

## PANORAMAS ESFÉRICOS ESTEREOSCÓPICOS STEREOSCOPIC SPHERICAL PANORAMAS

Pedro M. Cabezos Bernal  
Juan J. Cisneros Vivó

doi: 10.4995/ega.2016.6264



Los avances en el campo de la imagen digital nos han permitido ampliar los horizontes de la fotografía panorámica, gracias a la aparición de software de *stitching* o cosido de imágenes, con los que se pueden unir varias fotografías para formar una imagen panorámica de amplio campo visual. Las imágenes producidas mediante el software de *stitching* pueden llegar a abarcar un campo visual de 360° en horizontal y 180° en vertical, formando un panorama esférico. Este tipo de panorama tiene una gran potencial para la representación arquitectónica, por lo que resultaría interesante añadir una nueva dimensión aplicando los fundamentos de la visión estereoscópica. Por ello, en el artículo se estudia esta problemática con el fin de aportar una metodología asequible de captura fotográfica de panoramas esféricos estereoscópicos, además de analizar su compatibilidad con los últimos sistemas de visualización inmersiva.

**PALABRAS CLAVE: ESTEREOSCOPIA. PANORAMAS ESFÉRICOS. REALIDAD VIRTUAL**

*The advances in the field of digital imaging have expanded the horizons of panoramic photography, thanks to the development of stitching software, with which several images can be joined in a wide field of view panoramic image. The panoramas produced by stitching software can reach a field of view of 360 degrees horizontally and 180 degrees vertically, in case of a spherical panorama. This kind of panorama has a great potential representing the architecture, so it could be interesting to add a new dimension applying the stereoscopic vision foundations. Therefore, the article focusses these issues in order to provide an affordable photographic technique to capture spherical panoramas analyzing also their compatibility with the latest immersive display systems.*

**KEYWORDS: STEREOECOPIA. SPHERICAL PANORAMAS. VIRTUAL REALITY**





1. Girault de Prangey, 1842. Panoramas de Roma. Daguerrotipo 24x9,5 cm

1. Girault de Prangey, 1842. Panoramas of Roma. Daguerreotype. 24x9,5 cm

## Introducción

Se entiende por fotografía panorámica aquella con la que se logra abarcar un gran campo visual. Los fotógrafos pioneros agudizaron su ingenio para poder ampliar el campo visual que les proporcionaban sus primitivos objetivos, desarrollando varias técnicas e incluso dispositivos y cámaras especiales. Los avances en el campo de la imagen digital nos han permitido ampliar los horizontes de la fotografía panorámica, gracias a la aparición de software de stitching o cosido de imágenes, con los que se pueden unir varias fotografías para formar una imagen panorámica de amplio campo visual que incluso puede llegar a abarcar toda la escena, como en el caso de un panorama esférico con un campo visual de 360° en horizontal y 180° en vertical, cuya visualización requiere el uso de un software adecuado que permitirá al espectador sentirse inmerso en el escenario fotografiado.

Los panoramas estereoscópicos han sido poco desarrollados y los métodos propuestos están orientados principalmente al uso de cámaras panorámicas especiales, como las de sensor lineal (Huang & Klette, 2009) y proponen algoritmos específicos (Huang & Hung, 1998) (Huang Hung & Klette, 1998), por lo que resultan poco accesibles. Por ello, se ha analizado la problemática con el fin de aportar una metodología de captura fotográfica eficaz y asequible para producir panoramas esféricos estereoscópicos mediante cámaras convencionales, que puedan ser compatibles con los dispositivos de realidad virtual personales de última generación. Para contextualizar el tema se empezará ofreciendo una visión global de los panoramas, sus tipos y

las técnicas de stitching o cosido de imágenes actuales, lo que permitirá obtener una mejor comprensión de la metodología desarrollada.

## Los inicios de la fotografía panorámica

La fotografía panorámica es casi tan antigua como la propia fotografía, pero los primeros fotógrafos no tuvieron a su disposición grandes ángulos, sino que solían poseer un único objetivo de focal fija y limitado campo visual, que exprimían al máximo utilizando daguerrotipos grandes para aprovechar el cono luminoso del objetivo. Recordemos que el daguerrotipo era una plancha de cobre plateada sobre la que se formaba la imagen invertida, que constituía un ejemplar único e irreplicable que debía ser protegido dentro de un marco acristalado, pues

## Introduction

Panoramic photograph is understood as that able to cover a large visual field. Pioneering photographers sharpened its wit to expand the visual field given by their original camera lenses, by developing various techniques and even special devices and cameras. Advances in the field of digital imaging have allowed us to expand the horizons of panoramic photography, thanks to the emergence of image stitching software. Using them we can join several pictures into a panoramic image with a wide visual field that may even cover the whole scene. This is the case of a spherical panorama with a visual field of 360 degrees on the horizontal plane and 180 degrees on the vertical plane, that requires the use of a suitable software for displaying it, allowing the viewer to feel immersed in the photographed scene. Stereoscopic panoramas have been poorly developed and the proposed methods are mainly oriented to the use of special panoramic cameras, such as those with linear sensor (Huang & Klette, 2009). Also they propose specific algorithms (Huang & Hung, 1998) (Huang Hung & Klette,





1998) that make them not very accessible. Therefore, we have analyzed the problem in order to provide an effective and affordable methodology for photo capturing that produce stereoscopic spherical panoramas by using conventional cameras, which can be compatible with cutting edge virtual reality devices. To contextualize this issue we will begin offering an overview of the panoramas, their types and the current techniques of image stitching. This will provide a better understanding of the developed methodology.

### The beginnings of panoramic photography

Panoramic photography is almost as old as photography itself, although first photographers did not have at their disposal wide angular lenses. They used to have a single focal length lens and limited visual field, which they pushed to the limit by using large daguerreotypes to take advantage of the cone of light of the camera lens. Recall that the daguerreotype was a silver-plated copper sheet on which the inverted image was focused. This was a unique and unrepeatable issue that should be protected in a glass frame, as it was as delicate as the wing of a butterfly.

For achieving a wide field sensation, French photographer Joseph-Philibert Girault de Prangey (1804-1892) used to move him away as much as possible from the model, and employ elongated daguerreotype plates placed horizontally. He achieved that by cutting a conventional plate. It should be clarified that this technique does not expand the visual field, but the effect of the cut in our mind evokes a panoramic image (Fig. 1). Another option, closely related to current stitching techniques were panographies. These consisted of the union of two or more photographs, taken from the same point of view but rotating the camera, so that the shots overlap slightly. Henry Fox Talbot, the inventor of the calotype, put them into practice for the first time. His invention allowed to obtain copies in paper and easily perform this type of photomontages (Fig. 2).

This technique spread and a crowd of photographers took panoramas of their cities, such as the exceptional views created by Pascual Perez and Fárvaro Brothers, in the case of the city of Valencia (Fig. 3).

The panorama created in this way is quite far from perfect, because there is no continuity in

2. Henry Fox Talbot, 1844, Panografía a partir de dos tomas. Calotipo
3. Pascual Pérez, 1859 y Hermanos Fárvaro ca. 1865. Panografías de Valencia. Col. Díaz Prósper
4. Panografía del arquitecto Enric Miralles (izda) y del artista David Hockney (dcha)

2. Henry Fox Talbot, 1844, Panography obtained from two shots. Calotype
3. Pascual Pérez, 1859 & Hermanos Fárvaro, ca. 1865. Panographies of Valencia. Díaz Prósper collection
4. Panography by the architect Enric Miralles (left) & by David Hockney (right)

se deterioraba fácilmente como el ala de una mariposa.

Para dar más sensación de amplitud visual, el fotógrafo francés Joseph-Philibert Girault de Prangey (1804-1892) se retiraba todo lo posible del modelo y empleaba placas de daguerrotipo alargadas en el sentido horizontal, que conseguía cortando la placa convencional. Conviene aclarar que esta técnica no ampliaba el campo visual, pero el efecto del recorte evoca en nuestra mente una imagen panorámica (Fig. 1).

Otra opción, muy relacionada con las técnicas de *stitching* actuales, fueron las panografías, que consistían en la unión de dos o más fotografías, tomadas desde un mismo punto de vista, rotando la cámara de forma que las tomas se solapan ligeramente. Éstas fueron llevadas a la práctica por primera vez por Henry Fox Talbot, inventor del calotipo, pues su invento permitía obtener copias en papel y realizar fácilmente este tipo de montajes (Fig. 2).

Esta técnica se hizo extensiva y multitud de fotógrafos tomaron pa-



2



3





4

noramas de sus ciudades, como las excepcionales vistas de Pascual Pérez y de Fárvaro Hnos. en el caso de la ciudad de Valencia (Fig. 3).

El panorama configurado de esta manera dista bastante de ser perfecto, pues no hay continuidad en la perspectiva, porque cuando las fotografías se abaten sobre un plano, éstas sólo tienen en común los puntos que estén sobre la charnela o eje de giro del abatimiento, produciéndose un quiebro en las aristas que atraviesan la unión entre dos fotografías. Sin embargo, las imperfecciones de las panorgrafías no siempre resultan molestas, sino que muchos artistas, como David Hockney las han utilizado como un recurso creativo con tintes cubis-

tas, ver (Bigas, Bravo & Contepomi, 2012). También Enric Miralles las empleó con gran maestría como una herramienta de análisis y representación, ver (Torres & Cabanes, 2011).

Los problemas de unión de las panorgrafías, pueden resolverse con los programas de *stitching* actuales, con los que se obtienen imágenes panorámicas sin uniones visibles.

### Panoramas mediante software de *stitching*

Hay multitud de programas de *stitching* en el mercado, como AutoPano Giga, PtGui o Hugin, éste último de libre distribución. Todos ellos funcionan de un modo muy similar y el

perspectiva. The photographs fold over a plane and they only have in common the points that are on the hinge or axis of rotation of the folding, resulting in a change of direction of the edges that cross the junction between two pictures. However, imperfections in panorographies are not always negative. Many artists such as David Hockney, have used them as a creative resource with Cubist hints (see Bigas, Bravo & Contepomi, 2012). Enric Miralles also masterfully used them as a tool of analysis and representation (see Torres & Cabanes, 2011).

The problems on the joints in panorographies can be solved with current stitching software, with which we can get panoramic images without visible joints.

### Panoramas by stitching software

There are many stitching software on the market, such as Autopano Giga, Ptgui or Hugin, the latter freely distributable. They all work in a very similar way and the bonding process consists of three



main steps: detection of homologous points among images, orientation of the pictures in space, and re-projection or remapping of the images on a surface for obtaining the final panorama.

In the first stage, algorithms that detect homologous points on the areas of overlap of the photographs are used. With the obtained points, another algorithm is responsible for positioning the pictures in space, computing the horizontal angle (yaw), the vertical angle (pitch) and the angle about the main axis (roll). Each image is spatially positioned, according to these three angles, so that the photographs are tangent to a sphere centered at the viewpoint **1**. Using this spatial configuration, an observer at the viewpoint, looking in any direction, will be able to see a perfect joint between images. Finally, the panorama is projected from the viewpoint onto a surface, which could be a plane, a cylinder or a sphere.

The projection onto a plane produces an image in perspective, so this option is perfect when it comes to a partial panorama (Fig. 5).

When a higher number of pictures are available, a cylindrical panorama can be obtained. There, the resulting image is the unfolding of the cylinder where the images are projected (Fig. 6).

To view the complete scene a higher number of images must be obtained in order to fully cover it. Figure 7 shows the projection of the images onto a sphere. The resulting spherical panorama is obtained by means of an equirectangular projection **2** of the sphere, as in some cartographic representations of the Earth globe (Fig. 8).

For achieving a perfect joint of the images that compose a panorama, additional equipment must be used, such as a panoramic head and a tripod. The panoramic head is an accessory consisting of an articulated arm and some adjustments, so that the camera pivots around a fixed point, which should coincide with the optical center of the lens, also called rear nodal point.

There are many panoramic heads **3** in the market, some with manual drive, as the Manfrotto 303 SPH head, while others have a motorized and programmable rotation, such as the GigaPan Epic Pro or the Clauss Rodeon Vr (Fig. 9).

### Methodology for stereoscopic capturing

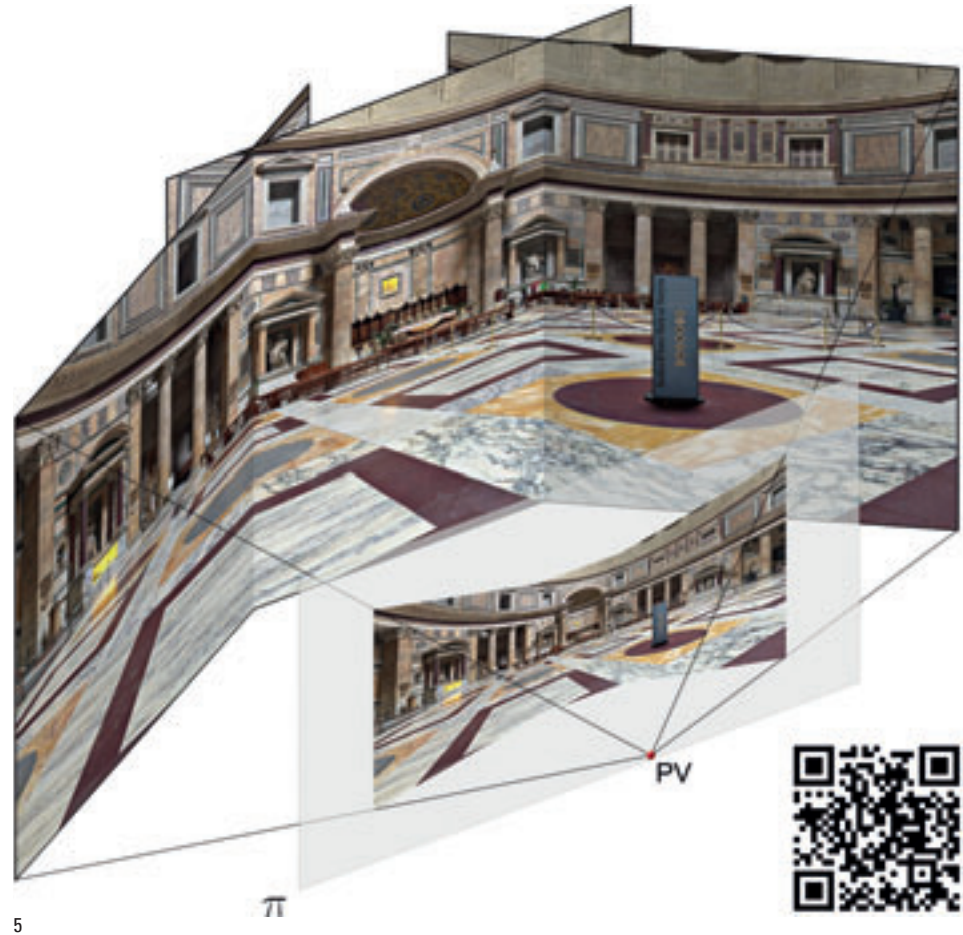
Stereoscopic capturing of panoramas is not as simple as it might seem. Someone might mistakenly think that just taking two panoramas

5. Proyección de las imágenes sobre un plano para obtener un panorama parcial

6. Proyección de las imágenes sobre una superficie cilíndrica

5. Projection of the images onto a plane to obtain a partial panorama

6. Projection of the images onto a cylindrical surface



proceso de unión consta de tres etapas esenciales: la detección de puntos homólogos entre imágenes, la orientación de las fotografías en el espacio y la reproyección o remapeo de las imágenes sobre una superficie para obtener el panorama definitivo.

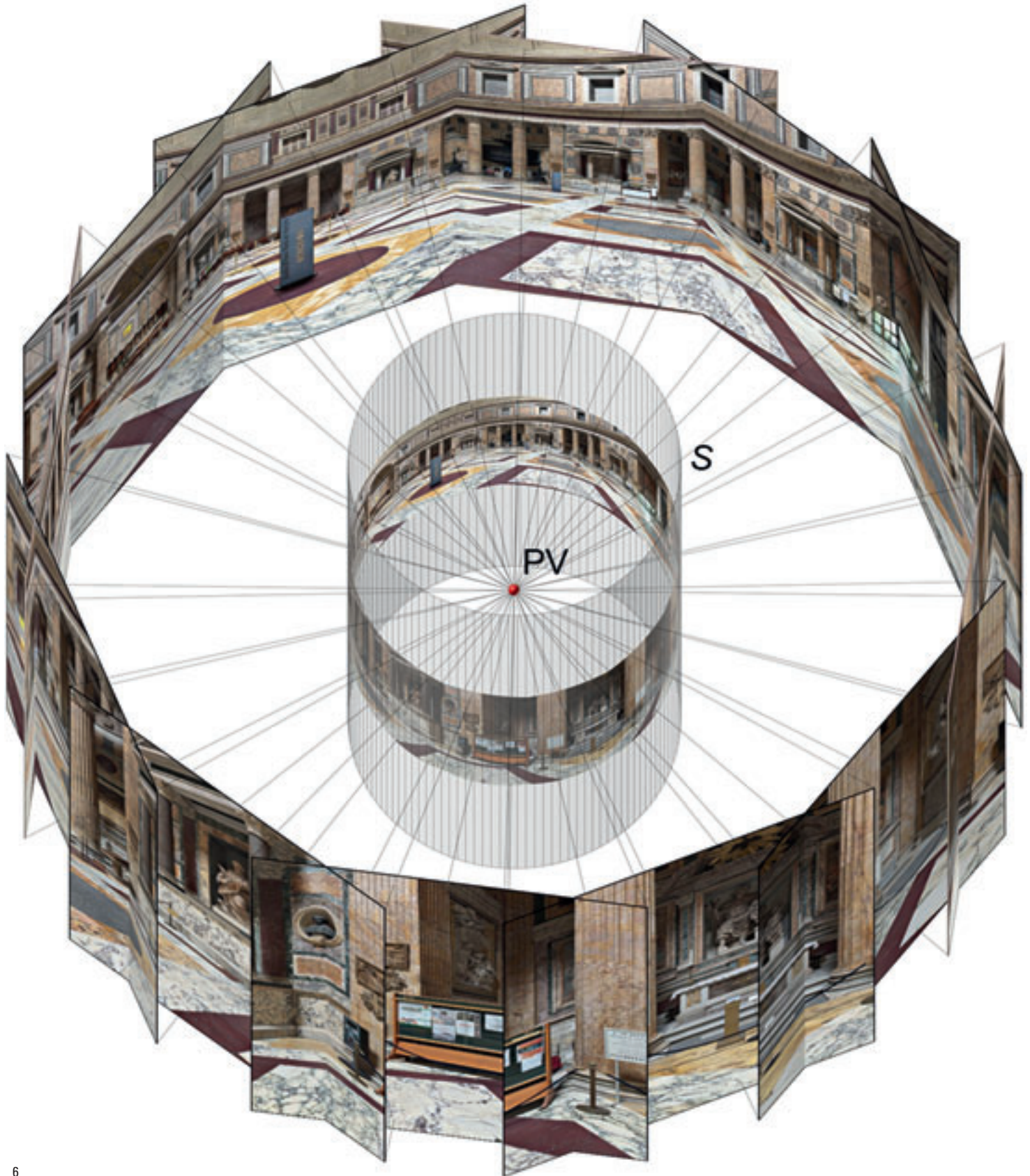
En la primera etapa se usan algoritmos que detectan puntos homólogos entre las zonas de solape de las fotografías. Con los puntos obtenidos, otro algoritmo se encarga de orientar las fotografías en el espacio, calculando el ángulo horizontal (*yaw*), el ángulo vertical (*pitch*) y el ángulo alrededor del eje principal (*roll*). Cada imagen se orienta espacialmente, según estos tres ángulos, de modo que las fotografías quedan tangentes a

una esfera centrada en el punto de vista **1**. Con esta configuración espacial, un observador situado en el punto de vista, mirando en cualquier dirección, podrá ver la unión perfecta entre imágenes. Finalmente se proyecta el panorama, desde el punto de vista, sobre una superficie que puede ser un plano, un cilindro o una esfera.

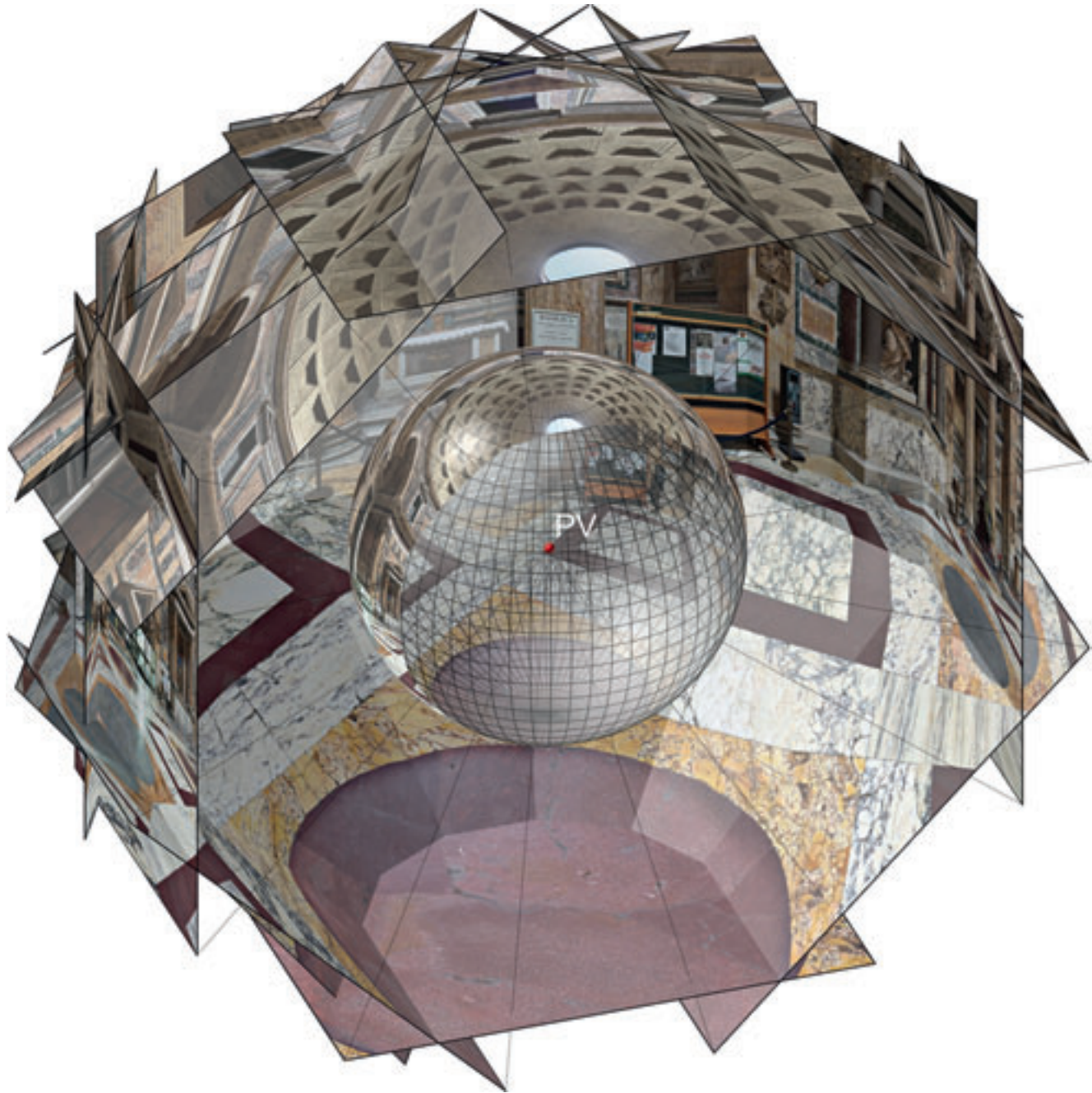
La proyección sobre un plano produce una imagen en perspectiva, por lo que esta opción es ideal cuando se trata de un panorama parcial (Fig. 5).

Cuando se dispone de un mayor número de fotografías, puede obtenerse un panorama cilíndrico en el que la imagen resultante es el desarrollo del cilindro sobre el que proyectan las imágenes (Fig. 6).









7

from two viewpoints separated a distance equivalent to the interocular separation may suffice, but reality is slightly more complex. It would be needed to reproduce the path described by our eyes when revolving around ourselves to look at the environment around us.

Let's imagine that we stand on a pedestal that rotates 360 degrees horizontally. When revolving around, the center of perspective or nodal point of each eye describes a circle whose center is the axis of rotation of the pedestal, therefore the viewpoint of each eye varies as the pedestal rotates. We know that in order for the images of a panorama to join perfectly, the viewpoint of all

Para visualizar la escena completa se deben obtener un mayor número de imágenes para cubrirla por completo. La figura 7 muestra la proyección de las imágenes sobre una esfera. El panorama esférico resultante se obtiene mediante una proyección equirectangular **2** de la esfera, al igual que en algunas representaciones cartográficas del globo terrestre (Fig. 8).

Para que la unión de las imágenes que componen un panorama sea perfecta, se debe emplear equipamiento

adicional, como un cabezal panorámico y un trípode. El cabezal panorámico es un accesorio que consta de un brazo articulado y unas regulaciones, para que la cámara pivote alrededor de un punto fijo, que debería coincidir con el centro óptico de la lente, también denominado punto nodal trasero.

Existen multitud de cabezales panorámicos **3** en el mercado, algunos con accionamiento manual, como el cabezal Manfrotto 303 SPH, mien-



7. Proyección de las imágenes sobre una superficie esférica  
8. Proyección equirectangular del panorama esférico del Panteón de Roma

7. Projection of the images onto a spherical  
8. Equirectangular projection of the spherical panorama of the Pantheon in Roma

tras que otros tienen un mecanismo de giro motorizado y programable, como el Gigapan Epic Pro o el Clauss Rodeon Vr (Fig. 9).

### Metodología de captura estereoscópica

La captura estereoscópica de los panoramas no es algo tan sencillo como pudiera parecer, equivocadamente, alguien podría pensar que bastaría tomar dos panoramas desde dos puntos de vista separados una distancia equivalente a la separación interocular, pero en realidad es algo más complejo, pues se trata de reproducir la trayectoria que describen nuestros ojos cuando pivotamos sobre nosotros mismos para contemplar el entorno que nos rodea.

Imaginemos que nos situamos sobre una peana que gira horizontalmente 360°. Al girar, el centro de perspectiva o punto nodal de cada ojo describe una circunferencia cuyo centro está en el eje de rotación de la peana, por tanto, los puntos de vista de cada ojo varían a medida que gira la peana. Sabemos que para que las imágenes de un panorama puedan unirse perfectamente, el punto de vista de todas ellas debe ser el mismo, pues de lo contrario se producen errores de cosido, por lo que deberemos analizar qué posiciones del observador, en relación al eje de giro de la peana, nos interesan más.

Si quisiéramos minimizar la translación que sufre cada ojo en la rotación, deberíamos situarnos sobre la peana giratoria, de manera que su

of them should be the same, otherwise stitching errors occur. So, we must analyze which observer positions, with respect to the axis of rotation of the pedestal, are the most appropriate.

If we aimed at minimizing the translation experienced by each eye in the rotation, we should put ourselves over the rotating pedestal, in such a way that its rotation axis crosses the midpoint between our eyes or the cyclops eye position. Thus, both eyes would describe a circle with a diametrical length equal to the interpupillary distance, centered on the cyclops eye point. Reproducing this situation would be the best way for minimize stitching errors, but both panoramas would be somewhat imperfect.

Another option would be to stand in a way that the nodal point of one of our eyes was located on the axis of rotation of the pedestal. In that case the remaining eye would orbit around the first one, forming a circle with a radial length equal to the interpupillary distance.

If this situation was photographically simulated, one of the panoramas would be perfect, because the viewpoint remains fixed in the space.







However, the panorama corresponding to the other eye would suffer greater parallax errors compared to the previous assumption, causing more obvious stitching defects, especially in objects close to the camera. Therefore, when performing the capturing of a stereoscopic panorama we must choose between either of these two assumptions, analyzing in each case the advantages and disadvantages of each capturing method. To simultaneously take images corresponding to the two panoramas, two cameras and a panoramic head adapted for this specific purpose would be needed. Alternatively, a stereoscopic camera on a conventional panoramic head could be used. The simplest way however would be using a single camera and capture both panoramas alternately. Figure 9 shows the camera position relative to the axis of rotation for each one of the considered options.

Most people have an ocular dominance, resulting in stimulus coming from our dominant eye prevail over the other. So, if the perfect panorama is presented to the dominant eye, the observer will not notice the small flaws present on the other one. Studies on ocular dominance reveal that two-thirds of population have a right-eye ocular dominance (Chaurasia & Mathur, 1976). So if we decide to use the second of the proposed options, it would be recommended to match the scene without parallax errors with the right eye.

### Visualization problems

Current viewers for spherical panoramas create a virtual sphere around which the equirectangular image is mapped, and the observer is placed at the center of the sphere. However, in order to view a stereoscopic spherical panorama, both panoramas must be combined, so that each eye sees the corresponding view. This way, visual field and parallax are arranged to the viewing conditions, in order to avoid perceptual distortions. It is therefore necessary to develop a specific viewer that provides a compatible displaying for current personal viewers and 3D devices, among which the viewer developed by Google (Google Cardboard Project) stands out for its simplicity and economy. It employs a Smartphone as a display, using a mobile application for viewing stereoscopic content. However, for the moment we can only use monoscopic visualization to display spherical panoramas, because this application only shows the same picture to both eyes. Even so, the project is open source and the

eje de giro pasara por el punto medio entre los ojos o posición de ojo cíclope. De este modo, ambos ojos describirían una circunferencia de diámetro igual a la distancia interpupilar, centrada en el ojo cíclope. Reproducir esta situación sería lo más conveniente para minimizar los errores de *stitching*, pero ambos panoramas serían algo imperfectos.

Otro posibilidad sería colocarnos de forma que el punto nodal de uno de nuestros ojos estuviera situado sobre el eje de giro de la peana, en cuyo caso, el ojo restante orbitaría alrededor del primero, formando una circunferencia de radio igual a la distancia interpupilar. Al simular esta situación fotográficamente, uno de los panoramas sería perfecto, pues el punto de vista permanece fijo en el espacio, mientras que el panorama correspondiente al otro ojo sufriría mayores errores de paralaje que en el supuesto anterior, ocasionando defectos de *stitching* más evidentes, sobre todo en los motivos próximos a la cámara. Por lo tanto, deberemos escoger entre cualquiera de estos dos supuestos cuando queramos realizar la captura de un panorama estereoscópico, analizando en cada caso las ventajas e inconvenientes de cada método de captura.

Para tomar simultáneamente las imágenes correspondientes a los dos panoramas, harían falta dos cámaras y un cabezal panorámico adaptado a este fin específico, o bien, emplear una cámara estereoscópica sobre un cabezal panorámico convencional, pero lo más sencillo es emplear una sola cámara y realizar la captura de los panoramas de forma alternada.

La figura 9 muestra la posición de la cámara, con respecto al eje de giro, en cada una de las opciones consideradas.

La mayoría de las personas tenemos una predominancia ocular, lo que origina que un estímulo proveniente de nuestro ojo predominante, prevalezca sobre el otro. Esto hace que al presentar el panorama perfecto ante el ojo predominante, el observador no note los pequeños defectos que presenta el otro panorama. Estudios acerca de la predominancia ocular revelan que dos terceras partes de la población tienen una predominancia ocular diestra (Chaurasia & Mathur, 1976), por lo que si optamos por utilizar la segunda de las opciones propuestas, resulta recomendable hacer corresponder el panorama sin errores de paralaje con el ojo derecho.

### Los problemas de visualización

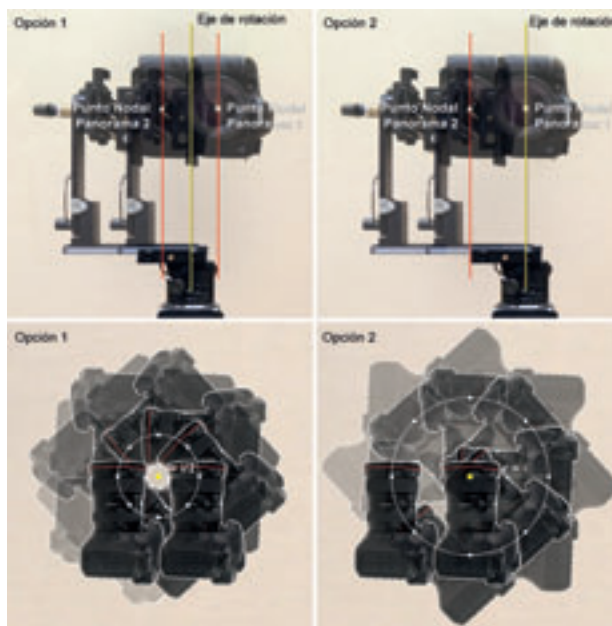
Los visores actuales de panoramas esféricos crear una esfera virtual alrededor de la cual se mapea la imagen equirectangular y se sitúa al observador en el centro de la esfera. Sin embargo, para visualizar un panorama esférico estereoscópico, se deben conjugar ambos panoramas, de modo que cada ojo vea la vista que le corresponde, adoptando el campo de visión y el paralaje adecuado en relación a las condiciones de visualización, con el fin de evitar las distorsiones perceptivas. Por este motivo es preciso desarrollar un visor específico que ofrezca una visualización compatible con los visores personales y dispositivos 3D actuales, entre los que destaca por su sencillez y economía el visor desarrollado por Google (Google Cardboard Project), que emplea un Smartphone como pantalla, usando una aplicación móvil para la visualización de contenido estereoscópico. Sin embargo, para la



9



11



10

9. Cabezal panorámico de accionamiento manual Manfrotto 303 SPH (izda.). Cabezales panorámicos motorizados Clauss Rodeon VR (ctro.) y GigaPan Epic Pro (dcha.)
10. Posiciones de la cámara con respecto al eje de giro en ambas opciones
11. Visores personales Gear Vr de Oculus (izda.) y Google Cardboard Project (dcha.) para visualizar contenido estereoscópico con cualquier Smartphone

visualización de panoramas esféricos, de momento sólo es posible la visualización monoscópica, porque la aplicación sólo muestra un mismo panorama a ambos ojos. No obstante el proyecto es de código abierto y el desarrollo de un visor específico abre una nueva línea de investigación.

A falta de implementar un visor específico, la visualización de este tipo de panoramas puede realizarse utilizando un visor de panoramas esféricos convencional para PC, Tablet o dispositivo móvil, como el recientemente implementado por la plataforma YouTube para visualizar video panorámico, pero utilizando un anaglifo que combine los dos panoramas obtenidos, aunque esta alternativa presenta algunas limitaciones, como la necesidad de las gafas de filtro de color y otras cuestiones que podrían alterar la percepción estereoscópica, como el hecho de que

development of a specific viewer opens a new line of research.

In the absence of a specific viewer, the visualization of such panoramas can be performed by using a conventional spherical panoramas viewer for PC, tablet or mobile device, like the recently implemented by YouTube in order to view panoramic videos, using an anaglyph that combines the two obtained panoramas. However, this alternative has some limitations, like the need of glasses with color filter and other issues that could alter the stereoscopic perception, such as the use of a fixed parallax which could not be appropriate to the observer's viewing conditions. In addition, a conventional viewer may introduce epipolarization errors when the camera revolves around its axis, thus producing parallax with a vertical component, which can nullify the stereoscopic effect. Although this only occurs when the visual direction has a strong vertical component.

### Conclusions and results

Photographic capture methodology is very effective and is a breakthrough that complements the traditional methods of architectural representation, allowing us to visualize the





architectural space with a new dimension. Application results can be appreciated in panoramas of the main monuments of the city of Rome, which were taken during a research stage for the completion of the Doctoral Thesis in the frame of which this study was undertaken. As an example, stereoscopic spherical panoramas in anaglyph are shown for the “Cloister of San Carlino” and the inside of “Tempietto di San Pietro in Montorio” by Bramante. The reader is encouraged to use the proposed links 4 for the interactive navigation of the panoramas, from a computer and using glasses with Red / Cyan color filters as those included on number 23 of this publication. ■

#### Notes

- 1 / An illustrative video of the orientation process can be seen through this link: [http://youtu.be/4\\_EZBoUmb28](http://youtu.be/4_EZBoUmb28), or, using the QR code shown in figure 5.
- 2 / An illustrative video of the equirectangular projection can be seen through this link: <http://youtu.be/W7F6Ys-sf6g>, or, using the QR code shown in figure 8.
- 3 / An illustrative time lapse video showing the camera on the panoramic head can be seen through this link: <http://youtu.be/2zRNLgAMbc0>, or, using the QR code shown in figure 9.
- 4 / Spherical stereoscopic Panoramas of *San Carlino* cloister and Bramante's *Tempietto* can be seen through this link: [https://youtu.be/f\\_vgxUsxhQ8](https://youtu.be/f_vgxUsxhQ8), or, using the QR code shown in figure 12.

#### References

- BIGAS, M., BRAVO L., CONTEPOMI, G., 2012. Vistas de la ciudad. *Revista EGA*, 19, pp. 149-157.
- CABEZOS BERNAL, P. M., 2014. *Imágenes estereoscópicas aplicadas a la representación arquitectónica*. Doctoral Thesis, Universidad Politécnica de Valencia.
- CHAURASIA, B.D., MATHUR, B.B., 1976. Eyedness. *Acta Anat (Basel)*, 96, pp. 301-5.
- HUANG, J., KLETTE, R., 2009. Stereo panorama acquisition and automatic image disparity adjustment for stereoscopic visualization. *Multimed Tools Appl*, 47, pp.353-377.
- HUANG, H., HUNG Y.P., 1998. Panoramic stereo imaging system with automatic disparity warping and seaming. *GMIP*, 60, pp.196-208.
- TORRES, A., CABANES, M., 2011, Conversando con Benedetta Tagliabue, *Revista EGA*, 17, pp.12-29.
- WEI, S., HUANG, F., KLETTE, R., 1998, *Color anaglyphs for panorama visualizations*, researchspace.auckland.ac.nz
- WEI, S., HUANG, F., KLETTE, R., 1999, Three-dimensional scene navigation through anaglyphic panorama visualization. In: Proc. CAIP, LNCS, 1689, pp. 542-549.

#### Acknowledgements

We thank the Trinitarian Father M. Vicente Basterra, Rector of the Church of San Carlo alle Quattro Fontane, for his permission and cooperation for taking pictures of the church and cloister, as well as José Antonio Bordallo, Director of the Royal Academy of Spain in Rome, for his attention and permission to photograph the inside of Bramante's Tempietto.

al ser el paralaje fijo, este podría no adecuarse a las condiciones de visualización del espectador. Además de ello, un visor convencional puede introducir errores de epipolarización cuando la cámara rota sobre su eje, produciéndose así paralajes con componente vertical, que pueden llegar a anular el efecto estereoscópico, si bien, esto sólo sucede cuando la dirección visual tiene una gran componente vertical.

## Conclusiones y resultados

La metodología de captura fotográfica resulta muy eficaz y supone un avance que complementa los métodos de representación arquitectónica tradicionales, permitiéndonos visualizar el espacio arquitectónico con una nueva dimensión. Los resultados de aplicación pueden verse reflejados en los panoramas de los principales documentos de la ciudad de Roma tomados durante una estancia de investigación para la realización de la Tesis Doctoral en la que se acomete el estudio. A modo de ejemplo se muestran los panoramas esféricos estereoscópicos en anaglifo del Claustro de *San Carlino* y del interior del *Tempietto di San Pietro in Montorio* de Bramante. Se recomienda al lector que utilice el enlace propuesto 4 para la navegación interactiva de los panoramas desde su móvil u ordenador y unas gafas de filtro de color Rojo/ Cyan como las que incluye el número 23 de esta revista. ■

#### Notas

- 1 / Puede verse el video explicativo del proceso de orientación de las imágenes en el espacio accediendo al siguiente link: [http://youtu.be/4\\_EZBoUmb28](http://youtu.be/4_EZBoUmb28), o bien, utilizando el código QR que aparece en la figura 5.
- 2 / Puede verse el video explicativo de la proyección equirectangular accediendo al siguiente link: <http://youtu.be/W7F6Ys-sf6g>, o bien, utilizando el código QR que aparece en la figura 8.

12. Panoramas esféricos estereoscópicos en anaglifo del Claustro de *San Carlino* (sup.) y del interior del *Tempietto di Bramante* (inf.). Los panoramas pueden verse de forma inmersiva utilizando el código QR y unas gafas de filtro de color rojo/cian como las suministradas en el número 23 de esta revista

12. Stereoscopic spherical panoramas, using anaglyph technique, of the Cloister of *San Carlino* (top) & from the inside of the *Tempietto di Bramante* (down). They can be viewed immersively by following the link inside the QR, and using red-cyan glasses

- 3 / Puede verse este video time-lapse que muestra la cámara sobre un cabezal panorámico accediendo al siguiente link: <http://youtu.be/2zRNLgAMbc0>, o bien, utilizando el código QR que aparece en la figura 9.
- 4 / Pueden verse los Panorama esféricos estereoscópicos del Claustro de *San Carlino* y del *Tempietto di Bramante* accediendo al siguiente link: [https://youtu.be/f\\_vgxUsxhQ8](https://youtu.be/f_vgxUsxhQ8), o bien, utilizando el código QR que aparece en la figura 12.

#### Referencias

- BIGAS, M., BRAVO L., CONTEPOMI, G., 2012. Vistas de la ciudad. *Revista EGA*, 19, pp. 149-157.
- CABEZOS BERNAL, P. M., 2014. *Imágenes estereoscópicas aplicadas a la representación arquitectónica*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.
- CHAURASIA, B.D., MATHUR, B.B., 1976. Eyedness. *Acta Anat (Basel)*, 96, pp. 301-5.
- HUANG, J., KLETTE, R., 2009, Stereo panorama acquisition and automatic image disparity adjustment for stereoscopic visualization. *Multimed Tools Appl*, 47, pp.353-377.
- HUANG, H., HUNG Y.P., 1998, Panoramic stereo imaging system with automatic disparity warping and seaming. *GMIP*, 60, pp.196-208.
- TORRES, A., CABANES, M., 2011, Conversando con Benedetta Tagliabue, *Revista EGA*, 17, pp.12-29.
- WEI, S., HUANG, F., KLETTE, R., 1998, *Color anaglyphs for panorama visualizations*, researchspace.auckland.ac.nz.
- WEI, S., HUANG, F., KLETTE, R., 1999, Three-dimensional scene navigation through anaglyphic panorama visualization. In: Proc. CAIP, LNCS, 1689, pp. 542-549.

#### Agradecimientos

Agradecemos al Padre Trinitario M. Vicente Basterra, Rector de la Iglesia de *San Carlo alle Quattro Fontane*, por su permiso y colaboración para realizar las fotos de la Iglesia y el Claustro, así como a José Antonio Bordallo, Director de la Real Academia de España en Roma, por su atención y permiso para fotografiar el interior del *Tempietto* de Bramante.

