

## Trabajo Fin de Grado

Difusión Digital del Patrimonio Arquitectónico  
Aragonés  
1/2 Memoria

Autor/es

Carlos Juan Vidal López

Director/es

Zaira Peinado Checa

Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA)  
2014

# Difusión Digital del Patrimonio Arquitectónico Aragonés

## Resumen

El objetivo del proyecto es el desarrollo de un plan de difusión del patrimonio arquitectónico aragonés (edificio o conjunto de edificios), haciendo hincapié en las estrategias gráficas orientadas a los medios digitales, incluyendo levantamientos arquitectónicos, infografías, modelos interactivos, etc.

Se va a realizar una búsqueda de información en biblioteca (distinta bibliografía asociada al proyecto) y en soporte digital (webs, blogs, revistas digitales, etc.) que complemente esa información. En el levantamiento digital del objeto de interés se emplearán software de dibujo vectorial, para los resultados en dos dimensiones, y software fotogramétrico, para los resultados en tres dimensiones.

Para el desarrollo del trabajo se pretende realizar un análisis del elemento del patrimonio arquitectónico aragonés, realizar un levantamiento arquitectónico y establecer un sistema digital que permita la difusión de esa información.

La elaboración del trabajo se plantea en seis fases:

- Descripción del objeto arquitectónico de estudio (contexto, historia, etc.)
- Descripción de levantamiento arquitectónico
- Descripción de las distintas herramientas digitales aplicadas.
- Descripción del uso de las herramientas digitales aplicadas.
- Elaboración de un sistema de difusión de la información.
- Conclusiones

## **Índice**

1_Difusión Digital del Patrimonio Arquitectónico Aragonés: Iglesias del Serrablo	.....	01
2_Patrimonio Arquitectónico Aragonés, Iglesias del Serrablo	.....	03
2.1_Iglesia San Martín, Artó	.....	06
2.2_Iglesia San Martín, Oliván	.....	08
2.3_Iglesia San Pedro, Lasieso	.....	10
2.4_Iglesia San Pedro, Lárrede	.....	12
3_Levantamiento arquitectónico, Definición y uso de la fotogrametría	.....	14
4_Plan de Difusión Digital. Realidad Aumentada y servicios web	.....	22
5_Conclusiones	.....	29
Referencia de imágenes	.....	31
Bibliografía	.....	36
Anexo		
Fotogrametría San Pedro de Lárrede		
Fotogrametría Lasieso, Artó y Oliván		
Planimetría San Pedro de Lárrede		
Documentación Digital		



# Difusión Digital del Patrimonio Arquitectónico Aragonés

por Carlos Juan Vidal López

## **1\_Difusión Digital del Patrimonio Arquitectónico Aragonés: Iglesias del Serrablo**



Figura 01\_Asociación Amigos del Serrablo

Relegados al olvido y abandono, en una sociedad cada vez más digitalizada, se encuentran multitud de piezas de interés arquitectónico alejadas del foco cultural. Por ubicación, dimensión o simple desconocimiento de su existencia, un gran número de obras históricas permanecen apartadas en un segundo plano.

La arquitectura, a diferencia de otras grandes artes, se presenta casi siempre como un elemento inmóvil, ligado a un contexto geográfico concreto. Este hecho, sumado a que su entendimiento completo se basa únicamente en una experiencia directa, provoca la situación de desconocimiento de las “pequeñas obras” alejadas de cualquier factor mediático, siendo este factor un punto crítico.

La sociedad avanza en un camino absolutamente digital, cuyo peso en el factor cultural es absoluto e indiscutible. Las nuevas tecnologías desarrolladas en las últimas décadas han permitido ampliar el horizonte intelectual del individuo gracias a su gran poder de difusión, generando la bien denominada “sociedad de la información”.

Este desarrollo digital también ha tenido repercusión en el mundo de la arquitectura, donde las obras de gran calado social y/o las obras de autor han sido las capaces de introducirse en las nuevas redes de información. El objetivo del trabajo será de incorporar estas arquitecturas “anónimas” y de gran interés a este nuevo medio digital, ponerlas en conocimiento y permitir una cierta interacción, acercándolas a la sociedad.

El conjunto de las *Iglesias del Serrablo* situadas en el Alto Gállego, comarca de la provincia de Huesca, va a ser el objeto de interés sobre el cual se va a desarrollar el trabajo. A partir de un ejercicio de recopilación de información, se va a definir y realizar un estudio de levantamiento arquitectónico digital. Apoyándose en tecnologías de fácil uso, el levantamiento digital se va a realizar por medio de procesos fotogramétricos, es decir, por medio de una técnica que determina las propiedades geométricas de los objetos y sus situaciones espaciales a partir de fotografías, tomando estas fotografías con una serie de reglas sencillas para asegurar una alta calidad profesional.

El programa empleado para realizar el levantamiento arquitectónico, *Agisoft PhotoScan*, va a permitir crear un modelo tridimensional de cualquier objeto que pueda ser fotografiado en distintas posiciones, utilizando las técnicas de correlación de imágenes que permiten la identificación de puntos homólogos radiométricos de forma automática.

Esta técnica se denomina *Structure from Motion*. Así, el resultado es un modelo tridimensional del objeto fotografiado, plasmado en una malla generada a partir de esos puntos homólogos. Además, es capaz de incorporar texturas a esas mallas partiendo también de las fotografías insertadas, dotándolo de cierto carácter material.

Una vez obtenidas tanto la descripción como el levantamiento, el siguiente paso es establecer un sistema de difusión digital. Este plan se puede considerar como la base sobre la cual otros usuarios puedan continuar el trabajo realizado. Para este fin, se emplearan distintas herramientas del mundo digital capaces de fomentar el conocimiento inmediato de los elementos.

Un ejemplo posible es el uso de la *Realidad Aumentada*, término que define la visión artificial de la realidad a través de un dispositivo que sobreimpriime la información digital sobre la real del entorno. De hecho, distintos ejemplos pueden ser las placas con códigos QR, aplicaciones de reconocimiento de volúmenes, diseño de páginas web, volcado a plataformas digitales de gran expansión,... Muchos son los medios de volcar los distintos resultados del ejercicio, pero todos comparten el objetivo principal del trabajo: acercar al ciudadano las distintas piezas arquitectónicas y permitir una cierta interacción con ellas.

En resumen, el principal propósito del trabajo es digitalizar una serie de obras arquitectónicas para el interés público, actualmente poco conocidas. Para ello se van a utilizar una serie de herramientas sencillas y de fácil manejo para establecer una catalogación y levantamiento arquitectónico digital, cuya finalidad sea su inserción en el mundo digital cotidiano, pretendiendo así su divulgación entre la sociedad.



Figura 02\_Biblioteca global

## 2\_Patrimonio arquitectónico Aragonés, Iglesias del Serrablo



Figura 03\_San Juan de Busa,  
fotografía de Javier Ara



Figura 04\_Plano de situación territorial, poblaciones

Como se ha mencionado previamente, el conjunto arquitectónico del cual se va a hacer uso a lo largo del trabajo se trata de las iglesias incorporadas al grupo conocido como “*Iglesias del Serrablo*”.

Estas iglesias se localizan generalmente en el margen izquierdo del río Gállego, en la comarca del Alto Gállego (fig. 04), Huesca. Se tratan de construcciones datadas de los siglos X y XI, época de conjunción cultural con la llegada de pobladores cristianos de tradición constructiva visigótica y de mozárabes del waliato musulmán de Huesca con tradición mozárabe. La construcción de las iglesias vino de parte de los monasterios, promotores del cristianismo en el territorio y activos impulsores de la recolonización del territorio.

La adscripción estilística de las edificaciones ha sido, y sigue siendo, fruto de conflicto intelectual entre, principalmente, dos grandes posturas. La primera defiende una catalogación como piezas de factura mozárabe basándose en los rasgos andalusíes que muestran las edificaciones y la segunda, como piezas de románico primitivo o protorrománico aragonés, influido o desarrollado en paralelo al románico lombardo, también presente en otras zonas de Aragón. Es imposible certificar ninguna de las dos posturas debido a la falta de documentación histórica. Es este hecho quizás uno de los puntos de mayor interés, ya que enmarca el carácter singular y único en el mundo del arte.

Independientemente de la corriente intelectual, se puede ver como todas ellas presentan una homogeneidad constructiva y decorativa, salvo alguna excepción, como por ejemplo San Pedro en Lárrede. La mayoría de templos serrables constan de un esquema de nave única con presumible techumbre de madera a dos aguas que finaliza en un ábside semicircular abovedado. El ábside presenta en su exterior una articulación a base de un friso superior compuesto por baquetones verticales, una posible herencia del mundo musulmán, y un registro inferior, configurado a base de arcos ciegos apeados sobre lesenas de carácter carolingio. Únicamente las construcciones más primitivas, probablemente por influencia visigótica, presentan una cabecera cuadrangular, siendo ejemplo San Bartolomé de Gavín.



Figura 05\_ Torre de la iglesia de San Bartolomé, Gavín

Las puertas de acceso se sitúan generalmente al costado meridional de las fábricas, presentando por norma general vanos de herradura o falsa herradura enmarcados en pequeños casetones rectangulares rehundidos, conocidos como alfices y herederos de la cultura musulmana.

Las ventanas, orientadas a Sur por lógica climática, continúan el modelo de la portada con huecos en herradura, bien simple o bíforo, enmarcados igualmente por los mencionados casetones rectangulares.

Las torres-campanario (fig. 05) también forman un elemento significativo y singular del conjunto. Esto es debido a su esbeltez en proporción respecto del resto de la fábrica, de latente similitud con los minaretes musulmanes. Las torres se configuran como un volumen abierto en su último cuerpo y en sus cuatro frentes mediante vanos bíforos o tríforos de ligera herrería, apoyados sobre fustes realizados mediante bloques cilíndricos superpuestos.

Siguiendo la línea de investigación de Don Antonio Durán Gudiol (1918-95), historiador, canónigo archivero de la catedral de Huesca y defensor de la línea mozárabe (fig. 06), se pueden resaltar 4 fases en la construcción de estas iglesias.

En la primera fase, entre los años 920 y 950, se edificaron iglesias de ábside rectangular y primaba el uso del arco de herradura pero se desconocía el alfiz. Las tres iglesias que se construyeron en esta época fueron las iglesias de San Bartolomé de Gavín, y las ermitas de San Juan y Santa María de Espierre, quizás pudiendo añadir también el monasterio de San Pelay de Gavín. En estos casos, predomina la tradición visigótica.

La segunda fase, dataría ya de mediados de siglo X, donde aparece el alfiz, el friso de baquetones y las arcuaciones murales ciegas en los ábsides, reforzándose el uso de los arcos de herrería y las torres-minarete. A esta época pertenecen las iglesias de Lárrede, Basarán, Otal y la torre de San Bartolomé de Gavín.

Durante el 1er cuarto del siglo XI puede definirse una tercera fase, donde se deja de usar el arco de herradura y el alfiz, conservando la torre y la decoración del paño exterior del ábside. Se incluyen en este periodo la iglesia de Lasieso con su torre, Orós Bajo, Satué, Isún y Ordovés.

La última fase se ve influenciada por el estilo lombardo abarcando el segundo cuarto del siglo XI, manteniéndose el uso del friso de baquetones e incorporando el uso de las arcuaciones lombardas. Pertenecen a este grupo las iglesias ya alejadas del núcleo propiamente serrablés, veáse las iglesias de Sescún, Nasarre, Larrosa, Banagüás y Yeste (Garcés 2007).

Este grupo de iglesias fueron catalogadas como *Monumentos Histórico-Artísticos* el 29 de septiembre de 1982 (a excepción de la iglesia de Lárrede, reconocida en 1931) gracias en buena parte a la labor de restauración y difusión de la organización *Amigos del Serrablo*, fundada en 1971 y declarada de *Utilidad Pública* por el ministerio en el año 2000.

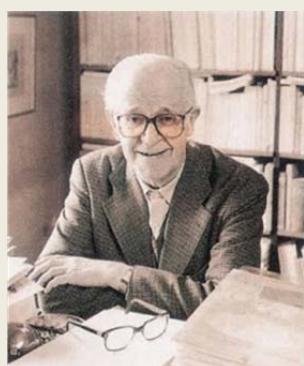


Figura 06\_ Fotografía de Antonio Durán Gudiol

Para finalizar la explicación del conjunto con las palabras, cabe citar a D. Mariano Fañanás Blanc, expresidente de la comarca del Alto Gállego:

Existen tópicos que no por más repetidos dejan de ser verdad, como es el hecho de que en la Comarca del Alto Gállego existen una serie de iglesias únicas en el mundo del arte. Son pequeñas joyas, no son grandes catedrales, pero su encanto radica precisamente en ese inocente encanto de las cosas sencillamente perfectas, en ese buen gusto que no entiende de tamaños (Garcés 2007).

Debido a su interés particular, se va a proceder a definir particularmente las iglesias de San Martín en Artó, San Martín en Oliván y San Pedro en Lasieso, además de la iglesia de San Pedro de Lárrede, considerada como prototipo de este conjunto arquitectónico, y que va a ser el foco del trabajo. Se reseñarán los patrones o desarrollos constructivos propios de cada iglesia y la catalogación de cualquier patrimonio cultural y religioso que pudieran contener en su interior.



Figura 07\_Plano de la Ruta del Serrablo (1979)

## 2.1\_Iglesia de San Martín, Artó



Figura 08\_San Martín de Artó

### HISTORIA

Catalogada como Bien de Interés Cultural en 1982, la iglesia sufrió profundas transformaciones en su estructura interna a lo largo de su historia, además de una reforma de cubiertas en 1984, las cuales se hallaban completamente derruidas. Sin embargo se conservaron algunos elementos de su estado primigenio:

*"(...) conservando parcialmente el ábside según modelo serrablés y el muro meridional parece ser original, lo que unido a la escasa luz del ábside y la separación entre ambos posibilita la primitiva existencia de cabecera al menos doble, con modificaciones importantes en el siglo XVIII."* (Higueras 1981).

Se trata de un edificio construido en un sistema de sillería de tamaño medio, colocado a soga y tizón. La planta se organiza en un esquema de nave central basilical colmatada con el ábside circular característico serrablés, es decir, decorado a base de arcos ciegos y lesenas. Además, presenta naves laterales adosadas, rematadas ambas con ábsides también de forma circular, en un sistema de ampliación similar al seguido en otras contemporáneas como las iglesias de Lasieso y Basarán (fig. 09). El acceso se realiza en la fachada meridional.

La primera reforma sucedió en el siglo XVI, en la invasión francesa, que dio lugar a la construcción de la torre como elemento defensivo, y que se levantó sobre el ábside de la nave sur y parcialmente sobre el ábside de la nave central (fig. 10).

Durante el siglo XVIII se realizó el cambio más significativo con la definición de las capillas internas ocupando las naves laterales. Esto generó un nuevo esquema en planta de una sola nave central. Con la aparición de las capillas nació la necesidad de perforar una nueva puerta a poniente de la anterior, actualmente cegada. Además, se eliminó el ábside de la antigua nave superior para dar coherencia a la nueva planta. Tanto la nueva nave central como los sistemas de capillas y nueva entrada, quedaron cubiertos por un sistema de bóvedas de medio cañón.

Ya en 1984, ante la ruina total que mostraban las cubiertas del edificio, la organización *Amigos del Serrablo* procedió a una rehabilitación integral, dando como resultado un sistema de cerchas de madera que dan soporte a la cubierta a dos aguas (fig. 11).



Figura 09\_Hipótesis planta original, San Martín de Artó



Figura 10\_Desarrollo torre, San Martín de Artó



Figura 11\_Bóvedas / Nueva cubierta, fotografía interior

## PATRIMONIO



Figura 12\_Relojes de sol,  
esquina Sureste



Figura 13\_Relojes de sol,  
esquina Noroeste

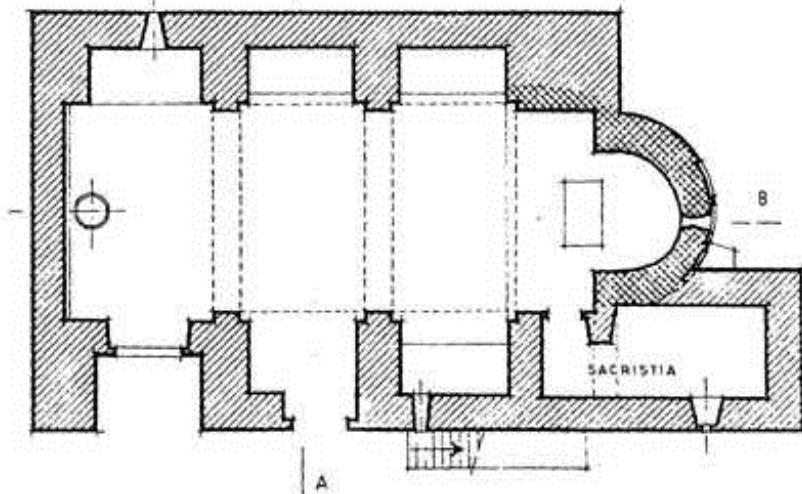
Como elementos de patrimonio artístico-cultural y religioso vinculados a esta iglesia, hay que destacar el retablo, pintado en 1500 por el pintor oscense Francisco Baget, que decoraba antaño el altar mayor, situado en la zona del ábside de la nave central.

En la cara opuesta al altar, en el otro extremo de la nave central, se sitúa una tosca pila bautismal, que por su perímetro exterior poco elaborado pudo ser diseñada para ser soterrada hasta el borde de su vaso.

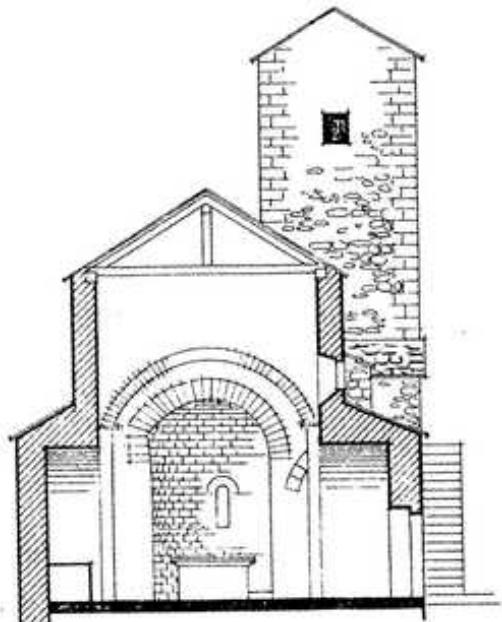
Ya en el exterior, y procedente de las últimas reformas del templo, se encuentran tres relojes solares, situados dos de ellos en la esquina Sureste (fig. 12) y en la parte baja de la torre, dando cada uno a un plano distinto del mismo sillar. El tercero se sitúa en la esquina opuesta, la Noroeste (fig. 13).

*"En realidad se trata de un mismo reloj repartido en tres franjas horaria: la primera mira hacia el este y corresponde a las primeras horas del día; a su lado hay otra dirigida hacia el sur que abarca desde las 7 de la mañana hasta las tres de la tarde; por último hacia el oeste está la que indica desde las dos del mediodía hasta las seis de la tarde" (Panel informativo en el interior del templo).*

## DESCRIPCION GRAFICA BASICA



Arriba - Figura 14\_Planta San Martín (1979)  
Dcha. - Figura 15\_Sección San Martín (1979)



## 2.2\_Iglesia de San Martín, Oliván



Figura 16\_San Martín de Oliván

### HISTORIA

Catalogada como como Bien de Interés Cultural en 1982, la iglesia original está conformada por sistema de sillería de tamaño medio, colocado a soga y tizón, generando una nave de forma trapezoidal. Presenta una torre adosada al muro Norte, y el conjunto viene acompañado por la situación de un pequeño cementerio acomodado en el desnivel del terreno.

*“En el exterior del ábside, en el que se abren tres ventanas de doble derrame, el friso de baquetones y siete arcadas ciegas.” (Durán1998).*

El ábside que corona la nave presenta, tal y como describen las palabras previas de Antonio Durán, el esquema típico del conjunto de las Iglesias del Serrablo. Cabe destacar que su finalización interior se corresponde con un sistema de bóveda de horno y quizás también que los tres vanos construidos, situados en la arcuación central y las dos laterales, no se encuentran en la misma altura, quedando el hueco intermedio elevado sobre los otros dos (fig. 17). Éste hecho se puede entender como una referencia de los constructores a la Santa Trinidad.

El acceso situado en el muro occidental (fig. 18), se abre a la portada con un arco de medio punto sobre el dintel y éste se sitúa un ventanal de arco de medio punto que acaba de componer la fachada. El acceso a la torre se abre en el muro septentrional con una alargada puerta adintelada con arco de descarga peraltado.

Durante el siglo XVI, la iglesia sufrió una ampliación. Se derribó el muro meridional para construir un gran arco de medio punto longitudinal que une con la nueva nave, cerrada con un testero recto, y cuyo plano de fachada va a presentar un nuevo acceso secundario.

Las naves se cubren mediante un sistema de cerchas de madera mientras que el ábside se construye con un sistema de bóveda de horno. La cabecera recta de la ampliación está ejecutada mediante un sistema de bóveda de medio cañón.

La torre de planta cuadrada y conformada por un solo cuerpo, se estrecha conforme aumenta en altura. Presenta dimensiones iguales a la iglesia vecina de San Pedro Lárrede. Su coronación originalmente seguía el modelo de San Bartolomé de Gavín, realizada con huecos triforos, pero la reforma del siglo XVI también provocó su cambio a las arcadas que albergan las campanas.



Figura 17\_Hueco central elevado en el ábside



Figura 18\_Acceso a nave principal, fachada Oeste

## PATRIMONIO

Como elementos de patrimonio artístico-cultural y religioso vinculados a esta iglesia, podemos destacar en primer lugar, la decoración geométrica policromática (fig. 19) que se muestra en la bóveda de medio cañón y en el remate de la ampliación.

En el extremo occidental de la nave principal se encuentra la pila bautismal (fig. 20) con forma de copa, hechura sencilla y carente de decoración.

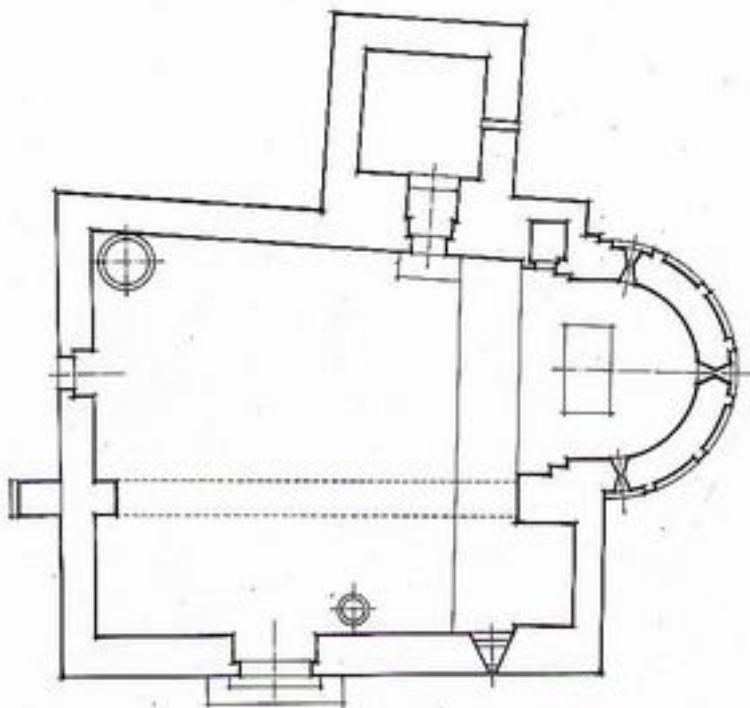


Figura 19\_Acabado cromático, remate nave de ampliación



Figura 20\_Pila bautismal

## DESCRIPCIÓN GRÁFICA BÁSICA



Arriba – Figura 21\_Planta San Martín  
Dcha. – Figura 22\_Nave-Ábside-Torre



## 2.3\_Iglesia de San Pedro, Lasieso



Figura 23\_San Pedro de Lasieso

### HISTORIA

Catalogada como Bien de Interés Cultural en 1982, la iglesia original está conformada por sistema de sillería de tamaño medio, colocado a soga y tizón, constituyendo una pequeña nave de geometría casi cuadrada. Presenta una torre adosada a cubierta, y el conjunto viene precedido por la excavación en roca de tumbas antropomorfas.

La nave presenta en su interior gruesos muros y cuatro arcos que subrayan la presencia superpuesta de la torre (fig. 24). El ábside que remata la nave muestra parte rasgos del conjunto serrablés, con una geometría circular finalizada en su interior con el sistema de bóveda de horno. En su cara exterior sin embargo, mantiene el friso de baquetones característico pero desaparecen las arcuaciones ciegas. En el extremo opuesto del ábside se encuentra el acceso, generado con un vano colmatado en un arco de medio punto.

La torre se eleva sobre la capilla en un desarrollo tronco-piramidal en dos cuerpos, señalados por una línea de imposta. El cuerpo inferior permanece ciego mientras que el superior presenta dos filas de ventanales, bíforos los inferiores y tríforos los superiores, colmatados por un friso de baquetones (fig. 25).

*"Tenemos pues una iglesia que responde al estereotipo mozárabe junto a otra claramente románica (Satué et al. 1999).*

Una década posterior a la construcción del pequeño templo mozárabe, por orden del Conde Sancho Ramírez se edificó una nueva iglesia, de claro carácter románico, anexa a la anterior, a fin de crear un pequeño monasterio. La nueva nave, de mayor proporción, presenta una planta rectangular y no establece un presbiterio definido. El ábside que corona la nave presenta una geometría circular mostrando al exterior un paño exterior de muros lisos (fig. 26).

El acceso principal se encuentra en la fachada occidental dejando en la fachada oriental el acceso al cementerio. La unión entre las dos naves se efectúa mediante una sencilla puerta con arco de medio punto. La techumbre de la nueva nave se define con una estructura de madera y la del ábside con un sistema de bóveda de horno.

Ya en el siglo XVIII, se produjo una ampliación al conjunto monacal con la construcción de una pequeña abadía. Adosada a la cara Oeste de la nave mayor, su presencia cierra la visión de la fachada Sur de los elementos y supone el cierre a dos vanos de la iglesia románica.



Figura 24\_Muros y arcos,  
estructura torre y nave  
primigenia

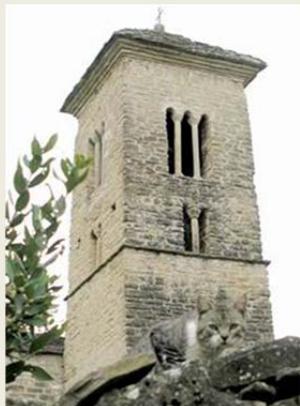


Figura 25\_Torre, doble  
cuerpo y vanos



Figura 26\_Ábside  
mozárabe/ábside románico

## PATRIMONIO



Figura 27\_Sarcófago Conde Sancho Ramírez



Figura 28\_Vaso de recolección de diezmos

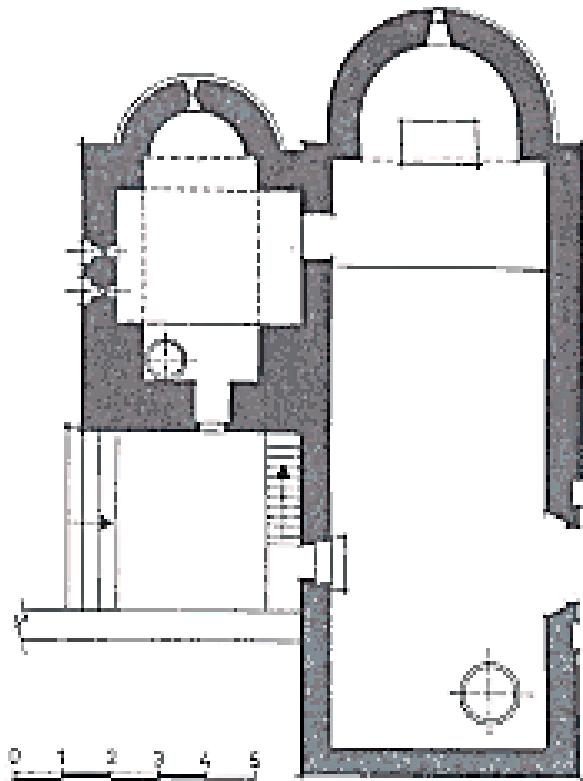
Como elementos de patrimonio artístico-cultural y religioso vinculados a esta iglesia es necesario mencionar que albergó la sepultura del Conde Sancho Ramírez, cuyo sarcófago (fig. 27) se haya ahora en el museo diocesano de Jaca.

En el interior de la iglesia, en la nave mayor, se encuentran una pequeña pila bautismal de traza sencilla. En la nave menor, aparece una pieza de menor tamaño, presumiblemente de uso para la recolección de diezmos (fig. 28).

## DESCRIPCIÓN GRÁFICA BÁSICA



Izda. - Figura 29\_Conjunto monacal  
Abajo- Figura 30\_Planta San Pedro



## 2.4\_Iglesia de San Pedro, Lárrede



Fig. 31\_San Pedro de Lárrede

### HISTORIA

A diferencia del resto de iglesias del conjunto, San Pedro de Lárrede ya fue catalogada como Bien de Interés Cultural en 1931. El templo presenta la mayor variedad de elementos tanto arquitectónicos como decorativos, a la vez que mayor calidad de construcción, por lo que se la considera como el prototipo que define el conjunto de las Iglesias del Serrablo:

"(...); elle constitue aujourd'hui l'exemple le plus parfait d'un groupe d'églises romanes marquées de traits mozárabes, (...)." (Canellas et al. 1971)

"(...); a día de hoy es el ejemplo perfecto de un grupo de iglesias románicas con marcados rasgos mozárabes, (...)." (Traducción)

El templo original se levanta con un sistema de sillería de elementos de tamaño medio y regular, dispuestos en soga y tizón. La planta se configura con una nave rectangular central, que consta de cuatro tramos separados por tres fajones. Dichos arcos se apean en parejas de columnas de despiece en rodajas, con ábaco y basa formados por una simple losa rectangular ([Fig.32](#)). En el muro meridional se abren tres ventanas de medio punto y una cuarta ajimezada con arquillos de herrería, enmarcadas todas por otro arco de medio punto y un alfiz rectangular.

La portada de acceso se abre en arco de medio punto peraltado con cierto aspecto de herrería. La nave tiene la característica de ser la única ejecutada originalmente en piedra con un sistema de bóvedas de cañón.

El ábside que remata la nave posee los elementos propios del conjunto, con siete arcuaciones de medio punto ciegas apoyadas sobre lesenas y coronado por un friso de baquetones. A su interior, el ábside se cubre con un sistema de bóveda de horno ([fig. 33](#)).

La torre se sitúa en el lado Norte y su ejecución está influenciada por el alminar de la mezquita siria de El-Omaira en Bosra. Presenta una planta cuadrada y carece de división en cuerpos en su ejecución, disminuyendo su sección conforme se eleva. Su coronación muestra en las cuatro caras un vano ajimezado con tres arquitos de herrería con columnas cilíndricas y enmarcado por un alfiz ([fig. 34](#)).

Durante el siglo XVII se produjo la única reforma que altera el esquema del templo primitivo. En el último tramo divisorio de la nave se adosan dos capillas laterales formando un falso crucero. Esto modifica el esquema en planta al de cruz latina, siendo éste singular entre todo el conjunto de las iglesias. Las nuevas capillas mantienen el sistema de bóvedas de cañón que presenta la nave original.



Figura 32\_Parejas de columnas, división interior



Figura 33\_Abside, paso de bóveda de cañón a bóveda de horno



Figura 34\_Huecos de coronación de la torre



Figura 35\_Retablo perdido,  
fotografía de Gil Marraco  
(1922)



Figura 36\_Crismón trinitario  
oscense

Durante algún periodo de su historia, las bóvedas de cañón de la nave central, tras su colapso, fueron reformadas a un sistema de falsas bóvedas de lunetos. En 1933, en una reforma de conservación se descubrió la realidad del sistema abovedado impuesto y se reinstauró el sistema de bóvedas de cañón originales.

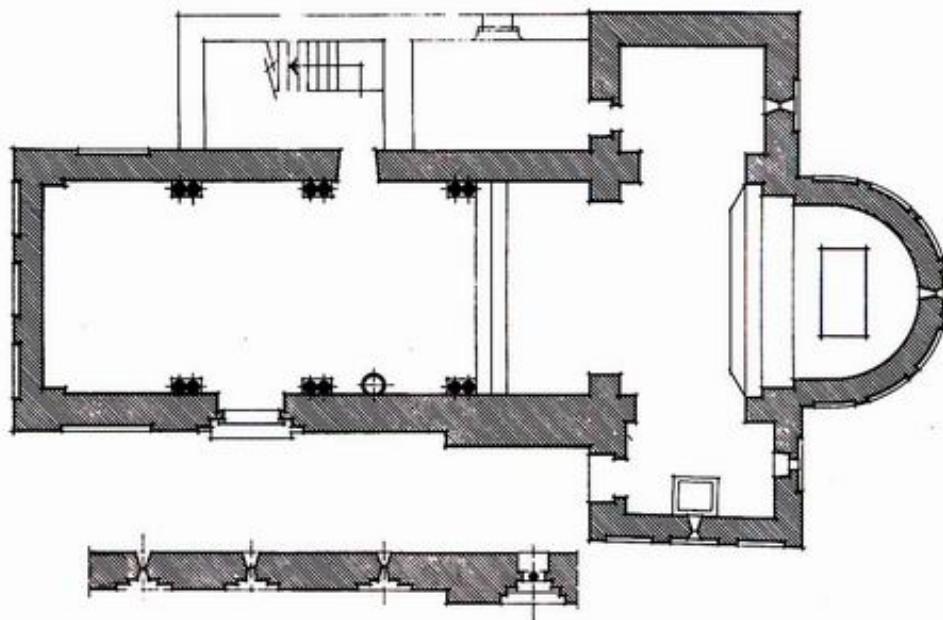
#### PATRIMONIO

Como elementos de patrimonio artístico-cultural y religioso vinculados a esta iglesia se puede mencionar el retablo que acompañaba al altar (fig. 35), actualmente en paradero desconocido.

Ya en el exterior, sobre la clave del arco del portón de entrada quedan restos de pintura de un crismón trinitario del tipo oscense (fig. 36).

La plaza generada ante la portada también merece mención por su conjunto arquitectónico, dado que las edificaciones que la generan no han sido alteradas, pudiendo destacar la Casa Isabal del siglo XVIII.

#### DESCRIPCIÓN GRÁFICA BÁSICA



Arriba - Figura 37\_Planta San Pedro  
Abajo - Figura 38\_Conjunto urbano



### **3\_Levantamiento arquitectónico.**

#### **Definición y uso de la fotogrametría**

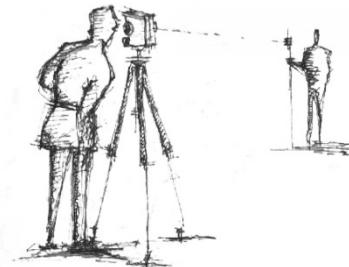


Figura 39\_Toma de medidas

La palabra “levantamiento” tal y como se conoce es un término de comprensión limitada, acreditado en el mundo de las disciplinas técnicas de arquitectura e ingeniería. Esto se debe a su no inclusión en el Diccionario de la Real Academia Española, situación contraria en las lenguas cercanas como “rيليفو” en italiano, “relevé” en francés o “survey” en inglés. Para poder definirlo se tomarán las palabras expuestas por D. Antonio Almagro Gorbea:

(...) se debe entender por *levantamiento arquitectónico* la forma primigenia de conocimiento y por lo tanto el conjunto de operaciones, de medidas y de análisis necesarios para comprender y documentar el bien arquitectónico en su configuración completa, referida incluso al contexto urbano y territorial, en sus características dimensionales y métricas, en su complejidad histórica, en sus características estructurales y constructivas, así como en las formales y funcionales (Almagro 2004).

Así pues, el levantamiento arquitectónico tiene como objetivo la lectura histórica del edificio y su entendimiento proyectual y constructivo, puntos base para cualquier catalogación de patrimonio cultural o bien para posibles actuaciones sobre el objeto arquitectónico en cuestión.

Además, se trata de un proceso de investigación enfocado hacia el conocimiento de la arquitectura o de la ciudad. Como toda investigación, debe seguir una planificación de las acciones a cumplir, y debe ser verificable durante el proceso y en los resultados finales. Con tal objeto, el producto del levantamiento está constituido, además de por las restituciones gráficas y otra documentación (fotográfica, de archivo, etc.), también por todas aquellas operaciones que conducen al logro de este resultado.

En los últimos tiempos se han difundido nuevos métodos de levantamiento, tanto topográficos como fotogramétricos, que han venido a complementar al tradicional levantamiento directo. Cada uno de estos métodos está dando resultados útiles y significativos en relación a la consecución del fin del levantamiento, a la escala gráfica requerida y a las características del objeto a levantar; por lo que no se puede hablar del papel preponderante de ninguno de estos métodos (Almagro 2000).

Catalogar distintos tipos de levantamientos sería absurdo, puesto que se entiende como un único fin, pero si se puede realizar una agrupación muy global de las técnicas de las cuales se compone. Así pues, se podría mencionar tres grandes bloques: el bloque bidimensional, el tridimensional y el alfanumérico.

Asumiendo distintas técnicas, el bloque bidimensional es aquel que reúne aquellos métodos en los que se proporciona información en dos dimensiones del artefacto arquitectónico analizado. Documentos planimétricos como plantas, alzados o secciones son representativos, así como los croquis de acotación.

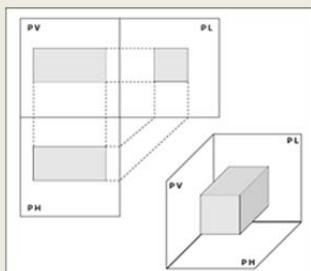


Figura 40\_Proyección ortogonal

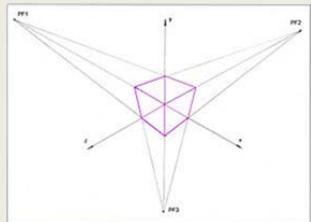


Figura 41\_Proyección ortogonal oblicua, axonometría

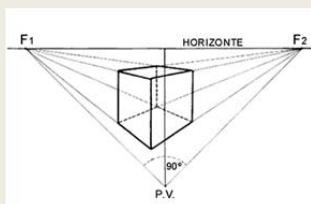


Figura 42\_Proyección ortogonal centrada, sistema cónico

En el bloque tridimensional se recogen los métodos que aportan información en tres dimensiones acerca del elemento arquitectónico. Los distintos tipos de perspectivas (isométrica, caballera, etc.), fotografías y croquis volumétricos son característicos.

En el bloque alfanumérico se pueden incluir aquellos métodos que no aportan información gráfica pero que completan la información global del edificio. Tablas de información (superficies, normativas, etc.) y textos históricos sirven de ejemplo para este bloque.

En los últimos años, con el desarrollo importante que han sufrido las herramientas informáticas, el peso de las técnicas digitales ha aumentado. Y no es casual, puesto que el trabajo digital permite no solo modificaciones ágiles.

Los actuales sistemas de diseño asistido por ordenador, CAD (*Computer-Aided Design*), han venido a resolver en cierta medida tanto el dilema respecto al tipo de proyección, como la dificultad debida a la poca manejabilidad de la maqueta, al permitir generar auténticos modelos tridimensionales con los que resulta posible conocer tanto los valores dimensionales de lo representado, como obtener cualquier tipo de representación, bien sea en proyección ortogonal (diédrica) (fig. 40), ortogonal oblicua (axonométrica) (fig. 41) o centrada (perspectiva cónica) (fig. 42).

Estos modelos, son en realidad modelos digitales del objeto, definidos por series de puntos. Éstos son registrados mediante sus tres coordenadas cartesianas, codificados como integrantes, en una cierta posición, de determinadas entidades básicas (líneas, polilíneas, bordes de superficies, etc.) que sirven a la definición del objeto. Se trata de modelos matemáticos que, gracias al ordenador y sus periféricos (pantalla, trazador gráfico o impresora), pueden ser representados gráficamente.

Se debe hacer aquí una clara distinción entre lo que supone el CAD como simple sistema o instrumento de dibujo plano, utilizado para la representación en sistema diédrico de objetos o entidades, y lo que supone su utilización como sistema generador de modelos tridimensionales susceptibles de ser representados, mediante la propia aplicación, en cualquier sistema de proyección.

Con ese fin de modelar elementos tridimensionales surgen los sistemas de modelado de información de construcción, BIM (*Building Information Modeling*), que concierne a la geometría, a la relación con el espacio, a la información geográfica, a las cantidades y las propiedades de los componentes de un edificio (por ejemplo, detalles de fabricantes de puertas).

BIM puede ser utilizado para ilustrar el proceso completo de edificación, de mantenimiento e incluso de demolición (con el propósito de reciclaje de materiales). Cantidadas de materiales y propiedades compartidas pueden ser extraídas fácilmente. Además, ámbitos laborales, detalles de componentes y secuencias de actividades de construcción pueden ser aislados y definidos.

Los softwares BIM son capaces de lograr dichas mejoras por medio de representaciones de las partes y los componentes que están siendo utilizados en la construcción de un edificio. La representación asistida por computador basada en objetos, es un cambio sustancial en la tradicional elaboración basada en la representación vectorial.

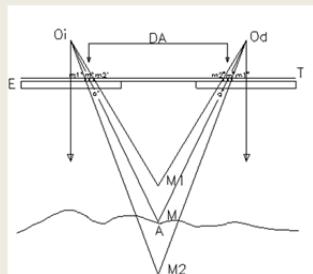


Figura 43\_Medición estereoscópica

Se va a destacar uno de los objetos manejados por los BIM, el elemento malla tridimensional. Generada a base de un número definido de nodos situados en el espacio, se limita a crear superficies entre ellos, siendo capaz así de generar cuerpos complejos. Estas mallas pueden ser creadas desde el mismo BIM o bien importadas de otros programas, lo que permite incorporar nuevos sistemas a la creación de elementos volumétricos. En este caso, y origen del trabajo, se van a señalar el proceso de fotogrametría como medio de obtención de las mallas.

Se puede definir la fotogrametría como una técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas. Puede ser de corto o largo alcance.

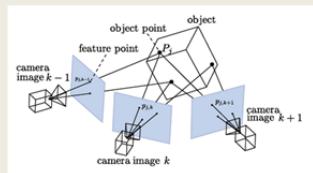


Figura 44\_Structure from Motion

La palabra deriva del vocablo "fotograma" (de "phos", "photós", luz, y "gramma", trazo, dibujo), como algo listo, disponible (una foto), y "metrón", medir.

El concepto de fotogrametría es pues "medir sobre fotos". Si trabajamos con una foto podemos obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si trabajamos con dos fotos, en la zona común a éstas (zona de solape), podremos tener visión estereoscópica; o dicho de otro modo, información tridimensional.

Con la mejora de la tecnología se ha conseguido el uso de la fotogrametría digital automatizada, bien sea estereoscópica ([fig. 43](#)), es decir, usando pares de imágenes, o monoscópica, empleando únicamente una imagen para la restitución. El proceso se realiza gracias al uso de distintos algoritmos que permiten hallar los puntos homólogos (o puntos clave) entre las distintas imágenes implementadas, tomando como base la información radiométrica de modo automatizado. En este sistema lo que se va a generar es una nube de puntos, siguiendo el principio de la triangulación automática, para poder construir modelos tridimensionales. A esta metodología se le denomina SfM (*Structure from Motion*) ([fig. 44](#)).

Las bases del SfM son similares a las de la fotogrametría estereoscópica, es decir, permite realizar modelos tridimensionales empleando grupos de imágenes no estructuradas, lo que implica la necesidad de un solape entre ellas. Este solape es necesario para identificar los distintos puntos homólogos, o puntos clave, en cada imagen. El proceso se inicia con una estimación de las distintas posiciones de la cámara, y las coordenadas del objeto se van refinando iterativamente, empleando para ello ecuaciones no lineales resueltas por mínimos cuadrados. Para este desarrollo es necesario que los objetos en las imágenes tengan una amplia gama de características, es decir, que dispongan de una rica textura.

El levantamiento a través de la fotogrametría, bien sea terrestre o aérea consta de dos fases, la toma fotográfica y la restitución fotogramétrica.

Para la toma fotográfica es importante realizar una planificación, basándose en el objeto arquitectónico y en los medios disponibles para realizar dicha toma. Para establecer un criterio eficaz de posición para la toma, se emplea una relación de " $b/h$ ", donde " $b$ " es la distancia entre los pares de imágenes (horizontales o verticales) y " $h$ " la altura del objeto. Además, es imprescindible analizar la toma de los pares de imágenes, a fin de obtener un solape entre fotografías de alrededor de un 60% en visión estereoscópica.



Figura 45\_Canon EOS 550D



Figura 46\_Panasonic DMC-FS15

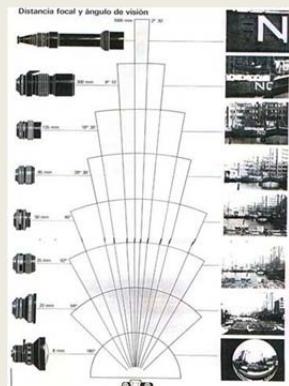


Figura 47\_Relación longitud focal/campo de visión

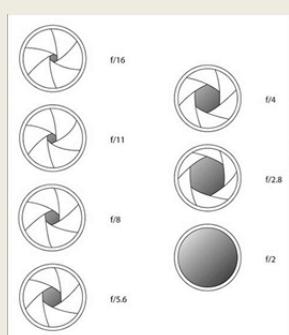


Figura 48\_Esquemas de apertura de diafragma



Figura 49\_Comparación de ISO

Los dispositivos usados para la toma terrestre son la cámara réflex compacta “Canon EOS 550D” (fig. 45) en exteriores y una cámara digital “Panasonic DMC-FS15” (fig. 46) en interiores.

Las especificaciones de las imágenes de la cámara réflex son: resolución media de 8Mpix, calidad de imagen JPEG normal con balance de blancos en automático y los parámetros de brillo, contraste, color, saturación, etc. en nivel cero para evitar modificaciones de imagen por parte del software de la cámara.

Las especificaciones de las imágenes de la cámara digital son: resolución media de 12Mpix, calidad de imagen JPEG normal con balance de blancos en automático y los parámetros de brillo, contraste, color, saturación, etc. en nivel cero para evitar modificaciones de imagen por parte del software de la cámara.

Se debe tener también en cuenta que no se va a aprovechar toda la superficie, debido a la distorsión en los límites de la imagen, aprovechándose alrededor de un 80% del total de la fotografía. Esto refuerza la necesidad de una buena planificación en la toma de pares, atendiendo seriamente al mínimo solape entre imágenes necesario.

El número de puntos obtenido por la orientación de las imágenes depende principalmente de la textura y de la resolución de la imagen. A mayor resolución, mayores resultados se obtendrán, pero también se incrementarán los tiempos de procesado de las imágenes. Es por ello que se ha decidido escoger una resolución media en el exterior, debido al gran número de interferencias que existen en la ejecución de la nube de puntos, como por ejemplo la vegetación cercana o elementos a media-larga distancia. En el caso del interior, la resolución se incrementa, ya que no existen elementos significativos que ofrezcan una interferencia. Con estas decisiones se pretende que haya un equilibrio en ambos procesos. La densidad, la nitidez, la resolución y la gama de texturas aportará calidad a la nube de puntos de salida (Westoby et al. 2012).

Por lo general, en arquitectura se usa una longitud focal (fig. 47) de 18mm para abarcar más campo de visión y dar una precisión suficiente (para objetos pequeños se usa una longitud focal mayor). La abertura del diafragma (fig. 48) se sitúa en F/9 en la cámara réflex y de F/3.3 en la cámara digital. El diafragma controla la entrada de luz, así cuanta más pequeña es la abertura, más rectos son los rayos luminosos y mayor es la profundidad de campo.

Se escoge una sensibilidad ISO 100 (fig. 49) en el exterior. Con este ISO bajo se obtienen detalles finos, pero se necesita buena iluminación en la escena. En cambio en el interior se toma un ISO 400, debido a la escasa iluminación que presenta.

El programa de exposición en la cámara réflex se trata de forma Manual, con el enfoque automático hacia el centro de lo que se quería restituir en la primera foto y cambiar a modo manual para tener el mismo enfoque el resto de las tomas, ya que no es adecuado usar el enfoque al infinito. En el caso de la cámara digital, se establece el modo paisaje, que pese a fijar un enfoque al infinito no recomendable, es el único modo de eliminar el sistema de enfoque automático y que éste permanezca invariable.

Es necesario que cada punto característico del objeto aparezca en un mínimo de tres fotografías, sin embargo, la captura de más imágenes donde aparezca el mismo punto es recomendable porque optimiza el número máximo de puntos orientados y la redundancia del sistema (Westoby et al. 2012).



Figura 50\_Drone Phantom de DJI



Figura 51\_Gopro Hero 3 Silver edition

El plan establecido para la toma de fotografías en el trabajo consiste en un esquema de puntos móviles en el exterior, rodeando en nuestro caso la iglesia de San Pedro de Larrede. Se trataran principalmente de tomas verticales, tratando de captar en una imagen la altura total de las naves, y teniendo en cuenta siempre el nivel se solape necesario entre las contiguas. Se buscará de igual modo obtener una secuencia útil para generar no solo la iglesia y la torre, sino también una parte del entorno urbano, en este caso el pequeño cementerio y la posición de la casa anexa.

En el caso de la toma de interior, se va a alternar el plan de puntos móviles, orientado hacia la zona más singular, el ábside, con un plan de punto fijo y pivotante, a fin de obtener las fachadas laterales y parcialmente las bóvedas de la nave. Las fotografías también serán verticales, a fin de minimizar los solapes superiores. Al tratarse de un interior, pese a la iluminación artificial, se prevé problemas en cuanto a la definición global de los puntos, y por ende, en la generación de la malla.

La fotogrametría aérea, se engloba dentro de los sistemas de medición fotogramétrica. Se emplea para la toma de datos de zonas inaccesibles, como las cubiertas de un edificio, o en el caso de ruinas arqueológicas, ya que facilita la toma de imágenes, puesto que permite un enfoque a un plano paralelo al horizontal y a su vez elevado. Para el desarrollo de la fotogrametría aérea de baja altura mediante se emplean los dispositivos denominados UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), comúnmente llamado *drone*. Los UAVs se definen como vehículos motorizados aéreos no tripulados.

Un UAV es una aeronave de múltiples formas, tamaños y características según el uso, pudiendo distinguir principalmente dos variaciones: los de ala fija y los rotatorios (cuadricópteros con cuatro rotores o hexacópteros con seis rotores). Realizan vuelos sin tripulación a bordo, manejados mediante un control remoto, y de disponer de un sistema GPS, pueden programarse previamente su trayectoria. Los drones se pueden adquirir en el mercado tanto perfectamente acabados como por piezas para su posterior montaje.

Para las tomas aéreas de las cubiertas se utiliza el cuadricóptero de “Phantom” de DJI (fig. 50) con la cámara “Gopro Hero 3” Silver edition (fig. 51). Este *drone* tiene una velocidad máxima de 10m/s, con baterías de LiPo, una duración de vuelo aproximada de 15 minutos y una altura de vuelo de 1000 m que es la distancia máxima de comunicación con el mando. Dispone de giróscopos, sistema GPS y vuelta a casa.

Para la toma de imágenes, al igual que en el caso terrestre, hay hacer una pequeña planificación previa. En este caso, se considera principalmente el estado del tiempo atmosférico y la velocidad del aire. La climatología idónea sería un día poco nublado para que la iluminación fuera uniforme, sin sombras, y que no hubiera rachas de aire o, en su defecto, que éstas no superaran los 6m/s, ya que dificultarían, o incluso impedirían, el vuelo controlado del *drone*.

El vuelo se realiza de forma manual, previa calibración para la adquirir la localización GPS del aparato. Se va a elevar hasta una altura límite de 50m y sin georreferenciación del vuelo, es decir, sin el uso de puntos de control en el terreno. Este sistema se utiliza cuando se necesita tomar imágenes de grandes extensiones de terreno. En el trabajo, solo interesan las tomas de cubiertas del edificio, que se referencian a partir de los puntos de control de la fachada. Además, la toma de fotografías aéreas va a permitir definir mejor la morfología de la torre de una manera continua.

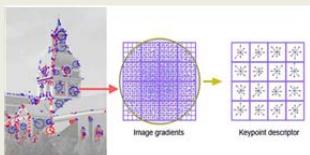


Figura 52\_Esquema SIFT

La segunda fase en la metodología de la fotogrametría, es el procesado de la información. La fotogrametría digital se basa en la utilización de imágenes digitales o numéricas. Una imagen digital es un mapa de pixeles, es decir, un mosaico de pequeños cuadrados como una matriz rectangular, donde el valor numérico de cada elemento de la matriz corresponde a un valor en una escala de colores.

Para la aplicación fotogramétrica, basta saber qué pixel corresponde al punto principal y cuál es la distancia principal medida en píxeles, referidos en esta unidad. Las coordenadas del punto de la imagen están definidas numéricamente por la posición del pixel en la matriz de la propia imagen.

La determinación de los puntos clave puede realizarse de manera automática mediante el proceso de correlación de imágenes, definiendo un pixel en una imagen y buscándose en otra, cumpliendo las condiciones de valores cromáticos del propio pixel y de los de su entorno equivalente.

Estas equivalencias se definen matemáticamente mediante algoritmos y el programa los ejecuta automáticamente en tiempo real. Al proceso de detección de puntos clave entre la colección de imágenes se le denomina SIFT (*Scale Invariant Feature Transformation*) (fig. 52). El proceso de creación de la nube de puntos discreta a partir de la detección de los puntos clave, se denomina *Bundle Adjustment* (fig. 53), y por último, el proceso de generación de la nube de puntos densa, se denomina *Multi View-Stereo* (fig. 54).

El resultado de los tres procesos es una nube de puntos con datos métricos tridimensionales y con información cromática. Además, a partir de esa nube de puntos existe la posibilidad de crear una malla poligonal mediante triangulación y la aplicación de la textura según los diversos puntos de vista.

Para el desarrollo del trabajo se va a emplear el programa denominado *Photoscan* de la empresa *Agisoft*, cuya base emplea el sistema SfM descrito previamente. Se trata un programa que dispone de una gran velocidad de cálculo, además de corregir automáticamente errores sistemáticos de las imágenes, producidos por deformaciones y distorsión del objetivo. Esto permite la restitución de fotografías, obtenidas con cámaras convencionales, sin necesidad de una calibración previa. Se trata de un software rápido y uso sencillo, al alcance de cualquier usuario.

Su uso consta de tres partes: la orientación de las cámaras (para la generación de la nube de puntos discreta o la generación de la nube de puntos densa), la creación de la malla tridimensional, y la aplicación de la textura sobre la malla.

La primera parte utiliza los tres sistemas descritos anteriormente, SIFT, *Bundler Ajustment* y *Multi-view Stereo*. El primero, SIFT, por el que detecta de forma automática puntos clave o características comunes, en este caso radiométricas, entre pares de imágenes, por lo que consigue en un periodo corto de tiempo, cotejar cientos de imágenes. Con el *Bundler Ajustment* crea la nube de puntos discreta.

En *Photoscan*, el proceso que engloba ambos desarrollos lo realiza automáticamente, se ejecuta desplegando el Flujo de Trabajo y seleccionando Orientar imágenes. Además, se puede gestionar la cantidad de puntos clave por fotografía. En las nuevas versiones se introduce la opción de generar una nube de puntos densa, lo que permite describir mejor el objeto y ayuda posteriormente a la generación de la malla poligonal. En el desarrollo del trabajo se irán alternando el uso de ambos tipos de nubes, buscando un equilibrio entre resultado y tiempo de cálculo.

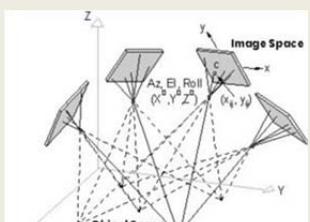


Figura 53\_Bundle Adjustment

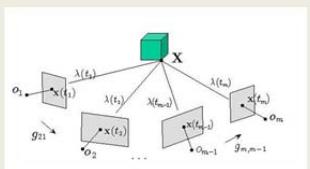


Figura 54\_Multi View-Stereo

Así pues, el trabajo se ha programado como una disagregación en fragmentos del conjunto de la iglesia, tanto en el exterior como en el interior. Trabajando sobre un mismo archivo, se han definido distintos “chunk”, que podrían asimilarse a espacios de trabajo, en los cuales se han definido cada parte, usando una media de 35 fotografías en cada una. En el caso del exterior se han creado máscaras para eliminar parte del entorno del procesado, minimizando así la aparición de puntos conflictivos.

La densidad de la nube de puntos elegida en cada parte es distinta, pero se puede establecer una intervalo entre los 300.000 y los 500.000 puntos, considerándose una densidad media. Esta elección establece la información suficiente para generar una nube de puntos bastante aceptable con un rendimiento promedio del ordenador. Densidades muy altas se podrían considerar alrededor de los 15 millones de puntos, con el consecuente encarecimiento del rendimiento. La nube de puntos contendrá información colorimétrica, ya que se extrae esa información de los pixeles de las imágenes en el proceso de orientación.



Figura 55\_ Nube de puntos discreta, S.Pedro de Lárrede

Un paso previo a la generación de la malla, es realizar una gestión y limpieza de la nube de puntos, reduciendo el ruido y eliminando puntos no válidos para evitar efectos indeseados en la posterior creación de la malla. La malla se genera por la triangulación de la nube de puntos, bien por la arbitraria obtenida en el proceso de alineación de fotografías o bien con la nube de puntos densa. El número de triangulaciones dependerá en cada parte, según el número total de puntos de las que se compongan las distintas nubes.

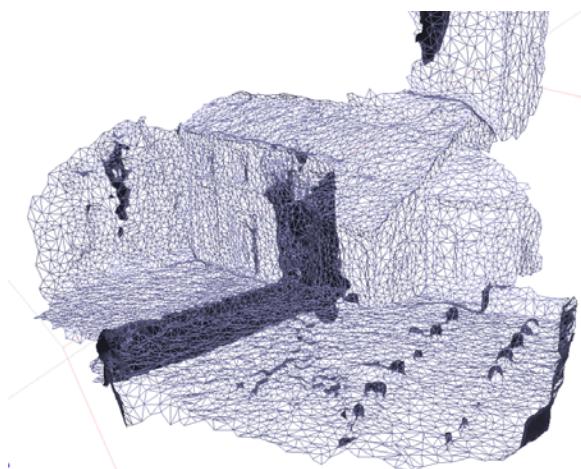


Figura 56\_ Malla triangulada, S.Pedro de Lárrede

Posteriormente, con la malla definida, se aplica la textura con un mapa de dimensión 4096x8192, a fin de conseguir unos resultados más finos y detallados. La textura se introduce por medio de una orientación y rectificación de cada fotografía adaptada al modelo desde su punto de vista, creando un atlas de la textura a colocar sobre la malla, es decir, la imagen desplegada en horizontal de todos los fragmentos que conforman la textura.

El despliegue de la textura sobre las mallas tridimensionales mejora su aspecto estético, además de proporcionar información cualitativa, permitiendo distinguir revestimientos, aparejos y pinturas. El resultado final es un modelo tridimensional texturizado que presenta una resolución de 0,01m/pixel.



Figura 57\_ Malla texturizada, S.Pedro de Lárrede

Con esto, se han obtenido distintos fragmentos, tanto exteriores como interiores, del conjunto arquitectónico de la iglesia. El último paso consistirá en la unión de dichas partes en un mismo modelo tridimensional, para lo cual se va a exportar las distintas mallas texturizadas en un formato que permita modificarlas en los distintos programas de dibujo digital asistido, en este caso Rhinoceros.

Con las medidas obtenidas en la visita de campo, se toma una de las mallas como referencia y se procede a su escalado y situación en el espacio. Una vez se ha dimensionado y orientado la malla, se procede a la importación del resto de mallas y a su consecuente proceso de posicionamiento y escala con respecto a la malla referencia, o bien sobre si mismas si se tiene suficiente información de medidas. Este proceso se realiza por mallas y no por conjunto debido a que, al considerarlas independientes en su generación, adquieren tamaños y posiciones en el espacio completamente diferentes entre sí. Sin embargo, lejos de ser un gran problema, al guardarse siempre la proporción, por ser fragmentos de un mismo elemento, se asegura un cierto solape entre ellas.



Figura 58\_ Modelo 3D, rhinoceros, S.Pedro de Lárrede

#### **4\_Plan de Difusión Digital. Realidad Aumentada y servicios web.**



Figura 59\_ Realidad Aumentada

La documentación patrimonial, destinada a la generación de documentación técnica y la difusión del patrimonio, es una herramienta fundamental para conservar, gestionar y analizar los bienes culturales.

Se puede definir el patrimonio cultural como el conjunto de manifestaciones u objetos nacidos de la producción humana, que una sociedad ha recibido como herencia histórica, y que constituyen elementos significativos de su identidad como pueblo. Tales manifestaciones u objetos, constituyen testimonios importantes del progreso de la civilización y ejercen una función modélica o referencial para toda la sociedad ([Valle 2007](#)).

En este contexto, se enmarca el principal objetivo del trabajo. Este objetivo es realizar un trabajo de investigación acerca de los elementos patrimoniales anteriormente expuestos y, a través de la reconstrucción virtual y a distintas tecnologías de la información, establecer uno o varios sistemas que permitan hacer llegar esa investigación a la sociedad.

La ambición del despliegue informativo se va a enmarcar en la sencillez, cualidad que permitirá fines muy dispares sin interferencias entre ellos. No se busca un objetivo educacional, institucional o turístico, por citar algunos ejemplos, sino que el material obtenido en el desarrollo del trabajo pueda ser empleado indistintamente del matiz que tome en su uso.

La decisión no es banal ya que, como se menciona al inicio del trabajo, la sociedad de la información es un hecho. Las personas viven rodeadas de noticias, mensajes, avisos y hechos acaecidos en lugares de cualquier punto del planeta, por lo que es negligente e ineficaz pensar que, cualquier dato de interés colectivo pueda, o deba, ser contenido en su definición. Es por ello que no se va a establecer ningún objetivo final al cual referir el trabajo, sino que es la sociedad la que decidirá su uso final.

Así pues, para poder completar y complementar el conocimiento de las distintas piezas trabajadas, se va a emplear distintas herramientas informáticas más enfocadas a la comunicación. Se hará uso de servicios web para definir las visitas virtuales, y de una plataforma virtual que sea capaz de almacenar y visualizar todo el trabajo desarrollado.

En primer lugar se van a desarrollar los sistemas de visita virtual, para los cuales se va a emplear el programa gratuito *Photosynth*, de la conocida compañía *Microsoft*.

*Photosynth* se basa en *Photo Tourism*, un proyecto de investigación desarrollado por un estudiante graduado de la Universidad de Washington, Noé Snavely. El programa trabaja en dos pasos. El primero consiste en el análisis del conjunto de fotografías, tomadas desde el mismo punto. Cada fotografía se procesa mediante una detección de puntos de interés, que coincide con algoritmo desarrollado por *Microsoft Research*, similar al SIFT descrito previamente en el trabajo.

El segundo paso consiste en la presentación y la navegación a través de la nube de puntos 3D, con las características señaladas en el primer paso. Esto se realiza con el Visor de *Photosynth*, de acceso público. El visor, localizado en la web, mantiene una conexión a un servidor donde se almacenan las fotografías originales. Esto permite a un usuario, entre otras cosas, consultar cualquiera de las fotografías originales, además de visualizar la nube de puntos generada. Es un proceso similar al realizado previamente en el programa *Photoscan*, pero en vez de finalizar en una malla 3D texturizada, se obtiene un visor pivotante sobre el que orbitan las fotografías enlazadas.

Este sistema genera un desarrollo de visión panorámica esférica sobre un punto, estableciendo grupos de planos mezclados, lo que facilita la unión del conjunto. Sin embargo, posee la desventaja de no mostrar completamente la visión de la panorámica, además de requerir un tiempo de cálculo y subida al servidor relativamente alto.



Figura 60\_ Panorámica por planos, S.Pedro de Lárrede

Para agilizar el trabajo, se propone un segundo sistema, que requiere de la aplicación *Microsoft ICE* (*Image Composite Editor*), de acceso público. Con un funcionamiento similar al *Photosynth*, analiza y reconoce los puntos de interés del conjunto de fotografías implementadas. En este caso, el programa une por completo las fotografías y realiza un despliegue plano del sistema especificado, *Rotating Motion* para las panorámicas esféricas. Este procedimiento puede generar distintos problemas de solape entre las distintas imágenes, debido principalmente a cambios de iluminación o a la unión de elementos grandes muy próximos al punto de toma de imágenes.

Una vez generada la imagen esférica desplegada, existen dos opciones, exportarla en formato de imagen JPEG o subirla al servidor de *Microsoft Photosynth*, donde adopta la geometría esférica y permite la visita virtual.



Figura 61\_ Desplegable vista parcial, S.Pedro de Lárrede

La panorámica generada por el programa ICE se compone de un único plano visual, con la virtud de poder leer rápidamente el espacio que se genera. Además, los tiempos de generación de imagen y subida al servidor suelen ser menores que los de la panorámica por múltiples planos. Sin embargo, este método puede generar uniones desfasadas, o completamente irreales, entre las imágenes.



Figura 62\_ Panorámica vista parcial, S.Pedro de Lárrede

Para el desarrollo del trabajo se ha empleado principalmente el sistema de panorámica de plano único. Se destina el sistema de múltiples planos para aquellos desarrollos que presenten problemas graves en cuanto al solape global del conjunto de fotografías.

Una vez establecidas las visitas virtuales, el siguiente paso es trabajar con los modelos 3D digitales. El uso que se les va a proporcionar enlaza en idea con el sistema de visita virtual creado previamente. Se pretende hacer accesibles dichos modelos, por medio de distintas herramientas, para que el usuario adopte e interactúe con los proyectos y entienda fácilmente su volumetría global.

El primer sistema que se va a desarrollar se sirve de la plataforma web *Sketchfab*. Esta web provee, de forma gratuita, un visor 3D que permite realizar los comandos básicos de traslación, rotación y zoom sobre los modelos. Además, permite modificar la visualización para mostrar las mallas que componen los modelos, pudiendo elegir entre distintos colores, además de poder activar o desactivar los efectos de “shading” del modelo, es decir, la iluminación por caras para proporcionar profundidad.



Figura 63\_ Visor 3D de Sketchfab, S.Pedro de Lárrede



Figura 65\_Display de video



Figura 66\_Display óptico

La tecnología que desarrolla el visor 3D se basa en el uso del *Web Graphics Library* (*WebGL*), un *script* de Java que permite la visualización de modelos sin la instalación de *plugins*. En caso de que el navegador no soporte la tecnología *WebGL*, dispone de una ventana 2D que muestra un pre-renderizado del modelo 3D. El hecho de utilizar el lenguaje Java, ampliamente extendido en los softwares comunes, y ser de uso libre, hace esta herramienta extraordinariamente accesible al usuario común.

A diferencia del visor, la carga de modelos al servidor está condicionada a un registro de usuario previo. Es importante señalar que se establece un límite de peso del archivo, 50 megabytes, salvo aquellos que posean una cuenta *Premium*, la cual sí es de pago. Las cargas de los archivos se pueden realizar desde la propia web o desde determinados programas de modelado, por ejemplo *SketchUp*, con el uso de *plugins*. Los archivos deben tener una determinada extensión, especificada en la ventana de carga, para que el servicio los reconozca. Además, debe incorporarse los JPEG de las texturas si éstas no estuviesen vinculadas al archivo. Para el trabajo se ha empleado la extensión .obj, exportada desde el programa *Rhinoceros* desde el cual se han juntado las mallas obtenidas por fotogrametría.

Es importante mencionar que el sistema establece un mecanismo de relación entre usuarios, dejando espacios para comentarios y una catalogación de los modelos por favoritos. Esto permite crear un flujo interno de intercambio de información, similar a una red social. Del mismo modo, también incorpora vínculos con determinadas redes sociales, véase Facebook, Twitter, Google+ y Pinterest, lo que acentúa su faceta divulgativa más allá de la propia herramienta.

El segundo sistema se basa en el sistema de *Augmented Reality* (AR), o Realidad Aumentada. El término realidad aumentada es un concepto que ha surgido hace relativamente poco tiempo, y frente a otros como el de realidad virtual, es aún relativamente desconocido. Se podría definir como una variación de los entornos virtuales, donde se permite al usuario ver en todo momento el mundo real, al que se le superponen objetos virtuales, coexistiendo ambos en el mismo espacio. Así pues, la realidad aumentada complementa la realidad y, en ningún caso, la remplaza completamente como en la realidad virtual (Ruiz 2013).



Figura 64\_Esquema Millgram-Virtuality Continuum

Para poder hacer una distinción más exacta del término, se pueden citar tres características definitorias que son: combina lo real y lo virtual, es interactivo en tiempo real y tiene un registro tridimensional. Con estas guías, se excluyen los sistemas que combinan imágenes virtuales con reales como sería el cine, ya que en este caso carece de iteración.

Es importante mencionar los dispositivos que generan la escena, ya que han de ser capaces tanto de tomar datos de la realidad como de escribir sobre ella. Podríamos mencionar dos tipos de dispositivos de pantalla, o *displays*, que se emplean: los *displays* de video (fig. 65), donde la imagen virtual se superpone a la imagen real, captada por una cámara, y los *displays* ópticos (fig. 66), donde los gráficos de ordenador se superponen a la visión real del usuario (Ruiz 2013).

La realidad aumentada se trata, en su gran parte, de un sistema visual, por lo que la importancia del dispositivo pantalla es crucial. Es por ello que, de igual modo que se catalogan en función de su funcionamiento, por su uso propio se establece también los tres tipos de técnicas que permiten mostrar la realidad aumentada.

El *display* en la cabeza, denominado *Head-Mounted Display* (HMD), es capaz de mostrar tanto las imágenes del mundo real como los objetos virtuales que se le superponen. Se trata de dispositivos ópticos rastreados con un sensor, cuyo seguimiento permite al sistema añadir la información virtual. La información gráfica se ve condicionada a la vista de los usuarios.

El *display* de mano, pequeños aparatos del tamaño de la mano de un usuario, emplean la superposición de la información sobre el video. Suelen tener sensores de seguimiento, tales como GPS o brújulas digitales, que añaden marcadores al video. En la actualidad permiten añadir información digital a las secuencias en tiempo real, lo que añadido a su facilidad de aplicación en la telefonía móvil actual, les hace ser los más extendidos y empleados.

El *display* espacial hace uso de proyectores digitales para mostrar información gráfica sobre objetos físicos. Estos dispositivos generalmente se denominan *Spatial Augmented Reality* (SAR) y no se asocian a un usuario específico, sino a grupos de usuarios. Esto permite utilizarlo para coordinar y realizar trabajos grupales, sin la inconveniencia de llevar ningún aparato encima. A diferencia de los anteriores, no presenta limitación por resolución por pantalla, y es capaz de mostrar mayor número de superficies virtuales a la vez.

Para el desarrollo del trabajo, se va a emplear la técnica del *display* de mano. El objetivo es incorporar la información tridimensional de los modelos para que puedan ser leídos de un modo más inmediato que con los visores web. Para ello se ha utilizado el software de la compañía *Aumentaty*, cuya aplicación visor, *Aumentaty Viewer*, es completamente gratuita. El objetivo de la compañía, similar al explicado en la web *Sketchfab*, es proporcionar un repositorio centralizado, en este caso de modelos 3d y escenas de realidad aumentada, creado por los usuarios, que facilitan el uso compartido y divulgación de los recursos.

Cabe destacar que, actualmente, se trata de un objetivo literalmente, ya que la empresa aun no dispone para los usuarios esa base de datos central para cargar sus propios modelos. De todos modos, pese a estar en proyecto esa biblioteca abierta, la web predispone un servicio temporal para compartir las escenas. Estas escenas, que se componen de la asignación de modelos a los códigos de prueba proporcionados, se realizan mediante la aplicación *Aumentaty Author*.

El programa *Aumentaty Author* es de descarga gratuita y, a diferencia de la aplicación visor, está vinculado a la creación de una cuenta en la página web. La aplicación asocia los modelos en 3D a distintas marcas establecidas con sólo arrastrar el nombre del modelo sobre la marca. Utiliza tecnología de marcas fiduciales para reconocer el espacio tridimensional, mostrado por la webcam, y posicionar el contenido generado sin necesidad de programación.

Para importar los modelos es necesario que tengan la extensión .3ds, .fbx, .obj o .dae, además de poseer los JPEG de las texturas asociadas al modelo. Para el trabajo se han empleado los archivos con extensión .obj, que han sido previamente utilizados para la carga de modelos en el sistema de *Sketchfab*. Es reseñable que, una vez importados, los modelos se reclasifican en una extensión propia, .aam, por lo que se hace más fácil el traslado de modelos de un ordenador a otro.

Una vez importados los modelos, se procede a asignar a cada uno su marca fiducial propia, teniendo hasta 20 diferentes en la versión 1.0 del programa. Este paso se puede abordar de dos maneras, creando una escena con modelos en cada marca escogida, o múltiples escenas como modelos se desea asignar. Se ha optado por la segunda opción ya que el rendimiento del programa se ve enormemente ralentizado cuantos más modelos se le implementan de vez.

Una vez asignadas las relaciones marca-modelo, existe la opción de manipular su visualización en el sistema de realidad aumentada. El programa proporciona las herramientas básicas para realizar rotaciones, desplazamientos y escalado del modelo en función de la posición de la marca.

Ya definida la escena, con los modelos emparejados y dispuestos como se pretenda, se procede a la exportación de la escena para compartirla. Como se ha mencionado previamente, aun no se ha establecido lo que se definiría como una biblioteca global, pero si está establecido un sistema para compartir las escenas. Para ello se requiere de una cuenta, creada previamente para descargar el instalador, y tras cargar el modelo proporciona un link de archivo, ejecutable con el programa visor *Aumentaty Viewer*, y la opción de compartir el link en las redes sociales Facebook y Twitter.

Es importante recordar que, para visualizar el archivo es esencial disponer de la marca fiducial asociada al modelo, impresa en cualquier formato. Además, es importante tener en cuenta la iluminación o el estado de la marca, puesto que cualquier distorsión en su captación interrumpe, o distorsiona, la aparición de la realidad aumentada.

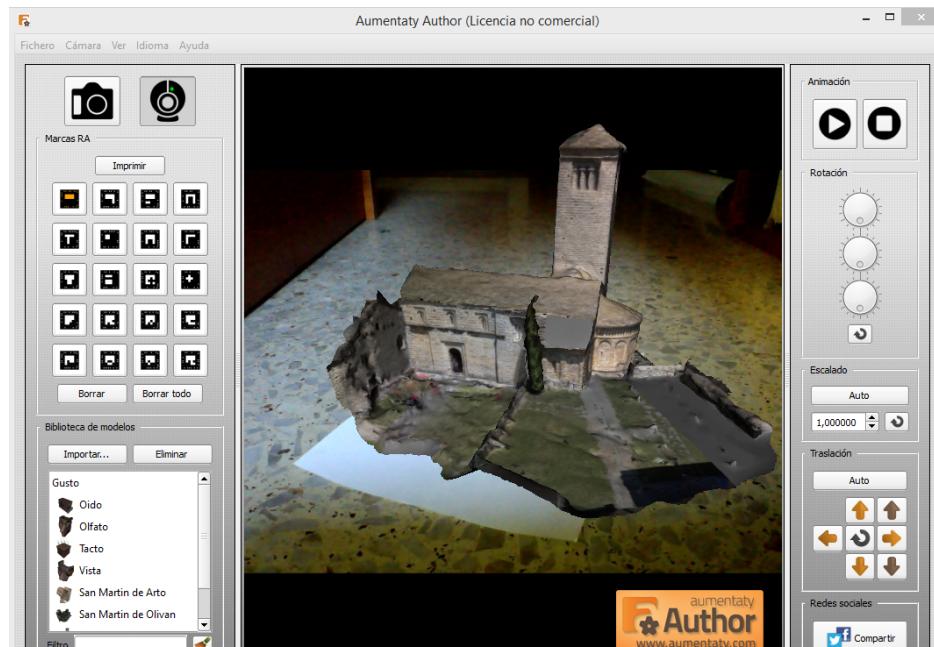


Figura 67\_ Aumentaty Author, San Pedro de Lárrede

Al inicio del trabajo se ha mencionado que su propósito es la recuperación, tanto en memoria como en documentación, de aquellos elementos patrimoniales que se hallan prácticamente en el olvido, en este caso el conjunto arquitectónico aragonés de las Iglesias del Serrablo. En su transcurso, se han ido desarrollando distintos elementos de análisis y expresión gráfica de estas piezas arquitectónicas, con el fin de poder ser empleados y consultados por cualquier usuario.

Pese a ello, únicamente las herramientas de software empleadas al final, véase *Photosynth*, *Sketchfab* y *Aumentaty*, son las que poseen como base un carácter divulgativo que lo facilite. Es por ello, que se va a finalizar el trabajo con el uso de otras dos herramientas digitales, más orientadas al intercambio de información, que son *Google Sites* y los códigos QR.

Los códigos QR (*Quick Response code*) son módulos de almacenamiento de información por medio de una matriz de puntos, o de un código de barras bidimensional. Fueron creados en 1994 por la compañía Denso Wave, subsidiaria de Toyota, y se caracterizan por los tres cuadrados situados en las esquinas, que permiten detectar la posición del código y su objetivo es la lectura de su contenido en alta velocidad. El hecho de que las nuevas generaciones de telefonía móvil puedan escanearlos, además de ser un sistema abierto cuyas patentes no son ejercidas, han hecho de los códigos QR uno de los códigos más empleados.

Para el trabajo se va a emplear una web genérica de creación de QR. En ella se va a asociar un código con una plataforma digital sobre la cual se volcarán todos los datos. La plataforma escogida es la previamente mencionada *Google Sites*.

*Google Sites* es una aplicación gratuita ofrecida por la empresa *Google*, y requiere la posesión de una cuenta de usuario. Esta aplicación crea un sitio web o una intranet, es decir una red informática que emplea la tecnología IP (*Internet Protocol*) para el intercambio de información, pero con la ventaja de que para su creación no es necesario conocimiento de programación. Es de uso sencillo, similar a la edición de un documento, rápida en su manejo, permite almacenar distintos tipos de información, como videos, calendarios, mapas, etc., y su privacidad puede variar entre grupos de personas o ser abierta a todo el mundo.

Para la creación de la página web se encuentra disponible una extensa base de datos, con distintas plantillas que sirven de base, aunque para el trabajo se ha optado por la creación desde la nada, buscando un diseño sencillo. La web se va a estructurar con los mismos puntos del trabajo escrito, incorporando sus textos y aquellas imágenes que los representen. Además, se añadirá un apartado donde poder subir los distintos tipos de archivos, como puedan ser planimetrías o modelos 3D, proporcionándoles así esa plataforma de difusión digital de la cual carecen. De este modo, al incorporar, bien directamente o indirectamente como archivos, cada uno de los resultados del trabajo se cohesiona todo el conjunto y facilita su consulta, consiguiendo un sistema de difusión digital completo, estable y rápido.



Figura 68\_Cabecera de la plataforma digital, Google Sites

## **5\_Conclusiones**



Figura 69\_ Esquema multidisciplinar

Durante el desarrollo del trabajo se ha podido mostrar que, con procesos sencillos, se puede desarrollar distintas herramientas para múltiples medios pero con un único fin, el conocimiento. Con los análisis históricos de las obras se consigue conocer la realidad no visible que acompaña a los edificios. A través el levantamiento arquitectónico se acerca al conocimiento proyectual y constructivo de las obras. Mediante la fotogrametría se consigue la geometría virtual de los objetos arquitectónicos, que podrá ser expuesta mediante múltiples medios informáticos. Pero es su conjunto lo que permite el más amplio conocimiento, aunque nunca iguable a la experiencia física.

La secuencia del desarrollo del trabajo se inicia con la recopilación de información de las distintas piezas arquitectónicas. El objetivo es aprehender su carácter y desarrollo, no solo para la posterior escritura de los textos explicativos, sino también para poder planificar las distintas recopilaciones de datos. Es importante resaltar la relevancia de la toma de imágenes, ya que éstas van a condicionar los resultados del siguiente paso, el proceso fotogramétrico.

La fotogrametría se muestra como un método de análisis de estructuras tridimensionales eficaz, además de ser rápido e inocuo con respecto a las construcciones. Se trata de un mecanismo por el cual se obtienen modelos tridimensionales proporcionados a partir de conjuntos de fotografías, realizadas con una planificación previa. Con este sistema se obtiene un gran conjunto de información en un relativo corto plazo de tiempo, empleando para ello medios sencillos y de fácil acceso. Esta información va a permitir analizar el estado de los edificios y obtener la reconstrucción digital en tres dimensiones, que podrá servir de base para el levantamiento arquitectónico bidimensional.

Una vez obtenidos los distintos resultados del levantamiento arquitectónico, se inician los distintos planteamientos orientados a su divulgación digital. El abanico de opciones es tan amplio como complejo, así que se van a plantear aquellas cuyo uso y desarrollo sea sencillo y de fácil acceso para los usuarios.

El primer método escogido es la visita virtual, realizada con el programa *Photosynth*, de la conocida compañía *Microsoft*. Para su creación se emplean conjuntos de imágenes, bien pueden ser las mismas que para el paso fotogramétrico, obteniendo dos tipos de resultados, despliegues esféricos o secuencias de planos de las distintas escenas arquitectónicas.

El segundo método es el servicio web *Sketchfab*, el cual proporciona un visor, abierto y gratuito, de cualquier tipo de reconstrucción tridimensional digital. Esta herramienta va a permitir un primer aproximamiento entre el modelo obtenido con el proceso fotogramétrico y los distintos usuarios. Es una herramienta extraordinariamente sencilla, que permite una mínima interacción con el modelo, modificando el punto de vista que ofrece visor.

El último método recurre a la Realidad Aumentada, un planteamiento y desarrollo tecnológico que se basa en la implementación de realidades virtuales sobre el mundo real. Para el trabajo se ha empleado el modelo obtenido en el proceso fotogramétrico, asociándolo mediante el programa *Aumentaty Author*, a una marca fiducial. Esta operación permite que la lectura de la marca, mediante dispositivos con la aplicación *Aumentaty Viewer*, incorpore encima el modelo correspondiente, relacionando cualquier cambio de visión sobre la marca a la visión del propio modelo en el dispositivo.

Para finalizar, se plantea la creación de una plataforma digital, *Google Sites*, que permita agrupar cada uno de los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo. Su objetivo es cohesionar cada elemento de información y, gracias al uso de los códigos QR, facilitar su accesibilidad de cara a la sociedad.

En definitiva, el trabajo se plantea como un medio de información más, un eslabón añadido a las actuales redes digitales del conocimiento. Se trata de una herramienta multidisciplinar que actúa de intermediario entre la realidad y el usuario, acercándolos y tratando de fomentar una relación. El objeto del trabajo no es sustituir las piezas arquitectónicas por mera información digital, sino ser el catalizador que encienda el interés sobre lo desconocido e invite al usuario a conocer más sobre ellas.

Los distintos resultados del trabajo bien podrían dedicarse a fines educativos, turísticos o incluso comerciales. Pero no se tiene la voluntad de establecer una única vía, sino dejar abierta al usuario la elección de qué hacer con esa información. Éste es un factor clave del trabajo ya que, como se ha mencionado, vivimos inmersos en un inmenso flujo constante de información y la idea de limitar, o controlar, dicho flujo se antoja titánica, por no decir imposible. Además, la premisa principal del trabajo es exponer el conocimiento del conjunto arquitectónico al conjunto de la sociedad, factor compatible con cualquier medio que haga de su uso una actividad.

En resumen, se trata de volver a dar a conocer este conjunto patrimonial aragonés de las Iglesias del Serrablo y fomentar que otras piezas arquitectónicas, también desplazadas del interés público, recuperen un sitio en la memoria intelectual de la sociedad.

*Todo puede gravitar sobre el presente porque las memorias lo han guardado y, a la vez, parece que sólo tiene valor lo presente. De este modo, la instantaneidad, el presente, la accesibilidad permanente, la tendencia a cero de los tiempos de espera y, en definitiva, la prisa, la aceleración y la velocidad son componentes esenciales del nuevo tiempo inaugurado por la mediatisación. (Péres 2004).*



Figura 70\_ Sociedad Digital

## **Referencia de imágenes**

*Difusión Digital del Patrimonio Arquitectónico Aragonés:  
Iglesias del Serrablo*

**Figura 01\_Asociación Amigos del Serrablo**

[https://lh5.googleusercontent.com/fUxNNeBNwG8/UZpgFA4OLNI/AAAAAAAAT\\_o/RkqYkn0QJGE/w376-h199-p-no/Amigos+de+Serrablo+75.jpg](https://lh5.googleusercontent.com/fUxNNeBNwG8/UZpgFA4OLNI/AAAAAAAAT_o/RkqYkn0QJGE/w376-h199-p-no/Amigos+de+Serrablo+75.jpg)

**Figura 02\_Biblioteca global**

[http://3.bp.blogspot.com/\\_vvQKBGmRi2A/TE3zniCxeQI/AAAAAAAABA/MC4JK91KtOw/s1600/biblioteca-digital.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_vvQKBGmRi2A/TE3zniCxeQI/AAAAAAAABA/MC4JK91KtOw/s1600/biblioteca-digital.jpg)

*Patrimonio Arquitectónico Aragonés, Iglesias del Serrablo*

**Figura 03\_San Juan de Busa, fotografía de Javier Ara**

[http://www.huescalamagia.es/blog/wp-content/uploads/2013/05/S\\_Juan\\_Busa10.gif](http://www.huescalamagia.es/blog/wp-content/uploads/2013/05/S_Juan_Busa10.gif)

**Figura 04\_Plano de situación territorial, poblaciones**

<http://www.jdiezarnal.com/serraboplano03.jpg>

**Figura 05\_Torre de la iglesia de San Bartolomé, Gavín**

<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/GavinSBtme%20%20G02.jpg>

**Figura 06\_Fotografia de Antonio Durán Gudiol**

<http://www.buesaenvanguardia.com/wp-content/uploads/2010/12/Antonio+Dur%C3%A1n+Gudiol-248x300.jpg>

**Figura 07\_Plano de la Ruta del Serrablo (1979)**

[http://www.casapelentos.pirineo.com/sites/default/files/imagenes/plano\\_serrabolo.jpg](http://www.casapelentos.pirineo.com/sites/default/files/imagenes/plano_serrabolo.jpg)

*Iglesia San Martín, Artó*

**Figura 08\_San Martín de Artó**

[http://4.bp.blogspot.com/-yX5bMhf7spM/U1e5zYqks6I/AAAAAAAAC0s/SVDrOXwY0ro/s1600/IMG\\_4050.JPG](http://4.bp.blogspot.com/-yX5bMhf7spM/U1e5zYqks6I/AAAAAAAAC0s/SVDrOXwY0ro/s1600/IMG_4050.JPG)

**Figura 09\_Hipótesis planta original, San Martín de Artó**

<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Arto%20G29.jpg>

**Figura 10\_Desarrollo torre, San Martín de Artó**

<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Arto%20G30.jpg>

**Figura 11\_Bóvedas / Nueva cubierta, fotografía interior**

<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Arto%20G26.jpg>

**Figura 12\_Relojes de sol, esquina Sureste**

<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Arto%20G32.jpg>

**Figura 13\_Relojes de sol, esquina Noroeste**

<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Arto%20G33.jpg>

**Figura 14\_Planta San Martín (1979)**  
[http://www.serrablo.org/img/srbl80/21-80-6\\_1.jpg](http://www.serrablo.org/img/srbl80/21-80-6_1.jpg)

**Figura 15\_Sección San Martín (1979)**  
[http://www.serrablo.org/img/srbl80/21-80-6\\_4.jpg](http://www.serrablo.org/img/srbl80/21-80-6_4.jpg)

*Iglesia San Martín, Oliván*

**Figura 16\_San Martín de Oliván**  
[http://www.manuelarribas.es/IMG\\_enlazadas/olivan\\_C7272.jpg](http://www.manuelarribas.es/IMG_enlazadas/olivan_C7272.jpg)

**Figura 17\_Hueco central elevado en el ábside**  
<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Olivan%20G05.jpg>

**Figura 18\_Acceso a nave principal, fachada Oeste**  
<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Olivan%20G04a.jpg>

**Figura 19\_Acabado cromático, remate nave de ampliación**  
<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Olivan%20G15a.jpg>

**Figura 20\_Pila bautismal**  
<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Olivan%20G18.jpg>

**Figura 21\_Nave-Ábside-Torre**  
[http://3.bp.blogspot.com/-KmjWOzQx3uc/UH\\_eN7BYGal/AAAAAAAITE/iXybPjjQJyQ/s640/OLIVAN+\(HUESCA\)+IGLESIA+DE+SAN+MARTIN+S.XI.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-KmjWOzQx3uc/UH_eN7BYGal/AAAAAAAITE/iXybPjjQJyQ/s640/OLIVAN+(HUESCA)+IGLESIA+DE+SAN+MARTIN+S.XI.jpg)

**Figura 22\_Planta San Martín**  
<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Olivan%2000%20Planta.jpg>

*Iglesia San Pedro, Lasieso*

**Figura 23\_San Pedro de Lasieso**  
<http://www.jdiezarnal.com/serrablolasiesocabecera01.jpg>

**Figura 24\_Muros y arcos, estructura torre y nave primigenia**  
<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Lasie%20G16.jpg>

**Figura 25\_Torre, doble cuerpo y vanos**  
<http://www.jdiezarnal.com/serrablolasiesotorre01.jpg>

**Figura 26\_Ábside mozárabe/ábside románico**  
<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Lasie%20G03.jpg>

**Figura 27\_Sarcófago Conde Sancho Ramírez**  
<http://www.jdiezarnal.com/serrablolasiesosarcofago01.jpg>

**Figura 28\_Vaso de recolección de diezmos**  
<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Lasie%20G22.JPG>

**Figura 29\_Planta San Pedro**  
<http://www.jdiezarnal.com/serrablolasiesoplanta01.gif>

**Figura 30\_Conjunto monacal**  
<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Lasie%20G04b.jpg>

*Iglesia San Pedro, Lárrede*

**Figura 31\_San Pedro de Lárrede**

[http://4.bp.blogspot.com/\\_URNZmGp0B0k/TOjgXZ9qjTI/AAAAAAAABsg/vorfrTxgF-l/s1600/larrede-5.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_URNZmGp0B0k/TOjgXZ9qjTI/AAAAAAAABsg/vorfrTxgF-l/s1600/larrede-5.jpg)

**Figura 32\_Parejas de columnas, división interior**

<http://www.jdiezarnal.com/serrablolarredeinterior03.jpg>

**Figura 33\_Abside, paso de bóveda de cañón a bóveda de horno**

<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Larrede%20G15.jpg>

**Figura 34\_Huecos de coronación de la torre**

<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Larrede%20G001.jpg>

**Figura 35\_Retablo perdido, fotografía de Gil Marraco (1922)**

<http://www.serrabulo.org/img/srbl139/portada139.jpg>

**Figura 36\_Crismón trinitario oscense**

<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Larrede%20G092.jpg>

**Figura 37\_Planta San Pedro**

<http://www.romanicoaragones.com/0-Jacetania/Larrede%2000-Planta.jpg>

**Figura 38\_Conjunto urbano**

[http://2.bp.blogspot.com/\\_qnA3pp7Axn0/S\\_Q9g6csQ0I/AAAAAAAACF0/EIOzJ8AckNw/s1600/2009-09-04\\_Torre+de+Larrede-07.JPG](http://2.bp.blogspot.com/_qnA3pp7Axn0/S_Q9g6csQ0I/AAAAAAAACF0/EIOzJ8AckNw/s1600/2009-09-04_Torre+de+Larrede-07.JPG)

*Levantamiento arquitectónico, Definición y uso de la fotogrametría*

**Figura 39\_Toma de medidas**

<http://quasing.altervista.org/blog/wp-content/uploads/2013/02/cropped-RILIEVI-TOPOGRAFICI-copia-copia.jpg>

**Figura 40\_Proyección ortogonal**

<http://www.rena.edu.ve/TerceraEtapa/dibujoTecnico/imagenes/ProyeOrtogonal27.gif>

**Figura 41\_Proyección ortogonal oblicua, axonometría**

[http://www.construmatica.com/construpedia/images/thumb/5/5d/Perspectiva\\_Obl%C3%ADcua\\_de\\_Tres\\_Puntos.jpg/290px-Perspectiva\\_Obl%C3%ADcua\\_de\\_Tres\\_Puntos.jpg](http://www.construmatica.com/construpedia/images/thumb/5/5d/Perspectiva_Obl%C3%ADcua_de_Tres_Puntos.jpg/290px-Perspectiva_Obl%C3%ADcua_de_Tres_Puntos.jpg)

**Figura 42\_Proyección ortogonal centrada, sistema cónico**

<http://plasticalasnieves.files.wordpress.com/2011/09/elementos-y-ejercicios-de-perspectiva-conica2.jpg>

**Figura 43\_Medición estereoscópica**

<http://www.gisiberica.com/estereoscopos/cap6-22.gif>

**Figura 44\_Structure from Motion**

[http://openmvg.readthedocs.org/en/latest/\\_images/structureFromMotion.png](http://openmvg.readthedocs.org/en/latest/_images/structureFromMotion.png)

**Figura 45\_Canon EOS 550D**

[http://4.bp.blogspot.com/-LmXHTOCK8HI/TIK\\_EQD5B3I/AAAAAAAAGY/JhpxGjZJ0\\_k/s320/500\\_Canon\\_EOS\\_550D\\_Contacto\\_p04.jpg](http://4.bp.blogspot.com/-LmXHTOCK8HI/TIK_EQD5B3I/AAAAAAAAGY/JhpxGjZJ0_k/s320/500_Canon_EOS_550D_Contacto_p04.jpg)

**Figura 46\_Panasonic DMC-FS15**  
[http://canbannhanh.com/Upload/products/Auto/2013/12/16\\_Panasonic-DMC-FS15\\_1.jpg](http://canbannhanh.com/Upload/products/Auto/2013/12/16_Panasonic-DMC-FS15_1.jpg)

**Figura 47\_Relación longitud focal/campo de visión**  
[http://spe.fotolog.com/photo/62/50/73/ramirolo/1202246300\\_f.jpg](http://spe.fotolog.com/photo/62/50/73/ramirolo/1202246300_f.jpg)

**Figura 48\_Esquemas de apertura de diafragma**  
<http://todo-fotografia.com/wp-content/uploads/2013/01/f-number-aperture480.jpg>

**Figura 49\_Comparación de ISO**  
<http://antojrv.files.wordpress.com/2010/08/fotoiso.jpg?w=470>

**Figura 50\_Drone *Phantom* de DJI**  
<http://www.pixfans.com/imagenes/2013/11/dji-phantom-2-vision-quadco.jpg>

**Figura 51\_Gopro Hero 3 Silver edition**  
[http://www.techspot.com/images/products/camcorders/org/750749706\\_210598326\\_o.jpg](http://www.techspot.com/images/products/camcorders/org/750749706_210598326_o.jpg)

**Figura 52\_Esquema SIFT**  
<http://www.codeproject.com/KB/recipes/619039/SIFT.JPG>

**Figura 53\_Bundle Adjustment**  
<http://www.geodetic.com/f.ashx?v=13731>

**Figura 54\_Multi View-Stereo**  
[http://cs.gmu.edu/~kosecka/multi\\_figure.jpg](http://cs.gmu.edu/~kosecka/multi_figure.jpg)

**Figura 55\_Nube de puntos discreta, S.Pedro de Lárrede**  
Elaboración propia

**Figura 56\_Malla triangulada, S.Pedro de Lárrede**  
Elaboración propia

**Figura 57\_Malla texturizada, S.Pedro de Lárrede**  
Elaboración propia

**Figura 58\_Modelo 3D, rhinoceros, S.Pedro de Lárrede**  
Elaboración propia

#### *Plan de Difusión Digital. Realidad Aumentada y servicios web*

**Figura 59\_Realidad Aumentada**  
<http://elearningsoft.files.wordpress.com/2012/08/realidadadumentada.jpg>

**Figura 60\_Panorámica por planos, S.Pedro de Lárrede**  
Elaboración propia

**Figura 61\_Desplegable vista parcial, S.Pedro de Lárrede**  
Elaboración propia

**Figura 62\_Panorámica vista parcial, S.Pedro de Lárrede**  
Elaboración propia

**Figura.63\_ Visor 3d de Sketchfab, S.Pedro de Lárrede**  
Elaboración propia

**Figura 64\_ Esquema *Milgram-Virtuality Continuum***  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/68/Milgram\\_Continuum.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/68/Milgram_Continuum.png)

**Figura 65\_ Display de video**  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/MediatedReality\\_on\\_iPhone2009\\_07\\_13\\_21\\_33\\_39.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/MediatedReality_on_iPhone2009_07_13_21_33_39.jpg)

**Figura 66\_ Display óptico**  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/8/8b/MicroOptical\\_MV-1.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/8/8b/MicroOptical_MV-1.jpg)

**Figura 67\_ Aumentaty Author, San Pedro de Lárrede**  
Elaboración propia

**Figura 68\_ Cabecera de la plataforma digital, Google Sites**  
Elaboración propia

### *Conclusiones*

**Figura 69\_ Esquema multidisciplinar**  
<http://www.convencerconcomunicacion.com/images/equipo-multidisciplinar.jpg>

**Figura 70\_ Sociedad Digital**  
[http://jorgehierro.com/wp-content/uploads/2011/08/iStock\\_000002629732XSmall.jpg](http://jorgehierro.com/wp-content/uploads/2011/08/iStock_000002629732XSmall.jpg)

## Bibliografía

- Agustín Hernández, L.; Fernández Morales, A.; Peinado Checa, Z. J. Documentación gráfica para la obtención de indicadores de sostenibilidad en la rehabilitación de la vivienda social y la regeneración urbana. En: *Actas del I Congreso Internacional de Vivienda Colectiva Sostenible*. 25-27 Febrero, Barcelona, 2014, p. 360-365.
- Almagro Gorbea, A. (2004). *Levantamiento Arquitectónico*, Granada: Universidad de Granada.
- Almagro Gorbea, A. Sobre el uso métrico de fotografías digitales en los levantamiento arquitectónicos. En: *X Congreso internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*, EGA 2004b, Granada, p. 351-359.
- Almagro Vidal, A. (2000). *Declaración sobre el levantamiento arquitectónico*. Carta del Rilievo. Castell Sant Angelo, Roma.
- American Society of Photogrammetry (1980). *Manual of Photogrammetry*, ASPRS Pubns; 4th Edition.
- Buill Pozuelo, F; Nuñez, M. A; Rodríguez, J. J. (2008). *Fotogrametría arquitectónica*, Barcelona: Ediciones UPC.
- Canellas-Lopez, A; San Vicente, A.; Schecher, G. (1971). *Aragon Roman*, La Pierre-qui-Vire: Zodiaque
- Cueli, J. T. (2011). *Fotogrametría práctica. Tutorial Photomodeler*, 1º Ed. España: Tantin
- Durán Gudiol, A. (1998). *Serrablo Medieval, Guía histórico-artística*, Zaragoza: Departamento de Educación y Cultura.
- Garcés, J; Duce, J.A. (2007). *Las Iglesias del Serrablo*, Sabiñanigo: Amigos del Serrablo.
- García Cuetos, M. P. (2012). *El patrimonio cultural. Conceptos básicos*, Zaragoza: Universidad de Zaragoza
- Higueras, A. (1981). *Geografía de Aragón*, Guara Editorial, Zaragoza (6 tomos), 3er tomo-anexo Serrablo y Valle de Tena, Zaragoza: Guara Editorial.

Péres Tornero, J. M. (2004). El futuro de la sociedad digital y los nuevos valores de la educación en los medios. *Comunicar*, num. 25, 2005, p. 247-258.  
<http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1368029.pdf> [Consultado el 05/08/14]

Ruiz Torres, D. (2013). *La realidad aumentada y su aplicación en el patrimonio cultural*, Gijón, Editorial Trea.

Satué Oliván, E; Latas, O; Navarro J.M. (1999). *Guía Turística del Serrablo*, Zaragoza: Editorial Prames.

Valle Melón, J. M. (2007). *Documentación geométrica del patrimonio. Propuesta conceptual y metodológica*. (Tesis doctoral). Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de La Rioja.  
<http://dialnet.unirioja.es/descarga/tesis/18561.pdf> [Consultado el 26/06/14]

van Blyenburgh, P. UAVs: and Overview, *Air & Space Europe*, I, 1999, 5/6, 43-47.

Westoby, M. J.; Brasington, J; Glasser, N. F.; Hambrey, M. J.; Reynolds, J. M. 'Structure from Motion' photogrammetry: a low cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, num. 179, 2012, p. 300-314.

#### Referencias web:

Agisoft Photoscan, software fotogramétrico.  
<http://www.agisoft.ru/>

Asociación Amigos del Serrablo, portal sobre las Iglesias del Serrablo  
<http://www.serrablo.org/>

Aumentaty, software para la realidad aumentada.  
<http://www.aumentaty.com/>

Gobierno de Aragón, portal sobre los Bienes Culturales de Aragón  
<http://www.patrimonioculturaldearagon.es/bienes-culturales>

Microsoft Photosynth, software para las visitas virtuales.  
<https://photosynth.net/default.aspx>

Romanico Aragonés, portal sobre el románico en Aragón  
<http://www.romanicoaragones.com/>

Sketchfab, portal visor para modelos 3D  
<https://sketchfab.com/>