

UNA NUEVA METODOLOGIA PARA LA DOCUMENTACION Y MODELADO 3D DE ELEMENTOS DEL PATRIMONIO ARQUITECTONICO: Un estudio de viabilidad y de caso. Los miradores colgantes de madera "Roshan" en la ciudad histórica de Jeddah

A NEW METHODOLOGY FOR A DETAILED 3D MODELING AND DOCUMENTATION OF THE COMPLEX ARCHITECTURAL HERITAGE ELEMENTS: A feasibility and case study of wooden projected window "the Roshan" in the historical city of Jeddah

Ayman Alitany, Ernest Redondo, Adnan Adas

doi: 10.4995/ega.2014.2316

La arquitectura tradicional de la región de Hejaz, Arabia Saudita, se caracteriza por los roshan, miradores de madera, el elemento más emblemático de Jeddah, su capital, cuya degradación continuada a lo largo de siglos ha comportado la pérdida de cientos. Esta investigación se centra en el estudio de una estrategia que combina diversas aplicaciones informáticas de captura, fotomodelado, modelización virtual y visualización junto con otras tradicionales, planteada para su aplicación docente, con el fin de disponer de los medios y personas, con la capacidad de documentar los cientos de roshan, que con sus intrincados motivos ornamentales, están en peligro de desaparecer y generar con todos ellos una base de datos multi-registro, integrada en la existente en la ciudad. Hemos llevado a cabo un estudio de viabilidad y el ensayo más la valoración de esa estrategia con los estudiantes locales de arquitectura donde se ha demostrado la validez del método.

Palabras clave: Fotogrametría digital automatizada, Modelado en 3D, Documentación del Patrimonio Arquitectónico, El Roshan, la ciudad histórica de Jeddah.

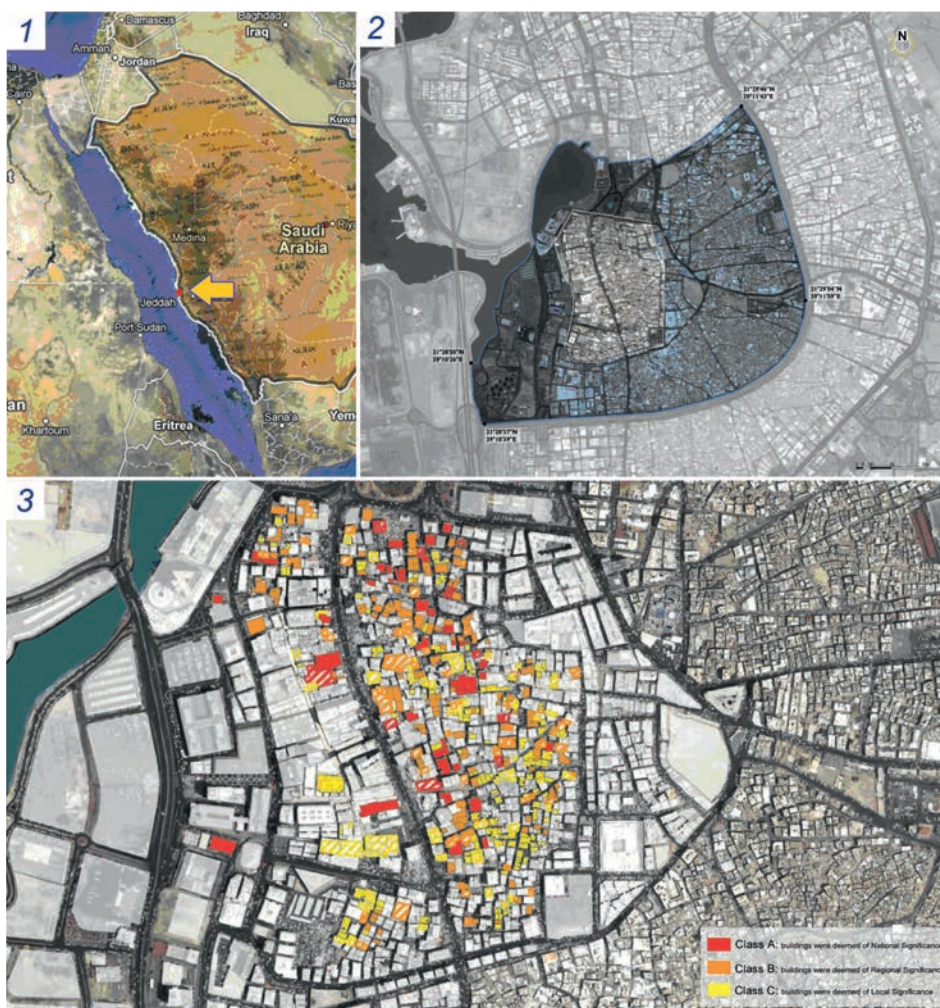
Characterizing the traditional architecture of Hejaz in Saudi Arabia and is considered as its emblem, the Roshan is the most obvious element in most of the Historical Jeddah's heritage buildings. The city has witnessed continued degradation during the past which has caused the loss hundreds of these balconies. This research focuses on the study of a strategy combining various computer applications of surveying, photogrammetry, virtual modeling of complex forms and visualization with others traditional, posed to the educational application, in order to dispose resources and experts, with the capacity to document hundreds of the Roshans, intricately ornamented, are in danger of disappearing and generate with them a multi-record database, integrated into the existing city. We have conducted a feasibility study and testing over the evaluation of that strategy with local students of architecture which has demonstrated the validity of the method.

Keywords: Automated Digital Photogrammetry, 3D modeling, Architectural Heritage Documentation, The Roshan, The Historical city of Jeddah



1. 1) Situación de la ciudad de Jeddah en Arabia Saudita; 2) fotoplano de su casco histórico; 3) clasificación de los edificios de interés patrimonial del estudio de Robert Matthew, 1980.

1. 1) The location of Jeddah city in Saudi Arabia; 2) satellite image showing the limits of the historical city property and buffer zone; 3) the classification of heritage buildings in the study of Robert Matthew 1980.



Introducción

La ciudad de Jeddah es uno de los principales enclaves urbanos de Arabia Saudita desde tiempo inmemorial. 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 ha perdido más de sus 600 casas y edificios tradicionales a causa de la negligencia 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, término de origen hindú, que los define en la región de Hejaz, equivalente al de *mashrabiya* de Egipto y al de *shanasheel* en Iraq. Este es el motivo que anima este trabajo; su documentación, conservación y proceder si cabe a su posterior reconstrucción usando de las técnicas más avanzadas de fotogrametría, el fotomodelado de superficies densas, *Dense Stereo Matching*, DSM y los métodos MVPs, *Patch Based Stereo Multiview*, para la captura de los motivos ornamentales, la publicación, registro y catalogación sobre un SIG, Sistemas de Información Geográfica así como para su simulación visual mediante RA, Realidad Aumentada. Evaluada la magnitud y complejidad del caso, el problema a resolver es como lograr documentar todo este patrimonio antes de su pérdida, para

ello planteamos una estrategia específica adecuada a la naturaleza, ubicación y número de *roshan* a levantar, consistente en combinar diversas metodologías de captura y fotomodelado de fácil uso, para poder formar un amplio grupo de personas que puedan abordar esta ingente tarea. En este trabajo mostramos el resultado del proceso de implementación en la formación de un grupo estudiantes del grado de arquitectura en Jeddah.

La ciudad vieja, al Balad en Jeddah. Antecedentes y su estado actual

El núcleo histórico de Jeddah conocido como *al Balad*, el Pueblo, presenta una estructura urbana caracterizada por sus estrechos callejones, altas vi-

Introduction

The city of Jeddah is one of the main urban enclaves of Saudi Arabia since time immemorial. Located on the eastern bank of the Red Sea near Mecca, it is considered one of the most important historical sites of the Middle East. For the last fifty years it has lost more than 600 traditional houses and buildings due to the negligence of their inhabitants. Every year this results in the disappearance of notable examples of architectural heritage; one of the most exceptional elements of this is the *roshan* or cantilevered wooden oriel window, a term of Hindu origin defined in the region of Hejaz, equivalent to the *mashrabiya* of Egypt and the *shanasheel* of Iraq. The motive behind this study is to document, preserve and, if relevant, subsequently restore the *roshan* using the most advanced techniques of photogrammetry, photomodelling of dense surfaces, *Dense Stereo Matching* (DSM), and *Patch based Multiview Stereo* (PMVS) methods to capture the ornamental motifs, to publish, record and catalogue them in Geographic Information



Systems (GIS) as well as visually simulate them through Augmented Reality (AR). After evaluating the value and complexity of the case, the problem to resolve is how to document all of this heritage before it is lost. For this purpose we considered a specific strategy suitable to the nature, location and number of roshan to be surveyed, consisting of combining diverse methods of capture and simple photomodelling to be able to train a large group of people to tackle this enormous task. In this study we will set out the results of the implementation process in the training of a group of students on the architecture degree course in Jeddah.

The old city, *al Balad* in Jeddah. Background and its current state

The historical quarter of Jeddah, known as *al Balad* or the Village, presents a urban structure characterised by its narrow alleys and high houses constructed in coral stone with many oriel windows. Like in the rest of Saudi Arabia, there are barely any historical studies on the subject, which in itself justifies this research. In 1973 Robert Matthew ¹ performed an inventory that constituted the basis for the current construction regulations in the old city and includes a complete list of historical buildings classifying them into three levels according to their architectural and historical significance. Class A buildings are of national importance; classes B and C are buildings of regional and local importance respectively. Nevertheless, this legislation has failed as of the 557 initial buildings of historical importance (Fig.1), only 312 now remain standing and it is likely that many more will be lost in a few years if the current neglect continues; we have documented more than 1500 roshan in danger. (Fig. 1)

Description of the roshan

The roshan (Fig. 2) ² is a large wooden structure made of teak that hangs from the façade, finished with fine latticework. They generally measure 2.4 m wide and 3 m high with a cantilever of 0.6 m. In some areas they may be bigger by juxtaposing several, but the average cantilever is always 0.6 m. This, along with the typical thickness of the masonry wall that supports them, around 60-80 cm, generates an area suitable for two people to sit and chat or sleep, in a very pleasant, ventilated and cool setting ³. Its interior height of approximately 2.7 m enables a person to stand and hang up the traditional oil lamp ⁴. In general

2. 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.

2. Examples of different types of Roshans in the *Al Balad* zone, Jeddah, where different typologies are seen, the boxes and monumental.



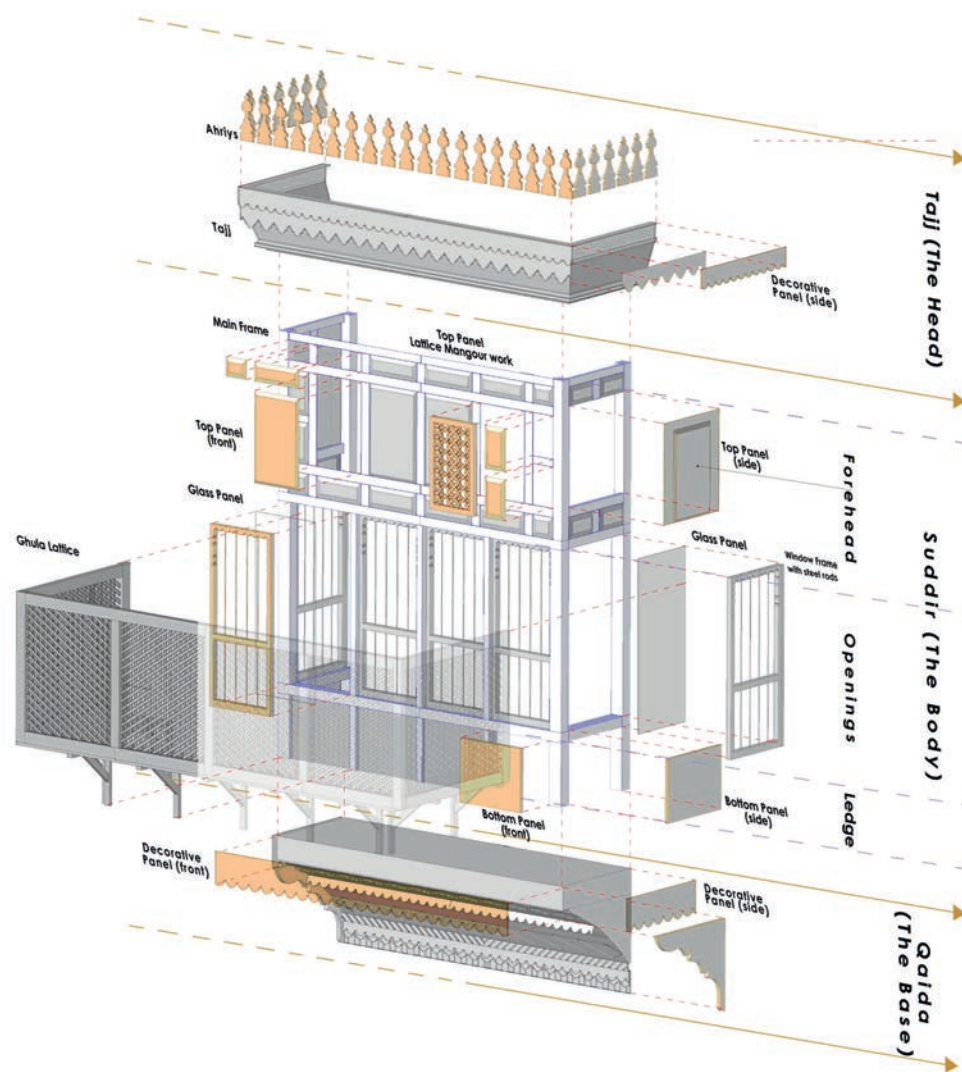
2

viendas construidas con piedra coralina plagadas de miradores. Como en el resto de Arabí Saudí, apenas existen estudios históricos sobre el tema, lo cual ya justifica esta investigación. En 1973 Robert Matthew ¹ realizó un inventario, que constituye la base de las normas de construcción vigentes en la vieja ciudad e incluye una lista completa de viviendas históricas clasificándolas en tres niveles en función de su importancia arquitectónico-histórica. Clase A edificios de importancia nacional; clase B y C, edificios de relevancia regional y local. Esta legislación no obstante ha fallado pues de los 557 edificios de importancia histórica iniciales (Fig.1), ahora sólo quedan 312 en pie y es probable que muchos desaparezcan en pocos años si

el descuido actual continúa, teniendo por nuestra parte documentados más de 1500 *roshan* en peligro. (Fig. 1)

Descripción del roshan

El *roshan* (Fig. 2) ² es una gran estructura de madera de teca que cuelga de la fachada, revestida por una celosía finamente trabajada. Normalmente mide 2.4m de anchura, 0.6m de voladizo por 3m de altura. En algunas zonas puede ser más grande por juxtaposición de varios, pero siempre su voladizo promedio es de 0,6 m. Esto unido al espesor típico de muro de mampostería que lo sustenta, unos 60-80cm, genera una zona apta para que dos personas puedan sentarse a hablar o dor-



3. Partes de un roshan tipo y su denominación en árabe.

3. The Roshan's parts and components and their denomination in Arabic terms.

the main structure is similar; the differences are the more decorative secondary parts in the exterior face, with multiple variations to suit its location, to protect from excess solar radiation and to maintain the privacy of the inhabitants of the house. A normal layout divides the structure into three separate parts, the base, the body and the head (Fig. 3). Two fundamental categories can be established: box type and monumental, with a more complex composition that denotes the wealth of the family that inhabits the building. As the first type is the most common, this is the exclusive focus of the study. (Fig. 2) The part-standard part-artisan construction process gives rise to multiple variations and the fact that we are unlikely to find two that are exactly the same, which provides a great wealth of shapes to these historical buildings but presents us with a great challenge. A projected window is divided into rectangular modules following a symmetrical composition of vertical axes and horizontal stratification. The result is a flexible distribution, whether in the ornamented areas, where the dimensions vary and where the style of the motifs is traditional, or in the openable areas, generally fitted with latticework with standard measurements. (Fig. 3) Figure 4 shows the moving parts and the most common types. The horizontal composition of the roof and the base usually bring more freedom in terms of dimensions and shapes and is characterised by its decorative nature, as well as by its cantilevered structure to transmit the weight towards the wall and protect the roof of the oriel window. (Fig. 4)

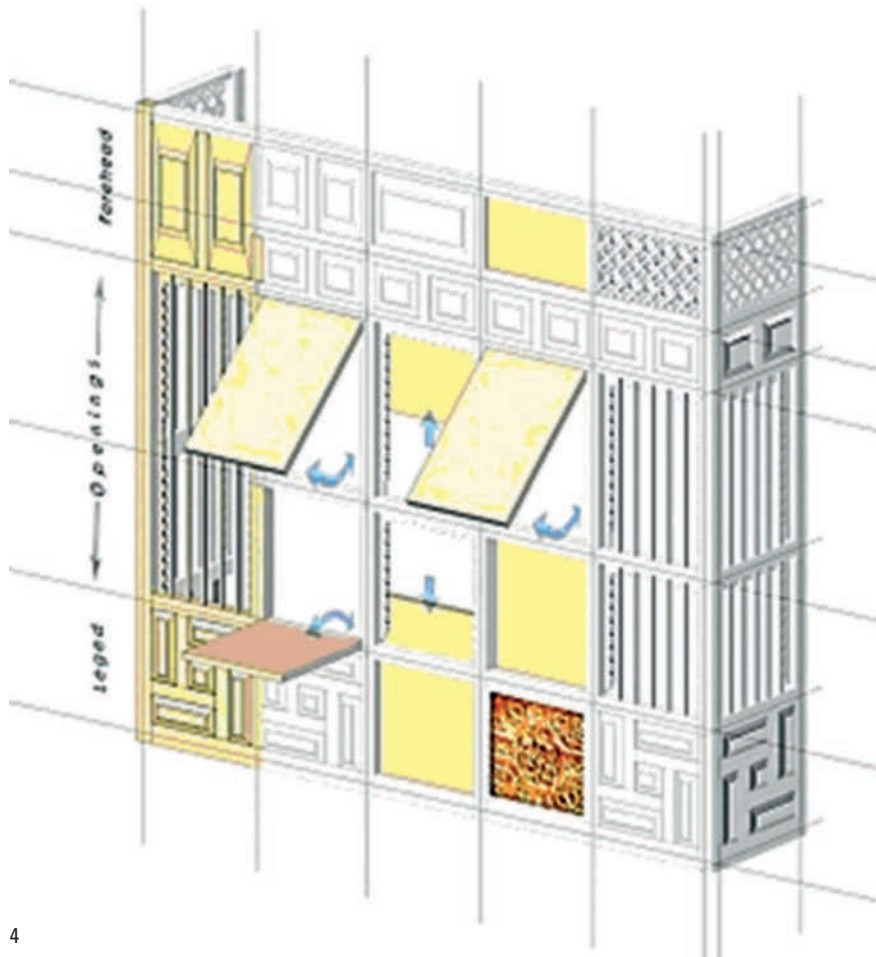
Feasibility study. The surveying and virtual reconstruction of various typical roshans. Preliminary considerations

As a preliminary step we developed a feasibility study and then tested the method involving 20 students from the King Abdulaziz university in Jeddah during the second semester of 2012 in the workshop *SMV: Surveying, Modelling & Visualisation - A case study of the Roshan element in the old city of Jeddah*, where we have worked with various oriel windows according to their complexity. As a consequence of the study and after tackling 5 projected windows, we deduced that in order to acquire the images and

3

mir, en un ambiente agradable aireado y fresco 3. Su altura interior, aprox. 2,7 m, permite estar de pie y colgar la lámpara de aceite tradicional 4. En general la estructura principal es similar; las diferencias estriban en las partes secundarias más ornamentadas en la cara exterior y con múltiples variantes para adaptarlas a su ubicación, proteger del exceso de radiación solar y de las miradas indiscretas a los habitantes de las casa. Una configuración normal se divide en tres partes separadas, base, cuerpo y remate (Fig. 3), pudiendo 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 los del primer tipo, en este trabajo nos concentraremos exclusivamente en ellos. (Fig. 2) El proceso mitad estandarizado-artesanal de su construcción da lugar a múltiples variantes y a que difícilmente haya dos completamente iguales, lo cual aporta una gran riqueza formal a los edificios históricos pero nos plantea un gran reto. Un mirador se divide en módulos rectangulares siguiendo una composición simétrica de ejes verticales y una estratificación horizontal. El resultado es una distribución flexible, ya sea de las zonas ornamentadas, cuya dimensión es variable y donde el estilo de los motivos es tradicional o de zonas practicables, normalmente provistas de celosías con medidas estandarizadas. (Fig. 3)



4

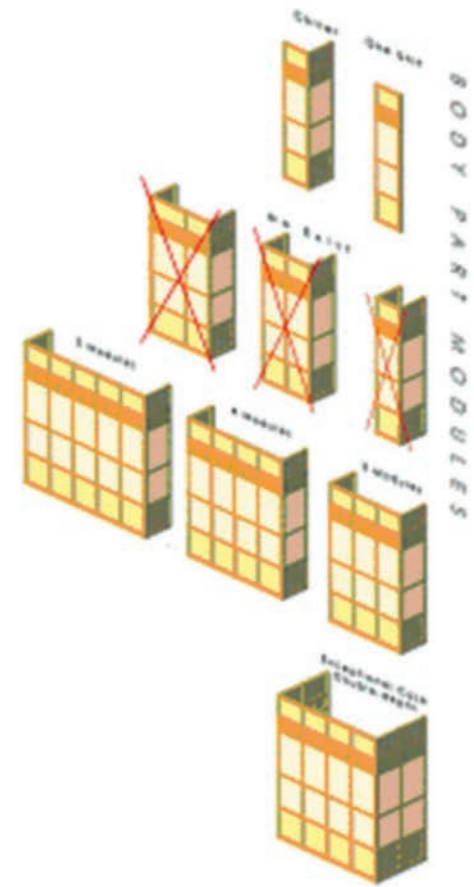
take measurements we must be aware of the limitations imposed by the volumetric configuration of each oriel window and its location, as there is a minimum number of images that must be taken from focal points approximately 30° apart at similar distances from the motif, concentrating on the corners. To capture the ornamental elements it is necessary to obtain images with good light that enable the materials and their texture to be reproduced. It is also important to obtain some general measurements by accessing the interior, as well as to identify its modular composition. At the same time it must be accepted the fact that it is made of wood and the passage of time have caused numerous collapses and distortions in them; we are not trying to reproduce these defects in detail, but rather document and restore them with their original appearance in the event they are lost.

In the second test phase we generated 9 complete surveys, from the data collection to the final processing and the resulting 3D model. In all cases basic topographic support was performed to complete the metric definition, the geo-referencing of the point clouds and their integration through

En la Figura 4, se describen las partes móviles y los tipos más habituales. La composición horizontal de la cubierta y la base suelen tener unas dimensiones y formas más libres y se caracterizan por su ornamentación, así como por su estructura en voladizo para transmitir el peso hacia el muro y proteger la cubierta del mirador. (Fig. 4)

Estudio de viabilidad. El levantamiento y reconstrucción virtual de diversos *roshan* tipo. Consideraciones preliminares

Como paso previo hemos desarrollado un estudio de viabilidad y luego un ensayo de la metodología implicando a 20 estudiantes de la universidad King Abdulaziz en Jeddah durante el segundo semestre de 2012 en el workshop:



SMV- Survying, 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 algo separados, 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



4. Estructura compositiva del roshan. Tipologías admisibles e inexistentes

4. The roshan's compositional structure. Admissible and non-existent typologies.

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; nosotros 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 georeferenciación 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.

Metodología propuesta

Con la base del trabajo de otros autores 5, 6, 7 sobre fotogrametría y modelización patrimonial y conociendo las características constructivas y compositivas del *roshan*, diferenciamos diversas escalas en el enfoque de la toma de datos y del posterior modelado. 1) 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. 2) La de los detalles complejos, tales como los adornos de talla y los plafones ornamentales sobre la base del uso de DSM, *Dense Stereo Matching* para las zonas complejas, pudiendo citar como referencias 8, 9 con cámaras ca-

librada pero pocas imágenes o MVPs, *Patch Based Stereo Multiview* 10, 11 sin calibrar la cámara pero con una gran cobertura fotográfica. 3) 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, Rhinoceros ©. En la Figura 5 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. (Fig. 5)

Levantamiento de los puntos singulares del roshan

Empezamos 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 3-5 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 sobre todo 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. (Figs. 6, 7)

Modelización virtual de los componentes estructurales

Respecto al sistema de modelado, la gestión de los datos 3D extraídos de

transformación into UTM coordinates in the municipal GIS. In addition, various traditional sketches were made to collect data from the interior and on the constructive details, which enabled us to understand the constructive process.

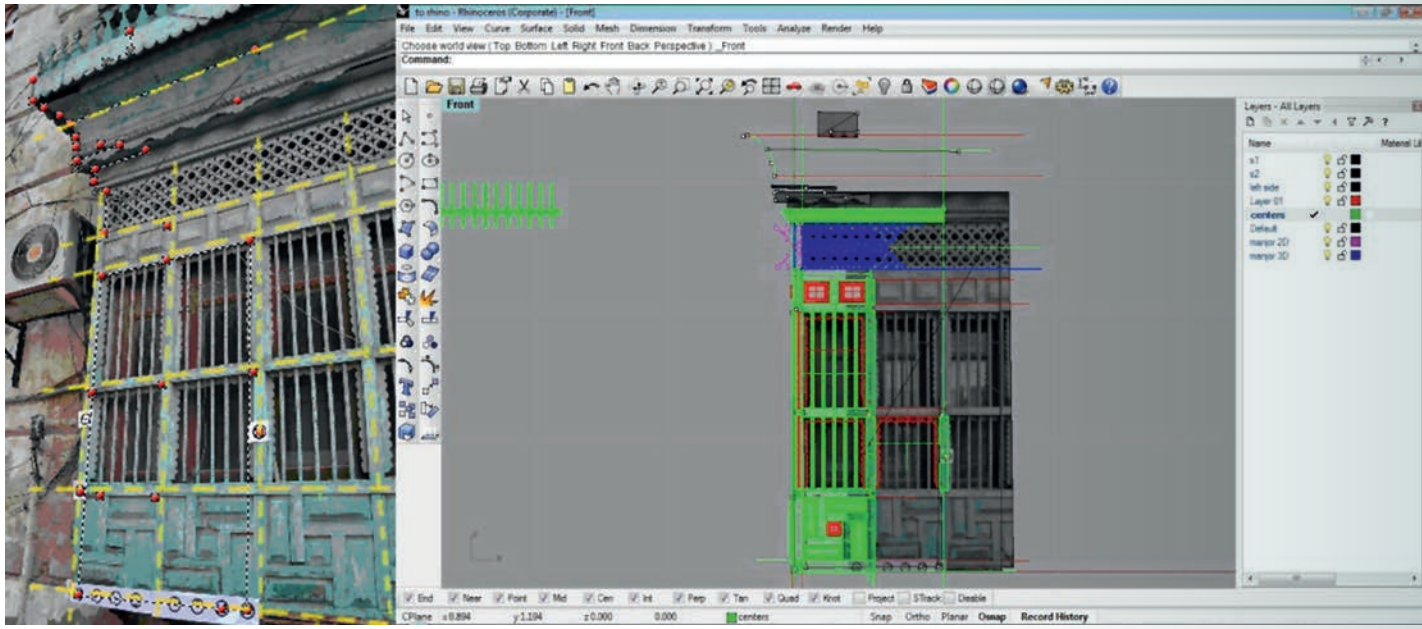
Proposed method

Based on the work of other authors 5, 6, 7 on photogrammetry and heritage modelling and the knowledge of construction and compositional specifications of the roshan, we differentiated various scales on the data collection and subsequent modelling. 1) The scale of the main structural components: head, body and base that define the general size, where we will use automated digital photogrammetry, with the camera calibrated, but defining the homologous points in the images manually. 2) The scale of the complex details, such as the decorative parts and the ornamental panels, on the basis of the use of DSM or Dense Stereo Matching for the complex areas, using 8, 9 as references with calibrated cameras but using few images or PMVS, *Patch based Multiview Stereo* 10, 11 without calibrating the camera but with a high level of photographic cover. 3) The analysis, interpretation and assembly of the parts were performed on a broad-spectrum 3D modeller capable of managing and exporting data in multiple formats, Rhinoceros®. Figure 5 depicts this process visually with a focus that we define as the survey and the modelling based on the knowledge of the constructive process. This is the general strategy that at times we have had to adjust in the form of specific tactics for each case, for example using lifting equipment, drawings and support measurements, etc. (Fig. 5)

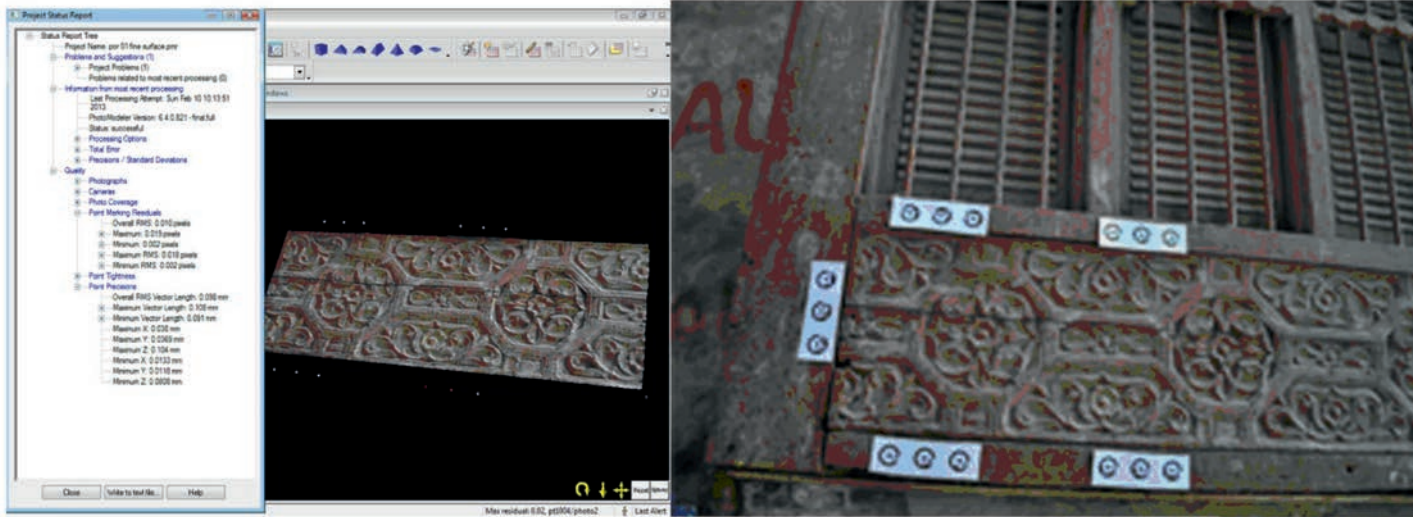
Survey of the single-points of the roshan

We started with the detection of the single points and the definition of the relevant work profiles extracted semi-automatically or manually by means of digital photogrammetry using the application PhotoModeler®, from the analysis of 3-5 general images of the roshan. The process was reinforced with the topographic support enabling us to orient the images and the data collection from the interior of the oriel window, especially the thickness of some elements. All of this data together makes it possible to define the profiles from which the edges and surfaces are generated according to the hierarchy and





8



ID	RMS Residual (pixels)	Largest Residual (pixels)	photo Largest Residual	Photos(used)	X Precision	Y Precision	Z Precision	Tigtness(m)	Angle(deg.)	
1	0,012942	0,013215998	1	1,2	0,013325939	0,014067189	0,098622735	0,023776836	12.063297478449 degs	
2	0,0117	0,012015204	1	1,2	0,017725515	0,015201436	0,100586289	0,021500537	11.928075513256 degs	
3	0,002375	0,002487309	2	1,2	0,022469224	0,035205867	0,080831389	0,003996527	12.113355456185 degs	
10	0,006142	0,00647122	2	1,2	0,036834658	0,02237562	0,082894571	0,010166365	12.122061813115 degs	
11	0,008231	0,008622236	2	1,2	0,037418781	0,019216751	0,083918965	0,013730051	12.181891237234 degs	
12	0,010724	0,011170145	2	1,2	0,03804548	0,016998064	0,086295399	0,018081802	12.166760333953 degs	
19	0,001528	0,001573966	2	1,2	0,021314039	0,011787648	0,098381104	0,00271566	12.328648565404 degs	
20	0,015733	0,015903072	2	1,2	0,024926743	0,01259834	0,098502782	0,028132267	12.291075360105 degs	
21	0,004116	0,004167904	2	1,2	0,028984377	0,013898637	0,098165019	0,007280962	12.226438989353 degs	
1001	0,017036	0,017564832	1	1,2	0,025020135	0,016361398	0,103857474	0,03113858	11.771955876008 degs	
1002	0,00516	0,005226249	2	1,2	0,01722991	0,036873519	0,085414574	0,00863937	11.983882797530 degs	
1003	0,0071	0,007139839	2	1,2	0,020224002	0,036699394	0,086326594	0,011838329	11.863984702847 degs	
max residual	1004	0,018462	0,018751368	2	1,2	0,015573106	0,036779481	0,084116986	0,031080617	12.079009809748 degs
	1005	0,001657	0,001741955	2	1,2	0,029271947	0,035142981	0,086228465	0,002745723	11.959273312212 degs
	1006	0,005258	0,005515873	2	1,2	0,025675852	0,034998634	0,082666332	0,008866141	12.052615917594 degs

9



8. Proceso de interpretación y modelización virtual de los elementos estructurales de un roshan tipo usando Rhinoceros ©.

8. Process of interpretation and virtual modeling of the structural elements of a roshan using Rhinoceros ©.

las imágenes, así como su interpretación se ha llevado a cabo con Rhinoceros ©, una aplicación educativa que permite la generación de superficies complejas, editarlas y traducir 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. 8)

Captura de elementos ornamentales complejos con DSM

Usamos el DSM, un conjunto de herramientas para la extracción y manipulación de nube de puntos a partir de fotografías, que también permite mediciones precisas del motivo, lo que lo hace equiparable a un escáner láser pero de menor costo. En nuestro caso el programa DSM es el PhotoModelerScanner©. Para ello se toman 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

9. Proceso de captura de motivos ornamentales usando DSM. Se ha trabajado en este caso con 2 imágenes para generar de manera semi-automática una malla de 466.912 vértices y 932.643 polígonos, El error residual máximo es aceptable, 0.0187 pixels y el error de la precisión en comparación con las medidas reales es aceptable 0.367 mm.

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; contar con una mezcla de diversos encuadres y ángulos de toma; para la creación de la malla es preferible usar los menores de ángulos o mayores distancia focales. (Fig. 9)

El MVP,s. Otra alternativa a la captura y modelización de los elementos ornamentales y superficies complejas sin calibración de cámara. El ensamblado Final

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. Nosotros hemos utilizado el programa 123DCatch© de Autodesk actualmente gratuito para fines no comerciales, que requiere un mínimo de tres imágenes del motivo, que

9. Capture process of ornamental motifs using DSM. In this case we worked with 2 images to generate a mesh semi-automatically of 466.912 vertices and 932.643 polygons. The maximum residual error is acceptable 0.0187 pixels and compared with the actual measurements the accuracy is acceptable 0.367mm.

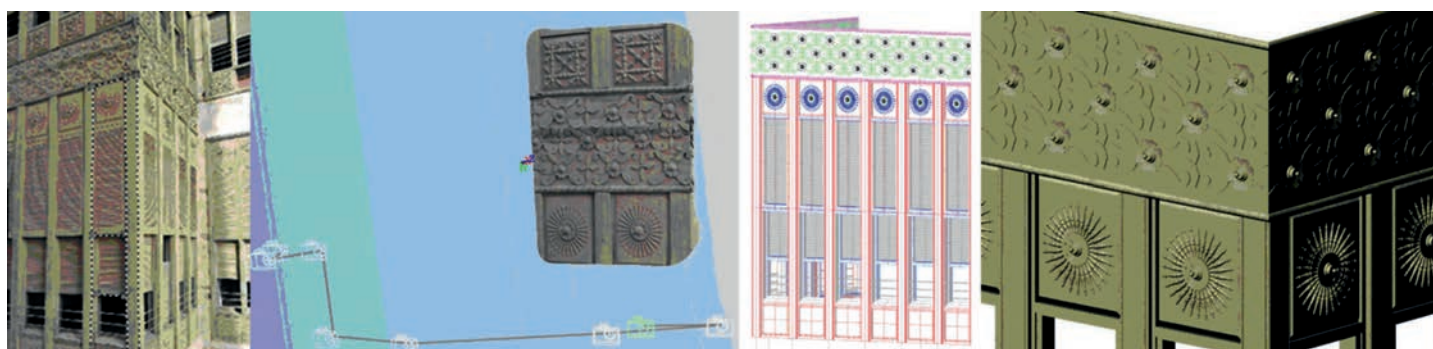
relative significance of the components of the projected window. (Figures 6, 7)

Virtual modelling of the structural components

Regarding the modelling system, the management of the 3D data extracted from the images, as well as its interpretation was done with Rhinoceros®, an educational application that allows complex surfaces to be generated and edited and NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*) curves, surfaces and solids to be translated with no limits in terms of complexity, degree or size. The programme is also compatible with the modelling of polygons, meshes and point clouds, making it possible to generate NURBS surfaces of areas with ornamental motifs. It is easy to use and can work with many formats, which is very useful for the fusion and integration of the different parts of the model. Taking the data from target of the control points, that generated in PhotoModeler®, the topographic support and the dimensioned sketches as the starting point, the exact position of the corners of the oriel window and the most important structural elements were defined, after which the different surfaces were generated. (Fig. 8)

Capture of the complex ornamental elements with DSM

We used DSM, a set of tools for extracting and handling point clouds using photographs, which also enables precise measurements to be made of the motif, which makes it comparable to a laser scanner but at a lower cost. In our case the DSM programme is PhotoModelerScanner®. For this purpose we took various pairs of photographs of the same motif. After making the reference points coincide, the system automatically processes the equivalent points of the images by detecting the current value of the different pixels and the geometric correlation of the shapes represented in the images. Thus a point cloud for the whole component is generated. In this case it is imperative to calibrate the camera to obtain more precise data. The resulting cloud is converted into a mesh where the crossing points coincide with the position of what is represented by the pixels. The 3D data is exported in standard 3D format (DXF, 3DS, IGS) and orthoimages.



10

For best results it is preferable to use a digital camera with a fixed lens or to be able to fix the zoom; to ensure the camera is properly calibrated to a distance similar to that of the survey; and to have a combination of various frames and angles for the shot. For the creation of the mesh it is preferable to use smaller angles or longer focal lengths (Fig. 9).

PMVS. Another alternative for the capture and modelling of the ornamental elements and complex surfaces without calibrating the camera. The final assembly

In anticipation of not having the aforementioned applications, we used another tactic to survey the ornamented modules. The PMVS methods consist of starting with a set of multiple stereoscopic views and the camera parameters incorporated in the EXIF files, from which an application uses algorithms to reconstruct the structure in 3D of the scene visible in the images from its texture. The process only detects the stable elements throughout the images and the balance is a set of oriented points. We used the programme 123DCatch[®] by Autodesk, which is currently free for non-commercial use, which requires a minimum of three images of the motif, that are then sent to a server at the company for processing. In 10-15 minutes they generate a three-dimensional mesh model of the decoration. The final accuracy depends on the lighting conditions, the number of views and the distance from which they were taken. In our case we always have a lower accuracy than with DSM although it is acceptable for 3-5 images. This is corrected with more takes; the system allows 250 images. The final model is exported as an OBJ file with the vector information and the texture map in an MTL file (Fig. 10).

The fusion of the partial components is also done in Rhinoceros[®] due to the aforementioned advantages, taking the composition criteria and

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 3-5 imágenes. Esto se corrige con más tomas; el sistema admite 250 imágenes. El modelo final se exporta como archivo OBJ con la información vectorial y el mapa de textura en un fichero MTL. (Fig. 10)

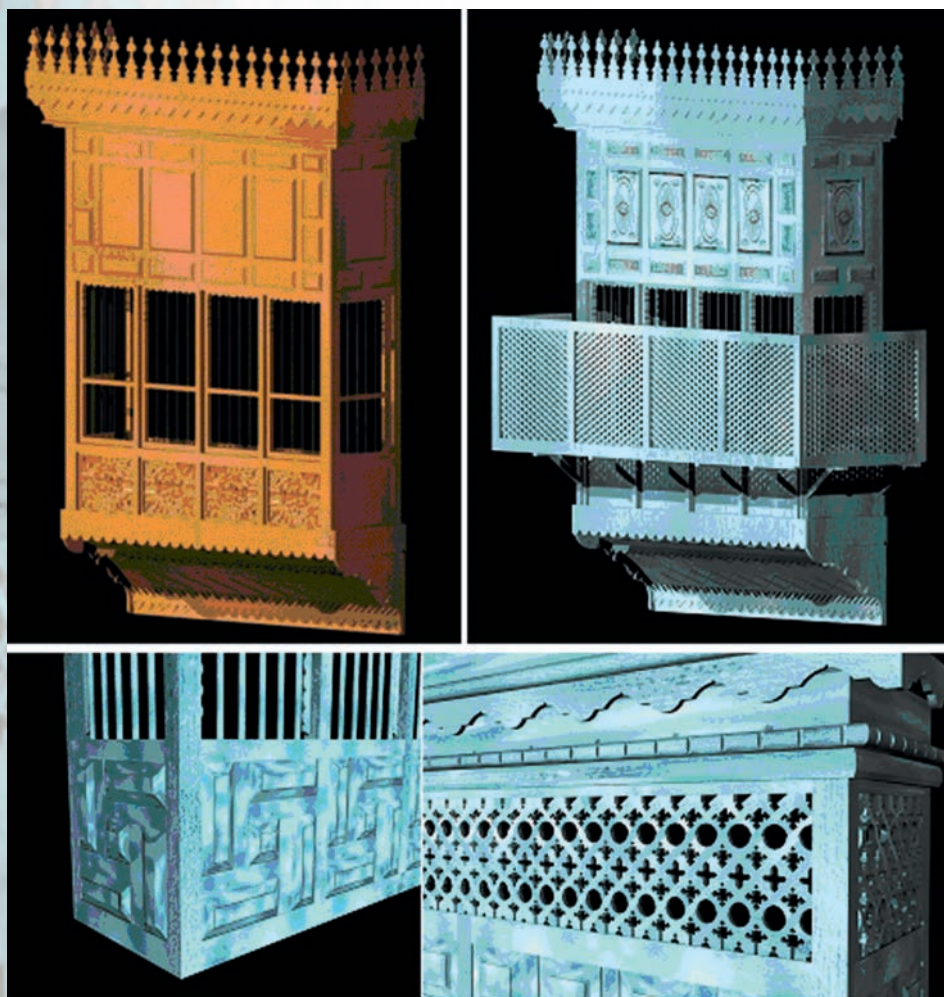
La fusión de los componentes parciales se realiza también sobre Rhinoceros[®] por las ventajas antes expuestas, tomando como base los criterios y normas de composición del *roshan*. Este proceso manual no es fácil pues hay que de combinar diferentes tipos de modelos 3D y imágenes con resolución totalmente 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. (Figs. 11)

Primeras conclusiones, trabajo futuro y agradecimientos

En esta parte del trabajo de una investigación de mayor alcance, hemos demostrado como mediante las técnicas

de fotogrametría digital, DMS y MVPs, con cámaras digitales réflex de gama media, sobre aplicaciones informáticas de fotomodelado el levantamiento de un *roshan*, elemento característico de la arquitectura popular de Jeddah es perfectamente factible, preciso y rápido a pesar de las dificultades que entrañan su especial configuración, detalles ornamentales y lo intrincado de su ubicación. En segundo lugar, vemos como nuestra opción de gestión de nubes de puntos, modelado por elementos y posterior ensamblaje siguiendo el proceso constructivo es factible con las aplicaciones existentes de modelización 3D, demostrándose como una metodología apta tanto para documentación, conservación, como para la simulación y representación visual de estos elementos arquitectónicos, el registro documental de los cuales es inédito.

A la vista de los resultados del estudio de viabilidad y del *workshop* en el que el 90% de los estudiantes han conseguido desarrollar todo el proceso, podemos considerar factible la viabilidad del proyecto general así como la validez del proceso propuesto, estando pendiente la reproducción de fragmentos ornamentales con sistemas CAD-CAM de un *roshan* documentado recientemente desaparecido y la publicación de datos en el SIG municipal una vez se complete la cartografía vectorial de la zona. La parte de investigación educativa de este trabajo se está llevando a cabo gracias al Pla Nacional de I+D, proyecto EDU-2012-37247. ■



11

10. Proceso de captura y análisis de un fragmento ornamental usando MVPs, sobre la aplicación 123D Catch, donde se ha trabajado con 8 imágenes para generar una malla de 90.371 vértices y 173.106 polígonos.

11. Diversos modelos virtuales de roshan tras el proceso de ensamblaje final.

10. Capture process and analysis of the ornamental fragment using PMVS, in 123D Catch application, we used 8 images to generate a mesh of 90.371 vertices and 173.106 polygons.

11. Various virtual models of roshans after the final assembly process.

standards of the roshan as the starting point. This manual process is not easy as it is necessary to combine different types of 3D models and images with totally different resolutions. To do this, it was necessary to eliminate the redundant parts of the various objects and fuse the models according to the initial reference points, after which the result is exported to a visual simulation application that enables a suggestion to be made of the appearance of the oriel window (Fig. 11).

Initial conclusions, future work and acknowledgements

At this stage of a research study with a greater scope, we have demonstrated that, using digital photogrammetry techniques, DMS and PMVS, with mid-range digital reflex cameras, using photomodelling applications, the survey of a roshan, a characteristic element of popular architecture in Jeddah, is perfectly feasible, precise and quick in spite of the difficulties its special configuration, ornamental details and the intricate nature of its location entail. Secondly, we have seen how our option of managing points clouds, modelling by elements and subsequent assembly following the constructive process is feasible with the existing 3D modelling applications, proving it to be a suitable method for documentation and preservation, and for the simulation and visual representation of these architectural elements, the documentary recording of which is unprecedented. In light of the results of the feasibility study and the workshop in which 90 % of the students managed to complete the whole process, we can consider the general project viable, and the process proposed valid. The reproduction using CAD-CAM systems of ornamental fragments of a documented roshan that has recently disappeared and the publication of data in the municipal GIS once the vector cartography of the area has been completed remains pending. The educational research part of this study has been made possible by the Pla Nacional de I+D, proyecto EDU-2012-37247. ■

Referencias

- 1 / MATTHEW, R. 1972, *Jeddah Master Plan Report, Existing Conditions Ministry of Interior (Municipal Affairs), Riyadh.*
- 2 / ANGAWI, S.M., 1995 "The Roshan a Main Feature of the Hedjaz Architecture" *Colored Glass and Mushrabiyyah in the Muslim World. Cairo: Research Centre for Islamic History, Art and Culture, 1995.27-52.*
- 3 / JOMAH, H.A., 1992. *The Traditional Process of Producing a House in Arabia During the 18th and 19th Centuries, A Case study of Hedjaz, Ph.D. Thesis, University of Edinburgh.*
- 4 / GREENLAW, J.P. 1976, *The coral buildings of Suakin, Islamic Architecture, Planning, Design and Domestic arrangements in red sea port*; London, New-York. 1995 Ed. Paul Kegan international. 132 p
- 5 / REMONDINO, F., FABIO MENNA, F., 2008, *Image-based surface measurement for close-range heritage documentation, The Int. Arch. of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, Vol. XXXVII-B Part B5, pp. 199-206.*
- 6 / FASSI, F., 2007, *3D modeling of complex architecture integrating different techniques – a critical overview. The Int. Arch. of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Zurich, Vol. XXXVI-5/W47, 11p.*
- 7 / DELUCA, L., VERON, P. FLORENZANO, M. 2006, *Reverse engineering of architectural buildings based on a hybrid modeling approach Computers & Graphics, 30 (2), pp. 160–176*
- 8 / HANNAH, M. 1989, "A System for Digital Stereo Image Matching", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 55, no. 12, pp. 1765-1770.*
- 9 / 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*
- 10 / 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.*
- 11 / 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.*