

**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 HISTORICA 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, PhD.student, UPC-ETSAB-EGA1, España, ayman.arch@gmail.com

Ernest Redondo, UPC-ETSAB-EGA1, España, ernesto.redondo@upc.edu

Adnan Adas, KAU-FED, Arabia Saudita, adnan.adas@gmail.com

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

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

## **Resumen**

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.

## **Abstract**

*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.*

## **1. 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.

### **1.1 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 viviendas 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)

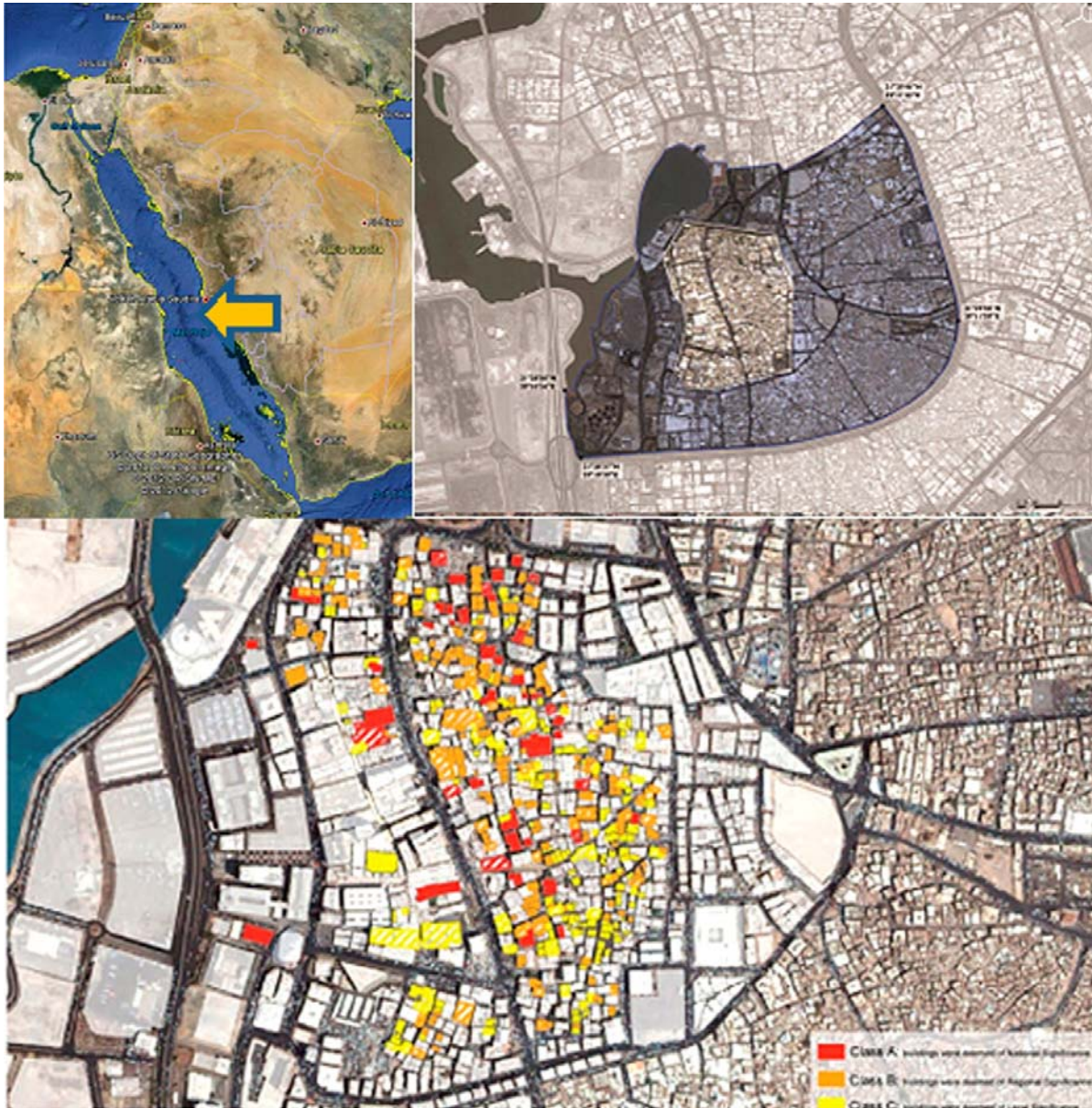


Figura 1. Situación de la ciudad de Jeddah en Arabia Saudita; fotoplano de su casco histórico y clasificación de los edificios de interés patrimonial del estudio de Robert Matthew, 1980.

## 2. 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 yuxtaposición 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 dormir, 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)



Figura 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.

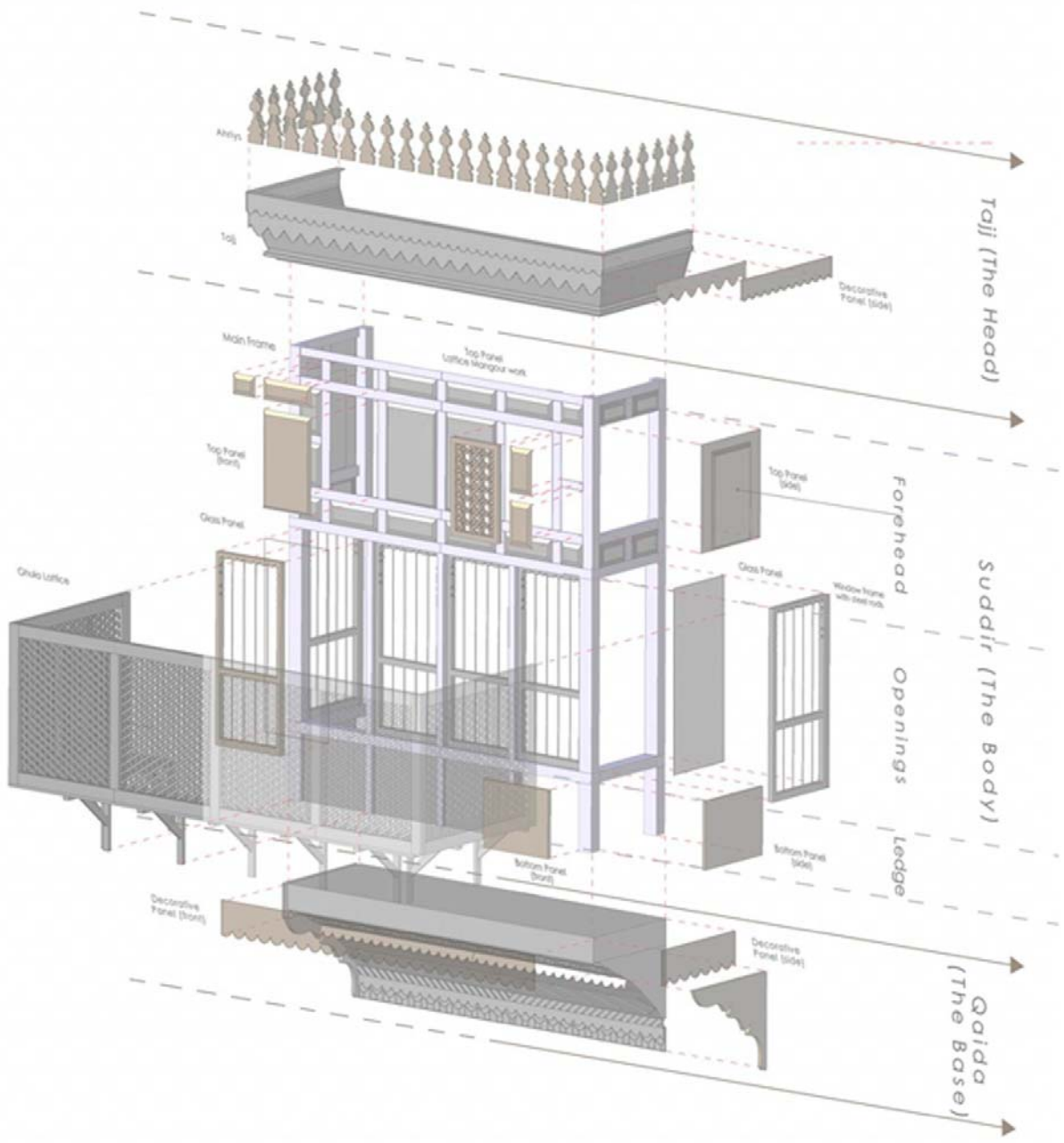


Figura 3. Partes de un roshan tipo y su denominación en árabe.

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 compo-

sición 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)

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)

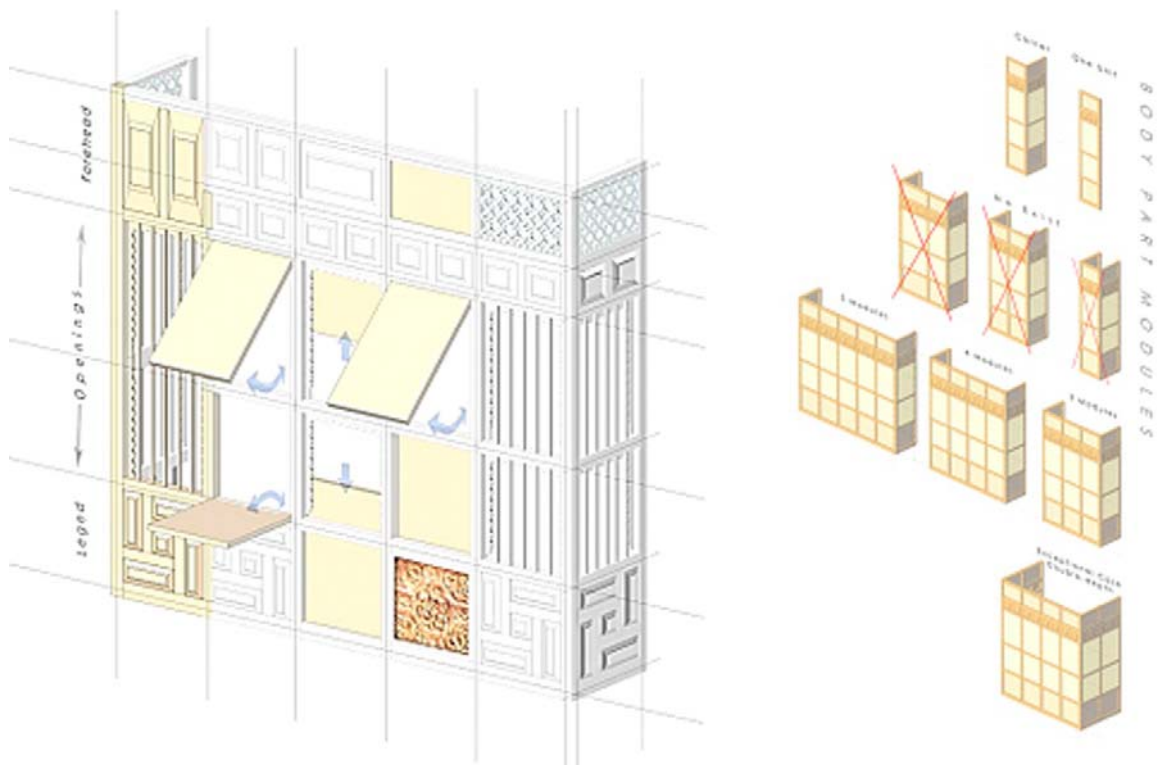


Figura 4. Estructura compositiva del roshan. Tipologías admisibles e inexistentes

### 3. 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 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 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.

#### **4. 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 calibrada 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)





Figura 5. Resumen de la estrategia general empleada para el registro de un roshan tipo.



#### 4.1 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 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. (Figuras 6, 7)

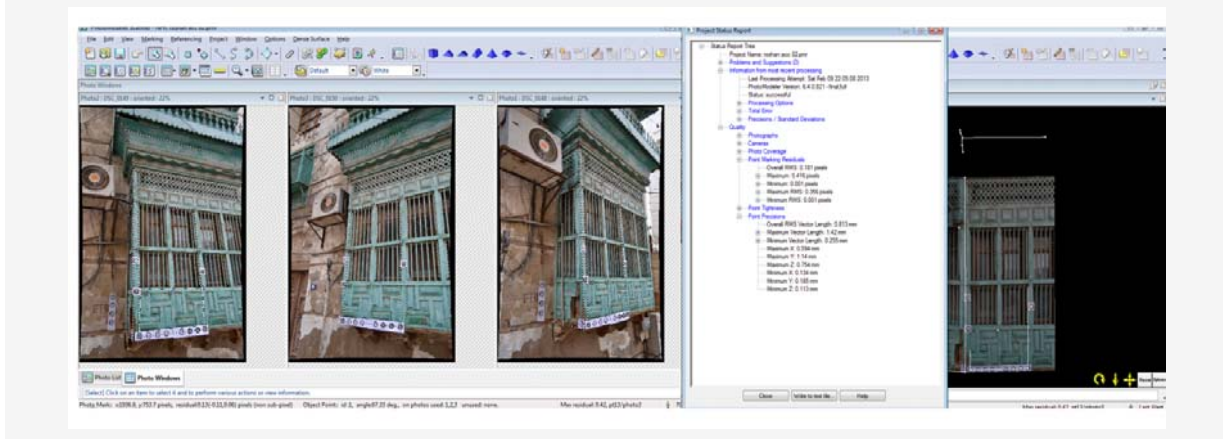


Figura 6. Resumen de este proceso de captura y análisis de diversos módulos de un roshan usando el módulo de escaneo de Photomodeler, interpretando los datos de manera semi-automática para definir las líneas generales y aristas. El RMS error total es aceptable 0.1811 pixels y el RMS error total de la precisión en la definición manual de los puntos homólogos es 0.813mm.

ID	RMS Residual (pixels)	Largest Residual (pixels)	photo Largest Residual	Photos(used)	X Precision	Y Precision	Z Precision	Tightness(m)	Angle(deg.)
1	0.1028705	0.13119726	1	1, 2, 3	0.309457051	0.502902918	0.435646994	0.3329317	67.326788126462 degs
2	0.1523488	0.16239589	1	1, 2, 3	0.296072174	0.414659853	0.213232435	0.407818104	86.522263349413 degs
3	0.0826929	0.11753721	1	1, 2, 3	0.288960511	0.389089232	0.212893646	0.271484238	85.611994107093 degs
4	0.1018977	0.1361786	2	1, 2, 3	0.305498336	0.415396039	0.262754215	0.362718788	82.483674903687 degs
5	0.3366091	0.41569294	3	1, 2, 3	0.326098017	0.415527648	0.271659063	1.38393052	78.677706371619 degs
6	0.118368	0.16998946	1	1, 2, 3	0.340890929	0.456207071	0.349798975	0.491957855	72.061382576912 degs
7	0.1306651	0.14408724	2	1, 2, 3	0.323739289	0.457053881	0.343703324	0.295500717	74.926239632276 degs
8	0.1436693	0.18766274	3	1, 2, 3	0.303204272	0.439720093	0.264971057	0.600604369	83.383425134841 degs
9	0.2521722	0.33257467	2	1, 2, 3	0.308607854	0.469436539	0.347021086	0.702242642	75.423819578342 degs
10	0.0845963	0.09922408	2	1, 2, 3	0.327356178	0.469636003	0.371825337	0.188526741	33.747641157734 degs
11	0.1127576	0.11599956	2	1, 2	0.496868379	0.794054129	0.352441289	0.356971861	33.747641157734 degs
12	0.1919038	0.25256581	1	1, 2, 3	0.301171357	0.429896765	0.216991332	0.638941472	86.505932522612 degs
13	0.000826	0.00087686	2	1, 2	0.522332214	0.882273088	0.556116525	0.002750491	31.086451767556 degs
14	0.1633155	0.17145852	2	1, 2	0.593365252	1.138784631	0.597663286	0.6073378	27.69697143864 degs
15	0.3006878	0.35835199	2	1, 2, 3	0.292642204	0.423267203	0.207746201	0.549864917	85.683124249277 degs
16	0.2896984	0.38277381	1	1, 2, 3	0.320114686	0.40126864	0.243684036	0.851614595	80.203486997504 degs
17	0.2788307	0.3417487	2	1, 2, 3	0.295955553	0.381196965	0.219883761	0.107214406	80.986811924373 degs
18	0.0964162	0.09669056	1	1, 2	0.437856372	0.649996365	0.274347474	0.227992538	35.801717098436 degs
19	0.0736204	0.08180586	3	2, 3	0.351994011	0.756115996	0.734095436	0.272632877	37.225740797775 degs
20	0.1712277	0.17824698	2	2, 3	0.335061591	0.603978207	0.662164565	0.603180589	39.419806850836 degs
21	0.1726324	0.18627982	3	1, 2, 3	0.296828717	0.49869222	0.489629777	0.465371084	64.189395745818 degs
22	0.094712	0.10486079	3	2, 3	0.353000643	0.768255816	0.712762522	0.354436295	37.749962742091 degs
23	0.0326791	0.03695579	3	2, 3	0.350380754	0.718828168	0.753815693	0.116883967	36.578083813547 degs
24	0.1675415	0.18744435	3	2, 3	0.351753584	0.743155871	0.748701919	0.613603132	36.785228721086 degs
25	0.3556692	0.36316732	2	1, 2	0.480743935	0.85166416	0.389261602	1.02467435	29.654842709856 degs
26	0.0314817	0.03756297	3	1, 2, 3	0.151311709	0.197239071	0.116192731	0.079602069	82.354234399856 degs
27	0.0329597	0.03662388	3	1, 2, 3	0.133990651	0.185283204	0.112958011	0.075358784	83.438361089891 degs

**accuracy check**  
in real dim=122mm  
in photomodeler dim= 122.063 mm  
error = 0.063mm

Figura 7. Cuadro resumen de las imágenes empleadas en uno de los procesos tipos con los errores y precisión de las medidas reales en correlaciones por encima del 95% en las fotografías. El error en comparación con las medidas reales es aceptable 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, 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. (Figura 8)

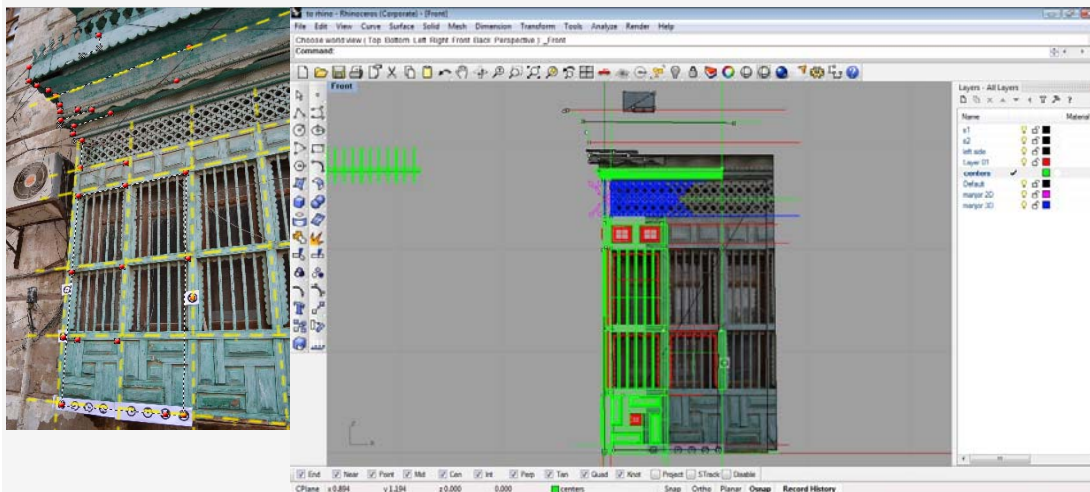


Figura 8. Proceso de interpretación y modelización virtual de los elementos estructurales de un roshan tipo usando Rhinoceros ©

#### 4.3. 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 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. (Figura 9)

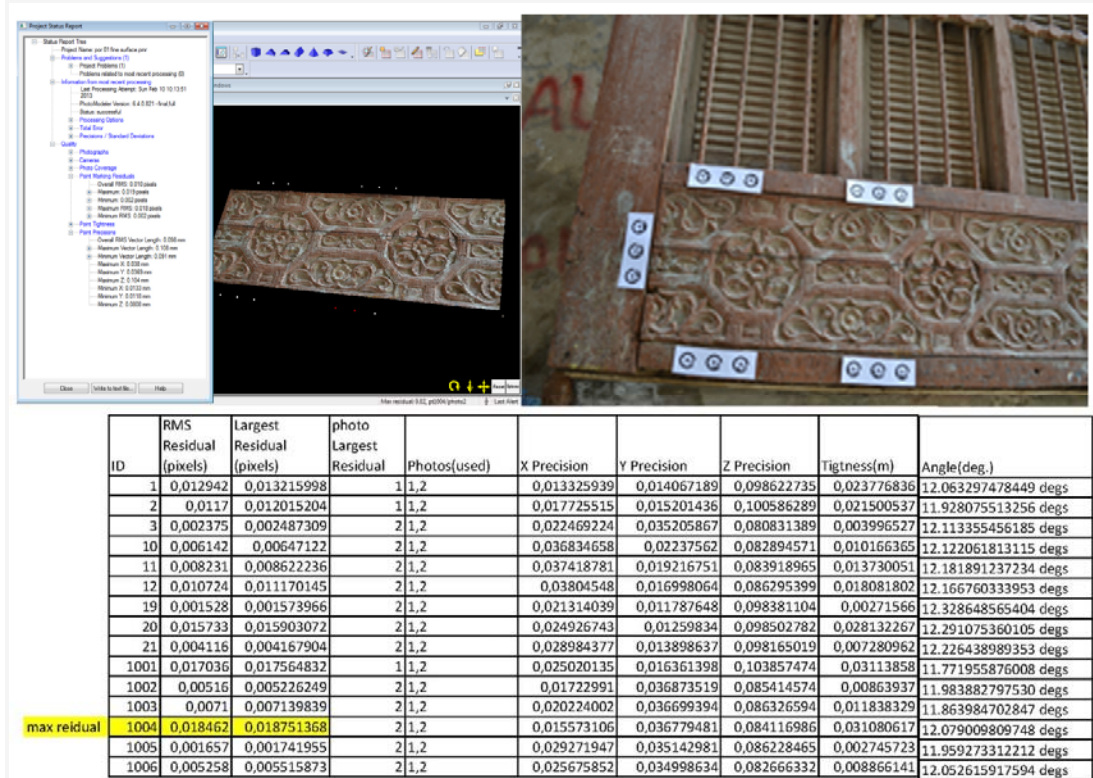


Figura 9. Proceso de captura de motivos ornamentales usando DSM. Se ha trabajado en este caso con 2 imágenes para generar de manera semi-automática una malla de 466.912 vértices y 932.643 polígonos, El error residual máximo es aceptable, 0.0187 pixels y el error de la precisión en comparación con las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

#### 4.4. 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 resulta-

do 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 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. (Figura 10)

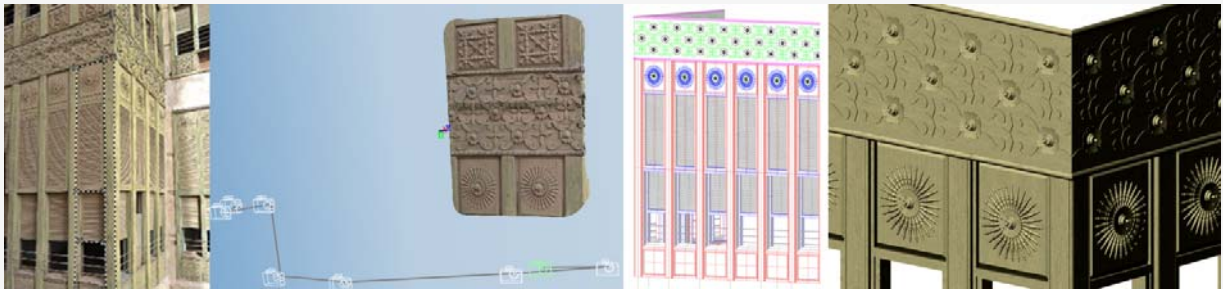


Figura 10. Proceso de captura y análisis de un fragmento ornamental usando MVPs, sobre la aplicación 123D Catch, donde se ha trabajado con 8 imágenes para generar una malla de 90.371 vértices y 173.106 polígonos.

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. (Figura 11)



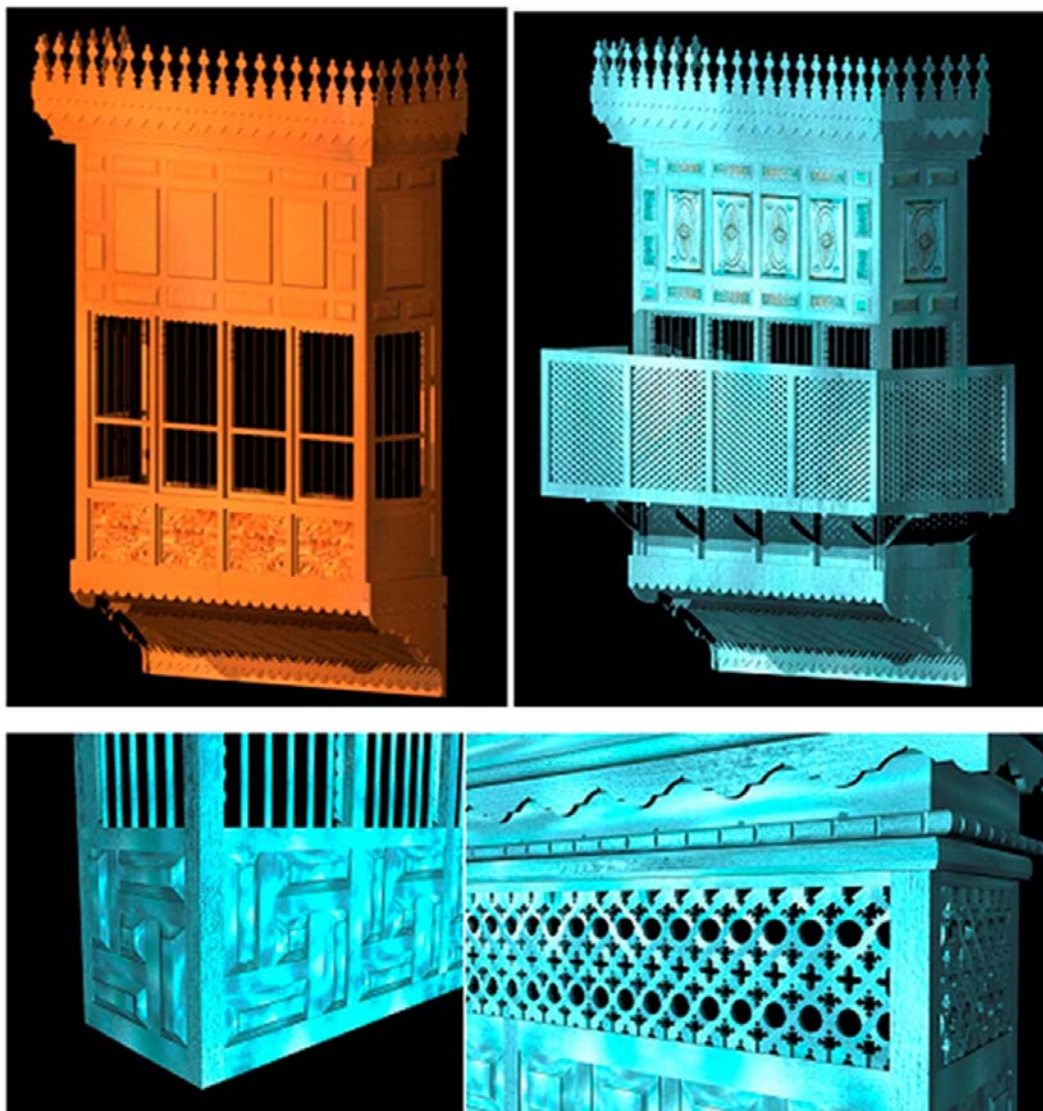


Figura 11. Diversos modelos virtuales de roshan tras el proceso de ensamblaje final

## 5. 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.

## 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. Cario: 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.