

# Hybrid-ICT. Integrated methodologies for heritage documentation

Evaluation of the combined use of digital photogrammetry, 3D modeling and augmented reality in the documentation of architectural heritage elements.

## *TIC-Híbridas. Metodologías integradas para la documentación del patrimonio*

*Evaluación del uso combinado de la fotogrametría digital, modelado 3D y la realidad aumentada en la documentación de los elementos del patrimonio arquitectónico*

Ayman Alitany, Arq. PhD Student  
Dept. EGAI, Expresió Gráfica Arquitectónica I  
ETS Arquitectura Barcelona-UPC, Barcelona, Spain  
[ayman.arch@gmail.com](mailto:ayman.arch@gmail.com)

David Fonseca, Dr. Ing.  
Arquitectura e Ingeniería La Salle, Campus Barcelona  
Universitat Ramon Llull (URL), Barcelona, España  
[fonsi@salle.url.edu](mailto:fonsi@salle.url.edu)

Ernest Redondo, Dr. Arq. TU  
Dept. EGAI, Expresió Gráfica Arquitectónica I  
ETS Arquitectura Barcelona-UPC, Barcelona, Spain  
[Ernesto.redondo@upc.edu](mailto:Ernesto.redondo@upc.edu)

Albert Sanchez Riera, Arq. PhD Student  
Dept. CAII, Construcciones Arquitectónicas II  
ETS Arquitectura Barcelona-UPC, Barcelona, Spain  
[00asri@telefonica.net](mailto:00asri@telefonica.net)

*Abstract*— The constant disappearance of hundreds of roshans, the projected wooden windows, in the historical city of Jeddah is now an established fact. Documentation is a major step towards heritage preservation, whether threatened by man-made or natural factors but no architectural database or measurement records exist due to the absence of specialists and experts. Thus, there is an immediate need for training new technicians and architects who could ensure documentation and conservation of remaining heritage. Thus, we propose a combination of new technologies, flexible, high interconnectivity, and high usability data formats to capture, model, and simulate these elements of heritage interest. For this purpose, an academic experiment involving architecture students from Jeddah was designed. The experiment required students to engage with a new integration of ICT-Hybrid technologies that incorporate dynamic and fast processes for 3D documentation and modeling. In this paper, we evaluate the usability of the proposed methodology as well as investigate ideas that may bring us closer to the goal of effective heritage documentation.

*Keywords:* Cultural heritage; Educational research; Visual media; New classroom technologies; e-Portfolio; User experience.

*Resumen* - La desaparición constante de cientos de roshans, los miradores en voladizo de madera de la histórica ciudad de Jeddah es un hecho constatado. Su documentación es un paso importante hacia la preservación de este patrimonio amenazado por factores de origen humano o natural, pues no existe ninguna base de datos de los mismos ni registros de medición debido a la ausencia de especialistas y expertos. Por lo tanto, existe una

necesidad inmediata de formación de nuevos técnicos y arquitectos que puedan asegurar su conservación. Para ello se propone una combinación de nuevas tecnologías, de gran interconectividad de datos y formatos, flexibles y de alta usabilidad para capturar, modelar y simular estos elementos de interés patrimonial. Para este propósito se ha diseñado un experimento docente que involucra estudiantes de arquitectura de Jeddah. El experimento requería que los estudiantes se implicasen con una nueva estrategia de integración de tecnologías TIC Híbridas que permiten procesos dinámicos y rápidos para la documentación y modelado 3D de elementos patrimoniales. En este trabajo se evalúa la utilidad de la metodología propuesta, además de investigar nuevas ideas que pueden acercarnos a la meta de la efectiva documentación de dicho patrimonio.

*Palabras clave:* Patrimonio cultural; Investigación educativa; Medios audiovisuales, nuevas tecnologías educativas; e-Portfolio; Experiencia de usuario.

## 1. Introducción

La ciudad de Jeddah es uno de los principales enclaves urbanos de Arabia Saudita. Situada en la orilla oriental del Mar Rojo junto a La Meca, está considerada como uno de los conjuntos históricos más importantes de Oriente Medio. Durante los últimos cincuenta años, Jeddah ha perdido más de 600 de sus casas y edificios tradicionales a causa de la negligencia y abandono de sus habitantes. Todo ello comporta la desaparición cada año de ejemplos notables del patrimonio

arquitectónico, uno de cuyos elementos más singulares son los roshan o miradores de madera en voladizo de los cuales se han perdido un total de más de 1500. Esta situación es el punto de partida que el presente trabajo trata en parte de resolver, mediante su documentación y conservación tanto de forma física como digital y definiendo métodos para proceder en su posterior reconstrucción, recuperando de paso técnicas y oficios tradicionales.

El problema específico del proyecto radica en la formación de los arquitectos responsables de la reconstrucción o diseño de los roshan, profesionales que no existen en el país. Para ello, planteamos un método rápido y optimizado, que acorte los tiempos de aprendizaje mientras se adapta a la idiosincrasia de los roshan, cuya composición es parametrizable, sus motivos ornamentales muy repetitivos pero abigarrados, así como deformados por el paso del tiempo y ubicados en lugares angostos, donde las técnicas de levantamiento tradicionales o incluso el láser escáner no resultan efectivas. Como punto de partida se han estudiado los métodos de construcción de dichos elementos en Somalia, los cuales seguían patrones tradicionales y técnicas adaptadas a los materiales disponibles.

El problema técnico a solucionar es como hacer dicha tarea de formación de forma ágil y versátil. Para ello se plantea una nueva estrategia de documentación y reconstrucción virtual integrada, explorando las diferentes conexiones entre aplicaciones informáticas y tipos de datos obtenidos, combinando el levantamiento arquitectónico mediante: el fotomodelado, el MVPs (Patch Based Stereo Multiview), el DSM (Dense Stereo Matching) combinado con los Sistemas de Información Geográfica, y la simulación visual mediante la RA (Realidad Aumentada). Lógicamente se hace necesario evaluar este “cocktail” de herramientas TIC, (Tecnologías de la Información y la Comunicación), y su viabilidad de aplicación, en base a la investigación educativa llevada cabo con los estudiantes del grado de Arquitectura de la universidad King Abdulaziz en Jeddah.

En resumen el presente trabajo describe los antecedentes y el estado de la cuestión desde el punto de vista de la protección de los roshan, así como de las diferentes tecnologías estudiadas, para finalmente describir el estudio de viabilidad y la metodología propuesta según el entorno docente disponible, y los primeros resultados obtenidos que arrojan una visión altamente favorable y esperanzadora.

## II. Antecedentes y estado de la cuestión.

### A. Marco arquitectónico. Descripción del roshan.

El roshan (Fig.1), es una gran estructura de madera de teca que cuelga de la fachada y está revestida por una celosía finamente trabajada. Normalmente mide unos 2.4m de anchura, 0.6m de voladizo por 3m de altura. En algunas zonas puede ser más grande a partir de la yuxtaposición de varios, pero siempre debido al peso de la madera su voladizo promedio es de 0.6 m. Esto unido al espesor típico de muro de mampostería de carga que lo sustenta, unos 60-80cm, hace que

La parte de investigación educativa de este trabajo, la cual es el eje central del artículo, se ha llevado a cabo gracias al Pla Nacional de I+D, proyecto EDU-2012-37247 y el apoyo del grupo GILDA-ICE-UPC.

se genere en su interior una zona de estar suficientemente amplia como para que dos personas puedan sentarse a hablar o dormir, en un ambiente agradable aireado y fresco.



Figure 1. Ejemplos de diversos tipos de roshan de la zona del Al Balad, Jeddah, donde se aprecian las diferentes tipologías, los de tipo cajón y los monumentales, por agregación de los primeros. (Fotos de los autores)

Su altura interior, aproximadamente 2,7 m, permite estar de pie. En general la estructura principal es similar y las diferencias estriban en las partes secundarias más ornamentadas y con múltiples variantes para adaptarlas a su ubicación, protegiendo del exceso de radiación solar y de las miradas indiscretas a los habitantes de las casas en función de su poder adquisitivo. Una configuración normal se divide en tres partes separadas: base, cuerpo y remate. (Fig. 2).

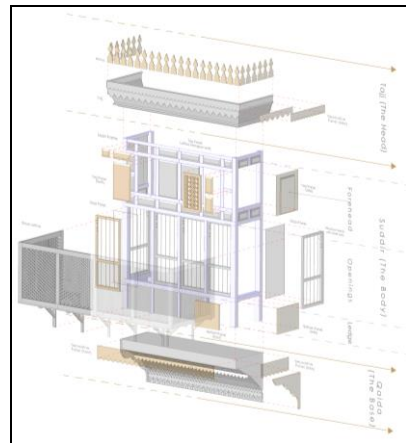


Figure 2. Partes de un roshan tipo y su denominación en árabe. (Dibujo de los autores)

Podemos establecer dos categorías fundamentales, los de tipo cajón y los monumentales de composición más compleja y que denotan el estatus de riqueza de la familia que los habita. Dado que los más habituales son las del primer tipo en este trabajo nos concentraremos exclusivamente en los primeros.

En general un mirador se divide en módulos rectangulares de 50-70 cm., siguiendo una composición simétrica de ejes estructurales verticales y una estratificación a base de horizontales con una modulación similar subdividida en otras menores para las zonas ornamentadas talladas a mano. Esta modulación se reproduce en los laterales y prefija el voladizo. El resultado de este esquema da lugar a un amplio abanico de

posibilidades por repetición y a una distribución flexible, con zonas ornamentadas, opacas, y cuya dimensión es más variable, teniendo el estilo de los diseños diversos motivos tradicionales.

Respecto a la bibliografía de referencia especializada en estos elementos arquitectónicos, esta es muy escasa, siendo difícil citar trabajos previos [1], [2], [3], como sucede con la mayoría de los temas de interés patrimonial en Arabia Saudí. En el apartado del registro fotogramétrico digital del patrimonio arquitectónico y su modelización virtual los referentes son también escasos [4], [5], [6], [7], incluyendo el uso de estrategias combinadas dado la diversidad de formatos y de información a implicar en el caso de la Arquitectura [8].

#### **B. El fotomodelado, DSM, Dense Stereo Matching y MVPs, Patch Based Stereo Multiview**

Los recientes avances en la fotogrametría digital automatizada están generando aplicaciones capaces de competir en prestaciones con los escáners láser pero a un menor coste y con la libertad de trabajar sobre cualquier ordenador, siendo la diferencia fundamental su distancia y alcance. Con la fotogrametría digital automatizada sólo se puede trabajar a distancias cortas, por debajo de los 25m y con buenas condiciones de luz, salvo que se usen ópticas muy luminosas. Entre las aplicaciones actuales podemos destacar Photomodeler [9], que integra diversos módulos, el primero restituye geoméricamente la geometría de la escena y es el que hemos usado en el levantamiento de los puntos singulares de los roshan, dada su adecuación e idoneidad previamente evaluada de esta aplicación en el ámbito arquitectónico [10], [11]. Además, el programa incorpora módulos especializados en DSM, (*Dense Stereo Matching*), métodos ampliamente utilizados en trabajos previos [12], [13], [14]. En todos estos trabajos es preciso calibrar las cámaras y utilizar diversas imágenes que hay que correlacionar de forma semi-automática o manual adaptándose perfectamente a temas escultóricos [15] y fotogrametría aérea [16], [17], [18].

Recientemente han aparecido nuevas aplicaciones que usan GPU y no precisan calibrar las cámaras, pero por el contrario se requieren muchas más imágenes con motivos estáticos y buena iluminación. Son las llamadas metodologías MVP's (*Patch Based Stereo Multiview*) [19], [20].

### **III. ENTORNO DOCENTE, ESTUDIO DE VIABILIDAD Y ENSAYO DE LA METODOLOGÍA.**

Como paso previo, hemos desarrollado un estudio de viabilidad y posteriormente un ensayo de la metodología implicando a estudiantes de la universidad King Abdulaziz en Jeddah durante el segundo semestre de 2012 en el taller titulado: "*SMV- Surviving, Modeling & Visualization- A case study of the Roshan element in the old city of Jeddah*", donde hemos trabajado con diversos miradores según su complejidad.

Como consecuencia del estudio y tras abordar 5 miradores, hemos deducido que para la adquisición de las imágenes y toma de medidas hay que ser conscientes de las limitaciones que impone la configuración volumétrica de cada mirador y su ubicación, pues es preciso la obtención de un mínimo número

de imágenes desde enfoques separados al menos 30° a distancias similares del motivo, centrándose en las esquinas. Para la captura de los elementos ornamentales es preciso obtener imágenes con buena luz que permitan reproducir los materiales y su textura. También es importante disponer de algunas medidas generales accediendo a su interior así como la identificación de su composición modular. Por otra parte hay que aceptar que su construcción en madera y el paso del tiempo ha ocasionado en ellos frecuentes desplomes y deformaciones, lo que significa que no pretendemos reproducir al detalle tales defectos sino documentar y recuperarlos en su apariencia original en caso de pérdida.

En la segunda fase de ensayo, hemos generado 9 levantamientos completos, desde la toma de datos hasta el procesamiento final y el modelo 3D resultante. En todos los casos se ha realizado un apoyo topográfico básico para completar la definición métrica, la geo-referenciación de las nubes de puntos y su integración mediante la transformación a coordenadas UTM en el SIG municipal. Así mismo, se han producido diversos croquis tradicionales para toma de datos desde el interior y de detalles constructivos, que han permitido comprender su proceso constructivo.

### **IV. Metodología propuesta.**

Sobre la base de las referencias antes citadas sobre fotogrametría, fotomodelado y modelización patrimonial y conociendo las características constructivas y compositivas del *roshan*, hemos diferenciado diversas escalas en el enfoque de la toma de datos y del posterior modelado: en primera instancia la de los componentes estructurales principales: cabeza, cuerpo y base que definen la volumetría general, donde usaremos la fotogrametría digital automatizada con la cámara calibrada, pero definiendo de modo manual los puntos homólogos en las imágenes. En segunda instancia, la de los detalles complejos, tales como los adornos de talla y los plafones ornamentales sobre la base del uso de DSM, para las zonas complejas, con cámaras calibradas pero pocas imágenes o MVPs, sin calibrar la cámara pero con una gran cobertura fotográfica. En tercera instancia, el análisis, interpretación y ensamblaje de las partes se ha hecho sobre un modelizador 3D de amplio espectro capaz de gestionar y exportar datos en múltiples formatos, siendo la opción escogida Rhinoceros®. En la Figura 3, se describe este proceso de forma esquemática en un enfoque que definimos como el levantamiento y la modelización, basados en el conocimiento del proceso constructivo. Esta es la estrategia general que a veces hemos debido adaptar en forma de tácticas concretas para cada caso, por ejemplo con la ayuda de aparatos elevadores, dibujos y mediciones de apoyo, etc.

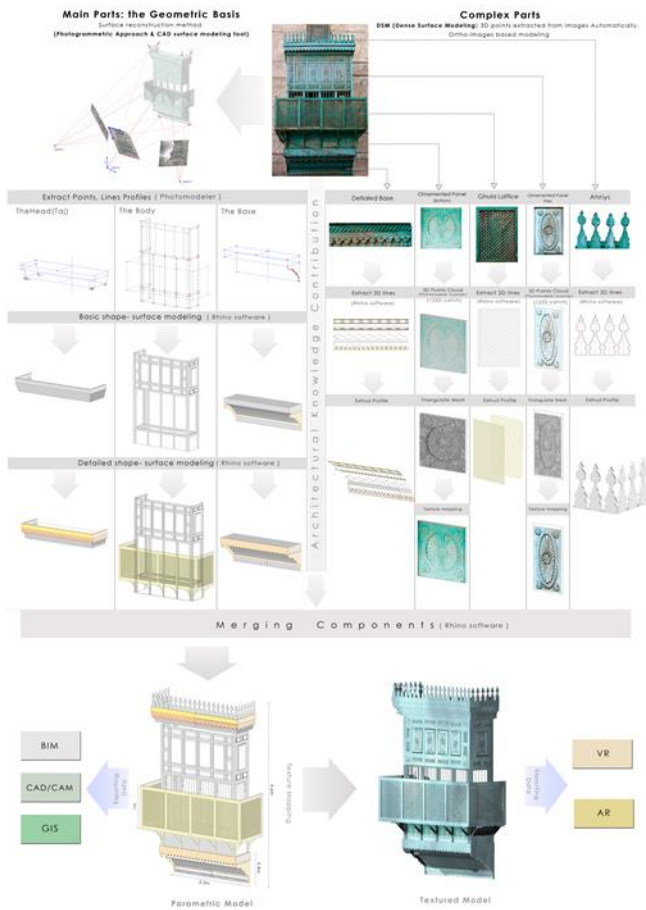


Figure 3. Esquema del proceso de levantamiento y modelización virtual de los roshan.

#### 4.1 Levantamiento de los puntos singulares del roshan.

Hemos empezado por la detección de los puntos singulares y la definición de los perfiles de trabajo relevantes extraídos de forma semi-automática o manual por medio de la fotogrametría digital usando un módulo de la aplicación PhotoModeler©, a partir del análisis de entre 3 y 5 imágenes generales del roshan. El proceso se refuerza con el apoyo topográfico, permitiendo orientar las imágenes así como la toma de datos desde el interior del mirador sobretodo del grosor de algunos elementos. La unión de todos estos datos permite la definición de los perfiles a partir de los cuales se generan las aristas y superficies según la jerarquía e importancia relativa de los componentes del mirador. El resumen de este proceso de captura y análisis de diversos módulos de un roshan usando el módulo de escaneo de Photomodeler interpretando los datos de manera semi-automática para definir las líneas generales y aristas, nos ha dado por lo que respecta al correcto uso de la aplicación y en cada caso, un RMS error total aceptable de 0.1811 píxeles y un RMS error total de precisión en la definición manual de los puntos homólogos de 0.813mm.

Por lo que respecta a los resultados del proceso de fotomodelado, si trabajamos con pocas imágenes, 2 ó 3, por la dificultad del lugar con factores de correlación por encima del 95% en las fotografías, el error en comparación con las medidas reales es más que aceptable, situándose alrededor de 0.063mm.

#### 4.2 Modelización virtual de los componentes estructurales.

Respecto al sistema de modelado, la gestión de los datos 3D extraídos de las imágenes, así como su interpretación se ha llevado a cabo con Rhinoceros©, una aplicación educativa que permite la generación de superficies complejas, su edición y conversión en NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*), curvas, superficies y sólidos sin límite de complejidad, grado o tamaño. El programa también es compatible con el modelado de polígonos, mallas y nubes de puntos permitiendo generar superficies NURBS de las zonas con motivos ornamentales. Es fácil de utilizar y permite trabajar con muchos formatos, lo cual es muy útil para la fusión e integración de las diferentes partes de modelo. Tomando como base los datos de los puntos de control de las dianas, los generados en PhotoModeler©, del apoyo topográfico y los croquis acotados, se procede a definir la posición exacta de las esquinas del mirador y los elementos estructurales más importantes, tras lo cual se generan las diferentes superficies (Fig. 4).



Figure 4. Ejemplos de los diferentes resultados parciales obtenidos en el proceso con el módulo Scanner

#### 4.3. Captura de elementos ornamentales complejos con DSM

Hemos utilizado el DSM como un conjunto de herramientas para la extracción y manipulación de nubes de puntos a partir de fotografías, lo que también nos permite mediciones precisas del motivo, haciéndose equiparable a un escáner láser pero de menor costo. En nuestro caso el programa DSM es el PhotoModelerScanner©. Para ello se han tomado diversos pares de fotografías del mismo motivo. Tras hacer coincidir los puntos de referencia, el sistema procesa automáticamente los puntos homólogos de las imágenes a partir de la detección del valor de intensidad de los diferentes píxeles y la correlación geométrica de las formas representadas en las imágenes. Así se genera una nube de puntos de toda la pieza. En este caso es imprescindible calibrar la cámara para obtener datos más precisos. La nube resultante se convierte en una malla cuyos puntos de paso coinciden con la posición de lo representado por los píxeles. Los datos 3D son exportados en formatos estándar 3D (DXF, 3DS, IGS) y orto-imágenes.

Para conseguir los mejores resultados es preferible la utilización de una cámara digital con una lente fija o poder fijar el zoom, asegurar una buena calibración de la cámara a una distancia similar a la del levantamiento y contar con una



mezcla de diversos encuadres y ángulos de toma. Para la creación de la malla es preferible usar los ángulos más pequeños o mayores distancia focales. (Fig. 5)



Figure 5. Ejemplos de los diferentes resultados parciales obtenidos en el proceso DSM

#### 4.4. El MVP, s. Alternativa a la captura y modelización de elementos ornamentales y superficies complejas sin calibración de cámara.

En previsión de no disponer de las aplicaciones antes citadas hemos usado otra táctica para el levantamiento de los módulos ornamentados. Los métodos MVPs, consisten en que a partir de un conjunto de múltiples vistas estereoscópicas y de los parámetros de la cámara incorporados en los ficheros EXIF, una aplicación reconstruye mediante algoritmos la estructura en 3D de la escena visible en las imágenes a partir de su textura. El proceso sólo detecta los elementos estables en todas las imágenes y el resultado es un conjunto de puntos orientados. En nuestro caso hemos utilizado el programa 123DCatch© de Autodesk, actualmente gratuito para fines no comerciales y que requiere un mínimo de tres imágenes del motivo que luego se envían a un servidor de la empresa para su procesamiento. En 10-15 minutos generan un modelo tridimensional de malla del ornamento. La precisión final depende de las condiciones lumínicas, del número de vistas y de la distancia de su toma. En nuestro caso siempre hemos tenido una precisión menor que con DSM aunque aceptable para el uso de sólo 3-5 imágenes. Para corregir esta situación es necesario realizar más tomas, factible ya que el sistema admite hasta 250 imágenes. El modelo final se exporta como archivo OBJ con la información vectorial y el mapa de textura en un fichero MTL (Fig.6).

La fusión de los componentes parciales se realiza también sobre Rhinoceros©, por las ventajitas antes expuestas, tomando como base los criterios y normas de composición del *roshan*. Este proceso manual no es fácil pues hay que combinar diferentes tipos de modelos 3D e imágenes con resolución totalmente diferentes. Para ello es preciso eliminar las partes redundantes de los diversos objetos y fusionar los modelos en función de los puntos de referencia iniciales, tras lo cual se exporta el resultado a una aplicación de simulación visual que permite sugerir la apariencia del mirador.

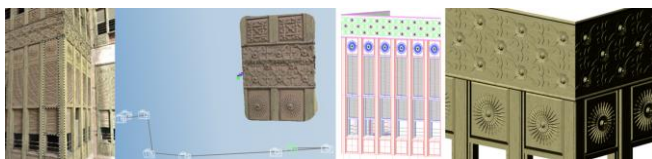


Figure 6. Ejemplos de los diferentes resultados parciales obtenidos en el proceso MVP's

## V. Evaluación del método

Independientemente de las variables más concretas del estudio, y que actualmente se ha derivado su análisis al profesorado responsable del proyecto, uno de los aspectos básicos a evaluar, y que actualmente es el eje central de todos los experimentos docentes que vienen realizando los autores del artículo [21], [22], radica en obtener el grado de adaptación expresado por parte de los estudiantes que la han realizado.

Con tal fin, hemos diseñado un test final que evalúa la experiencia realizada, el cual se basa en el estándar ISO 9241-11, que propone toda una serie de guías para la evaluación de la usabilidad [23]. En concreto hemos agrupado las diversas preguntas de la encuesta con el fin de obtener la respuesta sobre tres variables generales: la Efectividad (ver Fig. 7), entendida como la habilidad para completar las tareas propuestas, la Eficiencia (ver Fig. 8), como variable que mide el tiempo y esfuerzos necesarios para realizar determinadas tareas, y finalmente la Satisfacción (ver Fig. 9), como respuesta subjetiva de los alumnos (n= 20, promedio de edad= 21.56, con una desviación típica de DT= 0.46, todos ellos varones, estudiantes de 3º y 4º curso del grado del departamento arquitectónico FED- Faculty of Environmental Design, de la KAU- King Abdulaziz University, de Jeddah, Arabia Saudí), sobre diversos aspectos de la metodología propuesta.

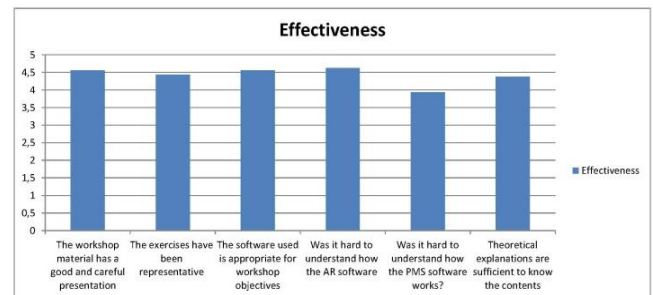


Figure 7. Principales indicadores de la Efectividad de la experiencia.

Claramente podemos observar en todas las variables testeadas que el experimento a nivel de usabilidad ha sido diseñado de manera correcta. Más del 90% de niveles relacionados con la Efectividad y la Eficiencia se han situado con medias por encima de 4, siendo el 5 el valor máximo. Estos promedios superan experiencias previas llevadas a cabo por el grupo de trabajo, donde la tendencia era encontrar valoraciones alrededor del 3.5 de media [23].

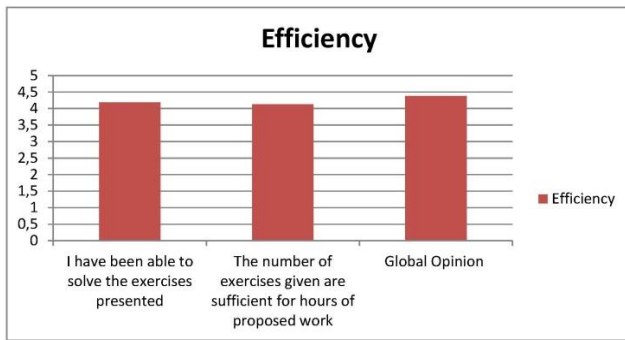


Figure 8. Principales indicadores de la Eficiencia de la experiencia.

De igual forma, los primeros resultados obtenidos según el grado de satisfacción con que los estudiantes han ponderado la experiencia docente, arrojan valores que se podrían considerar extremadamente positivos, con valores por encima o cercanos al 4.5 de media y tan solo reflejando una dificultad manifiesta en la capacidad de auto-aprendizaje que suponen las tecnologías utilizadas (segundo nivel de la Fig.9).

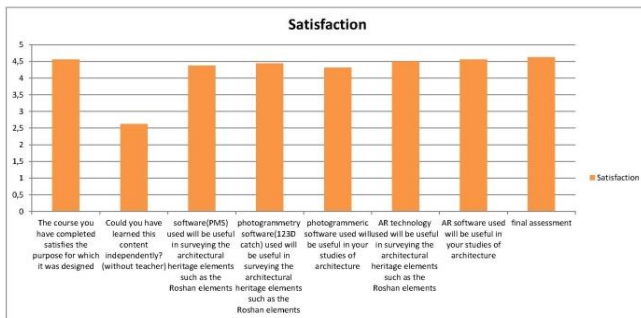


Figure 9. Principales indicadores del grado de Satisfacción expresado por los alumnos.

## VI. Primeras conclusiones y agradecimientos.

El objetivo principal del trabajo era el diseño de una metodología dinámica de reconstrucción y almacenamiento digital de elementos constructivos y arquitectónicos concretos (los roshan), a partir de una experiencia docente y la evaluación relacionada con la usabilidad de la misma por parte de los estudiantes. Al respecto, queda demostrado como mediante las técnicas de DMS y MVPs, el levantamiento de los roshan es perfectamente factible, preciso y con tiempos breves de ejecución a pesar de las dificultades que entrañan su especial configuración, detalles ornamentales y lo intrincado de su ubicación. En segundo lugar, ha quedado comprobado como la opción de gestión de nubes de puntos, modelado por elementos y posterior ensamblaje siguiendo el proceso constructivo es un método flexible, multi-usuario y de bajo coste, que mediante un equipamiento muy básico y un conocimiento transversal de aplicaciones de modelado 3D genera una estrategia heterodoxa pero ágil, tanto para documentación y conservación, como para la simulación y representación visual de estos elementos. Estas características hacen del trabajo (basado en el registro documental de los mismos, aspecto inédito y urgente por su degradación) centrado en una experiencia docente capaz de habilitar a

profesionales capacitados para su documentación y restauración, un ejemplo sin referencias previas.

La evaluación final de la usabilidad del método, partiendo de los conocimientos previos del alumnado con competencias en CAD, modeladores 3D y programas de manipulación de imágenes, nos ha arrojado una excelente acogida, siendo esta una variable que sin duda nos permite ahondar en el tema. Los alumnos han adquirido nuevas competencias en el uso de aplicaciones avanzadas de modelado como Rhinoceros®, en fotogrametría con Photomodeler® ó 123DCatch®, o en RA, por lo que los conocimientos adquiridos han sido muy bien valorados incluso teniendo en cuenta su dificultad de aprendizaje.

Más del 90% de los estudiantes fueron capaces de completar el ejercicio, fueron capaces de tomar los datos usando la fotografía digital, gestionar las diferentes estrategias de fotomodelado, construir sus modelos virtuales y visualizar su restauración sobre el lugar usando la RA sobre sus dispositivos móviles. En definitiva, todas estas actividades han permitido mejorar sus habilidades en computación gráfica y enriquecer su conocimiento de los elementos del patrimonio arquitectónico (Fig. 10 ).

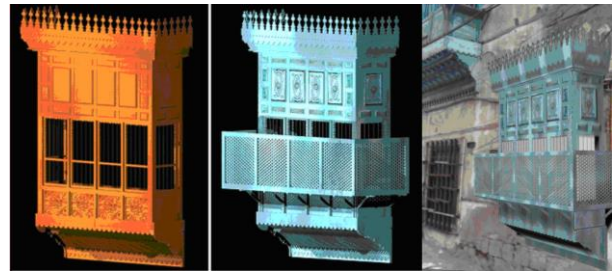


Figure 10. Algunos resultados de los procesos de documentación.

## References

- [1] Greenlaw, J.P.,1976, The coral buildings of Suakin, Islamic Architecture,Planning, Design and Domestic ar-rangements in red sea port ; London, New-York. 1995 Ed. Paul Kegan international. 132 p
- [2] Jomah, H.A., 1992. The TraditionalProcess of Producing a House in Arabia During the 18th and 19th Centuries, A Case study of Hedjaz, Ph.D. Thesis,University of Edinburgh.
- [3] Angawi, S.M., 1995 "The Roshan a Main Feature of the Hedjaz Architecture" Colored Glass and Mushrabiyyah in the Muslim World. Cario: Research Centre for IslamicHistory, Art and Culture, 1995.27-522.
- [4] Abdelhafiz, A., 2009.Integrating Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning. PhD. Thesis Institute of Geodesy and photogrammetry, TU- Braunschweig,Germany.
- [5] Ikeuchi, K., Miyazaki, D., 2008. Digitally Archiving Cultural Objects.Springer, 503 p.
- [6] Remondino, F., Fabio Menna, F., 2008, Image-based surface measurement for close-range heritage documenta-tion, The Int. Arch.of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, Vol. XXXVII-B Part B5, pp. 199-206.
- [7] Gomez L. y Quirosa, V. Il modello infografico scientifico per la conoscenza del patrimonio culturale: metodologia e applicazione. En: I Beni Culturali. Tutela, valorizzazione, attività culturali, architettura contemporanea e bioarchitettura, 6: 1-22, 2008.
- [8] Fassi, F., 2007, 3D modeling of complex architecture integrating different techniques – a critical overview. The Int. Arch. of the

- [9] .Photomodeler©, 'HowItWorks'  
<[http://www.photomodeler.com/products/scanner/how\\_it\\_works.htm](http://www.photomodeler.com/products/scanner/how_it_works.htm)>  
ac-cessed 2009.
- [10] Grussenmeyer, P., Hanke, K., Streilein, A. Architectural photogrammetry. Chapter in « Digital Photogrammetry », edited by M. KASSER and Y. EGELS, Taylor & Francis (2002), pp. 300-339.
- [11] Hullo, J.-F., Grussenmeyer, P., Fares, S., 2009. Photogrammetry and dense stereo matching approach applied the documentation of the cultural heritage of Kilwa (Saudi Arabia). CIPA 2009, Kyoto, Japan, 6p.
- [12] Hannah, M. 1989, "A System for Digital Stereo Image Matching", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 55, no. 12, pp. 1765-1770.
- [13] Hoff, W. & Ahuja, N. 1989, "Surfaces from Stereo - Integrating Feature Matching, Disparity Estimation, and Contour-Detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 11, no. 2, pp. 121-136.
- [14] Maitre, H. & Luo, W. 1992, "Using Models to Improve Stereo Reconstruction", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 14, no. 2, pp. 269-277.
- [15] Guidi, G., Beraldin, J., Atzeni, C., 2004. High-accuracy 3D modeling of cultural heritage: the digitizing of Donatello's "Maddalena". Image Processing, IEEE Transactions on, 13(3), 370-380.
- [16] Yang, M. & Wu, Y. 2008, A stereo matching algorithm for DSM generation from high resolution aerial images, PUBLISHING HOUSE ELECTRONICS INDUSTRY, BEIJING; PO BOX 173 WANSHOU ROAD, BEIJING 100036, PEOPLES R CHINA.
- [17] Yang, M. & Wu, Y. 2008, A stereo matching algorithm for DSM generation from high resolution aerial images, PUBLISHING HOUSE ELECTRONICS INDUSTRY, BEIJING; PO BOX 173 WANSHOU ROAD, BEIJING 100036, PEOPLES R CHINA.
- [18] Zenati, N. & Zerhouni, N. 2007, "Dense Stereo Matching with Application to Augmented Reality", Signal Processing and Communications, 2007. ICSPC 2007. IEEE International Conference on, pp. 1503.
- [19] Lhuillier, M. & Quan, L. 2005, "A quasi-dense approach to surface reconstruction from uncalibrated images", Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, vol. 27, no. 3, pp. 418-433.
- [20] Wu, T., Yeung, S., Jia, J. & Tang, C. 2010, "Quasi-Dense 3D Reconstruction using Tensor-based Multiview Stereo", 2010 Ieee Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Cvpr), , pp. 1482-1489.
- [21] Redondo, E., Fonseca, D., Giménez, L., Santana, G., Navarro, I., "Alfabetización digital para la enseñanza de la arquitectura. Un estudio de caso". *Arquiteturarevista*. 8(1), 2012, pp. 76-87. DOI: 10.4013/arq.2012.81.08
- [22] Fonseca, D., Martí, N., Navarro, I., Redondo, E., Sánchez, A., "Uso de la Realidad Aumentada como Plataforma Educativa en la Visualización Arquitectónica", XIV Simposio Internacional de Informática Educativa (SIIE-2012) Ed. La Salle Open University, ISBN:978-84-939814-6-4, pp.337-342.
- [23] Sánchez, A., Redondo, E., Fonseca, D., "Developing an Augmented Reality Application in the Framework of Architecture Degree", In *Proceedings of the 2012 ACM workshop on User experience in e-learning and augmented technologies in education (UXeLATE '12)*. ACM, New York, NY, USA, 37-42. DOI=10.1145/2390895.2390905