

## **FOTOGRAMETRÍA DE BAJO COSTO PARA RELEVAMIENTO DE EDIFICIOS DE VALOR PATRIMONIAL**

**Gea G.; Gea S.**

Facultad de Ingeniería, Instituto de Ingeniería Civil y Medio Ambiente de Salta (ICMASa), Consejo de Investigación, Universidad Nacional de Salta.  
Av. Bolivia 5150 - Salta, Argentina  
e-mail: gabriel\_gea@yahoo.com - geas@unsa.edu.ar

### **RESUMEN**

La provincia de Salta conserva valiosos edificios históricos, la gran mayoría de ellos localizados en zona de elevada peligrosidad sísmica. Esta amenaza pone en riesgo sus elementos ornamentales, por lo que resulta de gran interés resguardar información que permita una fiel reconstrucción en casos de daños.

Con el propósito de generar bancos de información sobre estos detalles constructivos, se procedió a estudiar un programa que está diseñado para la reconstrucción de objetos y escenas en tres dimensiones a partir de fotografías, a fin de evaluar sus aptitudes para ser empleado en la ortorrectificación, relevamiento, digitalización y archivo de elementos arquitectónicos en edificios.

El relevamiento fotográfico, aplicado a sectores de la iglesia Nuestra Señora de la Candelaria de la Viña, monumento histórico nacional, se realizó con una cámara digital compacta semiprofesional de 8.1 MP, sin ningún accesorio adicional.

En primer lugar se efectuó un modelado 3D, para el cual el software está diseñado, y posteriormente se exportaron las imágenes planas que el mismo genera a fin de mapear o revestir el modelo 3D.

La comprobación y el análisis de estas imágenes fueron incorporados a un programa CAD, con el que se verificaron las dimensiones, sus errores y deformaciones en relación al relevamiento realizado en el sitio.

La metodología resulta eficaz, con la ventaja, entre otras, del empleo de cámaras fotográficas estándares, para relevar detalladamente elementos arquitectónicos complejos, en muchos casos de difícil acceso y de valor artístico y patrimonial.

### **EL OBJETO**

La Iglesia de Nuestra Señora de la Candelaria de la Viña, ubicada en la ciudad de Salta, Argentina es una imponente obra, de línea italianizante y la torre exenta, proyectada por el maestro italiano Francisco Righetti, fue terminada en 1908 conjuntamente con la refacción de la fachada (Figura 1). En 1886, durante la epidemia de cólera, se utilizó como hospital.

A partir de su declaratoria como Monumento Histórico Nacional, en 1982, se comienzan obras de restauración de envergadura: consolidación estructural, liberación de construcciones agregadas, arreglo de los techos, espacio exterior, recupero de los colores originales.



**Figura 1. Fachada de la Iglesia de Nuestra Señora de la Candelaria de la Viña**

La planta es de cruz latina, con tres naves y crucero acentuado con ábsides en semicírculo, idénticos al del ábside central, precedido de un profundo presbiterio que incluye el altar mayor y comunica lateralmente con la sacristía y dependencias interiores. Las naves laterales de menor altura que la nave central de bóveda de cañón corrido, permiten la entrada de luz. Este conjunto es coronado por tres semi-cúpulas azulejadas, engarzando la cúpula central con linterna. La fachada se plantea en tres cuerpos, el último de los cuales se aligera en los laterales con volutas y pináculos que engarzan el remate con la nave central [1].

## **MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS**

La provincia de Salta es poseedora de un importante patrimonio arquitectónico, gran parte del cual se encuentra situada en una zona de elevada peligrosidad sísmica. Esta amenaza pone en riesgo elementos no estructurales y ornamentales de estos valiosos edificios, por lo que resulta de gran interés resguardar información que permita una fiel reconstrucción en caso de daños.

Por otra parte, se presenta el caso de que durante la realización de relevamientos de estos edificios existen situaciones de dificultad, como por ejemplo, la colocación del prisma en el uso de estación total, o no se dispone en esas circunstancias de instrumentos de medición apropiados. En esos casos se podrán tomar las fotografías del lugar necesarias y mediciones de referencia para posteriormente complementar a través de fotogrametría la información faltante.

El programa Autodesk ImageModeler [2] es una herramienta destinada a diseñadores, arquitectos y fabricantes de juegos de PC para crear objetos tridimensionales a partir de fotografías tradicionales o panorámicas. Según información del fabricante, se utiliza tecnología avanzada para crear información 3D, inclusive aplicación automática de texturas superficiales que le otorgan realismo al objeto creado.

Para crear los modelos 3D, el objeto debe ser fotografiado desde distintos puntos de vista. Identificando las características comunes del objeto en cada una de las fotografías, a partir de puntos comunes seleccionados, el programa automáticamente calcula la orientación, la posición, rotación, distorsión y la característica de la cámara en relación a la longitud focal con la que se tomaron las fotografías. A partir de allí construye el sistema de coordenadas espaciales, y los elementos 3D. Esto puede ser creado a partir de 2 fotografías. Por otra parte a partir de la construcción por triangulación se pueden crear polígonos y mallas 3D, las cuales pueden ser exportados a la aplicación que en cada caso se requiera, sea programas de CAD, animación o web.

Una vez conocida y probada la versatilidad del programa para la construcción de modelos 3D, se propone el uso de esta herramienta como complemento a las mediciones realizadas con instrumentos tradicionales, como estación total, distanciómetro láser y relevamiento con cinta.

Debido a que el programa genera imágenes para ser proyectadas sobre los objetos 3D creados, se estudia aprovechar las mismas como ortofotografías para sobredibujar elementos de difícil recreación en planos, como detalles de ornamentos, molduras, etc.

Si bien existen en el mercado programas específicos para fotogrametría de corto alcance, se evalúa utilizar este programa dadas sus características de simplicidad y versatilidad y en virtud de que no se requiere de una precisión mayor a la de la tecnología constructiva de edificios masivos. Tampoco se necesita de un operador de alta calificación; fácilmente se aprende la técnica y tiene una muy buena interfaz con el usuario que permite realizar el trabajo con mucha rapidez.

Finalmente, resulta de interés evaluar la aptitud del software para determinar con adecuada precisión las curvaturas de elementos estructurales existentes en lugares de difícil acceso y medición; en edificios masivos la forma de arcos y bóvedas resulta determinante en la trayectoria de cargas y esfuerzos.

## **ACTIVIDADES DESARROLLADAS**

Fue llevada a cabo una serie de tareas a los fines de evaluar la calidad y el grado de precisión que se puede obtener en diferentes condiciones de relevamiento, utilizando el programa descripto más arriba, como también determinar en qué casos es conveniente su empleo: se realizaron diferentes relevamientos fotográficos para detectar las prestaciones posibles, en diferentes distancias a los objetos, distancias focales de la cámara y situaciones en donde predominan curvas en el plano o en el espacio.

La cámara digital utilizada para el relevamiento fotográfico es de tipo estándar, con distancia focal de 7.3-29.2 mm (equivalente en películas de 35 mm a: 35-140 mm), apertura de  $f/2.8-4.1$ , y zoom digital 4x, con las opciones automática y manual, para apertura y velocidad de obturación.

### **Primer caso de aplicación: arco en el atrio**

Primeramente se trabajó en un sector en donde es posible tomar las medidas para control. A los fines de corroborar la calidad de los datos obtenidos se relevó con estación total y cinta puntos característicos de un arco en un sector de la iglesia (Figura 2).

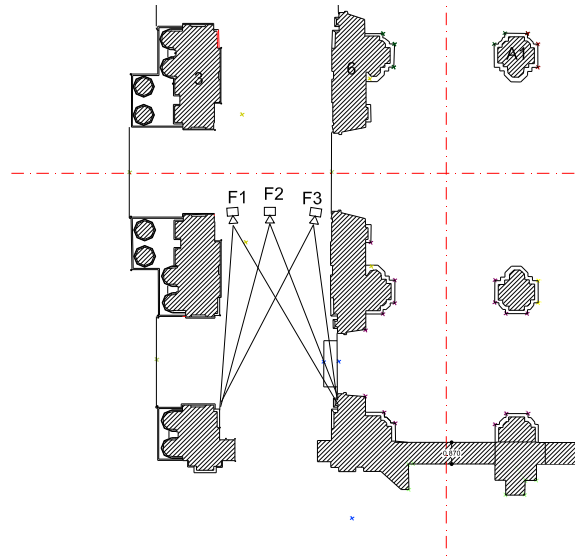


**Figura 2. Primer caso de aplicación: Arco en el atrio**

Allí se tomaron fotografías de 3264 x 2448 píxeles a una distancia aproximada promedio de 10 m (Figura 3). Las tres fotografías fueron captadas buscando el mayor ángulo posible entre una y otra, manteniendo siempre visibles en las tres los puntos de interés. No se utilizó zoom en ninguna de ellas.

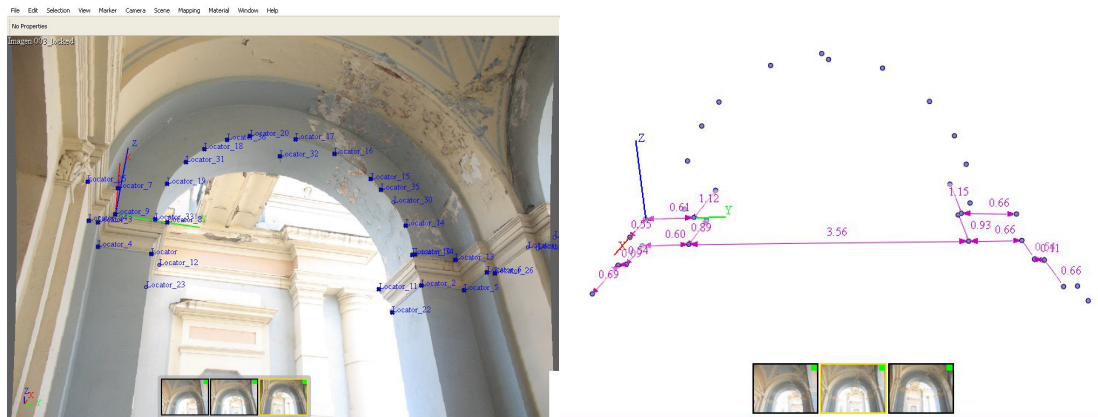
A continuación dichas imágenes se procesan en ImageModeler, obteniendo la calibración necesaria con 10 puntos de control en este caso y con algunas restricciones ingresadas en cotas y en ángulos rectos permitidas por el programa (Figura 4). El resultado de la calibración da un residual máximo de 0.67 píxel y un residual mínimo de 0.1.

El valor residual es la distancia en píxeles entre el marcador elegido para la calibración y el nuevo punto 3D creado por el programa y reproyectado en la imagen. Por ejemplo, un residual de un píxel significa que el localizador está un píxel alejado de su correspondiente marcador ubicado en esa imagen. Este error está directamente relacionado a qué tan preciso se ubicó el marcador. Mientras más cuidadosamente se ubiquen los marcadores, mejores son las posibilidades de una buena calibración. El valor residual está también relacionado con el tamaño de la imagen. Por ejemplo, un residual de 2 píxeles en una imagen de 500x500 representa menos precisión que en una imagen de 1000x1000 [2].



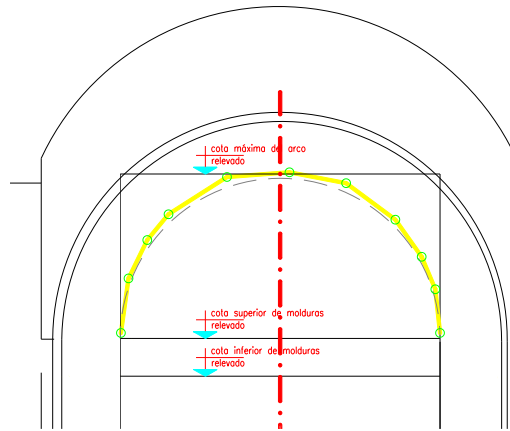
**Figura 3. Ubicación para la toma de fotografías**

Posteriormente se ingresan los marcadores necesarios para poder determinar la curvatura del arco relevado, y a su vez controlar las medidas relevadas con las obtenidas de las fotografías por software.



**Figura 4. Puntos de control y medidas obtenidas de fotografías**

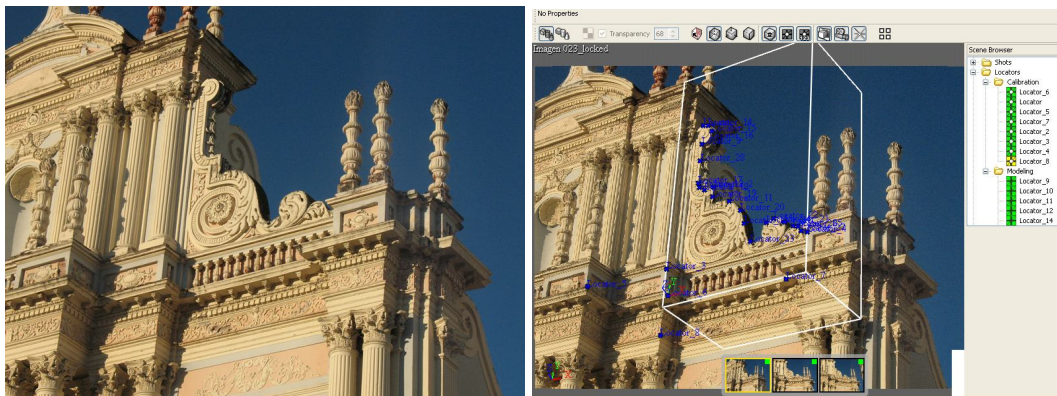
A continuación se importaron los puntos generados y se pudo verificar que en relación a los datos relevados aparecen diferencias de 1 a 1.5 cm como máximo (Figura 5), lo que representa un error inferior al 1%.



**Figura 5. Verificación de medidas en programa CAD**

### Segundo caso de aplicación: Molduras de fachada

Se tomaron fotografías para trabajar sobre un sector de molduras ubicado en la fachada del edificio (Figura 6), utilizando el mayor acercamiento óptico que tiene la cámara (140 mm de distancia focal) y la máxima resolución posible 3264 x 2448 píxeles. El lugar fotografiado se caracteriza por la inaccesibilidad para su relevamiento a una cota de 20 m, a una distancia aproximada de 27 m del punto donde se tomaron las fotografías y un ángulo con la horizontal de aproximadamente 56°. Dado que del mismo no existen planos relevados de detalle, se utiliza la fotografía ortorrectificada para la creación de planos de relevamiento de detalle con un programa de CAD.



**Figura 6. Fotografía y construcción de puntos de control y prisma 3D para extracción de imagen plana.**

En primer lugar se determina los puntos para la calibración y la misma se obtuvo con siete, con residuales de 0.2 a 1.6. Ellos se eligen de manera que sean fácilmente identificables en cada una de las fotos, normalmente vértices. Deberán también encontrarse uniformemente distribuidos, y se eligen aquellos que muestren la mayor distancia posible para cada una de las tres dimensiones del espacio.

Seguidamente se determinaron puntos de trabajo que no se utilizan para la calibración, pero que son requeridos para verificar la calidad de la calibración y determinar puntos de trabajo para la construcción de objetos 3D necesarios, o simplemente para exportarlos y utilizarlos en otra aplicación CAD. Para este caso se crea un prisma el cual tiene dos de las caras paralelas al plano de la moldura de interés. De esta manera el software construye una foto plana u ortofoto, que es exportada y a partir de allí se puede construir un plano de detalle del sector (Figura 7).



**Figura 7. Sobredibujado (Overlay) de detalles en CAD sobre foto ortorrectificada**

### **Tercer caso de aplicación: Cúpula**



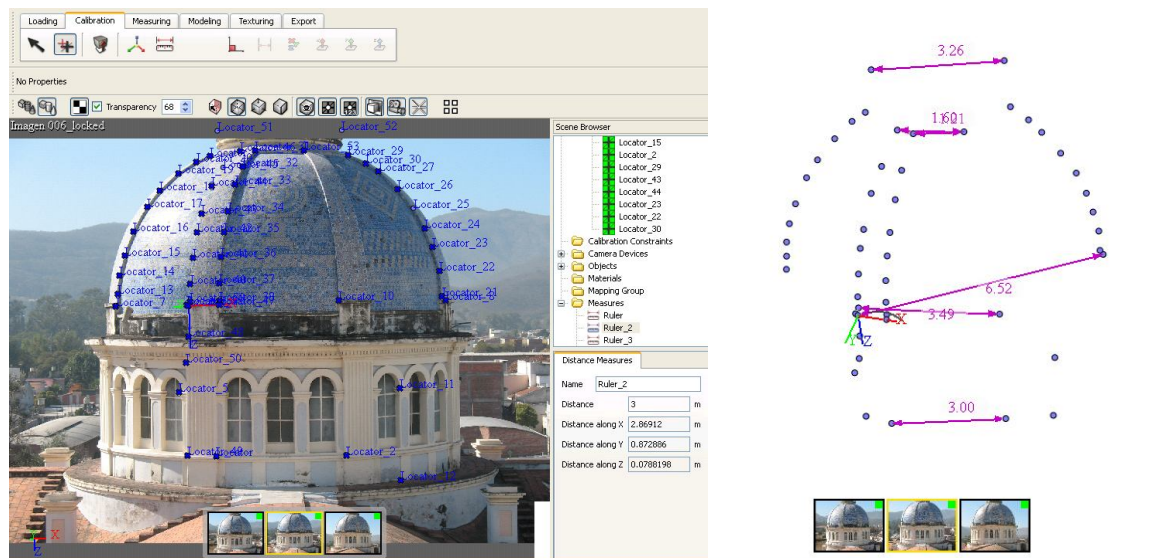
**Figura 8. Vista de la cúpula desde la bóveda del techo de la iglesia**

La cúpula de la iglesia es un sector que por las dificultades de accesibilidad aún no tiene ninguna documentación de relevamiento, por lo tanto se desconoce las características de la curvatura de la misma (Figura 8).

Se propone entonces el uso de este programa para determinar sus medidas y curvatura, con las limitaciones de precisión del método propuesto.

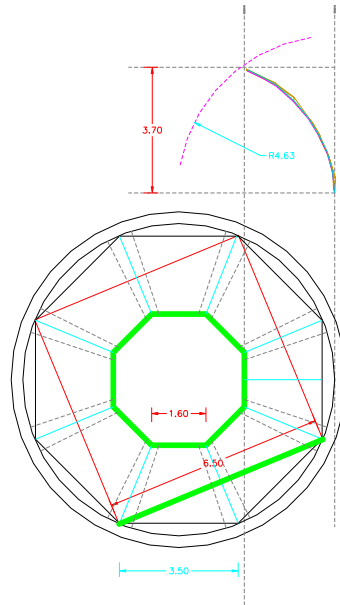
Se realizó para ello un relevamiento fotográfico con tres imágenes dispuestas a un ángulo máximo determinado por las limitaciones de espacio del lugar de las tomas, que es la cubierta del edificio. Luego se determinaron los puntos para la calibración y la misma se obtuvo con ocho y con residuales de 0.07 a 0.36. A continuación se agregaron los puntos necesarios para determinar la curvatura de la cúpula, siguiendo aristas perfectamente visibles en las tres fotografías.

Partiendo de datos relevados a nivel del basamento de la cúpula, e insertados como valores conocidos en el programa utilizado, se consultaron otras medidas a los fines de poder obtener las características geométricas de la cúpula, tanto en planta como en elevación (Figura 9).



**Figura 9. Puntos de control y medidas obtenidas a partir de fotografías de la cúpula**

A partir de las medidas obtenidas, se importaron los puntos relevados a un programa CAD. Incorporando dichos puntos y con las medidas obtenidas del programa, se construyó la geometría de la planta de la cúpula, y superponiendo los 3 relevamientos de los arcos se obtuvo la curvatura con un error aproximado de hasta 1.5 % (Figura 10).



**Figura 10. Reconstrucción de la geometría de la cúpula en CAD**

## CONCLUSIONES

Durante tareas de relevamiento de edificios en general, y edificios históricos en particular existen circunstancias de falta de personal, difícil accesibilidad, falta de equipamiento, complejidad del objeto relevado, entre otros, en que se dificultan las tareas de medición.

En estos casos, el programa analizado resulta un complemento satisfactorio al relevamiento tradicional para la obtención de datos espaciales, apoyado con mediciones realizadas con otros instrumentos. La versatilidad y rapidez con la que se trabaja, la posibilidad de utilizar cámaras digitales no profesionales, y la calidad de los resultados lo hacen una herramienta recomendable para relevar detalladamente elementos arquitectónicos complejos de valor artístico y patrimonial, inclusive en edificios con riesgo de destrucción e inaccesibles. Esto último cobra importancia por el gran volumen de información de detalles que se puede almacenar, de manera económicamente accesible, con el fin de resguardar el patrimonio en forma rápida y segura.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arias P., Herráez J., Lorenzo H., Ordóñez C. CONTROL OF STRUCTURAL PROBLEMS IN CULTURAL HERITAGE MONUMENTS USING CLOSE-RANGE PHOTOGRAMMETRY AND COMPUTER METHODS. *Computers and Structures* 83 (2005) 1754–1766
- Farinella G. M., Mattiolo G. SOLUTIONS TO 3D BUILDING RECONSTRUCTION FROM PHOTOGRAPHS, Eurographics Italian Chapter Conference (2006). G. Gallo and S. Battiato and F. Stanco (Editors)
- Burger A., Grimm-Pitzinger A., Thaler E. A COMBINATION OF MODERN AND CLASSIC METHODS OF SURVEYING HISTORICAL BUILDINGS - THE CHURCH ST. VALENTÍN IN THE SOUTH TYROL, XXI International CIPA Symposium, 01-06 October, Athens, Greece.
- Yilmaz H. M., Yakar M., Gulec S.A., Dulgerler O.N. IMPORTANCE OF DIGITAL CLOSE-RANGE PHOTOGRAMMETRY IN DOCUMENTATION OF CULTURAL HERITAGE. *Journal of Cultural Heritage* 8 (2007) 428-433

## REFERENCIAS

- [1] Solá Torino, T. LOS TEMPLOS DE LA CIUDAD DE SALTA. Ed. Memoria Popular, Salta, 1998.
- [2] Manual del usuario de Autodesk ImageModeler 2009