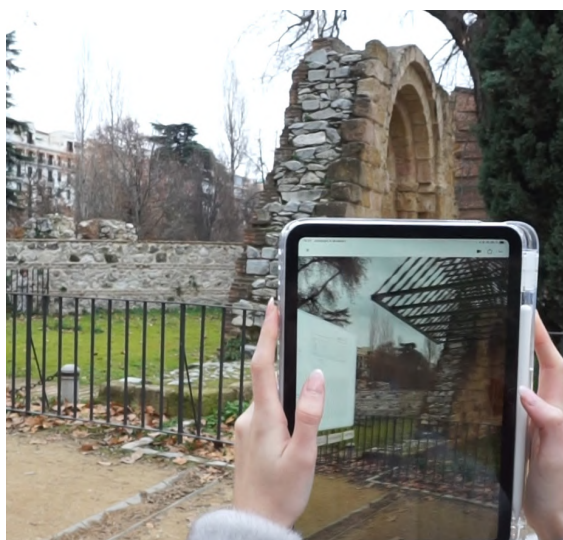
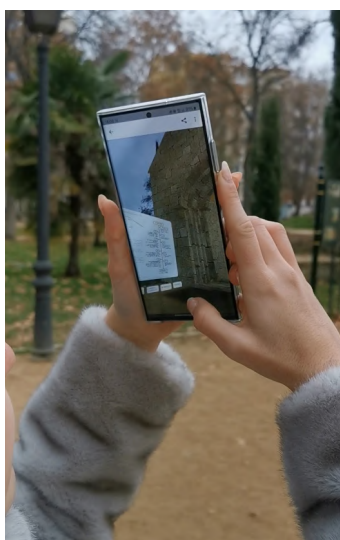


Figura 4.62 y 4.63: Vistas de la aplicación de RA desde dispositivo móvil.

Fuente: Elaboración propia

5 Conclusiones y Perspectivas futuras

Ante la inevitable desaparición física de la Ermita de San Isidoro debido al avanzado estado de deterioro de sus materiales, la reconstrucción virtual en 3D se convierte en una solución imprescindible para preservar su memoria histórica y artística. A pesar de los numerosos intentos de restauración, que finalmente resultaron fallidos, frenar su degradación resulta extremadamente complejo, lo que refuerza la importancia de este registro digital como única vía para garantizar que su legado trascienda el paso del tiempo y siga siendo valorado en el futuro.

Este proyecto no solo ha permitido documentar y analizar detalladamente el estado actual de este emblemático monumento del Románico Abulense, sino que también ha generado un recurso valioso para la educación, la divulgación y la sensibilización sobre la importancia de la conservación del patrimonio.

Tomando de guía los métodos usados para este desarrollo y determinando una guía para llevar a cabo otros proyectos parecidos, se aumenta la eficacia de futuros proyectos en patrimonio histórico al ser un proceso estandarizado.

Uno de los principales retos de esta metodología es la dependencia de una documentación histórica y arquitectónica detallada. En casos como el de las Ruinas de San Isidoro, donde gran parte de la información se ha perdido debido al deterioro y al paso del tiempo, las reconstrucciones pueden basarse en conjeturas, lo que podría afectar a la precisión y fidelidad del modelo final.

Aunque se planifica la adaptación de la información a distintos perfiles de usuario, las experiencias de RA pueden no ser del todo inclusivas. Los problemas de accesibilidad para personas con discapacidad visual, auditiva o cognitiva siguen representando un reto, lo que podría limitar el alcance del proyecto.

La integración de tecnologías avanzadas, como la fotogrametría, el modelado 3D y el texturizado mediante técnicas de renderizado físicamente basado (PBR), permite que las reconstrucciones sean precisas y detalladas. La fotogrametría proporciona medidas exactas de los elementos existentes, mientras que las herramientas de modelado y texturizado permiten

una representación realista que respeta las características originales del elemento.

Otro punto clave es que esta metodología promueve la preservación no invasiva, evitando intervenciones físicas que dañen las ruinas. Esto es importante en elementos con un alto grado de deterioro, donde las intervenciones tradicionales podrían comprometer su integridad.

Además, se combinan elementos de varias disciplinas como historia, arquitectura, diseño y tecnología, lo cual hace que el resultado final genere un proyecto de mayor impacto.

Desde el punto de vista económico, la reconstrucción digital es una alternativa más eficiente que los elevados costes de la restauración física. La RA amplía las posibilidades de acceso, permitiendo a los usuarios interactuar con el patrimonio desde lugares remotos o directamente in situ, lo que fomenta el turismo digital y la educación. Esta tecnología además capta la atención del público, al ser una experiencia inmersiva e interactiva, promoviendo la conexión de los usuarios con el legado histórico.

Para considerar si la Realidad Aumentada ha demostrado ser un buen aliado para valorizar las ruinas del Retiro, tendremos en cuenta las ventajas y desventajas que aportan este tipo de experiencias.

Los programas de desarrollo de apps de RA permiten una gran variedad de acciones e importación de modelos, pero no están optimizadas para la gran mayoría de dispositivos móviles. Además las funciones como andar dentro del modelo con anclaje a superficie, no geolocalizado, no se han podido llevar a cabo, ya que al mover la cámara el programa perdía el punto de referencia, así que la vista que se podía tener del objeto era exclusivamente desde fuera. Adobe Aero en cambio sí permite este tipo de interacciones al estar geolocalizado y no pierde el punto de anclaje. Sin embargo las características propias del lugar de las ruinas no permite la entrada de los visitantes al lugar central, por lo que si se sitúa el modelo para que encaje en las ruinas también obtendremos únicamente una vista desde el exterior.

La incorporación de elementos 3D que se ven superpuestos en la realidad hacen que el usuario comprenda mejor el valor cultural al tener la experiencia inmersiva. La parte reconstruida virtualmente se adapta al entorno real, de manera que es mucho más fácil de comprender para cualquier persona que esté usando la aplicación. Al combinar lo digital con lo real, la RA enriquece la experiencia del visitante, haciéndole no sólo observar, sino también interactuar con la información, lo que aumenta su interés y comprensión.

De esta manera, la integración de la RA fomenta el turismo cultural y la educación, haciendo accesible el conocimiento histórico y promoviendo la

sensibilización hacia la conservación del patrimonio, incluso para audiencias con distintos niveles de formación.

Perspectivas futuras

Esta propuesta abre la puerta a investigaciones adicionales sobre cómo integrar tecnologías emergentes en la gestión del patrimonio cultural, considerando aspectos como accesibilidad y nuevas formas de interacción con los usuarios. Para una continuación del proyecto se podría añadir una subcategorización de más perfiles, como división entre estudiantes de primaria y ESO, y dentro del PmT una categoría para un perfil con menor tiempo que explique los conceptos de manera interactiva o gamificada.

De esta manera se permitiría seguir avanzando hacia la implementación de la RA y de los motores de videojuegos en el conocimiento del edificio histórico tanto en museos como en emplazamientos de interés cultural.

Por motivos de seguridad y vandalismo, en la actualidad el recinto está vallado. Cabría la posibilidad de abrir el recinto al público en visitas guiadas y poder entrar y ver el espacio desde dentro. La app de RA permite navegar y ver el espacio sin mantener contacto con las Ruinas. Incluso se podría habilitar un espacio cercano como una explanada en el que ver la reconstrucción de una manera más cómoda y ver el modelo desde el interior.

Bibliografía

Anay, H., Özten, Ü., Ünal, M., & Öztepe, E. (2022). Augmented experiences in archeological sites: Presentation of Alexandria Troas Podium Temple to visitor experience. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 3(1). <https://doi.org/10.47818/drarch.2022.v3i1042>

-El artículo explica el caso de la aplicación de Realidad Aumentada del templo de Alejandría Troas Podium y cómo ayuda a dar a conocer el sitio e interactuar con las personas. Sirve de ejemplo para la creación de más experiencias de RA.

Bellido Gant, M. L., & Ruiz Torres, D. (2013). Los museos de los nuevos medios: Virtualidad e interacción como nuevos paradigmas del conocimiento y la difusión. *ArTecnología: arte, tecnología e lenguagens midiáticas* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5726701>

-Los autores analizan cómo los museos han adoptado tecnologías interactivas y virtuales para acercar el acceso al conocimiento, replanteando las relaciones entre visitantes, patrimonio y tecnología.

Benedicto Salas, R. (2015). *La construcción de la arquitectura románica. Institución «Fernando el Católico,» Excma. Diputación de Zaragoza.*

-El libro, que describe técnicas constructivas del románico, ha servido como guía para la Reconstrucción 3D del Caso de Estudio de las Ruinas de San Isidoro.

Boboc, R. G., Băutu, E., Gîrbacia, F., Popovici, N., & Popovici, D.-M. (2022). Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications. *Applied Sciences*, 12(19), Article 19, p. 17. <https://doi.org/10.3390/app12199859>

-En el artículo se explican y se dan a conocer las tecnologías que se están empleando en la preservación del Patrimonio en la última década.

Camiña, J. (2023). *Nuevas oportunidades digitales en el patrimonio enterrado [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Complutense de Madrid]*

-Este TFG se ha tomado de referencia para analizar los diferentes perfiles necesarios para mostrar información a los usuarios y qué tipo de información se debe proporcionar dependiendo del tiempo que cada usuario dedique a la experiencia.

Canciani, M., Conigliaro, E., Del Grasso, M., Papalini, P., & Saccone, M. (2016). 3D Survey And Augmented Reality For Cultural Heritage. The Case Study Of Aurelian Wall At Castra Praetoria In Rome. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-931-2016>

-El caso de las Murallas Aurelianas sirve como ejemplo de la utilidad de las Reconstrucciones 3D para restauración y conservación.

Chen, F., Xu, H., Zhou, W., Zheng, W., Deng, Y., & Parcharidis, I. (2021). Three-dimensional deformation monitoring and simulations for the preventive conservation of architectural heritage: A case study of the Angkor Wat Temple, Cambodia. *GIScience & Remote Sensing*, 58(2), 217-234. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1871188>

-Se describe un útil ejemplo de Reconstrucción 3D para la conservación preventiva.

García Guinea, M. Á., González, J. M. P., & Robledo, J. L. G. (2002). Ávila: Enciclopedia del Románico en Castilla y León. Centro de Estudios del Románico. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=696203>.

-En esta enciclopedia se han encontrado diversos datos sobre el románico en Ávila, concretamente sobre el Caso de Estudio.

Luna, U., Rivero, P., & Vicent, N. (2019). Augmented Reality in Heritage Apps: Current Trends in Europe. *Applied Sciences*, 9(13), Article 13, p. 17. <https://doi.org/10.3390/app9132756>

-Los autores exploran las tendencias en el uso de aplicaciones móviles basadas en RA para mejorar el acceso y la interacción con el patrimonio cultural europeo.

Martín Sánchez, G. (2012). La reconstrucción virtual de monumentos.: El ejemplo de la iglesia románica de San Pelayo en Ávila. *Institución Gran Duque de Alba 1962-2012.: 50 años de cultura abulense*, Vol. 2, 2012, ISBN 978-84-15038-38-2, págs. 97-106, 97-106. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7235386>

-En el artículo encontramos el caso anterior de Reconstrucción en 3D del Caso de Estudio de la Ermita de San Isidoro, y el proceso para llevarlo a cabo.

Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., Barazzetti, L., & Previtali, M. (2014). Survey turned into HBIM: The restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-5, 267-273. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-267-2014>

-Este artículo explica el uso de modelos HBIM (Building Information Modeling para patrimonio histórico) en la restauración de la Basílica de Collemaggio, destacando su aplicación tras un desastre natural.

Paliokas, I., Patenidis, A. T., Mitsopoulou, E. E., Tsita, C., Pehlivanides, G., Karyati, E., Tsafaras, S., Stathopoulos, E. A., Kokkalas, A., Diplaris, S., Meditskos, G., Vrochidis, S., Tasiopoulou, E., Riggas, C., Votis, K., Kompatsiaris, I., & Tzovaras, D. (2020). A Gamified Augmented Reality Application for Digital Heritage and Tourism. *Applied Sciences*, 10(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/app10217868>

-El artículo habla sobre cómo la gamificación y la RA pueden combinarse para crear experiencias educativas y turísticas inmersivas, fomentando el aprendizaje y la conservación del patrimonio.

Patrucco, G., Giulio Tonolo, F., Sammartano, G., & Spanò, A. (2022). SFM-BASED 3D RECONSTRUCTION OF HERITAGE ASSETS USING UAV THERMAL IMAGES. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B1-2022, 399-406. XXIV ISPRS Congress "Imaging today, foreseeing tomorrow", Commission I - 2022 edition, 6–11 June 2022, Nice, France. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-399-2022>

-Aquí encontramos un ejemplo de Reconstrucciones 3D de Patrimonio Cultural con drones para conservación.

Porncharoen, R., Ratchataruj, S., & Wichiranon, S. (2021). Using Augmented Reality Technology in Learning Archeological Places. 2021 6th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed), 1-4. <https://doi.org/10.1109/iSTEM-Ed52129.2021.9625107>

-Este trabajo analiza cómo la RA puede enriquecer la enseñanza de sitios arqueológicos, promoviendo una mayor interacción y comprensión entre los estudiantes.

Portalés, C., Alonso-Monasterio, P., & Viñals, M. J. (2017). 3D virtual reconstruction and visualisation of the archaeological site Castellet de Bernabé (Llíria, Spain). *Virtual Archaeology Review*, 8(16), 72-85. <https://doi.org/10.4995/var.2017.5890>

-El artículo destaca la importancia de las visualizaciones en 3D para la investigación y difusión y sirve de ejemplo de Reconstrucciones con un fin de diagnóstico.

Salleh, S. Z., & Bushroa, A. R. (2022). Bibliometric and content analysis on publications in digitization technology implementation in cultural heritage for recent five years (2016–2021). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 25, e00225. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2022.e00225>

-El estudio analiza cómo la tecnología de digitalización ha sido implementada en el patrimonio cultural en los últimos años, y servirá para aportar información para el Estado del Arte.

Sanz Arauz, D. (2016). Informe sobre la piedra de las ruinas de la ermita de San Isidoro en el Retiro (Madrid). Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.

-El informe ha sido clave para conocer aspectos sobre la degradación actual de los materiales de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro. Es un informe detallado con pruebas de materiales que concluirá en la deducción de la pronta desaparición de las Ruinas y la necesidad de su preservación de otro modo.

Vila da Vila, M. M. (1999). Ávila románica: Talleres escultóricos de filiación hispano-languedociana. Institución Gran Duque de Alba de la Excm. Diputación Provincial de Ávila.

-En el libro Vila da Vila describe muchos aspectos de la Ermita de San Isidoro, tanto datos históricos, como los elementos decorativos y relaciones de la ermita con otras de la zona.

Recursos digitales

¿Qué son los materiales PBR? (s. f.). <https://lumion.es/>. Recuperado 28 de diciembre de 2024, de <https://lumion.es/materiales-pbr/> Augmented reality project brings Olympics birthplace to life. (2021, noviembre 10). AP News. <https://apnews.com/article/sports-technology-science-lifestyle-business-79cbb21f40065d845b79b3de2ecd3139>

-Describe qué son los materiales PBR que se utilizarán en la visualización de los Modelos 3D dentro de la aplicación de Realidad Aumentada.

Fernando, R. A. de B. de S. (s. f.). Monumentos Arquitectónicos de España (1852-1881). Academia Colecciones. Recuperado 20 de diciembre de 2024, de <https://www.academiacolectaciones.com/estampas/monumentos-arquitectonicos-espana.php>

-De este archivo de una colección de láminas se ha obtenido la planimetría que se ha usado como base para la reconstrucción del Caso de Estudio.

HBIM as Support of Preventive Conservation Actions in Heritage Architecture. Experience of the Renaissance Quadrant Façade of the Cathedral of Seville. (s. f.). Recuperado 24 de diciembre de 2024, de <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/7/2428>

-Este artículo analiza el uso de HBIM en la conservación preventiva del patrimonio arquitectónico. Se ha utilizado para ver los diferentes usos que se le pueden dar a la creación de modelos de Reconstrucción 3D.

Lighthood SLU (Director). (2021, abril 5). Realidad Mixta—Arquitectura e Ingeniería [Lighthood] [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=jHsE8PbkzwQ>

-El video muestra un ejemplo de experiencia de Realidad Mixta que muestra la utilidad de estas herramientas en el ámbito de la arquitectura.

Memory of the World | UNESCO. (s. f.). Recuperado 3 de octubre de 2024, de <https://www.unesco.org/en/memory-world>

-Esta web de la UNESCO ha servido para proporcionar información sobre Patrimonio Cultural.

Mona Lisa: Beyond The Glass en Steam. (s. f.). Recuperado 4 de enero de 2025, de https://store.steampowered.com/app/1172310/Mona_Lisa_Beyond_The_Glass/

-Esta experiencia inmersiva que utiliza RA para explorar la Mona Lisa de una forma innovadora es una de las diversas experiencias de museos que se han analizado durante el Estado del Arte.

Patrimonio cultural—Culture and Creativity. (s. f.). Recuperado 7 de diciembre de 2024, de <https://culture.ec.europa.eu/es/policies/selected-themes/cultural-heritage>

-En esta web encontramos una extensa base de datos de patrimonios reconocidos mundialmente.

Yorescape. Rome Reborn (s. f.). Recuperado 1 de enero de 2025, de <https://yorescape.com/>

-Aplicación de Realidad Virtual para ver en tres dimensiones la Roma antigua, ofreciendo una experiencia educativa inmersiva. Ha sido de utilidad para el Estado del Arte.

Procedencia de las ilustraciones

Portada

Figura 1.1: Axonometría con base de la fotogrametría de las Ruinas de San Isidoro y Reconstrucción 3D. Fuente: *Elaboración propia*.

Introducción

Figura 1.2: Conjunto de datos térmicos del Arco Parabólico de Morano y La Capilla Rural en Molini Allioni (Elva, Cuneo). Fuente: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-399-2022>

Figura 1.3: La red geodésica y algunas imágenes de los escaneos láser adquiridos en la Basílica de Collemaggio tras el terremoto de L'Aquila. Fuente: <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-267-2014>

Figura 1.4. : Vista del modelo de detalle medio incluyendo la visualización temática de los SIP mediante el filtrado de los parámetros correspondientes a “suciedad” (rojo) y “costra negra” (azul), del grupo de aportación material del producto de alteración, en relación al estado de conservación previo a la intervención. Fuente: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/7/2428>

Figura 1.5: Estimaciones de deformación D-TomoSAR superpuestas sobre las imágenes ópticas de teledetección de Google Earth. Fuente: <https://doi.org/10.1080/154816>

Figura 1.6: Portada de Mona Lisa: Beyond the Glass. Fuente: https://store.steampowered.com/app/1172310/Mona_Lisa_Beyond_The_Glass/

Figura 1.7: Captura dentro del videojuego Mona Lisa: Beyond the Glass. Fuente: https://store.steampowered.com/app/1172310/Mona_Lisa_Beyond_The_Glass/

Figura 1.8: Aplicación en el Museo Olímpico de Atenas, Grecia, el martes 9 de noviembre de 2021. La instalación forma parte de un proyecto de restauración digital de Microsoft y el Ministerio de Cultura y Deporte griego en la Antigua Olimpia, cuna de los Juegos Olímpicos. (AP Photo/Thanassis Stavrakis). Fuente: <https://apnews.com/article/sports-technology-science-lifestyle-business-79cbb21f40065d845b79b3de2ecd3139>

Figura 1.9: Vista de un modelo 3D en Realidad Mixta con interacción de sección. Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=jHsE8PbkzwQ>

Figura 1.10: Aplicación de Guía de Realidad Aumentada en el Museo Sorolla. Fuente: <https://apkpure.com/sorolla-museum-ar/com.sixdimensionsLab.MuseoSorolla>

Objetivos

Figura 2.1: Fotografía del ábside de las Ruinas de San Isidoro en su emplazamiento actual en el Retiro, 2024. Fuente: *Elaboración propia*

Caso de estudio

Figura 3.1: Fotografía de las Ruinas de San Isidoro en su emplazamiento actual en el Retiro, 2024. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 3.2: Localización de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 3.3: Línea temporal de la historia de la ermita de San Pelayo y San Isidoro. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 3.4: Plano de situación de las iglesias románicas de Ávila, según José Luis Gutiérrez Robledo. *Fuente: Robledo, J. L. G. (2009). Las murallas de Ávila: Arquitectura e historia. Diputación de Ávila, Institución Gran Duque De Alba.*

Figura 3.5: Emplazamiento de la Ermita de San Isidoro en su localización original en Ávila. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 3.6: Fotografía de la Portada Sur de San Isidoro en el Retiro de Augusto Arcimis, 1920. *Fuente: Sanz Arauz, D. (2016). Informe sobre la piedra de las ruinas de la ermita de San Isidoro en el Retiro (Madrid). Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.*

Figura 3.7: Fotografía del ábside de San Isidoro en el Retiro de Augusto Arcimis, 1920. *Fuente: Sanz Arauz, D. (2016). Informe sobre la piedra de las ruinas de la ermita de San Isidoro en el Retiro (Madrid). Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.*

Figura 3.8: Recorte de Fotografía de la Portada Sur de San Isidoro en el Retiro, 1920. *Fuente: Informe de degradación proporcionado por David Sanz Arauz. Profesor de la ETS. Arquitectura de la UPM.*

Figura 3.9: Fotografía de la Portada Sur de San Isidoro en el Retiro, 2024. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 3.10: Fotografías de la piedra exterior actual en las Ruinas. (Piedra Caleño) *Fuente: Informe de degradación proporcionado por David Sanz Arauz. Profesor de la ETS. Arquitectura de la UPM.*

Figura 3.11: Foto panorámica de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro en la que se ve la proximidad a la calle cercana por donde pasan los coches. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 3.12: Modelo 3D fotogramétrico de las Ruinas de San Isidoro en su estado actual en el parque del Retiro, Madrid. *Fuente: Proporcionado por el departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ETSAM.*

Propuesta metodológica y aplicación de Realidad Aumentada

Figura 4.1: Fotografía de la Portada Sur de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro. *Fuente: Elaboración Propia.*

Figura 4.2: Esquema de la metodología para Reconstrucción 3D y experiencia de Realidad Aumentada. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.3: Reconstrucción virtual de la iglesia de San Isidoro en su ubicación original junto a la puerta de la Malaventura en el lienzo sur de la muralla de Ávila, 2013. *Fuente: Martín Sánchez, G. (2012). La reconstrucción virtual*

de monumentos.: El ejemplo de la iglesia románica de San Pelayo en Ávila. Institución Gran Duque de Alba 1962-2012.: 50 años de cultura abulense, Vol. 2, 2012, ISBN 978-84-15038-38-2, págs. 97-106, 97-106. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7235386>

Figura 4.4: Vista de ávila en 1570 por Anton Van den Wyngaerde. Fuente: Kagan, R. L. (1986). *Ciudades del Siglo de Oro: Las vistas españolas de Anton Van den Wyngaerde*. Ed. El Viso.

Figura 4.5: Recorte y ampliación de la ermita de San Isidoro en la vista de ávila en 1570 por Anton Van den Wyngaerde. Fuente: Kagan, R. L. (1986). *Ciudades del Siglo de Oro: Las vistas españolas de Anton Van den Wyngaerde*. Ed. El Viso.

Figura 4.6: Lámina de planos de la Ermita de San Isidoro en Monumentos de España por Fernando, R. A. de B. de S. Fuente: <https://www.academiacolecciones.com/estampas/monumentos-arquitectonicos-espana.php>

Figura 4.7: Croquis de la ermita de San Isidoro en Ávila en estado ruinoso, 1869. Por Enrique María Repullés y Vargas. Fuente: https://cvc.cervantes.es/el_rinconete/anteriores/abril_16/27042016_01.html

Figura 4.8: Formación del Rectángulo Áureo. Fuente: Benedicto Salas, R. (2015). *La construcción de la arquitectura románica. Institución «Fernando el Católico,» Excma. Diputación de Zaragoza, p.27-28.*

Figura 4.9 : Esquema de espacios interiores de la Ermita de San Isidoro. Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 4.10: Captura del modelo 3d fotogramétrico de las Ruinas de San Isidoro en su estado actual en el parque del Retiro, Madrid, visto en planta con medidas. Fuente: *Elaboración propia con base fotogramétrica proporcionado por el departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ETSAM.*

Figura 4.11: Captura del modelo 3d fotogramétrico de las Ruinas de San Isidoro en su estado actual en el parque del Retiro, Madrid, visto en planta con proporciones. Fuente: *Elaboración propia con base fotogramétrica proporcionado por el departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ETSAM.*

Figura 4.12: Planta reconstruida de la Ermita de San Isidoro dibujada con medidas. Fuente: *Elaboración propia con base fotogramétrica proporcionado por el departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la ETSAM.*

Figura 4.13: Fotografía de las capas del muro de la Portada Sur de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro, 2024. Fuente: *Elaboración propia*

Figura 4.14: Fotografía de las capas del muro del muro del ábside de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro, 2024. Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 4.15: Fotografía de las capas de los muros y los cimientos de las Ruinas de San Isidoro en el Retiro, 2024. Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 4.17: Unión del armazón de la cubierta de madera con el muro en la Ermita de San Isidoro. Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 4.18: Cubierta de madera de San Andrés de Ávila. *Fuente: García Guinea, M. Á., González, J. M. P., & Robledo, J. L. G. (2002). Ávila: Enciclopedia del Románico en Castilla y León. Centro de Estudios del Románico. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=696203>*

Figura 4.19: Planimetría detallada de la cubierta de madera de San Isidoro de Ávila con medidas. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.20: Esquema de la armadura de parhilara y cubierta de teja. *Fuente: <https://documentomudejares.blogspot.com/2012/03/armadura-de-par-e-hilara-y-de-nudillo.html>*

Figura 4.21: Detalles de motivos decorativos en la Ermita de San Isidoro. Impostas de lacería y rosetones. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.22: Detalles de motivos decorativos en la Ermita de San Isidoro. Capiteles. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.23: Detalles de la Portada Sur en la Ermita de San Isidoro. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.24: Fotografía de un capitel con cuadrúpedos en San Andrés de Ávila. *Fuente: <https://arteguias.com/iglesia/sanandresavila.html>*

Figura 4.25: Fotografía de imposta de rosetas en las Ruinas de San Isidoro en el Retiro. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.26: Portada sur de San Andrés. *Fuente: García Guinea, M. Á., González, J. M. P., & Robledo, J. L. G. (2002). Ávila: Enciclopedia del Románico en Castilla y León. Centro de Estudios del Románico. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=696203>*

Figura 4.27: Capiteles de la portada occidental de San Andrés. *Fuente: García Guinea, M. Á., González, J. M. P., & Robledo, J. L. G. (2002). Ávila: Enciclopedia del Románico en Castilla y León. Centro de Estudios del Románico. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=696203>*

Figura 4.28: Modelo de la reconstrucción en Rhinoceros en la que el rosa marca los muros, azul los elementos que varían con la reforma, en verde el armazón de la estructura de madera de la cubierta, el naranja la cubierta de tejas y en rojo los detalles. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.29: Comparación de dos mapas de normales. Izquierda: menos diferencia de colores RGB, menos relieve. Derecha: más diferencia de colores RGB, más relieve. *Fuente: Technologies, U. (s. f.). Normal map (Bump mapping)—Unity Manual. Recuperado 5 de enero de 2025, de <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/StandardShaderMaterialParameterNormalMap.html>*

Figura 4.30: Nodos y uniones que configuran el material y su comportamiento en Blender. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.31: Fragmento del mapa VP del modelo de San Isidoro en el que se ven las caras del modelo en Blender. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.32: Modelo de San Isidoro en el que se ven las caras del modelo que corresponden al mapa de UV en Blender. *Fuente: Elaboración propia.*

- Figuras 4.33 y 4.34: Comparación de la Portada Sur de San Isidoro en Blender antes y después de modificar el mapa UV. *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.35: Nodos y uniones que configuran el material y su comportamiento en Blender tras ser cocinados. *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.36: Esquema de categorización de perfiles y sub-perfiles. *Fuente: Elaboración propia, con base de: Camiña, J. (2023). Nuevas oportunidades digitales en el patrimonio enterrado [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Complutense de Madrid]*
- Figura 4.37: Ficha: Cubierta/PmT. (Anexo II). *Fuente:Elaboración propia.*
- Figura 4.38: Ficha: Cubierta/PmT. (Anexo II). *Fuente:Elaboración propia.*
- Figura 4.39: Barra de navegación dentro de la experiencia de Realidad Aumentada para la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro. *Fuente:Elaboración propia.*
- Figura 4.40: Vista desde un dispositivo móvil de la experiencia de Realidad Aumentada para la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro. *Fuente:Elaboración propia.*
- Figura 4.41: Esquema de situación de los elementos de la experiencia de Realidad Aumentada para la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro. *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura: 4.42: Emplazamiento en tres dimensiones en Adobe Aero para la creación de la experiencia de Realidad Aumentada para la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro. *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura: 4.43: Acciones programadas en Adobe Aero (Abajo izquierda) y carpetas de capas (Arriba derecha) para la creación de la experiencia de Realidad Aumentada para la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro. *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.44: Vista desde la aplicación de RA en la escena de Historia. *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.45: Modelo 3D reconstruido «Después de la reforma». *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.46: Vista desde la aplicación de RA en la escena de Estructura. *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.47: Modelo 3D reconstruido «Seccionado». *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.48: Vista desde la aplicación de RA en la escena de Cubierta. *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.49: Modelo 3D reconstruido «Cubierta». *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.50: Vista desde la aplicación de RA en la escena de Muros. *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.51: Modelo 3D reconstruido «Seccionado». *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.52: Vista desde la aplicación de RA en la escena de Decoración. *Fuente: Elaboración propia.*
- Figura 4.53: Modelo 3D reconstruido «Seccionado». *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.54: Modelo 3D reconstruido «Sección sin textura». *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.55: Vista desde la aplicación de RA en la escena de Reforma. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.56: Modelo 3D reconstruido «Antes de la reforma». *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.57: Vista 2 desde la aplicación de RA en la escena de Reforma. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.58: Modelo 3D reconstruido «Después de la reforma». *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.59, 4.60 y 4.61: Fotografías de la experiencia de usuario utilizando la app de Realidad Aumentada para ver la reconstrucción de las Ruinas de San Isidoro. *Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4.62 y 4.63: Vistas de la aplicación de RA desde dispositivo móvil. *Fuente: Elaboración propia.*

Procedencia de las tablas

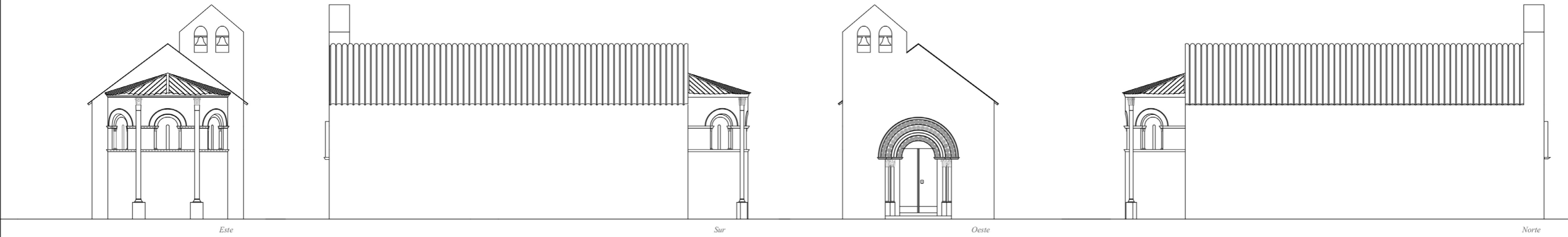
Tabla 1.1: Estudio comparativo de casos de usos de RA en Patrimonio Cultural.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.2: Usos de RA en aplicaciones de patrimonio. Fuente: <https://doi.org/10.47818/drarch.2022.v3i1042>

Tabla 4.1: Estudio comparativo de software 3D para modelado. *Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 4.2: Estudio comparativo de software para creación de experiencias de RA.
Fuente: Elaboración propia.

Anexo I **Planos**



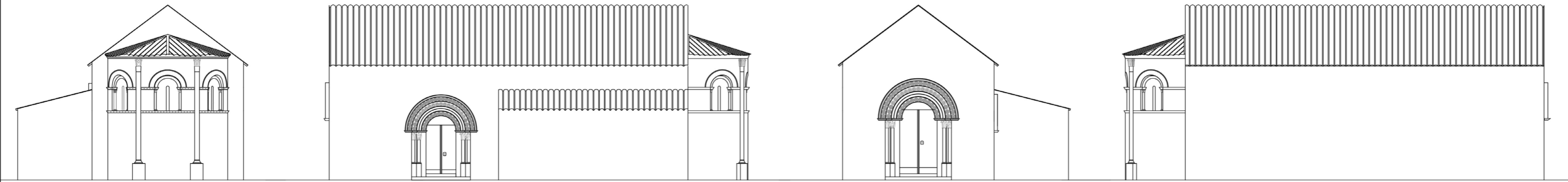
Este

Sur

Oeste

Norte

Alzados antes de la reforma



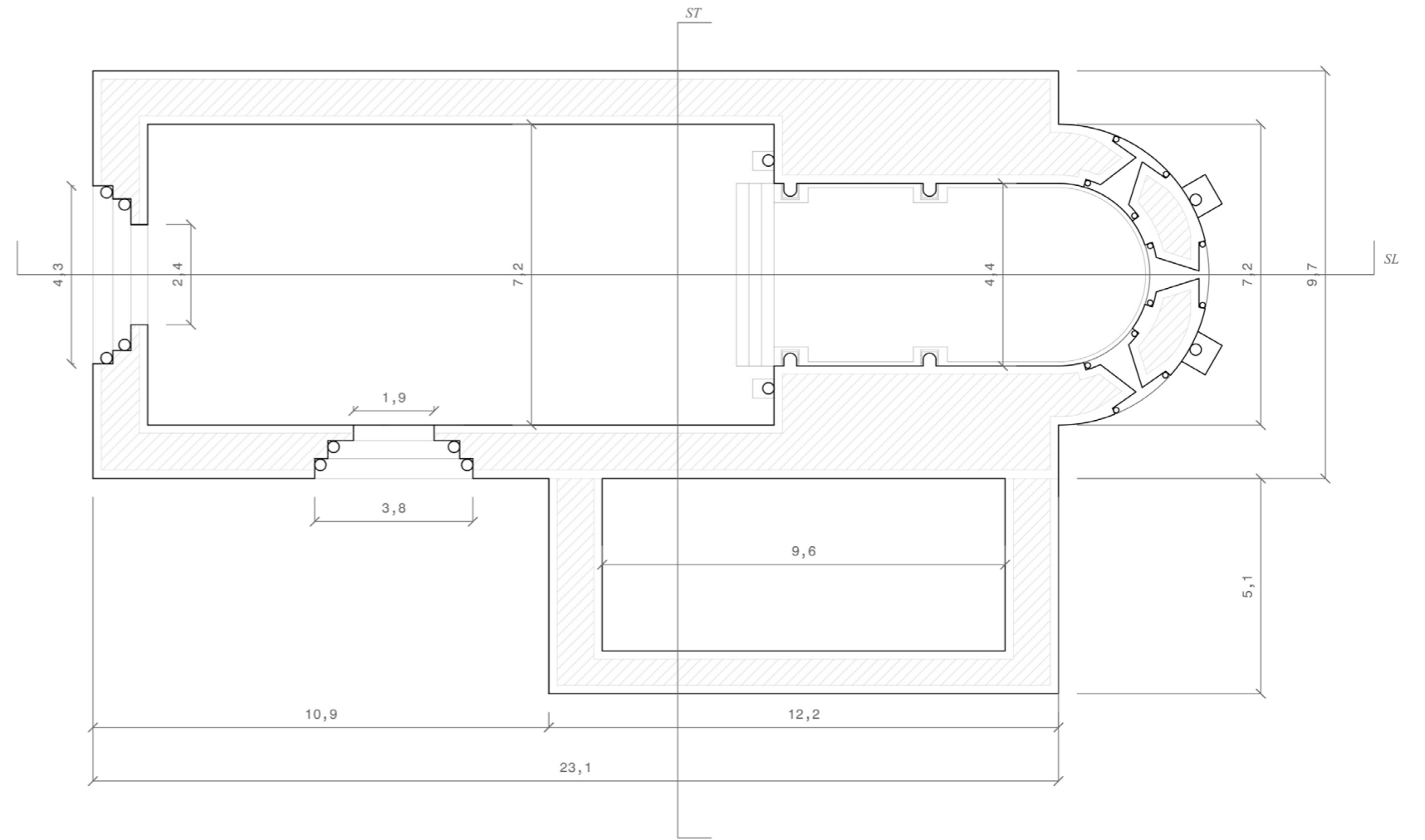
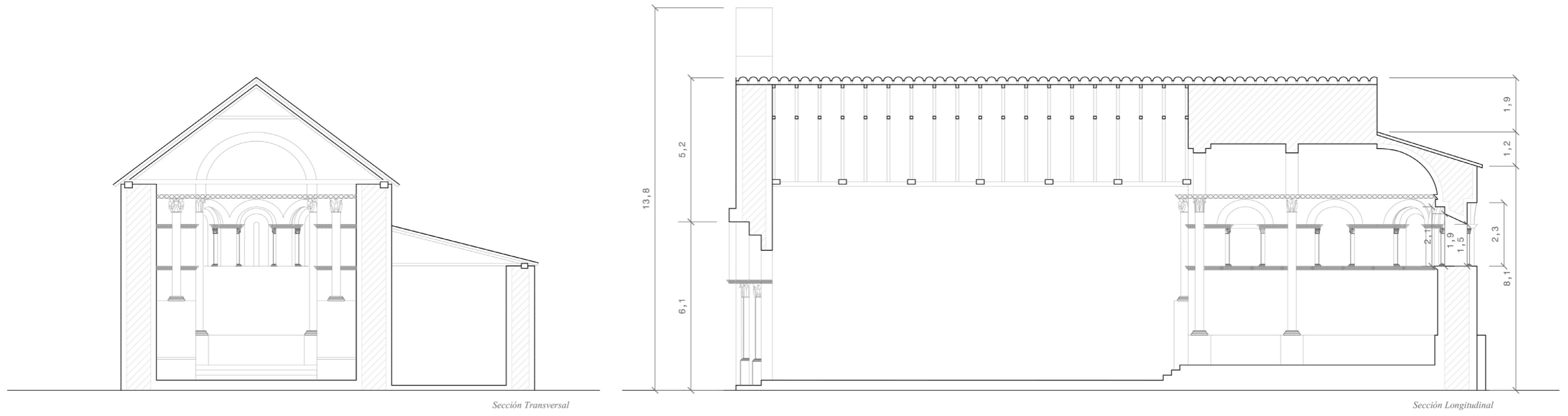
Este

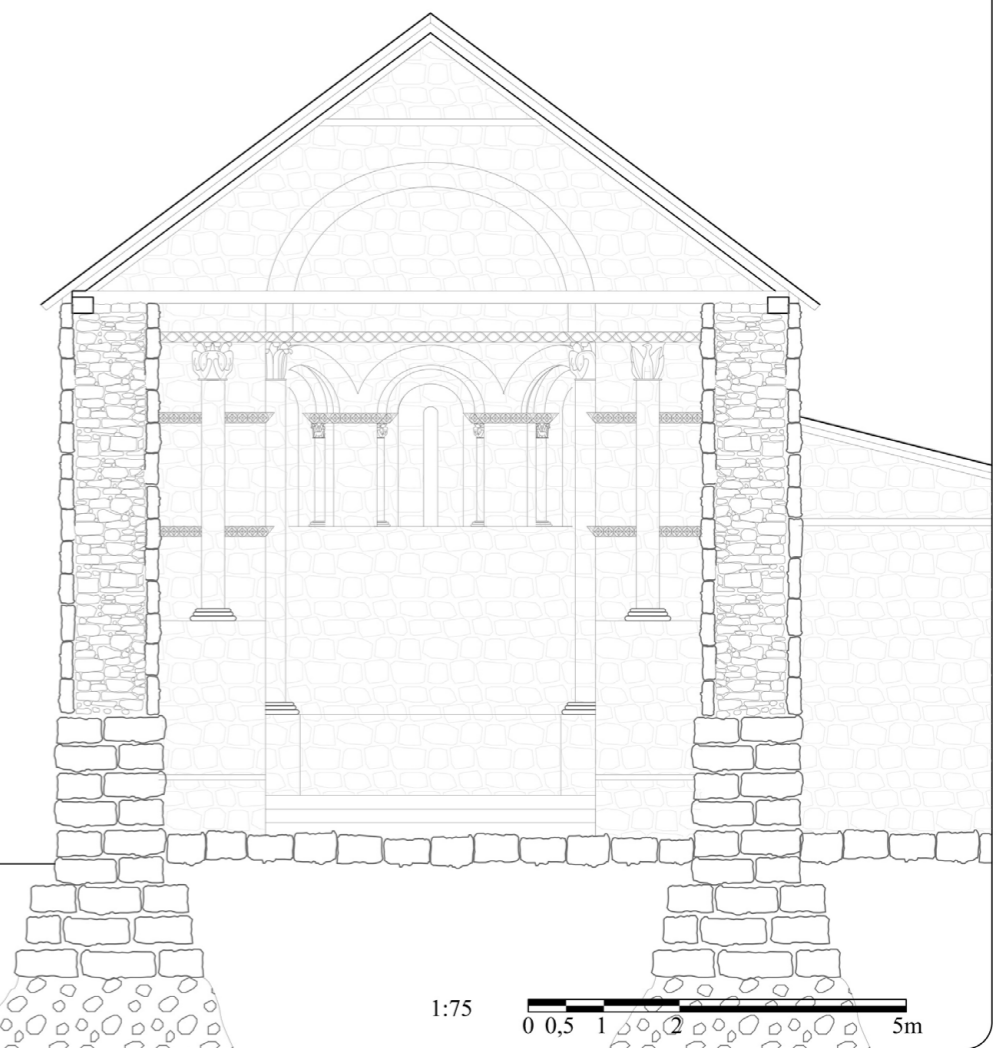
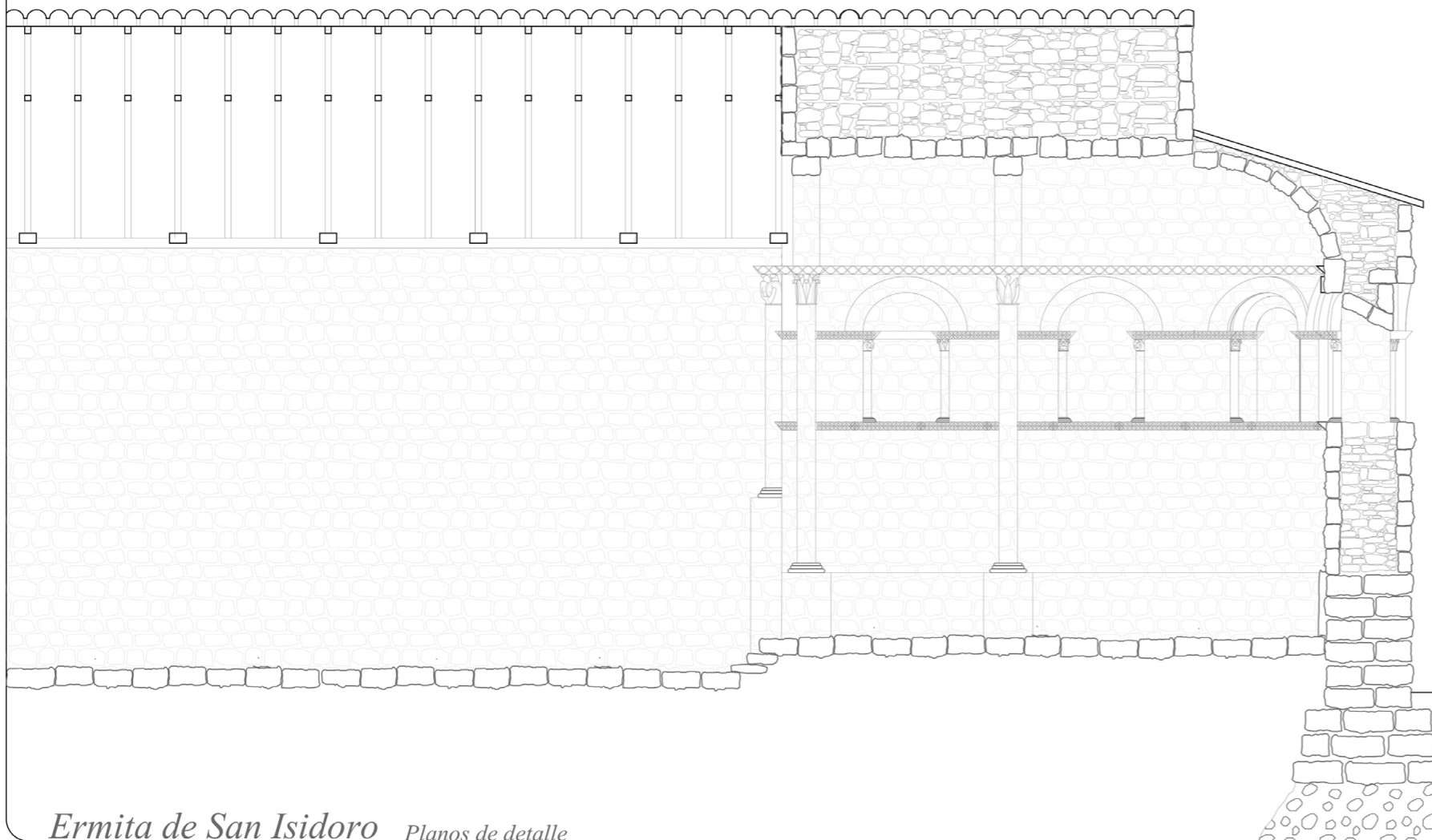
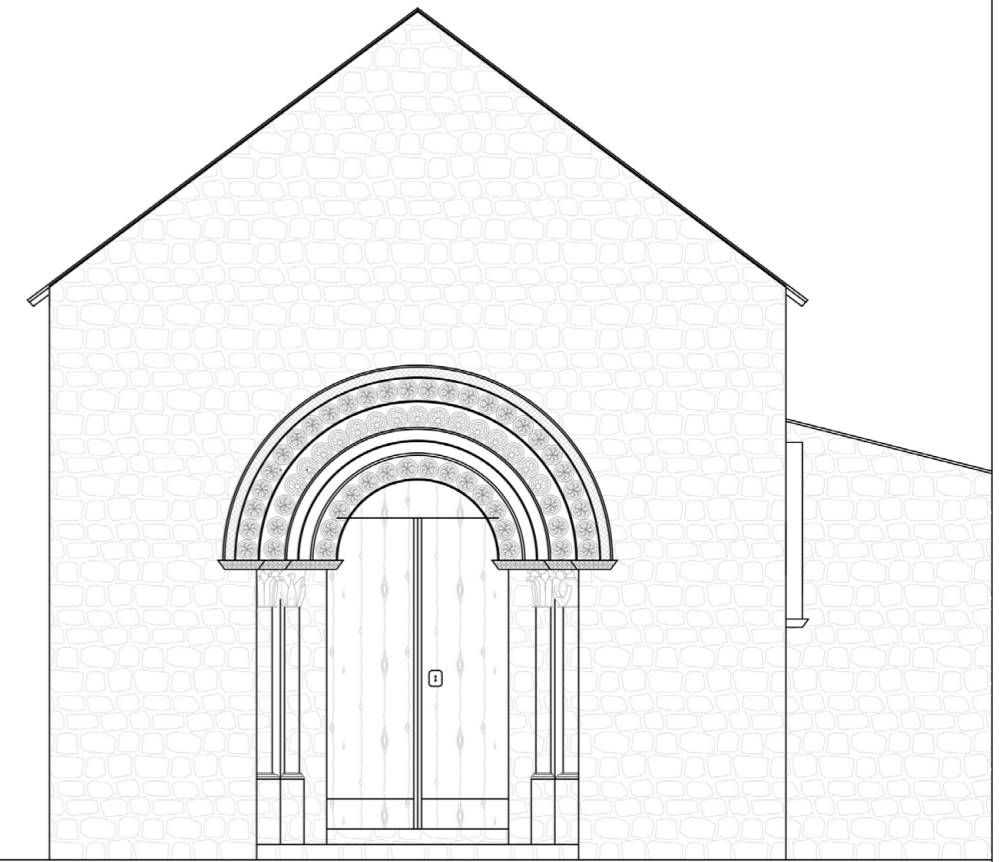
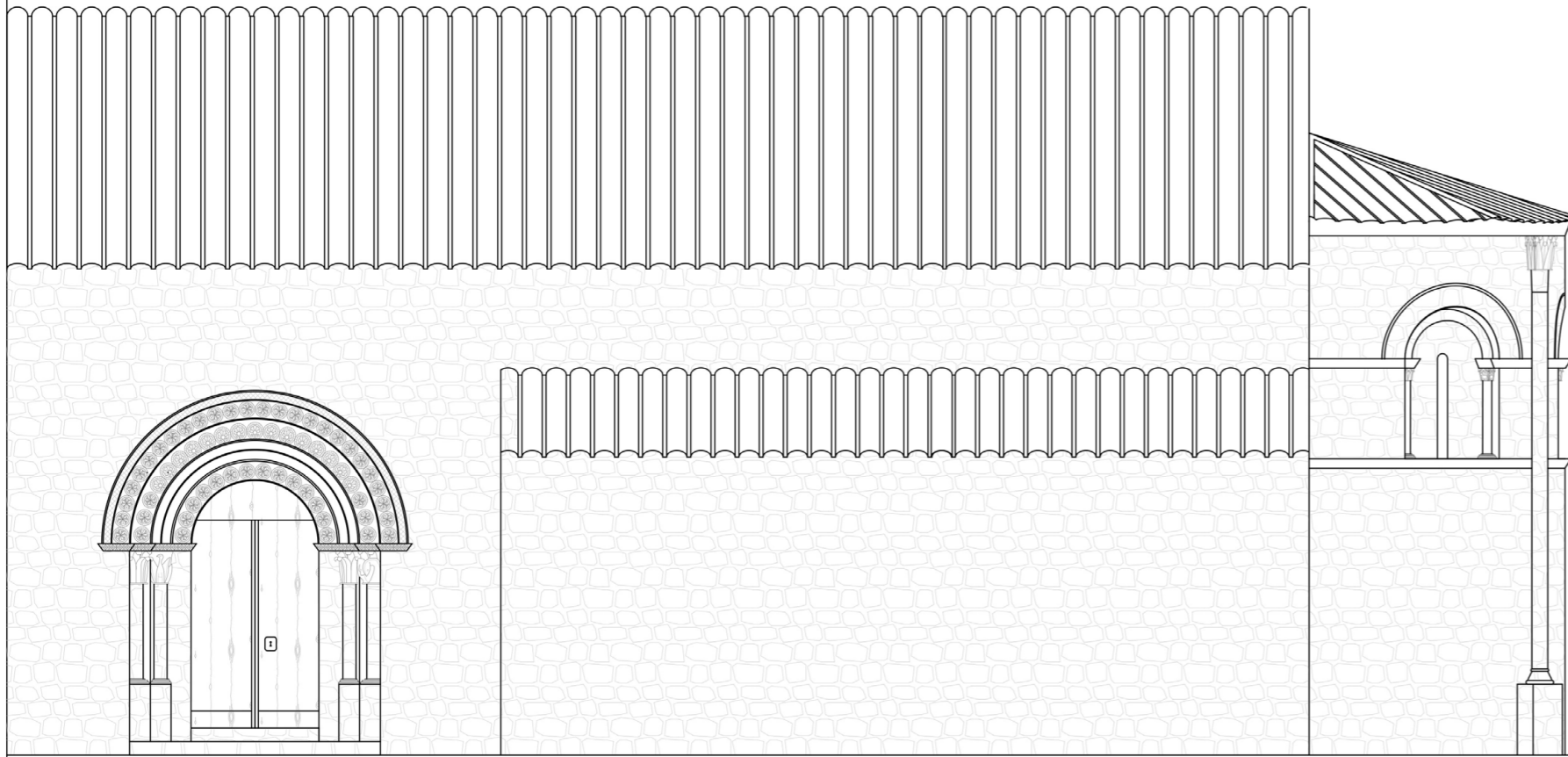
Sur

Oeste

Norte

Alzados después de la reforma





Anexo II **Fichas de información**

Página siguiente:

Ficha: Historia/PmT

Fuente: Elaboración propia

Fotografía: Portada Sur de San Isidoro en el Retiro, 1920. Por Augusto Arcimis, primer director del Instituto Central Meteorológico.

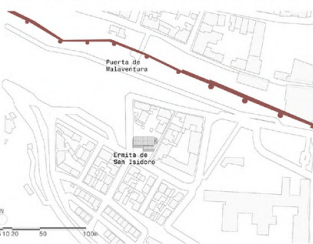
Ficha: Historia/PMT

Fuente: Elaboración propia

Imagen mapa: Robledo, J. L. G. (2009). Las murallas de Ávila: Arquitectura e historia. Diputación de Ávila, Institución Gran Duque De Alba.

HISTORIA

EMPLAZAMIENTO ORIGINAL EN ÁVILA



Las piezas que se mantienen en pie hoy en día se encuentran en un avanzado estado de deterioro. En pocos años se han perdido muchos detalles que hoy en día no podemos distinguir. Se han perdido matices de las decoraciones de los últimos capiteles que quedaban en pie, a la vez que los motivos de los arcos de las portadas. Permaneciendo esta información ilustrada en algunos planos y capturado en algunas fotografías de hace años.

Este deterioro se debe a la piedra Caleño, de la que se constituye la mayor parte de la Ermita. Se identifican tres variedades cromáticas (blanca, ocre y roja), con predominancia de la ocre. Los análisis muestran que la piedra presenta alta porosidad, baja cohesión y vulnerabilidad al agua, lo que acelera su degradación.

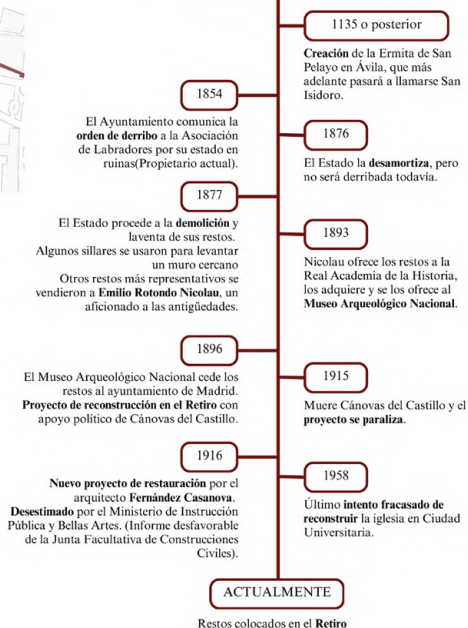
La acción del agua, la formación de minerales secundarios como el yeso, la barita y el ópalo, y la exposición a humedad, riego de jardines y acciones antrópicas son las principales causas de deterioro.



Si comparamos la primera fotografía de la que disponemos (1920) y una fotografía actual podemos comprobar el gran cambio y deterioro de los detalles que se podían observar en la portada Sur con una diferencia de 100 años.

Recorte de fotografía de Augusto Arcimis, primer director del Instituto Central Meteorológico. 1920

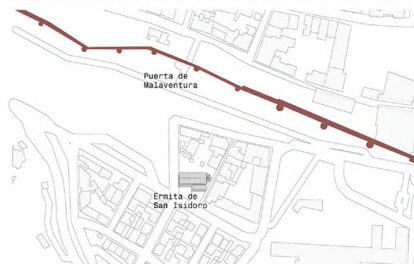
LÍNEA DEL TIEMPO



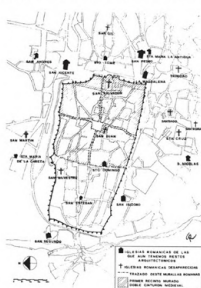
HISTORIA

La iglesia, fundada en Ávila con el nombre de San Pelayo, pasó a llamarse San Isidoro. Se dice que albergó los restos del santo en su paso hacia León.

UBICACIÓN DE LA IGLESIA DE SAN ISIDORO EN ÁVILA

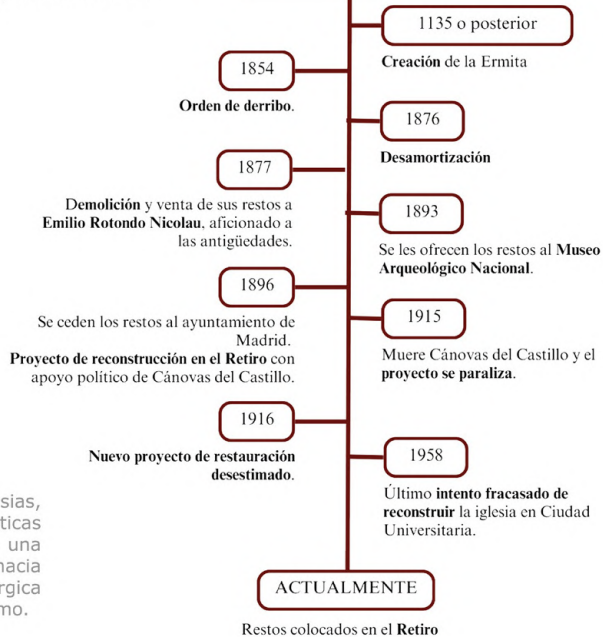


MAPA DE LAS IGLESIAS EN ÁVILA



En Ávila todas las iglesias, como todas las características del estilo románico tenían una orientación con su ábside hacia el este, orientación litúrgica característica del cristianismo.

LÍNEA DEL TIEMPO



Página siguiente:

Ficha: Estructura/PmT

Fuente: Elaboración propia

Ficha: Estructura/PMT

Fuente: Elaboración propia

*Imagen esquema:
Benedicto Salas, R. (2015).
La construcción de la
arquitectura románica.
Institución «Fernando el
Católico,» Excma. Diputación
de Zaragoza, p.27-28.*

[Enlace a Planos Planta
y Secciones: Anexo
I Planimetría](#)

ESTRUCTURA

La distribución de la planta de la ermita se puede dividir en varias partes.

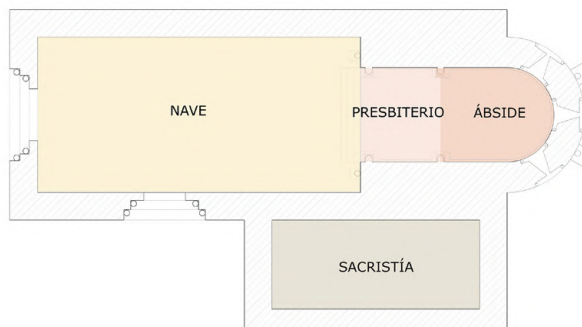
Esta tipología es muy poco común en el románico aunque San Esteban, otra ermita que se encuentra en Ávila, se le acerca bastante.

Su forma destaca por una cabecera con un profundo ábside y presbiterio, y un cuerpo o nave con escasas dimensiones en proporción.

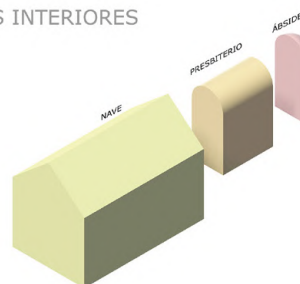
Durante un tiempo tuvo una sacristía adosada en uno de sus laterales.

La cabecera estaba elevada y se accedía al presbiterio por escaleras.

El ábside tenía bóveda de cañón y horno, con arcos fajones sobre semicolumnas en plintos.



ESPACIOS INTERIORES



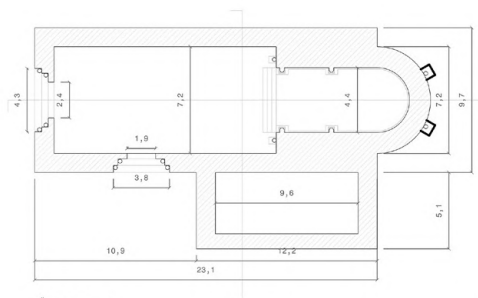
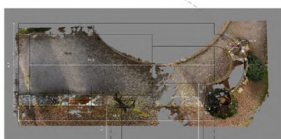
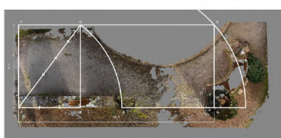
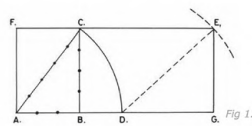
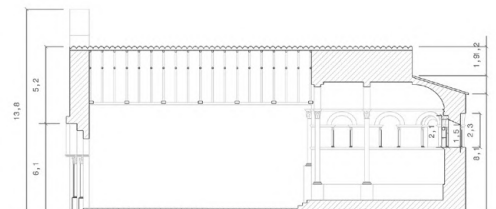
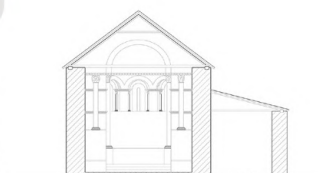
ESTRUCTURA

La cabecera se encontraba elevada respecto a la nave, y se accedía al presbiterio mediante unas escaleras.

La zona del ábside se cubría con una bóveda de cañón y otra de horno. Los arcos fajones que la reforzaban se apoyan en semicolumnas que acaban en plintos.

En las paredes entre ellos se encontraban arcos ciegos. Las ventanas del ábside contaban con columnillas apoyadas en basas con capiteles de motivos zoomórficos y vegetales.

Este mismo esquema se refleja a su vez en el exterior del ábside. Las semicolumnas que se sitúan entre las ventanas se colocan sobre un plinto elevado considerablemente y los capiteles de éstas doblan el tamaño de los de las ventanas.



Planta y secciones de la ermita de San Isidoro Reconstruida

ENLACE A PLANOS PLANTA Y SECCIONES

Fig 2.

Página siguiente:

Ficha: Cubierta/PmT

Fuente: Elaboración propia

Dibujo 1: <https://documentomudejares.blogspot.com/2012/03/armadura-de-par-e-hilera-y-de-nudillo.html>

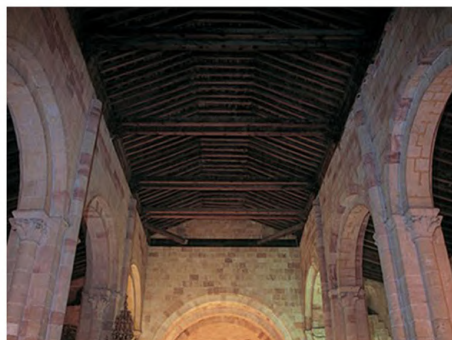
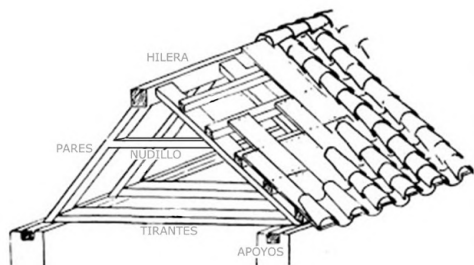
Dibujo 2: Benedicto Salas, R. (2015). La construcción de la arquitectura románica. Institución «Fernando el Católico,» Excma. Diputación de Zaragoza

Imagen: García Guinea, M. Á., González, J. M. P., & Robledo, J. L. G. (2002). Ávila: Enciclopedia del Románico en Castilla y León. Centro de Estudios del Románico. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=696203>

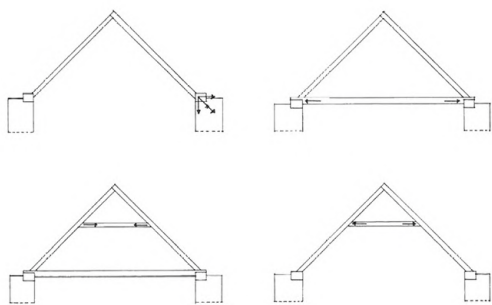
Ficha: Cubierta/PMT

Fuente: Elaboración propia

CUBIERTA DE MADERA



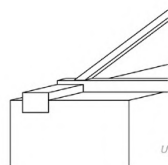
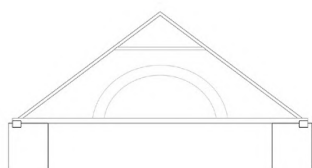
Cubierta similar a la de San Isidoro, en San Andrés de Ávila



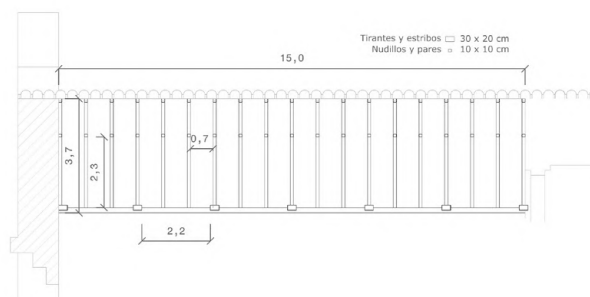
La estructura que sujeta la cubierta está constituida por madera. Es una técnica muy frecuente en el románico. Los ensamblajes se hacían tradicionalmente con encajes, sin el uso de clavos metálicos.

Esta estructura de madera que forma la armadura se apoya sobre los muros de piedra, y distribuye las cargas a éstos.

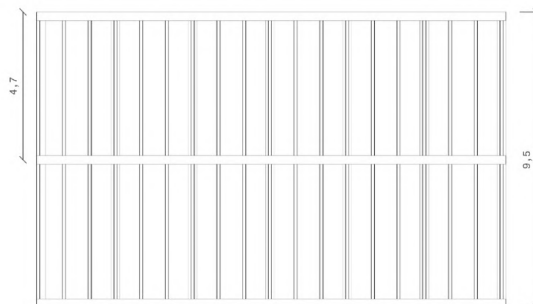
CUBIERTA DE MADERA



Unión de la cubierta con el muro



Tirantes y estribos □ 30 x 20 cm
Nudillos y pares ○ 10 x 10 cm



La estructura que sujeta la cubierta está constituida por madera. Es una técnica muy frecuente en el románico. Los ensamblajes se hacían tradicionalmente con encajes, sin el uso de clavos metálicos.

La estructura constaba de unos tirantes que sujetaban dos laterales inclinados entre 30° y 45°. Las armaduras normalmente se sitúan a 0,6-0,9 m de separación de forma paralela para recibir el tablonado soporte de piezas.

Página siguiente:

Ficha: Muros/PmT

Fuente: Elaboración propia

Ficha: Muros/PMT

Fuente: Elaboración propia

*Imagen 1: Fotografía
de Augusto Arcimis*

*Imagen 3 y 4: Informe de
degradación proporcionado por
David Sanz Arauz. Profesor de la
ETS. Arquitectura de la UPM*

Enlace al Informe del Estado
de degradación: Informe de
degradación proporcionado por
David Sanz Arauz. Profesor de la
ETS. Arquitectura de la UPM

MUROS



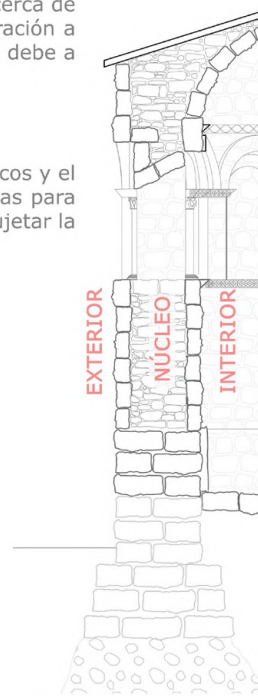
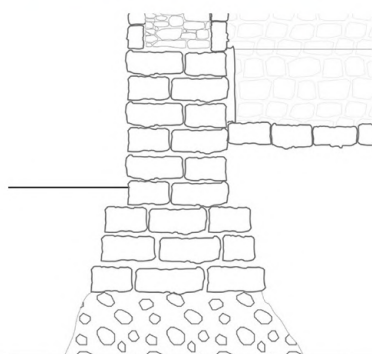
Los muros en el románico tenían grosores de cerca de 1 metro, una anchura considerable en comparación a los muros que vemos en la actualidad. Esto se debe a que se componían de tres capas:

EXTERIOR-NÚCLEO-INTERIOR

Las capas interior y exterior tenían fines estéticos y el núcleo rellenaba el hueco entre estas dos capas para tener una masa y resistencia suficiente para sujetar la estructura de la Ermita.

Los muros se creaban tan anchos y con pocos huecos hacia el exterior para no comprometer la estructura, por eso normalmente entra muy poca luz a las construcciones hechas en este período

Para los cimientos primero se reforzaba el terreno de la base y después se construía encima con la estructura en tres capas de dos hojas exteriores y un núcleo entre medias.



MUROS

EL deterioro tan avanzado que sufren estas ruinas se debe a la piedra Caleño, de la que se constituye la mayor parte de la Ermita. Se identifican tres variedades cromáticas (blanca, ocre y roja), con predominancia de la ocre. Los análisis muestran que la piedra presenta alta porosidad, baja cohesión y vulnerabilidad al agua, lo que acelera su degradación.

La acción del agua, la formación de minerales secundarios como el yeso, la barita y el ópalo, y la exposición a humedad, riego de jardines y acciones antrópicas son las principales causas de deterioro.

Estos efectos de deterioro se ven multiplicados también por la proximidad a la circulación de vehículos motorizados, que contaminan el ambiente próximo a las ruinas. Además de numerosos actos de vandalismo que han sufrido las superficies de piedra al ser pintadas.



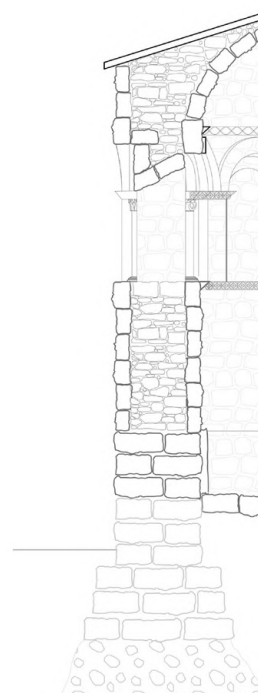
La composición de los muros se puede dividir en tres capas. La exterior conformada de sillería de piedra caleño, la interior o el núcleo de fragmentos de piedras, y la interior de sillería y en algunas zonas de ladrillo como se puede ver en el muro de la Portada Sur que se mantiene en las ruinas.

[ENLACE AL INFORME ESTADO DE DEGRADACIÓN](#)



Imágenes de la piedra de las ruinas

Las piezas que se mantienen en pie hoy en día se encuentran en un avanzado estado de deterioro. En pocos años se han perdido muchos detalles que hoy en día no podemos distinguir. Se han perdido matices de las decoraciones de los últimos capiteles que quedaban en pie, a la vez que los motivos de los arcos de las portadas. Permaneciendo esta información ilustrada en algunos planos y capturado en algunas fotografías de hace años.



Página siguiente:

Ficha: Decoración/PmT

Fuente: Elaboración propia

Imagen abajo izquierda y derecha: García Guinea, M. Á., González, J. M. P., & Robledo, J. L. G. (2002). Ávila: Enciclopedia del Románico en Castilla y León. Centro de Estudios del Románico. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=696203>

Imagen medio derecha: <https://arteguias.com/iglesia/sanandresavila.htm>

Ficha: Decoración/PMT

Fuente: Elaboración propia

Imagen abajo izquierda y derecha: García Guinea, M. Á., González, J. M. P., & Robledo, J. L. G. (2002). Ávila: Enciclopedia del Románico en Castilla y León. Centro de Estudios del Románico. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=696203>

Imagen medio derecha: <https://arteguias.com/iglesia/sanandresavila.htm>

Enlace a Planos de Detalle:
Anexo I. Secciones de Detalle

DECORACIÓN

Interior

Las impostas se decoran con motivos de lacería (1). Los capiteles contenían imágenes de cuadrúpedos, leones, aves y hojas (3).

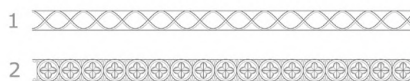
Exterior

Encontramos tres impostas con rosetones la superior (2) y las dos inferiores con lacerías (1). Los capiteles contenían imágenes similares a las del interior.

Portada meridional (4)

Los detalles decorativos de la portada Sur, que es la que se mantiene actualmente aunque considerablemente deteriorada, consisten en una imposta de rosetas con flores de cuatro pétalos sobre la que se apoyan arcos de medio punto con decoraciones de rosetas (5).

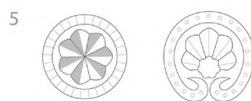
Los capiteles eran de acantos, y con animales y grifos volteando la cabeza.



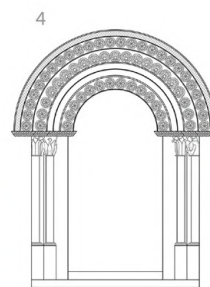
Imposta con lacería en el ábside de San Isidoro



Capiteles similares en San Andrés en Ávila



Motivos de rosetas y capiteles parecidos a los de San Isidoro en San Andrés



Portada similar a la de San Isidoro en San Andrés

DECORACIÓN

Interior

Las impostas se decoran con motivos de lacería (1). Los capiteles contenían imágenes de cuadrúpedos, leones, aves y hojas (3).

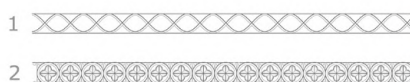
Exterior

Encontramos tres impostas con rosetones la superior (2) y las dos inferiores con lacerías (1). Los capiteles contenían imágenes similares a las del interior.

Portada meridional (4)

Los detalles decorativos de la portada Sur, que es la que se mantiene actualmente aunque considerablemente deteriorada, consisten en una imposta de rosetas con flores de cuatro pétalos sobre la que se apoyan arcos de medio punto con decoraciones de rosetas (5).

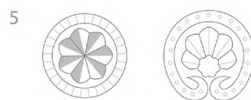
Los capiteles eran de acantos, y con animales y grifos volteando la cabeza.



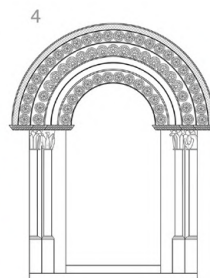
Imposta con lacería en el ábside de San Isidoro



Capiteles similares en San Andrés en Ávila



Motivos de rosetas y capiteles parecidos a los de San Isidoro en San Andrés



Portada similar a la de San Isidoro en San Andrés

[ENLACE A PLANOS DETALLE](#)

Página siguiente:

Ficha: Reforma/PmT y PMT

Fuente: Elaboración propia

Imagen arriba: Kagan, R. L. (1986). Ciudades del Siglo de Oro: Las vistas españolas de Anton Van den Wyngaerde. Ed. El Viso.

Imagen abajo: <https://www.academiacolectores.com/estampas/monumentos-arquitectonicos-espana.php>

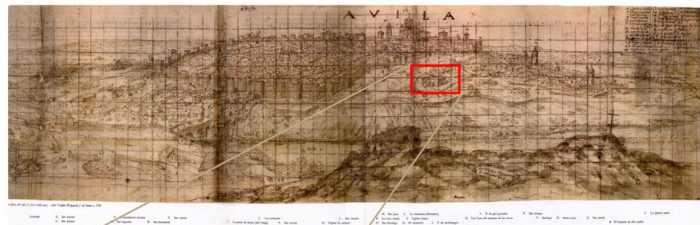
[Enlace a Modelo antes de la Reforma:](#) Modelo 3D
Reconstruido de las Ruinas de San Isidoro antes de la reforma.

[Enlace a Modelo después de la Reforma:](#) Modelo 3D
Reconstruido de las Ruinas de San Isidoro después e la reforma.

REFORMA

Observamos que en 1570 San Isidoro tenía un aspecto distinto que en 1864. Es de esta manera en la que vemos los efectos de una reforma que tuvo lugar entre 1656 y 1662.

Antes de la reforma existía una espadaña que más adelante desapareció, y en el dibujo de Wyngaerde observamos que aún no se habían incluido la sacristía lateral ni la portada sur.



Vista de Ávila de Wyngaerde, 1570



MODELO
ANTES DE LA REFORMA

MODELO
DESPUÉS DE LA REFORMA



Aznar y García, Francisco, Monumentos Arquitectónicos de España, 1864

