

Photographic techniques for urban art documentation

Urban art or street art, known worldwide as graffiti, has become a form of expression, which often has a great visual impact, and now is being part of the image of almost all cities. The majority of these manifestations are carried out illegally, and they consist of a combination of seemingly disjointed texts, whose main aim is to achieve a sensory distraction, a revolutionary or an anti-system act, instead of having an artistic purpose itself. However, there are other graffiti works that can be considered as masterpieces, since they have an artistic value that is comparable to any piece of art.

Another distinctive aspect of graffiti works is its temporary character, so they are ephemeral and non-conservable pieces, since they are exposed to the climate elements. On the one hand, this fact is not necessarily a problem for the vast majority of graffiti, but, in the case of a graffiti masterpiece, it is undeniable that this distinctive

feature of mutability, which is an intrinsic part of its artistic objective, should not avoid its correct documentation as a work of art. As its material transience has to be respected, at least, we should document them to preserve its memory and to create a graphic database of urban art masterpieces for future diffusion on other media. The main aim of this contribution is to show different photographic methodologies for the documentation of graffiti on architectural supports. These methodologies have been tested, analysed and evaluated, establishing a suitability criteria according to the conditions in which the works are placed.

Finally, some conclusions will be drawn on the different documentation methodologies for these urban artworks, which are often photographed both in their sequence and in their final art, without having an adequate architectural graphic record.



Pablo Rodríguez-Navarro
He is Technical Architect, Art Historian and Building Engineer. Professor of Photography, Photogrammetry and Architectural Survey at the Department of Architectural Graphic Expression, Universitat Politècnica de València (Spain). He leads the research group LevARQ, focussed on the documentation of the Architectural and Archaeological Heritage.



Pedro M. Cabezos-Bernal
Phd. Architect and Professor at the Universitat Politècnica de València in the Graphic Expression Department. His research line is focused on new representation techniques such as 3D modelling, virtual reality, immersive photography, photogrammetry SfM (Structure from Motion) and ultrahigh resolution photography.



Teresa Gil-Piqueras
She is Technical Architect, Materials Engineer and Building Engineer. Professor of the Department of Architectural Graphic Expression at the Universitat Politècnica de València (Spain). She participates in various research projects related to the vernacular heritage and defensive architecture.

Keywords:
urban art; graffiti; photogrammetry; gigapixel photography; stitching; SfM/IM

1. INTRODUCTION

Urban wall art is unanimously considered to be the most influential artistic movement in contemporary art. In addition, in one way or another, it is present in most of the cities of the world, so no one escapes from its influence (Dimita, 2015, p.5). The first graffiti, considered as the first graffiti, appeared in the early 70s. They were nothing but simple texts, written in the subway stations of New York or Philadelphia. This kind of street art, known as Graffiti Tag, represented a sort of anonymous signature or nickname that usually included the street number where the author lived [1]. Its main aim was the search for an anonymous, rebellious, adolescent notoriety of the suburbs of the great metropolises. This movement multiplied their followers soon, fragmenting its style and maintaining its radicalization and illegality. Then, a slow but unstoppable export process began beyond the borders of the USA (Riva, 2007).

In the 80s, the nerve centre moved to Europe and changed its artistic sense. The term Street Art began to grow in opposition to Graffiti, although both terms are still used interchangeably. Street Art searches the relationship with its urban environment, wants to influence it, while abandoning improvisation and fast graphic techniques (sprays and markers). This caused the promotion of legal works that began to be considered as masterpieces. Street Art is now considered as Post-Graffiti, although the primitive graffiti works have never disappeared.

Today, nobody doubts about the artistic value of Street Art, which is exhibited in museums and galleries, and many of its authors have a great professional recognition. However, many of the most prestigious authors like to maintain their anonymity, preserving a halo of mystery, as may be the case of Banksy, the world's most recognized author, whose works have been exhibited in important museums and have reached stratospheric prices at major auctions, such as those carried out by Sotheby's in London.

However, most of the works face a common destiny, which is none but their total loss. This fact has been an issue since the origin of these artworks

and their memory has been relegated, in almost all cases, to some photographs, usually taken by the author himself or by a photographer, professional or amateur, commissioned by the artist. Even now, the memory of these works is usually limited to a simple snapshot or video that is taken with a smartphone, with the sole purpose of being shared on social networks or on any website (Dimita, 2015, p.38).

For these reasons, it is necessary to consider some methodologies that will lead us to the effective documentation of these artworks, in order to preserve them, get to know them, disseminate them and even, if necessary, reproduce them. The final documentation of Street Art must satisfy both artistic and architectural requirements, due to the nature of its support. Therefore, a graphic document with an optimal image quality and color fidelity must be obtained. It will be appropriate to use techniques that allow obtaining gigapixel resolutions, such as those that will be shown below, with which it will also be possible to visualize the work in orthogonal projection as a orthophoto. For this purpose, different techniques have been put into practice, such as ultra-high or gigapixel resolution photography, photogrammetric rectification and SfM / IM (Structure from Motion / Image Matching) photogrammetry.

In order to carry out this methodological study, a series of graffiti were chosen. These works have such a strong visual impact that influences the perception of their architectural support and its urban environment. The city of Valencia was selected for being considered as the city with the most and best presence of urban art in Spain today. Wandering around the city centre, there can be found many artworks by well-known national and international artists, such as Hyuro, Escif, Julieta XLF, David Limón, Deith, Blu, Cere, Xolaka, Xelon.

The study focused in two locations within the city, since they are the more creative areas; its historical center and the Universitat Politècnica de València. Some examples of different scales and with great influence on their urban environment were documented in the historic center, while some other examples belonging to the Poliniza

festival and other urban art proposals, such as the series of murals entitled *Mujeres de Ciencia*, were captured within the Campus of the University. Poliniza is the Festival of Urban Art of the Universitat Politècnica de València that, since 2006, brings together two initially opposite worlds; the University and the Urban Art. The festival has become a reference due to its originality, media impact and internationality. The Poliniza contest, which is held annually, promotes the essence of urban art and international artists execute their works on different walls inside the University Campus, so the wall paintings remain only until the next edition, thus respecting the ephemeral nature of urban painting. The artists are selected through a contest in which the project of the work and the trajectory and relevance of the author within the urban subculture are valued (<http://www.upv.es/poliniza>).

By the other hand, the series of urban murals entitled *Mujeres de Ciencia* (Woman of science) have the objective of making visible and paying tribute to national and international women leading scientists to denounce gender inequality. This initiative is made up of 8 murals as a tribute to the scientists Margarita Salas, biochemist; Hypatia of Alexandria, astronomer, mathematician and philosopher; Katherine Johnson, mathematician and space scientist; Valentina Tereshkova, the first woman to fly into space; Anna Lluh, a leading oncologist in breast cancer research; Josefina Castellvi, oceanographer specialized in marine bacteriology; Jane Jacobs, scientific and theoretical disseminator of urban planning and Hedy Lamarr, pioneering engineer of wireless communication. This proposal was promoted by the University itself and Las Naves Innovation Center of the City Council of Valencia and counted on the collaboration of the Spanish Foundation for Science and Technology (FECYT) and the Ministry of Science and Innovation (<http://donesdeciencia.upv.es>).

2. DOCUMENTATION METHODOLOGIES

The different methodologies that were tested and evaluated in the graphic documentation of the works are described next. Each of these tech-

<http://disegnarecon.univaq.it>

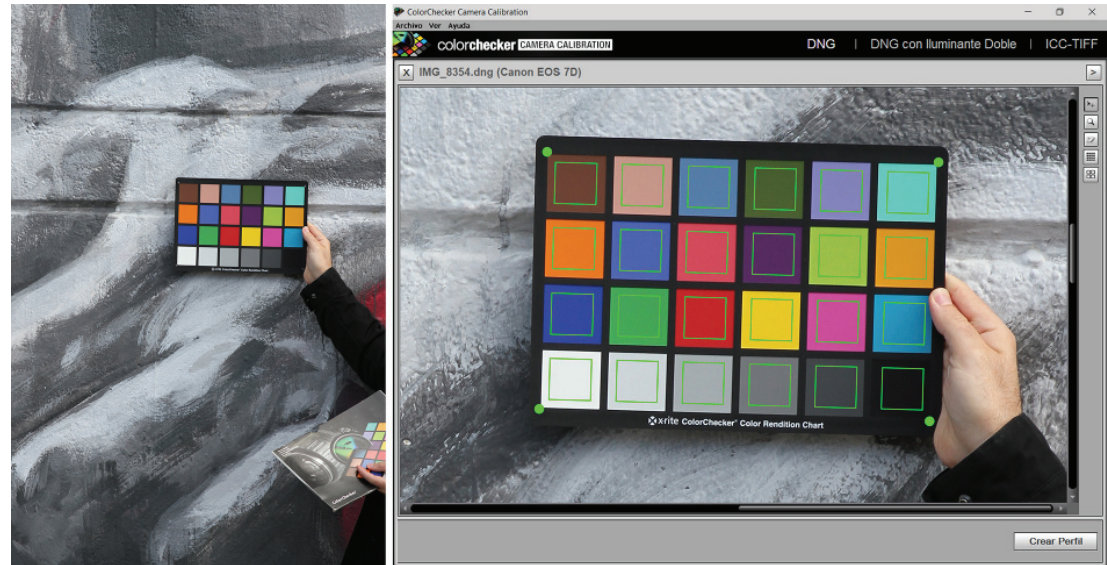


Fig. 1 - Using the X-Rite ColorChecker Calibration Chart to Generate the Colour Profile.

niques were used to document an example of urban art in its current state of conservation. As mentioned before, one of the needs in the documentation of pictorial works is to achieve a reliable reproduction of their colours. For this reason, in each and every one of the photographic captures that were carried out, a colour profile for the scene lighting conditions was generated using an X-Rite ColorChecker calibration chart (Fig. 1). A photograph of this reference chart, illuminated under the same scene conditions, was also used to adjust the white balance of the image files that were taken in RAW format. Using RAW format, available on most cameras of a certain level, is highly recommended to maximize image quality (a dial distortion). To achieve this, the camera and its objective must be calibrated. In addition, it must be taken into account that the focal length used for the photographic shot should be the same as that used in the calibration, since the radial dis-

tortions will depend on it.

The easiest ways to correct images are based on the use of dedicated plugins for this purpose, which are available for common digital image editing programs, or through specific calibration software. For the correction of radial distortion, there are several Photoshop plugins on the market that achieve an acceptable result. They appear as one more filter effect, so when processing the image using this filter, the distortions are eliminated. However, for this correction to be accurate, plugins with specific profiles must be used for each camera model and for each focal length of the lens. Photoshop includes natively some correction profiles for cameras and lenses that can be applied via the Lens Correction filter, but there are other specific plugins such as PTLens, DxO, LensDoc, etc.

In this study, the camera was calibrated using ASRix Digital Image Rectifier software ([CC BY-NC](http://</p>
</div>
<div data-bbox=)

nickerson.icomos.org/asrix), which is a software dedicated to image rectification that includes a calibration module.

Once the image is corrected, is ready to be rectified. The most frequent methods for rectification of digital images are polynomial rectification and projective transformation. Polynomial rectification consists in establishing the relationship between both data sets (coordinates of the original image and coordinates of the rectified image) by adjusting a polynomial function. The advantage is this method is that does not require any knowledge of the sensor geometry. However, it can cause serious inaccuracies if there are deformations that are not contained in the rectified plane, since they will not be considered.

The projective transformation establishes the relationship between two planes. This relationship is defined by eight parameters that can be calculated from a minimum of four control points and their corresponding image coordinates. This method does not require the calculation of the orientation parameters, since they are included in the coefficients of the expression, and is frequently used for the rectification of photographs of building facades.

The mathematical expression is:

$$X = \frac{a_1x+a_2y+a_3}{c_1x+c_2y+1} \quad Y = \frac{b_1x+b_2y+b_3}{c_1x+c_2y+1}$$

Being: (X, Y) the coordinates of the plane, (x, y) the coordinates of the image and (a, b, c) the coefficients related to the general equations of the perspective projection (Delgado, 2002).

When the coordinates of a point on the plane (X, Y) and the corresponding ones on the photograph (x, y) are known, two equations can be established. The coefficients a, b and c are the unknowns, so with a minimum of four points, a total of eight equations would be formed to solve the equation system. However, it is always advisable to introduce a greater number of points, so that this will allow obtaining the error of the results (Buill, Rodríguez & Núñez, 2008).

Both types of transformation will be valid for the intended rectification, as long as the graffiti is on a substantially flat surface.

In order to obtain the rectified image, a single picture of the object to be documented must be taken with a calibrated camera and lens and the spatial or plane coordinates of at least four points, contained on the surface of the graffiti, must be known.

Photogrammetric rectification has become one of the most popular photographic products. Its main advantages are speed, simplicity, economy of means and obtaining objective and uninterpreted information. The disadvantages are that it can be used only for the restitution of flat or almost flat surfaces and, above all, that the photographic capture must be carried out as frontally as possible to avoid excessive interpolations during the transformation process that would cause a considerable loss of sharpness. In wall art, it is often not possible to meet this requirement due to its height or the impossibility of placing the camera in front of the work.

This photogrammetric rectification method was applied to the documentation of an artwork by the artist known as Xolaka (<http://xolaka.es>). The work was commissioned by Negrita Bar, placed on Catalans Street in Valencia (Fig. 2). Xolaka is Ángel Caballero Rioja, a Valencian artist graduated in Fine Arts. His urban art works are known and valued. Although Xolaka is open to different styles, this specific work, located at the door of a well-known cocktail bar, represents the stylistic line that most characterizes him; the realistic portrait. The acquisition of the coordinates of the four necessary points was carried out by means of direct measurement. In this case, two measurements were taken with a tape; height and width, since the work is on a rectangular metal door. The 2D coordinates (x, y) were acquired from these measurements and the image rectification was obtained (Fig. 3).

The photography was taken with a Sony a7r camera, with a resolution of 36.4 Mp, full-format CMOS sensor and a Zeiss f2 lens with a focal length of 28 mm. With a single photograph of this camera it can be obtained a maximum image size of 62.30 x 41.58 cm at 300 pixel per inch (ppi), so to document



Fig. 2 - Graffiti by Xolaka painted on the door of La negrita Bar. Catalans St. Valencia.



Fig. 3 - Graffiti by Xolaca painted on the door of La negrita Bar. Rectified picture.

<http://disegnarecon.univaq.it>

the artwork in its real size (scale 1: 1) at 300ppp, it would be necessary to carry out a mosaic of 4 x 6 rectified images and proceed to join them. Using this methodology and joining rectified mosaics, other examples of mural painting corresponding to different editions of the Poliniza festival were also documented (Fig. 4). The graffiti were painted, in this case, by students from the Faculty of Fine Arts of the Universitat Politècnica de València.

2.2. GIGAPIXEL PHOTOGRAPHY

Panoramic photography using stitching techniques allows obtaining ultra-high or gigapixel resolution images, which are very useful for documenting artworks, including graffiti, since it is possible to visualize and preserve any pictorial work with a high level of detail, see for example (Kopf, Uyttendaele & Cohen, 2007) & (Cossairt, Miao & Nayar, 2011).

The capture methodology must be very rigorous to guarantee an accurate geometric reproduction, and to avoid any type of distortion that may come from the lens, used in the photographic acquisition, or that could be introduced by the stitching process (Cabezos et al., 2016; 2017).

The methodology consists in obtaining a mosaic of photographs of the artwork, guaranteeing always a minimum overlap between adjacent pictures of a third of the surface of the image. Maintaining the minimum overlap is crucial to achieve an optimal assembly through any stitching software, as will be explained later. Another very important factor to join the pictures properly is to ensure that they are all taken from the same point of view. In order to do so, a tripod and a panoramic head is needed. The panoramic head allows rotating the camera around the lens perspective center, anterior nodal point or non-parallax point, so that, once the camera position is calibrated on the panoramic head, all the photographs will be taken from the same point of view and, consequently, there will be no parallax errors among them.

In order to maximize the resolution of the resulting image, it is necessary to use a long focal

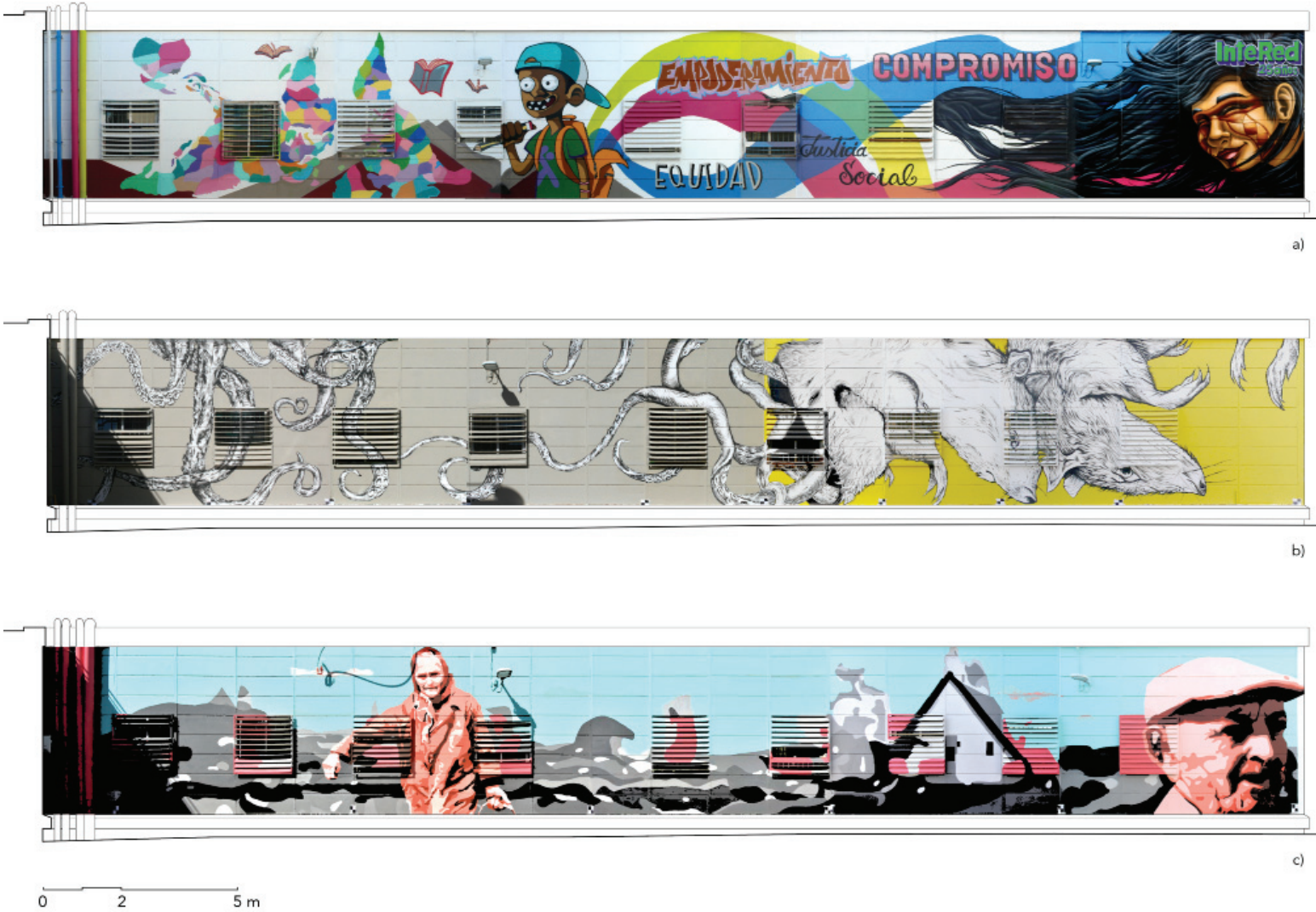


Fig. 4 - Composition of rectified photographs to document different murals of the Poliniza festival at UPV. a) 2017, b) 2018, c) 2019.

length or telephoto lens, since the higher the focal length, the higher the magnification factor and the greater number of photographs needed to configure the mosaic. For achieving an optimal image quality, it is necessary to use lenses with good optical resolution to provide high sharpness.

It is advisable to use cameras with large-format or full-frame digital sensors to minimize noise and increase image quality. Sensor resolution is not that important from a certain level. Normally, working with digital cameras larger than 24 Mp is not a real improvement, since the sensor may exceed, by far, the optical resolution provided by most current high-end lenses [2].

In order to exemplify this methodology, there was carried out a gigapixel capture of an urban artwork by the artist Lula Goce (www.lulagoce.com), that was painted in 2019 on one of the walls of the Universitat Politècnica de València.

This work belongs to the series of urban murals called *Mujeres de Ciencia*. The mural, 10.17 meters high by 5.5 meters wide, pays tribute to the eminent Spanish scientist Margarita Salas, recently deceased. According to the artist herself, the work shows Dr. Salas with a serious and backlit expression to give the image more strength. The mural also refers to her studies, since it represents elements related to her research in biochemistry.

In order to capture this work with an optimal image quality, a Canon 7D camera equipped with a Canon EF 200mm f2.8L II USM telephoto lens, was used. The camera was placed on a tripod, equipped with a Manfrotto 303 SPH panoramic head, at a distance of 11 meters from the mural and 1.6 meters above the ground level. A total of 99 photographs were taken, forming an 11x9 mosaic to cover the entire surface of the artwork (Fig. 5).

The capture was carried out at a specific hour of the day to ensure that the mural was illuminated exclusively by the diffused light coming from the sky, thus avoiding the direct sunlight and the shadow casting on the mural produced by certain architectural and plant elements. The camera exposure was locked during the capture process to ensure a consistent brightness.

Adobe Camera Raw was used for the digital devel-

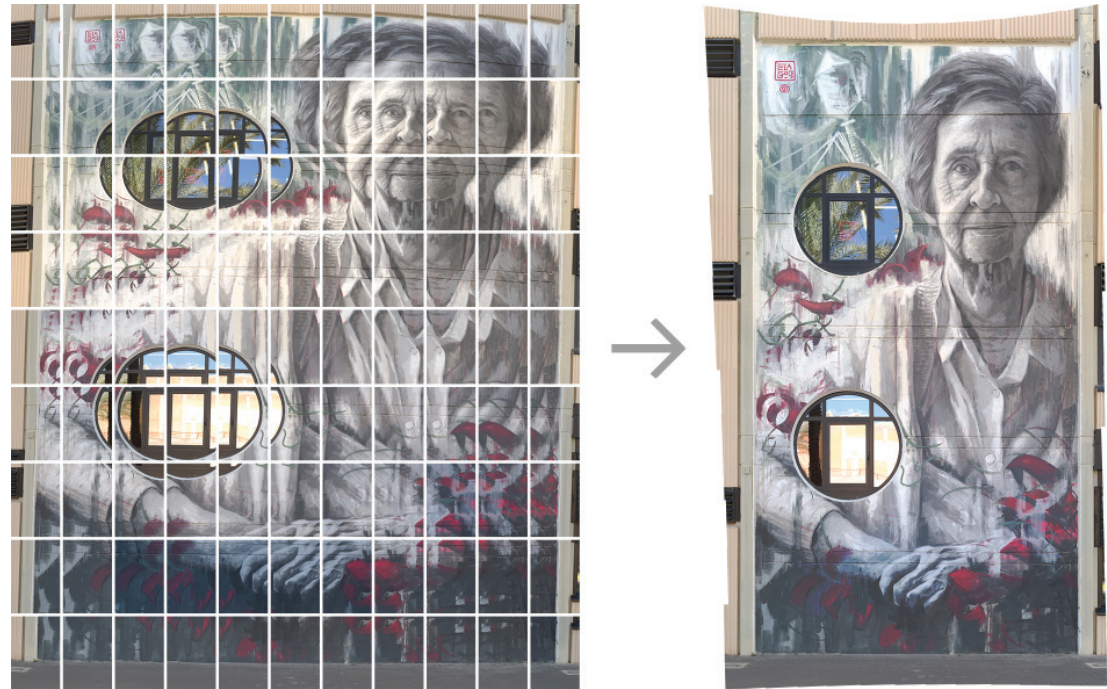


Fig. 5 - Mosaic of 99 photographs (11x9) with an optimal overlap to assemble the rectified gigapixel image.

opment process of the RAW files. The color profile was unified, according to the process explained before, thus obtaining 99 images in TIFF format, with a color depth of 16 bits per channel. The assembly process was carried out using Hugin (<http://hugin.sourceforge.net>) a GPL stitching software.

The stitching software searches for homologous points in the overlapping areas of the pictures in order to calculate the orientation of the photographs in space and the parameters to correct the radial distortion of the lens, so no calibration is needed. Once the mosaic is oriented in space, the program allows obtaining different types of panoramas, either partial or immersive, such as cylindrical or spherical.

This case is a partial panorama, which is a non-immersive image, so a perspective projection is used to project the image mosaic from its point of view onto a plane, thus resulting in a gigapixel resolution image. However, analogously to the previous methodology, before performing the projection it is necessary to straighten the mosaic, so that the images are parallel to the projection plane. Thus the resulting image is projected in true proportion. The stitching programs are not prepared to accept point coordinates, unlike what happens with the programs dedicated to photogrammetric rectification, seen in the previous section, but the majority of them have the ability of orienting the mosaic from geometric conditions, such as verti-

cal and horizontal conditions. Therefore, some of these geometric conditions can be introduced in the mosaic, using some architectural references, present in the photographs, such as vertical and horizontal edges (Cabezos & Cisneros, 2012). In case of not having geometric references in the scene, it is possible to add some elements such as targets or identify notable points with the help of a topographic support to orient properly the mosaic. In that case, it would be necessary to provide at least two vertical and two horizontal conditions. Therefore, it would be sufficient to identify four reference points forming a rectangle, parallel to the plane of the painting, being two of its edges in horizontal position and, consequently, the rest being vertical.

As a result of this process, an ultra-high resolution image with more than 766 Mp was obtained. The file is very heavy, more than 4 Gb, so many resources are needed for its manipulation and display. In order to solve this problem and to allow visualizing the image through the Internet, it is necessary to convert the gigapixel image into a multi-resolution mosaic or pyramidal image. The multi-resolution mosaic consists in decomposing the original image into numerous fragments with different levels of resolution and grouped by layers, according to their level of detail (Fig. 6).

The resulting pyramidal image can be viewed through the Internet, in real time, thanks to the use of a specific web viewer that loads these fragments, progressively, as the user demands a higher level of detail when enlarging a specific area. Figure 7 contains a QR code to interactively visualize the result by means any mobile device. This visualization can also be carried out by following the link, which is shown at the bottom of the figure. The pyramidal image has been composed using Zoomify, which has a specific web viewer compatible with browsers supporting html5.

2.3. SPHERICAL PANORAMAS

The methodology outlined below is closely related to the previous one. The same photographic equipment and stitching software was used to achieve,

<http://disegnarecon.univaq.it>

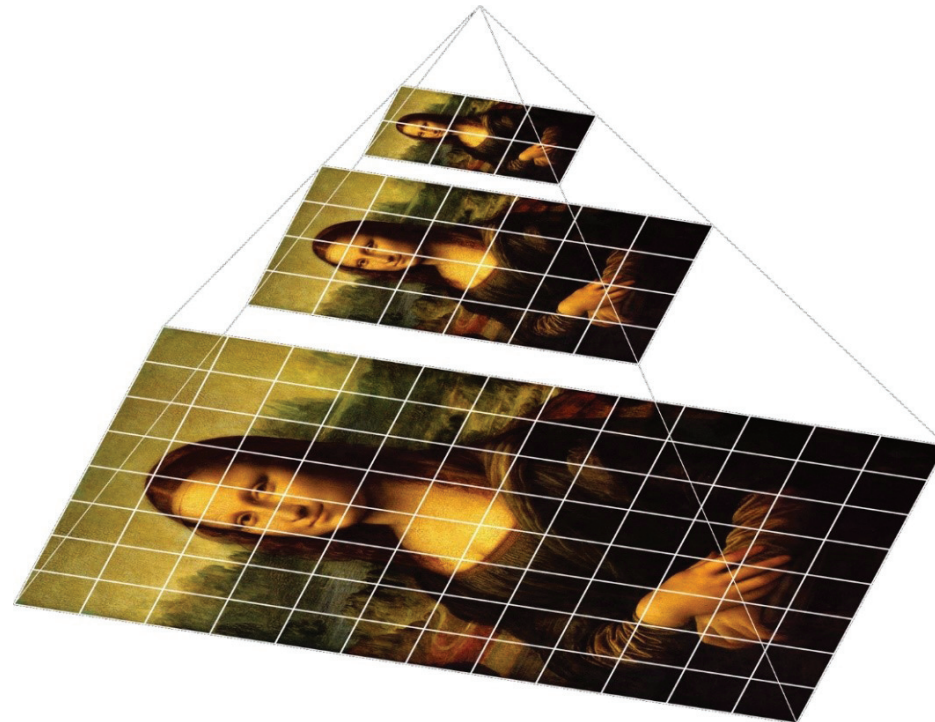


Fig. 6 - Decomposition with different levels of detail in a pyramidal image or multi-resolution mosaic.

in this case, immersive panoramas. These kinds of panoramas are of great interest when documenting the artwork framed by its urban environment, so it is possible to assess the influence and relationship between the painting and its surroundings.

The capture methodology is based on the same principle, but more photographs are needed to cover the entire scene. In this case, short or wide-angle focal length lenses are used, since an ultra-high-resolution is not necessary, but rather an immersion of the viewer in the urban environment surrounding the mural. The images that make up

a spherical panorama are oriented in space analogously to the previous case, but the equidistant cylindrical projection is used to project the set of images on a plane, in a similar way to the projection methods used for terrestrial cartography.

The aim of the panorama of the study was to point out the location of one of the graffiti belonging to the Poliniza 2012 festival by the Spanish artist Manolo Mesa, better known by his pseudonym La Mesa (https://www.flickr.com/photos/el_messa). The mural, that disappeared in 2013, was located in a passageway that connects with the Ágora



Fig. 7 - Resulting gigapixel image. The picture can be viewed interactively at full resolution reading the QR code or by following this link: <http://pcabezos.webs.upv.es/salas/salas.htm>.

<http://disegnarecon.univaq.it>

Square at the Universitat Politècnica de València, which is one of the most relevant spaces of the campus. In order to capture this panorama, a Canon 7D camera was used with a Canon 17-40L lens, set to its shortest focal length, and mounted on a tripod equipped with a Manfrotto 303 SPH panoramic head.

A total of 38 photographs were taken. 36 of them distributed in 3 rings of 12 photographs per turn. The first ring was taken with the optical axis of the camera in a horizontal position, the second with the optical axis at an angle of $+45^\circ$, with respect to the horizontal plane, and the third with an angle of -45° . The remaining two shots served to cover the Nadir (optical axis at -90°) and the Zenit (optical axis at $+90^\circ$). The assembly of the panorama was carried out with Hugin to achieve a equirectangular image with a resolution of 12000×6000 px (Fig. 8).

Spherical panoramas can be viewed immersively using specific viewers, and they can even be distributed through the Internet. Most of these viewers also support the use of virtual reality viewers, such as Oculus Rift, or the low-cost Google Cardboard, which can make the experience even more immersive. The resulting panorama can be viewed interactively with any mobile device using the QR code shown in the figure, or by following the link at the bottom of the figure. The panorama has an interactive node or hotspot that shows additional information and a picture of the mural. This interactive visualization was generated using KRpano (www.krpano.com).

2.4. 3D MULTI-IMAGE ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY SFM (STRUCTURE FROM MOTION)

The last method that was used for documenting the artworks was the multi-image 3D photogrammetry. The Structure from Motion (SfM) algorithms allow obtaining a 3D model from 2D images, thanks to the differences in the photographs due to the changes in the viewer's point of view. This type of restitution consists of an initial stage dedicated to the proper spatial orientation of the photographs that will be used to reconstruct



Fig. 8 - Spherical panorama of the Ágora square at the UPV Campus. The panorama also shows one of the graffiti of the Poliniza contest using an interactive hotspot and can be viewed through the QR code or by following this link: <http://pcabazos.webs.upv.es/mesa/mesa.htm>

the model. This work includes the automatic calibration and correction of all the images based on their EXIF data.

The procedure is based on the search for homologous points by means of contrast features between all the photographs, which allows establishing the relative positions of each camera and the calibration parameters for the camera-objective set (Rodríguez-Navarro, 2012; Gil, Rodríguez-Navarro & Pérez, 2019). The next phase focuses on the generation of a dense point cloud, from the previously oriented photographs, that will be used for the reconstruction of the model geometry, that is, to the construction of the 3D polygon mesh that define the model surface. Finally, the photographs that make up its texture can be projected onto these surfaces. Once the textured model is finalized, some orthographic views can be obtained.

In order to scale the orthophoto, it is necessary

<http://disegnarecon.univaq.it>

to take a single measurement, but it is always advisable to take the coordinates of a certain number of control points. Morphological points were used instead of targets. The coordinates were obtained by means of a robotic Topcon Imaging Station IS. This station has a prism measuring capacity of 3000 m, with an accuracy of $\pm [2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \times D^*]$ MSE. It was not necessary to link stations, so all the points were registered with the same reference system from a single station. The most critical phase of the photographic capture process was the choice of the point of view of the shots. They must cover the entire model and have the necessary overlaps to observe each point from at least three cameras. This time, a Sony a7r camera was used, with a 28mm focal length lens. This method was used in two artworks that, due to their dimensions, could not be documented with the rectification method. The first one, is a graffiti by

the artist FASIM (Germán Bel, www.fasim.org) entitled Stop victim war's wall, which is one of the best-known artworks in the city. It was painted in 2010 and is in an advanced state of deterioration (Fig. 9 & 10). The work, clearly was inspired by Picasso's Guernica, and denounces the wars that are taking place in the world currently. The graffiti is painted on an angled wall at Calderers St. with Esparto Sq. in the centre of El Carmen neighbourhood.

The use of SfM photogrammetry was also advisable in this case due to the narrowness of Calderers street, which made it impossible to see the entire graffiti from a single point of view. A photographic sequence of 42 snapshots were taken at a distance of 3 meters from the wall, and a distance of 1 meter between shots, which guaranteed an overlap of over 80%. In SfM multi-image photogrammetry the Ground Sample Distance (GSD) parameter is used as an indicator of the quality of the capture.

This parameter establishes the distance between two consecutive pixels of the plane of the restored model. It is calculated according to the following expression:

$$GSD = \frac{Sw * H * 100}{FR * imW}$$

Being:
Sw, Camera sensor width (mm)
FR, Camera focal length (mm)
H, Object distance (m)
imW, Image width (pixels)

A GSD of 0.0523 cm / pixel was obtained in this case with the used parameters This is equivalent to a resolution in the plane of the graffiti of 49 pixels per inch (ppi).

| | | |
|-----|--------|-------------------------------|
| Sw | 35,9 | Sw = Camera sensor width (mm) |
| Sh | 24 | Sh= Camera sensor height (mm) |
| FR | 28 | FR = Camera focal length (mm) |
| H | 3 | H = Object distance (m) |
| imW | 7360 | imW = Image width (pixels) |
| GSD | 0,0523 | GSD = Resolution (cm/pixel) |



Fig. 9 - Current state of the graffiti Stop victim war's wall by Fasim.



Fig. 10 - Graffiti Stop victim war's wall by Fasim. Photoplan obtained using photogrammetry SfM. Elevation facing Calderes St.

The second example of the use of this technique is the graffiti of the Italian BLU, who is an anonymous artist awarded and recognized internationally. He is in the top-ten list of the best considered urban artists in the world (Manco, 2011). The artwork is entitled Moses and was carried out in 2011. It is located in a large party wall, at the intersection of Caballeros Street. and Tossal Square in Valencia (Macías & Zalbidea, 2017a; 2017b). The scene presents Moses with a beard, which is formed by a sort of snakes or worms and the Moses stone tablets contain also different currency symbols. The critic is evident and the painting has a great impact on its urban environment, so is one of the most visited artworks in the historic centre of the city. The artwork is in a good state of conservation despite its 9 years of age. However, other graffiti painters have used its lower part repeatedly during these years, reflecting the lack of sensitivity, culture and respect of some graffiti painters (Fig. 12 & 13).

The SfM method was used due to the large size (9.60 m. Wide x 17 meters high). In addition, the building in front of it, as well as the garbage containers located on the corner, make it difficult to take the pictures. The decision of the amount and arrangement of the shots was complex and was necessary to shot at different distances and angles. The aim was taking the photographs as frontal as possible, increasing the distance from the wall as the upper side was acquired. There were taken 45 snapshots, with a focal length of 28mm, and another extra 25 snapshots, with a focal length of 70mm. This longer length was used to gain resolution at the top of the work. Even so, the resolution could not be so high due to the maximum distance at which the artwork was photographed. A minimum GSD of 0.4878 cm / pixel was obtained, in this case, which is equivalent to a resolution of 5 pixels per inch.

| | | |
|-----|--------|-------------------------------|
| Sw | 35,9 | Sw = Camera sensor width (mm) |
| Sh | 24 | Sh= Camera sensor height (mm) |
| FR | 28 | FR = Camera focal length (mm) |
| H | 28 | H = Object distance (m) |
| imW | 7360 | imW = Image width (pixels) |
| GSD | 0,4878 | GSD = Resolution (cm/pixel) |

3. CONCLUSIONS

Photography arises as the ideal and almost exclusive medium for the accurate documentation and dissemination of urban artworks. In addition, photography is the basis of methods that control

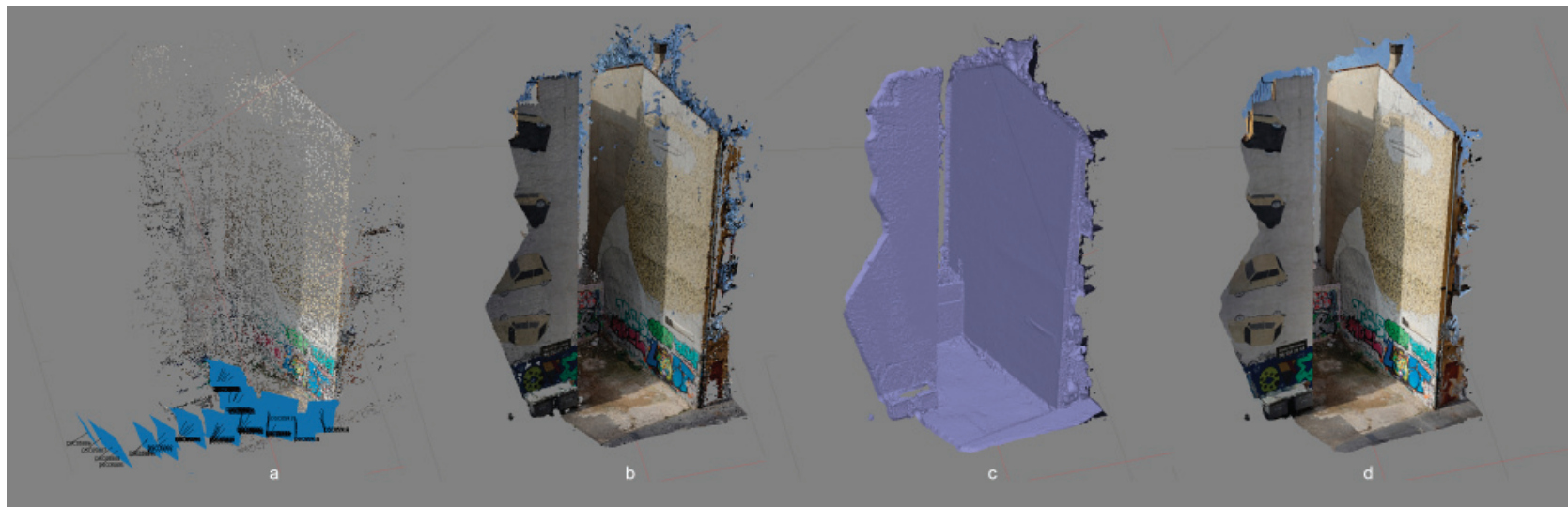


Fig. 11 - Workflow in photogrammetry SfM/IM with Agisoft Metashape Professional. a) Sparse Cloud (camera alignment); b) Point cloud; c) Mesh d) Textured Mesh.



Fig. 12 - Current state of the graffiti Moses by Blu. Caballeros St. & Tossal Sq. The graffiti shares protagonism with the artwork entitled Car falling from the roof by Escif, located at its left.

perspective, color, and the size of the document. This article made the review of the four exposed methods: photogrammetric rectification, gigapixel photography, spherical panoramas and SfM multi-image photogrammetry, considering that they are the most indicated to carry out this task. Photogrammetric rectification has demonstrated to be the fastest, simplest and cheapest technique, but in return it presents a series of difficulties as its limitation to flat or substantially flat surfaces. In addition, it is necessary to obtain the coordinates of at least four points on this surface, preferably located at its corners, which can be difficult, if there is no remote measurement system. It is also necessary to take extreme precautions with the angle of the photographic shot to avoid large interpolations.

Gigapixel photography is perfect when we need to increase the detail of the representation. Although working in different areas is possible, it is better to take the whole painting from a single point of view for obtaining an optimal assembly.

Spherical panoramas provide an immersive vision, reproducing the work inside its environment. For this reason, this method will be complementary to another that will be necessary to document the work properly.

Finally, SfM multi-image photogrammetry is possibly the most versatile of all. It allows documenting the work through the sequence of partial photographs, so is the ideal solution when there are difficulties in obtaining a complete visualization of the artwork. This technique also allows working in a mixed way, incorporating camera poles or even using drones to complete the capture sequence.

There are many factors that determine the documentation process of wall art, mainly due to its urban peculiarity. For this reason, there is no an absolute ideal system, but a list of rigorous meth-



Fig. 13 - Graffiti Moses by Blu. Orthophoto obtained by means photogrammetry SfM.

ods that, surely, must define the workflow for the correct documentation of these particular works. In that sense, the table exposed bellow summarizes the suitability of the exposed methods depending on the circumstances [3] [4]

NOTE

[1] New York Times, July 21, 1971, Page 37, "Taki 183" Spawns Pen Pals. Interview to Taki 183, considered as the first graffiti painter.

[2] The optical resolution of a lens is given by the Modulation Transfer Function (MTF), expressed in lines per millimeter. Optical tests to calculate MTF function are based on contrasted line patterns. To establish a relationship between the MTF function and the resolution in megapixels, DXOMARK, a website specialized in the analysis of photography lenses, establishes a value called Perceptual Megapixels (P-Mpix) that analyzes the response of the lens, when mounted on a camera with a specific sensor, the results of these tests can be seen at www.dxomark.com.

[3] This article has been carried out within the Research Project entitled *Captura fotográfica de resolución gigapixel para la documentación y divulgación del patrimonio pictórico* (01/01/19 - 01/01/21),

reference SP20180066. Project financed with the help of *Primeros Proyectos de Investigación (PAID-06-18)*, *Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de la Universitat Politècnica de València (UPV), València, Spain*.

[4] All images and tables have been made by the authors.

REFERENCES

Buill, F., Rodríguez Jordana, J. J., & Núñez Andrés, M. A. (2008). *Fotogrametría arquitectónica*. Barcelona: Ediciones UPC.

Cabezos Bernal, P. M. & Cisneros Vivó, J. (2012). Fotogrametría con cámaras convencionales y software libre. *Revista EGA*, 20, pp. 88-99.

Cabezos Bernal, P. M., Albert Ballesler, J., Molina Siles, P. & Martín Fuentes, D. (2016) Filippo Fontana's quadratura painting in the Church of Santa Maria del Temple of Valencia, in Valenti, G., *Prospettive architettoniche conservazione digitale, divulgazione e studio*. Roma: Giangemì pp. 65-78.

Cabezos Bernal, P. M., Albert Ballesler, J., Molina Siles, P. & Martín Fuentes, D. (2017). Gigapixel panoramas for documentation. In Rossi, A. *Immersive high resolution photographs for cultural heritage*. Venecia: Libreriauniversitaria.it, pp. 43-53.

Cossairt O.S., Miao D. & Nayar, S. K., (2011). Gigapixel Computational Imaging. *IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP)*, Pittsburgh, PA, pp. 1-8.

Delgado García, J. (2002). *Fotogrametría Digital: Instrumentos, Métodos, Productos Y Aplicaciones*. Jaén: Universidad de Jaén.

Dimita, V. (2015). *Il Museo dell'Efimero Urbano. Conservazione e diffusione digitale della Street Art Studio per Birmingham, Regno Unito*. Tesi di Laurea, Relatore Giorgio Verdiani. Correlatori: James Dixon, Valentina Fantini. Scuola di Architettura, Università degli Studi di Firenze.

Gil-Piqueras, T., Rodríguez-Navarro, P. & Pérez Vila, A. (2019). Foto-

grametría multi-imagen mediante SfM. revisión del software disponible. In *Avances en Expresión Gráfica aplicada a la Edificación*. Tirant ed. Valencia, pp. 646.

Kopf, J., Uyttendaele, M., Deussen, O., & Cohen, M. F. (2007). Capturing and viewing Gigapixel images. In *Transactions on Graphics (TOG)*, 3, pp. 93.

Macias Lara, T. & Zalbidea Muñoz, M. A. (2017). Estudio Técnico de la Pintura Mural de Blu, Plaza del Tossal. Valencia. In *ARCHÉ*. n. 11 - 12, Universitat Politècnica de Valencia, Spain, pp. 189-199.

Macias Lara, T. & Zalbidea Muñoz, M. A. (2017). Puesta en valor del muralismo contemporáneo de Blu en la ciudad de Valencia. In *III Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales: ANIAV 2017: GLOCAL*, Universitat Politècnica de València, Spain. (<http://dx.doi.org/10.4995/ANIAV.2017.5839>)

Manco, T. (2011). The 10 best street art Works, *The Guardian*, 6 august 2011. <https://www.theguardian.com/culture/gallery/2011/aug/07/art>

Riva, A. (2007). *Street Art Sweet Art. Dalla cultura hip hop alla generazione pop up*, Milano: Skira.

Rodríguez-Navarro, P. (2012). Automated Digital photogrammetry versus the systems based on active 3D sensors (La Fotogrametría Digital Automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3D activos). In *Revista EGA*, nº. 20, año 17. Valencia, pp. 100-111.

| | Photogrammetric Rectification | Gigapixel | Spherical Panorama | Fotogrammetry 3D SfM |
|-----------------|-------------------------------|---------------|--------------------|----------------------|
| High Resolution | Good | Optimum | Not advisable | Possible |
| Big Size | Possible | Optimum | Not advisable | Optimum |
| Small Size | Optimum | Possible | Not advisable | Good |
| Environment | Not advisable | Not advisable | Optimum | Good |
| Low visibility | Not advisable | Not advisable | Possible | Optimum |

Fig. 14 - Evaluation table of the different methodologies based on the particularities of the graffiti

Técnicas fotográficas para la documentación del arte urbano

1. INTRODUCCIÓN

El arte urbano murario está considerado unánimemente, como el movimiento artístico más influyente del arte contemporáneo. Además, de una forma u otra, está presente en la mayoría de las ciudades del mundo (Dimita, 2015, p.5), por lo que nadie se libra de su lectura.

En los inicios de la década de los 70 aparecen los que están considerados como los primeros grafitis, que no eran más que textos escritos en las estaciones de metro de Nueva York o Filadelfia. Esta tipología de Street art se la conoce como Graffiti Tag, donde lo que se escribía era una especie de firma anónima, un apodo, que normalmente iba acompañado por el número de la calle donde vivían [1]. El objetivo era la búsqueda de una notoriedad anónima, rebelde, de adolescente de los suburbios de las grandes metrópolis. Este movimiento pronto multiplica sus adeptos; fragmen-

tando su estilo y manteniendo su radicalización e ilegalidad, comienza una lenta pero imparable exportación que traspasa las fronteras de los EEUU (Riva, 2007).

En los años 80 el centro neurálgico se traslada a Europa, donde también cambia su sentido artístico apareciendo el término Street Art en contraposición al de Graffiti, aunque en la actualidad se siguen usando indistintamente. El Street Art se quiere relacionar directamente con su entorno urbano, quiere influir en él, a la vez que abandona la improvisación y las técnicas gráficas rápidas (aerosoles y rotuladores). Esto hace que se promuevan obras legales, con la posibilidad de ser consideradas obras de arte, lo que lleva a considerar al Street Art como Post-Graffiti, aunque estos grafitis no hayan desaparecido nunca. Hoy en día ya no se duda del contenido artístico del Street Art, llegando a ser expuestas en museos y galerías, y contando muchos de sus autores,

de un gran reconocimiento profesional. Sin embargo, muchos de los más prestigiosos autores gustan de mantener ese anonimato adquirido en los inicios, ese halo de misterio, como puede ser el caso de Banksy, el autor más reconocido mundialmente, cuyas obras se han expuesto en importantes museos y han alcanzado cifras estratosféricas en importantes subastas, como las conocidas de Sotheby's en Londres.

Sin embargo, la mayoría de las obras se enfrentan a un destino común, que no es otro que su pérdida total. Este hecho ha sido un hándicap desde su origen y su memoria ha quedado relegada, en la casi totalidad de los casos, a algunas fotografías, muchas veces realizadas por el propio autor o por un fotógrafo, profesional o amateur, por encargo del artista. Incluso, hoy en día, el recuerdo de estas obras suele limitarse a una simple instantánea o vídeo tomado con un smartphone, con el único objetivo de compartirse en redes sociales o en al-

guna página web (Dimita, 2015, p.38).

Por estos motivos se hace necesario plantearse metodologías que nos lleven a la documentación efectiva de estas obras de arte, al objeto de conservarlas, conocerlas, difundirlas e incluso, si fuera necesario, reproducirlas. La documentación final del Street Art debe de responder a exigencias tanto artísticas, como arquitectónicas, debido a su soporte; así pues, se deberá obtener un documento gráfico con una óptima calidad de imagen y fidelidad de color, siendo conveniente utilizar técnicas con las que se puedan obtener resoluciones gigapixel, como las que se verán a continuación, que permitan además la visualización de la obra en proyección ortogonal a modo de fotoplano. Para ello, se han puesto en práctica distintas técnicas, como la fotografía de ultra alta resolución o resolución gigapíxel, a partir del cosido de fotografías realizadas con cabezales panorámicos, la rectificación fotogramétrica y la fotogrametría SfM/IM (Structure from Motion/Image Matching).

Para realizar este estudio metodológico se han elegido una serie de graffitis, realizados sobre elementos arquitectónicos, que tienen una presencia visual, de tal magnitud, que condicionan la percepción de la obra arquitectónica o de su entorno urbano. En este caso se ha elegido la ciudad de Valencia, considerada hoy como la ciudad con más y mejor presencia de arte urbano en España. Recorriendo la ciudad pueden encontrarse obras de conocidos artistas nacionales e internacionales, como Hyuro, Escif, Julieta XLF, David Limón, Deith, Blu, Cere, Xolaka, Xelon,... Dentro de la ciudad se han determinado dos ubicaciones, por ser dos de sus zonas más creativas; su centro histórico y la Universidad Politécnica. En el centro histórico se documentarán ejemplos de distintas escalas y artistas, con gran influencia en su entorno urbano, mientras que dentro del recinto universitario se documentarán algunos ejemplos pertenecientes al festival Poliniza y a otras propuestas de arte urbano como la serie de murales titulada Mujeres de ciencia.

Poliniza es el Festival de Arte Urbano de la Universitat Politècnica de València que, desde 2006,

hacer confluir dos mundos inicialmente opuestos, como son la Universidad y el Arte Urbano. El festival se ha convertido en un referente debido a su originalidad, impacto mediático e internacionalidad. El certamen Poliniza, que se celebra con carácter anual, promueve la esencia del arte urbano y los artistas, de talla internacional, plasman sus obras en distintos muros dentro del recinto universitario, por lo que las pinturas murales permanecen sólo hasta la siguiente edición, respetando así el carácter efímero de la pintura urbana. Los artistas se seleccionan mediante concurso en el que se valora tanto el proyecto presentado, como la trayectoria y relevancia del autor dentro de la subcultura urbana (<http://www.upv.es/poliniza>).

Por otro lado, la serie de murales urbanos denominada Mujeres de ciencia, promovida por la propia Universidad y el centro de Innovación Las Naves del Ayuntamiento de Valencia, tiene el objetivo de visibilizar y rendir tributo a científicas de referencia, a escala nacional e internacional, además de denunciar la desigualdad de género. Esta iniciativa se compone de 8 murales como tributo a las científicas Margarita Salas, bioquímica; Hypatia de Alejandría, astrónoma, matemática y filósofa; Katherine Johnson, matemática y científica espacial; Valentina Tereshkova, la primera mujer que voló al espacio; Anna Lluich, oncóloga referencia en la investigación sobre el cáncer de mama; Josefina Castellví, oceanógrafa especializada en bacteriología marina; Jane Jacobs, divulgadora científica y teórica del urbanismo y Hedy Lamarr, ingeniera precursora de la comunicación inalámbrica. Esta propuesta cuenta además con la colaboración de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) y del Ministerio de Ciencia e Innovación (<http://donesdeciencia.upv.es>).

2. METODOLOGÍAS DE DOCUMENTACIÓN

A continuación, se describen distintas metodologías que han sido puesta a prueba y evaluadas, para la documentación gráfica de las obras. Para cada una de estas técnicas, se ha tomado una obra de arte urbano, en el estado de conserva-

ción que se encuentra en la actualidad.

Tal como se ha comentado anteriormente, una de las necesidades en la documentación de obras pictóricas es conseguir una reproducción fidedigna de sus colores. Por este motivo, en todas y cada una de las capturas fotográficas que se han llevado a cabo se ha generado un perfil de color para las condiciones de iluminación mediante la utilización de una carta de calibración X-Rite ColorChecker (Fig. 1).

La fotografía de esta carta de referencia, iluminada bajo las mismas condiciones de la escena, sirve además para ajustar el balance de blancos de los archivos de imagen tomados en formato RAW. Utilizar el formato RAW, o en bruto, disponible en la mayoría de cámaras de cierto nivel, resulta totalmente recomendable para maximizar la calidad de imagen y el rango dinámico. El formato RAW permite aplicar el perfil de color, generado con el software ColorChecker Camera Calibration de X-Rite, a todas las fotografías durante el proceso de revelado. Además de ello, este formato permite aplicar también, con la ayuda de la carta de calibración como referencia, un mismo ajuste del balance de blancos para todas las tomas de forma muy precisa.

2.1. FOTOGRAMETRÍA ARQUITECTÓNICA 2D, RECTIFICACIÓN FOTOGRAMÉTRICA

El proceso de rectificación fotogramétrica consiste en una transformación proyectiva en la que una fotografía de una superficie plana, tomada no frontalmente, se transforma en una perspectiva frontal, de modo que el plano fotografiado queda representado en verdadera proporción. Posteriormente, este plano puede ponerse a escala utilizando una medida de referencia.

Para realizar este proceso es necesario partir de una imagen corregida, es decir, sin deformaciones debidas a la esfericidad de su lente (distorsión radial). Para ello se deberá calibrar la cámara con el objetivo que se vaya a utilizar. Además, deberá tenerse en cuenta que la longitud focal en la toma fotográfica sea la misma a la utilizada en la calibración, ya que la deformación esférica va a

dependen de ésta.

Las formas más sencillas de corregir las imágenes se basan en la utilización de plugins dedicados a tal fin, disponibles para los programas habituales de edición digital de imágenes, o mediante un software de calibración específico. Para la corrección de la distorsión existen en el mercado diversos plugins de Photoshop que consiguen un resultado aceptable. Éstos aparecen como un filtro más dentro de dicho menú, por lo que, al procesar la imagen con este filtro, se eliminan las distorsiones. No obstante, para que esta corrección sea precisa, se deben utilizar plugins con perfiles específicos para cada modelo de cámara y para cada longitud focal de objetivo. Photoshop incluye, de forma nativa, algunos perfiles de corrección para cámaras y objetivos que pueden aplicarse utilizando su filtro Corrección de lente, pero hay otros plugins específicos como PTLens, DxO, LensDoc, etc. En este caso se ha calibrado la cámara fotográfica con el software ASRix Digital Image Rectifier (<http://nickerson.icomos.org/asrix>), que es un software dedicado a la rectificación de imágenes que incluye un módulo de calibración.

Una vez se tiene la imagen corregida, se procede a su rectificación. Los métodos más frecuentes de rectificación de este tipo de imágenes digitales son la rectificación polinómica y la transformación proyectiva. La rectificación polinómica consiste en establecer la relación entre ambos conjuntos de datos (coordenadas de la imagen original y coordenadas de la imagen rectificadas) mediante el ajuste de un polinomio. La ventaja es que no requiere el conocimiento de la geometría del sensor, no obstante, plantea graves problemas al no considerar las posibles deformaciones ortogonales al plano rectificado.

La transformación proyectiva plantea la relación existente entre dos planos. Esta relación viene definida por ocho parámetros que pueden calcularse a partir de un mínimo de cuatro puntos de control y sus correspondientes coordenadas imagen. Este método no requiere el cálculo de los parámetros de orientación, al estar incluidos en los coeficientes de la expresión, y se emplea frecuentemente para la rectificación de fotogra-

fías de fachadas de edificios. La expresión utilizada es:

$$X = \frac{a_1x+a_2y+a_3}{c_1x+c_2y+1} \quad Y = \frac{b_1x+b_2y+b_3}{c_1x+c_2y+1}$$

siendo: (X,Y) las coordenadas del plano, (x,y) las coordenadas de la imagen y (a,b,c) los coeficientes proporcionales a las ecuaciones generales de la perspectiva central (Delgado, 2002).

Si se conocen las coordenadas de un punto sobre el plano (X,Y) y las correspondientes sobre la fotografía (x,y) pueden establecerse dos ecuaciones, en las cuales los coeficientes a, b y c son las incógnitas; con un mínimo de cuatro puntos se formarían un total de ocho ecuaciones que permiten solucionar el sistema de ecuaciones. No obstante, siempre será aconsejable introducir un número mayor de puntos, lo que nos permitirá revisar el error de los datos obtenidos (Buill, Rodríguez & Núñez, 2008).

Ambos tipos de transformación serán válidos para la rectificación que se pretende, siempre y cuando los grafitis se encuentren sobre una superficie sensiblemente plana.

Para obtener la imagen rectificadas se deberá partir de una única imagen del objeto a documentar, obtener el calibrado de la cámara con su objetivo y longitud focal correspondiente y conocer las coordenadas espaciales o planas de al menos cuatro puntos contenidos en la superficie del grafiti.

La rectificación fotogramétrica se ha convertido en la actualidad en uno de los productos fotográficos más demandados. Sus principales ventajas son la rapidez, sencillez, economía de medios y la obtención de información objetiva y no interpretada. Las desventajas son que sólo puede emplearse para la rectificación de superficies planas o sensiblemente planas y, sobre todo, que la toma deberá realizarse lo más frontalmente posible para evitar interpolaciones excesivas durante el proceso de transformación que causarían una pérdida de nitidez considerable. En el arte mural, muchas veces no es posible cumplir con este requisito debido a su altura o a la imposibilidad

de situar al fotógrafo frente a la obra.

Se ha aplicado este método de rectificación fotogramétrica a la documentación de una obra del artista conocido como Xolaka (<http://xolaka.es>); la obra ha sido realizada para Negrita Bar, en la calle Catalans de Valencia (Fig. 2). Xolaka es Ángel Caballero Rioja, valenciano y licenciado en Bellas Artes; sus obras de arte urbano son conocidas y valoradas. Aunque Xolaka está abierto a distintos estilos, esta obra en concreto, situada en la puerta de un conocido bar de copas, representa la línea estilística que más lo caracteriza; el retrato realista. La obtención de las coordenadas de los cuatro puntos necesarios se ha realizado mediante medición directa. En este caso se tomaron dos medidas con cinta métrica, alto y ancho, debido a que la obra se encuentra sobre una puerta metálica de forma regular. A partir de estas medidas se adquirieron sus coordenadas 2D (x,y) y se obtuvo la rectificación de la imagen (Fig. 3).

La fotografía fue realizada con una cámara Sony α7R, con una resolución de 36,4 MP, sensor CMOS de formato completo y lente ZEISS f2, de longitud focal 28 mm. Con una única fotografía a esta resolución podemos obtener una imagen a 300 ppp de un tamaño máximo de 62,30 x 41,58 cm, por lo que en caso de necesitar obtenerla a tamaño real (escala 1:1) sería necesario la realización de un mosaico de 4 x 6 imágenes rectificadas y proceder a su unión.

Utilizando esta metodología de unión de mosaicos rectificadas se han documentado también otros ejemplos de pintura mural correspondientes a diferentes ediciones del festival Poliniza (Fig. 4). Los grafitis fueron realizados, en esta ocasión, por alumnos de la Facultad de Bellas Artes de la Universitat Politècnica de València.

2.2. FOTOGRAFÍA GIGAPÍXEL

La fotografía panorámica mediante la técnica de cosido de imágenes o stitching, permite obtener imágenes de ultra alta resolución o resolución gigapixel que resultan de gran utilidad para la catalogación de obras de arte, incluyendo los grafitis, ya que mediante este tipo de imágenes se per-

mite visualizar y preservar con todo detalle cualquier obra pictórica, véase por ejemplo (Kopf, Uyttendaele & Cohen, 2007) (Cossairt, Miao & Nay, 2011).

La metodología empleada debe ser muy rigurosa para garantizar una fiel reproducción geométrica, eliminando cualquier tipo de distorsión que pueda provenir de la óptica utilizada en el proceso de captura fotográfica o que pudiera introducirse en el proceso de unión de las fotografías (Cabezas et al., 2016; 2017).

La metodología consiste en obtener un mosaico de fotografías de la obra, garantizando siempre un solape mínimo entre fotografías adyacentes de un tercio de la superficie del fotograma. Mantener el solape mínimo resulta crucial para lograr un buen cosido, mediante cualquier programa de stitching, tal como se explicará más adelante. Otro factor muy importante para poder unir convenientemente las fotografías es procurar que todas ellas se realicen desde el mismo punto de vista. Para ello es necesario utilizar un trípode y un cabezal panorámico. El cabezal panorámico permite rotar la cámara entorno al centro de perspectiva de la lente, punto nodal anterior o punto de no paralaje, de manera que, una vez calibrada la posición de la cámara en el cabezal, todas las fotografías tendrán el mismo punto de vista y no habrá errores de paralaje entre ellas. Para conseguir una mayor resolución de la imagen resultante, es necesario utilizar un objetivo de larga distancia focal o teleobjetivo, puesto que, a mayor distancia focal, mayor factor de ampliación y mayor número de fotografías que componen el mosaico. Para que la nitidez sea óptima es necesario utilizar lentes con una buena capacidad resolutoria para proporcionar la mejor calidad de imagen posible.

Es aconsejable emplear cámaras con sensores digitales de gran formato o full-frame para minimizar el ruido y aumentar así la calidad de imagen. La resolución del sensor no es tan importante a partir de un cierto nivel. Trabajar con cámaras digitales de más de 24 Mp no supone una mejora real, por superar con creces la resolución óptica proporcionada por la mayoría de los objetivos ac-

tuales de gama alta [2].

Con el fin de ejemplificar la metodología empleada, a continuación, se expone la captura fotográfica de una pintura mural de arte urbano de la artista Lula Goce (www.lulagoce.com), pintado sobre una de las paredes de la Universitat Politècnica de València.

Esta obra, realizada en 2019, pertenece a la serie de murales urbanos denominada Mujeres de ciencia. El mural, de 10,17 metros de altura por 5,5 metros de anchura, realizado en pintura plástica, rinde tributo a la eminente científica española Margarita Salas, recientemente fallecida. Según la propia artista, la obra muestra a la doctora Salas con expresión seria y a contraluz para dar a la imagen más fuerza. El mural remite también a sus estudios, ya que representa elementos relacionados con sus investigaciones en bioquímica.

Para la captura de esta obra se utilizó una cámara fotográfica Canon 7D, equipada con un teleobjetivo Canon EF 200mm f2.8L II USM, que proporciona una óptima calidad de imagen. La cámara se dispuso sobre un trípode equipado con un cabezal panorámico Manfrotto 303 SPH a una distancia de 11 metros del mural y a 1,6 metros de altura sobre el nivel del suelo. Se realizaron un total de 99 fotografías, formando un mosaico de 11x9 para cubrir toda la superficie del mural (Fig. 5).

Se bloqueó la exposición durante la captura de todas las tomas para garantizar una luminosidad constante. Se eligió una hora en la que el mural permaneciera en sombra propia y se iluminara exclusivamente con la luz difusa proveniente de la bóveda celeste, evitando así la sombra arrojada de ciertos elementos arquitectónicos y vegetales sobre el mural.

Para el proceso de revelado digital de los archivos RAW, se utilizó el software Adobe Camera Raw, con el que se aplicó el perfil de color y se unificó el balance de blancos de todas las tomas, según el proceso explicado anteriormente. Con ello se obtuvieron las 99 imágenes en formato TIFF, con una profundidad de color de 16 bits por canal con las que se procedió al cosido o stitching mediante el programa de libre distribución Hugin (<http://hugin.sourceforge.net>).

El programa de stitching realiza una búsqueda de puntos homólogos en las zonas de solape de las fotografías que componen el mosaico, lo que permite calcular la orientación de las fotografías en el espacio y también calcular los parámetros para corregir la distorsión radial del objetivo. Una vez orientado el mosaico en el espacio, el programa permite obtener distintos tipos de panoramas, ya sean parciales o inmersivos como cilíndricos o esféricos.

En este caso concreto, se trata de un panorama parcial, cuyo resultado es una imagen no inmersiva. Para ello se utiliza una proyección radial o cónica, cuyo centro de perspectiva es el punto de vista de las fotografías. Desde este punto se proyecta sobre un plano el mosaico de imágenes, convenientemente orientado, para formar de este modo la imagen de resolución Gigapixel resultante. No obstante, de modo análogo a la metodología anterior, antes de realizar la proyección es necesario proceder al enderezado del mosaico para que las imágenes queden paralelas al plano de proyección y, por tanto, la imagen resultante quede proyectada en verdadera proporción.

Los programas de stitching no están preparados para introducir coordenadas, a diferencia de como sucede con los programas dedicados a la rectificación fotogramétrica vistos en el apartado anterior, pero sí que disponen, en su mayoría, de la posibilidad de introducir condicionantes geométricos como son las condiciones de verticalidad u horizontalidad. Por ello, se introdujeron algunas condiciones de verticalidad y horizontalidad en puntos del mosaico, aprovechando algunas referencias arquitectónicas presentes en las fotografías, tales como aristas verticales y horizontales (Cabezas & Cisneros, 2012).

En caso de no tener referencias geométricas en la escena, siempre pueden añadirse elementos como dianas o identificar puntos notables con ayuda de un apoyo topográfico para poder realizar la correcta rectificación del mosaico. Sería necesario en este caso aportar al menos dos condiciones de verticalidad y dos de horizontalidad. Bastaría por tanto identificar cuatro puntos de referencia formando un rectángulo cuyos lados sean paralelos al plano que contiene el mural, siendo dos lados

horizontales y los otros dos verticales.

Como resultado de este proceso se obtuvo una imagen de ultra alta resolución de más de 766 Mp. Esta imagen resulta muy pesada, más de 4 Gb, por lo que se necesitan muchos recursos para su manipulación y visualización. Para solventar este inconveniente y poder distribuir la imagen con fines divulgativos a través de internet es necesario convertir la imagen obtenida en un mosaico multiresolución o imagen piramidal.

El mosaico multiresolución consiste en descomponer la imagen original en numerosos fragmentos con distintos niveles de resolución y agrupadas por capas, según su nivel de detalle (Fig. 6). La imagen piramidal resultante puede verse a través de internet, de forma muy ágil, gracias al uso de un visor web específico que carga progresivamente estos fragmentos a medida que el usuario demanda un mayor nivel de detalle cuando amplía una zona concreta.

La figura 7 contiene un código QR para poder visualizar interactivamente el resultado mediante cualquier dispositivo móvil, igualmente puede accederse mediante cualquier ordenador a través del link que se muestra en el pie de la figura. La imagen piramidal se ha compuesto mediante el programa Zoomify, que dispone además de un visor web específico compatible con navegadores que soportan el lenguaje html5.

2.3. PANORAMAS ESFÉRICOS

La metodología que se expone a continuación está íntimamente relacionada con la anterior y en ella se emplea el mismo material y software de cosido de imágenes para conseguir, en este caso, panoramas inmersivos que resultan de gran interés a la hora de documentar la obra enmarcada dentro de su ambiente urbano y poder valorar la influencia y relación con su entorno.

La metodología de captura se basa en el mismo principio, a diferencia de que es necesario utilizar más fotografías para abarcar toda la escena. En este caso se utilizan objetivos de distancia focal corta o gran angular, pues no es necesario una catalogación de ultra alta resolución, sino que

se pretende una inmersión del espectador en el ambiente urbano que circunda el mural. Las imágenes que componen un panorama esférico se orientan en el espacio de forma análoga al caso anterior, pero se utiliza la proyección cilíndrica equidistante para conseguir plasmar el conjunto de imágenes sobre un plano, de forma parecida a como sucede en la cartografía terrestre.

El panorama del estudio pretende señalar la ubicación de uno de los grafitis pertenecientes al festival Poliniza 2012 del artista gaditano Manolo Mesa, más conocido por su seudónimo La Mesa (https://www.flickr.com/photos/el_messa/), situados en un pasadizo que conecta con la Plaza del Ágora de la Universidad Politécnica de Valencia, uno de los espacios más relevantes del Campus. Para la realización de este panorama se utilizó una cámara Canon 7D con un objetivo Canon 17-40L ajustado a su distancia focal más corta, montada sobre un trípode y cabezal panorámico Manfrotto 303 SPH.

Para la captura del panorama completo se dispararon un total de 38 fotografías. 36 de ellas distribuidas en 3 anillos de 12 fotografías por vuelta. El primer anillo se tomó con el eje óptico de la cámara en posición horizontal, el segundo, con el eje óptico formando un ángulo de +45° con respecto al plano horizontal y el tercero con un ángulo de -45°. Los dos disparos restantes sirven para cubrir el Nadir (eje óptico a -90°) y otra para el Zenit (eje óptico a +90°). El cosido del panorama se llevó también a cabo con el programa Hugin para conseguir la imagen equirectangular final de 12000x6000 px, que muestra la figura 8. Los panoramas esféricos pueden visualizarse de forma inmersiva empleando visores específicos, e incluso pueden distribuirse a través de internet. La mayoría de estos visores soportan también el uso de visores de realidad virtual, como Oculus Rift, o el económico Google Cardboard, lo que puede hacer la experiencia aún más inmersiva. El panorama resultante puede visualizarse de forma interactiva con cualquier dispositivo móvil mediante el código QR que aparece en la figura, o bien, desde cualquier ordenador accediendo al enlace que aparece en el pie de la figura. El pano-

rama dispone de un nodo interactivo o hotspot que muestra información adicional y una fotografía del mural. Para generar esta visualización interactiva se ha utilizado el visor KRpano [4].

2.4. FOTOGRAMETRÍA ARQUITECTÓNICA 3D MULTI-IMAGEN SFM (STRUCTURE FROM MOTION)

El último método que se ha utilizado para la documentación del arte murario ha sido la fotogrametría 3D multi-imagen. Para la obtención del modelo 3D en base a este método fotogramétrico, se ha utilizado el sistema SfM (Structure from Motion). Éste se basa en algoritmos de reconstrucción tridimensional a partir de imágenes 2D que logran restituir los elementos de la escena gracias al cambio que éstos muestran en las fotografías al cambiar el punto de vista del observador. Este tipo de restitución consta de una etapa inicial en la que se produce la orientación espacial de las fotografías que se van a utilizar para la reconstrucción del modelo. Esta labor incluye la calibración y corrección automática de todas las imágenes partiendo de sus datos EXIF. El procedimiento está basado en la búsqueda de puntos homólogos mediante rasgos de contraste entre todas las fotografías, lo que permite establecer las posiciones relativas de cada cámara y los parámetros de calibración del conjunto cámara-objetivo (Rodríguez-Navarro, 2012; Gil, Rodríguez-Navarro & Pérez, 2019). La siguiente fase se centra en la generación de una nube de puntos densa, a partir de las fotografías previamente orientadas, con la que se procede a la construcción de la geometría del modelo, es decir, a la construcción de la malla de polígonos en 3D que definen la superficie del modelo. Por último, se pueden proyectar sobre estas superficies las fotografías que conforman su textura. Una vez obtenido el modelo texturizado se pueden obtener las vistas ortográficas, es decir, las ortofotografías de la obra objeto de estudio.

Para escalar la ortofotografía se necesita conocer una única medida, pero siempre es aconsejable tomar las coordenadas de un número determinado de puntos de control. Se han utilizado puntos

morfológicos, para no necesitar el uso de targets. Las coordenadas se han obtenido mediante una estación total robótica de Imagen IS, de la marca Topcon. Esta estación tiene una capacidad de medición con prisma de 3000 m. con una precisión de $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \times D^*$ m.s.e. No ha sido necesario en ningún caso, el enlace de estaciones, quedando todos los puntos registrados desde una única estación y, por lo tanto, un mismo sistema de referencia.

La fase más crítica del proceso de captura fotográfica es la elección de los puntos de vista de las tomas. Éstos deben cubrir todo el modelo y contar con los solapes necesarios para observar cada punto desde, al menos, tres cámaras. En esta ocasión se ha utilizado una cámara Sony $\alpha 7R$, con un objetivo de 28 mm de longitud focal.

Se ha aplicado este método a dos obras que, debido a sus dimensiones, no era posible documentarlas con el método de rectificación. La primera es un grafiti del artista FASIM (Germán Bel, <https://www.fasim.org/>) que lleva por título: Stop victim war's wall, siendo una de las obras más conocidas de la ciudad. Fue pintado en el año 2010 y se encuentra en un avanzado estado de deterioro. La obra, claramente inspirada en El Guernica de Picasso, denuncia las guerras que actualmente se producen en el mundo. El grafiti está pintado sobre un muro en ángulo, recayente a la calle Calderers y a la plaza Esparto, en el centro del barrio del Carmen.

En este caso se ha optado por el uso de la fotogrametría SfM debido a la longitud del grafiti, y a la estrecha calle Calderers, lo que imposibilitaban su visión en una única fotografía. En este caso se ha realizado una secuencia fotográfica de 42 instantáneas a una distancia de 3 metros del objeto, con una distancia entre instantáneas de 1 metro, lo que garantiza un solape superior al 80%. En fotogrametría multimagén SfM se utiliza como indicador de la calidad de la captura el parámetro Ground Sample Distance (GSD), que establece la distancia entre dos píxeles consecutivos del plano del modelo restituído. Este parámetro se calcula según la siguiente expresión:

$$GSD = \frac{Sw * H * 100}{FR * imW}$$

Siendo:

Sw, Anchura del sensor de la cámara (mm)

FR, Longitud focal de la cámara (mm)

H, distancia al objeto (m)

imW, Anchura de la Imagen (píxeles)

Con los parámetros utilizados, se ha obtenido en este caso un GSD de 0,0523 cm/píxel, lo que equivale a una resolución en el plano del grafiti de 49 píxeles por pulgada (ppp).

| | | |
|-----|--------|--------------------------------------|
| Sw | 35,9 | Sw = Anchura del sensor cámara (mm) |
| Sh | 24 | Sh= Altura del sensor cámara (mm) |
| FR | 28 | FR = Longitud focal cámara (mm) |
| H | 3 | H = distancia al objeto (m) |
| imW | 7360 | imW = Anchura de la Imagen (píxeles) |
| GSD | 0,0523 | GSD = Resolución (cm/píxel) |

El segundo caso de aplicación de esta técnica ha sido el grafiti del italiano BLU; artista anónimo premiado y reconocido internacionalmente, habiendo sido considerado uno de los diez mejores artistas urbanos del mundo (Manco, 2011). La obra lleva por título Moisés y se realizó en el 2011. Se sitúa en una gran medianera, en la intersección entre la calle Caballeros y la Plaza del Tossal de Valencia (Macías & Zalbidea, 2017a; 2017b). La escena presenta a un Moisés, con unas barbas formadas por una especie de serpientes o gusanos, y con unas tablas que muestran los símbolos de distintas monedas. De evidente carga crítica, condiciona toda el área urbana a la que recae, siendo esta de las más visitadas del centro histórico de la ciudad.

Se encuentra en un correcto estado de conserva-

ción pese a sus 9 años de edad, sin embargo, a lo largo de estos años otros grafiteros han utilizado su parte baja en repetidas ocasiones. Lamentablemente es habitual la falta de sensibilidad, cultura y respeto por parte de algunos grafiteros.

Se ha utilizado el método SfM debido al gran tamaño (9,60 m. de ancho x 17 metros de alto). Además, la edificación situada frente a ella, así como los contenedores de basura que han dispuesto en la misma esquina, dificultan las tomas fotográficas. La decisión del número y disposición de las tomas ha sido lo más complejo, al tener que actuar en distintas distancias y ángulos; se ha intentado fotografiar lo más perpendicular posible, aumentando la distancia al objeto a medida que se fotografiaba la parte superior. Se han llevado a cabo 45 instantáneas con una longitud focal de 28 mm y otras 25 instantáneas con una longitud focal de 70 mm. Esta longitud más larga se ha utilizado para ganar resolución en la parte superior de la obra.

Aun así, en este caso la resolución no ha podido ser tan alta debido a la distancia máxima a la que se ha fotografiado, obteniéndose un GSD mínimo de 0,4878 cm/píxel, lo que equivale a una resolución de 5 píxeles por pulgada.

| | | |
|-----|--------|-------------------------------|
| Sw | 35,9 | Sw = Camera sensor width (mm) |
| Sh | 24 | Sh= Camera sensor height (mm) |
| FR | 28 | FR = Camera focal length (mm) |
| H | 28 | H = Object distance (m) |
| imW | 7360 | imW = Image width (pixels) |
| GSD | 0,4878 | GSD = Resolution (cm/píxel) |

4. CONCLUSIONES

La fotografía se muestra como el medio idóneo y casi exclusivo para la documentación, difusión y archivo de las obras de arte murario. Además, la fotografía nos sirve de base para la utilización de métodos que controlan la perspectiva, el color, y el

tamaño al que podemos documentar estas obras de arte. En este artículo se ha realizado un recorrido que ha puesto a prueba cuatro de estos métodos, entendiendo que son los que mejor y pueden llevar a cabo esta tarea: la rectificación fotogramétrica, la fotografía gigapixel, los panoramas esféricos y la fotogrametría multimagén SfM. La rectificación fotogramétrica se ha mostrado como la técnica más rápida, sencilla y económica, pero a cambio nos presenta una serie de dificultades. Aunque el mayor límite de este método es estar limitado a superficies planas o sensiblemente planas, como son la mayoría de casos del arte urbano, hemos de seguir atentos a esta limitación. Además, hemos de poder tomar coordenadas de al menos cuatro puntos en esta superficie, y preferiblemente localizados en sus esquinas, lo que puede suponer una dificultad, si no se cuenta con algún sistema de medición a distancia. También hay que extremar las precauciones en el ángulo de la toma fotográfica para evitar grandes interpolaciones. La fotografía gigapixel es idónea cuando necesitamos elevar el detalle en la representación, permitiéndonos la descomposición en pequeñas áreas, pero si no queremos que se complique su

cosido, requiere que podamos visualizar toda la obra desde un único punto de vista. Los panoramas esféricos aportan una visión inmersiva, reproduciendo la obra en su entorno. Por este motivo, este método será complementario a otro que documente propiamente la obra. Por último, la fotogrametría multimagén SfM, es posiblemente la más versátil de todas. Nos permite obtener la documentación de la obra a través de la secuencia de fotografías parciales de la misma, por lo que cuando encontramos dificultades para la obtención de una perspectiva óptima, se nos muestra una solución idónea. También nos permite trabajar de forma mixta, incorporando pértigas o el uso de drones para completar la secuencia de capturas. Son muchos los factores van a condicionar la documentación del arte murario debido fundamentalmente a su particularidad urbana. Por este motivo no se determina un sistema idóneo, pero sí un elenco de métodos rigurosos que, a buen seguro, deben de definir el flujo de trabajo para la correcta documentación de estas particulares obras. En este sentido, la tabla que se muestra a continuación resume la idoneidad de los métodos expuestos, dependiendo de las circunstancias [3] [4].

| | Photogrammetric Rectification | Gigapixel | Spherical Panorama | Fotogrammetry 3D SfM |
|-----------------|-------------------------------|---------------|--------------------|----------------------|
| High Resolution | Good | Optimum | Not advisable | Possible |
| Big Size | Possible | Optimum | Not advisable | Optimum |
| Small Size | Optimum | Possible | Not advisable | Good |
| Environment | Not advisable | Not advisable | Optimum | Good |
| Low visibility | Not advisable | Not advisable | Possible | Optimum |

Fig. 14 - Tabla de evaluación de las distintas metodologías en función de las particularidades del graffiti

NOTAS

[1] New York Times, July 21, 1971, Page 37, "Taki 183" Spawns Pen Pals. Entrevista a Taki 183, considerado el primer graffitero.

[2] La capacidad resolutive óptica de un objetivo viene dada por una función denominada *Modulation Transfer Function (MTF)*, expresada en líneas por milímetro. Los test ópticos para calcular la función MTF se basan en patrones de líneas contrastadas. Para establecer una relación entre la función MTF y la resolución en megapíxeles, DXOMARK, web especializada en el análisis de lentes de fotografía, establece un valor denominado *Perceptual Megapixels (P-Mpix)* que analiza la respuesta del objetivo, cuando se monta en una cámara con un sensor concreto, los resultados de estos test pueden verse en www.dxomark.com.

[3] Este artículo se ha realizado en el marco del Proyecto de Investigación titulado *Captura fotográfica de resolución gigapixel para la documentación y divulgación del patrimonio pictórico (01/01/19 - 01/01/21)*, con referencia SP20180066. Proyecto financiado con ayuda a Primeros Proyectos de Investigación (PAID-06-18), Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de la Universitat Politècnica de València (UPV), València, Spain.

[4] Todas las imágenes y tablas han sido realizadas por los autores.